
FLEXIBILIDADE DAS VAZÕES MÍNIMAS DE REFERÊNCIA COM A ADOÇÃO DO PERÍODO TRIMESTRAL¹

Demetrius David da Silva², Felipe de Azevedo Marques³, Alysson Feliciano Lemos⁴

RESUMO

Em alguns Estados do Brasil, o processo de outorga de uso de águas superficiais utiliza a vazão mínima de referência $Q_{7,10}$, que é obtida com base no período anual de maior escassez hídrica. Este valor pode-se tornar restritivo em bacias onde há maior demanda de água e, por essa razão, o presente estudo buscou avaliar a sazonalidade na vazão mínima de referência $Q_{7,10}$, com a consideração do período trimestral. A metodologia de regionalização de vazões utilizada foi a tradicional, proposta por Eletrobrás (1985), aplicada à bacia hidrográfica do rio São Francisco, a montante do reservatório de Três Marias. Os valores estimados das vazões mínimas de referência trimestrais foram comparados com as estimativas de vazões mínimas com base no período anual, evidenciando um aumento considerável na disponibilidade hídrica no primeiro e segundo trimestres. Os resultados demonstraram que a obtenção das vazões mínimas de referência, baseada em períodos trimestrais, proporcionou considerável aumento na disponibilidade hídrica, flexibilizando o processo de outorga de uso de água, principalmente nos períodos mais chuvosos do ano.

Palavras-chave: disponibilidade hídrica, sazonalidade na oferta, outorga.

ABSTRACT

QUARTERLY PERIOD ALLOWS FLEXIBILITY IN THE MINIMUM STREAM FLOW OF REFERENCE

In some Brazilian states, the grant for water use is based on the minimum stream flow of reference ($Q_{7,10}$), which is calculated on the basis of the annual state of maximum water scarcity. This value can be restrictive in watersheds where the water demand is high. Thus the present study was done to evaluate the seasonality of the minimum $Q_{7,10}$ on quarterly basis. Traditional method proposed by Eletrobrás (1985) for regionalization of stream flows was applied to the San Francisco river watershed, at Três Marias reservoir. The comparison of estimated values of the quarterly $Q_{7,10}$ with the estimates of annual $Q_{7,10}$, showed considerable increase of water availability in the first and second quarters. The results demonstrated that the calculating $Q_{7,10}$ based on quarterly periods provides considerable increase in water availability, giving flexibility to grant water use mainly during the rainiest periods of the year.

Keywords: Water availability, sazonality on water availability, water grants of use.

Recebido para publicação em 10/03/2008. Aprovado em 09/09/2010.

1- Trabalho financiado com recursos da Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG;

2- Eng. Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola, Bolsista do CNPq, DEA-UFV, Viçosa-MG, email: demetrius@ufv.br;

3- Eng. Agrícola, Doutor em Engenharia Agrícola, UFT, Palmas-TO, email: marxfel@gmail.com;

4- Eng. Agrícola, Mestre em Engenharia Agrícola, Ministério da Saúde, Brasília - DF, email: alyssonlemons@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

A crescente demanda de água para satisfazer seus múltiplos usos tem contribuído para o aumento de seu consumo e, conseqüentemente, dos conflitos entre usuários, em diversas bacias hidrográficas do Brasil. Entre os instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), a qual foi instituída pela Lei n.º 9.433/97, a outorga de direito de uso de águas superficiais destaca-se como um dos mais importantes, tendo, como objetivos principais, assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água, bem como o efetivo exercício dos direitos de acesso.

Assim sendo, o instrumento de outorga é necessário para o gerenciamento dos recursos hídricos, pois permite ao administrador realizar o controle qualiquantitativo da água, e, ao usuário, a necessária autorização para implementação de seus empreendimentos. É, também, um instrumento importante por minimizar os conflitos entre os diversos setores usuários e evitar impactos ambientais negativos aos corpos hídricos (ANA, 2006).

Atualmente, a outorga de uso de água utiliza vazões mínimas de referência, que correspondem às condições anuais de maior escassez hídrica, e esse valor anual pode-se tornar restritivo, em bacias onde há maior demanda de água, principalmente nos períodos chuvosos, quando maior quantidade do recurso poderia ser outorgada.

O Estado de Minas Gerais, que possui o segundo maior número de outorgas no País (ANA, 2005), outorga, por meio do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), até 30 % da $Q_{7,10}$, denominada vazão com sete dias de duração e período de retorno de dez anos. A proposta de trabalhar com períodos trimestrais encontra resistência nas instituições gestoras, pois, neste caso, torna-se necessário obter uma estimativa de vazão mínima correspondente a cada trimestre e não mais uma única vazão de referência.

O conhecimento da disponibilidade hídrica, ao longo do ano, deve constituir a informação básica para a tomada de decisão nos processos de outorga e a escassez de informações hidrométricas evidencia a importância dos estudos de regionalização de vazões, que buscam, por meio de semelhanças ambientais, reproduzir informações de uma seção,

cujas vazões são conhecidas, para outras, onde estas informações são inexistentes.

Ressalta-se que um dos objetivos da outorga é garantir o direito dos cidadãos ao acesso à água, e, sendo essa um bem de domínio público, sua gestão deve ser eficiente e capaz de proporcionar o desenvolvimento dos empreendimentos produtivos.

Neste sentido, o estudo utilizou a metodologia tradicional proposta pela Eletrobrás (1985), que utiliza equações de regressão aplicadas a regiões hidrologicamente homogêneas, para estimar as vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$), com base nos períodos trimestral e anual. Em seguida, avaliou-se a flexibilidade nos processos de outorga, comparando as vazões mínimas de referência de cada trimestre com as vazões obtidas para o período anual.

REVISÃO DE LITERATURA

Normalmente, a vazão de referência utilizada nos processos de outorga é a vazão mínima que caracteriza uma condição de escassez hídrica no manancial, de modo que, quando da ocorrência da situação de escassez, todos os usuários, ou os prioritários, mantenham, de certa forma, em operação os usos outorgados.

Muitos órgãos gestores têm adotado a vazão mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), ou a vazão associada às permanências de 90 (Q_{90}) ou 95 % (Q_{95}), como valores de referência para o processo de outorga, sendo disponibilizado para a outorga apenas um percentual dessas vazões mínimas de referência.

A adoção de uma vazão mínima anual nos critérios de outorga pode se tornar restritiva, em bacias com elevada demanda do recurso, em períodos chuvosos, e pode ser, eventualmente, insuficiente para a manutenção do meio biótico, nos períodos de escassez.

Existe a necessidade de se evoluir nos critérios de outorga, com estudos aprofundados para suprir a falta de dados hidrológicos, como a espacialização das vazões ou a adoção de novas vazões de referência. Estudos realizados por Catalunha (2004), buscando avaliar a sazonalidade nas vazões de referência, revelaram que a utilização do período trimestral para a determinação das vazões

mínimas de referência apresenta-se mais adequada ao processo de outorga, quando comparada com as vazões obtidas para o período anual.

Marques (2006), ao desenvolver um sistema *on-line* de gestão de outorgas, obteve vazões mínimas de referência com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$) e vazões mínimas associadas às permanências de 90 e 95 % (Q_{90} e Q_{95}), com base no período trimestral, concluindo que o período trimestral proporcionou um aumento de até 89 % nas vazões mínimas de referência, no trimestre mais chuvoso, janeiro-fevereiro-março, e uma redução de até 15 %, no trimestre mais seco, julho-agosto-setembro.

O considerável aumento na disponibilidade hídrica, flexibilizando o processo de outorga, principalmente nos períodos mais chuvosos, quando vazões superiores poderiam ser outorgadas, em vista da maior oferta do recurso, é de extrema importância em bacias com elevadas taxas de crescimento e potencial conflito entre usuários (MARQUES, 2006). O autor, porém, alerta que, com a consideração da sazonalidade na oferta, torna-se cada vez mais essencial a existência de informações estruturadas e, sobretudo, de sistemas gestores para processar tal conhecimento, subsidiando intervenções e operações adequadas.

Na regionalização de vazões, a metodologia tradicional, proposta pela Eletrobrás (1985), mostra-se mais adequada ao estudo na bacia do rio São Francisco, com grande variabilidade espacial, pois individualiza regiões homogêneas, conduzindo a melhores estimativas de vazões mínimas de referência (AZEVEDO, 2004; RIBEIRO *et al.*, 2005; MARQUES, 2006).

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área em estudo

A bacia do rio São Francisco, a montante do reservatório de Três Marias (Figura 1), constitui a sub-bacia 40, segundo a codificação da Agência Nacional de Águas, e está localizada entre os paralelos 18 e 21° S e os meridianos 43° 30' e 46° 40' O, na região central de Minas Gerais. A bacia possui área de drenagem de aproximadamente 50.000 km² e abrange 106 municípios. A sub-

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

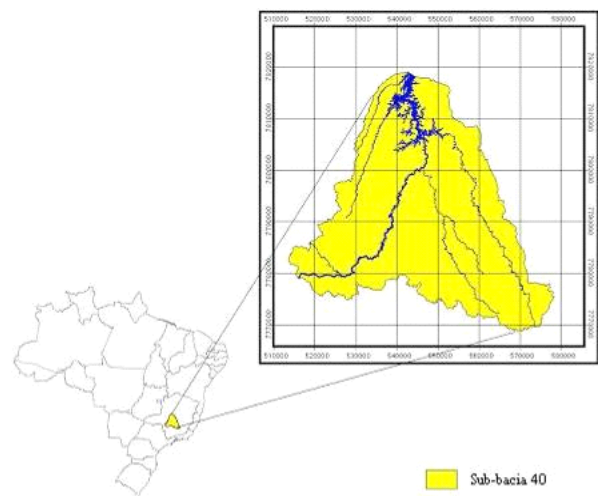


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio São Francisco a montante do reservatório de Três Marias.

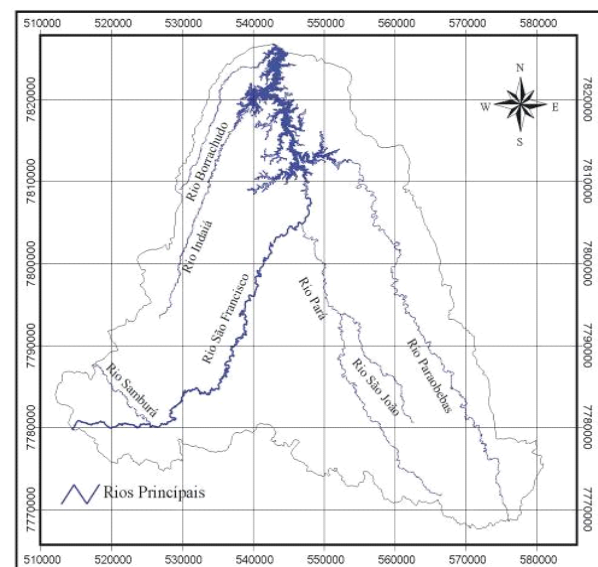


Figura 2. Principais rios da bacia do São Francisco a montante do reservatório de Três Marias.

Geração do modelo digital de elevação (MDE)

O MDE foi gerado a partir da interpolação das curvas de nível digitalizadas com a hidrografia mapeada de cartas do IBGE, em escala 1:250.000, utilizando o procedimento de interpolação disponível

no software ArcGIS 8.3[®]. Este algoritmo permite que, quando houver violação das condições de altimetria favoráveis ao escoamento, o traçado da hidrografia mapeada seja respeitado. Com isso, garantiu-se a coincidência espacial da drenagem mapeada com as células de menor altitude do modelo, configurando, assim, a criação do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Consistente - MDEHC.

Seleção e análise dos dados

Para a realização do estudo, foram utilizados dados fluviométricos (ANEEL, 2001a) e pluviométricos (ANEEL, 2001b), pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas.

Após a obtenção dos dados, elaborou-se um diagrama de barras para as estações fluviométricas e pluviométricas, objetivando a caracterização dos períodos de dados disponíveis para todas as estações, de forma a facilitar a identificação do período-base a ser adotado. Foram incluídas nos diagramas de barras apenas as estações que possuíam dados mais recentes, eliminando-se aquelas que saíram de operação antes de 1980, ou que possuíam um período inferior a oito anos de dados. Com isso, o número foi reduzido para 28 estações fluviométricas (Figura 3) e 43 pluviométricas (Figura 4).

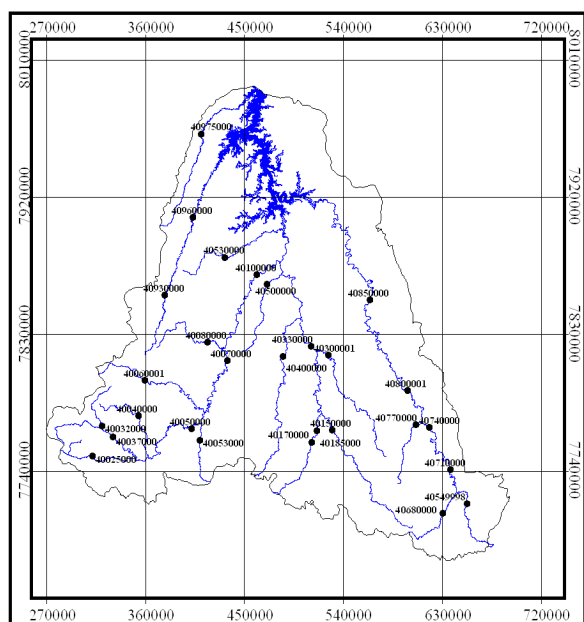


Figura 3. Mapa de localização das estações fluviométricas, selecionadas para o estudo.

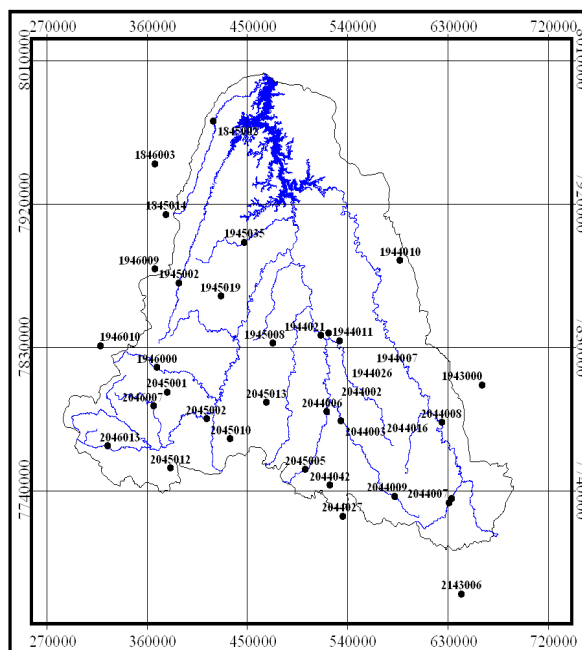


Figura 4. Mapa de localização das estações pluviométricas, selecionadas para o estudo.

De posse do diagrama de barras e do mapa de localização das estações fluviométricas procedeu-se à análise das estações quanto ao período de operação e localização geográfica, visando à identificação do período base a ser usado na regionalização. Foi selecionado, para o presente estudo, o período de 1978 a 2002 (25 anos). As séries históricas das 28 estações fluviométricas foram subdivididas em trimestres conforme o ano civil. No Quadro 1 apresenta-se esta subdivisão em trimestres.

Quadro 1. Trimestres, utilizados para segmentação das séries históricas de vazão

Trimestre	Meses
1º Trimestre	janeiro-fevereiro-março
2º Trimestre	abril-maio-junho
3º Trimestre	julho-agosto-setembro
4º Trimestre	outubro-novembro-dezembro

Preenchimento de Falhas

Para o preenchimento de falhas de vazão, foi utilizada a regressão linear simples e, para o

preenchimento de falhas em séries pluviométricas, utilizou-se o método da ponderação regional com base em regressões lineares, que consiste em estabelecer regressões lineares entre o posto com dados a serem preenchidos e cada um dos postos vizinhos.

Para a realização do preenchimento, tanto dos dados de vazão, como de precipitação, adotou-se como critério a obtenção de coeficiente de correlação superior a 0,85 e a existência de pelo menos oito pares de eventos entre as estações, para a realização da regressão.

Obtenção das vazões mínimas de referência

Após a seleção e análise de dados básicos, as séries anuais e trimestrais de vazões mínimas com sete dias de duração (Q_7), para cada estação, foram submetidas à análise estatística, para identificação do modelo probabilístico que melhor se ajustava aos dados. Os modelos de distribuição de eventos mínimos utilizados foram: Log-Normal a dois e três parâmetros, Pearson III, Log-Pearson III e Weibull (HAAN, 1977; STEDINGER *et al.*, 1992).

A seleção da distribuição de probabilidade ajustável a cada série histórica foi efetuada, utilizando-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, a 20 % de probabilidade, e o ajuste dos parâmetros de cada distribuição foi realizado pelo método dos momentos, que consiste em igualar os momentos populacionais da série aos momentos amostrais de uma série de eventos aleatórios, quais sejam, a média, o desvio padrão e os coeficientes de assimetria e de curtose.

O teste de Kolmogorov-Smirnov é baseado nos desvios da função de distribuição da amostra de eventos $P(x)$, em relação à função de distribuição contínua escolhida $P_0(x)$. Assim:

$$D_n = \max |P(x) - P_0(x)| \quad (1)$$

O teste requer que o valor de D_n obtido seja menor que o valor tabelado, para um determinado nível de confiança. Se o valor de D_n for maior que o valor crítico, rejeita-se H_0 (HAAN, 1977). Os valores críticos de D_n a 20 % de significância são menores que para 5 ou 1 % e, em função disso, maior a possibilidade do valor de D_n obtido ser

maior que o valor tabelado, tornando o teste mais rigoroso.

Após a seleção da distribuição probabilística com melhor ajuste aos dados de vazões, foram obtidos os valores das vazões mínimas com sete dias de duração associadas ao período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), considerando-se os períodos anual e trimestral.

Método tradicional

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

- Identificação das regiões hidrologicamente homogêneas

As regiões, que subdividem uma área maior, foram escolhidas com base na homogeneidade das características hidrológicas. Na prática, a homogeneidade na regionalização foi traduzida por um alto coeficiente de determinação, obtido da aplicação da regressão múltipla das vazões com as características físicas e climáticas das bacias.

Foi utilizado o critério estatístico para identificação das regiões homogêneas, baseado na análise do ajuste do modelo de regressão múltipla.

Estabeleceram-se regressões múltiplas entre as séries de vazões mínimas e as diferentes características físicas (área de drenagem – A ; comprimento do talvegue – L ; densidade de drenagem – Dd ; declividade média da bacia – S_m e declividade do rio principal – S_{rp}) e climáticas (precipitação do trimestre mais seco – P_{ts} ; do mês mais seco – $P_{mês}$ e total anual – P_a) das bacias, com base na seguinte função:

$$Q = F(A, L, Dd, S_m, S_{rp}, P_{ts}, P_{mês}, P_a) \quad (2)$$

As regiões hidrologicamente homogêneas foram definidas em função da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresentou o melhor ajuste, avaliado por meio do teste da função F , do coeficiente de determinação ajustado, do desvio padrão dos erros do ajustamento, também chamado de erro padrão

da estimativa, e dos erros percentuais (%dr), entre os valores das vazões observadas e estimadas pelos modelos de regressão obtidos para cada uma das regiões homogêneas.

Na identificação das regiões homogêneas, com base no critério citado anteriormente, foi utilizado o software RH 4.0 – Regionalização Hidrológica (EUCLYDES *et al.*, 2005).

- Regionalização das vazões mínimas de referência (Q_{7,10})

De posse dos dados de vazões mínimas e das características físicas (A, L, Dd, S_m e S_{rp}) e climáticas (P_{ts}, P_{mês} e P_a), correspondentes às áreas de drenagem das diferentes estações fluviométricas, pertencentes a uma mesma região homogênea, foi aplicada a regressão múltipla às vazões mínimas de referência anuais e trimestrais.

No ajuste das equações foram utilizados os seguintes modelos de regressão:

Modelo linear

$$Q = \beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L + \beta_3 Dd + \beta_4 S_m + \beta_5 S_{rp} + \beta_6 P \quad (3)$$

Modelo Potencial

$$Q = \beta_0 A^{\beta_1} L^{\beta_2} Dd^{\beta_3} S_m^{\beta_4} S_{rp}^{\beta_5} P^{\beta_6} \quad (4)$$

Modelo Exponencial

$$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L + \beta_3 Dd + \beta_4 S_m + \beta_5 S_{rp} + \beta_6 P)} \quad (5)$$

Modelo Logarítmico

$$Q = \beta_0 + \beta_1 \ln A + \beta_2 \ln L + \beta_3 \ln Dd + \beta_4 \ln S_m + \beta_5 \ln S_{rp} + \beta_6 \ln P \quad (6)$$

Modelo Recíproco

$$Q = (\beta_0 + \beta_1 A + \beta_2 L + \beta_3 Dd + \beta_4 S_m + \beta_5 S_{rp} + \beta_6 P)^{-1} \quad (7)$$

Os melhores modelos resultantes da aplicação da regressão múltipla foram selecionados, observando-se: maiores valores do coeficiente de determinação ajustado, menores valores de erro padrão fatorial e menor número de variáveis independentes.

Em seguida, os valores estimados de Q_{7,10} correspondentes a cada trimestre foram comparados com os valores de Q_{7,10} estimados, adotando-se o período anual. A sazonalidade, expressa na variação entre as vazões mínimas trimestrais e anual, foi

avaliada a fim de identificar a flexibilidade nos critérios de outorga, adotando-se o período trimestral.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Modelo digital de elevação hidrograficamente consistente

A partir da comparação entre a rede de drenagem mapeada de cartas do IBGE, em escala 1:250.000, e a gerada automaticamente (drenagem numérica), bem como pela delimitação automática das bacias de drenagem, pôde-se considerar que o modelo digital de elevação da bacia em estudo é hidrograficamente consistente.

Na Figura 5, verifica-se a sobreposição das redes de drenagem mapeada e numérica, onde é possível observar que a drenagem obtida de modo automático possui ramificação aproximada a da escala 1:250.000 do IBGE. O MDEHC é ilustrado na Figura 6, com um efeito de sombreamento para permitir melhor visualização das variações no relevo da bacia.

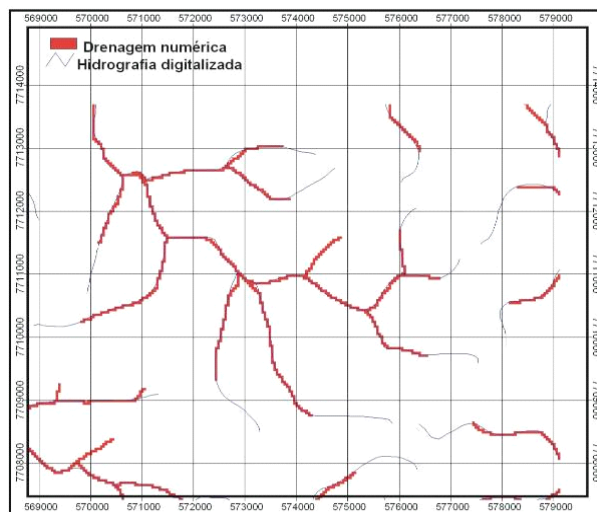


Figura 5. Sobreposição das drenagens numérica e mapeada do IBGE em escala. 1:250.000.

Obtenção das vazões mínimas de referência

As distribuições que melhor se ajustaram aos períodos analisados foram a Log-Normal a dois e três parâmetros e a Pearson III, visto que apresentaram significância a 20% de probabilidade pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, em todas as estações, tanto para o período anual como para os trimestres.

Em um estudo realizado na sub-bacia do rio Paraná, verificou-se que as distribuições Log-Normal a dois e três parâmetros apresentaram melhores ajustes nas duas regiões homogêneas identificadas no estudo. Baena (2002), em estudo de regionalização de vazões na bacia do rio Paraíba do Sul, verificou que o modelo Log-Normal a três parâmetros foi o que melhor se ajustou aos dados de todas as estações fluviométricas, nas quatro regiões homogêneas identificadas na área em estudo. Já Euclides *et al.* (2001), trabalhando com regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco, selecionaram a distribuição de Weibull para representar os eventos mínimos.

Método tradicional

- Identificação das regiões hidrologicamente homogêneas

Inicialmente, fez-se uma tentativa preliminar de reunir todas as 28 estações fluviométricas em uma só região; entretanto, todos os modelos de regressão resultantes da aplicação da regressão múltipla aos dados das estações apresentaram

coeficientes de determinação ajustados (R^2) insatisfatórios, com valores inferiores a 0,7. A bacia foi então dividida em mais regiões, baseando-se na distribuição geográfica das estações, na homogeneidade das características de relevo e de clima, na similaridade dos coeficientes de regressão " β_1 ", nos coeficientes de determinação das equações obtidas para cada região e na dispersão dos valores observados em relação aos estimados pelos modelos de regressão selecionados para cada região homogênea.

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

Após diversas tentativas, identificaram-se três regiões homogêneas (Figura 7) para as vazões estudadas, testando-se diversos modelos de regressão, por meio de várias combinações de variáveis explicativas (características físicas e climáticas).

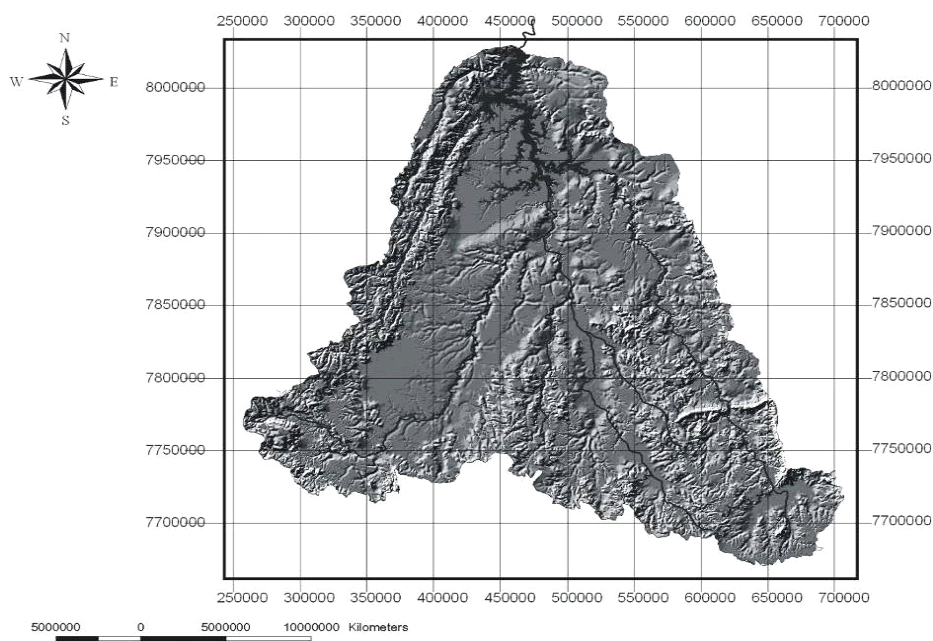


Figura 6. Modelo digital de elevação hidrograficamente consistente (MDEHC) da bacia do São Francisco, a montante do reservatório de Três Marias.

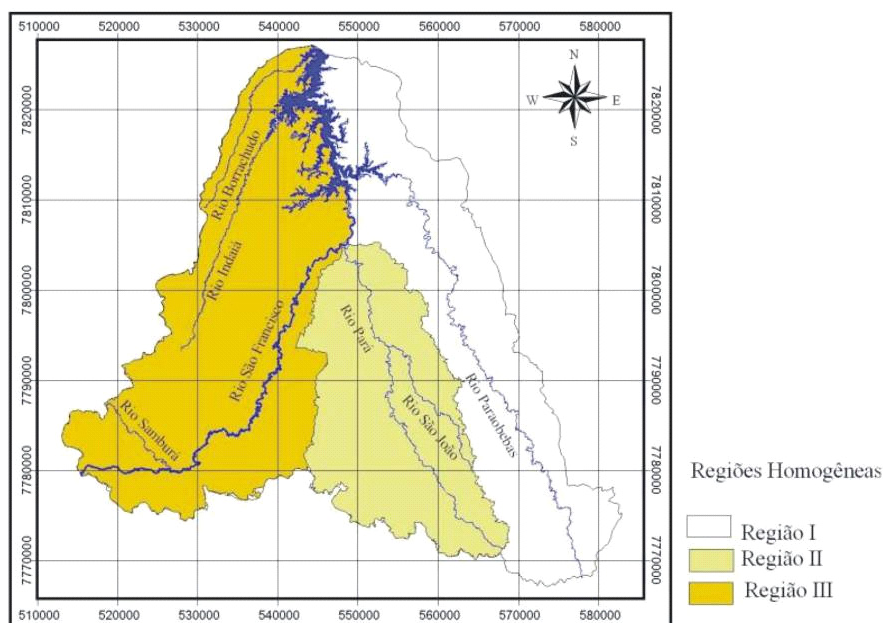


Figura 7. Delimitação das regiões hidrologicamente homogêneas para vazões mínimas da bacia do rio São Francisco a montante do reservatório de Três Marias.

Quadro 2. Modelos de regressão para estimativa das vazões específicas mínimas com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($q_{7,10}$, $L \cdot s^{-1} \text{ km}^{-2}$)

Período	Regiões	Modelos	R ² a
Anual	I	$q_{7,10} = 2,72 \times 10^{-11} L^{0,398247} + P_{ts}^{3,286656}$	0,84
	II	$q_{7,10} = 0,001137 + 0,000015 L$	0,97
	III	$q_{7,10} = 4,10 \times 10^{-10} Dd^{2,768531} Pts^{4,897251}$	0,71
1º Trimestre	I	$q_{7,10} = 0,013792 + 3,4 \times 10^{-7} A$	0,77
	II	$q_{7,10} = (199,7827 - 169,888 Dd)^{-1}$	0,91
	III	$q_{7,10} = (396,7289 - 0,11783 L - 160,879 Dd - 5,88398 Pts)^{-1}$	0,80
2º Trimestre	I	$q_{7,10} = (0,003589 A + 0,070393 Pa)^{-1}$	0,87
	II	$q_{7,10} = (481,5702 - 69,3885 Dd - 0,21377 Pa)^{-1}$	0,90
	III	$q_{7,10} = (944,5033 - 551,191 Dd - 12,7866 Pts)^{-1}$	0,81
3º Trimestre	I	$q_{7,10} = (237,30 + 0,072844 A - 2,23405 L)^{-1}$	0,86
	II	$q_{7,10} = (-390,038 Dd + 2,530289 Pss)^{-1}$	0,75
	III	$q_{7,10} = (2362,833 - 1305,14 Dd - 34,9943 Pa)^{-1}$	0,76
4º Trimestre	I	$q_{7,10} = 1,24 \times 10^{-20} L^{0,997224} Pts^{6,791880}$	0,91
	II	$q_{7,10} = 0,000010 Dd^{0,444540} Pts^{1,185294}$	0,76
	III	$q_{7,10} = 1,98 \times 10^{-11} Dd^{3,136936} Pts^{5,781622}$	0,72

Regionalização das vazões mínimas de referência ($Q_{7,10}$)

Os modelos de regressão recomendados para estimar a vazão específica mínima com sete dias de duração e período de retorno de dez anos ($q_{7,10}$, $L \cdot s^{-1} \text{ km}^{-2}$), e os parâmetros estatísticos a eles

associados, para as três regiões hidrologicamente homogêneas, estão apresentados na Quadro 2. Estes modelos foram escolhidos com base nos critérios: simplicidade (menor número de variáveis), maior coeficiente de determinação ajustado (R^2a), menores valores de erro padrão fatorial e resultados significativos pelo teste F.

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

No Quadro 3, estão apresentados os resultados da comparação dos valores de $Q_{7,10}$, para cada trimestre, com a $Q_{7,10}$ anual para os postos fluviométricos, utilizados no estudo, permitindo-se avaliar a variação da disponibilidade hídrica ao longo do ano. É necessário observar que a vazão mínima de um dos trimestres teria que coincidir com a vazão mínima anual, porém, a vazão mínima com sete dias de duração (Q_7) não ocorreu sempre no mesmo trimestre e a tendência mencionada não foi obtida.

Os resultados encontrados demonstram considerável

aumento na disponibilidade hídrica do primeiro e segundo trimestres, em comparação com os valores de $Q_{7,10}$ do período anual, o que retrata a realidade, já que os meses de janeiro a março (primeiro trimestre) coincidem com os meses mais chuvosos do ano na região em estudo.

Uma vez que a série de Q_7 anual apresenta os menores valores de vazão, era esperada uma flexibilidade positiva em todos os trimestres. Entretanto, houve situações em que a $Q_{7,10}$ no terceiro e quarto trimestres ficou abaixo da $Q_{7,10}$ anual. Isso só ocorreu porque esses valores foram estimados por diferentes distribuições de probabilidade e, dessa forma, as variações encontradas podem ser acima ou abaixo da referência, que é a $Q_{7,10}$ anual.

Quadro 3. Comparação dos valores de $Q_{7,10}$ para cada trimestre com a $Q_{7,10}$ anual

Região Homogênea	Código da estação	Flexibilidade em relação a $Q_{7,10}$ anual (%)			
		1º Trimestre	2º Trimestre	3º Trimestre	4º Trimestre
Região I	40549998	160,9	81,3	-18,7	-37,8
	40680000	221,0	128,6	-9,5	-31,4
	40710000	122,2	47,6	-21,4	-22,9
	40740000	133,0	57,7	13,5	-22,6
	40770000	724,2	445,0	91,7	-11,7
	40800001	225,2	114,6	31,7	2,5
	40850000	156,2	78,5	4,4	-31,7
Região II	40150000	303,3	171,1	92,5	115,7
	40170000	467,7	288,2	143,5	112,9
	40185000	414,6	249,6	128,4	24,1
	40300001	295,3	168,3	107,7	54,7
	40330000	152,2	78,9	42,9	41,5
	40400000	275,4	173,9	75,2	90,6
	40500000	307,7	209,6	92,9	85,3
Região III	40025000	122,2	46,4	-5,2	7,5
	40032000	175,5	39,7	-25,0	1,8
	40037000	300,5	168,2	26,2	5,6
	40040000	277,5	109,9	9,9	10,8
	40050000	231,8	50,1	-26,1	-2,6
	40053000	1218,8	662,5	100,0	56,3
	40060001	147,7	42,9	-1,3	8,8
	40070000	82,2	35,8	-34,1	-15,0
	40080000	763,1	157,1	17,9	-7,1
	40100000	454,5	138,5	4,8	-17,5
	40530000	1733,3	885,7	185,7	19,0
	40930000	325,4	81,2	-4,6	-16,5
	40960000	574,8	93,5	9,4	1,0
40975000	252,6	80,3	-21,6	-9,9	
	Média (%)	379,2	174,5	36,1	14,7

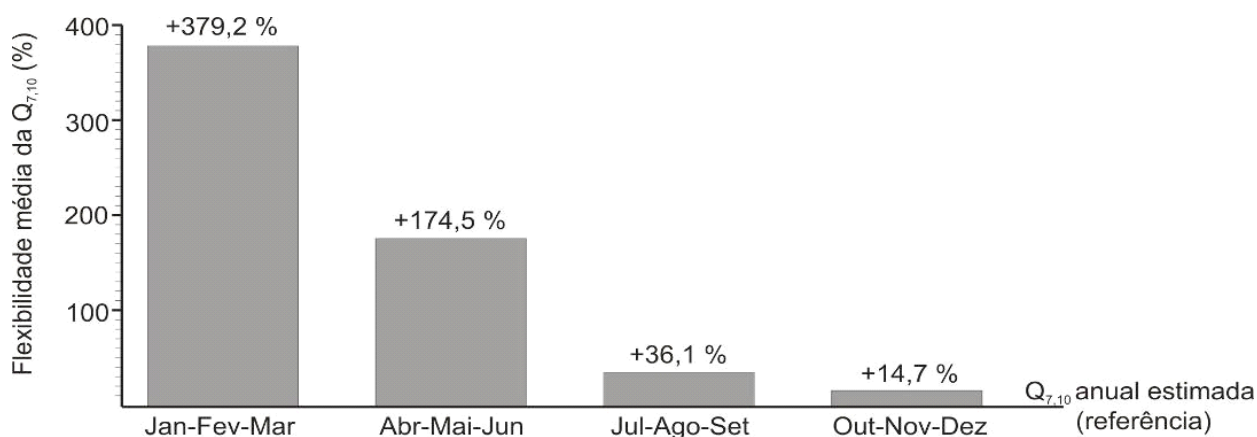


Figura 8. Flexibilidade média da $Q_{7,10}$ obtida com a adoção do período trimestral.

Na Figura 8 resume-se esta variação, ao ser apresentado um gráfico com a flexibilidade média nos critérios de outorga por causa da adoção da vazão mínima de referência $Q_{7,10}$, com base no período trimestral, em vez de no período anual.

CONCLUSÕES

- A estimativa das vazões mínimas de referência, baseada em períodos trimestrais, proporcionou aumento na disponibilidade hídrica em todos os trimestres, flexibilizando o processo de outorga de uso de água, principalmente nos períodos mais chuvosos; e
- A consideração da sazonalidade da disponibilidade hídrica implicou aumento da vazão outorgável de 379 %, no primeiro trimestre, 174,5 %, no segundo trimestre, 36,1 %, no terceiro trimestre e 14,7 %, no quarto trimestre.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo apoio e financiamento do projeto de pesquisa.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo incentivo e apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA - Agência Nacional de Águas.

Disponibilidades e demandas de recursos hídricos no Brasil. Brasília – DF, mai. 2005.134p.

_____. **Outorga de direito de uso.** Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/Outorga/default2.asp>>. Acesso em: 2 jul. 2006.

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

_____. **Inventário de estações pluviométricas.** Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas (Coord.). Brasília- DF, 310p, 2001b.

AZEVEDO, A.A. **Avaliação de metodologias de regionalização de vazões mínimas de referência para a sub-bacia do rio Paranã.** 2004. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola.) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2004.

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 hidrológicamente consistente.** 2002. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2002.

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. 165fp. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. 2004.

ELETROBRÁS – Centrais Hidrelétricas Brasileiras S.A. **Metodologia pra regionalização de vazões.** Rio de Janeiro- RJ, 1985. 202p.

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

EUCLYDES, H.P.; FERREIRA, P.A.; FARIA FILHO, R.F.R. **Atlas digital das águas de Minas.** Viçosa, MG: UFV, RURALMINAS, IGAM, 2005. 78p.

HAAN, C.T. **Statistical methods in hidrology.** 2. ed. Ames, Iowa: The Iowa State University, Press/ Ames, 1977. 378p.

MARQUES, F.A. **Sistema multi-usuário de gestão de recursos hídricos.** 2006. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. 2006.

RIBEIRO, C.B.M.; MARQUES F.A.; SILVA D.D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na Agricultura.** Viçosa, MG, v.13, n.2, p.103-107, abr., 2005.

STEDINGER, J.R.; VOGEL, R.M.; FOUFOULA-GEORGIU, E. Frequency analysis of extreme events. In: MAIDMENT, D. R. **Handbook of hidrology.** New York: MacGraw Hill, 1992. p. 18.1 - 18.66.