

**LUCIANO FARIAS DE NOVAES**

**MODELO PARA A QUANTIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE  
HÍDRICA NA BACIA DO PARACATU**

Tese 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  
2005

Pai,

ofereço-lhe hoje o sorriso que trago em minha face. Sorriso triste pela sua ausência, mas um sorriso que traduz toda a emoção deste momento. Se sua falta diz um silêncio que cruza em minha vida, é porque sua existência me é essencial. Hoje, mais do que nunca, a sua presença se faz sentir, pois sou a continuidade de seu brilho!

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, à Deus, pela saúde, pela paz, e por mais esta vitória.

À minha mãe, que nunca deixou de incentivar-me e de fazer o possível e o impossível para ajudar-me. A minha dívida com você é inesgotável e agradeço todos os dias por ter tido você como mãe. Eu amo muito você.

A minha querida filha Ana Carolina, pelo carinho, companheirismo e alegria que me proporciona. Papai te ama muito!

À minha irmã Juliana (segunda mãe) pelo incentivo, confiança e amor ao longo de toda minha vida.

À minha querida vovó pelas palavras positivas, pelo carinho e pelas orações. Muito obrigado!

Ao professor Fernando Falco Pruski pela amizade, orientação, incentivo e dedicação, principalmente pelo exemplo de honestidade, comprometimento e competência.

Aos professores Demetrius David da Silva e Márcio Mota Ramos pela amizade, incentivo, sugestões e apoio.

À toda minha família pelo auxílio constante.

Aos amigos do Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH) pelo apoio, incentivo e amizade quando eu mais precisei.

Aos meus queridos amigos de infância por sempre me apoiarem e torcerem pela concretização dos meus sonhos.

À professora Maria Lúcia Calijuri pela atenção, apoio e competência. Obrigado por tudo e com certeza, a senhora exerceu um papel essencial na minha formação profissional.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola pela ajuda e torcida em horas de dificuldades.

À Universidade Federal de Viçosa, pelos excepcionais anos de estudo durante a graduação e o mestrado nesta instituição de excelência, a qual me orgulho muito de ter tido a oportunidade de ser aluno e eterno aprendiz.

## **BIOGRAFIA**

LUCIANO FARIAS DE NOVAES, filho de José Farias de Novaes Filho e Maria do Carmo Gomes Farias de Novaes, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, em 15 de fevereiro de 1981.

Em abril de 1999, iniciou o curso de Engenharia Civil na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, Minas Gerais, graduando-se em agosto de 2003.

Em agosto de 2003 iniciou o curso de Mestrado em Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Viçosa, defendendo tese em 14 de fevereiro de 2005.

## CONTEÚDO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	x
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Panorama geral: a crise da água.....	3
2.2. A sub-bacia do rio Paracatu e os conflitos pelo uso da água.....	4
2.3. Disponibilidade hídrica natural de um curso d'água.....	7
2.4. Modelos hidrológicos .....	9
2.4.1. Modelos estocásticos.....	9
2.4.2. Modelos determinísticos.....	11
2.5. Regionalização de vazões.....	15
2.5.1. Método tradicional.....	16
2.5.2. Outros métodos para a regionalização de vazões.....	17
2.5.3. Comparação entre as metodologias para a regionalização de vazões....	19
2.6. Gestão de recursos hídricos.....	20
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1. Dados utilizados no estudo.....	24
3.1.1. Vazões médias e mínimas.....	24
3.1.2. Precipitação média anual.....	27
3.2. Desenvolvimento do modelo para estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos.....	28
3.2.1. Caracterização dos parâmetros que definem a curva de recessão.....	28
3.2.1.1. Determinação da vazão subterrânea correspondente ao início do período de recessão.....	28
3.2.1.2. Determinação do coeficiente de recessão.....	29

3.2.2. Estimativa das vazões mínimas.....	30
3.2.3. Análise do comportamento dos modelos.....	31
3.3. Comparação dos modelos de regionalização de vazões.....	33
3.3.1. Método tradicional.....	33
3.3.2. Método baseado na interpolação linear.....	35
3.3.3. Método proposto por CHAVES et al. (2002).....	36
3.3.4. Método da interpolação linear modificado.....	37
3.3.5. Método CHAVES modificado.....	38
3.4. Desenvolvimento de modelo para o ajuste das vazões na rede hidrográfica da bacia do Paracatu.....	39
3.4.1. Ajuste da equação que caracteriza a vazão na hidrografia da bacia.....	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1. Modelo para estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos.....	43
4.1.1. Estimativa da vazão correspondente ao início do período de recessão.....	43
4.1.2. Estimativa do coeficiente de recessão.....	51
4.1.3. Análise do comportamento dos modelos.....	55
4.2. Comparação das metodologias de regionalização de vazões.....	65
4.3. Modelo de ajuste das vazões média e mínima ao longo da bacia do Paracatu.....	72
5. CONCLUSÕES.....	84
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
APÊNDICES.....	91
APÊNDICE A.....	92
APÊNDICE B.....	93
APÊNDICE C.....	103

## RESUMO

NOVAES, Luciano Farias. M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2005.

**Modelo para a quantificação da disponibilidade hídrica na bacia do Paracatu.**

Orientador: Fernando Falco Pruski. Conselheiros: Demetrius David da Silva e Márcio Mota Ramos.

O crescimento econômico evidenciado na sub-bacia do Paracatu a partir da década de 70 ocasionou um expressivo crescimento no consumo de água, sendo que, em vários locais da bacia, nos meses de maior demanda, as vazões de retirada tem sido superiores às máximas permissíveis para outorga, o que indica a necessidade de uma adequada quantificação da disponibilidade dos recursos hídricos na bacia. A modelagem hidrológica é uma ferramenta utilizada para melhor entender e representar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, sendo que a utilização dos modelos hidrológicos apresenta grande potencial para caracterizar a disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. No presente trabalho teve-se como principais objetivos: desenvolver um modelo que permita estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos; comparar as vazões mínimas e média de longa duração estimadas por diferentes métodos de regionalização de vazões; e desenvolver procedimento de ajuste das vazões média e mínima ao longo da hidrografia da bacia do Paracatu, visando otimizar o processo de gestão de recursos hídricos. Na realização do estudo analisou-se os dados hidrológicos pertinentes à precipitação média, vazão média de longa duração, vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90\%}$ ) e 95% ( $Q_{95\%}$ ) em 21 estações

fluviométricas situadas na bacia do Paracatu no período de 1970 a 2000. O desenvolvimento do modelo para estimar as vazões mínimas a partir de dados pluviométricos foi feito com base na curva de recessão do escoamento subterrâneo, identificando-se, para as 21 estações fluviométricas, os parâmetros que a definem, sendo estes o coeficiente de recessão do escoamento subterrâneo ( $\alpha$ ) e a vazão correspondente ao início do período de recessão ( $Q_0$ ). De posse destes parâmetros foram obtidas diversas combinações entre estes para verificar qual combinação gerou a curva de recessão mais representativa dos dados observados, sendo evidenciado que os melhores resultados obtidos pelo modelo para estimativa das vazões mínimas foram obtidos quando da consideração do valor de  $\alpha$  médio da estação fluviométrica em análise e da  $Q_0$  estimada pela equação ajustada aos dados de precipitação média na área de drenagem da estação fluviométrica considerada. O estudo de regionalização de vazões foi realizado utilizando-se cinco diferentes métodos de regionalização de vazões, sendo estes: tradicional, interpolação linear e CHAVES et al. (2002). Os outros dois métodos analisados constituem em modificações nas metodologias da interpolação linear e CHAVES et al. (2002), sendo estes denominados métodos da interpolação linear modificado e CHAVES modificado, respectivamente. Avaliando as vazões estimadas pelos cinco métodos de regionalização de vazões estudados evidenciou-se que não ocorreram diferenças expressivas no desempenho destes na bacia do Paracatu. O procedimento de ajuste das vazões média e mínima ao longo da hidrografia da bacia do Paracatu foi realizado ajustando-se equações de regressão para a representação das vazões em função da área de drenagem no rio principal, e a partir destas equações obteve-se as vazões na foz de cada rio afluente direto do rio principal. Determinadas estas vazões foram ajustadas equações de regressão para a representação das vazões em função da área de drenagem ao longo do rio afluente direto do rio principal, sendo este ajuste realizado de tal forma que a equação resultante passasse pela origem e pelo ponto correspondente à vazão estimada na foz deste rio. Analisando as vazões médias e mínimas estimadas pelas equações propostas pelo procedimento descrito evidenciou-se que estas vazões apresentaram continuidade ao longo da rede hidrográfica da bacia do Paracatu, ao contrário do que foi evidenciado quando da aplicação dos demais métodos de regionalização de vazões.

## ABSTRACT

NOVAES, Luciano Farias. M.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2005.

**Model to qualify the water availability of the Paracatu basin.** Adviser: Fernando Falco Pruski. Committee members : Demetrius David da Silva and Márcio Mota Ramos.

The economic growth manifested in the sub basin of the Paracatu River since the seventies has caused an expressive increase in water expenditure, such that in several locals of the basin, in the months of highest demand, the uptake flow has been higher than the maximum allowed warrant, which indicates the need of an adequate quantification and management of the availability of the water resources of the basin. The hydrological modeling constitutes a tool used to better understand and represent the hydrological behavior of a hydrographic basin, having the use of hydrological models a great potential to characterize the water availability in conditions of changing climate and use of the soil. In this investigation we had as main objectives: Development of a model that would allow for the estimate of the minimal flows of the Paracatu River and its feeders based on pluviometric data; compare long term minimal and averages estimated by different methods of regionalization of flows; and to develop actions to adjust average and minimal flows along the Paracatu hydrographic basin, aiming to optimize the process of management of water resources. In the course of the investigation the hydrological data pertinent to average rainfall, average long term flow, minimal seven days flow and return period of 10 years ( $Q_{7,10}$ ) and flow associated with the permanencies of 90% ( $Q_{90\%}$ ) and 95% ( $Q_{95\%}$ ) at 21 fluviometric stations situated in the Paracatu River basin in the period from 1970 to 2000 were

analyzed. The development of the model to estimate the minimal flow from pluviometric data was carried out based on the recession curve of underground flow, identifying, from 21 pluviometric stations, the defining parameters, being those the underground recession coefficient ( $\alpha$ ) and the flow corresponding to the beginning of the recession period ( $Q_0$ ). From these parameters several combinations of these parameters were obtained to verify which combination generated the recession curve most representative of the observed data, being evidenced that the best results obtained by the model for the estimate of minimal flow were obtained considering the value of the mean  $\alpha$  of the pluviometric station under analysis and of the estimated  $Q_0$  from the equation adjusted to the mean rainfall of the drainage area. The study of regionalization of flows was undertaken using five different methods of regionalization of flows, being those: traditional, linear interpolation and CHAVES et al. (2002). The other two methods analyzed constitutes in modifications of the linear interpolation and CHAVES et al. (2002) methodologies, being those named modified linear interpolation and modified CHAVES, respectively. Evaluating the estimated flows by the five regionalization of flow methods employed demonstrated that no expressive differences occurred in the fulfillment of these flows in the Paracatu basin. The adjusting procedure of the average and minimal flow along the hydrography of the Paracatu basin was carried out adjusting the regression equations for the flow representation as a function of the drainage area in the main river, and from these equations the flows from each of the feeding rivers was obtained directly from the main river. After determining these flow regression equations were adjusted for the representation of flows as a function of the drainage area along the feeding river directly from the main river, being such adjustment made in such a way that the resulting equation passes by the origin and by the point corresponding to the estimated flow for the mouth of this river. Analyzing the minimal and average flows estimated by the proposed equations by mean of the procedure described it was evidenced that these flows exhibit continuity along the hydrographic network of the Paracatu river, contrary to what was evidenced by the application of the other regionalization of flow methods.

## 1. INTRODUÇÃO

A humanidade passou por diversas crises e provavelmente uma das próximas decorrerá da escassez de água de qualidade. No Brasil, apesar da abundância relativa de água, sua distribuição geográfica e temporal acarreta conflitos entre os usuários em muitas regiões.

O aumento da demanda pelo uso da água ocasionou o aparecimento de demandas conflitantes, tornando, conseqüentemente, a gestão compartilhada e participativa essencial para o desenvolvimento sustentável. Em algumas sub-bacias, como a do Paracatu, situada na bacia do São Francisco, a implementação de vários projetos de irrigação sem a prévia quantificação do volume de água possível de ser usado, está causando sérios impactos ambientais e conflitos entre os usuários (RAMOS e PRUSKI, 2003).

O crescimento econômico evidenciado na sub-bacia do Paracatu a partir da década de 70 ocasionou um expressivo crescimento no consumo de água, sendo que, em vários locais da bacia, nos meses de maior demanda, as vazões de retirada tem sido superiores a 30% da  $Q_{7,10}$ , que é o critério adotado para concessão de outorga em Minas Gerais (onde se situa 92% da bacia), refletindo em uma utilização da água superior àquela permissível para outorga (RODRIGUEZ, 2004).

A modelagem hidrológica é uma ferramenta utilizada para melhor entender e representar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, sendo que a utilização dos modelos hidrológicos apresenta grande potencial para caracterizar a

disponibilidade hídrica em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. Com o aumento da disponibilidade de computadores a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos, reduzindo o tempo de processamento e facilitando a interface com o usuário.

Assim, associado ao complexo quadro de conflitos pelo uso da água evidenciado na bacia do Paracatu o qual indica a necessidade de elaborar procedimentos confiáveis para a estimativa das disponibilidades hídricas, desenvolveu-se o presente trabalho, que teve como objetivos:

- desenvolver um modelo que permita estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos;
- comparar as vazões mínimas e média de longa duração estimadas por diferentes métodos de regionalização de vazões; e
- desenvolver procedimento de ajuste das vazões média e mínima ao longo da hidrografia da bacia do Paracatu, visando otimizar o processo de gestão de recursos hídricos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Panorama geral: a crise da água

O crescimento populacional desordenado e o desenvolvimento econômico, associados à intensificação das atividades de caráter poluidor, tem provocado o comprometimento do uso dos recursos naturais, dentre eles a água. Uma série de danos ambientais tem mostrado a ocorrência de problemas relacionados à falta de água, seja em quantidade ou qualidade, que podem vir a comprometer a sobrevivência dos ecossistemas e do homem no planeta (OLIVEIRA, 2003).

As limitadas reservas de água doce disponíveis seriam suficientes para satisfazer a demanda global caso a ocupação demográfica do globo e a distribuição geográfica de água fossem mais uniformes. Estas disparidades causam uma pressão sobre os recursos hídricos agravando-se à medida que o nível de vida da população aumenta, sendo já verificadas grandes disparidades nos consumos médios per capita, os quais oscilam entre  $600 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  nos Estados Unidos e  $30 \text{ L hab}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  em alguns países africanos (CUNHA, 2002).

Entre 1900 e 1995 o consumo de água cresceu seis vezes, enquanto a população mundial não chegou a triplicar (IRC, 1997). Atualmente, mais de um bilhão de habitantes não tem acesso ao abastecimento de água de boa qualidade, sendo que 40% da população mundial vive em regiões onde a disponibilidade de água já impõe

restrições para o seu uso, percentual que deve atingir 65% em 2025. Mais de 6.000 crianças morrem por dia e 250 milhões de pessoas são afetadas por doenças com veiculação hídrica, implicando na ocupação de metade dos leitos hospitalares (CUNHA, 2003).

Atualmente o setor agrícola consome, em média, cerca de 70% da água utilizada no mundo, seguido pela indústria com 20%, e pelos abastecimentos urbano e rural com 10% (CUNHA, 2002). Estes 10% utilizados nos municípios são distribuídos de forma absolutamente desequilibrada entre pobres e ricos, com pelo menos 3 bilhões de pessoas obrigadas a utilizarem águas contaminadas, sobretudo por poluição biológica, derivada da descarga sem qualquer tratamento de esgotos domésticos diretamente nos rios (JOHN, 2004).

O setor agrícola, principalmente a irrigação, além de ser o maior usuário de água no mundo, é também o setor que apresenta a pior eficiência na utilização da água, pois cerca de metade da água retirada pela irrigação não é utilizada para o desenvolvimento da cultura, sendo ou evaporada ou percolada no solo (CAMPANILI, 2004). Em algumas sub-bacias do São Francisco, como a do Paracatu, a implementação de vários projetos de irrigação sem a prévia quantificação do volume de água possível de ser usado, está provocando a falta de água para consumo humano, de animais e da fauna silvestre, causando sérios impactos ambientais nas citadas regiões e conflitos entre os usuários (RAMOS e PRUSKI, 2003). Sendo assim, a melhoria da eficiência dos sistemas de irrigação constitui uma das ações prioritárias para diminuir os conflitos pelo uso da água.

## **2.2. A sub-bacia do rio Paracatu e os conflitos pelo uso da água**

A sub-bacia do rio Paracatu está situada no Médio São Francisco e drena uma área de aproximadamente 45.600 km<sup>2</sup>, sendo a segunda maior sub-bacia do São Francisco (BRASIL, 1996). Da área de drenagem da sub-bacia do Paracatu cerca de 92% encontram-se no Estado de Minas Gerais, 5% em Goiás e 3% no Distrito Federal (FERREIRA e EUCLYDES, 1997). Os principais afluentes do Paracatu são, pela margem direita, o rio Prata, com área de drenagem de 3.750 km<sup>2</sup>, e o rio do Sono, com

5.969 km<sup>2</sup>, e pela margem esquerda, o rio Escuro, com 4.347 km<sup>2</sup>, o ribeirão Entre Ribeiros, com 3.973 km<sup>2</sup> e o rio Preto, com 10.459 km<sup>2</sup> (ANA, 2003).

A precipitação média anual na sub-bacia do Paracatu é de 1.340 mm, iniciando o período chuvoso no mês de outubro. A evapotranspiração real média é de 995 mm (BRASIL, 1996), sendo esta correspondente, portanto, a 74,3% do volume precipitado na bacia, valor este similar ao evidenciado por RODRIGUEZ (2004) que foi de 73%.

Em estudo sobre a disponibilidade hídrica no São Francisco (PEREIRA, 2004) foi evidenciado que, dentre as sub-bacias do São Francisco, a do Paracatu é a que apresenta a maior contribuição real (volume médio escoado) representando cerca de 19,5% do volume escoado na foz do São Francisco.

O consumo de água na sub-bacia do Paracatu aumentou cerca de 11 vezes no período de 1970 a 1996, com uma taxa de crescimento do consumo de água de 0,20 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, sendo 0,19 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> correspondente ao aumento do consumo pela irrigação. Este fato indica a necessidade de adoção de uma gestão adequada dos recursos hídricos que considere a alta taxa de crescimento da demanda em virtude do intenso desenvolvimento econômico existente na bacia (RODRIGUEZ, 2004).

Além da consideração do grande aumento no consumo de água na bacia, a análise do efeito das mudanças climáticas também deve ter especial atenção por parte dos órgãos responsáveis pela gestão dos recursos hídricos, sendo que a quantificação do efeito decorrente de tais mudanças climáticas poderá permitir a definição de estratégias para garantir a disponibilidade hídrica necessária para que não venham ocorrer conflitos entre os usuários de água na bacia. De acordo com as previsões climáticas através de modelos de circulação atmosférica para a bacia do rio São Francisco, AZEVEDO et al. (2003) constataram que nos próximos 40 anos a região onde se situa a bacia do Paracatu deverá sofrer, em média, um aumento de 6,9% da precipitação e 1°C na temperatura média do ar.

A sub-bacia do rio Paracatu não possui nenhum reservatório expressivo, porém possui potencial hídrico para instalação de barragens com a finalidade de regularização das vazões ao longo do ano, podendo assim, permitir o crescimento das atividades econômicas na bacia sem comprometer a sustentabilidade desse desenvolvimento. Tal fato se deve à pouca influência que a vazão total consumida pelos diversos usuários na

bacia apresenta em relação à vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ), sendo a máxima porcentagem da vazão consumida em relação à  $Q_{mld}$  igual a 2,1%, evidenciada no ribeirão Entre Ribeiros. Outro fator que mostra o potencial para a instalação de reservatórios na bacia é a baixa capacidade de regularização natural dos rios, sendo constatada uma relação média entre as vazões associadas à permanência de 95% ( $Q_{95\%}$ ) e  $Q_{mld}$  igual a 0,20 (RODRIGUEZ, 2004).

O principal uso de água na sub-bacia do Paracatu é a irrigação, que ocupa uma área de 37.150 ha e cuja vazão consumida representa 86,6% do total demandado na bacia, seguida pelo abastecimento animal com 10,7%, pelo abastecimento urbano com 1,5% e rural com 1,2% (RODRIGUEZ, 2004). O sistema de irrigação predominante é o pivô central (88%), sendo que em 42% desta área (13.730 ha) já ocorrem limitações para o uso da água (BRASIL, 1996). Atualmente evidencia-se que a maioria dos projetos de irrigação da bacia aplica água em excesso, reduzindo sua disponibilidade e contaminando os rios e o lençol freático (RAMOS e PRUSKI, 2003).

Em estudo realizado no Projeto Marca D'Água (JOHNSON e LOPES, 2003) foi evidenciada a preocupação dos técnicos que trabalham com recursos hídricos na sub-bacia do Paracatu em relação às questões relativas à gestão de recursos hídricos, principalmente quanto à definição de novos parâmetros e metodologias para a concessão da outorga. Outro aspecto apontado pelos técnicos que trabalham com a questão da outorga é quanto ao critério adotado, correspondente a 30% da vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ). Este critério, segundo os técnicos, não representa com exatidão o potencial hídrico da região, pois é baseado na disponibilidade hídrica de Minas Gerais como um todo. Esses técnicos entendem que o critério adotado é muito restritivo e que deve ser rediscutido com base em um trabalho mais específico para a sub-bacia do Paracatu.

As vazões de retirada pela irrigação na sub-bacia do Paracatu, estimadas para os meses de maior demanda, variam de 4,3 a 85,1% da  $Q_{7,10}$ , sendo que o valor de 85,1% (evidenciada no ribeirão Entre Ribeiros) é bastante superior ao concedido para outorga em Minas Gerais (onde se situa o ribeirão), o qual é de 30% da  $Q_{7,10}$ , refletindo uma utilização da água superior àquela permissível para outorga (RODRIGUEZ, 2004).

### 2.3. Disponibilidade hídrica natural de um curso d'água

A disponibilidade hídrica natural em uma bacia hidrográfica é representada pelas vazões médias e mínimas, sendo o conhecimento destas de grande importância para um adequado planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos, minimizando assim os conflitos pelo uso da água entre os diversos usuários.

A vazão média é a maior vazão possível de ser regularizada no curso d'água, sendo caracterizada como a máxima disponibilidade hídrica de uma bacia. O conhecimento desta vazão permite avaliar o limite do uso da água de um manancial para diferentes finalidades (TUCCI, 2001). As vazões mínimas merecem especial atenção em estudos de disponibilidade hídrica, pois é nos períodos de ocorrência destas vazões em que a disponibilidade de água é considerada crítica para atender todas as demandas, principalmente nos rios que preservam as condições naturais, ou seja, que não possuem reservatórios de acumulação (SILVEIRA e SILVEIRA, 2001).

Na prática pouca utilidade tem a vazão mínima diária, pois normalmente durações maiores, como 7 ou 30 dias, apresentam maior interesse ao usuário, já que, além da magnitude, a seqüência de vazões baixas também representa uma situação desfavorável para a demanda ou para as condições de conservação ambiental. Assim, a vazão mínima é caracterizada tanto pela sua magnitude e duração, com também pela sua frequência de ocorrência (TUCCI, 2002). Um índice muito utilizado para a representação das vazões mínimas em estudos de disponibilidade hídrica e que considera a sua magnitude, duração e frequência de ocorrência é a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ).

Outros índices muito utilizados em estudos de disponibilidade hídrica, principalmente em processos de concessão de outorga, são as vazões mínimas obtidas da curva de permanência, a qual representa a parcela de tempo que uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado, sendo as vazões associadas às permanências de 90 ( $Q_{90\%}$ ) e 95% ( $Q_{95\%}$ ) as mais utilizadas nestes processos.

As vazões mínimas são as vazões associadas à contribuição do lençol freático (escoamento subterrâneo), sendo a tendência destas vazões diminuir com o rebaixamento do lençol freático. O período que representa o rebaixamento do lençol

freático é denominado de período de recessão do escoamento subterrâneo, sendo que as vazões neste período decrescem exponencialmente com o tempo, sendo tal comportamento denominado curva de recessão do escoamento subterrâneo e representado pela equação:

$$Q = Q_0 e^{(-\alpha t)} \quad (1)$$

em que:

$Q$  = vazão subterrânea num instante  $t$ ,  $m^3 s^{-1}$ ;

$Q_0$  = vazão subterrânea correspondente ao início da curva de recessão do escoamento subterrâneo,  $m^3 s^{-1}$ ;

$\alpha$  = coeficiente de recessão,  $d^{-1}$ ; e

$t$  = tempo contado a partir do início do período de recessão, d.

Estudos realizados em bacias da Noruega mostraram que o valor do coeficiente de recessão ( $\alpha$ ), que representa a taxa de declínio das vazões no período de recessão, é dependente do início e do comprimento do período de recessão (TALLAKSEN, 1995). Em estudo realizado no Plano Diretor da bacia do Paracatu (BRASIL, 1996), considerando os hidrogramas obtidos no período de 1939 a 1989, foram evidenciados valores de  $\alpha$  de 17 estações fluviométricas situadas na bacia do Paracatu que variaram de 0,0048 a 0,0080  $dia^{-1}$ . Para as bacias dos rios Verde Grande e Jequitáí os valores de  $\alpha$ , evidenciados por BRASIL (1988), foram iguais a 0,056 e 0,0099  $dia^{-1}$ , respectivamente.

Segundo metodologia proposta por Barnes, citado por CUSTÓDIO e LLAMAS (1983), o  $\alpha$  é utilizado para a separação do escoamento superficial do escoamento subterrâneo. Usando tal metodologia, BRASIL (1996) constatou, com base em dados de 17 estações fluviométricas situadas na bacia do Paracatu, que o escoamento subterrâneo representou, em média, 59,5% do escoamento total, tendo esta proporção variado de 51 a 74% dentre as 17 estações analisadas.

## **2.4. Modelos hidrológicos**

Os modelos hidrológicos são ferramentas utilizadas para melhor entender e representar o comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica. A aplicação destes modelos é limitada pela heterogeneidade física da bacia e dos processos envolvidos no ciclo hidrológico, o que tem propiciado o desenvolvimento de um grande número de modelos (TUCCI et al., 2002).

Com o aumento da disponibilidade de computadores a partir do final da década de 1950, criaram-se condições que propiciaram um acelerado processo de desenvolvimento de modelos hidrológicos baseados em conceitos físicos, em substituição aos modelos até então existentes e que utilizavam somente métodos de indicadores estatísticos (TUCCI, 1998). O aumento da disponibilidade de computadores também possibilitou o aprimoramento dos próprios métodos baseados em indicadores estatísticos devido a automação dos processos envolvidos na aplicação destes métodos.

Os modelos hidrológicos são divididos em dois grandes grupos: determinístico e estocástico. Chow, citado por TUCCI (1998), define que se o modelo considera a chance de ocorrência das variáveis, ou seja, utiliza o conceito de probabilidade este é dito estocástico, entretanto se o modelo considera um processo definido que não esteja baseado no conceito de probabilidade, o modelo é dito determinístico.

### **2.4.1. Modelos estocásticos**

Os modelos estocásticos baseiam-se na análise da estrutura de dependência temporal das séries de vazões, ou seja, as simulações são baseadas somente nas vazões do passado, não sendo fundamentados nos processos de formação das vazões (CARVALHO, 2001). Assim, uma das principais desvantagens dos modelos estocásticos é que estes não consideram os princípios físicos do processo de formação de vazões, sendo, portanto, inapropriados para representar as vazões em condições de mudanças no clima ou no uso do solo (CLARKE e DIAS, 2002).

Os modelos estocásticos são classificados em dois grupos: os estacionários e os periódicos. Os modelos estacionários são aplicados quando a série de vazões analisadas é estacionária, ou seja, quando não ocorrem modificações expressivas nas suas características estatísticas ao longo do tempo, entretanto caso a série de vazões apresente alterações ao longo do tempo os modelos aplicados a estas séries são ditos periódicos ou não estacionários (KELMAN et al., 1987).

Dentre os modelos estocásticos estacionários citam-se os modelos probabilísticos que são utilizados para representação de eventos extremos, sendo os modelos mais empregados para esta finalidade os modelos Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III, Gumbel e Weibull. EUCLYDES et al. (1999) propuseram uma rotina computacional, denominada RH 3.0, que aplica diferentes modelos probabilísticos aos dados da série histórica em análise, sendo aplicados o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, a diferentes níveis de significância, e o coeficiente de variação para verificar qual modelo probabilístico que melhor se ajusta aos dados da série histórica.

AZEVEDO (2004) aplicou vários modelos probabilísticos para caracterizar as vazões mínimas com sete dias de duração da bacia do rio Paranã – TO, constatando que os modelos Log-Normal a dois parâmetros e Log-Normal a três parâmetros foram os modelos que melhor se ajustaram aos dados observados. SILVA et al. (2002) também aplicaram diversos modelos probabilísticos para caracterizar as vazões máximas da sub-bacia do rio Contas (sub-bacia 52), constatando que os modelos Log-Normal a dois parâmetros e Pearson tipo III foram os que melhor se ajustaram aos dados observados.

Outros modelos estocásticos muito utilizados para a previsão de vazões são os modelos auto-regressivos, os quais utilizam as séries de vazões passadas para predizer a vazão atual. Estes modelos podem ser estacionários ou periódicos e apresentam parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, coeficiente de auto-correlação, etc.) diferentes uns dos outros. Dentre estes modelos cita-se o modelo PAR(p) que possui estrutura periódica e é utilizado para previsão de vazões médias mensais. Tal modelo é visto como uma forma sintética de representar um conjunto de 12 regressões (uma para cada mês do ano), sendo que em cada uma destas regressões são consideradas

como variáveis previsoras da vazão do mês atual as vazões nos p meses imediatamente antecedentes (KELMAN, 1987).

No Brasil, os modelos auto-regressivos são bastante utilizados para a previsão das vazões afluentes a reservatórios, sendo para tanto, criado diversas rotinas computacionais que aplicam vários modelos auto-regressivos verificando qual modelo foi mais representativo aos dados da série histórica. Dentre estes modelos computacionais destacam-se o PREVIVAZ (Previsão de vazões semanais), o PREVIVAZM (Previsão de vazões mensais) e o PREVIVAZH (Previsão de vazões diárias), todos desenvolvidos pelo Centro de Pesquisa de Energia Elétrica – CEPEL.

COSTA et al. (2003) aplicaram o modelo PREVIVAZM para prever as vazões afluentes mensais aos aproveitamentos hidrelétricos de quatro bacias brasileiras (Paraná, Paranaíba, São Francisco e Tietê) concluindo que o aprimoramento do modelo incorporando outras informações que não apenas as vazões passadas, como, por exemplo, as precipitações, poderia melhorar a qualidade das previsões de vazões.

GUILHON e CARPIO (2003) compararam três modelos para a previsão das vazões afluentes semanais na usina hidrelétrica de Foz de Areia, situada na bacia do Paraná, no período de abril de 2000 a março de 2001. Os modelos comparados foram o PREVIVAZ, o PREVIVAZH e um terceiro modelo proposto pelos autores que utiliza um processo empírico em que a vazão é estimada por uma função polinomial que tem como variáveis independentes as precipitações e as vazões das semanas anteriores. O modelo que apresentou o melhor ajuste aos dados observados foi o proposto pelos autores, com erro médio de 18%, seguido pelos modelos PREVIVAZH e PREVIVAZ, com erros de 28 e 32%, respectivamente.

#### **2.4.2. Modelos determinísticos**

Os modelos determinísticos podem ser classificados como conceituais ou empíricos. Um modelo é dito conceitual quando as funções utilizadas na sua elaboração levam em consideração os processos físicos, ou seja, os processos que representam o ciclo hidrológico. Esta definição é estabelecida para diferenciar os modelos que consideram os processos físicos dos modelos ditos “caixa-preta” ou

empíricos. Tais modelos são aqueles em que se ajusta uma relação causa-efeito entre as variáveis de entrada e as variáveis de saída, através de funções que não têm relação com os processos físicos envolvidos (TUCCI, 2002).

Dentre os modelos determinísticos empíricos ditos “caixa-preta” mais difundidos nos últimos anos destaca-se aquele baseado nos processos de redes neurais, que utiliza diferentes equações ou modelos de equações diferenciais para identificar um mapeamento direto entre entrada e saída, sem a consideração da estrutura do processo físico. LIMA e FERREIRA FILHO (2003) aplicaram os modelos baseados em redes neurais para a previsão de vazões mensais no posto fluviométrico Fazenda Cajazeiras, no Estado do Ceará, no período de 1963 a 2000, constatando que os melhores resultados nas previsões de vazões mensais foram obtidos quando da consideração dos dados de entrada da vazão do mês anterior e das precipitações médias mensais do mês atual, do mês anterior e de dois meses anteriores à ocorrência das vazões.

Os modelos determinísticos conceituais são ainda classificados em concentrados e distribuídos, sendo que os primeiros utilizam informações médias da bacia ou do trecho em análise, enquanto os distribuídos discretizam as informações no espaço em sub-bacias e em sub-trechos. Os modelos distribuídos não garantem necessariamente melhores resultados do que os modelos concentrados, mas quando agregados às técnicas associadas aos sistemas de informações geográficas tem propiciado melhor representatividade espacial e temporal do comportamento dos processos hidrológicos (OLIVEIRA, 2003).

A vantagem dos modelos determinísticos conceituais é que estes estão baseados nos processos físicos de formação das vazões, podendo assim modelar as vazões em condições de mudanças no clima ou no uso do solo. Estes modelos, entretanto, introduzem parâmetros de difícil obtenção e que, na maioria das vezes, precisam ser estimados, o que gera uma dificuldade adicional na aplicação do modelo e o risco destes não representarem adequadamente as condições reais da bacia. COLLISCHONN e TUCCI (2001) salientam que a integração de todos os processos hidrológicos de uma bacia é representada pela vazão e ao ajustar o modelo somente

com o dado de saída (vazão) acarreta infinitas combinações de parâmetros plausíveis para a sua representação, o que gera fortes incertezas na definição real dos parâmetros.

Existe na literatura um grande número de modelos hidrológicos conceituais, sendo que cada um possui algoritmos empíricos dos processos hidrológicos representados (TUCCI, 1998). Dentre estes modelos pode-se citar: TOPMODEL (Topographic Based Hydrological Model), SWAT (Soil an Water Assessement Tool), NAVMO (Niedeschlag – Abfluss – Verdungstung Modell), ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environment Response Simulation), entre outros. Segundo CANEDO (1989), qualquer modelo hidrológico, mesmo quando se trata de um modelo adequado e aplicado nas melhores condições, fornecerá resultados com incertezas, devido as imprecisões no registro de dados hidrometeorológicos da bacia hidrográfica e calibração dos parâmetros dos modelos.

O modelo TOPMODEL é baseado em um índice topográfico calculado a partir do modelo digital de elevação do terreno que representa a maior ou menor propensão de qualquer local da bacia de apresentar condições de saturação no solo. Tal índice também é utilizado para a determinação do gradiente hidráulico na zona saturada, o qual é representado pela declividade da superfície do terreno. A precipitação e a evapotranspiração potencial são consideradas homogêneas em toda a bacia, isto é, assume-se um valor médio. O modelo considera que a transmissividade de água no solo decresce exponencialmente com a profundidade, sendo necessário para a estimativa desta variável o ajuste de um parâmetro que representa a taxa de declínio da transmissividade com a profundidade. O escoamento subterrâneo é calculado como uma função que depende do gradiente hidráulico e da transmissividade de água no solo. Outro parâmetro utilizado no modelo é a capacidade máxima de armazenamento de água na zona radicular, que serve de subsídio para a determinação da evapotranspiração real, sendo esta calculada como uma função da evapotranspiração potencial e da quantidade de água armazenada na zona radicular (VARELLA e CAMPANA, 2000).

SCHULER (1998) aplicou o modelo TOPMODEL na bacia do rio Corumbataí, localizada no Estado de São Paulo, constatando que o modelo simula razoavelmente as vazões no leito do rio, sendo necessário utilizar diferentes combinações de valores dos

parâmetros, muitas vezes sem significado real, o que torna a validade física do modelo questionável. Também aplicando o modelo TOPMODEL na bacia do rio Corumbataí, MORAES et al. (2003) compararam as variáveis obtidas por este modelo com as medidas em campo, constatando que a variável condutividade hidráulica do solo saturado apresentou valores calibrados pelo modelo muito acima dos medidos em campo.

O modelo SWAT é baseado em sub-rotinas que consideram o escoamento superficial, percolação, fluxo lateral sub-superficial e subterrâneo, e evapotranspiração, sendo operado em uma base de dados diária. As entradas de dados no modelo são: precipitação, temperaturas máxima e mínima do ar, radiação solar, velocidade do vento e umidade relativa, sendo ainda necessário o modelo digital de elevação do terreno e o tipo e uso do solo. Para obtenção do escoamento superficial o modelo utiliza o método do Número da Curva (CN) e a evapotranspiração potencial é calculada pelo método de Penman Monteith (MACHADO et al., 2003). A curva de recessão é utilizada para determinação do escoamento subterrâneo sendo necessário a calibração do parâmetro que representa a taxa de declínio ( $\alpha$ ) do escoamento subterrâneo. Além deste outros 15 parâmetros são utilizados no modelo, dentre eles os coeficientes que representam a condutividade hidráulica e a percolação de água no solo (SPRUILL et al., 2003).

MACHADO et al. (2003) aplicaram o modelo SWAT para simular o escoamento produzido em uma sub-bacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins (Ad = 5.973 ha), afluente do rio Piracicaba, situado no Estado de São Paulo, constatando que o modelo superestimou as vazões mínimas, sendo considerado o ajuste do fator  $\alpha$  como o maior responsável por este comportamento no período de estiagem.

Com o intuito de representar um modelo de previsão de vazões em grandes bacias, para geração de séries de vazões em locais sem informações fluviométricas e para análise das consequências das mudanças de uso do solo, COLLISCHONN e TUCCI (2001) apresentaram um modelo hidrológico baseado na distribuição de células regulares, as quais são sub-divididas em blocos, de acordo com as informações sobre os tipos e usos do solo e a cobertura vegetal da bacia, sendo necessário para

tanto imagens de satélite e modelo digital de elevação do terreno. A variabilidade espacial da precipitação é considerada através da interpolação dos dados dos postos pluviométricos para cada uma das células e a evapotranspiração é estimada, para cada célula, através do método de Penman Monteith. A propagação de vazão no interior de cada célula é realizada utilizando a metodologia do reservatório linear simples, considerando simultaneamente três processos: escoamento superficial, escoamento sub-superficial e escoamento subterrâneo, sendo que cada escoamento possui um parâmetro que representa o tempo de retardo que a água sofre para transferência de uma célula para outra. Para a aplicação do modelo é necessário o ajuste de nove parâmetros, que estão associados aos processos de transformação da precipitação e da evapotranspiração no escoamento total na saída da bacia. Os autores aplicaram o modelo na bacia do rio Taquari-Antas, situada no estado do Rio Grande do Sul, sendo os parâmetros do modelo ajustados para os dados no período 1970 a 1980. Quando foram aplicadas simulações para as vazões na década de 1960 o modelo em geral superestimou as vazões observadas, sendo este comportamento justificado tanto pela ocorrência de alterações antrópicas na bacia como por mudanças climáticas representadas pelo aumento da precipitação depois de 1970.

## **2.5. Regionalização de vazões**

A regionalização de vazões é uma técnica utilizada para suprir a carência de informações hidrológicas em locais com pouca ou nenhuma disponibilidade de dados, sendo considerada uma ferramenta de suma importância no gerenciamento dos recursos hídricos. Os modelos de regionalização de vazões buscam uma melhor estimativa das vazões em seções que não possuem medições fluviométricas, não sendo recomendada a utilização destes modelos em seções que possuem medições, pois os mesmos não substituem as informações reais (SILVA JÚNIOR et al., 2002).

### 2.5.1. Método tradicional

Um dos métodos mais difundidos para a regionalização de vazões é o método tradicional, o qual é descrito pela ELETROBRÁS (1985a) e que consiste nas seguintes etapas: identificação de regiões hidrologicamente homogêneas e no ajuste de equações de regressão entre as diferentes variáveis a serem regionalizadas e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea.

As características físicas da bacia 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. Pilgrim, citado por CATALUNHA (2004), salienta que dentre estas características, a área de drenagem é aquela que tem sido mais utilizada nestes estudos, sendo que esta variável geralmente possui boa correlação com as outras características físicas da bacia. SILVA et al. (2003) aplicaram o método tradicional para a regionalização das vazões médias, máximas e mínimas, e da curva de permanência na bacia 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 freqüente 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 freqüente 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.

Em estudo de regionalização de vazões na bacia do Paracatu, utilizando o método tradicional, EUCLYDES et al. (1998) constataram que as variáveis físicas que melhor explicaram o comportamento das vazões máxima, da  $Q_{7,10}$ , da  $Q_{95\%}$  e da  $Q_{mld}$  foram a área de drenagem, o comprimento do curso d'água e a densidade de drenagem, verificando que a inserção da variável precipitação não resultou melhora significativa nos modelos. O Estado de Minas Gerais possui estudos de regionalização de vazões realizados por EUCLYDES et al. (2004), utilizando o método tradicional, para as 14

regiões hidrográficas do estado, inclusive para bacia do Paracatu. A partir deste estudo é possível obter em qualquer seção da hidrografia do Estado, e utilizando como única variável a área de drenagem, as seguintes vazões: mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), média de longa duração ( $Q_{mld}$ ), máxima associada a diversos períodos de retorno e vazões associadas a diversas permanências.

BAENA et al. (2002) estudaram o efeito de diferentes escalas cartográficas na determinação de características físicas da bacia do rio Paraíba do Sul, constatando a existência de uma influência expressiva da escala na rede de drenagem e pequeno efeito na área de drenagem. Desta 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 desta variável em modelos de regionalização de vazões deva ser evitado.

Em estudo de regionalização de vazões pelo método tradicional nas sub-bacias 46, 47, 48 e 49 do rio São Francisco, RAMEH et al. (2003) propuseram, além das variáveis físicas e climáticas comumente utilizadas em estudos de regionalização de vazões, a inserção de uma variável que representa a permeabilidade do solo, sendo esta variável obtida de mapas temáticos elaborados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE), mostrando que a inserção desta variável propiciou melhora expressiva no desempenho dos modelos. Assim, os autores concluíram que a inclusão de variáveis explicativas relacionadas com o processo de formação das vazões nos cursos d'água é de extrema importância para estudos de regionalização.

### **2.5.2. Outros métodos para a regionalização de vazões**

Quando as bases de dados disponíveis em uma bacia hidrográfica são reduzidas, a regionalização de vazões pelo método tradicional, considerando regiões hidrologicamente homogêneas e equações de regressões regionais, apresenta grandes restrições. Como a maioria das bacias hidrográficas brasileiras possui escassez de informações, a precisão e o uso deste método de regionalização pode se tornar não recomendável.

A proposição de uma metodologia de regionalização de vazões que necessite menos informações que o método tradicional e que proporcione uma boa confiabilidade vem a ser uma grande contribuição para o gerenciamento dos recursos hídricos, colaborando, assim, para a otimização do uso da água e, conseqüentemente, para a minimização dos conflitos entre os usuários.

Diversas metodologias tem sido desenvolvidas com o intuito de superar as limitações das bases de dados existentes na maioria das bacias hidrográficas brasileiras. Dentre elas destaca-se a metodologia baseada na interpolação linear, descrita pela ELETROBRÁS (1985b), a qual obtém as vazões relativas à seção de interesse utilizando as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas. Assim, quando a seção de interesse encontra-se entre dois postos fluviométricos a vazão 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 isto 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 o autor recomenda que a aplicação desta metodologia somente deve ser feita quando a diferença das áreas de drenagem das duas seções analisadas é inferior a três vezes uma em relação a outra (ELETROBRÁS, 1985b).

Também com a finalidade de propor um método que seja condizente com a realidade da maioria das bacias hidrográficas brasileiras, CHAVES et al. (2002) desenvolveram metodologia de interpolação e extrapolação de vazões mínimas a qual apresenta soluções que 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.

Em estudo na bacia do alto São Francisco, EUCLYDES et al. (2001) propuseram uma outra metodologia para regionalização de vazões a qual correlaciona a  $Q_{mld}$  com as precipitações efetivas médias anuais, sendo esta obtida a partir da precipitação média anual e do coeficiente de deságüe espacializados na bacia hidrográfica. Os autores constataram que a partir da precipitação efetiva média anual espacializada na bacia é possível estimar a  $Q_{mld}$  e, a partir desta, obter a vazão máxima

para o período de retorno de 50 anos, a  $Q_{7,10}$  e a  $Q_{95\%}$ . Porém, os autores recomendam, para fins de planejamento, o procedimento pelo método tradicional de geração de regiões hidrologicamente homogêneas e regressões regionais.

### **2.5.3. 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 da interpolação linear, tradicional e a proposta por CHAVES et al. (2002) na sub-bacia 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 CHAVES et al. (2002), com erros relativos médios de 55,2 e 59,6%, respectivamente. O autor ainda observou que as vazões obtidas pelo método de CHAVES et al. (2002), 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) compararam as metodologias tradicional com a metodologia proposta pelos próprios autores para a estimativa da  $Q_{7,10}$  na bacia do rio Itapicuru, situada no Estado da Bahia, constatando 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 comparam as metodologias da interpolação linear, tradicional e uma terceira metodologia que é baseada na utilização do coeficiente de deságüe como parâmetro regional para a sub-bacia do rio Carreiro ( $A_d = 2.000 \text{ km}^2$ ), situada no Estado do Rio Grande do Sul. Os 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 foram realizados 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 do rio Ijuí, situada no Estado do Rio Grande do Sul, SILVA JÚNIOR et al. (2002) verificaram o comportamento da extrapolação das  $Q_{mld}$  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 destas variáveis, apresentando uma tendência de superestimativa destas vazões.

## **2.6. Gestão de recursos hídricos**

Com o aumento desordenado da intensidade e variedade dos usos dos recursos hídricos surgiram vários problemas como a escassez deste recurso e conflitos entre os diversos usuários. Assim, a abordagem integrada do planejamento do uso e da gestão compartilhada dos recursos hídricos é considerada prática necessária e inadiável para reduzir estes problemas a um patamar mínimo (ANJOS, 2003).

O gerenciamento ou gestão de um recurso ambiental consiste na articulação do conjunto de ações dos diferentes agentes sociais e econômicos iterativos, objetivando compatibilizar o uso, o controle e a proteção deste recurso ambiental, disciplinando as respectivas ações antrópicas, de acordo com a política estabelecida para o mesmo, de modo a atingir o desenvolvimento sustentável (FREITAS, 2000).

Para praticar uma adequada gestão de recursos hídricos é necessário dispor de bancos de dados e metodologias apropriadas à quantificação destes recursos, devendo ainda o processo de gestão ser constituído por uma política que estabeleça as diretrizes gerais, por um modelo de gerenciamento que estabeleça a organização administrativa e funcional, e por um sistema de gerenciamento constituído pelo conjunto de organismos, agências e instalações governamentais e privadas para a execução da política (FREITAS, 2000).

Para a aplicação de um melhor planejamento e gestão de recursos hídricos é necessária a utilização de técnicas e ferramentas capazes de auxiliar os processos de análise, operação, planejamento e tomada de decisão em recursos hídricos. Assim, pelas facilidades crescentes do uso da informática, vários modelos matemáticos aplicados na área de gestão de recursos hídricos têm sido desenvolvidos, dentre eles os denominados modelos de rede de fluxo. Tais modelos utilizam uma rede de fluxo que é formada de “nós” e “arcos”, onde os nós representam reservatórios, demandas, retorno de água, confluências e outros pontos importantes de um sistema, e os arcos são os elos de ligação entre os nós e representam trechos de rio, adutoras, canais e outras estruturas. Entre as características principais desse tipo de modelo está a possibilidade de reunir características das técnicas de simulação e otimização, permitindo, na grande maioria dos casos, representar um sistema de recursos hídricos de forma adequada e flexível (LIMA et al., 2001).

Entre os modelos que representam os sistemas hídricos em redes de fluxo, pode-se citar os modelos MODSIM (desenvolvido na Universidade do Colorado por John Labadie), o Interactive River-Aquifer Simulation – IRAS (desenvolvido pela Resources Planning Associates e pela Universidade de Cornell) e o MIKE BASIN 2000 (desenvolvido pelo Danish Hydraulic Institute – DHI da Dinamarca).

O modelo MODSIM tem como objetivo principal estabelecer diretrizes gerenciais temporais (semanais ou mensais) para toda uma bacia hidrográfica ou uma sub-bacia. O modelo é capaz de gerar planos operacionais a fim de satisfazer metas, prioridades e limitações específicas, sendo também usado para avaliar compensações (trade-offs) entre usos conflitantes durante períodos de escassez de água (ALBANO e PORTO, 2003).

Azevedo et al. (2000), citado por LIMA (2002), aplicaram o modelo matemático MODSIM integrado ao modelo de qualidade de água QUAL2EUNCAS, para realizar o planejamento estratégico de recursos hídricos na bacia do rio Piracicaba, situada no Estado de São Paulo, mostrando que a solução dos complexos problemas na bacia requer aumento das vazões mínimas para atender as crescentes demandas e manter a derivação de água para a cidade de São Paulo. Para isso foram propostas medidas como programas de conservação, reuso de água e construção de

novos reservatórios, sendo tais medidas meios efetivos de tentar aumentar a quantidade e melhorar a qualidade da água.

O modelo IRAS foi desenvolvido para ajudar na avaliação do desempenho e do impacto de propostas alternativas e de políticas operacionais de sistemas de recursos hídricos. Cada sistema pode incluir diversos rios interagindo com múltiplos aquíferos, ou ele pode incluir somente uma parte de um único rio em uma pequena bacia hidrográfica. As potencialidades do modelo tornam-no atraente para a análise hidrológica de sistemas de abastecimento de água para consumo humano, produção de energia, irrigação ou sistemas de usos múltiplos (LIMA et al., 2001).

Bennett et al. (1994), citado por LIMA et al. (2001), apresentam uma aplicação do modelo IRAS para a bacia hidrográfica do rio Raritan, em New Jersey (EUA), visando o uso integrado das águas superficiais e subterrâneas, a manutenção de vazões mínimas ao longo do rio Raritan e o planejamento de estratégias necessárias para garantir o fornecimento das demandas futuras. Segundo os autores a aplicação do modelo IRAS na bacia Raritan demonstrou o grande potencial que este modelo apresenta, com simulação conceitualmente simples, flexível e com interface amigável.

O modelo MIKE BASIN 2000 é baseado em uma representação matemática das bacias hidrográficas que permite analisar diversos cenários conflitantes, indicando a melhor decisão a ser tomada, visando a obtenção de melhores benefícios técnicos-econômicos, sociais e ambientais. O modelo permite a integração com o sistema de informações geográficas através da interface do software ArcView GIS. Uma das vantagens do modelo é o seu reduzido tempo de processamento de dados, possibilitando a rápida avaliação de vários cenários (LIMA, 2002).

LIMA (2002) aplicou o modelo MIKE BASIN 2002 em estudo realizado na bacia do rio Piracicaba analisando os conflitos atuais e futuros entre os múltiplos usuários da água, tendo verificado que, devido às várias demandas da bacia, os conflitos entre os usuários se tornam inevitáveis, principalmente nos períodos de estiagem em que a disponibilidade de água é insuficiente para atender todas essas demandas. O autor constatou que para diminuir a magnitude e frequência dos conflitos atuais e futuros é recomendável um aumento nas vazões mínimas liberadas pelos reservatórios do Sistema Cantareira, os quais são utilizados para abastecer a cidade de

São Paulo e, conseqüentemente, redução das vazões transferidas para a região metropolitana de São Paulo, evitando assim um colapso nesse sistema.

Algumas restrições são encontradas para a aplicação adequada da gestão de recursos hídricos no Brasil, dentre elas citam-se a falta de um critério único para a concessão de outorga, as limitadas bases de dados e as inconsistências destas bases que acabam por limitar a quantificação das vazões nos mananciais.

A legislação relativa à outorga, na União e em alguns Estados do Brasil, para utilização dos recursos hídricos superficiais em cursos d'água estabelece critérios diferenciados das vazões utilizadas como referência para a concessão de outorga, sendo que a União adota 70% da  $Q_{95\%}$ , o Estado de Goiás 10% da  $Q_{7,10}$ , Minas Gerais 30% da  $Q_{7,10}$ , São Paulo 50% da  $Q_{7,10}$ , e o Distrito Federal, a Bahia e Pernambuco adotam 80% da  $Q_{90\%}$  como limites máximos das vazões a serem outorgadas (GARRIDO, 2003).

As entidades que necessitam definir a outorga do uso das águas defrontam com a falta de informações confiáveis na maioria das bacias hidrográficas brasileiras, o que limita o procedimento de concessão de outorga para o uso dos recursos hídricos (SILVEIRA, 1997).

PEREIRA (2004) evidenciou inconsistências na base de dados fluviométricos ao longo do rio São Francisco quando constatou reduções na magnitude das vazões média e mínima com o aumento da área de drenagem em situações que este comportamento não apresenta uma justificativa plausível. Para tentar minimizar o problema das inconsistências nas bases de dados fluviométricos, PEREIRA (2004) propôs um procedimento que consiste em um ajuste de equações de regressão às séries de dados para cada estação fluviométrica individualmente, sendo a proposta fundamentada na idéia de que a vazão obtida pela equação de ajuste e que considera as informações de todas as estações fluviométricas situadas no rio é mais representativa que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada. Logo, procedimentos que minimizam as inconsistências nas bases de dados, tornando as informações mais confiáveis, são de grande valia para os órgãos de gestão de recursos hídricos.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Dados utilizados no estudo

Para a realização do estudo foram analisados os dados consistidos correspondentes ao período de 1970 a 2000 de 21 estações fluviométricas (Quadro 1) e de 30 estações pluviométricas (Quadro 2) pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). As áreas de drenagem apresentadas no Quadro 1 foram obtidas pelo mapa digitalizado na escala de 1:100.000 correspondente a rede hidrográfica, não sendo portanto obtidas do inventário fluviométrico. A localização das estações fluviométricas e pluviométricas na bacia do Paracatu é apresentada nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

##### 3.1.1. Vazões médias e mínimas

Pela análise dos dados das 21 estações fluviométricas estudadas, obteve-se a vazão média anual de longa duração ( $Q_{mld}$ ) pela média das vazões médias anuais. As vazões mínimas utilizadas no estudo foram as vazões associadas às permanências de 90% ( $Q_{90\%}$ ) e 95% ( $Q_{95\%}$ ) e a mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ).

Os valores de  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  foram obtidos das curvas de permanência de cada estação fluviométrica com base em dados diários, retratando a parcela de tempo que determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado.

Quadro 1 – Estações fluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km <sup>2</sup> )	Curso d' Água
42250000	Fazenda Limoeiro	17° 54' 56"	47° 00' 38"	490	Rio Claro
42251000	Fazenda Córrego do Ouro	17° 36' 48"	46° 51' 31"	1.846	Rio Escuro
42255000	Fazenda Nolasco	17° 13' 48"	47° 01' 20"	264	Ribeirão Santa Isabel
42257000	Barra do Escurinho	17° 30' 45"	46° 38' 46"	2.035	Ribeirão Escurinho
42290000	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	7.756	Rio Paracatu
42395000	Santa Rosa	17° 15' 19"	46° 28' 26"	12.537	Rio Paracatu
42435000	Fazenda Barra da Égua	16° 52' 28"	46° 35' 12"	1.591	Ribeirão Barra da Égua
42440000	Fazenda Poções	17° 02' 31"	46° 49' 04"	545	Ribeirão São Pedro
42460000	Fazenda Limeira	16° 12' 35"	47° 13' 58"	3.901	Rio Preto
42490000	Unai	16° 20' 58"	46° 52' 48"	5.265	Rio Preto
42540000	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	5.844	Rio Preto
42545500	Fazenda o Resfriado	16° 30' 10"	46° 39' 46"	697	Ribeirão Roncador
42546000	Fazenda Santa Cruz	16° 08' 06"	46° 44' 52"	554	Rio Salobro
42600000	Porto dos Poções	16° 50' 23"	46° 21' 26"	9.419	Rio Preto
42690001	Porto da Extrema	17° 01' 49"	46° 00' 49"	28.721	Rio Paracatu
42750000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	31.401	Rio Paracatu
42840000	Veredas	18° 08' 19"	45° 45' 32"	185	Rio Santo Antônio
42850000	Cachoeira das Almas	17° 21' 02"	45° 31' 57"	4.370	Rio do Sono
42860000	Cachoeira do Paredão	17° 07' 16"	45° 26' 08"	5.679	Rio do Sono
42930000	Porto do Cavalo	17° 01' 50"	45° 32' 22"	40.869	Rio Paracatu
42980000	Porto Alegre	16° 46' 29"	45° 22' 55"	41.868	Rio Paracatu

Quadro 2 – Estações pluviométricas utilizadas no estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)
01546005	Cabeceiras	15° 48' 03"	46° 55' 29"	900
01547002	Planaltina	15° 27' 12"	47° 36' 48"	1.000
01645000	São Romão	16° 22' 18"	45° 04' 58"	472
01645002	Santo Inácio	16° 16' 54"	45° 24' 51"	460
01645003	Barra do Escuro	16° 16' 07"	45° 14' 16"	437
01645009	Cachoeira da Manteiga	16° 39' 25"	45° 04' 51"	-
01645013	Fazenda Água Branca	16° 48' 26"	45° 01' 49"	-
01646000	Porto dos Poções	16° 49' 47"	46° 19' 20"	540
01646001	Unai	16° 21' 05"	46° 53' 23"	-
01646003	Santo Antônio do Boqueirão	16° 31' 47"	46° 43' 16"	-
01647001	Ponte São Bartolomeu	16° 32' 16"	47° 48' 02"	790
01647002	Cristalina	16° 45' 23"	47° 36' 22"	1.239
01744006	Pirapora-Barreiro	17° 21' 50"	44° 56' 54"	471
01745000	Caatinga	17° 08' 45"	45° 52' 49"	502
01745001	Cachoeira do Paredão	17° 06' 40"	45° 26' 16"	520
01745007	Porto do Cavalo	17° 01' 37"	45° 32' 26"	473
01746001	Porto da Extrema	17° 01' 51"	46° 00' 49"	510
01746002	Santa Rosa	17° 15' 19"	45° 28' 26"	490
01746006	Ponte da BR-040 (Prata)	17° 39' 49"	46° 21' 18"	-
01746007	Ponte da BR-040 (Paracatu)	17° 30' 10"	46° 34' 18"	-
01746008	Paracatu	17° 13' 00"	46° 52' 00"	-
01747001	Campo Alegre de Goiás	17° 30' 15"	47° 33' 20"	800
01747005	Guarda Mor	17° 46' 21"	47° 05' 55"	-
01845013	São Gonçalo do Abaeté	18° 20' 37"	45° 50' 12"	836
01846003	Major Porto	18° 42' 25"	46° 02' 13"	672
01846005	Presidente Olegário	18° 24' 45"	46° 25' 20"	-
01846016	Ponte Firme	18° 02' 02"	46° 25' 10"	-
01846017	Leal dos Patos	18° 38' 28"	46° 20' 04"	-
01847003	Abadia dos Dourados	18° 29' 28"	47° 24' 23"	784
01847040	Fazenda São Domingos	18° 06' 11"	47° 41' 41"	-

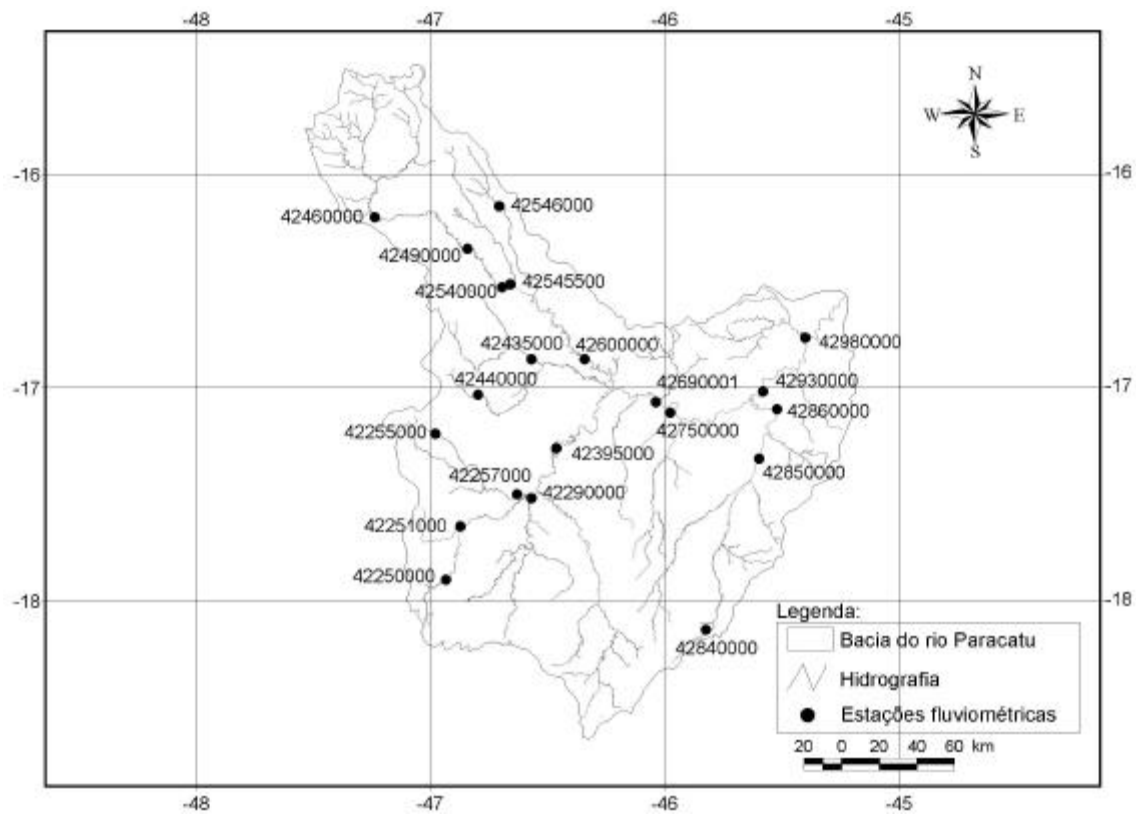


Figura 1. Localização das estações fluviométricas utilizadas no estudo.

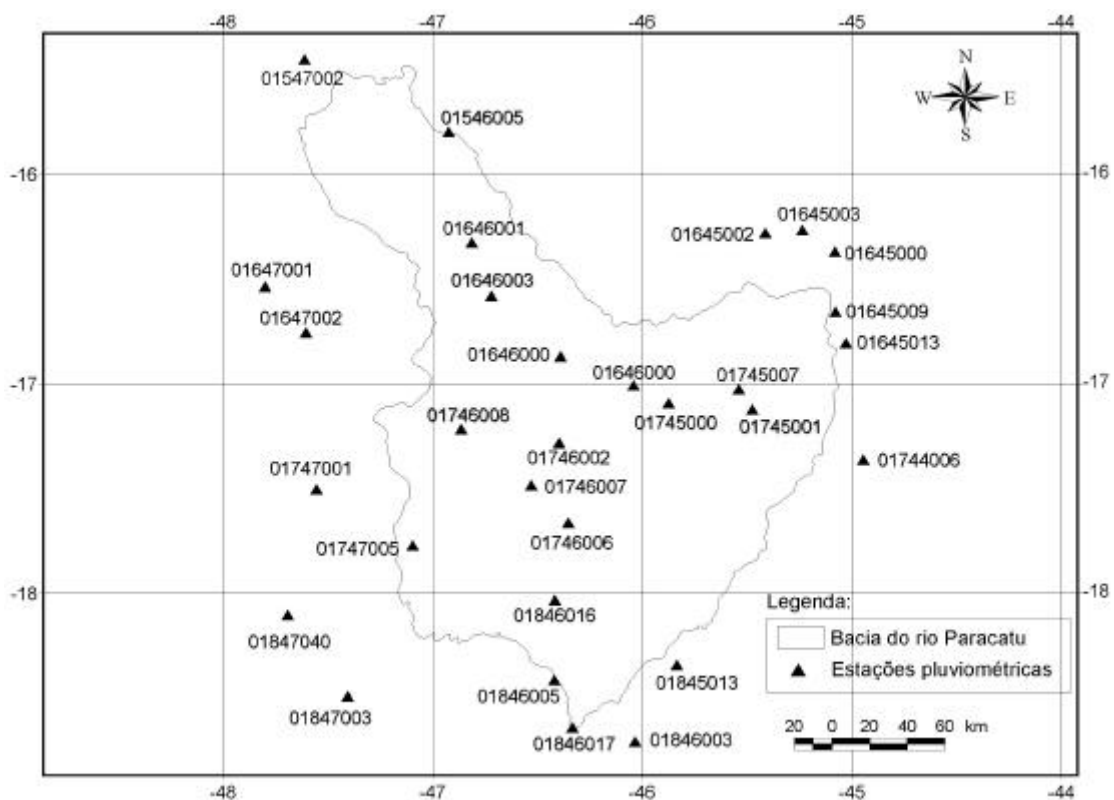


Figura 2. Localização das estações pluviométricas utilizadas no estudo.

Para a determinação da  $Q_{7,10}$  foi identificado, para cada ano considerado no estudo e para cada estação fluviométrica, o valor da vazão mínima pertinente à duração de sete dias ( $Q_7$ ) para então estabelecer o modelo probabilístico com melhor ajuste às séries da  $Q_7$ . Os modelos probabilísticos que foram analisados para representar a vazão mínima foram: Log-Normal a dois parâmetros, Log-Normal a três parâmetros, Pearson tipo III, Log-Pearson tipo III e Weibull.

A seleção da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou aos dados da série histórica da  $Q_7$  foi com base no teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, a diferentes níveis de probabilidade, e no coeficiente de variação. Foi escolhida a distribuição de probabilidade que apresentou significância a nível de 20% de probabilidade no teste de Kolmogorov-Smirnov, associada ao menor coeficiente de variação. Para obtenção da  $Q_{7,10}$  foi utilizado o programa RH 3.0 (EUCLYDES et al., 1999).

### **3.1.2. Precipitação média anual**

Para o cálculo da precipitação média nas áreas de drenagem das 21 estações fluviométricas estudadas foi empregado o método do Polígono de Thiessen, que atribui um fator de peso aos totais precipitados em cada aparelho 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 e, em seguida, traçando-se as mediatrizes dessas retas, formando polígonos. A precipitação média foi calculada pela média ponderada entre a precipitação de cada estação e o peso a ela atribuído.

Na seqüência apresenta-se o procedimento utilizado para o cumprimento de cada objetivo proposto.

## **3.2. Desenvolvimento do modelo para estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos**

Para a estimativa das vazões mínimas foi utilizada a curva de recessão do escoamento subterrâneo (equação 1), tendo sido feita, para a sua completa representação, a estimativa dos parâmetros que a definem, sendo estes a vazão subterrânea correspondente ao início do período de recessão ( $Q_0$ ) e a taxa de declínio das vazões subterrâneas ao longo do tempo, representada pelo coeficiente de recessão ( $\alpha$ ).

### **3.2.1. Caracterização dos parâmetros que definem a curva de recessão**

#### **3.2.1.1. Determinação da vazão subterrânea correspondente ao início do período de recessão**

A primeira etapa realizada para a obtenção da vazão correspondente ao início do período de recessão ( $Q_0$ ) foi a identificação do início da recessão do escoamento subterrâneo. Pela análise visual dos hidrogramas dos dados observados, para cada ano e para as 21 estações fluviométricas, constatou-se que os períodos mais frequentes de início da recessão do escoamento subterrâneo foram os meses de maio e junho, tendo-se adotado os dias primeiro de maio e primeiro de junho como as datas para avaliação do modelo que está sendo proposto.

Definida a data de início da recessão do escoamento subterrâneo foram ajustados modelos de regressão linear, potencial e exponencial, para cada uma das 21 estações fluviométricas, visando a representação das  $Q_0$  como uma função do total precipitado nos meses anteriores ao início do período de recessão. Foi avaliado o ajuste das  $Q_0$  com os totais precipitados considerando desde um único mês anterior ao início do período de recessão até o somatório das precipitações dos 12 meses anteriores ao início da recessão, com o que foi procedida a identificação do período que permitiu a melhor representação do comportamento das  $Q_0$ .

Visando generalizar a representação do comportamento das  $Q_0$  ao longo da bacia do Paracatu procedeu-se o ajuste de modelos de regressão linear, potencial e exponencial, utilizando os dados das 21 estações fluviométricas, para caracterizar as vazões específicas subterrâneas correspondentes ao início do período de recessão ( $q_0$ ) como uma função dos totais precipitados nos meses anteriores ao início do período de recessão. Os totais precipitados avaliados para o ajuste das  $q_0$  foram os mesmos avaliados para o ajuste das  $Q_0$  de cada estação fluviométrica.

### **3.2.1.2. Determinação do coeficiente de recessão**

A primeira etapa realizada para a obtenção do coeficiente de recessão ( $\alpha$ ) foi a identificação do início e do fim do período de recessão do escoamento subterrâneo. Conforme já descrito no item 3.2.1.1., as datas adotadas como de início do período de recessão do escoamento subterrâneo foram os dias primeiro de maio e primeiro de junho. Pela análise visual dos hidrogramas dos dados observados, para cada ano e para as 21 estações fluviométricas, constatou-se que os períodos mais freqüentes de final da recessão do escoamento subterrâneo foram o final do mês de setembro e o início do mês de outubro, devido a ocorrência de eventos de escoamento superficial neste período, tendo-se adotado o dia 30 de setembro como a data para representar o final da recessão do escoamento subterrâneo na determinação do  $\alpha$ .

Outra dificuldade encontrada na determinação do valor de  $\alpha$  foi a constatação de ocorrência no período de recessão do escoamento subterrâneo de pequenos picos no hidrograma ocasionados pelo escoamento superficial produzido a partir de eventos isolados de precipitações. Embora estes picos promovam expressiva variação no hidrograma, representam pequeno efeito na taxa de declínio do escoamento subterrâneo. A fim de minimizar o efeito destes eventos no valor de  $\alpha$  procedeu-se a individualização e quantificação dos escoamentos superficial e subterrâneo, o que foi feito utilizando o seguinte procedimento: identificou-se os pontos de início e fim do escoamento superficial, sendo o ponto de início definido visualmente como o ponto em que ocorre uma mudança brusca de inclinação das vazões no hidrograma e o ponto final como o ponto em que ocorre uma mudança da taxa de declínio das vazões; e

traçou-se uma reta entre os pontos de início e fim do escoamento superficial, sendo o escoamento subterrâneo obtido dos valores das ordenadas desta reta, e o escoamento superficial obtido pela diferença entre os valores da ordenada da curva do hidrograma e o escoamento subterrâneo.

Para obtenção do valor de  $\alpha$  ajustou-se a equação 1, para cada ano da série histórica e para as 21 estações fluviométricas, aos dados observados das vazões subterrâneas no período de recessão considerado. O  $\alpha$  correspondente a cada estação fluviométrica foi obtido pela média dos  $\alpha$  estimados para cada ano da série histórica da estação.

Visando analisar a viabilidade de um único valor de  $\alpha$  a toda bacia obteve-se a média dos valores de  $\alpha$  das 21 estações fluviométricas. Para estabelecer intervalos de valores de  $\alpha$  associados a probabilidades de ocorrências na bacia realizou-se o seguinte procedimento: ajustou-se um modelo de distribuição normal aos valores de  $\alpha$  de cada estação fluviométrica, sendo aplicado o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, ao nível de 20% de probabilidade, para verificar se a distribuição normal representa adequadamente os valores de  $\alpha$ ; e caso a distribuição normal fosse representativa aos valores de  $\alpha$  ajustou-se os intervalos de valores de  $\alpha$  associados às probabilidades de ocorrência de 68% (média ( $\bar{X}$ )  $\pm$  desvio padrão ( $s$ )), de 95% ( $\bar{X} \pm 2s$ ) e de 99% ( $\bar{X} \pm 3s$ ) na bacia.

### **3.2.2. Estimativa das vazões mínimas**

Uma vez obtida a curva de recessão do escoamento subterrâneo foi possível estimar as vazões diárias no período de recessão. Com estas vazões obteve-se a curva de permanência, para cada estação, a partir da análise da frequência de ocorrência das vazões simuladas, estimando assim os valores de  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ .

Para a estimativa da  $Q_{7,10}$  foi necessário primeiro a estimativa da  $Q_7$ , sendo esta obtida pela média dos últimos sete dias da curva de recessão ajustada. De posse das  $Q_7$  aplicou-se os modelos probabilísticos a esta série de dados, obtendo assim a  $Q_{7,10}$ .

### 3.2.3. Análise do comportamento dos modelos

Com os resultados das vazões mínimas estimadas ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ ) pelo modelo proposto para as 21 estações fluviométricas e os valores das vazões calculadas pela análise estatística dos dados observados para as mesmas seções analisadas foi avaliada a precisão das vazões estimadas pela análise do índice erro relativo percentual. O erro relativo entre o valor observado e o estimado foi calculado com o uso da seguinte equação:

$$ER = 100 \left( \frac{Q_{\text{calc}} - Q_{\text{est}}}{Q_{\text{calc}}} \right) \quad (2)$$

em que:

ER = erro relativo, %;

$Q_{\text{calc}}$  = vazão calculada pela análise estatística dos dados observados na seção fluviométrica; e

$Q_{\text{est}}$  = vazão estimada pelo modelo na seção fluviométrica.

De posse dos parâmetros  $Q_0$  e  $\alpha$  foram obtidas diversas combinações entre estes parâmetros para verificar qual combinação gerou uma curva de recessão que fosse mais representativa aos dados observados. No Quadro 3 são apresentados as diversas formas de estimativas dos parâmetros  $Q_0$  e  $\alpha$  utilizados para determinação da curva de recessão.

Conforme evidenciado no Quadro 3, o parâmetro  $Q_0$  foi obtido para duas datas, primeiro dia de maio e primeiro dia de junho, sendo utilizado para obtenção destas vazões os modelos de regressão ajustados individualmente para cada estação fluviométrica e o modelo de regressão generalizado para toda bacia como uma função dos totais precipitados. Ainda foram utilizadas as  $Q_0$  obtidas da série histórica para avaliar a sensibilidade do modelo às mudanças da estimativa do parâmetro  $\alpha$ . Este foi ajustado para dois períodos, primeiro de maio a 30 de setembro e primeiro de junho a

30 de setembro, sendo utilizado um  $\alpha$  correspondente a cada estação fluviométrica e um  $\alpha$  correspondente a média dos valores de  $\alpha$  das 21 estações fluviométricas.

Quadro 3. Formas de estimativas dos parâmetros  $Q_0$  e  $\alpha$  utilizados para determinação da curva de recessão

Parâmetro	Forma de estimativa
$Q_0$	Estimado individualmente para cada estação fluviométrica e para o dia primeiro de maio
	Estimado individualmente para cada estação fluviométrica e para o dia primeiro de junho
	Estimado utilizando os dados de todas as estações fluviométrica e para o dia primeiro de maio
	Estimado utilizando os dados de todas as estações fluviométrica e para o dia primeiro de junho
	Obtido da série histórica para o dia primeiro de maio
	Obtido da série histórica para o dia primeiro de junho
$\alpha$	Médio de cada estação fluviométrica e ajustado para o período de recessão de maio a setembro
	Médio de cada estação fluviométrica e ajustado para o período de recessão de junho a setembro
	Médio das 21 estações fluviométricas e ajustado para o período de recessão de maio a setembro
	Médio das 21 estações fluviométricas e ajustado para o período de recessão de junho a setembro

Uma das dificuldades evidenciadas para a estimativa das vazões mínimas pelo modelo proposto é a constatação em vários hidrogramas de que após a data de 30 de setembro ocorrem eventos de vazões mínimas, mesmo apresentando picos de escoamento superficial decorrente de precipitações neste período. Tendo em vista que a curva de recessão estimada pelo modelo proposto vai até 30 de setembro e que pela análise dos hidrogramas constatou-se que após esta data ocorrem eventos de vazões mínimas, procedeu-se análises de frequências de ocorrência ao longo do ano das  $Q_7$ ,  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$ , para verificar em qual período do ano ocorriam com maior frequência

estas vazões. De acordo com estas análises foram feitas várias simulações, prolongando-se a curva de recessão ajustada pelo modelo proposto até as datas que apresentaram maiores ocorrências das vazões mínimas, para verificar qual a data final do período de recessão é mais representativa aos dados observados de vazões mínimas.

### **3.3. Comparação dos modelos de regionalização de vazões**

Uma vez conhecidas as  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{mld}$  nas 21 estações fluviométricas para as quais foi realizado este trabalho procedeu-se o estudo de regionalização destas vazões na bacia do Paracatu, tendo sido utilizados e comparados cinco 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 de método tradicional. O segundo e o terceiro métodos analisados são baseados na interpolação/extrapolação das vazões relativas à seção de interesse, utilizando para tanto as vazões correspondentes às seções fluviométricas mais próximas, sendo estes os métodos denominados interpolação linear e CHAVES et al. (2002). O quarto e o quinto métodos estudados constituem em propostas de modificações nas metodologias da interpolação linear e CHAVES et al. (2002), sendo denominados neste trabalho como métodos da interpolação linear modificado e CHAVES modificado, respectivamente.

A comparação dos valores obtidos pelas cinco metodologias com aqueles estimados a partir dos dados observados foi feita com base no erro relativo percentual (Equação 2).

#### **3.3.1. Método tradicional**

Para a aplicação deste método foram utilizados os resultados obtidos por EUCLYDES et al. (2004) em estudo relativo à regionalização das vazões máxima, mínima e média de longo período para o Estado de Minas Gerais. Neste estudo os autores obtiveram, para a bacia do Paracatu, as regiões hidrologicamente homogêneas apresentadas na Figura 3 e os modelos de regressão apresentados no Quadro 4.

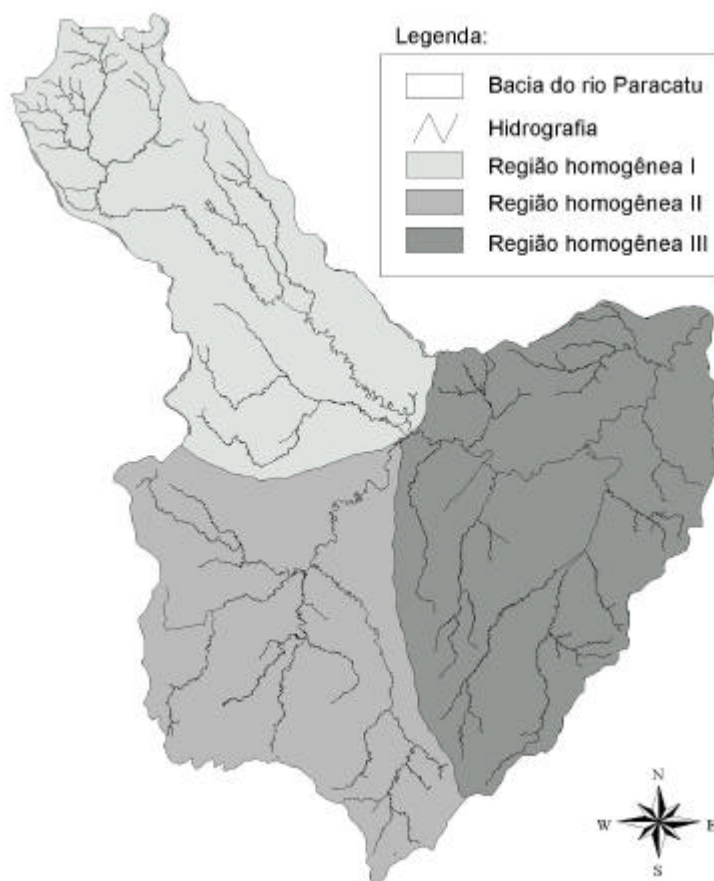


Figura 3. Delimitação das regiões hidrológicamente homogêneas na bacia do Paracatu (EUCLYDES et al., 2004).

Quadro 4 – Modelos de regressão recomendados para a representação da vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ), da vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) e da vazão associada à permanência de 95% ( $Q_{95\%}$ )

Região	Modelos recomendados
I	$Q_{mld} = 0,0169 A^{0,9777}$
	$Q_{7,10} = 0,0019 A^{1,0279}$
	$Q_{95\%} = 0,0029 A^{1,0018}$
II	$Q_{mld} = 0,0239 A^{0,9199}$
	$Q_{7,10} = 0,0042 A^{0,8944}$
	$Q_{95\%} = 0,0060 A^{0,9039}$
III	$Q_{mld} = 0,0066 A^{1,0568}$
	$Q_{7,10} = 1,94 \cdot 10^{-4} A^{1,1957}$
	$Q_{95\%} = 1,80 \cdot 10^{-4} A^{1,2414}$

Fonte: EUCLYDES et al., 2004

Aplicou-se as equações propostas por EUCLYDES et al. (2004) para os 21 postos fluviométricos, visando a comparação dos valores obtidos a partir da aplicação da metodologia com aqueles estimados a partir dos dados observados.

### 3.3.2. Método baseado na interpolação linear

Tal método é baseado no princípio de que a vazão na seção de interesse é obtida por uma relação de proporcionalidade entre as vazões e áreas de drenagem dos postos fluviométricos mais próximos. O método não necessita de definição de regiões hidrologicamente homogêneas, sendo, portanto, utilizadas as mesmas equações ao longo de toda a bacia hidrográfica.

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 3. 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 4.

$$Q_z = \left( \frac{Q_{m,j}}{A_{m,j}} \right) A_z \quad (3)$$

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z - A_m}{A_j - A_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (4)$$

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,  $\text{km}^2$ ;

$A_m$  = área de drenagem no posto de montante,  $\text{km}^2$ ; e

$A_j$  = área de drenagem no posto de jusante,  $\text{km}^2$ .

A quarta situação (caso 4) é 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. Neste caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 4) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a equação 3 para estimar a vazão na seção de interesse.

### 3.3.3. Método proposto por CHAVES et al. (2002)

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 para o cálculo da vazão desconhecida.

Assim, 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, sendo, portanto, a vazão na seção de interesse calculada pela equação 3. 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 equação:

$$Q_z = A_z \left[ \left( p_m \frac{Q_m}{A_m} \right) + \left( p_j \frac{Q_j}{A_j} \right) \right] \quad (5)$$

em que:

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

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

sendo:

$$p_m = \left( \frac{d_j}{d_m + d_j} \right) \quad (6)$$

$$p_j = \left( \frac{d_m}{d_m + d_j} \right) \quad (7)$$

em que:

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

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

A quarta situação (caso 4) é 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. Neste caso aplicou-se uma combinação das outras duas situações descritas anteriormente, sendo primeiramente calculada a vazão (equação 5) na seção de confluência. Estimada a vazão na confluência dos rios aplicou-se a equação 3 para estimar a vazão na seção de interesse.

### **3.3.4. Método da interpolação linear modificado**

Conforme descrito, o método baseado na interpolação linear considera que a vazão na seção de interesse é uma proporcionalidade entre as áreas de drenagem da seção de interesse e os postos fluviométricos mais próximos. Considerando que pelo processo físico de formação das vazões estas são mais dependentes dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem, propôs-se a modificação desta metodologia. Tal modificação consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto, considerando assim que a vazão na seção de interesse é também proporcional à relação entre os volumes precipitados. Desta forma, as equações 3 e 4 utilizadas no método baseado na interpolação linear passam a ser expressas pelas equações 8 e 9, respectivamente.

$$Q_z = \left( \frac{Q_{m,j}}{P_{m,j} A_{m,j}} \right) (A_z P_z) \quad (8)$$

$$Q_z = Q_m + \left( \frac{A_z P_z - A_m P_m}{A_j P_j - A_m P_m} \right) (Q_j - Q_m) \quad (9)$$

em que:

$P_{m,j}$  = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante ou de jusante, mm;

$P_z$  = precipitação média anual na área de drenagem da seção de interesse, mm;.

$P_m$  = precipitação média anual na área de drenagem do posto de montante, mm; e

$P_j$  = precipitação média anual na área de drenagem do posto de jusante, mm.

Para a situação em que 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, aplicou-se o mesmo procedimento do método original, porém usando as novas equações propostas neste método.

### 3.3.5. Método CHAVES modificado

Tal método é baseado no mesmo princípio utilizado pela proposição do método da interpolação linear modificado, ou seja, considerando o processo físico de formação das vazões estas são mais dependentes dos volumes precipitados do que das áreas de drenagem. Assim, o método CHAVES modificado consiste em inserir a variável precipitação média no método proposto por CHAVES et al. (2002), sendo a vazão obtida na seção de interesse proporcional ao volume precipitado nas áreas analisadas. Desta forma, as equações 3 e 5 utilizadas no método de CHAVES et al. (2002) passam a ser expressas pelas equações 8 e 10, respectivamente.

$$Q_z = (A_z P_z) \left[ \left( p_m \frac{Q_m}{A_m P_m} \right) + \left( p_j \frac{Q_j}{A_j P_j} \right) \right] \quad (10)$$

Para a situação em que 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, aplicou-se o mesmo procedimento do método original, porém usando as novas equações propostas neste método.

Para a aplicação das metodologias interpolação linear, CHAVES et al. (2002), interpolação linear modificado e CHAVES modificado, primeiramente observou-se no mapa da bacia, a posição dos postos fluviométricos mais próximos entre si, sendo então procedido o enquadramento destes postos nas quatro situações previstas nos métodos. Assim, partindo da nascente para a foz, foram obtidas as vazões em cada posto fluviométrico aplicando as equações propostas pelo método avaliado com base nos dados dos postos fluviométricos mais próximos a fim de comparar a vazão simulada com a observada.

### **3.4. Desenvolvimento de modelo para o ajuste das vazões na rede hidrográfica da bacia do Paracatu**

Uma das principais limitações encontradas na determinação das vazões para o gerenciamento dos recursos hídricos são as inconsistências na base de dados fluviométricos e a inexistência de metodologias disponíveis que garantam a continuidade das vazões na hidrografia da bacia. Visando superar estas limitações desenvolveu-se um modelo baseado no procedimento proposto por PEREIRA (2004) que estabelece um ajuste de equações de regressão às séries de dados calculados para cada estação fluviométrica individualmente, sendo fundamentado na idéia de que a vazão obtida pela equação de ajuste e que considera as informações de todas as estações fluviométricas situadas no rio é mais representativa que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada.

A metodologia proposta consiste em ajustar modelos de regressão para representação das  $Q_{mld}$ ,  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  em função da área de drenagem no rio principal, e a partir deste modelo obter as vazões na foz de cada rio afluente direto do rio principal. Para fins práticos na descrição da metodologia o rio principal será denominado de Rp, o rio afluente direto do rio principal será denominado Rad, e o rio afluente direto do Rad será denominado de Rad(1). Na Figura 4 é apresentada a rede hidrográfica da bacia do Paracatu considerada nesta análise, sendo que os números apresentados nesta figura indicam cada um dos rios para os quais foi realizado o ajuste de uma equação de regressão que caracteriza as vazões em função da área de drenagem.

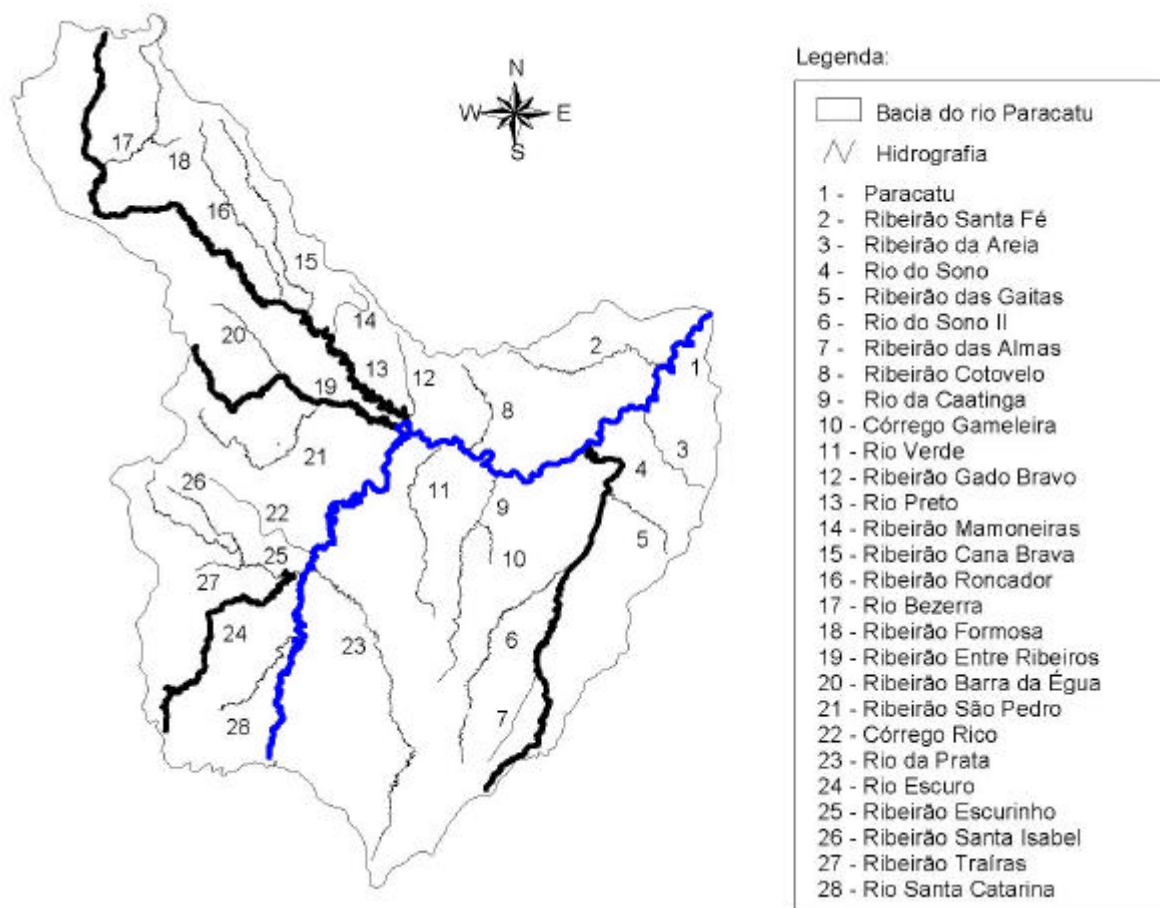


Figura 4. Rede hidrográfica da bacia do Paracatu para qual foi ajustada equações que caracterizam as vazões.

Na seqüência apresentam-se as etapas seguidas no desenvolvimento do modelo.

### 3.4.1. Ajuste da equação que caracteriza a vazão na hidrografia da bacia

Uma vez conhecidas as vazões observadas nos postos fluviométricos do rio principal (Rp), no presente caso correspondente ao rio Paracatu, foram ajustadas equações de regressão para a representação das  $Q_{mld}$ ,  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ , ao longo deste rio como uma função da área de drenagem correspondente a cada seção fluviométrica. Tais equações foram forçadas a passar pela origem uma vez que quando a área de drenagem é zero a vazão deve ser nula. Logo, com esta equação no Rp pode-se obter a vazão em qualquer seção situada neste rio necessitando apenas da área de drenagem da seção de interesse.

Uma vez obtido o modelo de regressão para o Rp procedeu-se a estimativa das vazões na foz dos rios que lhe são afluentes diretos (Rad). No mapa da bacia identificou-se o Rad e determinou-se a área de drenagem para o Rp imediatamente a montante da confluência com o Rad e a área de drenagem do Rad, sendo, conseqüentemente a área de drenagem imediatamente a jusante da confluência destes rios obtida pela soma destas áreas de drenagem. Este procedimento é detalhado na Figura 5, na qual é considerada a confluência dos rios Paracatu (Rp) e do Sono (Rad), sendo a área de drenagem correspondente à seção 2 obtida pela soma das áreas de drenagem correspondentes às seções 1 e 3.

De posse das áreas de drenagens das seções a montante e a jusante, da confluência dos Rp e Rad estimou-se as vazões nestas duas seções utilizando o modelo de regressão obtido para o Rp, sendo a diferença entre estas duas vazões aquela correspondente à vazão na foz do Rad.

De posse da vazão na foz do Rad e das vazões nos postos fluviométricos situados neste rio, procedeu-se o ajuste de uma equação de regressão para representação da vazão em função da área de drenagem, sendo este ajuste realizado de tal forma que a equação resultante produza uma vazão nula quando a área de drenagem é zero e uma vazão igual à estimada na foz do rio quando a área de drenagem é aquela correspondente à área de drenagem do rio. Para as situações em que o Rad não possuía nenhum posto fluviométrico a equação utilizada para descrever a vazão foi uma equação linear que passa pelos mesmos pontos descrito anteriormente.



Figura 5. Procedimento para a determinação das áreas de drenagem a montante e a jusante da confluência dos rios Paracatu e do Sono

Para a estimativa das vazões nos Rad(1) foi utilizado o mesmo procedimento descrito anteriormente, sendo utilizado a equação ajustada para o Rad para estimar as vazões imediatamente a montante e a jusante da confluência dos Rad e Rad(1) para então, através da diferença entre estas duas vazões, obter a vazão na foz do Rad(1).

Uma vez determinada as equações propostas que caracterizam as vazões na hidrografia da bacia do Paracatu, procedeu-se uma comparação entre estas equações com as obtidas por EUCLYDES et al. (2004) pelo método tradicional de regionalização de vazões apresentadas no item 3.3.1. Para fins práticos foram comparadas as equações ajustadas para os rios Preto e do Sono, sendo também calculada as vazões na foz destes rios pelas equações ajustadas no rio Paracatu, conforme procedimento descrito anteriormente, porém utilizando as equações propostas por EUCLYDES et al. (2004).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Modelo para estimar as vazões mínimas no Paracatu e seus afluentes a partir de dados pluviométricos

#### 4.1.1. Estimativa da vazão correspondente ao início do período de recessão

Nas Figuras 6 e 7 são apresentadas as equações de regressão ajustadas para caracterizar as vazões específicas do primeiro dia de maio ( $q_{1 \text{ maio}}$ ) e do primeiro dia de junho ( $q_{1 \text{ junho}}$ ), respectivamente, como uma função dos totais precipitados nos “n” meses anteriores a ocorrência destas vazões. Na realização do ajuste das equações que relacionam as vazões correspondentes ao primeiro dia de maio com os totais precipitados nos “n” meses anteriores à ocorrência destas vazões, duas estações fluviométricas (Fazenda o Resfriado e Fazenda Santa Cruz) não apresentaram um bom ajuste, enquanto para a estimativa das vazões correspondentes ao primeiro dia de junho quatro estações (Fazenda o Resfriado, Fazenda Santa Cruz, Veredas e Cachoeira das Almas) não apresentaram um bom ajuste. Assim sendo, para a obtenção da equação para a estimativa das vazões mínimas estas estações não foram consideradas, tendo estas estações também sido excluídas nas Figuras 6 e 7.

As equações que caracterizam a  $q_{1 \text{ maio}}$  (Figura 6) tiveram o melhor ajuste quando da consideração do total precipitado de outubro a abril, período em que ocorre cerca de 93% da precipitação total anual (Apêndice A). Para as equações que

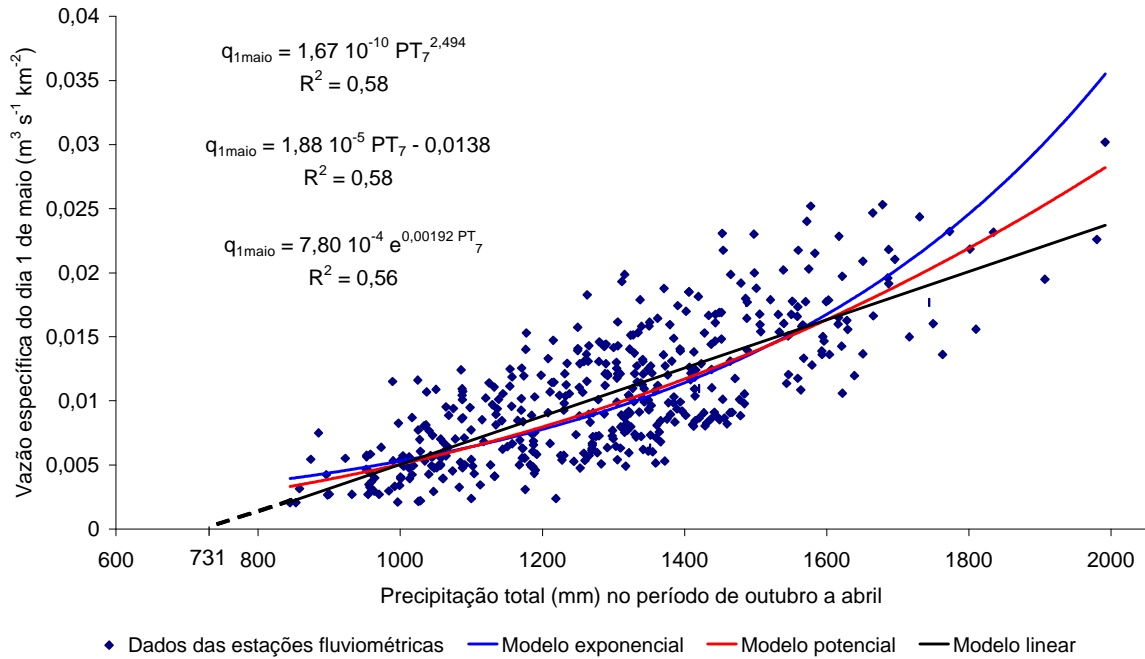


Figura 6. Vazão específica do primeiro dia de maio ( $q_{1\text{ maio}}$ ) em função do total precipitado nos sete meses anteriores ( $PT_7$ ) à ocorrência desta vazão.

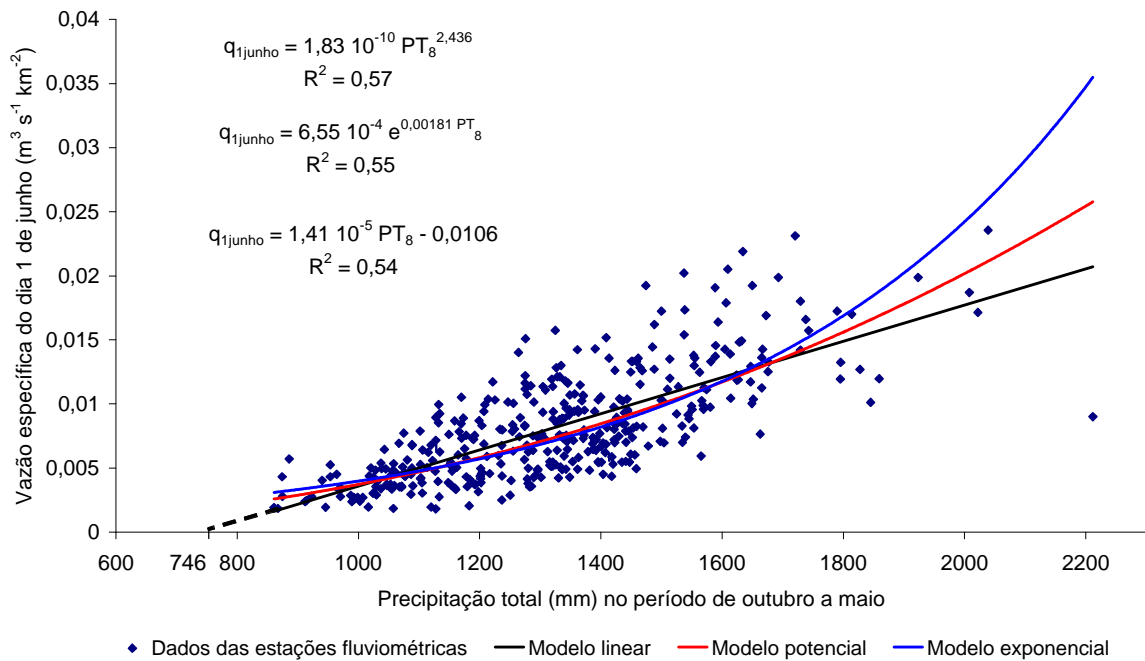


Figura 7. Vazão específica do primeiro dia de junho ( $q_{1\text{ junho}}$ ) em função do total precipitado nos oito meses anteriores ( $PT_8$ ) à ocorrência desta vazão.

caracterizam a  $q_{1 \text{ junho}}$  (Figura 7) o melhor ajuste foi obtido quando da consideração do período de outubro a maio, no qual ocorre cerca de 95% da precipitação total anual. Este comportamento mostra que as vazões específicas correspondentes ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo ( $q_0$ ) independem das precipitações ocorridas durante o período mais seco (junho a setembro), pois o solo no período de estiagem encontra-se com grande déficit de umidade, o que faz com que as precipitações ocorridas neste período sejam retidas na zona aerada do solo, não atingindo, portanto, o lençol freático. Conseqüentemente, o escoamento subterrâneo, que depende diretamente desta contribuição, não será influenciado pelas precipitações ocorridas neste período.

Analisando o processo físico da formação das vazões constata-se que quanto menor for a umidade do solo no momento da ocorrência da precipitação, tanto maior será a lâmina infiltrada e, conseqüentemente, a quantidade de água mantida na camada aerada do solo, a qual será transformada, em boa parte, em evapotranspiração. Conseqüentemente, menor será a quantidade de água que percolará em profundidade, bem como menor será a parcela da precipitação convertida em escoamento na seção de deságüe dos cursos d'água. Portanto, espera-se que no processo de formação das vazões, que estas tendam a apresentar uma maior taxa de crescimento com o aumento do total precipitado, pois o solo encontrar-se-á mais úmido, favorecendo assim tanto a percolação como o próprio escoamento superficial direto.

As equações ajustadas (linear, potencial e exponencial), tanto para a  $q_{1 \text{ maio}}$  quanto para a  $q_{1 \text{ junho}}$ , não apresentaram diferenças expressivas nos valores de  $R^2$ , porém descrevem comportamentos físicos bastante distintos entre si. Na seqüência procede-se a análise correspondente a cada um destes modelos.

Ao prolongar o modelo linear até interceptar o eixo das abscissas (precipitação total nos “n” meses anteriores ao início do período de recessão do escoamento subterrâneo) obtém-se a precipitação mínima necessária para a ocorrência de vazões no início do período de recessão, sendo tal precipitação caracterizada neste trabalho como inércia hídrica, uma vez que para que venha a ocorrer escoamento no leito do rio é necessário que precipite um montante suficiente para produzir ou o escoamento superficial direto ou perdas por percolação, que, conseqüentemente, irão produzir o

escoamento subterrâneo. Portanto, para que haja a ocorrência do escoamento no leito do rio é necessário que primeiramente a precipitação venha suprir o déficit de água existente ao longo da zona de aeração que, por sua vez, depende do processo evapotranspiratório. Obviamente, cada bacia deverá apresentar um valor de inércia hídrica diferenciado, devendo este ser tanto maior quanto maior forem a evapotranspiração da bacia e a capacidade de retenção de água no solo. Para quantificar a inércia hídrica considerou-se esta como sendo a precipitação total mínima nos 12 meses anteriores ao início do período de recessão necessária para a ocorrência de vazões neste período.

Para as condições estudadas constata-se que o total precipitado no período de outubro a abril para a ocorrência da  $q_{1 \text{ maio}}$  foi de 731 mm (Figura 6) e que o total precipitado no período de outubro a maio para a ocorrência da  $q_{1 \text{ junho}}$  foi de 746 mm (Figura 7). Considerando que o total precipitado no período de outubro a abril corresponde a 93% da precipitação anual têm-se que a precipitação total anual necessária para a ocorrência de vazões no dia primeiro de maio é de 786 mm. Já considerando que o total precipitado no período de outubro a maio corresponde a 95% da precipitação anual têm-se que a precipitação total anual necessária para a ocorrência de vazões no dia primeiro de junho é de 785,2 mm. Estes resultados mostram, portanto, a grande proximidade entre os totais precipitados anuais (inércia hídrica) estimados, tanto pela consideração do início do período de recessão a partir de primeiro de maio como a partir de primeiro de junho.

Comportamento similar é evidenciado no Quadro 5, no qual são apresentadas as equações lineares ajustadas para cada estação fluviométrica visando caracterizar a vazão correspondente ao primeiro dia de maio ( $Q_{1 \text{ maio}}$ ), como função da precipitação total no período de outubro a abril, e a vazão correspondente ao primeiro dia de junho ( $Q_{1 \text{ junho}}$ ), como função da precipitação total no período de outubro a maio. Pela análise deste quadro evidencia-se uma variação dos valores de inércia hídrica obtidos considerando a equação ajustada com base no início do período de recessão a partir do dia primeiro de maio de 437,6 a 893,5 mm, com média de 758,3 mm, enquanto que a variação dos valores de inércia hídrica quando da consideração do início do período de recessão a partir do dia primeiro de junho foi de 554,7 a 869,5 mm, com média de

Quadro 5. Equações lineares ajustadas para cada estação fluviométrica visando a estimativa das vazões correspondentes ao primeiro dia de maio ( $Q_{1\text{ maio}}$ ) e ao primeiro dia de junho ( $Q_{1\text{ junho}}$ ) como uma função do total precipitado nos “n” meses anteriores à ocorrência destas vazões ( $PT_n$ )

Estação	Maio			Junho		
	Equação	R <sup>2</sup>	Inércia hídrica (mm)	Equação	R <sup>2</sup>	Inércia hídrica (mm)
Fazenda Limoeiro	$Q_{1\text{ maio}} = 0,0104 PT_7 - 7,416$	0,83	776,7	$Q_{1\text{ junho}} = 0,00853 PT_8 - 6,352$	0,90	784,2
Fazenda Córrego do Ouro	$Q_{1\text{ maio}} = 0,0346 PT_7 - 23,00173$	0,81	715,0	$Q_{1\text{ junho}} = 0,0266 PT_8 - 18,628$	0,85	736,8
Fazenda Nolasco	$Q_{1\text{ maio}} = 0,00462 PT_7 - 3,384$	0,68	791,4	$Q_{1\text{ junho}} = 0,00342 PT_8 - 2,523$	0,72	781,1
Barra do Escurinho	$Q_{1\text{ maio}} = 0,0393 PT_7 - 26,717$	0,61	731,2	$Q_{1\text{ junho}} = 0,0314 PT_8 - 22,858$	0,62	766,3
Ponte da BR-040 (Paracatu)	$Q_{1\text{ maio}} = 0,104 PT_7 - 71,661$	0,71	741,9	$Q_{1\text{ junho}} = 0,0689 PT_8 - 45,227$	0,76	690,5
Santa Rosa	$Q_{1\text{ maio}} = 0,201 PT_7 - 147,504$	0,73	789,2	$Q_{1\text{ junho}} = 0,137 PT_8 - 95,990$	0,75	736,8
Fazenda Barra da Égua	$Q_{1\text{ maio}} = 0,0276 PT_7 - 21,529$	0,62	838,7	$Q_{1\text{ junho}} = 0,0132 PT_8 - 8,0579$	0,49	642,1
Fazenda Poções	$Q_{1\text{ maio}} = 0,00769 PT_7 - 4,211$	0,68	589,2	$Q_{1\text{ junho}} = 0,00572 PT_8 - 3,00498$	0,62	554,7
Fazenda Limeira	$Q_{1\text{ maio}} = 0,106 PT_7 - 78,154$	0,78	795,7	$Q_{1\text{ junho}} = 0,0848 PT_8 - 63,449$	0,73	787,4
Unai	$Q_{1\text{ maio}} = 0,115 PT_7 - 82,530$	0,74	769,9	$Q_{1\text{ junho}} = 0,101 PT_8 - 77,559$	0,72	808,4
Santo Antônio do Boqueirão	$Q_{1\text{ maio}} = 0,131 PT_7 - 95,134$	0,73	782,8	$Q_{1\text{ junho}} = 0,114 PT_8 - 91,036$	0,78	843,2
Porto dos Poções	$Q_{1\text{ maio}} = 0,138 PT_7 - 77,830$	0,65	606,5	$Q_{1\text{ junho}} = 0,108 PT_8 - 65,402$	0,68	636,8
Porto da Extrema	$Q_{1\text{ maio}} = 0,515 PT_7 - 392,477$	0,68	819,4	$Q_{1\text{ junho}} = 0,356 PT_8 - 266,459$	0,68	787,4
Caatinga	$Q_{1\text{ maio}} = 0,533 PT_7 - 408,371$	0,69	823,7	$Q_{1\text{ junho}} = 0,345 PT_8 - 248,833$	0,66	760,0
Veredas	$Q_{1\text{ maio}} = 0,00303 PT_7 - 1,235$	0,79	437,6	*		
Cachoeira das Almas	$Q_{1\text{ maio}} = 0,0907 PT_7 - 75,349$	0,68	893,5	*		
Cachoeira do Paredão	$Q_{1\text{ maio}} = 0,0847 PT_7 - 69,048$	0,59	876,3	$Q_{1\text{ junho}} = 0,0611 PT_8 - 50,462$	0,62	869,5
Porto do Cavalo	$Q_{1\text{ maio}} = 0,543 PT_7 - 385,701$	0,60	764,5	$Q_{1\text{ junho}} = 0,538 PT_8 - 394,913$	0,59	773,7
Porto Alegre	$Q_{1\text{ maio}} = 0,707 PT_7 - 575,018$	0,66	875,3	$Q_{1\text{ junho}} = 0,482 PT_8 - 385,195$	0,70	842,1
<b>Media</b>			<b>758,3</b>			<b>753,0</b>

\* Não foi possível realizar o ajuste da equação

753 mm. Assim constata-se que, em média, se a precipitação anual na bacia do Paracatu for inferior a um valor da ordem de 750 mm não haverá escoamento no leito do rio no início do período de recessão do escoamento subterrâneo.

Ao aplicar a distribuição normal aos valores de inércia hídrica obtidos para cada estação fluviométrica constatou-se que a distribuição normal ajustou-se adequadamente a estes valores pelo teste de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 20%, sendo portanto, procedido, aos valores de inércia hídrica, o ajuste dos intervalos associados às probabilidades de ocorrência de 68%, 95% e 99%. Tais intervalos são apresentados no Quadro 6, no qual evidencia-se que os intervalos obtidos quando da consideração do período de recessão em primeiro de maio possuem uma maior amplitude do que os intervalos obtidos quando da consideração do início

Quadro 6. Intervalos de valores de inércia hídrica associados às probabilidades de ocorrência de 68%, 95% e 99% obtidos quando da consideração do início do período de recessão em primeiro de maio e primeiro de junho

Probabilidade de ocorrência	Intervalo da inércia hídrica (mm)			
	Maio		Junho	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
68%	648	870	671	835
95%	537	981	589	917
99%	425	1.092	508	998

do período de recessão em primeiro de junho. Este comportamento é devido à não utilização das estações Veredas e Cachoeira das Almas para a estimativa dos intervalos de inércia hídrica obtidos quando da consideração do período de recessão em primeiro de junho, sendo que, quando da utilização destas duas estações maior é a amplitude do intervalo de inércia hídrica pois estas estações apresentam inércias hídricas com maior desvio padrão quando comparado com as outras estações da bacia.

Constata-se, no Quadro 6, que a inércia hídrica obtida quando da consideração do início do período de recessão em primeiro de junho vai ser superior a 508 mm em qualquer seção da bacia à uma probabilidade de 99%, ou seja, caso a precipitação anual em qualquer seção na bacia não for superior a este valor não haverá vazão no leito do rio no dia primeiro de junho. O mesmo comportamento apresenta a inércia hídrica obtida quando da consideração do início do período de recessão em primeiro de maio, onde evidencia-se com uma probabilidade de 99%, que caso a precipitação anual, em qualquer seção da bacia, não for superior a 425 mm não haverá vazão no dia primeiro de maio e conseqüentemente não haverá vazão no leito do rio no restante do período de recessão.

Seis estações (Fazenda Poções, Porto dos Poções, Veredas, Cachoeira das Almas, Cachoeira do Paredão e Porto Alegre) apresentaram inércia hídrica fora do intervalo associado a probabilidade de ocorrência de 68%, quando da consideração do início do período de recessão em primeiro de maio, e somente uma estação (Veredas) apresentou inércia hídrica fora do intervalo associado a probabilidade de ocorrência de 95%. Já para os intervalos de inércia hídrica obtidos quando da consideração do início

do período de recessão em primeiro de junho, seis estações (Fazenda Barra da Égua, Fazenda Poções, Porto dos Poções, Santo Antônio do Boqueirão, Cachoeira do Paredão e Porto Alegre) apresentaram inércia hídrica fora do intervalo associado a probabilidade de ocorrência de 68% e somente uma estação (Fazenda Poções) apresentou inércia hídrica fora do intervalo associado a probabilidade de ocorrência de 95%. Para o intervalo de inércia hídrica associado a probabilidade de ocorrência de 99%, tanto da consideração do início do período de recessão no dia primeiro de maio como para o dia primeiro de junho, todas as estações fluviométricas analisadas apresentaram inércia hídrica dentro deste intervalo.

Embora o modelo linear seja o único modelo que proporcione a obtenção da inércia hídrica, tal modelo não representa o comportamento físico esperado que é o aumento da taxa de crescimento da vazão com o aumento do total precipitado, uma vez que o modelo linear apresenta uma taxa de crescimento da vazão constante com o aumento do total precipitado. Este aumento na taxa de crescimento da vazão é representado pelos modelos exponencial e potencial. Evidencia-se na Figura 6 que as equações potencial e exponencial não apresentam diferenças expressivas na estimativa da  $q_{1 \text{ maio}}$  até valores de precipitação de 1.575 mm. A partir deste total precipitado a equação exponencial apresenta uma taxa de crescimento da  $q_{1 \text{ maio}}$  com o aumento da precipitação bem superior à da equação potencial. Também constata-se que para precipitações superiores a 1.730 mm, a  $q_{1 \text{ maio}}$  estimada pela equação exponencial superestimou todas as vazões observadas na série histórica. O comportamento evidenciado para a  $q_{1 \text{ maio}}$  também é constatado para a  $q_{1 \text{ junho}}$  (Figura 7), sendo que neste caso, as discrepâncias entre as equações potencial e exponencial se tornaram mais evidentes a partir de totais precipitados de 1.660 mm e as superestimativas da equação exponencial em relação aos valores observados tornaram-se constantes a partir de precipitações de 1.810 mm.

Pela comparação das equações exponencial e potencial verifica-se que a equação potencial é mais conservadora que a equação exponencial, pois para precipitações de menor magnitude as diferenças entre as duas equações são muito pequenas enquanto que para maiores totais precipitados conforme já descrito, a

diferença entre as equações cresce, sendo as vazões estimadas pela equação potencial inferior às obtidas com a equação exponencial.

Tendo em vista o comportamento descrito anteriormente e o fato de que as equações potenciais obtidas para cada estação fluviométrica apresentaram, em geral, melhores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), utilizou-se as equações potenciais para a estimativa da vazão correspondente ao início do período de recessão ( $Q_0$ ) em função dos “n” meses anteriores a ocorrência destas vazões em cada estação fluviométrica (Quadro 7). Os valores de  $R^2$  variaram de 0,58 a 0,83 e de 0,60 a 0,81 para as equações potenciais obtidas para cada estação fluviométrica visando a estimativa das  $Q_{1 \text{ maio}}$  e  $Q_{1 \text{ junho}}$ , respectivamente, mostrando que tais equações representaram melhor as vazões correspondentes ao início do período de recessão quando comparadas com as equações generalizadas para a bacia (Figuras 6 e 7), cujos  $R^2$  correspondentes às equações potenciais foram iguais a 0,58 e 0,57, para a estimativa da  $q_{1 \text{ maio}}$  e da  $q_{1 \text{ junho}}$ , respectivamente. Tal fato já era esperado, pois a consideração de uma única equação e que utiliza, portanto, os dados de todas as estações fluviométricas para representar o comportamento das vazões correspondentes ao início do período de recessão em toda bacia ocasiona maiores erros que os obtidos com o emprego das equações individualizadas para cada área de drenagem.

Pela análise do Quadro 7 evidencia-se que a utilização de apenas uma variável na equação de regressão, no caso a precipitação total nos meses anteriores à ocorrência da  $Q_0$ , permitiu uma considerável explicação do comportamento da vazão no início do período de recessão. Considera-se, entretanto, que a inclusão de uma outra variável (evapotranspiração real) potencializaria uma expressiva melhora no desempenho do modelo para a estimativa da  $Q_0$ , uma vez que a evapotranspiração real representa, conforme RODRIGUEZ (2004), 73% do total precipitado na bacia. A limitada base de dados climáticos existentes para a bacia e a dificuldade de estimar de forma confiável a evapotranspiração real para a bacia, bem como para cada uma das 21 áreas de drenagem consideradas neste estudo, não possibilitaram a inserção desta variável na equação.

Quadro 7. Equações para a estimativa das vazões correspondentes ao primeiro dia de maio ( $Q_{1 \text{ maio}}$ ) e ao primeiro dia de junho ( $Q_{1 \text{ junho}}$ ) como uma função do total precipitado nos “n” meses anteriores à ocorrência desta vazão ( $PT_n$ )

Estação	Maio		Junho	
	Equação	R <sup>2</sup>	Equação	R <sup>2</sup>
Fazenda Limoeiro	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,23 \cdot 10^{-7} PT_7^{2,259}$	0,74	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,68 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,319}$	0,79
Fazenda Córrego do Ouro	$Q_{1 \text{ maio}} = 9,03 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,042}$	0,75	$Q_{1 \text{ junho}} = 3,09 \cdot 10^{-6} PT_9^{2,139}$	0,78
Fazenda Nolasco	$Q_{1 \text{ maio}} = 9,29 \cdot 10^{-7} PT_7^{2,060}$	0,64	$Q_{1 \text{ junho}} = 8,51 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,032}$	0,71
Barra do Escurinho	$Q_{1 \text{ maio}} = 6,27 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,106}$	0,58	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,75 \cdot 10^{-6} PT_8^{2,178}$	0,62
Ponte da BR-040 (Paracatu)	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,57 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,364}$	0,75	$Q_{1 \text{ junho}} = 6,43 \cdot 10^{-5} PT_7^{1,894}$	0,78
Santa Rosa	$Q_{1 \text{ maio}} = 4,54 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,367}$	0,76	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,05 \cdot 10^{-5} PT_8^{2,114}$	0,78
Fazenda Barra da Égua	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,72 \cdot 10^{-9} PT_7^{3,000}$	0,66	$Q_{1 \text{ junho}} = 2,64 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,400}$	0,60
Fazenda Poções	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,64 \cdot 10^{-6} PT_7^{1,923}$	0,62	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,69 \cdot 10^{-5} PT_8^{1,734}$	0,60
Fazenda Limeira	$Q_{1 \text{ maio}} = 9,67 \cdot 10^{-6} PT_6^{2,203}$	0,77	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,84 \cdot 10^{-6} PT_{11}^{2,358}$	0,74
Unai	$Q_{1 \text{ maio}} = 3,04 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,352}$	0,74	$Q_{1 \text{ junho}} = 3,82 \cdot 10^{-6} PT_7^{2,320}$	0,76
Santo Antônio do Boqueirão	$Q_{1 \text{ maio}} = 1,29 \cdot 10^{-5} PT_6^{2,194}$	0,78	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,33 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,763}$	0,81
Porto dos Poções	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,50 \cdot 10^{-4} PT_6^{1,821}$	0,77	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,30 \cdot 10^{-4} PT_7^{1,871}$	0,81
Porto da Extrema	$Q_{1 \text{ maio}} = 1,65 \cdot 10^{-5} PT_6^{2,342}$	0,74	$Q_{1 \text{ junho}} = 3,77 \cdot 10^{-5} PT_7^{2,178}$	0,74
Caatinga	$Q_{1 \text{ maio}} = 1,29 \cdot 10^{-5} PT_6^{2,381}$	0,73	$Q_{1 \text{ junho}} = 8,09 \cdot 10^{-6} PT_8^{2,365}$	0,70
Veredas	$Q_{1 \text{ maio}} = 8,08 \cdot 10^{-5} PT_7^{1,451}$	0,73	*	
Cachoeira das Almas	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,22 \cdot 10^{-10} PT_6^{3,534}$	0,78	*	
Cachoeira do Paredão	$Q_{1 \text{ maio}} = 5,79 \cdot 10^{-9} PT_{10}^{3,129}$	0,70	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,27 \cdot 10^{-7} PT_8^{2,670}$	0,65
Porto do Cavalo	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,67 \cdot 10^{-5} PT_5^{2,304}$	0,70	$Q_{1 \text{ junho}} = 1,32 \cdot 10^{-3} PT_5^{1,794}$	0,66
Porto Alegre	$Q_{1 \text{ maio}} = 2,18 \cdot 10^{-7} PT_6^{2,955}$	0,83	$Q_{1 \text{ junho}} = 8,90 \cdot 10^{-7} PT_7^{2,709}$	0,80

\* Não foi possível realizar o ajuste da equação

Pela análise das equações correspondentes a cada uma das estações fluviométricas analisadas observa-se que a variável mais representativa para a estimativa da  $Q_{1 \text{ maio}}$  foi o total precipitado nos sete meses anteriores (outubro a abril) à ocorrência desta vazão, sendo que, dos 19 modelos ajustados, 10 consideraram esta variável. Já para a estimativa da  $Q_{1 \text{ junho}}$  a variável mais representativa foi o total precipitado nos oito meses anteriores (outubro a maio), sendo que, dos 17 modelos ajustados, nove consideraram esta variável o que está em concordância com o que já havia sido evidenciado para a estimativa da  $q_{1 \text{ maio}}$  (Figura 6) e da  $q_{1 \text{ junho}}$  (Figura 7).

#### 4.1.2. Estimativa do coeficiente de recessão

No Quadro 8 são apresentados, para as 21 estações fluviométricas estudadas, os coeficientes de recessão ( $\alpha$ ) ajustados considerando os períodos de recessão de maio a setembro e de junho a setembro, assim como o erro relativo (ER) do  $\alpha$  de cada estação

em relação ao  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, verificando-se que o  $\alpha$  variou de 0,0035 a 0,0076 dia<sup>-1</sup> e de 0,0029 a 0,0072 dia<sup>-1</sup> para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro, respectivamente. Tal variação foi semelhante à evidenciada em estudo realizado na bacia do Paracatu (BRASIL, 1996), no qual foram constatadas variações no valor de  $\alpha$  de 0,0048 a 0,0080 dia<sup>-1</sup>, considerando os dados advindos de 17 estações fluviométricas no período de 1939 a 1989.

Quadro 8- Coeficientes de recessão ( $\alpha$ ) ajustados considerando os períodos de recessão de maio a setembro e de junho a setembro

Estação	Período de recessão de maio a setembro		Período de recessão de junho a setembro	
	a (dia <sup>-1</sup> )	ER (%)	a (dia <sup>-1</sup> )	ER (%)
Fazenda Limoeiro	0,0061	1,5	0,0058	0,6
Fazenda Córrego do Ouro	0,0070	12,2	0,0067	14,5
Fazenda Nolasco	0,0062	0,9	0,0059	3,1
Barra do Escurinho	0,0075	17,4	0,0072	20,4
Ponte da BR-040 (Paracatu)	0,0069	10,6	0,0064	10,6
Santa Rosa	0,0062	0,4	0,0057	1,4
Fazenda Barra da Égua	0,0076	18,9	0,0066	12,2
Fazenda Poções	0,0062	0,4	0,0056	2,0
Fazenda Limeira	0,0063	1,3	0,0063	8,6
Unai	0,0065	5,0	0,0065	11,5
Santo Antônio do Boqueirão	0,0062	0,3	0,0060	4,5
Fazenda o Resfriado	0,0051	20,3	0,0046	25,5
Fazenda Santa Cruz	0,0035	75,5	0,0029	102,0
Porto dos Poções	0,0062	0,4	0,0057	1,3
Porto da Extrema	0,0062	0,9	0,0057	1,8
Caatinga	0,0064	3,8	0,0059	2,5
Veredas	0,0035	78,1	0,0032	80,0
Cachoeira das Almas	0,0071	12,9	0,0065	11,8
Cachoeira do Paredão	0,0069	9,9	0,0064	9,5
Porto do Cavalo	0,0063	2,5	0,0059	2,4
Porto Alegre	0,0059	5,2	0,0054	7,3
<b>Média</b>	<b>0,0062</b>	<b>13,3</b>	<b>0,0058</b>	<b>15,9</b>

Para todas as estações os valores de  $\alpha$  estimados considerando o período de maio a setembro foram maiores que os estimados considerando o período de junho a setembro, sendo este comportamento já esperado e decorrente do fato das vazões subterrâneas no mês de maio serem maiores que as vazões subterrâneas no mês de junho, acarretando assim uma maior taxa de declínio das vazões.

As médias dos valores de  $\alpha$  das 21 estações fluviométricas foram de 0,0062 e de 0,0058 dia<sup>-1</sup>, para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro,

respectivamente, sendo o erro médio relativo dos valores de  $\alpha$  de cada estação em relação ao  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas de 13,3 e 15,9% para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro, respectivamente.

Para duas estações fluviométricas, Fazenda Santa Cruz e Veredas, evidenciou-se um maior desvio nos valores de  $\alpha$ , sendo os erros relativo do  $\alpha$  para estas duas estações iguais a 75,5 e 78,1% para o período de maio a setembro, e de 102,0 e 80,0% para o período de junho a setembro. Os maiores desvios obtidos para o  $\alpha$  nestas duas estações fluviométricas podem ser justificados pelo fato delas estarem situadas em regiões de cabeceira (pequenas áreas de drenagem), onde as condições topográficas, climáticas e de uso do solo tendem a apresentar maiores discrepâncias em relação às condições médias da bacia.

Excluindo as estações Fazenda Santa Cruz e Veredas da análise os erros médios relativos passam a ser de 6,6 e 8,0% para os períodos de maio a setembro e de junho a setembro, respectivamente, os quais mostram uma pequena variação dos valores de  $\alpha$  na bacia, caracterizando uma boa uniformidade das condições geológicas e climáticas.

Ao ajustar o modelo probabilístico normal aos valores de  $\alpha$  evidenciou-se, pelo teste de Kolmogorov-Smirnov (nível de significância de 20%), que não ocorreu ajuste adequado aos dados. Ao desconsiderar, entretanto, as estações Fazenda Santa Cruz e Veredas que apresentaram valores de  $\alpha$  bastante distorcidos em relação ao  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, conforme já mencionado, constatou-se que a distribuição normal foi significativa ao nível de 20% pelo teste de Kolmogorov-Smirnov.

Assim, desconsiderando os valores de  $\alpha$  correspondentes às estações Fazenda Santa Cruz e Veredas, procedeu-se o ajuste dos intervalos dos valores de  $\alpha$  associados às probabilidades de ocorrência de 68%, 95% e 99%, considerando o período de recessão de maio a setembro e de junho a setembro (Quadro 9) e evidenciou-se que para o período de recessão de maio a setembro apenas uma estação (Fazenda o Resfriado) apresentou um valor de  $\alpha$  estimado fora do intervalo associado à probabilidade de 68%, enquanto que para o período de recessão de junho a setembro duas estações (Fazenda o Resfriado e Porto Alegre) apresentaram valores de  $\alpha$

estimados fora do intervalo associado à probabilidade de 68%. Para os intervalos associados às probabilidades de 95% e 99% todas as estações apresentaram os valores de  $\alpha$  estimados, tanto considerando o período de maio a setembro como de junho a setembro, dentro destes intervalos.

Quadro 9. Intervalos dos valores de  $\alpha$  associados às probabilidades de ocorrência de 68%, 95% e 99% considerando os períodos de recessão de maio a setembro e de junho a setembro

Probabilidade de ocorrência	$\alpha$ (dia <sup>-1</sup> )			
	Maio a setembro		Junho a setembro	
	Limite inferior	Limite superior	Limite inferior	Limite superior
68%	0,0059	0,0071	0,0055	0,0066
95%	0,0053	0,0076	0,0049	0,0072
99%	0,0047	0,0082	0,0043	0,0078

Na Figura 8 são apresentadas as curvas de recessão da estação Porto Alegre no período de maio a setembro utilizando diferentes valores de  $\alpha$  e adotando uma vazão inicial ( $Q_0$ ) igual a  $356 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , que é a vazão de longa duração do primeiro dia de maio na estação Porto Alegre. As curvas de recessão foram traçadas variando apenas o  $\alpha$ , sendo considerado o  $\alpha$  médio das 19 estações fluviométricas e os valores de  $\alpha$  correspondentes ao limite superior e inferior de cada intervalo associado aos níveis de probabilidade de ocorrência estudados.

A vazão obtida (Figura 8) em 30 de setembro considerando a curva de recessão correspondente ao  $\alpha$  médio das 19 estações fluviométricas foi de  $132,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que as vazões obtidas para esta mesma data quando da adoção dos valores de  $\alpha$  iguais aos limites superior e inferior do intervalo associado ao nível de probabilidade de ocorrência de 68% foram de  $120,6$  e  $145,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, acarretando erros em relação à vazão obtida com o  $\alpha$  médio das 19 estações fluviométricas de 9,6 e 8,8%, respectivamente. Já para o intervalo associado ao nível de probabilidade de 95% a vazão obtida para o dia 30 de setembro utilizando o valor correspondente ao limite superior de  $\alpha$  foi de  $110,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (erro relativo de 20,1%) e a

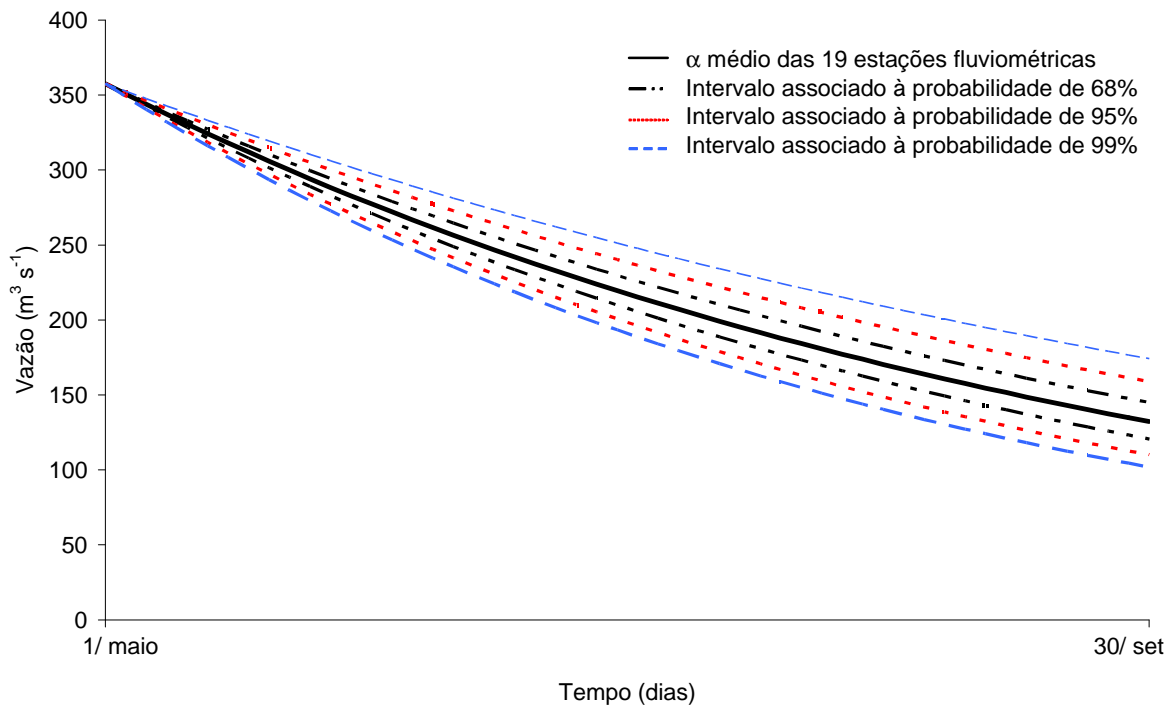


Figura 8. Curvas de recessão da estação Porto Alegre no período de maio a setembro, considerado o  $\alpha$  médio das 19 estações fluviométricas e os valores de  $\alpha$  correspondentes ao limite superior e inferior de cada intervalo associado aos níveis de probabilidade de ocorrência estudados.

vazão obtida utilizando o limite inferior foi de  $158,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (erro relativo de 16,8%). Para o intervalo associado ao nível de probabilidade de 99% a vazão obtida utilizando o valor correspondente ao limite superior de  $\alpha$  foi de  $102,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (erro relativo de 29,6%) e quando utilizado o limite inferior do intervalo correspondente a  $\alpha$  foi de  $174,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (erro relativo de 24,1%).

#### 4.1.3. Análise do comportamento dos modelos

Na Figura 9 são apresentadas, considerando as 21 estações fluviométricas, as frequências de ocorrência das vazões mínimas de sete dias de duração ( $Q_7$ ) e das precipitações médias mensais ao longo do ano. O mês mais chuvoso é dezembro (20,2% da precipitação anual), o trimestre mais chuvoso vai de novembro a janeiro (50,6% da precipitação anual) e o semestre mais chuvoso vai de outubro a março

(87,2% da precipitação anual). Quanto à frequência de ocorrência dos valores de  $Q_7$  evidenciou-se incidências desde maio até dezembro, sendo que o período que apresentou a maior ocorrência da  $Q_7$  foi a segunda quinzena de setembro (28,2 %), seguido da segunda e da primeira quinzenas de outubro, com 22,8 e 19,5 %, respectivamente, sendo estas três quinzenas responsáveis por 70,5% das ocorrências da  $Q_7$ . Considerando os meses de setembro, outubro e novembro verifica-se que estes são responsáveis por 91,6 % das ocorrências das  $Q_7$ , sendo o mês de outubro responsável por 42,2 % das ocorrências.

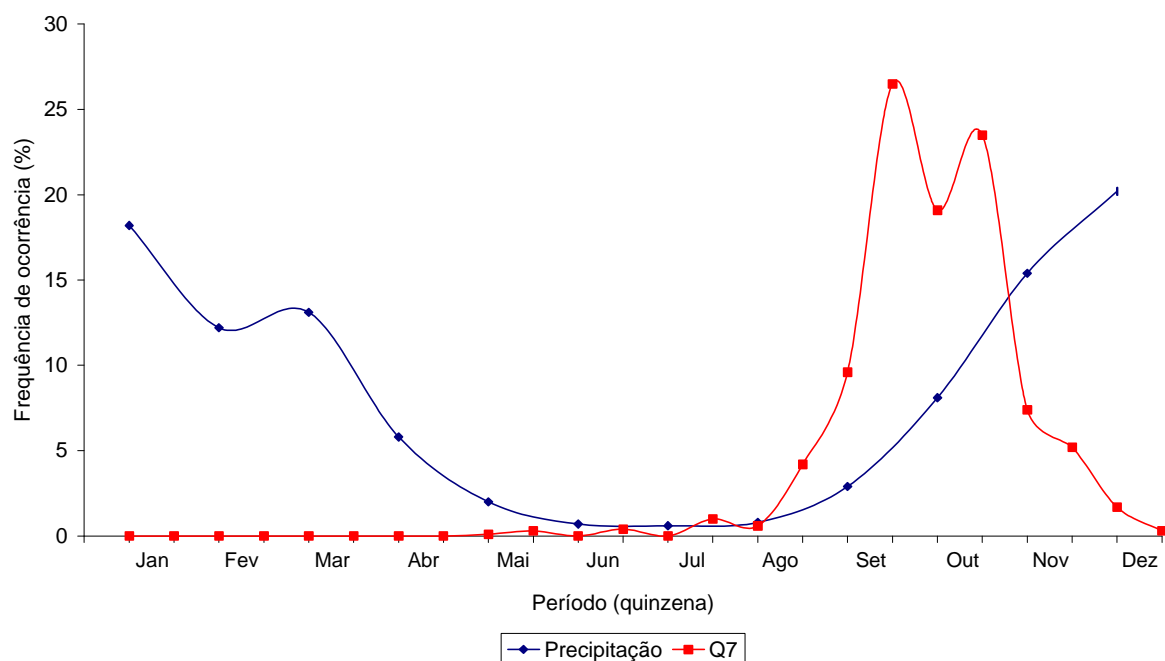


Figura 9. Frequências de ocorrência das vazões mínimas de sete dias de duração ( $Q_7$ ) e das precipitações médias mensais ao longo do ano.

Desta forma, evidencia-se uma grande porcentagem de ocorrência das  $Q_7$  nos meses de outubro e novembro, mesmo com o início da estação chuvosa em outubro, o que pode ser justificado pelo fato do solo encontrar-se muito seco no final do período de estiagem, com o que quando iniciam as precipitações uma expressiva parte da precipitação infiltra e é retida na zona aerada do solo, não colaborando, portanto, para a recarga do lençol freático. Pela análise de vários hidrogramas, como o apresentado na Figura 10, constata-se com frequência que mesmo quando no início do mês de

outubro ocorrem picos no hidrograma decorrentes do escoamento superficial, quando este cessa a vazão atinge valores inferiores aos evidenciados antes da ocorrência da precipitação, caracterizando a inexistência de contribuição para o lençol freático.

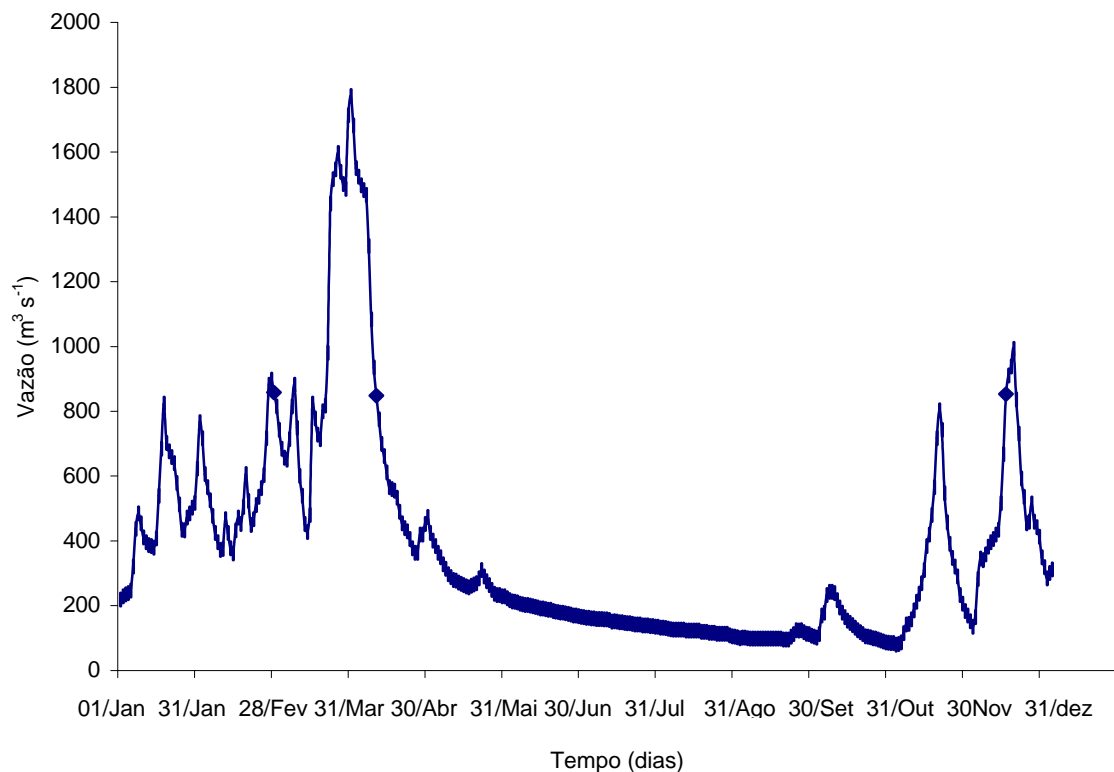


Figura 10. Hidrograma da estação fluviométrica Caatinga no ano de 1991.

Tendo em vista a ocorrência de valores de  $Q_7$  em diversos períodos do ano considerou-se neste estudo os períodos que apresentaram as maiores ocorrências da  $Q_7$  para caracterizar o final do período de recessão a ser utilizado no modelo para a estimativa da  $Q_{7,10}$ , sendo estes 30 de setembro, 15 de outubro, 31 de outubro, 15 de novembro e 30 de novembro.

No Quadro 10 são apresentados os valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio e primeiro de junho e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas. Os valores negativos do ER representam que as  $Q_{7,10}$  estimadas foram de maior magnitude que as  $Q_{7,10}$  calculadas

Quadro 10. Valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,3	-14,9	1,2	-5,3	1,1	-0,0	1,0	9,1	1,0	16,7
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	4,5	-44,5	4,0	-30,2	3,6	-17,2	3,2	-4,5	2,9	5,8
Fazenda Nolasco	0,4	0,5	-23,8	0,5	-11,9	0,4	-2,4	0,4	7,1	0,4	16,7
Barra do Escurinho	3,2	3,5	-9,7	3,1	2,2	2,8	12,5	2,5	22,1	2,2	30,5
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,6	11,7	-22,2	10,5	-10,3	9,5	0,6	8,5	11,0	7,7	19,7
Santa Rosa	21,6	21,9	-1,4	22,8	-5,7	17,3	19,6	17,2	20,2	15,7	27,3
Fazenda Barra da Égua	1,2	1,3	-1,6	1,1	8,9	1,0	19,4	0,9	28,2	0,8	36,3
Fazenda Poções	1,0	1,2	-26,8	1,1	-15,5	1,0	-5,2	0,9	4,1	0,8	13,4
Fazenda Limeira	12,2	14,2	-16,4	12,9	-5,7	11,7	3,8	10,6	13,1	9,7	20,8
Unai	10,6	13,8	-30,3	12,5	-18,2	11,3	-7,1	10,2	3,6	9,3	12,5
Santo Antônio do Boqueirão	12,7	14,7	-16,0	13,4	-5,8	12,2	3,6	11,1	12,7	10,1	20,3
Fazenda o Resfriado	1,2	1,2	3,4	1,1	10,1	1,0	16,8	0,9	22,7	0,9	28,6
Fazenda Santa Cruz	1,3	1,2	9,4	1,1	13,4	1,0	18,1	1,0	22,8	0,9	26,8
Porto dos Poções	17,0	18,4	-8,4	16,6	2,3	14,9	12,1	13,4	21,3	12,0	29,2
Porto da Extrema	40,0	47,0	-17,5	43,0	-7,5	39,0	2,5	35,0	12,5	28,0	30,0
Caatinga	41,8	48,4	-15,8	43,9	-5,1	39,9	4,6	36,0	13,8	32,7	21,7
Veredas	0,8	1,1	-31,3	1,0	-24,1	1,0	-18,1	0,9	-10,8	0,9	-6,0
Cachoeira das Almas	3,6	4,9	-35,5	4,4	-21,9	4,0	-9,4	3,5	2,5	3,2	12,2
Cachoeira do Paredão	5,0	5,2	-2,2	4,6	7,9	4,2	16,9	3,8	25,6	3,4	32,7
Porto do Cavalo	60,4	63,0	-4,2	57,2	5,2	52,1	13,8	47,0	22,1	42,8	29,2
Porto Alegre	61,8	69,1	-12,0	63,3	-2,5	57,9	6,2	52,7	14,6	48,3	21,8
<b>Média</b>			<b>16,5</b>		<b>10,4</b>		<b>10,0</b>		<b>14,5</b>		<b>21,8</b>

(b)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,4	-22,8	1,3	-13,2	1,2	-3,5	1,1	6,1	1,0	14,0
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	4,4	-43,5	4,0	-29,5	3,6	-17,2	3,2	-5,2	2,9	4,9
Fazenda Nolasco	0,4	0,6	-35,7	0,5	-11,9	0,5	-11,9	0,4	-2,4	0,4	7,1
Barra do Escurinho	3,2	3,7	-14,6	3,3	-2,8	3,1	2,5	2,6	17,8	2,5	21,8
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,6	12,5	-30,5	11,3	-18,5	10,3	-8,0	9,3	2,7	8,4	11,7
Santa Rosa	21,6	23,0	-6,5	21,1	2,2	19,4	10,2	17,7	18,1	16,2	24,7
Fazenda Barra da Égua	1,24	1,2	5,6	1,1	14,5	1,0	22,6	0,9	30,6	0,8	37,1
Fazenda Poções	0,97	1,3	-30,9	1,2	-19,6	1,1	-10,3	1,0	-1,0	0,9	7,2
Fazenda Limeira	12,2	14,6	-19,4	13,3	-8,7	12,1	1,1	10,9	10,4	9,9	18,5
Unai	10,6	13,6	-28,8	12,4	-16,8	11,2	-6,0	10,1	4,6	9,1	13,5
Santo Antônio do Boqueirão	12,7	14,8	-16,9	13,6	-6,9	12,4	2,4	11,3	11,3	10,3	19,1
Fazenda o Resfriado	1,2	1,2	-4,2	1,2	2,5	1,1	9,2	1,0	16,0	0,9	21,8
Fazenda Santa Cruz	1,3	1,2	5,5	1,1	11,8	1,1	13,4	1,1	17,3	1,0	21,3
Porto dos Poções	17,0	14,9	12,6	13,4	21,0	12,1	28,9	10,9	36,0	9,8	42,2
Porto da Extrema	40,0	52,0	-30,0	48,0	-20,0	44,0	-10,0	40,0	0,0	37,0	7,5
Caatinga	41,8	48,8	-16,9	43,7	-4,6	40,0	-4,3	36,4	12,8	34,9	16,5
Veredas	0,8	1,1	-31,3	1,1	-26,5	1,0	-20,5	1,0	-14,5	0,9	-7,2
Cachoeira das Almas	3,6	4,6	-28,0	4,2	-16,1	3,8	-5,3	3,4	5,3	3,1	14,1
Cachoeira do Paredão	5,0	5,9	-16,7	5,3	-6,0	4,9	3,6	4,4	12,9	4,0	20,8
Porto do Cavalo	60,4	71,0	-17,6	65,0	-7,6	59,5	1,5	54,1	10,4	49,5	18,0
Porto Alegre	61,8	66,8	-8,2	61,7	0,2	56,9	7,9	52,2	15,5	48,2	22,0
<b>Média</b>			<b>20,3</b>		<b>12,4</b>		<b>9,5</b>		<b>12,0</b>		<b>17,7</b>

com base na série histórica, sendo que o ER médio foi obtido pela média dos módulos do ER de cada estação fluviométrica.

Observa-se no Quadro 10 que as  $Q_{7,10}$  estimadas considerando o final do período de recessão em 30 de setembro e 15 de outubro tiveram uma tendência, para as duas datas de início do período de recessão consideradas, de apresentar valores superiores aos calculados, enquanto as  $Q_{7,10}$  estimadas para 15 e 30 de novembro foram, em geral, inferiores às calculadas. A data correspondente ao final do período de recessão que apresentou menor erro relativo médio foi 31 de outubro, sendo este erro de 10% quando da consideração do início do período de recessão em maio e de 9,5% em junho.

No Quadro 11 são apresentados os valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  estimada pelas equações ajustadas para cada estação, o início do período de recessão em primeiro de maio e primeiro de junho e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas. A data correspondente ao final do período de recessão que apresentou o menor erro relativo médio, quando da consideração do início do período de recessão em primeiro de maio, foi 31 de outubro, sendo este de 10%, enquanto que, quando da consideração do início do período de recessão em primeiro de junho a data correspondente ao final do período de recessão que apresentou o menor erro relativo médio foi 15 de novembro, sendo este de 10,2%.

Pela comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  apresentados nos Quadros 10a e 11a, sendo que no Quadro 11a a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando as  $Q_{1 \text{ maio}}$  estimadas pelas equações ajustadas para cada estação e no Quadro 10a a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando a  $Q_{1 \text{ maio}}$  da série histórica, constatou-se um comportamento similar entre os valores de  $Q_{7,10}$  obtidos, mostrando que o emprego das equações para a estimativa da  $Q_{1 \text{ maio}}$  em substituição ao uso dos dados originais não alteraram o comportamento do modelo.

Observa-se que os valores de  $Q_{7,10}$  apresentados nos Quadros 10b e 11b, sendo que no Quadro 11b a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando as  $Q_{1 \text{ junho}}$  estimadas pelas equações ajustadas para cada estação e no Quadro 10b a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando a  $Q_{1 \text{ junho}}$  da série histórica, apresentaram comportamento diferente entre os valores de  $Q_{7,10}$

Quadro 11. Valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  estimada pelas equações ajustadas para cada estação, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,6	-37,2	1,4	-24,8	1,3	-14,2	1,2	-3,5	1,1	5,3
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	5,1	-65,3	4,6	-48,7	4,1	-33,8	3,7	-19,5	3,3	-7,5
Fazenda Nolasco	0,5	0,5	-8,2	0,5	2,0	0,4	10,2	0,4	18,4	0,4	26,5
Barra do Escurinho	3,2	4,4	-40,3	3,9	-25,6	3,5	-12,1	3,1	0,6	2,8	11,2
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,4	12,1	-28,7	11,1	-18,6	9,8	-4,5	8,8	6,1	7,9	15,4
Santa Rosa	21,4	24,5	-14,6	23,1	-7,8	20,4	4,9	18,5	13,7	16,8	21,4
Fazenda Barra da Égua	1,3	1,5	-14,9	1,4	-2,2	1,2	9,0	1,1	19,4	1,0	27,6
Fazenda Poções	1,0	1,5	-54,6	1,4	-41,2	1,3	-28,9	1,1	-16,5	1,0	-6,2
Fazenda Limeira	13,2	15,6	-27,9	14,0	-15,1	12,9	-5,5	11,7	4,3	10,6	13,4
Unai	11,1	14,4	-30,5	12,8	-16,1	11,6	-5,3	10,5	5,0	9,5	13,9
Santo Antônio do Boqueirão	12,5	15,7	-8,4	14,3	1,2	13,0	10,0	11,8	18,4	10,8	25,6
Fazenda o Resfriado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fazenda Santa Cruz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porto dos Poções	16,6	20,3	-19,3	18,3	-7,8	16,5	2,8	14,8	12,8	13,4	21,2
Porto da Extrema	39,3	43,0	-7,5	46,0	-15,0	42,0	-5,0	38,0	5,0	34,0	15,0
Caatinga	40,5	50,6	-25,1	46,0	-13,6	41,7	-3,1	38,3	5,4	34,2	15,5
Veredas	0,9	1,2	-33,7	1,1	-26,7	1,0	-19,8	1,0	-14,0	0,9	-8,1
Cachoeira das Almas	5,2	5,7	-14,5	5,1	-3,0	4,6	7,4	4,1	17,3	3,7	25,7
Cachoeira do Paredão	4,9	5,1	-7,1	4,6	3,3	4,2	12,9	3,7	21,9	3,4	29,6
Porto do Cavalo	60,0	72,6	-20,2	66,1	-9,4	60,2	0,4	54,4	9,9	49,6	17,9
Porto Alegre	59,7	74,1	-20,0	67,9	-9,9	62,2	-0,7	56,6	8,3	51,9	16,0
<b>Média</b>			<b>25,1</b>		<b>15,4</b>		<b>10,0</b>		<b>11,6</b>		<b>17,0</b>

(b)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,6	-38,1	1,4	-26,5	1,3	-15,9	1,2	-5,3	1,1	3,5
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	5,0	-61,7	4,5	-46,1	4,1	-32,1	3,7	-18,5	3,3	-7,1
Fazenda Nolasco	0,5	0,5	-8,2	0,5	2,0	0,4	10,2	0,4	18,4	0,4	24,5
Barra do Escurinho	3,2	4,3	-37,7	3,9	-23,6	3,5	-10,9	3,1	1,3	2,8	11,5
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,4	12,6	-34,9	11,6	-23,5	10,5	-12,3	9,5	-1,1	8,5	8,9
Santa Rosa	21,4	25,4	-18,5	23,3	-8,9	21,4	0,0	19,6	8,6	18,0	16,1
Fazenda Barra da Égua	1,3	2,0	-34,5	1,8	-21,6	1,6	-8,1	1,4	2,7	1,3	12,2
Fazenda Poções	1,0	1,6	-67,0	1,5	-53,6	1,4	-41,2	1,3	-28,9	1,2	-18,6
Fazenda Limeira	13,2	16,1	-31,6	14,6	-19,7	13,3	-8,9	12,0	1,5	10,9	10,5
Unai	11,1	14,1	-27,4	12,7	-15,4	11,6	-4,7	10,4	5,5	9,5	14,4
Santo Antônio do Boqueirão	12,5	14,5	-16,0	13,2	-6,0	12,1	3,2	11,0	12,1	10,0	19,7
Fazenda o Resfriado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fazenda Santa Cruz	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Porto dos Poções	16,6	16,6	2,2	15,1	11,1	13,7	19,4	12,4	27,2	11,3	33,8
Porto da Extrema	39,3	52,0	-30,0	50,0	-25,0	45,0	-12,5	40,0	0,0	37,0	7,5
Caatinga	40,5	55,5	-37,0	51,2	-26,4	46,8	-15,6	42,6	-5,2	38,7	4,5
Veredas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cachoeira das Almas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cachoeira do Paredão	4,9	6,0	-22,0	5,4	-10,6	4,9	-0,6	4,5	9,2	4,1	17,3
Porto do Cavalo	60,0	92,9	-53,8	85,0	-40,8	77,8	-28,8	70,8	-17,2	64,8	-7,3
Porto Alegre	59,7	70,7	-14,6	65,0	-5,2	60,4	2,1	55,6	10,0	51,5	16,6
<b>Média</b>			<b>31,5</b>		<b>21,5</b>		<b>13,3</b>		<b>10,2</b>		<b>13,8</b>

obtidos, mostrando que a inserção das equações para a estimativa da  $Q_{1 \text{ junho}}$  alterou a escolha da data correspondente ao final do período de recessão. Porém evidencia-se (Quadro 11b) que a diferença dos valores de ER médios para a data correspondente ao final do período de recessão 31 de outubro (13,3%) e 15 de novembro (10,2%) são pequenas, indicando que a inserção das equações para a estimativa da  $Q_{1 \text{ junho}}$  não modificaram expressivamente o modelo.

No Quadro 12 são apresentados os valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio e primeiro de junho e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas. Observa-se que a data correspondente ao final do período de recessão que apresentou menor erro relativo médio foi 31 de outubro, sendo este erro de 13,3% quando da consideração do início do período de recessão em maio e de 12,2% em junho.

Pela comparação dos valores da  $Q_{7,10}$  apresentados nos Quadros 10a e 12a, sendo que no Quadro 12a a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando um valor de  $\alpha$  como sendo o médio das 21 estações fluviométricas e no Quadro 10a a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando um valor de  $\alpha$  para cada estação fluviométrica, constata-se comportamento similar entre os valores de  $Q_{7,10}$  obtidos, porém observa-se uma pequena tendência de incremento nos valores do ER quando da utilização do valor de  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas. Comportamento similar é evidenciado nos valores de  $Q_{7,10}$  apresentados nos Quadros 10b e 12b, mostrando que a utilização no modelo para estimativa da  $Q_{7,10}$  de um valor de  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, em termos geral, não apresentou diferença expressiva quando comparado com a utilização de um valor de  $\alpha$  individualizado para cada estação.

No Quadro 13 são apresentados os valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  estimada pela equação generalizada para a bacia, o início do período de recessão em primeiro de maio e primeiro de junho e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas. Observa-se que a data correspondente ao final do período de

Quadro 12. Valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,4	-18,4	1,2	-7,9	1,1	1,8	1,0	10,5	0,9	18,4
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	5,2	-67,9	4,7	-52,9	4,3	-39,3	3,9	-26,3	3,6	-15,3
Fazenda Nolasco	0,5	0,5	-13,0	0,5	-4,3	0,4	6,5	0,4	15,2	0,4	21,7
Barra do Escurinho	3,2	4,3	-25,5	3,9	-14,4	3,6	4,4	3,2	5,6	2,9	14,1
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,4	13,0	-36,3	11,9	-24,4	10,8	13,3	9,8	-2,5	8,9	6,4
Santa Rosa	21,4	22,7	-5,4	20,7	4,0	18,9	12,5	17,1	20,7	15,6	27,7
Fazenda Barra da Égua	1,3	1,6	-26,6	1,4	-15,3	1,3	-4,8	1,2	4,8	1,1	13,7
Fazenda Poções	1,0	1,2	-27,8	1,1	-17,5	1,0	-7,2	0,9	3,1	0,9	11,3
Fazenda Limeira	13,2	14,3	-10,5	13,1	-0,9	11,9	8,1	10,8	16,7	9,8	24,2
Unai	11,1	14,5	-29,9	13,2	-18,6	12,0	7,9	10,9	2,1	9,9	10,9
Santo Antônio do Boqueirão	12,5	12,3	3,2	13,4	-5,4	12,2	3,9	11,1	12,9	10,1	20,6
Fazenda o Resfriado	1,2	1,0	18,2	0,9	25,6	0,8	32,2	0,8	38,0	0,7	43,8
Fazenda Santa Cruz	1,3	0,8	39,4	0,7	44,1	0,6	49,6	0,6	54,3	0,5	58,3
Porto dos Poções	16,6	18,7	-13,8	17,1	-3,7	15,5	5,5	14,1	14,4	12,8	22,0
Porto da Extrema	39,3	49,9	-24,5	45,5	-13,5	41,4	-3,3	37,5	6,3	34,2	14,6
Caatinga	40,5	50,2	-20,1	45,7	-9,5	41,7	0,2	37,7	9,6	34,4	17,6
Veredas	0,9	0,7	11,1	0,7	18,5	0,6	25,9	0,5	33,3	0,5	39,5
Cachoeira das Almas	5,2	5,6	-55,4	5,1	-41,6	4,7	-29,1	4,2	-16,9	3,9	-6,6
Cachoeira do Paredão	4,9	5,7	-13,1	5,2	-3,0	4,7	6,2	4,3	14,9	3,9	22,4
Porto do Cavalo	60,0	64,7	-7,1	58,9	2,4	53,7	11,0	48,7	19,4	44,4	26,6
Porto Alegre	59,7	67,0	-13,3	61,0	-3,3	55,8	5,6	50,6	14,4	45,9	22,3
<b>Média</b>			<b>22,9</b>		<b>15,8</b>		<b>13,3</b>		<b>16,3</b>		<b>21,8</b>

(b)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,4	-23,7	1,3	-13,2	1,2	-4,4	1,0	8,8	1,0	13,2
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	5,0	-61,0	4,6	-47,7	4,2	-35,7	3,8	-23,7	3,5	-13,3
Fazenda Nolasco	0,5	0,6	-26,1	0,5	-15,2	0,5	-4,3	0,4	4,3	0,4	10,9
Barra do Escurinho	3,2	4,6	-36,1	4,3	-24,9	3,9	-14,7	3,6	-4,4	3,3	4,1
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,4	13,6	-42,0	12,5	-30,4	11,4	19,4	10,4	-9,0	9,6	0,0
Santa Rosa	21,4	22,7	-5,4	20,9	3,2	19,1	11,3	17,5	19,0	16,0	25,8
Fazenda Barra da Égua	1,3	1,3	-4,0	1,2	4,8	1,1	12,9	1,0	20,2	0,9	27,4
Fazenda Poções	1,0	1,3	-28,9	1,2	-18,6	1,1	-8,2	1,0	1,0	0,9	9,3
Fazenda Limeira	13,2	15,6	-20,1	14,3	-10,2	13,1	-1,0	12,0	7,7	10,9	15,6
Unai	11,1	14,8	-33,3	13,6	-22,1	12,5	-11,9	11,4	-2,2	10,4	6,4
Santo Antônio do Boqueirão	12,5	15,3	-20,8	14,1	-10,8	12,9	-1,6	11,8	7,3	10,8	15,0
Fazenda o Resfriado	1,2	1,1	13,2	1,0	18,2	0,9	25,6	0,8	32,2	0,8	37,2
Fazenda Santa Cruz	1,3	0,9	33,1	0,8	38,6	0,7	44,1	0,7	48,8	0,6	53,5
Porto dos Poções	16,6	18,8	-14,4	17,3	-5,0	15,8	3,8	14,5	12,0	13,3	19,4
Porto da Extrema	39,3	51,6	-28,8	47,3	-18,1	43,4	-8,3	39,6	1,2	36,3	9,4
Caatinga	40,5	50,9	-21,9	46,7	-11,8	42,8	-2,5	39,0	6,5	35,8	14,2
Veredas	0,9	0,8	1,2	0,7	9,9	0,7	16,0	0,6	24,7	0,6	30,9
Cachoeira das Almas	5,2	4,9	-36,6	4,5	-25,2	4,2	-15,0	3,8	-4,7	3,5	3,9
Cachoeira do Paredão	4,9	6,3	-25,4	5,8	-15,1	5,3	-5,6	4,9	3,8	4,5	11,7
Porto do Cavalo	60,0	71,6	-18,6	65,7	-8,7	60,2	0,3	54,9	9,0	48,9	19,1
Porto Alegre	59,7	60,3	-2,1	55,3	6,3	53,3	9,8	48,6	17,7	42,5	28,1
<b>Média</b>			<b>23,7</b>		<b>17,0</b>		<b>12,2</b>		<b>12,8</b>		<b>17,5</b>

Quadro 13. Valores de  $Q_{7,10}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  estimada pela equação generalizada para a bacia, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{7,10}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,2	-8,9	1,1	0,9	1,0	8,9	0,9	17,9	0,8	25,0
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	4,7	-51,6	4,3	-38,3	3,9	-26,0	3,5	-14,3	3,2	-4,2
Fazenda Nolasco	0,5	0,5	-4,1	0,5	4,1	0,4	12,2	0,4	20,4	0,4	28,6
Barra do Escurinho	3,2	4,2	-31,5	3,9	-19,9	3,5	-9,3	3,2	0,9	2,9	9,7
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,4	17,3	-84,3	15,7	-68,0	14,3	-52,9	13,0	-38,5	11,8	-26,4
Santa Rosa	21,4	27,9	-30,3	25,4	-18,6	23,2	-8,2	21,0	2,0	19,1	10,6
Fazenda Barra da Égua	1,3	2,9	-115,7	2,6	-96,3	2,4	-79,1	2,2	-61,9	2,0	-47,8
Fazenda Poções	1,0	1,2	-23,7	1,1	-12,4	1,0	-3,1	0,9	6,2	0,8	15,5
Fazenda Limeira	13,2	10,4	21,4	9,5	28,2	8,6	34,6	7,8	40,8	7,2	45,8
Unai	11,1	11,3	-1,8	10,3	7,2	9,3	15,6	8,5	23,4	7,7	30,4
Santo Antônio do Boqueirão	12,5	12,5	-0,6	11,4	8,3	10,4	16,5	9,4	24,4	8,6	31,0
Fazenda o Resfriado											
Fazenda Santa Cruz											
Porto dos Poções	16,6	16,3	1,7	14,8	10,4	13,6	18,1	12,3	25,9	11,2	32,5
Porto da Extrema	39,3	58,9	-50,1	53,7	-36,8	48,9	-24,6	44,3	-12,9	40,4	-2,9
Caatinga	40,5	61,3	-51,4	55,9	-38,0	50,9	-25,8	46,1	-14,0	42,0	-3,9
Veredas	0,9	0,4	51,2	0,4	55,8	0,4	59,3	0,3	64,0	0,3	67,4
Cachoeira das Almas	5,2	10,1	-93,9	9,2	-76,7	8,4	-61,0	7,5	-44,2	7,0	-32,9
Cachoeira do Paredão	4,9	10,2	-111,1	9,3	-92,4	8,5	-75,3	7,7	-58,8	7,0	-44,7
Porto do Cavalo	60,0	88,1	-46,9	80,3	-33,8	73,1	-21,9	66,2	-10,3	60,3	-0,5
Porto Alegre	59,7	86,3	-44,7	78,6	-31,8	71,6	-20,1	64,9	-8,8	59,0	1,0
<b>Média</b>			<b>43,4</b>		<b>35,7</b>		<b>30,1</b>		<b>25,8</b>		<b>24,3</b>

(b)

Estação	$Q_{7,10}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,1	1,3	-11,6	1,1	-1,8	1,1	6,3	1,0	14,3	0,9	21,4
Fazenda Córrego do Ouro	3,1	4,9	-59,4	4,5	-46,1	4,1	-34,1	3,8	-22,4	3,5	-12,3
Fazenda Nolasco	0,5	0,5	-2,0	0,5	6,1	0,4	14,3	0,4	20,4	0,4	26,5
Barra do Escurinho	3,2	4,4	-37,4	4,0	-25,9	3,7	-15,3	3,4	-5,3	3,1	3,4
Ponte da BR-040 (Paracatu)	9,4	17,8	-89,5	16,3	-73,9	14,9	-59,4	13,6	-45,5	12,5	-33,4
Santa Rosa	21,4	28,5	-33,0	26,1	-22,0	24,0	-11,9	21,9	-2,0	20,1	6,4
Fazenda Barra da Égua	1,3	3,2	-116,9	3,0	-99,3	2,7	-82,4	2,5	-66,9	2,3	-52,7
Fazenda Poções	1,0	1,3	-32,0	1,2	-21,6	1,1	-11,3	1,0	-1,0	0,9	7,2
Fazenda Limeira	13,2	11,0	16,9	10,1	23,6	9,2	30,2	8,4	36,3	7,7	41,5
Unai	11,1	11,9	-7,7	10,9	1,3	10,0	9,5	9,1	17,5	8,4	24,3
Santo Antônio do Boqueirão	12,5	13,1	-5,1	12,0	3,7	11,0	11,6	10,1	19,4	9,2	26,1
Fazenda o Resfriado											
Fazenda Santa Cruz											
Porto dos Poções	16,6	18,7	-13,1	17,1	-3,6	15,7	5,0	12,0	27,4	13,2	20,5
Porto da Extrema	39,3	62,6	-59,4	57,4	-46,2	52,6	-34,1	48,0	-22,3	44,0	-12,2
Caatinga	40,5	64,6	-59,6	59,3	-46,4	54,4	-34,3	49,6	-22,5	45,5	-12,4
Veredas											
Cachoeira das Almas											
Cachoeira do Paredão	4,9	11,1	-121,6	10,1	-101,2	9,2	-84,6	8,4	-68,4	7,7	-54,4
Porto do Cavalo	60,0	91,3	-52,3	83,6	-39,4	76,5	-27,5	70,1	-16,9	63,6	-6,1
Porto Alegre	59,7	88,7	-48,7	81,3	-36,3	74,6	-25,0	68,0	-14,0	62,4	-4,6
<b>Média</b>			<b>46,5</b>		<b>37,2</b>		<b>31,3</b>		<b>26,9</b>		<b>23,6</b>

recessão que apresentou menor erro relativo médio foi 30 de novembro, sendo este erro de 24,3% quando da consideração do início do período de recessão em maio e de 23,6% em junho.

Pela comparação dos valores de  $Q_{7,10}$  apresentados nos Quadros 13a e 12a, sendo que no Quadro 13a a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando a  $Q_{1 \text{ maio}}$  estimada pela equação generalizada para bacia e no Quadro 12a a  $Q_{7,10}$  foi obtida utilizando a  $Q_{1 \text{ maio}}$  obtida da série histórica, constata-se um comportamento diferenciado entre os valores de  $Q_{7,10}$  obtidos, mostrando um incremento expressivo nos valores do ER quando da utilização da equação generalizada para a bacia. Constata-se também nestes dois quadros que as datas correspondentes ao final do período de recessão que apresentaram menores valores de ER foram bem diferentes. Comportamento similar é evidenciado nos valores de  $Q_{7,10}$  apresentados nos Quadros 13b e 12b, mostrando que a utilização da equação generalizada para bacia para estimativa da  $Q_0$  apresentou piora expressiva no desempenho do modelo, não sendo portanto recomendável a utilização desta equação no modelo para estimativa da  $Q_{7,10}$ .

Pela análise dos resultados apresentados nos Quadros 10 a 13 evidenciou-se que não ocorreu diferença expressiva no desempenho do modelo para a estimativa da  $Q_{7,10}$  quando da consideração do início do período de recessão em maio ou em junho, porém houveram diferenças expressivas quando da consideração das diferentes datas consideradas para o final do período de recessão, sendo evidenciado para as condições estudadas que a data 31 de outubro foi a que permitiu uma melhor estimativa das  $Q_{7,10}$  estimadas. Desta forma, o modelo recomendado para a estimativa da  $Q_{7,10}$  é o que considera a seguinte combinação das variáveis estudadas: período de recessão do dia primeiro de maio ou primeiro de junho até 31 de outubro, valor de  $\alpha$  correspondente à estação fluviométrica e valor de  $Q_0$  obtido da série histórica. Entretanto, caso o usuário não possua a série histórica para a localidade analisada, a utilização do modelo considerando o valor de  $Q_0$  estimado pelas equações ajustadas aos dados de precipitação para cada estação fluviométrica pode constituir em uma boa alternativa sendo que, neste caso o erro relativo médio deve aumentar de 9,8% para 11,7%.

Os modelos para estimativa das  $Q_{90\%}$  e  $Q_{95\%}$  apresentaram comportamento similar ao descrito anteriormente para o modelo desenvolvido para estimar a  $Q_{7,10}$ , sendo estes resultados apresentados no Apêndice B.

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

No Quadro 14 estão apresentados os valores das vazões mínimas de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) estimados pelas cinco metodologias de regionalização de vazões analisadas neste estudo: tradicional, interpolação linear, interpolação linear modificado, CHAVES et al. (2002) e CHAVES modificado, assim como os valores das  $Q_{7,10}$  obtidos por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$  e os erros relativos (ER) entre as vazões estimadas e as calculadas.

Analisando os resultados apresentados no Quadro 14 verifica-se que as cinco metodologias de regionalização de vazões apresentaram erros relativos médios semelhantes, variando de 25,2%, evidenciado na metodologia baseada na interpolação linear, a 30,4%, observado no método de CHAVES modificado. Também foi evidenciado para todas as metodologias uma tendência de que quanto menor for a magnitude da  $Q_{7,10}$  obtida por análise probabilística das séries observadas maior será o valor do ER, pois o ER considera o valor observado da série histórica no denominador da equação e, conseqüentemente, quanto menor for o denominador maior tenderá a ser o valor do ER já que qualquer diferença entre os valores observados e estimados terá um peso muito maior no resultado do erro do que quando a magnitude do evento for mais alta.

O método tradicional de regionalização de vazões aplicado para a estimativa das  $Q_{7,10}$  apresentou valores de ER variando de 0,8 a 200 %, sendo estes valores observados nas seções correspondentes às estações Porto Alegre e Fazenda Barra da Égua, respectivamente. A estação Fazenda Barra da Égua está situada no ribeirão Entre Ribeiros, que segundo RODRIGUEZ (2004), possui um expressivo uso da água pela irrigação, sendo a vazão de retirada para este uso nos meses de maior demanda correspondente a 85,1% da  $Q_{7,10}$ , o que faz com que esta estação apresente um

Quadro 14.  $Q_{7,10}$  estimadas pelas cinco metodologias avaliadas ( $Q_{7,10}$  Est.,  $m^3 s^{-1}$ ),  $Q_{7,10}$  obtidas por análise probabilística das séries observadas de  $Q_7$  ( $Q_{7,10}$  Prob.,  $m^3 s^{-1}$ ) e o erro relativo (ER) entre as  $Q_{7,10}$  Est. e as  $Q_{7,10}$  Prob.

Estação	Caso*	$Q_{7,10}$ Prob	TRADICIONAL		Interpolação linear		Interpolação linear modificado		CHAVES et al. (2002)		CHAVES modificado	
			$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)	$Q_{7,10}$ (Est.)	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1	1,2	1,0	11,6	0,8	34,9	0,7	37,1	0,8	34,9	0,7	37,1
Fazenda Córrego do Ouro	2	3,0	3,5	17,6	4,6	53,5	4,7	58,9	4,6	53,5	4,7	58,9
Fazenda Nolasco	1	0,4	0,6	33,7	0,4	1,6	0,4	3,0	0,4	1,6	0,4	3,0
Barra do Escurinho	2	3,5	3,8	9,3	3,5	1,6	3,6	3,1	3,5	1,6	3,6	3,1
Ponte da BR-040 (Paracatu)	1	9,6	12,6	31,9	12,9	35,4	12,9	35,0	12,9	35,4	12,9	35,0
Santa Rosa	3	21,6	19,9	7,8	17,0	21,2	17,3	19,9	16,5	23,6	16,7	22,8
Fazenda Barra da Égua	4	1,2	3,7	200,0	2,4	96,3	2,5	98,4	2,4	90,7	2,4	92,8
Fazenda Poções	4	1,0	1,2	24,0	0,6	34,6	0,6	33,7	0,5	51,3	0,5	49,5
Fazenda Limeira	1	13,0	9,2	29,3	8,1	37,3	8,4	34,9	8,1	37,3	8,4	34,9
Unai	3	11,1	12,7	13,7	12,8	14,6	12,8	14,6	13,1	17,7	13,0	17,1
Santo Antônio do Boqueirão	3	12,7	14,1	11,4	12,0	5,4	12,0	5,7	12,0	5,2	12,0	5,7
Fazenda o Resfriado	4	1,0	1,6	65,6	1,5	49,7	1,4	47,7	1,5	56,4	1,5	51,4
Fazenda Santa Cruz	4	1,3	1,2	5,6	1,0	19,7	1,0	19,0	1,1	12,2	1,1	13,2
Porto dos Poções	2	17,2	23,0	33,9	20,4	18,7	19,9	16,0	20,4	18,7	19,9	16,0
Porto da Extrema	3	40,4	42,1	4,2	40,3	0,3	40,6	0,5	41,1	1,8	41,4	2,3
Caatinga	3	41,6	44,2	6,1	42,6	2,4	42,0	0,9	43,0	3,3	42,5	2,1
Veredas	1	0,8	0,1	87,4	0,2	80,6	0,2	80,7	0,2	80,6	0,2	80,7
Cachoeira das Almas	3	3,6	4,3	20,4	4,1	12,3	4,3	18,9	6,8	87,5	7,0	94,4
Cachoeira do Paredão	2	5,1	6,0	17,3	4,7	7,5	4,4	13,6	4,7	7,5	4,4	13,6
Porto do Cavalo	3	60,4	61,1	1,1	60,4	0,1	63,0	4,3	58,0	4,0	59,5	1,6
Porto Alegre	2	61,8	62,3	0,8	61,4	0,6	59,5	3,6	61,4	0,6	59,5	3,6
<b>Média</b>				<b>30,1</b>		<b>25,2</b>		<b>26,2</b>		<b>29,8</b>		<b>30,4</b>

\* Enquadramento da seção de interesse nas situações previstas nas metodologias: interpolação linear, interpolação linear modificado, CHAVES et al. (2002) e CHAVES modificado

comportamento diferenciado das outras estações situadas na mesma região hidrologicamente homogênea.

Pelo método baseado na interpolação linear os valores do ER variaram de 0,1 a 96,3%, sendo estes valores observados nas estações Porto do Cavalo e Fazenda Barra da Égua, respectivamente. A estação Fazenda Barra da Égua foi novamente a que apresentou o maior ER, pois como o método baseado na interpolação linear utiliza os dados dos postos fluviométricos mais próximos para a estimativa da vazão na seção de interesse e os quais, conforme descrito anteriormente, apresentam comportamento bastante diferenciado da estação Fazenda Barra da Égua, o erro relativo obtido quando da estimativa da  $Q_{7,10}$  para a seção correspondente a esta estação foi muito alto.

Para as metodologias da interpolação linear modificado, CHAVES et al. (2002) e CHAVES modificado também foram evidenciados valores de ER elevados para a estação Fazenda Barra da Égua, tendo em vista o fato destas metodologias também se basearem nos dados dos postos fluviométricos mais próximos para a estimativa da vazão na seção de interesse.

Na seção correspondente à estação Veredas ( $A_d = 190 \text{ km}^2$ ), assim como naquela correspondente à estação Fazenda Barra da Égua, os valores do ER foram muito grandes para todos os métodos, o que pode ser justificado para os métodos da interpolação linear, interpolação linear modificado, CHAVES et al. (2002) e CHAVES modificado, pelo fato da estimativa da vazão nesta seção ter sido feita com base nos dados da estação Cachoeira das Almas, que apresenta área de drenagem 22,9 vezes maior que a área de drenagem da estação Veredas, o que não é recomendado por ELETROBRÁS (1985b), que ressalta que não se deve aplicar o método baseado na interpolação linear quando a relação entre a área de drenagem entre o posto fluviométrico em análise e a seção de interesse for superior a três. Já para o método tradicional, EUCLYDES et al. (1997) ressaltam que certa cautela é aconselhável no caso da estimativa de vazões para sub-bacias com áreas de drenagem inferiores a  $249 \text{ km}^2$  na bacia do Paracatu, embora os autores tenham utilizado a própria estação Veredas na obtenção das equações de regionalização.

Os métodos interpolação linear modificado e CHAVES modificado não apresentaram melhores resultados quando comparado com os métodos da interpolação

linear e CHAVES et al. (2002), respectivamente, mostrando que a inserção da variável precipitação não apresentou melhoria na estimativa das vazões não justificando, portanto, a inclusão desta variável nos métodos originais. Tal comportamento decorre da pequena variação das precipitações ao longo da bacia do Paracatu, sendo, portanto, a relação entre as áreas de drenagem e os volumes precipitados uniforme na bacia.

No Quadro 15 estão apresentados os valores das vazões mínimas associada à permanência de 95% ( $Q_{95\%}$ ) estimados pelas cinco metodologias de regionalização de vazões analisadas neste estudo, assim como os valores das  $Q_{95\%}$  calculados com base nas séries observadas e os erros relativos (ER) entre as vazões estimadas e as calculadas. Evidencia-se neste quadro comportamento similar ao descrito anteriormente para a regionalização das  $Q_{7,10}$ , sendo observados valores de ER de menores magnitudes na estimativa das  $Q_{95\%}$  quando comparados com os obtidos na estimativa das  $Q_{7,10}$ , pois, sendo os valores das  $Q_{95\%}$  maiores, o denominador da equação para o cálculo do ER torna-se maior tendendo, conseqüentemente, a reduzir o valor do próprio ER.

No Quadro 16 estão apresentados os valores das vazões médias de longa duração ( $Q_{mld}$ ) estimados pelas cinco metodologias de regionalização de vazões analisadas neste estudo, assim como os valores das  $Q_{mld}$  calculados pela série histórica e os erros relativos (ER) entre as vazões estimadas e observadas.

Pela análise dos resultados apresentados no Quadro 16 verifica-se que as cinco metodologias de regionalização de vazões apresentaram, assim como evidenciado para a  $Q_{7,10}$  e a  $Q_{95\%}$ , erros relativos médio semelhantes, variando de 9,6%, obtido pela metodologia de CHAVES modificado, a 13,0% obtido pelo método tradicional de regionalização de vazões. Os valores de ER para a estimativa da  $Q_{mld}$  foram menores que os valores de ER para a estimativa das  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$ , pois as  $Q_{mld}$  apresentam magnitude de variação menor que as vazões mínimas, e também devido a magnitude dos valores da  $Q_{mld}$  ser maior o que acarreta uma tendência de diminuir os valores de ER.

O método tradicional de regionalização de vazões apresentou valores de ER variando de 0 a 50,9% para a estimativa das  $Q_{mld}$ , sendo estes valores observados nas seções correspondentes às estações Fazenda Santa Cruz e Veredas, respectivamente.

Quadro 15.  $Q_{95\%}$  estimadas pelas cinco metodologias avaliadas ( $Q_{95\%}$  Est.,  $m^3 s^{-1}$ ),  $Q_{95\%}$  calculadas com base na série observada ( $Q_{95\%}$  Obs.,  $m^3 s^{-1}$ ) e o erro relativo (ER) entre as  $Q_{95\%}$  Est. e as  $Q_{95\%}$  Obs.

Estação	Caso*	$Q_{95\%}$ (obs.)	TRADICIONAL		Interpolação linear		Interpolação linear modificado		CHAVES		CHAVES modificado	
			$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)	$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)	$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)	$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)	$Q_{95\%}$ (est.)	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1	1,8	1,6	13,3	1,5	14,9	1,5	17,7	1,5	14,9	1,5	17,7
Fazenda Córrego do Ouro	2	6,0	5,4	10,7	7,0	17,4	7,3	21,5	7,0	17,4	7,3	21,5
Fazenda Nolasco	1	0,7	0,9	29,2	0,7	2,1	0,7	0,7	0,7	2,1	0,7	0,7
Barra do Escurinho	2	5,6	5,8	3,8	5,5	2,1	5,6	0,7	5,5	2,1	5,6	0,7
Ponte da BR-040 (Paracatu)	1	15,9	19,6	23,2	19,4	21,8	19,3	21,3	19,4	21,8	19,3	21,3
Santa Rosa	3	32,3	31,1	3,6	27,3	15,6	27,7	14,3	26,9	16,7	27,2	15,9
Fazenda Barra da Égua	4	1,7	4,7	175,6	3,7	118,4	3,8	120,6	3,6	113,5	3,7	115,8
Fazenda Poções	4	1,5	1,6	4,2	0,9	37,2	1,0	36,6	0,7	55,3	0,7	53,7
Fazenda Limeira	1	19,0	11,3	40,7	13,9	26,7	14,5	23,9	13,9	26,7	14,5	23,9
Unai	3	19,1	15,5	19,0	19,1	0,2	19,1	0,2	19,6	2,7	19,5	2,2
Santo Antônio do Boqueirão	3	19,2	17,2	10,4	19,9	3,5	19,8	3,3	20,0	4,0	19,9	3,4
Fazenda o Resfriado	4	1,5	2,1	37,7	2,2	44,1	2,1	42,8	2,3	52,6	2,2	47,8
Fazenda Santa Cruz	4	1,4	1,6	11,0	1,5	6,0	1,5	7,3	1,7	19,5	1,7	18,1
Porto dos Poções	2	24,5	27,6	12,8	30,8	25,7	30,1	22,9	30,8	25,7	30,1	22,9
Porto da Extrema	3	62,9	62,5	0,6	64,9	3,2	65,5	4,1	65,7	4,5	66,1	5,1
Caatinga	3	67,3	65,7	2,4	66,5	1,1	65,5	2,6	67,2	0,2	66,4	1,3
Veredas	1	1,1	0,1	89,0	0,3	71,8	0,3	72,0	0,3	71,8	0,3	72,0
Cachoeira das Almas	3	7,1	5,9	16,7	6,4	9,5	6,8	4,0	9,9	39,7	10,3	45,2
Cachoeira do Paredão	2	8,1	8,2	1,3	9,2	14,1	8,6	6,5	9,2	14,1	8,6	6,5
Porto do Cavalo	3	95,5	91,9	3,8	87,7	8,2	90,5	5,3	87,9	8,0	90,1	5,7
Porto Alegre	2	89,1	93,8	5,3	97,1	9,0	94,1	5,6	97,1	9,0	94,1	5,6
<b>Média</b>				<b>24,5</b>		<b>21,6</b>		<b>20,7</b>		<b>24,9</b>		<b>24,1</b>

\* Enquadramento da seção de interesse nas situações previstas nas metodologias: interpolação linear, interpolação linear modificado, CHAVES et al. (2002) e CHAVES modificado

Quadro 16.  $Q_{mld}$  estimadas pelas cinco metodologias avaliadas ( $Q_{mld}$  Est.,  $m^3 s^{-1}$ ),  $Q_{mld}$  calculadas com base na série observada ( $Q_{mld}$  Obs.,  $m^3 s^{-1}$ ) e o erro relativo (ER) entre as  $Q_{mld}$  Est. e as  $Q_{mld}$  Obs.

Estação	Caso*	$Q_{mld}$ (obs.)	TRADICIONAL		Interpolação linear		Interpolação linear modificado		CHAVES		CHAVES modificado	
			$Q_{mld}$ (est.)	ER (%)	$Q_{mld}$ (est.)	ER (%)	$Q_{mld}$ (est.)	ER (%)	$Q_{mld}$ (est.)	ER (%)	$Q_{mld}$ (est.)	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1	8,1	6,9	15,4	7,2	11,3	6,9	14,3	7,2	11,3	6,9	14,3
Fazenda Córrego do Ouro	2	28,1	24,1	14,4	31,7	12,8	32,8	16,7	31,7	12,8	32,8	16,7
Fazenda Nolasco	1	3,2	3,9	24,4	3,6	12,6	3,5	11,0	3,6	12,6	3,5	11,0
Barra do Escurinho	2	27,9	26,2	6,3	24,8	11,2	25,1	9,9	24,8	11,2	25,1	9,9
Ponte da BR-040 (Paracatu)	1	93,1	90,1	3,2	95,3	2,4	94,9	2,0	95,3	2,4	94,9	2,0
Santa Rosa	3	159,0	144,2	9,3	150,9	5,1	153,0	3,7	153,0	3,7	154,4	2,9
Fazenda Barra da Égua	4	17,4	22,9	31,7	18,9	9,0	18,3	5,7	18,7	7,8	18,9	9,0
Fazenda Poções	4	10,1	7,8	22,4	6,1	39,6	5,1	49,6	5,9	41,8	6,1	39,8
Fazenda Limeira	1	56,0	53,8	3,9	54,2	3,2	56,3	0,4	54,2	3,2	56,3	0,4
Unaí	3	74,3	73,3	1,4	76,8	3,3	76,9	3,4	76,8	3,3	76,7	3,2
Santo Antônio do Boqueirão	3	85,4	81,3	4,7	80,9	5,3	80,6	5,6	81,0	5,1	80,6	5,6
Fazenda o Resfriado	4	9,0	10,3	13,9	9,9	9,5	9,6	6,0	10,2	13,3	9,9	9,7
Fazenda Santa Cruz	4	7,8	7,8	0,0	7,1	9,4	6,7	13,5	7,6	2,9	7,5	4,0
Porto dos Poções	2	120,1	129,1	7,5	137,0	14,1	134,0	11,6	137,0	14,1	134,0	11,6
Porto da Extrema	3	332,4	343,8	3,4	337,0	1,4	340,1	2,3	339,2	2,0	341,2	2,6
Caatinga	3	349,9	358,5	2,5	344,5	1,5	341,2	2,5	343,8	1,8	339,8	2,9
Veredas	1	3,4	1,7	50,9	3,0	11,9	3,0	12,4	3,0	11,9	3,0	12,4
Cachoeira das Almas	3	69,4	46,2	33,4	54,0	22,2	57,7	16,8	58,6	15,5	61,8	11,0
Cachoeira do Paredão	2	69,9	61,0	12,7	90,3	29,1	84,3	20,6	90,3	29,1	84,3	20,6
Porto do Cavalo	3	442,1	477,4	8,0	458,7	3,8	473,7	7,2	458,8	3,8	470,2	6,4
Porto Alegre	2	466,4	485,8	4,2	449,4	3,6	435,5	6,6	449,4	3,6	435,5	6,6
<b>Média</b>				<b>13,0</b>		<b>10,6</b>		<b>10,6</b>		<b>10,2</b>		<b>9,6</b>

\* Enquadramento da seção de interesse nas situações previstas nas metodologias: interpolação linear, interpolação linear modificado, CHAVES et al. (2002) e CHAVES modificado

Conforme descrito anteriormente, a seção correspondente à estação Veredas apresenta área de drenagem inferior ao limite aconselhável por EUCLYDES et al. (2004) para a aplicação dos modelos de regionalização de vazões pelo método tradicional, sendo, portanto, esta estação susceptível a valores de ER maiores.

O método baseado na interpolação linear, quando aplicado para a estimativa da  $Q_{mld}$ , apresentou valores de ER variando de 1,4 a 39,6%, sendo estes valores observados nas seções correspondentes às estações Porto da Extrema e Fazenda Poções, respectivamente. O alto valor do ER evidenciado na estação Fazenda Poções está diretamente associado à propagação dos erros advinda da necessidade de obtenção das vazões na confluência do rio Paracatu com o ribeirão Entre Ribeiros e a partir desta na confluência dos ribeirões Entre Ribeiros e São Pedro. Este fato também fez com que fossem evidenciados para esta estação os maiores valores de ER para as metodologias da interpolação linear modificado, CHAVES et al. (2002) e CHAVES modificado.

Conforme evidenciado para a estimativa da  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  a inserção da variável precipitação nos métodos interpolação linear e CHAVES et al. (2002) não apresentou melhoria expressiva na estimativa da  $Q_{mld}$  não sendo, portanto, recomendável a inclusão desta variável nos métodos originais para a estimativa da  $Q_{mld}$  na bacia do Paracatu, uma vez que acarreta uma maior dificuldade na aplicação da metodologia sem, contudo, oportunizar melhoria no seu desempenho.

Pela análise dos resultados obtidos tanto para a regionalização da  $Q_{7,10}$ , quanto da  $Q_{95\%}$  e da  $Q_{mld}$ , evidenciou-se que o desempenho dos cinco métodos analisados não caracterizou diferenças expressivas, mostrando que a utilização dos métodos baseados na interpolação e extrapolação de vazões não representou prejuízo em relação à metodologia tradicional. Também constatou-se que, para as condições estudadas, a inserção das modificações propostas nas metodologias interpolação linear e CHAVES et al. (2002) não apresentou melhoria expressiva que justificasse a sua recomendação.

### 4.3. Modelo de ajuste das vazões média e mínima ao longo da bacia do Paracatu

Na Figura 11 são apresentados os resultados obtidos com o modelo desenvolvido para estimar, em função da área de drenagem, a vazão mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ) no rio Paracatu, tendo sido a equação ajustada considerando os dados de vazão das seis estações fluviométricas situadas no rio Paracatu. Nas Figuras 12 e 13 são apresentadas as equações obtidas para estimar a vazão associada à permanência de 95% ( $Q_{95\%}$ ) e a vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ), respectivamente, evidenciando-se que um bom ajuste das vazões ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{mld}$ ) foi obtido quando da consideração apenas da área de drenagem ( $R^2$  igual ou superior a 0,98), mesmo com a redução da  $Q_{95\%}$  da estação Porto do Cavalo ( $Ad = 40.869 \text{ km}^2$ ) para Porto Alegre ( $Ad = 41.868 \text{ km}^2$ ).

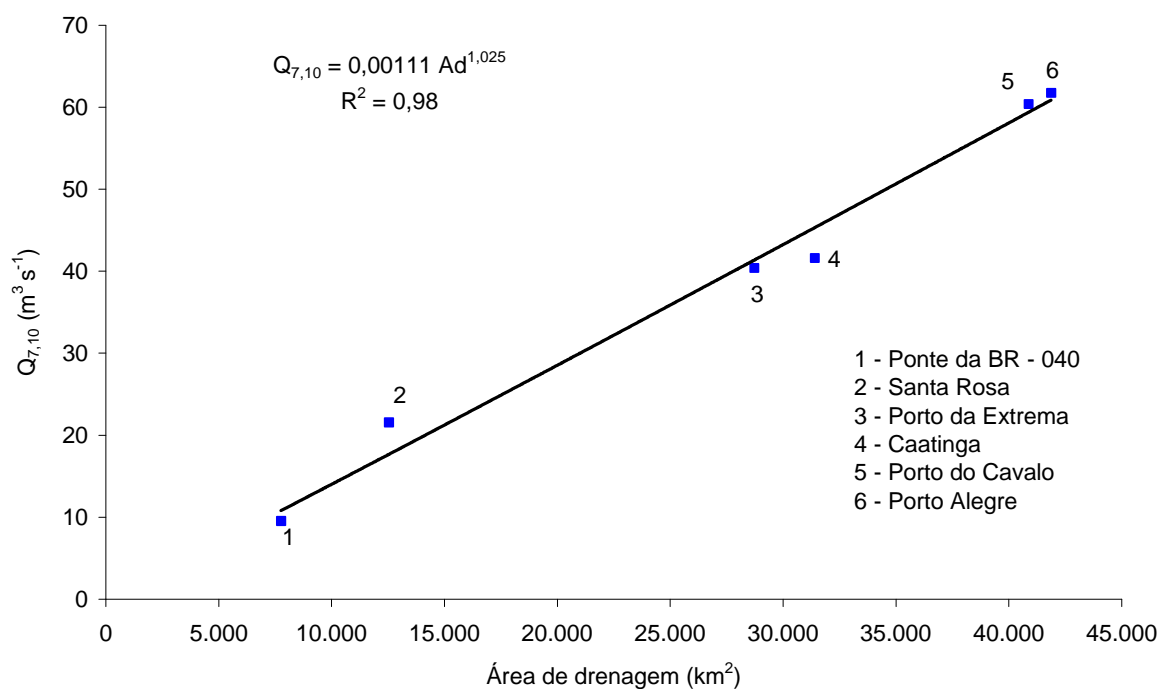


Figura 11. Equação obtida para estimar a  $Q_{7,10}$  em função da área de drenagem no rio Paracatu.

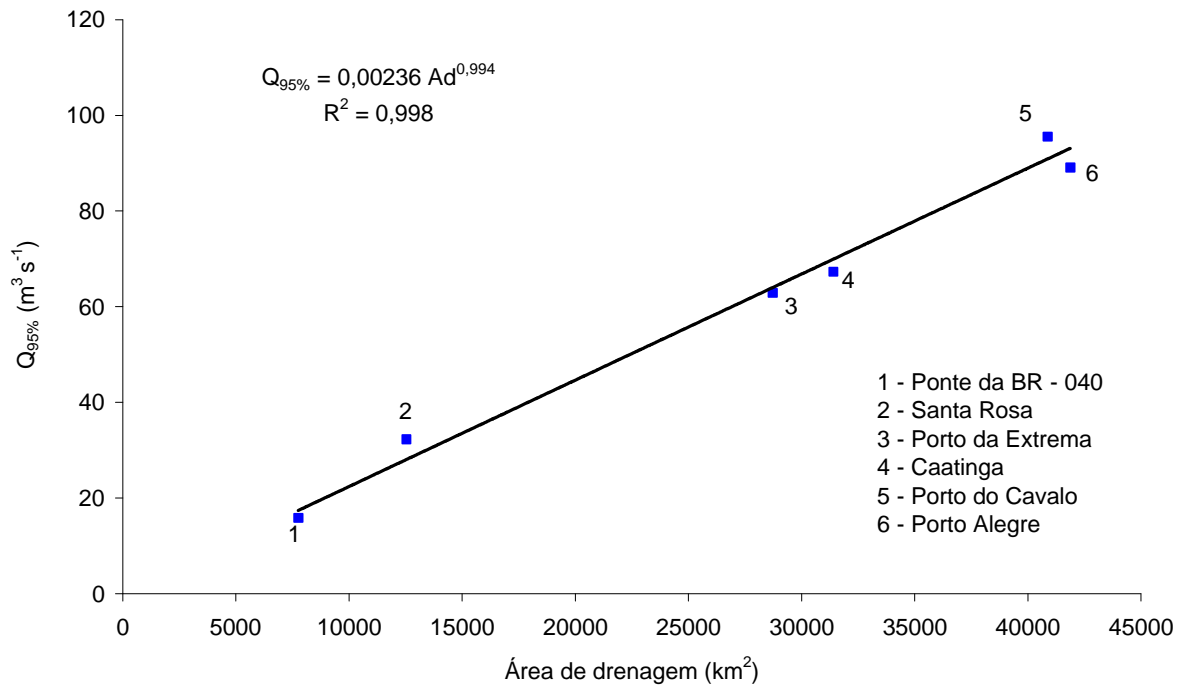


Figura 12. Equação obtida para estimar a  $Q_{95\%}$  em função da área de drenagem no rio Paracatu.

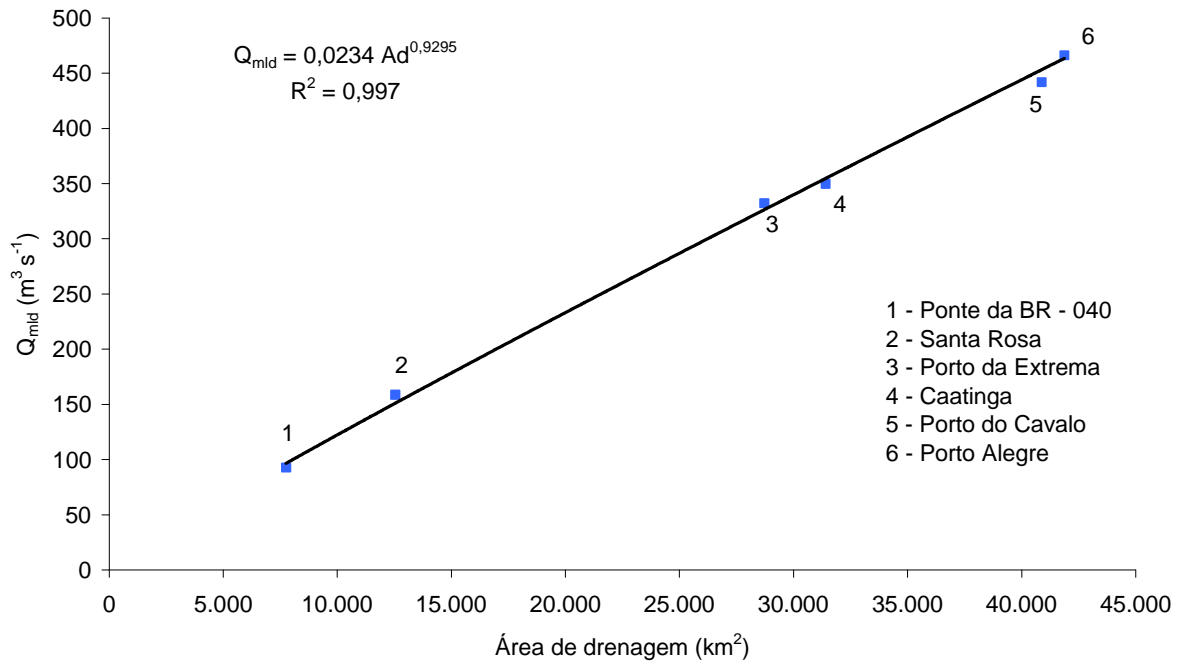


Figura 13. Equação obtida para estimar a  $Q_{mld}$  em função da área de drenagem no rio Paracatu.

As equações obtidas, embora apresentem um ajuste do tipo potencial, possuem, entretanto, em função dos valores dos expoentes muito próximos à unidade, um comportamento similar ao linear, caracterizando um aumento aproximadamente constante das vazões com o crescimento da área de drenagem, o que vem a superar as limitações que o uso das vazões calculadas com base nos dados observados, com redução das vazões com o aumento da área de drenagem, apresentaria para a gestão de recursos hídricos, sobretudo, no que tange à concessão de outorga nestas seções, que apresentam menores vazões que outras seções situadas a montante.

Uma vez definidas as equações que permitem estimar as vazões ao longo do rio Paracatu foi procedida, conforme descrito na metodologia, a obtenção das equações para estimar as vazões em seus afluentes diretos.

Na Figura 14 apresenta-se tanto a equação obtida pela metodologia proposta neste trabalho para estimar a  $Q_{7,10}$  ao longo do rio Preto como a equação proposta por EUCLYDES et al. (2004) com base na metodologia tradicional de regionalização de vazões. Observa-se, nesta figura, que as  $Q_{7,10}$  estimadas pela equação proposta neste trabalho apresentam grandes diferenças em relação às estimadas pela equação baseada na metodologia tradicional de regionalização, sendo evidenciada uma diferença nas vazões estimadas na foz do rio Preto entre as duas equações de  $10,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o que representa 68% da vazão estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho.

Pela análise da Figura 14 evidencia-se ainda que a  $Q_{7,10}$  estimada na foz do rio Preto a partir da análise da diferença das  $Q_{7,10}$  obtidas no rio Paracatu pelo método tradicional de regionalização de vazões nas seções situadas imediatamente a montante e a jusante do deságüe do rio Preto foi de  $13,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a  $Q_{7,10}$  estimada na foz do rio Preto quando da aplicação das equações diretamente à bacia do rio Preto foi de  $25,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , acarretando em uma diferença entre as estimativas das  $Q_{7,10}$  na foz do rio Preto de  $11,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , que representa cerca de 75% da  $Q_{7,10}$  estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho. Esta descontinuidade da  $Q_{7,10}$  apresentada pelo método tradicional de regionalização não é evidenciada no método proposto neste trabalho, no qual constata-se que tanto a  $Q_{7,10}$  estimada na foz do rio Preto a partir da análise das vazões do rio Paracatu como a  $Q_{7,10}$  estimada considerando diretamente a

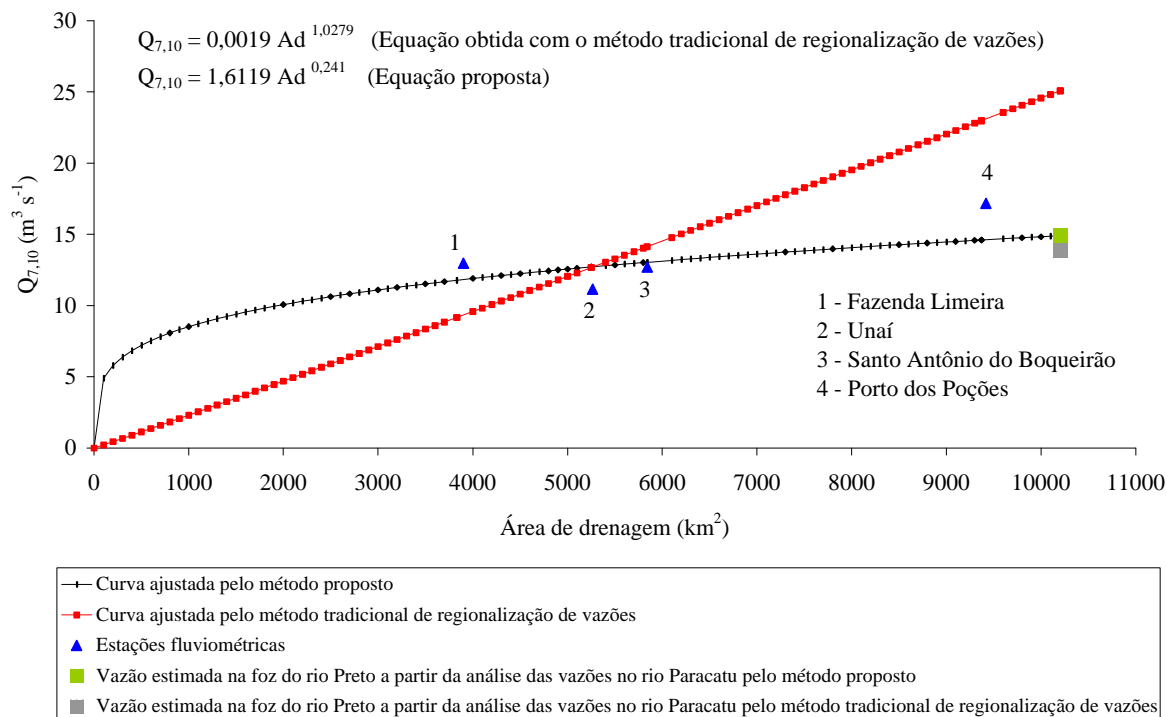


Figura 14. Equações ajustadas para estimar a  $Q_{7,10}$  no rio Preto considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2004).

bacia do rio Preto, apresentam as mesmas magnitudes, garantindo assim, a continuidade das vazões ao longo de toda a rede hidrográfica.

O comportamento descrito para a  $Q_{7,10}$  também é constatado para a  $Q_{95\%}$  (Figura 15), sendo que, neste caso, a  $Q_{95\%}$  estimada na foz do rio Preto a partir da análise das vazões no rio Paracatu pelo método tradicional de regionalização foi de  $18,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a  $Q_{95\%}$  estimada a partir da análise considerando a bacia de drenagem do rio Preto foi de  $30,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , acarretando em uma descontinuidade da  $Q_{95\%}$  na foz do rio Preto de  $11,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o que representa cerca de 52% da  $Q_{95\%}$  estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho.

As descontinuidades das  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  evidenciadas na foz do rio Preto quando da aplicação das equações baseadas na metodologia tradicional de regionalização de vazões não é tão expressiva quando da sua aplicação para a estimativa da  $Q_{mld}$  (Figura 16), sendo evidenciado que a  $Q_{mld}$  estimada na foz do rio Preto a partir da análise das vazões no rio Paracatu pelo método tradicional de regionalização de vazões

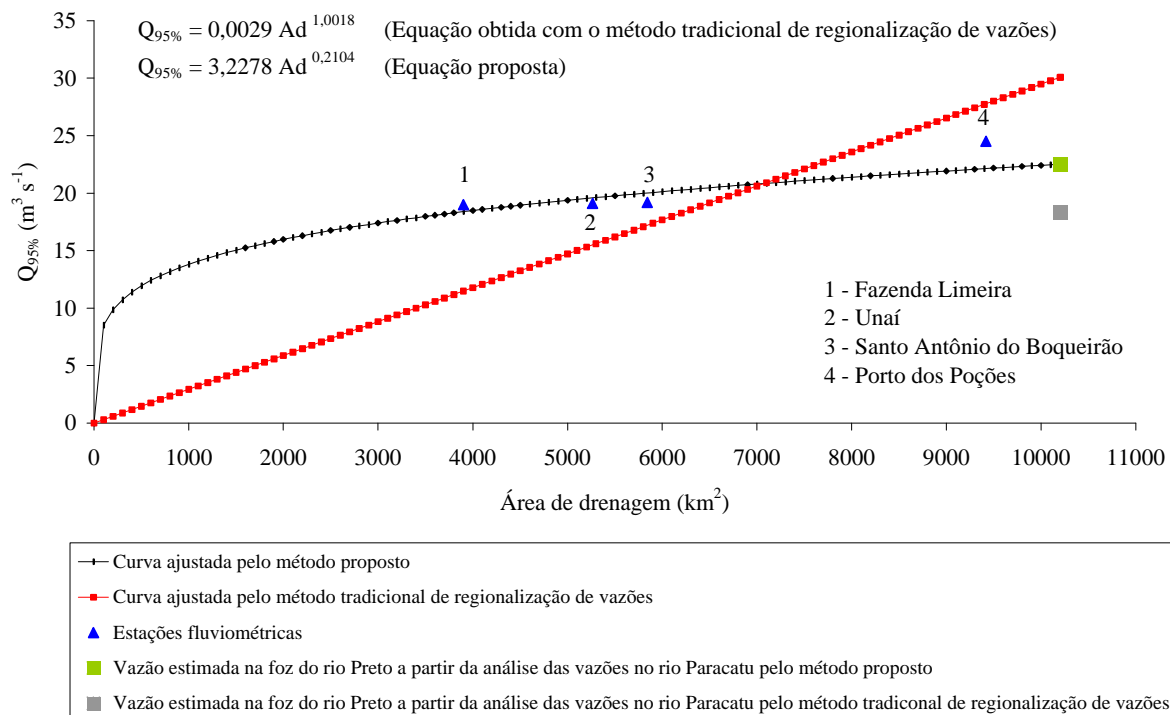


Figura 15. Equações ajustadas para estimar a  $Q_{95\%}$  no rio Preto considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2004).

foi de  $137,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a  $Q_{\text{mld}}$  estimada considerando a área de drenagem da bacia do rio Preto foi de  $140,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , acarretando em uma descontinuidade da  $Q_{\text{mld}}$  na confluência dos rios Preto e Paracatu de apenas  $2,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

Tendo em vista o acentuado crescimento das vazões para pequenas áreas de drenagem, evidenciado principalmente nas Figuras 14 e 15 com o uso da metodologia proposta neste trabalho, e o fato de que a partir de então a vazão passa a ter uma taxa de crescimento muito reduzido, constata-se que isto poderia acarretar certas distorções na concessão de outorga, uma vez que os usuários situados nas áreas de cabeceira teriam acesso a uma vazão proporcionalmente muito maior que os usuários de jusante. Tendo em vista este aspecto, na Figura 17 apresenta-se uma linha que constitui em uma proposta alternativa na análise da vazão a ser outorgada e que é obtida a partir do traçado de uma linha reta passando pela origem e pelo ponto correspondente à vazão na foz estimada pelo modelo proposto neste trabalho.

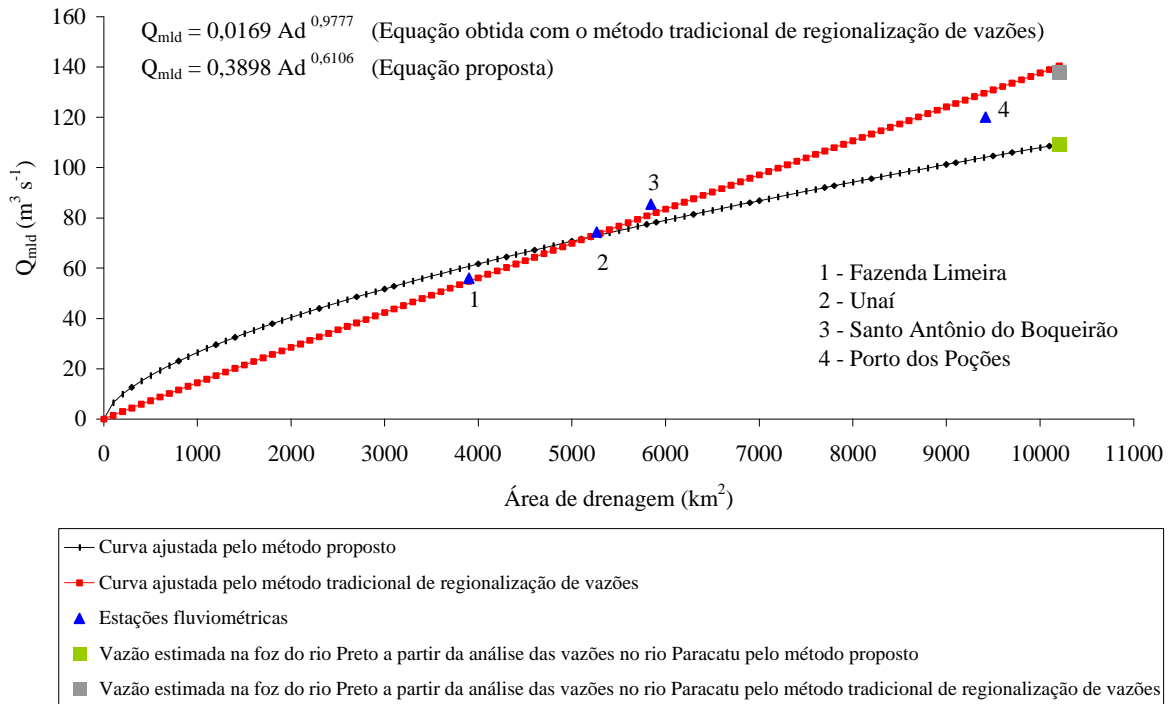


Figura 16. Equações ajustadas para estimar a  $Q_{mld}$  no rio Preto considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2004).

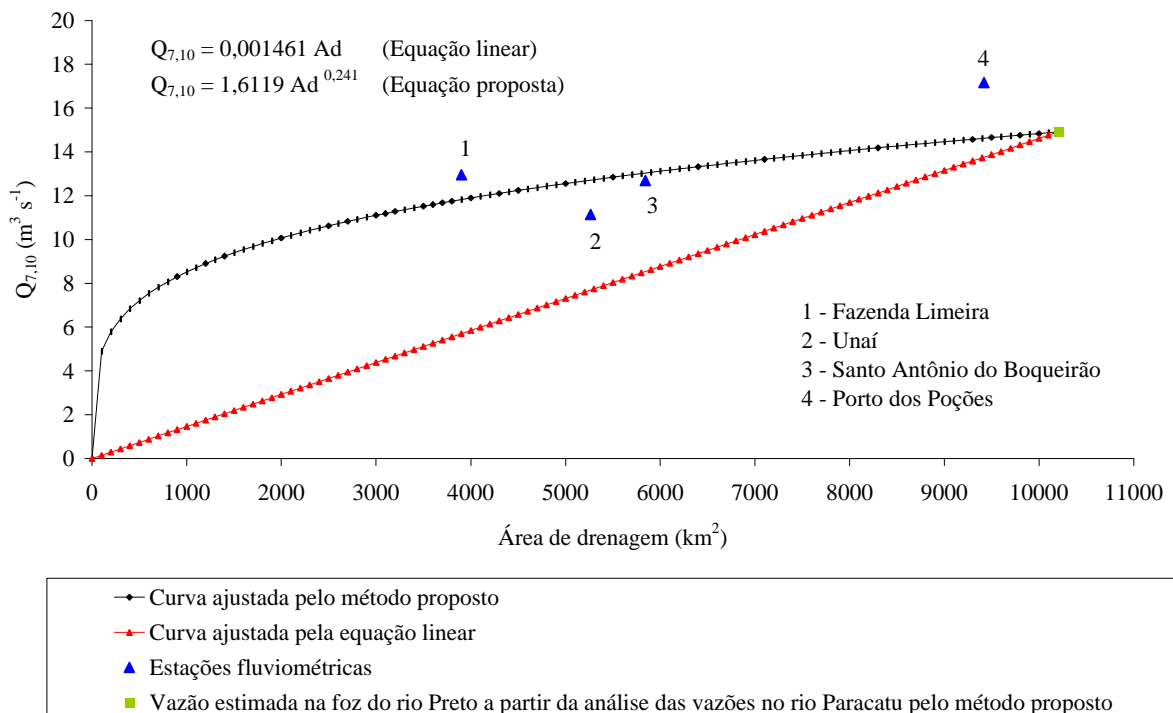


Figura 17. Equação ajustada pela metodologia proposta neste trabalho e a equação linear que permitem estimar a  $Q_{7,10}$  no rio Preto.

Pela análise da Figura 17 verifica-se que, para as condições evidenciadas no rio Preto, as  $Q_{7,10}$  estimadas a partir da reta ajustada, são, em qualquer seção, inferiores às estimadas pela equação proposta neste trabalho. Para esta situação caberia ao comitê da bacia definir o critério a ser utilizado para a outorga devendo a vazão a ser concedida estar compreendida entre estas duas linhas.

Na Figura 18 apresenta-se tanto a equação obtida pela metodologia proposta neste trabalho para estimar a  $Q_{7,10}$  ao longo do rio do Sono como a equação proposta por EUCLYDES et al. (2004) com base na metodologia tradicional de regionalização de vazão. Observa-se que a equação proposta para estimar a  $Q_{7,10}$  no rio do Sono é exponencial e como esta equação não intercepta a origem, optou-se por utilizar uma reta entre a origem e a estação fluviométrica de menor área de drenagem para representar a equação neste intervalo, sendo a partir de então utilizada a equação exponencial.

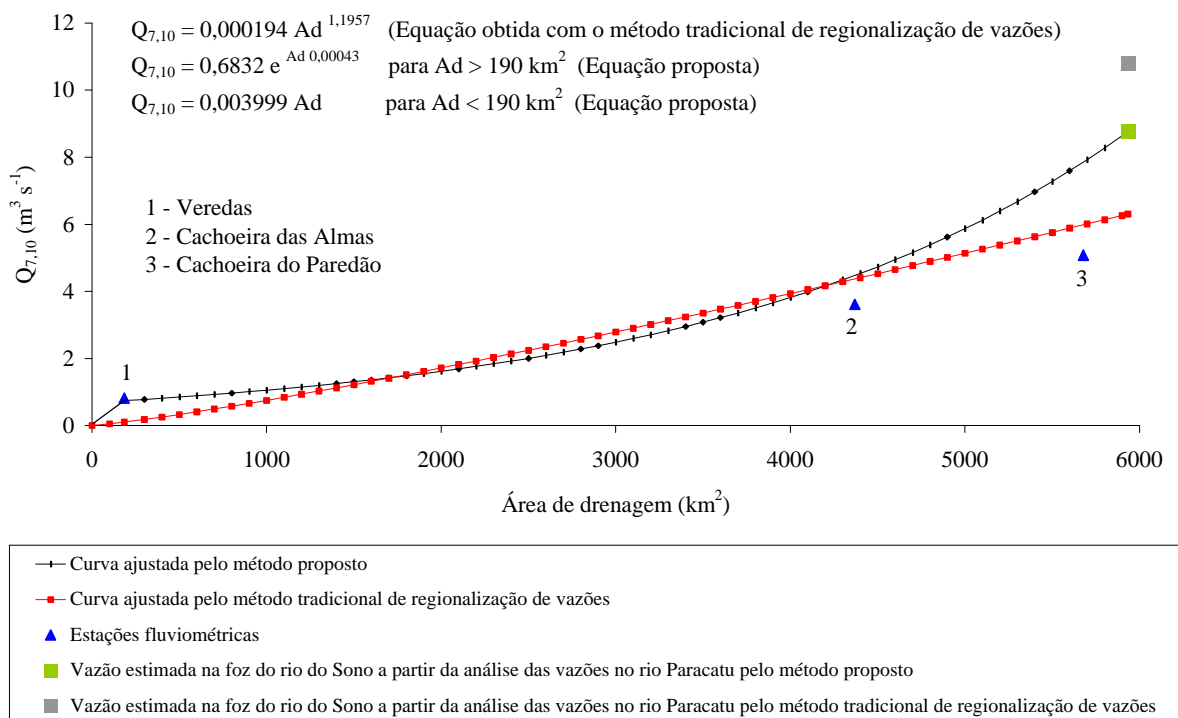


Figura 18. Equações ajustadas para estimar a  $Q_{7,10}$  no rio do Sono considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2004).

Pela análise da Figura 18 evidencia-se que as  $Q_{7,10}$  estimadas pela equação proposta neste trabalho apresentam grandes diferenças em relação às estimadas pela equação baseada na metodologia tradicional de regionalização, sendo evidenciada uma diferença nas vazões estimadas na foz do rio do Sono entre as duas equações de  $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o que representa 28% da vazão estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho. A  $Q_{7,10}$  estimada na foz do rio do Sono a partir da análise da diferença das  $Q_{7,10}$  obtidas no rio Paracatu pelo método tradicional de regionalização de vazões nas seções situadas imediatamente a montante e jusante do deságüe do rio do Sono foi de  $10,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a  $Q_{7,10}$  estimada na foz do rio do Sono quando da aplicação das equações diretamente à bacia do rio do Sono foi de  $6,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , acarretando em uma diferença entre as estimativas das  $Q_{7,10}$  na foz do rio do Sono de  $4,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o que representa cerca de 51% da  $Q_{7,10}$  estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho.

O comportamento descrito para a  $Q_{7,10}$  no rio do Sono também é constatado para a  $Q_{95\%}$  (Figura 19), sendo que, neste caso, a  $Q_{95\%}$  estimada na foz do rio do Sono a partir da análise das vazões no rio Paracatu pelo método tradicional de regionalização de vazões foi de  $16,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a  $Q_{95\%}$  estimada a partir da análise considerando a bacia de drenagem do rio do Sono foi de  $8,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , acarretando em uma descontinuidade da  $Q_{95\%}$  na foz do rio do Sono de  $8,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o que representa cerca de 62% da  $Q_{95\%}$  estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho.

As descontinuidades das  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  evidenciadas na foz do rio do Sono quando da aplicação das equações baseadas na metodologia tradicional de regionalização de vazões não é tão expressiva quando da sua aplicação para a estimativa da  $Q_{\text{mld}}$  (Figura 20), sendo evidenciado que a  $Q_{\text{mld}}$  estimada na foz do rio do Sono a partir da análise das vazões no rio Paracatu pelo método tradicional de regionalização de vazões foi de  $75,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a  $Q_{\text{mld}}$  estimada na foz do rio do Sono considerando a área de drenagem da bacia do rio do Sono foi de  $63,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , acarretando em uma descontinuidade da  $Q_{\text{mld}}$  na confluência dos rios do Sono e Paracatu de  $11,1 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , o que representa cerca de 18,1% da  $Q_{\text{mld}}$  estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho.

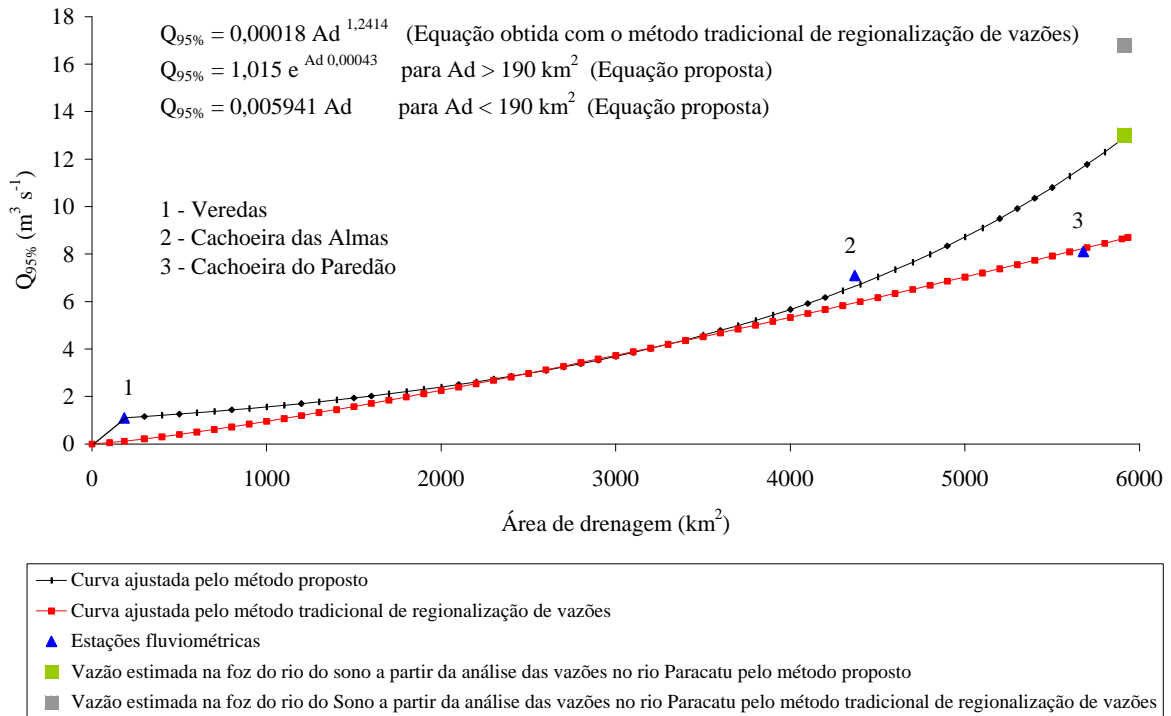


Figura 19. Equações ajustadas para estimar a  $Q_{95\%}$  no rio do Sono considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2004).

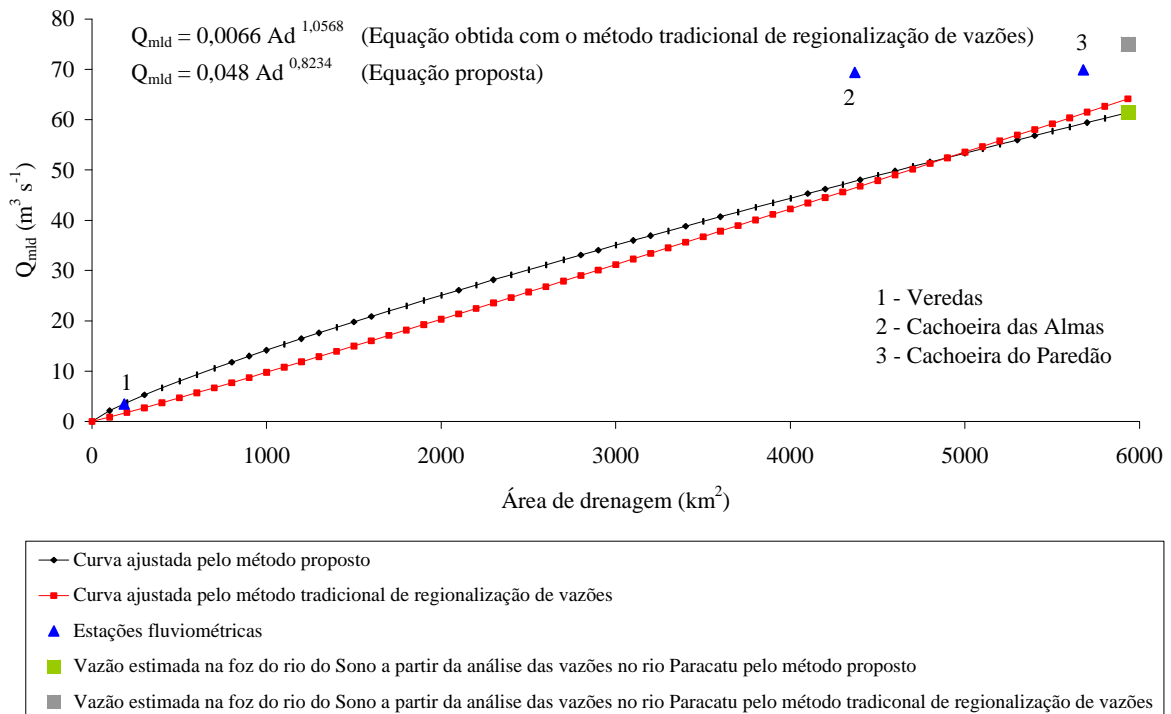


Figura 20. Equações ajustadas para estimar a  $Q_{mld}$  no rio do Sono considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2004).

Na Figura 21 apresenta-se, para o rio do Sono, a linha que constitui em uma proposta alternativa na análise da vazão a ser outorgada e que é obtida a partir do traçado de uma linha reta passando pela origem e pelo ponto correspondente à vazão na foz estimada pelo modelo proposto neste trabalho. Verifica-se neste caso que, para áreas de drenagens inferiores a 598,3 km<sup>2</sup>, as Q<sub>7,10</sub> estimadas pela equação linear são inferiores às estimadas pela equação proposta neste trabalho, devendo, neste caso e conforme já mencionado quando da análise do rio Preto, a vazão máxima a ser concedida para outorga estar compreendida entre estas duas linhas. Entretanto, para áreas de drenagem superiores a 598,3 km<sup>2</sup>, as Q<sub>7,10</sub> estimadas pela equação linear são superiores às estimadas pela equação proposta neste trabalho, devendo neste caso, as vazões máximas outorgáveis serem definidas pela equação ajustada pelo método proposto uma vez que a utilização, neste caso, da vazão obtida a partir da equação linear para fins de concessão de outorga implicaria em retiradas que excederiam ao limites permissíveis pela legislação.

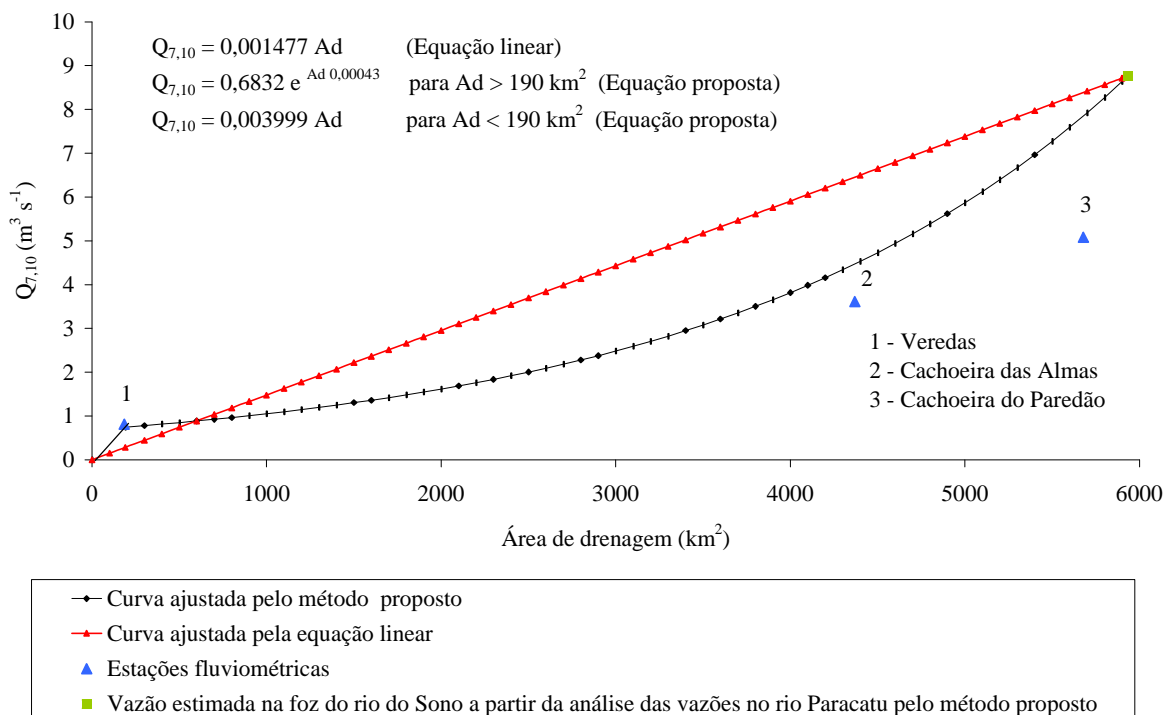


Figura 21. Equação obtida pela metodologia proposta neste trabalho e a equação linear que permitem estimar a Q<sub>7,10</sub> no rio do Sono.

Na Figura 22 apresenta-se tanto a equação obtida pela metodologia proposta neste trabalho para estimar a  $Q_{7,10}$  ao longo do rio Preto como a equação de regionalização de vazões baseada na interpolação linear, evidenciando-se que pelo fato da metodologia da interpolação linear considerar individualmente cada estação ocorrem as descontinuidades observadas na variação da vazão com a área de drenagem, sendo esta relação representada pelo conjunto de segmentos de reta apresentados na Figura 22, sendo cada segmento definido pela presença de pelo menos uma estação fluviométrica. Este fato conduz a comportamentos como aquele em que com um aumento de 35% da área de drenagem da estação Fazenda Limeira para Unai ocorre uma redução da  $Q_{7,10}$  de 14%.

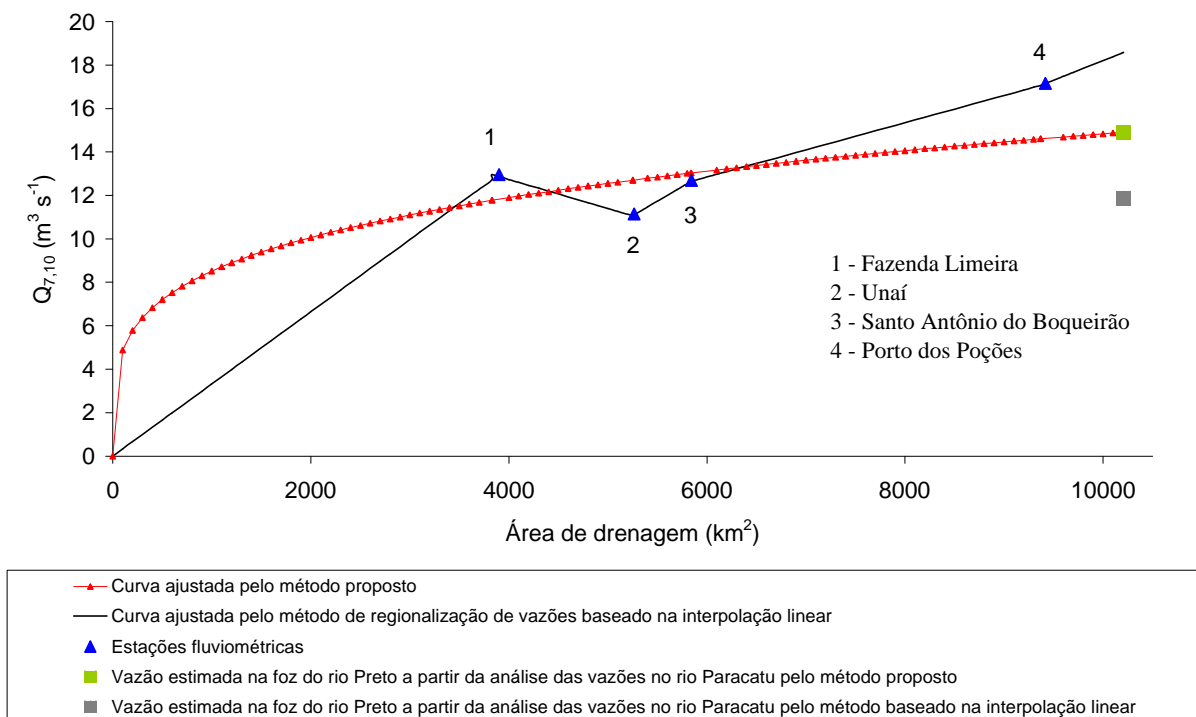


Figura 22. Equações ajustadas para estimar a  $Q_{7,10}$  no rio Preto considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método de regionalização de vazões baseado na interpolação linear.

Pela análise da Figura 22 evidencia-se que a  $Q_{7,10}$  estimada na foz do rio Preto a partir da análise da diferença das  $Q_{7,10}$  obtidas no rio Paracatu pelo método de regionalização de vazões baseado na interpolação linear nas seções situadas

imediatamente a montante e a jusante do deságüe do rio Preto foi de  $11,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , enquanto que a  $Q_{7,10}$  estimada na foz do rio Preto quando da aplicação das equações diretamente à bacia do rio Preto foi de  $18,7 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , acarretando em uma diferença entre as estimativas das  $Q_{7,10}$  na foz do rio Preto de  $6,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ , que representa cerca de 44% da  $Q_{7,10}$  estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho.

As equações ajustadas que permitem a estimativa das  $Q_{\text{mld}}$ ,  $Q_{7,10}$  e  $Q_{95\%}$  ao longo de cada um dos principais rios constituintes da rede hidrográfica da bacia do Paracatu estão apresentados no apêndice C.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram as seguintes conclusões:

- o modelo para a estimativa das vazões mínimas a partir da curva de recessão do escoamento subterrâneo e de dados pluviométricos apresentou um bom desempenho, sendo que os melhores resultados foram obtidos quando da consideração da seguinte combinação das variáveis estudadas: período de recessão do dia primeiro de maio ou primeiro de junho a 31 de outubro; coeficiente de recessão do escoamento subterrâneo médio relativo à estação fluviométrica em análise; e vazão correspondente ao início do período de recessão estimada pelas equações ajustadas aos dados de precipitação média na área de drenagem da estação fluviométrica considerada;

- para precipitações médias anuais inferiores a 750 mm a vazão torna-se nula no início do período de recessão;

- não foram caracterizadas diferenças expressivas no desempenho dos cinco métodos analisados de regionalização de vazões, tanto para a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ( $Q_{7,10}$ ), quanto para a vazão associada à permanência de 95% ( $Q_{95\%}$ ) e a vazão média de longa duração ( $Q_{mld}$ ); e

- o método proposto para o ajuste das vazões médias e mínimas ao longo da rede hidrográfica da bacia do Paracatu garantiu a continuidade destas vazões ao longo de toda a rede hidrográfica, ao contrário do que foi evidenciado quando da aplicação dos demais métodos de regionalização de vazões.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Aspectos gerais da região: diagnóstico da bacia.** Disponível em: <http://www.ana.gov.br/bacias/sfrancisco/planos/paracatu/introducao.htm>. Acesso em: 21 de fevereiro de 2003.

AGRA, S. G. SOUZA, V. C. B., NEVES, M. G. F. P., CRUZ, M. A. S. **Metodologias de regionalização de vazões: estudo comparativo na bacia do rio Carreiro – RS.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003. CD-Rom.

ALBANO, G. D.; PORTO, R. L. L. **Integração de modelos matemáticos de quantidade e de qualidade de água - proposta de gerenciamento de sistemas produtores de abastecimento público.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003. CD-Rom.

ANJOS, E. F. S. **Os comitês de bacia hidrográfica: lições da experiência de Minas Gerais.** 2003. 139 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) – Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

AZEVEDO, J. R. G., SILVA, G. S., AMORIM, R. S. **Previsões de mudanças climáticas do modelo de circulação atmosférica HadCM3 para a bacia hidrográfica do rio São Francisco.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003. CD-Rom.

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

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.** 2002. 135 p. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS - Governo do Estado. DISTRITO FEDERAL. **Plano Diretor de recursos hídricos da bacia do rio Paracatu – PLANPAR**. S.l.: 1996. v. 1. T. 1. CD-ROM.

BRASIL – Ministério de Minas e Energia. SUDENE – Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Inventário hidrogeológico básico do Nordeste**. Série: BRASIL. SUDENE. HIDROGEOLOGIA. Número 62. Recife, 1988. 369 p.

CAMPANILI, M. **Maiores perdas de água são na irrigação**. Disponível em: [www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2003/mar/14/124.htm](http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2003/mar/14/124.htm) . Acessado no dia 15 de dezembro de 2004.

CANEDO, P. M. Hidrologia Superficial. In: **Engenharia Hidrológica**, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 1 ed., Capítulo 4, Rio de Janeiro, Editora da UFRJ. 1989.

CARVALHO, A. R. L. **Previsão de aflúências diárias para horizontes de 1 a 7 dias através de uma abordagem estocástica – modelo PREVIVAZH**. 2001. 89p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

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**. 2004. 165p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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 Informações Geográfica. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n. 3, 2002. p. 43-51.

CLARKE, R. T. e DIAS, P. L. S. **As necessidades de observação e monitoramento dos ambientes brasileiros quanto aos recursos hídricos**. Secretária técnica do fundo setorial de recursos hídricos / CTHidro, 2002. 43 p.

COLLISCHONN, W e TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica de grandes bacias. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, n. 1, 2001. p. 95-118.

COSTA, F. S. et al. **Modelo estocástico de previsão de vazões mensais – PREVIVAZM**. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003. CD-Rom.

CUNHA, L. V. Perspectivas da gestão da água para o século XXI: desafios e oportunidades. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n. 4, 2002. p. 65-73.

CUNHA, L. V. O novo paradigma da água. Debate sobre “Água: Novos Desafios e Oportunidade”. In: **Centro de Informação Européia Jacques Delors**, Lisboa, 2003.

CUSTÓDIO, E. e LLAMAS, M. R. **Hidrologia subterrânea**. Editora Omega - Barcelona, 1983. 1.157 p.

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

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

EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A., PINTO, F. A., VIGODERIS, R. B. **Regionalização de vazão máxima, mínima e média de longo período para a bacia do rio Paracatu, Minas Gerais**. Brasília, DF.: MMA.SRH; Viçosa: UFV; Belo Horizonte: RURALMINAS, 1998. 200p.

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

EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A., RUBERT, O. A. V., SANTOS, R. M. Regionalização Hidrológica na Bacia do Alto São Francisco a Montante da Barragem de Três Marias, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.6, n. 2, 2001. p. 81-105.

EUCLYDES et al. **Ferramenta para o planejamento e gestão de recursos hídricos nos Estado de Minas Gerais – HIDROTEC**. Viçosa: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS. 2004. Disponível em: [www.ufv.br/dea/hidrotec](http://www.ufv.br/dea/hidrotec).

FERREIRA, P. A.; EUCLYDES, H. P. **Recursos hídricos e tecnologia necessária aos projetos hidroagrícolas: bacia do Paracatu**. Viçosa, MG: UFV/DEA, 1997. 200 p.

FREITAS, A. J. Gestão de recursos hídricos. In: SILVA, D. D., PRUSKI, F. F. **Gestão de recursos hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais**. Brasília, DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000. 659p.

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 – ANA/GEF/PNUMA/OEA. **Relatório Final**. Brasília, DF. 335p. 2003.

GUILHON, L. G. F. e CARPIO, L. G. T. **Modelo heurístico para previsão de vazões naturais médias semanais em usinas hidrelétricas usando chuva equivalente**. In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003. CD-Rom.

IRC, “The World’s Water: Is There Enough? World Water Day for 1997”, Water Newsletter, n.247, February 1997, **International Water Supply and Sanitation Centre**, The Hague, The Netherlands, 1997.

JOHN, L. **A água como objeto de disputas mundiais.** Disponível em: [www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2003/mar/14/124.htm](http://www.estadao.com.br/ciencia/noticias/2003/mar/14/124.htm) (link: Água para todos). Acessado no dia 15 de dezembro de 2004.

JOHNSSON, R. M. F., LOPES, P. D. **Projeto marca d'água seguindo as mudanças na gestão das bacias hidrográficas do Brasil: caderno 1: retratos 3 x 4 das bacias pesquisadas.** Brasília: Finatec, 2003. v.1. 212p.

KELMAN, J. Modelos estocásticos no gerenciamento dos recursos hídricos. In: BARTH, F. T., POMPEU, C. T., FILL, H. D., TUCCI, C. E. M., KELMAN, J., BRAGA JUNIOR, B. P. F. **Modelos para gerenciamento de recursos hídricos.** São Paulo: Nobel: ABRH, 1987. p. 327-426.

LIMA, G., PEIXOTO, L. S. MAUAD, F. F. **A aplicação do modelo de simulação MIKE BASIN 2000 no planejamento e gerenciamento de recursos hídricos.** In: Anais do 22<sup>nd</sup> Berian Latin-American Congress on Computational Methods in Engineering. Campinas, 2001. CD-Rom.

LIMA, G. **Aplicação de simulação computacional na análise dos conflitos entre os usos múltiplos da água na bacia do rio Atibaia no Estado de São Paulo.** 2002. 121 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia de São Carlos).

LIMA, C. H. R. e FERREIRA FILHO, W. M. F. **Análise de modelos de redes neurais aplicados ao processo chuva deflúvio no semi-árido.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003. CD-Rom.

MACHADO, R. E., VETTORAZZI, C. A., CRUCIANI, D. E. Simulação do escoamento em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 1, 2003. p. 147-155.

MORAES, J. M. et al. Propriedades físicas dos solos na parametrização de um modelo hidrológico. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.8, n. 1, 2003. p. 61-70.

OLIVEIRA, L. C. K. **Papel do monitoramento e da previsão de vazões no gerenciamento de bacias hidrográficas.** 2003. 177p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

PEREIRA, S. B. **Evaporação no lago de sobradinho e disponibilidade hídrica no rio São Francisco.** 2004. 103 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RAMEH, I. M. B., FREITAS, V. A. L., CIRILO, J. A. **Importância da escolha das variáveis explicativas na regionalização de vazões em áreas com escassez de dados.** In: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, 2003. CD-Rom.

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. ANA,/GEF/PNUMA/OEA. **Relatório Final**. Viçosa, MG. 2003. 190 p.

RODRIGUEZ, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. 2004. 94p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SCHULER, A. E. **Aplicação do TOPMODEL em uma bacia de mesoescala localizada na cabeceira do rio Corumbataí**. 1998. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo (Escola de Engenharia de São Carlos).

SILVA, D. D. et al. **Regionalização de vazões para a Sub-Bacia 52**. Brasília: ANEEL; Viçosa: UFV, 2002. 138p.

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: Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 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.

SILVEIRA, G. L. **Quantificação de vazão em pequenas bacias com carência de dados fluviométricos**. 1997. 113 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul (Instituto de Pesquisas Hidráulicas).

SILVEIRA, A. L. L.; SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 125-164.

SPRUIELL, C. A., WORKMAN, S. R., TARABA, J. L. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. In: **Transactions of the ASAE**, v. 43 (6), 2003. p. 1.431 – 1.439.

TALLAKSEN, L. M. A review of baseflow recession analysis. In: **Journal of hydrology**, n. 165: p. 349 – 370, 1995.

TUCCI, C. E. M. Vazões médias. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 125-164.

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

TUCCI, C. E. M. e COLLISCHONN, W. Revisão sobre modelos matemáticos hidrológicos. Enviado para publicação na **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. 2004.

TUCCI, C. E. M. **Modelos Hidrológicos**. Porto Alegre: Ed. Universidade: UFRGS. Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1998. p. 669.

TUCCI, C. E. M., CLARKE, R. T., SILVA DIAS, P. L., COLLISCHONN, W. **Previsão de médio prazo da afluência de reservatórios com base na previsão climática**. Instituto de Pesquisa e Hidráulica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Projeto: BRA/00/29. Relatório Final. 2002.

VARELLA, R. F. e CAMPANA, N. A. Simulação matemática do processo de transformação de chuva em vazão: estudo do modelo TOPMODEL. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n. 4, 2000. p. 121-139.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

Quadro 1A – Porcentagens das precipitações médias mensais (Ppt<sub>m</sub>) em relação às precipitações médias anuais (Ppt<sub>a</sub>)

Estação	Porcentagem da Ppt <sub>m</sub> em relação à Ppt <sub>a</sub>											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Fazenda Limoeiro	18,2	13,5	12,5	5,4	1,8	0,4	0,6	0,8	2,6	7,2	15,3	21,8
Fazenda Córrego do Ouro	18,8	13,5	12,4	5,1	2,0	0,5	0,5	0,9	2,6	7,1	15,2	21,5
Fazenda Nolasco	19,1	11,7	12,8	5,1	2,0	0,7	0,6	1,0	3,1	8,0	15,2	20,6
Barra do Escurinho	17,4	12,0	13,9	5,1	1,9	0,6	0,5	0,8	3,0	8,6	16,0	20,3
Ponte da BR-040 (Paracatu)	18,4	12,6	12,3	5,3	2,0	0,6	0,6	0,9	3,1	8,0	15,6	20,7
Santa Rosa	18,7	12,5	12,4	5,2	2,0	0,7	0,7	0,9	3,2	8,1	15,2	20,4
Fazenda Barra da Égua	18,3	11,2	14,3	6,3	1,8	0,6	0,4	0,6	2,7	7,5	15,8	20,4
Fazenda Poções	21,2	12,0	11,9	4,9	2,1	0,6	0,4	1,0	3,2	7,5	15,4	20,1
Fazenda Limeira	17,9	13,1	13,7	6,2	2,1	0,8	0,6	0,9	3,2	7,8	14,8	19,2
Unaf	17,1	12,4	13,9	6,7	1,9	0,7	0,6	0,8	2,9	8,7	15,4	18,9
Santo Antônio do Boqueirão	17,1	12,3	13,9	6,8	1,9	0,7	0,6	0,8	2,9	8,7	15,4	19,0
Fazenda o Resfriado	18,2	11,1	14,5	6,4	1,8	0,5	0,7	0,8	2,3	7,2	15,6	21,1
Fazenda Santa Cruz	17,5	11,6	14,3	6,7	1,8	0,6	0,5	0,6	2,6	7,4	16,0	20,4
Porto dos Poções	17,2	12,0	13,9	6,8	1,8	0,7	0,6	0,7	2,8	8,7	15,7	19,3
Porto da Extrema	17,7	12,1	13,0	5,9	1,8	0,7	0,7	0,8	3,0	8,7	15,5	20,1
Caatinga	17,4	11,9	13,5	5,7	1,9	0,7	0,7	0,8	3,0	9,0	15,6	20,0
Veredas	18,8	12,8	12,2	5,6	2,2	0,8	0,8	1,0	3,3	7,6	14,7	20,1
Cachoeira das Almas	19,8	12,3	11,5	5,8	2,4	0,7	0,7	0,9	3,4	7,6	14,7	20,2
Cachoeira do Paredão	18,0	12,1	13,1	5,2	2,2	0,8	0,8	0,9	3,1	8,7	15,8	19,3
Porto do Cavalo	17,8	12,0	12,9	5,8	1,9	0,8	0,7	0,8	3,0	8,7	15,6	20,0
Porto Alegre	17,5	11,8	13,3	5,5	1,9	0,7	0,7	0,8	3,0	9,0	15,7	20,0
<b>Média</b>	<b>18,2</b>	<b>12,2</b>	<b>13,1</b>	<b>5,8</b>	<b>2,0</b>	<b>0,7</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>2,9</b>	<b>8,1</b>	<b>15,4</b>	<b>20,2</b>

## APÊNDICE B

Quadro 1B – Frequências de ocorrência da vazão associada à permanência de 95% (Q<sub>95%</sub>) ao longo do ano para cada quinzena dos meses de junho a dezembro

Estação	Frequência de ocorrência das Q <sub>95%</sub> (%)														Soma
	Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Fazenda Limoeiro	2,3	3,4	5,3	7,0	11,3	15,3	13,6	11,3	7,4	14,0	3,2	3,2	2,7	0,0	100,0
Fazenda Córrego do Ouro	0,0	3,0	4,1	5,0	11,5	12,4	11,5	12,9	12,6	16,5	3,6	3,3	3,6	0,0	100,0
Fazenda Nolasco	0,0	2,4	3,1	7,1	10,2	12,2	14,1	16,7	14,3	13,7	2,4	1,6	1,8	0,4	100,0
Barra do Escurinho	0,0	1,8	3,3	4,4	6,6	15,4	18,1	16,7	13,4	12,8	3,5	1,5	2,4	0,0	100,0
Ponte da BR-040 (Paracatu)	2,3	1,8	4,9	5,2	5,5	12,0	15,1	20,1	12,0	11,5	2,3	0,3	1,5	0,0	94,3
Santa Rosa	1,8	3,9	5,6	6,6	9,1	11,3	16,7	17,2	9,3	10,3	2,1	0,8	3,1	0,3	98,2
Fazenda Barra da Égua	2,9	6,6	6,6	7,5	10,1	16,3	13,4	12,8	9,2	8,4	3,1	1,3	0,9	0,0	98,9
Fazenda Poções	0,0	0,3	1,5	5,7	12,5	15,0	18,7	16,0	15,2	10,5	3,7	0,5	0,0	0,5	100,0
Fazenda Limeira	0,0	0,0	0,0	4,6	4,3	6,4	15,0	21,1	23,7	16,5	4,3	2,6	1,5	0,0	100,0
Unai	1,5	2,0	2,5	5,2	12,8	15,0	15,3	17,0	13,1	11,7	1,5	0,7	1,8	0,0	100,0
Santo Antônio do Boqueirão	1,4	1,7	2,1	5,5	10,3	13,2	14,9	19,0	14,4	12,4	1,6	1,7	1,8	0,0	99,9
Fazenda o Resfriado	0,0	0,0	7,3	8,5	10,7	12,2	12,8	15,6	14,0	15,6	0,0	0,6	2,7	0,0	100,0
Fazenda Santa Cruz	4,5	5,5	6,9	9,7	11,0	12,4	9,5	10,1	10,3	8,1	1,8	0,6	1,6	0,0	92,1
Porto dos Poções	0,3	1,7	5,3	10,1	11,3	13,8	12,5	15,6	13,4	10,5	1,0	1,4	2,9	0,0	100,0
Porto da Extrema	1,3	3,2	4,6	6,1	8,6	15,2	19,2	18,7	10,1	8,1	0,6	0,8	2,6	0,0	98,9
Caatinga	1,4	3,4	5,1	6,8	11,7	15,2	16,2	17,8	10,6	7,6	1,4	0,1	1,6	0,0	98,7
Veredas	1,1	3,0	2,1	6,4	9,1	12,1	14,0	17,1	12,3	14,6	6,1	0,6	1,5	0,0	100,0
Cachoeira das Almas	0,0	0,0	0,7	6,5	12,3	17,7	23,2	18,4	8,1	12,9	0,0	0,0	0,3	0,0	100,0
Cachoeira do Paredão	0,0	0,0	0,6	3,3	6,5	22,0	25,9	19,6	9,6	11,6	0,2	0,6	0,2	0,0	100,0
Porto do Cavalo	0,9	6,6	6,6	9,3	10,1	15,9	15,9	11,9	8,4	10,1	1,3	0,7	2,4	0,0	100,0
Porto Alegre	1,5	3,1	4,3	6,4	7,8	15,2	18,5	18,9	9,9	8,8	0,5	0,0	2,8	0,0	97,6
<b>Média</b>	<b>1,1</b>	<b>2,5</b>	<b>3,9</b>	<b>6,5</b>	<b>9,7</b>	<b>14,1</b>	<b>15,9</b>	<b>16,4</b>	<b>12,0</b>	<b>11,7</b>	<b>2,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,9</b>	<b>0,1</b>	<b>99,0</b>

Quadro 2B – Frequências de ocorrência da vazão associada à permanência de 90% (Q<sub>90%</sub>) ao longo do ano para cada quinzena dos meses de junho a dezembro

Estação	Frequência de ocorrência das Q <sub>90%</sub> (%)														Soma
	Junho		Julho		Agosto		Setembro		Outubro		Novembro		Dezembro		
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
Fazenda Limoeiro	4,4	5,7	6,0	7,5	7,9	9,7	10,7	11,4	10,7	11,2	5,0	2,7	1,8	0,0	94,5
Fazenda Córrego do Ouro	1,9	4,8	5,8	6,6	6,3	10,0	13,0	11,5	11,4	13,9	6,6	3,0	2,6	0,0	97,4
Fazenda Nolasco	1,4	4,2	4,7	6,7	8,6	12,1	12,9	12,9	13,4	13,2	4,8	2,5	2,1	0,6	100,0
Barra do Escurinho	1,6	2,7	3,5	8,6	11,2	13,1	12,5	11,8	10,6	10,5	6,8	2,9	2,0	0,0	97,8
Ponte da BR-040 (Paracatu)	2,2	2,6	3,4	4,4	7,4	14,5	15,9	17,4	10,6	9,5	3,4	1,5	1,2	0,1	94,0
Santa Rosa	3,0	4,1	4,7	5,8	8,9	13,7	13,4	12,5	11,4	11,7	3,3	1,3	1,9	0,1	95,9
Fazenda Barra da Égua	4,0	3,7	7,4	10,6	9,9	10,6	8,7	8,6	10,1	9,7	3,9	1,4	0,9	0,0	89,2
Fazenda Poções	1,4	3,2	5,4	13,0	12,3	13,6	11,5	10,6	11,5	9,3	5,6	1,5	0,8	0,4	99,9
Fazenda Limeira	0,0	1,3	2,2	2,3	6,1	15,9	14,6	16,9	14,6	13,7	7,1	2,8	2,0	0,4	99,9
Unai	1,3	3,2	5,5	8,0	7,6	10,7	12,7	16,8	14,6	10,1	4,1	1,9	1,0	0,1	97,5
Santo Antônio do Boqueirão	1,0	2,3	4,7	7,4	7,8	11,0	13,4	17,3	15,0	11,0	3,8	2,0	1,2	0,0	97,9
Fazenda o Resfriado	2,4	6,2	7,1	10,3	9,9	12,4	11,4	10,2	8,7	10,7	2,0	0,8	2,5	0,0	94,6
Fazenda Santa Cruz	5,9	6,1	6,1	7,4	8,0	11,7	10,0	7,8	8,2	9,3	1,5	1,4	1,0	0,7	85,2
Porto dos Poções	1,7	3,9	5,0	6,4	7,1	12,6	15,2	17,7	13,0	10,5	2,4	1,3	1,7	0,0	98,4
Porto da Extrema	2,4	2,9	5,0	7,3	8,8	13,9	13,7	14,3	13,7	10,5	1,9	1,2	1,9	0,0	97,3
Caatinga	2,8	3,2	5,5	7,6	9,7	14,4	14,0	16,0	10,8	9,1	1,7	0,6	1,5	0,0	96,7
Veredas	3,0	5,0	6,7	10,0	9,2	11,5	12,3	12,2	10,3	9,7	5,0	1,5	1,1	0,0	97,5
Cachoeira das Almas	0,9	5,1	7,3	9,3	10,4	18,7	15,6	11,3	8,9	10,4	0,5	0,0	0,9	0,0	99,2
Cachoeira do Paredão	2,0	1,6	5,0	10,2	14,8	15,3	15,6	13,8	8,8	8,4	1,4	1,1	0,5	0,0	98,3
Porto do Cavalo	3,1	4,6	6,5	9,8	9,4	13,0	12,3	11,9	10,8	9,5	2,4	1,0	1,1	0,0	95,4
Porto Alegre	2,6	3,2	4,9	6,9	9,1	14,5	14,5	15,5	11,6	9,0	2,2	0,9	1,6	0,0	96,6
<b>Média</b>	<b>2,3</b>	<b>3,8</b>	<b>5,3</b>	<b>7,9</b>	<b>9,1</b>	<b>13,0</b>	<b>13,0</b>	<b>13,3</b>	<b>11,4</b>	<b>10,5</b>	<b>3,6</b>	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>0,1</b>	<b>96,3</b>

Quadro 3B. Valores da  $Q_{95\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{95\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,8	2,0	-14,5	1,8	-3,4	1,7	6,1	1,5	14,4	1,4	21,8
Fazenda Córrego do Ouro	5,8	7,3	-25,1	6,6	-12,5	5,9	-0,6	5,3	9,5	4,7	18,6
Fazenda Nolasco	0,7	0,8	-14,5	0,7	-4,4	0,6	5,5	0,6	14,0	0,5	21,8
Barra do Escurinho	5,6	6,2	-10,7	5,5	1,1	4,9	12,0	4,4	21,5	3,9	29,8
Ponte da BR-040 (Paracatu)	15,9	18,2	-14,1	16,2	-1,7	14,5	9,2	13,0	18,1	11,7	26,3
Santa Rosa	32,2	34,7	-7,8	31,6	1,7	28,6	11,0	26,1	18,8	23,8	26,0
Fazenda Barra da Égua	1,7	2,2	-26,3	1,9	-10,6	1,7	1,9	1,5	12,6	1,4	22,1
Fazenda Poções	1,5	1,8	-19,9	1,6	-9,3	1,4	1,0	1,3	9,8	1,2	17,9
Fazenda Limeira	18,9	21,9	-15,7	19,9	-5,2	18,0	4,7	16,4	13,3	14,9	21,1
Unai	17,0	20,8	-22,3	18,9	-11,0	17,0	-0,1	15,4	9,3	14,0	17,8
Santo Antônio do Boqueirão	19,2	23,1	-20,2	21,1	-9,5	19,1	0,8	17,4	9,6	15,9	17,6
Fazenda o Resfriado	1,5	1,7	-10,5	1,5	-2,3	1,4	5,7	1,3	12,7	1,2	19,2
Fazenda Santa Cruz	1,4	1,6	-12,7	1,5	-5,8	1,4	1,0	1,3	7,2	1,3	12,9
Porto dos Poções	24,6	30,6	-24,4	27,9	-13,4	25,3	-2,8	23,1	6,2	21,0	14,5
Porto da Extrema	62,8	75,6	-20,4	68,8	-9,5	62,3	0,8	56,7	9,7	51,7	17,8
Caatinga	66,7	74,5	-11,7	67,7	-1,4	61,1	8,4	55,5	16,9	50,4	24,5
Veredas	1,1	1,4	-22,3	1,3	-16,1	1,2	-9,8	1,2	-4,3	1,1	1,1
Cachoeira das Almas	7,1	8,6	-20,5	7,7	-8,6	6,9	3,1	6,2	12,9	5,6	21,7
Cachoeira do Paredão	7,9	8,2	-3,0	7,4	7,3	6,6	16,6	6,0	24,8	5,4	32,3
Porto do Cavalo	95,5	99,6	-4,3	90,5	5,2	81,9	14,3	74,5	22,1	67,6	29,2
Porto Alegre	88,9	99,1	-11,5	90,8	-2,2	82,7	7,0	75,7	14,9	69,3	22,1
<b>Média</b>			<b>14,4</b>		<b>6,8</b>		<b>5,8</b>		<b>13,4</b>		<b>20,8</b>

(b)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,8	2,1	-16,1	1,9	-5,1	1,7	5,6	1,5	13,8	1,4	21,1
Fazenda Córrego do Ouro	5,8	7,2	-23,2	6,5	-11,5	5,8	-0,1	5,3	9,6	4,8	18,2
Fazenda Nolasco	0,7	0,8	-16,0	0,7	-5,7	0,6	3,7	0,6	12,0	0,5	19,5
Barra do Escurinho	5,6	6,2	-10,4	5,6	1,0	4,9	11,8	4,4	20,8	4,0	28,9
Ponte da BR-040 (Paracatu)	15,9	18,7	-17,6	16,8	-5,8	15,1	5,3	13,7	14,2	12,4	22,1
Santa Rosa	32,2	35,7	-11,1	32,7	-1,8	29,9	6,9	27,5	14,5	25,3	21,4
Fazenda Barra da Égua	1,7	2,2	-28,9	2,0	-15,2	1,8	-1,9	1,6	9,3	1,4	19,0
Fazenda Poções	1,5	1,8	-25,8	1,7	-15,6	1,5	-5,7	1,4	2,9	1,3	10,8
Fazenda Limeira	18,9	22,3	-17,9	20,3	-7,3	18,3	3,1	16,7	11,8	15,2	19,7
Unai	17,0	20,4	-20,0	18,3	-7,7	16,5	3,3	14,9	12,3	13,5	20,4
Santo Antônio do Boqueirão	19,2	22,1	-14,8	20,0	-3,9	18,1	5,7	16,6	13,8	15,1	21,3
Fazenda o Resfriado	1,5	1,7	-13,4	1,6	-5,4	1,5	1,9	1,4	8,2	1,3	14,5
Fazenda Santa Cruz	1,4	1,7	-15,2	1,6	-8,5	1,5	-2,4	1,4	2,7	1,3	7,5
Porto dos Poções	24,6	29,9	-21,4	27,1	-10,2	24,6	0,1	22,6	8,3	20,7	15,7
Porto da Extrema	62,8	76,2	-21,3	69,5	-10,6	63,4	-1,0	58,3	7,2	53,6	14,7
Caatinga	66,7	75,4	-13,0	68,7	-2,9	62,4	6,4	57,2	14,4	52,4	21,5
Veredas	1,1	1,4	-24,7	1,3	-17,6	1,2	-10,7	1,2	-5,6	1,1	-0,5
Cachoeira das Almas	7,1	8,7	-22,1	7,9	-10,9	7,1	0,2	6,4	9,4	5,9	17,8
Cachoeira do Paredão	7,9	9,0	-12,9	8,1	-2,6	7,4	7,2	6,7	15,7	6,1	23,3
Porto do Cavalo	95,5	103,8	-8,6	94,3	1,3	85,7	10,3	78,4	17,9	71,9	24,8
Porto Alegre	88,9	98,6	-10,9	90,1	-1,3	81,8	8,0	75,0	15,6	69,3	22,1
<b>Média</b>			<b>17,4</b>		<b>7,2</b>		<b>4,8</b>		<b>11,4</b>		<b>18,3</b>

Quadro 4B. Valores de  $Q_{95\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  estimada pelas equações ajustadas para cada estação, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{95\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,8	2,2	-23,0	2,0	-12,5	1,8	-1,9	1,7	6,9	1,5	15,2
Fazenda Córrego do Ouro	5,8	8,2	-40,4	7,4	-26,7	6,6	-13,2	5,9	-1,7	5,3	8,6
Fazenda Nolasco	0,7	0,8	-15,3	0,7	-4,9	0,6	5,0	0,6	13,5	0,5	21,3
Barra do Escurinho	5,6	6,6	-17,1	5,9	-4,7	5,2	7,1	4,7	17,0	4,2	25,9
Ponte da BR-040 (Paracatu)	15,9	19,0	-19,4	17,2	-7,8	15,3	3,7	13,9	13,0	12,5	21,8
Santa Rosa	32,2	36,0	-11,8	32,7	-1,8	29,7	7,6	27,0	15,9	24,7	23,2
Fazenda Barra da Égua	1,7	2,9	-67,8	2,6	-49,9	2,3	-32,6	2,1	-18,7	1,8	-5,2
Fazenda Poções	1,5	2,2	-48,9	2,0	-35,8	1,8	-22,8	1,6	-11,9	1,5	-1,9
Fazenda Limeira	18,9	22,8	-20,9	20,8	-10,1	18,8	0,4	17,1	9,4	15,6	17,5
Unai	17,0	21,8	-27,8	19,7	-15,9	17,8	-4,5	16,1	5,2	14,6	14,1
Santo Antônio do Boqueirão	19,2	24,2	-25,5	22,0	-14,5	20,0	-3,7	18,2	5,6	16,6	13,9
Fazenda o Resfriado											
Fazenda Santa Cruz											
Porto dos Poções	24,6	31,4	-27,5	28,6	-16,3	25,9	-5,2	23,6	4,2	21,5	12,6
Porto da Extrema	62,8	65,8	-4,7	60,4	3,8	55,5	11,7	54,3	13,6	53,3	15,2
Caatinga	66,7	64,5	3,4	59,1	11,5	53,9	19,2	52,8	21,0	51,7	22,5
Veredas	1,1	1,4	-26,5	1,3	-20,1	1,3	-13,6	1,2	-7,8	1,1	-2,3
Cachoeira das Almas	7,1	9,9	-38,5	8,9	-24,5	7,9	-11,1	7,1	0,1	6,4	10,2
Cachoeira do Paredão	7,9	8,2	-3,8	7,4	6,2	6,7	15,8	6,0	24,2	5,4	31,5
Porto do Cavalo	95,5	105,7	-10,6	96,4	-0,9	87,4	8,6	79,6	16,6	72,5	24,1
Porto Alegre	88,9	101,5	-14,1	92,9	-4,5	84,7	4,8	77,5	12,8	71,0	20,2
<b>Média</b>			<b>23,5</b>		<b>14,3</b>		<b>10,1</b>		<b>11,5</b>		<b>16,2</b>

(b)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,8	2,2	-22,4	2,0	-10,9	1,8	-0,4	1,6	7,8	1,5	15,6
Fazenda Córrego do Ouro	5,8	7,9	-35,0	7,1	-22,2	6,4	-9,9	5,8	0,8	5,2	10,1
Fazenda Nolasco	0,7	0,8	-12,7	0,7	-3,1	0,6	6,2	0,6	14,2	0,5	21,5
Barra do Escurinho	5,6	6,4	-14,3	5,7	-2,6	5,1	8,7	4,6	18,1	4,1	26,5
Ponte da BR-040 (Paracatu)	15,9	19,4	-21,5	17,4	-9,2	15,7	1,7	14,2	10,8	12,9	19,0
Santa Rosa	32,2	37,0	-15,0	33,7	-4,7	30,7	4,4	28,2	12,3	25,9	19,5
Fazenda Barra da Égua	1,7	3,1	-81,2	2,9	-64,2	2,6	-47,8	2,3	-34,0	2,1	-21,5
Fazenda Poções	1,5	2,2	-52,5	2,1	-40,1	1,9	-28,1	1,7	-17,7	1,6	-8,1
Fazenda Limeira	18,9	23,8	-26,2	21,7	-14,8	19,6	-3,8	17,9	5,5	16,2	14,0
Unai	17,0	21,6	-27,2	19,5	-14,4	17,4	-2,4	15,8	7,0	14,4	15,6
Santo Antônio do Boqueirão	19,2	22,9	-18,8	20,9	-8,5	19,0	1,3	17,3	10,1	15,8	17,8
Fazenda o Resfriado											
Fazenda Santa Cruz											
Porto dos Poções	24,6	29,9	-21,6	27,5	-11,7	25,1	-1,9	23,0	6,5	21,1	14,2
Porto da Extrema	62,8	78,9	-25,6	72,0	-14,6	65,8	-4,7	60,4	3,8	55,5	11,6
Caatinga	66,7	77,4	-16,0	70,9	-6,2	64,5	3,4	59,1	11,5	54,0	19,1
Veredas											
Cachoeira das Almas											
Cachoeira do Paredão	7,9	9,2	-15,7	8,3	-5,0	7,5	5,0	6,8	13,8	6,2	21,5
Porto do Cavalo	95,5	131,1	-37,2	120,2	-25,8	109,5	-14,6	100,3	-5,0	91,9	3,8
Porto Alegre	88,9	94,6	-6,4	87,5	1,6	80,5	9,5	74,4	16,3	68,8	22,6
<b>Média</b>			<b>26,4</b>		<b>15,3</b>		<b>9,0</b>		<b>11,5</b>		<b>16,6</b>

Quadro 5B. Valores de  $Q_{95\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{95\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	<b>1,8</b>	2,0	-13,5	1,8	-2,5	1,7	6,9	1,5	15,3	1,4	22,7
Fazenda Córrego do Ouro	<b>5,8</b>	8,0	-37,2	7,3	-24,7	6,6	-13,1	6,0	-3,2	5,5	6,2
Fazenda Nolasco	<b>0,7</b>	0,8	-15,1	0,7	-4,8	0,6	4,9	0,6	13,3	0,5	21,1
Barra do Escurinho	<b>5,6</b>	7,1	-27,4	6,5	-16,1	5,9	-5,3	5,4	4,1	4,9	12,6
Ponte da BR-040 (Paracatu)	<b>15,9</b>	19,7	-23,6	17,8	-11,5	15,9	-0,1	14,5	8,9	13,2	17,0
Santa Rosa	<b>32,2</b>	34,6	-7,5	31,5	2,0	28,6	11,2	26,0	19,1	23,7	26,3
Fazenda Barra da Égua	<b>1,7</b>	2,5	-44,2	2,2	-28,4	2,0	-14,1	1,8	-3,9	1,6	5,6
Fazenda Poções	<b>1,5</b>	1,8	-20,2	1,6	-9,5	1,5	0,8	1,3	9,5	1,2	17,6
Fazenda Limeira	<b>18,9</b>	22,0	-16,5	20,1	-6,3	18,2	3,5	16,6	12,2	15,1	20,0
Unai	<b>17,0</b>	21,6	-27,1	19,7	-15,8	17,9	-4,9	16,3	4,4	14,8	13,1
Santo Antônio do Boqueirão	<b>19,2</b>	23,1	-19,9	21,0	-9,2	19,0	1,0	17,4	9,8	15,8	17,9
Fazenda o Resfriado	<b>1,5</b>	1,5	-0,3	1,4	8,6	1,2	17,1	1,1	24,5	1,0	31,3
Fazenda Santa Cruz	<b>1,4</b>	1,2	15,6	1,1	23,7	1,0	30,9	0,9	37,0	0,8	42,6
Porto dos Poções	<b>24,6</b>	30,5	-24,1	27,8	-13,1	25,2	-2,5	23,0	6,6	20,9	14,9
Porto da Extrema	<b>62,8</b>	76,0	-21,0	69,2	-10,2	62,8	0,1	57,2	9,0	52,1	17,1
Caatinga	<b>66,7</b>	76,5	-14,6	69,6	-4,3	63,2	5,4	57,5	13,8	52,4	21,5
Veredas	<b>1,1</b>	1,0	10,5	0,9	18,4	0,8	26,1	0,8	32,6	0,7	38,6
Cachoeira das Almas	<b>7,1</b>	9,4	-31,6	8,5	-19,9	7,7	-8,8	7,1	0,9	6,4	9,7
Cachoeira do Paredão	<b>7,9</b>	8,7	-9,9	8,0	-0,5	7,2	9,1	6,6	17,2	6,0	24,5
Porto do Cavalo	<b>95,5</b>	101,1	-5,8	92,2	3,5	83,5	12,6	76,2	20,2	69,2	27,5
Porto Alegre	<b>88,9</b>	96,3	-8,3	87,8	1,2	79,5	10,5	72,5	18,4	66,0	25,7
<b>Média</b>			<b>18,8</b>		<b>11,2</b>		<b>9,0</b>		<b>13,5</b>		<b>20,6</b>

(b)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,8	2,1	16,3	1,9	5,3	1,7	5,2	1,5	13,5	1,4	20,8
Fazenda Córrego do Ouro	5,8	7,8	34,2	7,1	21,8	6,5	11,1	5,9	1,9	5,4	6,5
Fazenda Nolasco	0,7	0,8	17,6	0,7	7,4	0,7	2,0	0,6	10,2	0,5	17,5
Barra do Escurinho	5,6	6,9	22,7	6,3	12,3	5,7	2,5	5,3	6,1	4,8	13,7
Ponte da BR-040 (Paracatu)	15,9	19,8	24,5	18,0	13,3	16,3	2,5	14,8	6,8	13,6	14,5
Santa Rosa	32,2	35,5	10,4	32,5	1,1	29,7	7,7	27,2	15,3	25,0	22,3
Fazenda Barra da Égua	1,7	2,4	37,0	2,2	23,8	1,9	10,9	1,7	0,5	1,6	9,5
Fazenda Poções	1,5	1,8	24,8	1,7	14,5	1,5	4,6	1,4	4,1	1,3	12,0
Fazenda Limeira	18,9	23,2	22,8	21,3	12,6	19,4	2,8	17,8	5,8	16,3	13,6
Unai	17,0	21,7	27,2	19,7	15,8	17,8	4,5	16,3	4,2	15,0	12,1
Santo Antônio do Boqueirão	19,2	22,6	17,5	20,6	6,9	18,7	2,9	17,1	11,0	15,7	18,3
Fazenda o Resfriado	1,5	1,6	4,0	1,4	4,5	1,3	12,9	1,2	20,1	1,1	26,5
Fazenda Santa Cruz	1,4	1,3	8,6	1,2	16,9	1,1	25,0	1,0	32,0	0,9	37,7
Porto dos Poções	24,6	29,7	20,7	26,9	9,3	24,4	0,8	22,4	9,0	20,6	16,5
Porto da Extrema	62,8	75,6	20,4	69,0	9,8	62,8	0,0	57,7	8,2	52,9	15,9
Caatinga	66,7	76,2	14,2	69,5	4,2	63,5	4,8	58,1	12,9	53,4	20,0
Veredas	1,1	1,1	1,5	1,0	9,7	0,9	17,6	0,8	24,4	0,8	30,7
Cachoeira das Almas	7,1	9,2	29,9	8,5	18,8	7,7	8,5	7,1	0,4	6,5	8,8
Cachoeira do Paredão	7,9	9,3	17,9	8,6	8,2	7,8	1,3	7,2	9,4	6,6	16,9
Porto do Cavalo	95,5	105,1	10,0	95,6	0,1	87,0	8,9	79,9	16,4	73,4	23,2
Porto Alegre	88,9	95,7	7,7	86,9	2,3	78,3	11,9	71,7	19,3	65,9	25,9
<b>Média</b>			<b>18,6</b>		<b>10,4</b>		<b>7,1</b>		<b>11,0</b>		<b>18,2</b>

Quadro 6B. Valores de  $Q_{95\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  estimada pela equação generalizada para a bacia, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{95\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,8	1,6	8,3	1,5	16,5	1,3	24,4	1,2	31,1	1,1	37,2
Fazenda Córrego do Ouro	5,8	7,1	-22,6	6,5	-11,8	5,9	-1,3	5,4	7,6	4,9	15,9
Fazenda Nolasco	0,7	0,7	-7,9	0,7	1,5	0,6	10,9	0,5	18,6	0,5	26,0
Barra do Escurinho	5,6	6,0	-6,9	5,5	2,7	4,9	11,9	4,5	19,6	4,1	26,9
Ponte da BR-040 (Paracatu)	15,9	25,1	-57,4	22,8	-43,4	20,7	-29,8	18,8	-18,3	17,1	-7,7
Santa Rosa	32,2	40,9	-27,1	37,2	-15,7	33,8	-5,1	30,8	4,3	28,0	12,9
Fazenda Barra da Égua	1,7	4,6	-165,7	4,2	-142,1	3,8	-119,7	3,5	-100,0	3,2	-82,4
Fazenda Poções	1,5	1,8	-19,9	1,6	-9,3	1,4	1,1	1,3	9,9	1,2	17,7
Fazenda Limeira	18,9	14,7	22,0	13,4	28,9	12,1	35,7	11,1	41,3	10,1	46,5
Unai	17,0	17,2	-1,0	15,7	7,9	14,2	16,6	13,0	23,9	11,8	30,8
Santo Antônio do Boqueirão	19,2	19,3	-0,2	17,6	8,8	15,9	17,2	14,5	24,6	13,2	31,3
Fazenda o Resfriado	1,5	2,1	-38,2	1,9	-25,8	1,7	-14,1	1,6	-4,1	1,4	5,1
Fazenda Santa Cruz	1,4	1,6	-10,5	1,5	-0,8	1,3	8,8	1,2	16,8	1,1	24,3
Porto dos Poções	24,6	26,4	-7,2	24,1	2,1	21,8	11,4	19,9	19,2	18,1	26,4
Porto da Extrema	62,8	86,4	-37,5	78,7	-25,3	71,3	-13,5	64,9	-3,3	59,2	5,8
Caatinga	66,7	88,5	-32,7	80,6	-20,8	73,1	-9,6	66,5	0,3	60,7	9,1
Veredas	1,1	0,6	46,6	0,5	51,2	0,5	55,9	0,4	59,7	0,4	63,3
Cachoeira das Almas	7,1	14,4	-101,6	13,1	-83,8	11,8	-66,4	10,8	-51,7	9,8	-38,3
Cachoeira do Paredão	7,9	15,4	-94,1	14,0	-76,9	12,7	-60,3	11,6	-46,0	10,5	-33,0
Porto do Cavalo	95,5	125,2	-31,1	114,1	-19,4	103,4	-8,2	94,2	1,4	85,7	10,3
Porto Alegre	88,9	121,7	-36,9	110,8	-24,6	100,5	-13,0	91,7	-3,1	83,4	6,2
<b>Média</b>			<b>36,9</b>		<b>29,5</b>		<b>25,5</b>		<b>24,1</b>		<b>26,5</b>

(b)

Estação	$Q_{95\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	1,8	1,6	9,7	1,5	17,0	1,3	24,5	1,2	30,6	1,1	36,4
Fazenda Córrego do Ouro	5,8	7,1	-22,6	6,6	-12,6	6,0	-2,7	5,5	5,8	5,0	13,4
Fazenda Nolasco	0,7	0,7	-11,1	0,7	-1,8	0,6	7,1	0,6	14,9	0,5	21,9
Barra do Escurinho	5,6	6,2	-9,8	5,6	-0,3	5,1	8,6	4,7	16,1	4,3	23,0
Ponte da BR-040 (Paracatu)	15,9	25,8	-62,1	23,4	-47,0	21,2	-32,9	19,4	-21,8	17,8	-11,7
Santa Rosa	32,2	42,0	-30,7	38,1	-18,5	34,7	-7,8	31,8	1,1	29,2	9,2
Fazenda Barra da Égua	1,7	4,9	-183,3	4,5	-159,8	4,1	-136,9	3,8	-117,5	3,5	-99,3
Fazenda Poções	1,5	1,8	-21,7	1,6	-11,5	1,5	-1,8	1,4	6,7	1,3	14,3
Fazenda Limeira	18,9	15,1	20,3	13,8	27,0	12,6	33,3	11,5	38,9	10,6	43,9
Unai	17,0	17,6	-3,2	16,1	5,3	14,7	13,5	13,5	20,8	12,4	27,2
Santo Antônio do Boqueirão	19,2	19,5	-1,4	17,9	7,0	16,3	15,2	15,0	22,3	13,7	28,7
Fazenda o Resfriado	1,5	2,2	-45,4	2,0	-33,3	1,8	-21,9	1,7	-11,7	1,5	-2,5
Fazenda Santa Cruz	1,4	1,6	-13,6	1,5	-4,1	1,4	5,0	1,3	12,9	1,2	20,0
Porto dos Poções	24,6	27,0	-9,8	24,8	-0,8	22,6	8,1	20,7	15,7	19,0	22,6
Porto da Extrema	62,8	88,4	-40,8	81,2	-29,2	74,0	-17,8	67,9	-8,1	62,3	0,9
Caatinga	66,7	90,8	-36,1	83,3	-24,8	76,0	-13,9	69,8	-4,5	64,0	4,1
Veredas	1,1	0,6	45,3	0,6	49,8	0,5	54,2	0,5	58,0	0,4	61,5
Cachoeira das Almas	7,1	13,1	-83,3	11,7	-64,7	10,4	-46,0	9,2	-29,1	8,1	-14,2
Cachoeira do Paredão	7,9	16,2	-104,5	14,8	-87,1	13,5	-70,6	12,4	-56,7	11,4	-43,5
Porto do Cavalo	95,5	129,2	-35,3	118,3	-23,9	108,0	-13,0	98,8	-3,4	90,6	5,1
Porto Alegre	88,9	122,9	-38,3	112,8	-26,9	102,9	-15,8	94,4	-6,1	86,6	2,6
<b>Média</b>			<b>39,4</b>		<b>31,1</b>		<b>26,2</b>		<b>23,9</b>		<b>24,1</b>

Quadro 7B. Valores da  $Q_{90\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{90\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,7	-24,7	2,5	-12,4	2,4	-9,4	2,0	8,4	1,8	16,5
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	9,8	-32,3	8,7	-18,2	8,6	-15,7	7,0	4,9	6,3	14,5
Fazenda Nolasco	0,8	1,0	-24,7	0,9	-13,9	0,9	-10,8	0,7	6,3	0,7	14,7
Barra do Escurinho	7,1	8,4	-18,5	7,5	-6,0	7,3	-2,9	6,0	16,0	5,3	24,9
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	24,8	-23,9	22,2	-10,9	21,5	-7,7	17,7	11,6	15,8	20,8
Santa Rosa	39,2	46,6	-18,9	42,1	-7,4	41,0	-4,6	34,7	11,5	31,7	19,2
Fazenda Barra da Égua	2,7	3,6	-33,9	3,2	-16,7	3,2	-17,4	2,4	10,7	2,1	21,3
Fazenda Poções	1,9	2,5	-29,2	2,2	-16,7	2,2	-14,6	1,8	4,6	1,7	12,9
Fazenda Limeira	22,7	27,4	-20,7	25,0	-9,9	24,2	-6,6	20,5	9,5	18,7	17,6
Unai	21,6	26,5	-22,6	23,9	-10,7	23,1	-7,1	19,5	9,6	17,7	17,9
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	29,8	-23,7	27,0	-12,0	26,6	-10,4	22,2	7,8	20,2	16,0
Fazenda o Resfriado	2,0	2,1	-6,5	2,0	1,6	2,0	2,1	1,7	16,1	1,6	22,3
Fazenda Santa Cruz	1,8	2,0	-12,3	1,9	-5,4	1,9	-4,6	1,7	7,3	1,6	12,7
Porto dos Poções	30,3	39,7	-31,1	35,8	-18,3	35,0	-15,6	29,5	2,6	26,9	11,2
Porto da Extrema	79,8	100,7	-26,2	91,0	-14,1	88,8	-11,3	74,4	6,8	67,8	15,1
Caatinga	84,0	100,3	-19,4	90,4	-7,6	88,8	-5,7	73,4	12,6	66,7	20,6
Veredas	1,4	1,6	-11,0	1,5	-5,3	1,5	-3,8	1,3	5,4	1,3	10,2
Cachoeira das Almas	9,9	11,5	-15,8	10,2	-3,0	9,9	0,1	8,1	17,8	7,3	26,1
Cachoeira do Paredão	9,8	10,9	-10,7	9,8	0,0	9,5	2,8	7,9	19,3	7,1	27,1
Porto do Cavalo	118,6	132,9	-12,1	120,0	-1,2	116,0	2,2	97,7	17,6	88,9	25,1
Porto Alegre	113,7	135,8	-19,4	122,5	-7,7	120,9	-6,3	100,9	11,2	92,5	18,6
<b>Média</b>			<b>20,8</b>		<b>9,5</b>		<b>7,7</b>		<b>10,4</b>		<b>18,3</b>

(b)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,8	-28,1	2,5	-14,9	2,3	-2,4	2,0	7,3	1,9	15,5
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	9,9	-33,1	8,7	-17,3	7,7	-4,0	6,9	6,6	6,2	15,6
Fazenda Nolasco	0,8	1,0	-24,4	0,9	-13,1	0,8	-2,1	0,7	7,1	0,7	15,0
Barra do Escurinho	7,1	8,5	-19,8	7,6	-6,6	6,7	5,6	6,0	15,2	5,4	24,0
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	24,5	-22,4	22,0	-10,0	19,7	1,4	17,8	11,0	16,1	19,6
Santa Rosa	39,2	46,4	-18,4	42,2	-7,6	38,1	2,8	34,8	11,1	32,0	18,4
Fazenda Barra da Égua	2,7	3,6	-32,3	3,0	-11,5	2,7	1,6	2,4	12,1	2,1	21,3
Fazenda Poções	1,9	2,4	-24,9	2,2	-14,6	2,0	-4,8	1,8	3,7	1,7	11,5
Fazenda Limeira	22,7	27,9	-22,8	25,2	-11,2	22,9	-0,7	20,8	8,5	18,9	16,8
Unai	21,6	27,4	-26,6	24,4	-13,1	21,8	-1,1	19,7	8,9	17,8	17,8
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	29,2	-21,0	26,3	-9,0	23,7	1,8	21,5	10,9	19,5	19,0
Fazenda o Resfriado	2,0	2,3	-17,4	2,1	-7,1	1,9	3,1	1,8	12,0	1,6	18,8
Fazenda Santa Cruz	1,8	2,0	-11,5	1,9	-5,7	1,8	0,0	1,7	5,0	1,6	9,8
Porto dos Poções	30,3	38,6	-27,3	35,1	-15,8	31,8	-5,0	28,9	4,5	26,3	13,2
Porto da Extrema	79,8	98,8	-23,8	89,6	-12,3	80,9	-1,4	73,8	7,6	67,6	15,3
Caatinga	84,0	98,7	-17,5	89,3	-6,3	80,3	4,5	72,9	13,2	66,7	20,6
Veredas	1,4	1,6	-13,0	1,5	-6,8	1,4	-0,7	1,3	4,6	1,3	9,5
Cachoeira das Almas	9,9	11,2	-13,2	10,0	-1,3	9,0	9,5	8,1	17,9	7,4	25,5
Cachoeira do Paredão	9,8	11,2	-13,9	10,1	-2,8	9,1	7,2	8,3	15,5	7,5	23,3
Porto do Cavalo	118,6	131,2	-10,6	119,3	-0,6	107,8	9,1	98,1	17,3	89,6	24,5
Porto Alegre	113,7	130,6	-14,8	118,5	-4,2	107,5	5,5	98,5	13,4	90,2	20,6
<b>Média</b>			<b>20,8</b>		<b>9,1</b>		<b>3,5</b>		<b>10,1</b>		<b>17,9</b>

Quadro 8B. Valores de  $Q_{90\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  de cada estação, a  $Q_0$  estimada pelas equações ajustadas para cada estação, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{90\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,8	-26,1	2,5	-14,3	2,4	-11,1	2,1	5,4	1,9	13,7
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	10,3	-38,8	9,2	-24,8	8,9	-20,3	7,4	-0,4	6,7	9,7
Fazenda Nolasco	0,8	1,0	-21,4	0,9	-10,4	0,9	-7,1	0,7	9,0	0,7	17,1
Barra do Escurinho	7,1	8,4	-18,7	7,5	-6,3	7,1	-0,5	6,0	15,9	5,3	24,7
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	24,7	-23,6	22,2	-10,8	21,2	-6,1	17,8	11,1	16,0	20,0
Santa Rosa	39,2	47,2	-20,4	42,8	-9,2	41,6	-6,1	35,2	10,2	32,1	18,2
Fazenda Barra da Égua	2,7	3,9	-43,7	3,5	-28,2	3,4	-26,3	2,7	-1,2	2,4	9,8
Fazenda Poções	1,9	2,6	-37,9	2,4	-25,7	2,3	-20,7	2,0	-3,6	1,8	5,6
Fazenda Limeira	22,7	28,2	-24,3	25,7	-13,2	24,9	-9,6	21,1	6,9	19,3	15,2
Unai	21,6	27,1	-25,4	24,6	-13,7	23,6	-9,4	20,1	7,1	18,2	15,7
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	30,4	-26,2	27,6	-14,6	26,9	-11,5	22,7	5,9	20,7	14,2
Fazenda o Resfriado											
Fazenda Santa Cruz											
Porto dos Poções	30,3	39,4	-30,1	35,9	-18,5	34,9	-15,1	29,6	2,2	27,0	10,9
Porto da Extrema	79,8	82,4	-3,3	75,3	5,6	73,9	7,4	66,9	16,2	65,2	18,3
Caatinga	84,0	81,7	2,7	74,8	11,0	72,8	13,4	66,7	20,6	65,1	22,5
Veredas	1,4	1,6	-13,8	1,5	-8,0	1,5	-6,1	1,4	3,0	1,3	8,0
Cachoeira das Almas	9,9	13,4	-35,0	12,0	-21,5	11,8	-19,0	9,7	2,4	8,7	12,3
Cachoeira do Paredão	9,8	11,2	-14,6	10,1	-3,4	9,8	-0,3	8,2	16,4	7,4	24,6
Porto do Cavalo	118,6	135,5	-14,3	123,5	-4,1	120,5	-1,6	102,0	14,0	92,9	21,7
Porto Alegre	113,7	138,5	-21,8	126,0	-10,9	124,1	-9,1	105,1	7,6	96,4	15,2
<b>Média</b>			<b>23,3</b>		<b>13,4</b>		<b>10,6</b>		<b>8,4</b>		<b>15,7</b>

(b)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,8	-25,5	2,5	-14,3	2,3	-3,6	2,1	5,6	1,9	14,1
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	9,9	-34,1	9,0	-21,3	8,1	-8,9	7,3	1,5	6,6	10,9
Fazenda Nolasco	0,8	0,9	-18,2	0,9	-7,2	0,8	2,5	0,7	10,8	0,7	18,3
Barra do Escurinho	7,1	8,4	-17,8	7,5	-5,1	6,6	6,4	6,0	16,2	5,3	24,8
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	24,3	-21,3	21,9	-9,4	19,7	1,7	17,8	11,2	16,1	19,6
Santa Rosa	39,2	47,2	-20,3	43,1	-9,9	39,1	0,1	35,7	8,8	32,7	16,5
Fazenda Barra da Égua	2,7	4,1	-52,6	3,7	-37,2	3,3	-22,8	3,0	-11,4	2,7	-0,8
Fazenda Poções	1,9	2,7	-41,0	2,4	-28,9	2,2	-17,6	2,1	-8,1	1,9	0,7
Fazenda Limeira	22,7	29,3	-28,9	26,6	-17,2	24,1	-6,0	21,9	3,6	19,9	12,2
Unai	21,6	27,2	-26,0	24,6	-13,7	22,0	-1,9	19,9	8,1	17,9	17,0
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	28,7	-19,2	26,1	-8,3	23,6	2,0	21,6	10,6	19,7	18,2
Fazenda o Resfriado	2,0										
Fazenda Santa Cruz	1,8										
Porto dos Poções	30,3	37,8	-24,8	34,4	-13,5	31,3	-3,2	28,7	5,3	26,3	13,1
Porto da Extrema	79,8	99,6	-24,8	90,9	-13,8	82,4	-3,3	75,3	5,6	69,0	13,5
Caatinga	84,0	98,8	-17,6	89,9	-7,1	81,7	2,7	74,8	11,0	68,4	18,5
Veredas	1,4										
Cachoeira das Almas	9,9										
Cachoeira do Paredão	9,8	11,6	-18,2	10,5	-6,8	9,4	4,1	8,5	13,0	7,8	20,7
Porto do Cavalo	118,6	164,7	-38,8	150,0	-26,4	136,4	-15,0	125,0	-5,4	114,7	3,3
Porto Alegre	113,7	127,5	-12,1	116,3	-2,3	106,2	6,6	97,5	14,3	90,1	20,7
<b>Média</b>			<b>26,0</b>		<b>14,3</b>		<b>6,4</b>		<b>8,8</b>		<b>14,3</b>

Quadro 9B. Valores de  $Q_{90\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  obtida da série histórica, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{90\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,7	-22,9	2,4	-10,7	2,4	-7,7	2,0	10,0	1,8	17,9
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	10,6	-43,7	9,5	-29,5	9,4	-28,1	7,9	-6,5	7,2	3,0
Fazenda Nolasco	0,8	1,0	-24,9	0,9	-13,8	0,9	-11,2	0,8	6,1	0,7	14,4
Barra do Escurinho	7,1	9,4	-32,0	8,6	-20,2	8,5	-18,7	7,1	0,7	6,5	9,4
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	26,6	-33,0	24,1	-20,2	23,5	-17,6	19,6	2,0	17,8	11,2
Santa Rosa	39,2	46,5	-18,6	42,0	-7,1	40,8	-4,3	34,6	11,7	31,5	19,5
Fazenda Barra da Égua	2,7	4,1	-51,5	3,6	-32,5	3,7	-36,7	2,8	-5,2	2,5	5,3
Fazenda Poções	1,9	2,5	-26,2	2,2	-14,0	2,2	-11,9	1,8	6,7	1,7	14,9
Fazenda Limeira	22,7	27,6	-21,6	25,2	-10,9	24,4	-7,6	20,8	8,4	19,0	16,5
Unai	21,6	27,4	-26,6	24,8	-14,8	24,1	-11,5	20,5	5,4	18,6	13,8
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	29,8	-23,4	27,0	-11,7	26,5	-10,0	22,2	8,1	20,2	16,3
Fazenda o Resfriado	2,0	2,0	0,5	1,8	9,2	1,8	10,8	1,5	25,1	1,3	31,6
Fazenda Santa Cruz	1,8	1,6	14,3	1,4	22,4	1,4	23,6	1,1	37,0	1,0	42,6
Porto dos Poções	30,3	39,6	-30,5	35,7	-17,7	34,9	-15,0	29,4	3,0	26,8	11,6
Porto da Extrema	79,8	101,2	-26,8	91,6	-14,8	89,3	-12,0	75,0	6,0	68,3	14,4
Caatinga	84,0	102,6	-22,1	92,6	-10,2	91,4	-8,7	75,7	9,9	68,9	18,0
Veredas	1,4	1,2	13,3	1,1	21,0	1,0	24,2	0,9	34,7	0,8	40,6
Cachoeira das Almas	9,9	12,6	-26,9	11,4	-14,5	11,1	-11,7	9,2	6,9	8,4	15,2
Cachoeira do Paredão	9,8	11,5	-18,2	10,5	-7,6	10,3	-5,5	8,7	11,0	7,9	18,9
Porto do Cavalo	118,6	135,2	-14,0	122,0	-2,9	118,3	0,3	99,9	15,7	91,1	23,1
Porto Alegre	113,7	131,9	-16,0	118,6	-4,3	116,5	-2,4	97,2	14,5	88,6	22,1
<b>Média</b>			<b>24,1</b>		<b>14,8</b>		<b>13,3</b>		<b>11,2</b>		<b>18,1</b>

(b)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,8	-28,4	2,5	-15,2	2,3	-2,8	2,0	6,9	1,9	15,1
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	10,5	-42,5	9,5	-27,7	8,4	-13,8	7,6	-3,1	7,0	5,9
Fazenda Nolasco	0,8	1,0	-25,8	0,9	-14,6	0,8	-3,9	0,8	5,2	0,7	13,2
Barra do Escurinho	7,1	9,4	-32,5	8,5	-19,1	7,7	-7,8	7,0	2,0	6,4	10,1
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	25,6	-28,0	23,2	-16,1	21,0	-5,2	19,2	4,1	17,5	12,4
Santa Rosa	39,2	46,2	-17,8	42,0	-7,0	37,8	3,5	34,6	11,8	31,7	19,2
Fazenda Barra da Égua	2,7	3,7	-37,7	3,1	-16,6	2,8	-3,0	2,5	6,8	2,3	15,5
Fazenda Poções	1,9	2,4	-24,3	2,2	-14,0	2,0	-4,1	1,8	4,6	1,7	12,5
Fazenda Limeira	22,7	29,0	-27,9	26,5	-16,6	24,1	-6,1	22,1	2,6	20,3	10,6
Unai	21,6	28,9	-33,8	25,8	-19,6	23,4	-8,2	21,3	1,5	19,4	10,2
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	29,7	-23,3	26,8	-11,4	24,3	-0,7	22,1	8,4	20,1	16,4
Fazenda o Resfriado	2,0	2,2	-7,9	1,9	3,1	1,7	13,9	1,6	21,4	1,4	27,9
Fazenda Santa Cruz	1,8	1,7	7,4	1,5	16,1	1,4	24,0	1,2	30,8	1,1	36,9
Porto dos Poções	30,3	38,4	-26,7	34,9	-15,3	31,6	-4,3	28,7	5,2	26,1	13,9
Porto da Extrema	79,8	98,1	-23,0	88,9	-11,5	80,1	-0,3	73,0	8,5	66,8	16,2
Caatinga	84,0	99,7	-18,7	90,4	-7,6	81,4	3,1	74,1	11,7	67,9	19,2
Veredas	1,4	1,3	7,6	1,2	15,4	1,1	22,8	1,0	29,2	0,9	35,1
Cachoeira das Almas	9,9	11,9	-20,2	10,7	-8,3	9,7	2,2	8,8	10,6	8,1	18,2
Cachoeira do Paredão	9,8	11,7	-19,5	10,6	-8,2	9,7	1,5	8,9	9,6	8,1	17,0
Porto do Cavalo	118,6	237,4	-100,2	120,8	-1,9	109,4	7,7	99,8	15,9	91,2	23,1
Porto Alegre	113,7	127,3	-11,9	115,0	-1,1	103,7	8,8	94,6	16,8	86,3	24,1
<b>Média</b>			<b>26,9</b>		<b>12,7</b>		<b>7,0</b>		<b>10,3</b>		<b>17,7</b>

Quadro 10B. Valores de  $Q_{90\%}$  calculados com base nos dados históricos e estimados pelo modelo utilizando o  $\alpha$  médio das 21 estações fluviométricas, a  $Q_0$  estimada pela equação generalizada para a bacia, o início do período de recessão em primeiro de maio (a) e primeiro de junho (b) e o final do período de recessão na data especificada, bem como os erros relativos (ER) entre as  $Q_{90\%}$  calculadas e estimadas

(a)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,0	7,1	1,9	15,3	1,8	17,6	1,5	30,1	1,4	36,3
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	9,0	-21,4	8,2	-10,8	8,0	-8,1	6,8	8,5	6,2	16,6
Fazenda Nolasco	0,8	0,9	-17,1	0,9	-6,6	0,8	-4,7	0,7	12,0	0,6	19,8
Barra do Escurinho	7,1	7,8	-10,2	7,1	0,1	7,0	1,5	5,9	17,5	5,3	24,8
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	32,8	-64,1	29,7	-48,7	29,0	-45,0	24,3	-21,6	22,2	-10,8
Santa Rosa	39,2	54,2	-38,3	49,1	-25,3	47,9	-22,1	40,3	-2,8	36,7	6,3
Fazenda Barra da Égua	2,7	5,9	-119,2	5,4	-99,7	5,3	-96,9	4,5	-64,9	4,1	-50,3
Fazenda Poções	1,9	2,2	-16,6	2,0	-6,2	2,0	-2,8	1,7	12,3	1,5	20,0
Fazenda Limeira	22,7	17,8	21,7	16,2	28,6	15,7	30,8	13,4	41,0	12,2	46,2
Unai	21,6	21,1	2,3	19,2	11,0	18,6	14,0	15,9	26,5	14,5	33,0
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	23,7	1,7	21,6	10,4	20,8	13,5	17,8	26,0	16,3	32,6
Fazenda o Resfriado	2,0	2,6	-29,2	2,4	-17,6	2,3	-14,7	1,9	2,9	1,8	11,4
Fazenda Santa Cruz	1,8	2,0	-11,8	1,8	-1,8	1,8	0,3	1,5	15,9	1,4	23,4
Porto dos Poções	30,3	34,2	-12,8	31,2	-2,9	30,5	-0,7	25,7	15,0	23,5	22,5
Porto da Extrema	79,8	112,4	-40,8	102,6	-28,5	99,3	-24,5	84,4	-5,8	77,2	3,3
Caatinga	84,0	115,8	-37,9	105,7	-25,8	102,3	-21,7	87,1	-3,7	79,6	5,3
Veredas	1,4	0,7	48,0	0,7	52,6	0,6	54,2	0,5	60,9	0,5	64,3
Cachoeira das Almas	9,9	17,6	-78,2	16,1	-62,6	15,5	-56,7	13,3	-34,1	12,1	-22,3
Cachoeira do Paredão	9,8	19,3	-96,7	17,6	-79,3	17,0	-73,7	14,5	-47,9	13,2	-34,8
Porto do Cavalo	118,6	168,3	-41,9	153,4	-29,3	148,0	-24,8	126,4	-6,6	115,2	2,9
Porto Alegre	113,7	165,0	-45,2	150,4	-32,3	145,7	-28,2	124,2	-9,2	113,1	0,5
<b>Média</b>			<b>36,3</b>		<b>28,4</b>		<b>26,5</b>		<b>22,1</b>		<b>23,2</b>

(b)

Estação	$Q_{90\%}$ ( $m^3 s^{-1}$ )										
	Calculada	30/set	ER (%)	15/out	ER (%)	31/out	ER (%)	15/nov	ER (%)	30/nov	ER (%)
Fazenda Limoeiro	2,2	2,0	8,9	1,8	17,0	1,7	24,6	1,5	30,9	1,4	36,6
Fazenda Córrego do Ouro	7,4	8,9	-19,9	8,1	-10,1	7,4	-0,4	6,8	7,8	6,3	15,4
Fazenda Nolasco	0,8	1,0	-20,8	0,9	-9,2	0,8	1,3	0,7	10,0	0,7	17,4
Barra do Escurinho	7,1	8,0	-12,8	7,3	-2,5	6,6	7,7	6,0	16,1	5,5	23,1
Ponte da BR-040 (Paracatu)	20,0	33,0	-64,9	30,0	-50,0	27,2	-36,0	24,8	-24,1	22,6	-13,1
Santa Rosa	39,2	54,9	-40,1	49,8	-27,2	45,2	-15,2	41,2	-5,1	37,7	3,9
Fazenda Barra da Égua	2,7	6,4	-135,7	5,8	-114,7	5,2	-93,9	4,8	-77,9	4,4	-62,9
Fazenda Poções	1,9	2,2	-18,0	2,0	-7,4	1,8	2,7	1,7	10,9	1,6	18,1
Fazenda Limeira	22,7	17,9	21,0	16,5	27,5	15,0	33,9	13,8	39,3	12,6	44,3
Unai	21,6	21,2	1,9	19,4	10,4	17,6	18,4	16,2	25,1	14,8	31,3
Santo Antônio do Boqueirão	24,1	23,6	2,0	21,6	10,6	19,7	18,4	18,0	25,2	16,5	31,4
Fazenda o Resfriado	2,0	2,6	-31,5	2,4	-20,6	2,2	-10,2	2,0	-1,1	1,9	7,4
Fazenda Santa Cruz	1,8	2,0	-13,5	1,9	-3,5	1,7	5,6	1,6	13,3	1,4	20,6
Porto dos Poções	30,3	34,5	-13,8	31,4	-3,6	28,6	5,5	26,3	13,3	24,1	20,5
Porto da Extrema	79,8	113,8	-42,6	103,7	-30,0	94,1	-17,9	86,3	-8,1	79,1	0,9
Caatinga	84,0	117,3	-39,7	106,9	-27,3	97,1	-15,6	89,0	-6,0	81,6	2,8
Veredas	1,4	0,7	47,9	0,7	52,2	0,6	56,4	0,6	60,0	0,5	63,3
Cachoeira das Almas	9,9	16,5	-67,0	15,0	-51,4	13,5	-36,2	12,2	-23,5	11,1	-12,0
Cachoeira do Paredão	9,8	20,0	-103,9	18,2	-86,1	16,5	-68,8	15,1	-54,4	13,9	-41,6
Porto do Cavalo	118,6	168,0	-41,7	153,0	-29,0	139,3	-17,5	127,6	-7,6	116,9	1,4
Porto Alegre	113,7	165,5	-45,6	151,4	-33,1	136,4	-20,0	125,1	-10,1	114,7	-0,9
<b>Média</b>			<b>37,8</b>		<b>29,7</b>		<b>24,1</b>		<b>22,4</b>		<b>22,3</b>

## APÊNDICE C

Quadro 1C. Equações que permitem estimar as  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{95\%}$  e  $Q_{mld}$  ao longo de cada um dos principais rios constituintes da rede hidrográfica da bacia do Paracatu

Hidrografia	Equações para estimativa das vazões		
Rio Paracatu	$Q_{7,10} = 0,00111 \text{ Ad}^{1,025}$	$Q_{95\%} = 0,00236 \text{ Ad}^{0,994}$	$Q_{mld} = 0,0234 \text{ Ad}^{0,9295}$
Ribeirão Santa Fé	$Q_{7,10} = 0,00149 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,0022 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,0102 \text{ Ad}$
Ribeirão da Areia	$Q_{7,10} = 0,00149 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,0022 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,0102 \text{ Ad}$
Rio do Sono	$Q_{7,10} = 0,6832 e^{\text{Ad}^{0,00043}} \text{ Ad} > 185 \text{ km}^2$	$Q_{95\%} = 1,015 e^{\text{Ad}^{0,00043}} \text{ Ad} > 185 \text{ km}^2$	$Q_{mld} = 0,048 \text{ Ad}^{0,8234}$
	$Q_{7,10} = 0,003999 \text{ Ad} \text{ Ad} < 185 \text{ km}^2$	$Q_{95\%} = 0,005941 \text{ Ad} \text{ Ad} < 185 \text{ km}^2$	
Ribeirão das Gaitas	$Q_{7,10} = 0,002719 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,00404 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,00873 \text{ Ad}$
Rio do Sono II	$Q_{7,10} = 0,001135 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,00169 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,0096 \text{ Ad}$
Ribeirão das Almas	$Q_{7,10} = 0,000499 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,000741 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,0128 \text{ Ad}$
Ribeirão Cotovelo	$Q_{7,10} = 0,00147 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,0022 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,0105 \text{ Ad}$
Rio da Caatinga	$Q_{7,10} = 0,00147 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,0022 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,0105 \text{ Ad}$
Córrego Gameleira	$Q_{7,10} = 0,00147 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,0022 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,0105 \text{ Ad}$
Rio Verde	$Q_{7,10} = 0,00147 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,0022 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,105 \text{ Ad}$
Ribeirão Gado Bravo	$Q_{7,10} = 0,000361 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,000476 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,00662 \text{ Ad}$
Rio Preto	$Q_{7,10} = 1,6119 \text{ Ad}^{0,241}$	$Q_{95\%} = 3,2278 \text{ Ad}^{0,2104}$	$Q_{mld} = 0,3898 \text{ Ad}^{0,6106}$
Ribeirão Mamoneiras	$Q_{7,10} = 0,000405 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,000536 \text{ Ad}$	$Q_{mld} = 0,00702 \text{ Ad}$
Ribeirão Cana Brava	$Q_{7,10} = 0,2424 \text{ Ad}^{0,1241}$	$Q_{95\%} = 0,2987 \text{ Ad}^{0,1343}$	$Q_{mld} = 1,7193 \text{ Ad}^{0,2394}$
Ribeirão Roncador	$Q_{7,10} = 0,1317 \text{ Ad}^{0,167}$	$Q_{95\%} = 0,167 \text{ Ad}^{0,1741}$	$Q_{mld} = 0,8632 \text{ Ad}^{0,2933}$

Continua...

Quadro 1C. Cont.

Hidrografia	Equações para estimativa das vazões		
Rio Bezerra	$Q_{7,10} = 0,00106 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,001464 \text{ Ad}$	$Q_{\text{mld}} = 0,0115 \text{ Ad}$
Ribeirão Formosa	$Q_{7,10} = 0,00106 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,001464 \text{ Ad}$	$Q_{\text{mld}} = 0,0115 \text{ Ad}$
Ribeirão Entre Ribeiros	$Q_{7,10} = 0,0001 \text{ Ad}^{1,3233}$	$Q_{95\%} = 0,0001 \text{ Ad}^{1,3745}$	$Q_{\text{mld}} = 0,0106 \text{ Ad}$
Ribeirão Barra da Égua	$Q_{7,10} = 0,00127 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,00189 \text{ Ad}$	$Q_{\text{mld}} = 0,0106 \text{ Ad}$
Ribeirão São Pedro	$Q_{7,10} = 0,0034 \text{ Ad}^{0,902}$	$Q_{95\%} = 0,0043 \text{ Ad}^{0,9292}$	$Q_{\text{mld}} = 0,4406 \text{ Ad}^{0,4971}$
Córrego Rico	$Q_{7,10} = 0,00144 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,00221 \text{ Ad}$	$Q_{\text{mld}} = 0,01122 \text{ Ad}$
Rio da Prata	$Q_{7,10} = 0,00143 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,00222 \text{ Ad}$	$Q_{\text{mld}} = 0,01139 \text{ Ad}$
Rio Escuro	$Q_{7,10} = 0,0106 \text{ Ad}^{0,7596}$	$Q_{95\%} = 0,0187 \text{ Ad}^{0,7468}$	$Q_{\text{mld}} = 0,0493 \text{ Ad}^{0,8301}$
Ribeirão Escurinho	$Q_{7,10} = 0,9895 \text{ Ad}^{0,1143}$	$Q_{95\%} = 0,9892 \text{ Ad}^{0,1728}$	$Q_{\text{mld}} = 0,9938 \text{ Ad}^{0,4013}$
Ribeirão Santa Isabel	$Q_{7,10} = 0,0414 \text{ Ad}^{0,1615}$	$Q_{95\%} = 0,0658 \text{ Ad}^{0,2122}$	$Q_{\text{mld}} = 0,9807 \text{ Ad}^{0,17}$
Ribeirão Traíras	$Q_{7,10} = 0,0001551 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,000362 \text{ Ad}$	$Q_{\text{mld}} = 0,004629 \text{ Ad}$
Rio Santa Catarina	$Q_{7,10} = 0,001376 \text{ Ad}$	$Q_{95\%} = 0,00224 \text{ Ad}$	$Q_{\text{mld}} = 0,01272 \text{ Ad}$