

GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS: UMA NOVA METODOLOGIA PARA A ESTIMATIVA DAS VAZÕES MÍNIMAS¹

Luciano Farias de Novaes², Fernando Falco Pruski³, Sílvio Bueno Pereira⁴, Douglas Oliveira Queiroz⁵, Renata del Giudice Rodriguez⁶

RESUMO

Dentre as principais limitações encontradas para a adequada gestão dos recursos hídricos pode-se citar as reduções das vazões com o aumento da área de drenagem e a inexistência de metodologias disponíveis que quantifiquem as vazões e garantam a continuidade destas ao longo da rede hidrográfica da bacia. Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi propor uma metodologia que permite o ajuste das vazões mínimas ao longo da rede hidrográfica visando superar estas limitações que dificultam o adequado gerenciamento de recursos hídricos. Foi realizado um estudo de caso para a bacia do Paracatu. A metodologia proposta consistiu em ajustar modelos de regressão para representação das vazões mínimas em função da área de drenagem no rio de maior ordem, e a partir deste, obter as vazões na foz de cada rio afluente. O método proposto possibilitou a obtenção de resultados que permitem uma melhor qualidade das informações para o gerenciamento de recursos hídricos.

Palavras chaves: disponibilidade hídrica, outorga, comitês de bacias hidrográficas.

ABSTRACT

Water Resource Management: A New Method to Estimate the Minimum Flow Rate

Among the major limitations for adequate water resource management is the flow rate reduction due to increased drainage area and the lack of methods to quantify the available water that assures flow rate continuity on a hydrographic net. The objective of this study was to develop a method that allows for adjustment of the minimum flow rate throughout the hydrographic net. A case study was done in the Paracatu basin. The method allows for adjusting an equation to estimate the minimum flow rate as a function of the greater drainage area on the river basin. This equation calculates the flow rate in the estuary of each affluent river. The results showed the feasibility of the method to obtain better information for the water resource management.

Keywords: water availability, concession of the grants, water basin committees.

Recebido para publicação em 04.11.2005 Aprovado em 19.09.2008

1. Parte do Projeto: Modelo Computacional para a Gestão de Recursos Hídricos: Desenvolvimento e Aplicação para a Bacia do Paracatu, financiado pela FAPEMIG com parceria da UFV/IGAM.

2. Doutorando na USP, SHS, EESC, São Carlos, SP, fone: (16)33729886, e-mail: novaes@sc.usp.br

3 Professor titular da UFV, DEA, Viçosa, MG, fone (31)38991912, fax: (31)38992735, e-mail: ffpruski@ufv.br.

4 Pós-doutor da UFMS, CEUD, Dourados, MS, fone: (67)41113834, fax: (67)4113811, e-mail: sbueno@ceud.ufms.br

5 Graduação na UFV, DEA, Viçosa, MG, fone: (31)38991925, fax: (31)38992735, e-mail: eg42678@yahoo.com.br .

6 Doutoranda na UFV, DEA, Viçosa, MG, fone: (31)38991925, fax: (31)38992735, e-mail: rdgrodriguez@gprh.ufv.br

INTRODUÇÃO

Para a adequada gestão de recursos hídricos, é necessário dispor de bancos de dados e metodologias apropriadas à quantificação destes recursos. O processo de gestão deve 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).

Na Lei 9.433, de 8 de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos e criado o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sendo este um grande passo para o gerenciamento de tais recursos. Essa lei tem como preceitos básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento; a consideração dos múltiplos usos da água; o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico; e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

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

A outorga é uma ferramenta indispensável para a gestão dos recursos hídricos, pois possibilita, aos gestores, o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água, ao mesmo tempo que garante ao usuário o aproveitamento de água em um local específico de um manancial hídrico, no qual a vazão, o tipo e o tempo de uso devem ser previamente definidos. A outorga assegura, portanto, o direito de uso da água de forma específica e intransferível (PEREIRA, 2004).

Na determinação das vazões mínimas de referência a serem utilizadas no processo de outorga de uso da água, uma das principais limitações encontradas diz respeito às

inconsistências na base de dados fluviométricos. Pela análise do estudo realizado por RAMOS e PRUSKI (2003) sobre o comportamento das vazões médias, máximas e mínimas em diversas estações fluviométricas situadas na Bacia do rio São Francisco, foi possível evidenciar, a partir da comparação entre as vazões calculadas nas diversas estações fluviométricas, várias inconsistências, inclusive com grandes reduções na magnitude dessas variáveis nas estações com maior área de drenagem. BAENA (2002) e RODRIGUEZ (2004) também evidenciaram inconsistências na base de dados fluviométricos ao longo dos rios Paraíba do Sul e Paracatu, respectivamente, quando constataram reduções na magnitude das vazões mínimas, com o aumento da área de drenagem em situações que este comportamento não apresenta uma justificativa plausível. Esta redução da vazão, com o aumento da área de drenagem, acarreta sérias restrições à adequada gestão dos recursos hídricos.

Nas situações em que a vazão mínima diminua com o aumento da área de drenagem, poderá haver grande dificuldade no estabelecimento das vazões para fins de outorga, uma vez que a vazão permissível para outorga é estabelecida como uma proporção da vazão mínima e a redução desta vazão. Com o aumento da área de drenagem haverá redução na vazão permissível para outorga do usuário situado a jusante.

O método tradicional de regionalização de vazões, baseado no estabelecimento de regiões hidrologicamente homogêneas e equações de regressão regionais, atenua o problema de reduções de vazões com o aumento da área de drenagem, pois, neste método, ajusta-se uma equação de regressão entre a vazão e as características físicas e climáticas das bacias de drenagem para cada região homogênea. Porém, freqüentemente, observa-se outro tipo de problema associado ao uso deste procedimento, sendo este, decorrente de descontinuidades das vazões ao longo da rede hidrográfica, quando da passagem de uma região hidrologicamente homogênea para outra, ou quando da passagem de uma afluyente para o rio de ordem superior.

Desta forma, objetivou-se com o presente trabalho, propor uma metodologia que possibilite o ajuste das vazões mínimas ao longo da rede hidrográfica visando superar as limitações que dificultam o adequado gerenciamento dos recursos hídricos.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado considerando as informações de 21 estações fluviométricas situadas na Bacia do rio Paracatu (área de drenagem de 45.600 km²), no período de 1970 a 2000. Esta bacia está localizada na sub-bacia do Alto-Médio São Francisco, sendo que a sub-bacia do rio São Francisco, apresenta a maior contribuição real para a formação da vazão do Rio São Francisco, representando cerca de 19,5% do volume escoado na foz deste rio.

No Quadro 1, estão apresentadas as 21 estações fluviométricas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA). As áreas de drenagem foram obtidas no mapa digitalizado, na escala de 1:100.000, correspondente à rede hidrográfica, não sendo portanto, obtidas do inventário fluviométrico.

O modelo desenvolvido foi baseado no procedimento proposto por PEREIRA (2004), no qual se propõe o ajuste de equações de regressão às séries de dados calculados para cada estação fluviométrica. A metodologia está fundamentada na idéia de que a vazão obtida pela equação de ajuste, que considera as informações de todas as estações fluviométricas situadas no rio, ser mais representativa que a vazão obtida pontualmente para a seção considerada.

Quadro 1. Estações fluviométricas utilizadas no presente estudo

Código	Estação	Latitude	Longitude	Área de Drenagem (km ²)	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

As vazões mínimas utilizadas no estudo foram as vazões associadas à permanência de 95% ($Q_{95\%}$) e a mínima de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$).

A metodologia proposta consiste em ajustar modelos de regressão para a representação da $Q_{7,10}$ e da $Q_{95\%}$ em função da área de drenagem no rio principal e, a partir destes modelos, 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(n).

Na Figura 1, está apresentada a rede hidrográfica da Bacia do rio Paracatu considerada na análise do presente

trabalho. 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.

Uma vez conhecidas, as vazões observadas nos postos fluviométricos do rio principal (Rp), correspondente ao Rio Paracatu, foram ajustadas equações de regressão para a representação da $Q_{7,10}$ e da $Q_{95\%}$, ao longo deste rio, como 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 obtida para o Rp, pode-se obter a vazão em qualquer seção situada neste rio necessitando-se, para tanto, apenas da área de drenagem da seção de interesse.

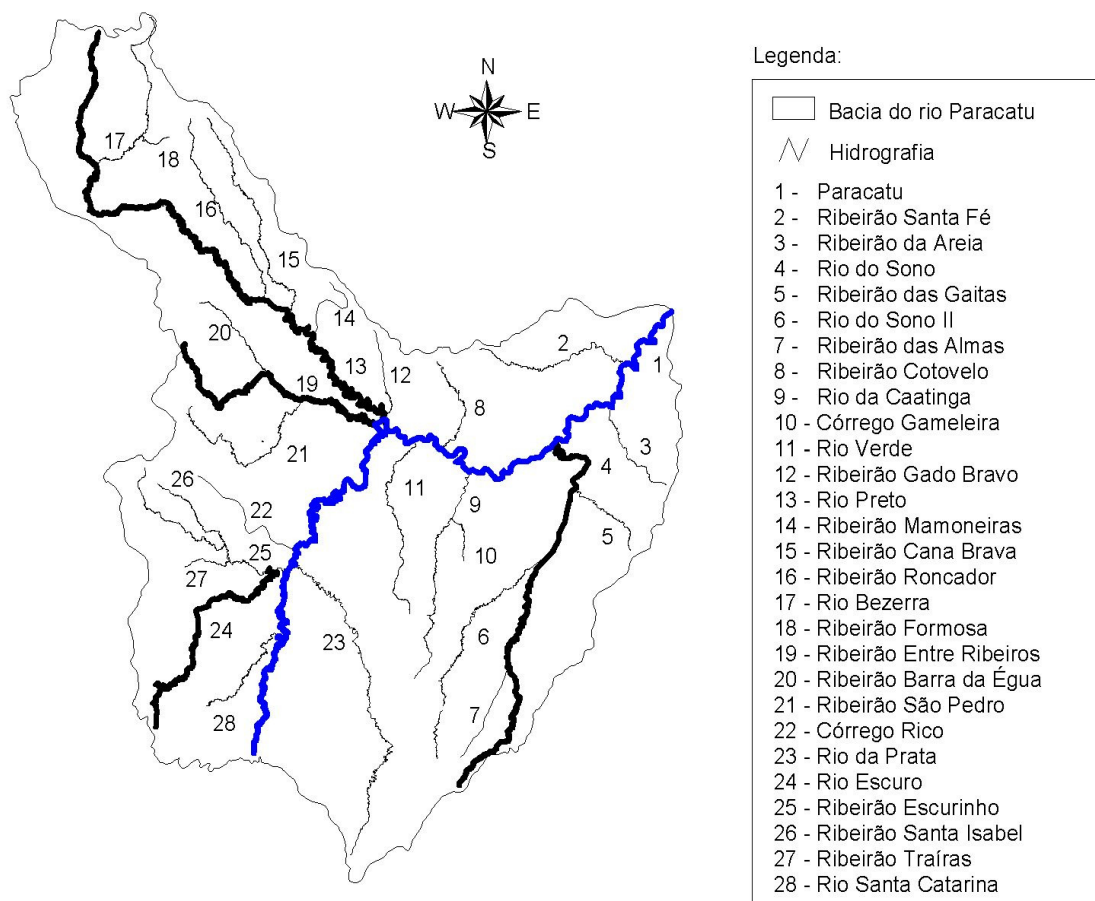


Figura 1. Rede hidrográfica da Bacia do Paracatu com a indicação dos rios para os quais foram ajustadas equações para a estimativa das vazões mínimas.

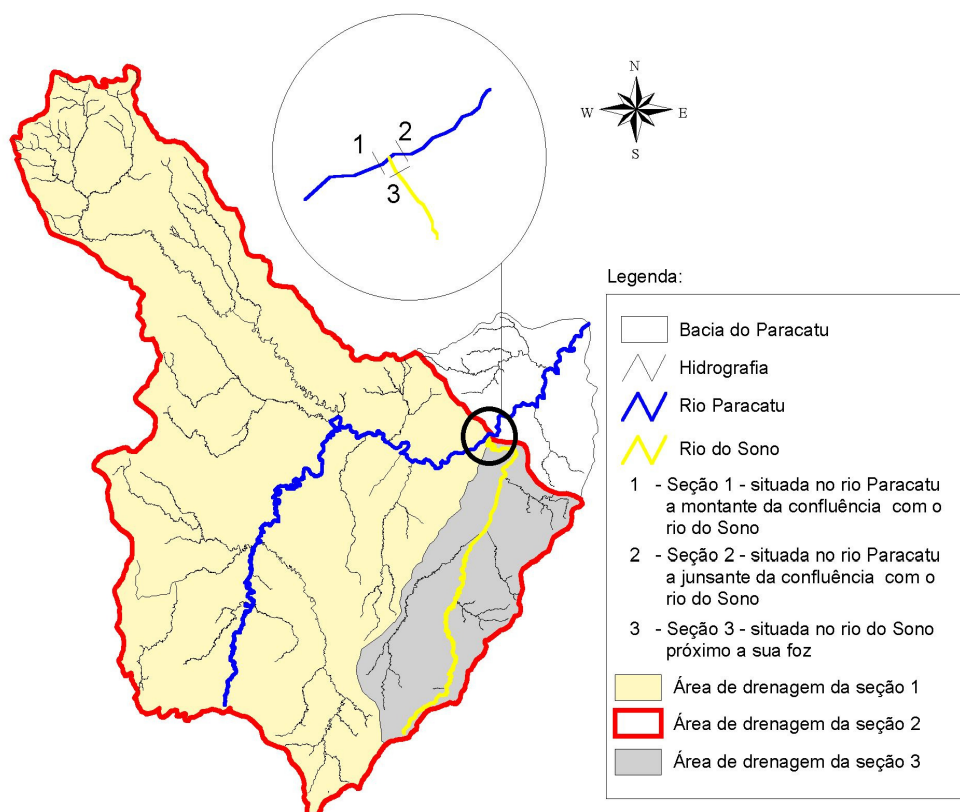


Figura 2. Procedimento para a determinação das áreas de drenagem a montante e a jusante da confluência dos rios Paracatu e do Sono.

Uma vez obtido o modelo de regressão para o R_p , 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 R_p , a montante da confluência com o Rad e a área de drenagem do Rad, sendo, conseqüentemente, a área de drenagem e a jusante da confluência destes rios, a qual é obtida pela soma destas áreas de drenagem. Este procedimento encontra-se representado na Figura 2, na qual é considerada a confluência dos rios Paracatu (R_p) e do Sono (Rad), sendo a área de drenagem correspondente à da seção 2, obtida pela soma das áreas de drenagem correspondentes às seções 1 e 3.

De posse das áreas de drenagem das seções a montante e a jusante da confluência dos R_p e Rad, estimou-se as vazões nestas duas seções, utilizando-se o modelo de regressão obtido para o R_p , sendo a diferença entre estas duas vazões 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. Este ajuste foi realizado de tal forma que a equação resultante produzisse uma vazão nula, quando a área de drenagem fosse zero e uma vazão igual à estimada na foz do rio, quando a área de drenagem fosse 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 descritos anteriormente.

Para a estimativa das vazões nos rios afluentes direto do Rad ($Rad(n)$), foi utilizado o mesmo procedimento descrito anteriormente, sendo utilizada a equação ajustada para o Rad, para estimar as vazões imediatamente a montante e a jusante da confluência dos Rad e $Rad(n)$, para então, por meio da diferença entre estas duas vazões, se obter a vazão na foz do Rad(n).

Uma vez determinadas as equações propostas, que caracterizam as vazões na hidrografia da Bacia do rio Paracatu, procedeu-se a comparação entre estas equações com as obtidas por EUCLYDES et al. (2005) pelo método tradicional de regionalização de vazões para as regiões hidrologicamente homogêneas na Bacia do rio Paracatu. Para fins de exemplificação, é apresentada a comparação entre as duas metodologias para os rios Preto e do Sono. Para tanto, foram também calculada as vazões na foz destes rios, utilizando-se o procedimento representado na Figura 2, porém com as equações propostas por EUCLYDES et al. (2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 3 e 4, estão 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 ($Q_{7,10}$) e a vazão associada à permanência de 95% ($Q_{95\%}$) no Rio Paracatu. Nas equações ajustadas, consideraram-se os dados de vazão das seis estações fluviométricas situadas no Rio Paracatu. Evidencia-se que um bom ajuste das vazões ($Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$) foi obtido quando foi considerada apenas a 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 ($Ad = 41.868 \text{ km}^2$).

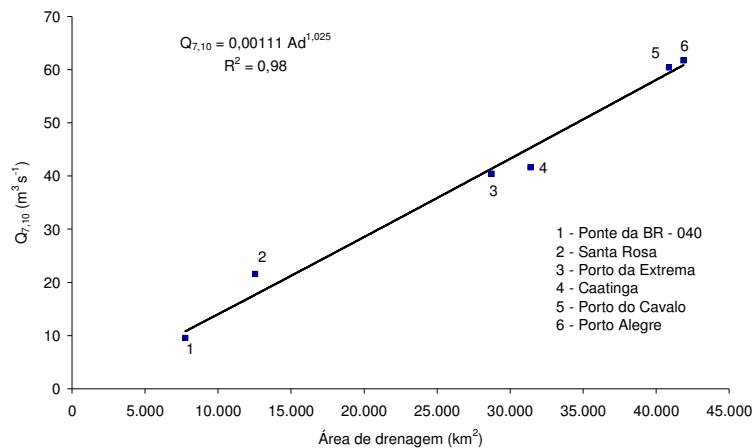


Figura 3. Equação para estimar a $Q_{7,10}$ em função da área de drenagem no Rio Paracatu e valores estimados nas estações fluviométricas utilizadas no estudo.

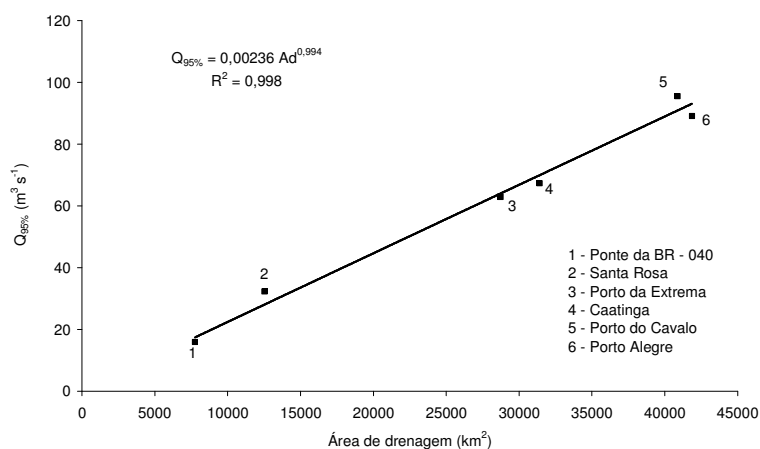


Figura 4. Equação obtida para estimar a $Q_{95\%}$ em função da área de drenagem no Rio Paracatu e valores estimados nas estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Embora as equações obtidas 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, baseado nos dados observados, com redução das vazões e 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 possibilitam 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. As equações ajustadas que possibilitam a estimativa das $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$, ao longo de cada um dos principais rios constituintes da rede hidrográfica da Bacia do rio Paracatu, estão apresentadas no Quadro 3.

Quadro 3. Equações que possibilitam a estimativa das $Q_{7,10}$ e $Q_{95\%}$ ao longo de cada um dos principais rios constituintes da rede hidrográfica da Bacia do rio Paracatu.

Hidrografia	Equações para estimativa das vazões	
Rio Paracatu	$Q_{7,10} = 0,00111 Ad^{1,025}$	$Q_{95\%} = 0,00236 Ad^{0,994}$
Ribeirão Santa Fé	$Q_{7,10} = 0,00149 Ad$	$Q_{95\%} = 0,0022 Ad$
Ribeirão da Areia	$Q_{7,10} = 0,00149 Ad$	$Q_{95\%} = 0,0022 Ad$
Rio do Sono	$Q_{7,10} = 0,6832 e^{Ad^{0,00043}}$ $Ad > 185 km^2$ $Q_{7,10} = 0,003999 Ad$ $Ad < 185 km^2$	$Q_{95\%} = 1,015 e^{Ad^{0,00043}}$ $Ad > 185 km^2$ $Q_{95\%} = 0,005941 Ad$ $Ad < 185 km^2$
Ribeirão das Gaitas	$Q_{7,10} = 0,002719 Ad$	$Q_{95\%} = 0,00404 Ad$
Rio do Sono II	$Q_{7,10} = 0,001135 Ad$	$Q_{95\%} = 0,00169 Ad$
Ribeirão das Almas	$Q_{7,10} = 0,000499 Ad$	$Q_{95\%} = 0,000741 Ad$
Ribeirão Cotovelo	$Q_{7,10} = 0,00147 Ad$	$Q_{95\%} = 0,0022 Ad$
Rio da Caatinga	$Q_{7,10} = 0,00147 Ad$	$Q_{95\%} = 0,0022 Ad$
Córrego Gameleira	$Q_{7,10} = 0,00147 Ad$	$Q_{95\%} = 0,0022 Ad$
Rio Verde	$Q_{7,10} = 0,00147 Ad$	$Q_{95\%} = 0,0022 Ad$
Ribeirão Gado Bravo	$Q_{7,10} = 0,000361 Ad$	$Q_{95\%} = 0,000476 Ad$
Rio Preto	$Q_{7,10} = 1,6119 Ad^{0,241}$	$Q_{95\%} = 3,2278 Ad^{0,2104}$
Ribeirão Mamoneiras	$Q_{7,10} = 0,000405 Ad$	$Q_{95\%} = 0,000536 Ad$
Ribeirão Cana Brava	$Q_{7,10} = 0,2424 Ad^{0,1241}$	$Q_{95\%} = 0,2987 Ad^{0,1343}$
Ribeirão Roncador	$Q_{7,10} = 0,1317 Ad^{0,167}$	$Q_{95\%} = 0,167 Ad^{0,1741}$
Rio Bezerra	$Q_{7,10} = 0,00106 Ad$	$Q_{95\%} = 0,001464 Ad$
Ribeirão Formosa	$Q_{7,10} = 0,00106 Ad$	$Q_{95\%} = 0,001464 Ad$
Ribeirão Entre Ribeiros	$Q_{7,10} = 0,0001 Ad^{1,3233}$	$Q_{95\%} = 0,0001 Ad^{1,3745}$
Ribeirão Barra da Égua	$Q_{7,10} = 0,00127 Ad$	$Q_{95\%} = 0,00189 Ad$
Ribeirão São Pedro	$Q_{7,10} = 0,0034 Ad^{0,902}$	$Q_{95\%} = 0,0043 Ad^{0,9292}$
Córrego Rico	$Q_{7,10} = 0,00144 Ad$	$Q_{95\%} = 0,00221 Ad$
Rio da Prata	$Q_{7,10} = 0,00143 Ad$	$Q_{95\%} = 0,00222 Ad$
Rio Escuro	$Q_{7,10} = 0,0106 Ad^{0,7596}$	$Q_{95\%} = 0,0187 Ad^{0,7468}$
Ribeirão Escurinho	$Q_{7,10} = 0,9895 Ad^{0,1143}$	$Q_{95\%} = 0,9892 Ad^{0,1728}$
Ribeirão Santa Isabel	$Q_{7,10} = 0,0414 Ad^{0,1615}$	$Q_{95\%} = 0,0658 Ad^{0,2122}$
Ribeirão Traíras	$Q_{7,10} = 0,0001551 Ad$	$Q_{95\%} = 0,000362 Ad$
Rio Santa Catarina	$Q_{7,10} = 0,001376 Ad$	$Q_{95\%} = 0,00224 Ad$

Na Figura 5, apresenta-se tanto a curva resultante do uso da equação obtida utilizando-se a metodologia proposta neste trabalho, para estimar a $Q_{7,10}$ ao longo do Rio Preto, como a curva obtida com o uso da equação proposta por EUCLYDES et al. (2005), ou seja, com base na metodologia tradicional de regionalização de vazões. Observa-se, nesta figura, que existem grandes diferenças entre as $Q_{7,10}$ estimadas utilizando-se a equação proposta neste trabalho e as estimadas utilizando-se a equação baseada na metodologia tradicional de regionalização, o que pode ser evidenciado pela diferença encontrada nas vazões estimadas na foz do Rio Preto, que foi 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 5, pode-se evidenciar ainda que a $Q_{7,10}$ estimada na foz do Rio Preto, calculada 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 $13,9 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. 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 de $11,2 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ entre as estimativas, o que representa cerca de 75% da $Q_{7,10}$ estimada na mesma seção pelo método proposto neste trabalho.

A descontinuidade da $Q_{7,10}$ apresentada pelo método tradicional de regionalização de vazões 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 Bacia do Rio Preto, apresentam a mesma magnitude, 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 6), sendo que, neste caso, a $Q_{95\%}$ estimada na foz do Rio Preto a partir da análise das vazões no Rio Paracatu, obtidas utilizando-se o 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, utilizando-se o método proposto neste trabalho.

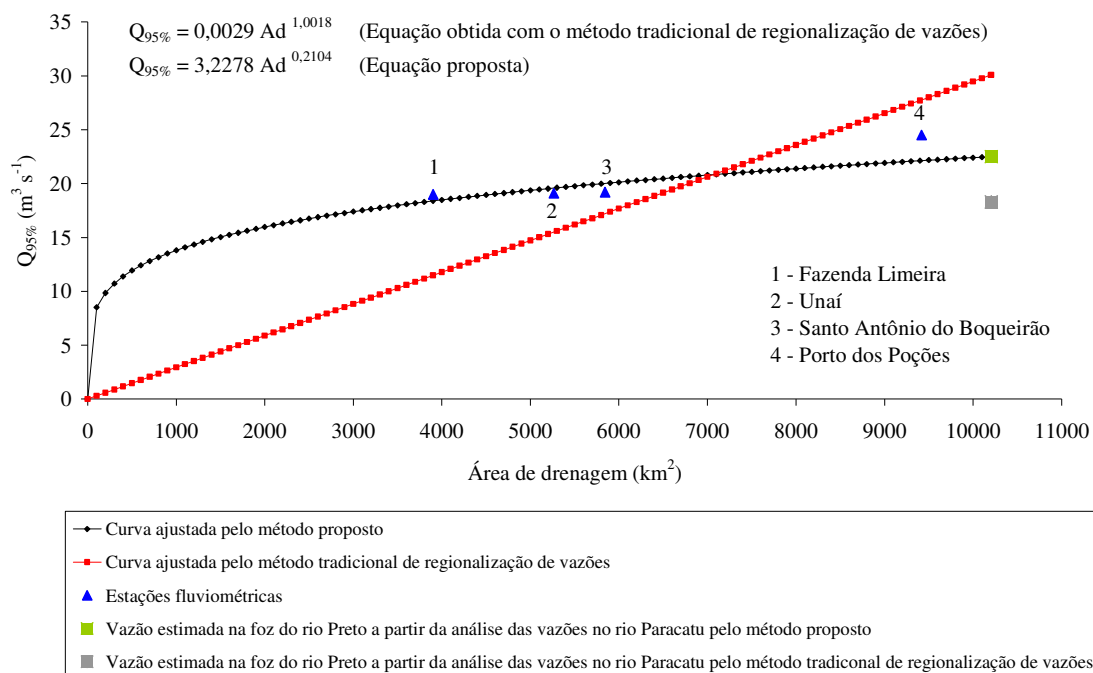


Figura 5. Equações ajustadas para estimar a $Q_{7,10}$ no Rio Preto considerando a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2005).

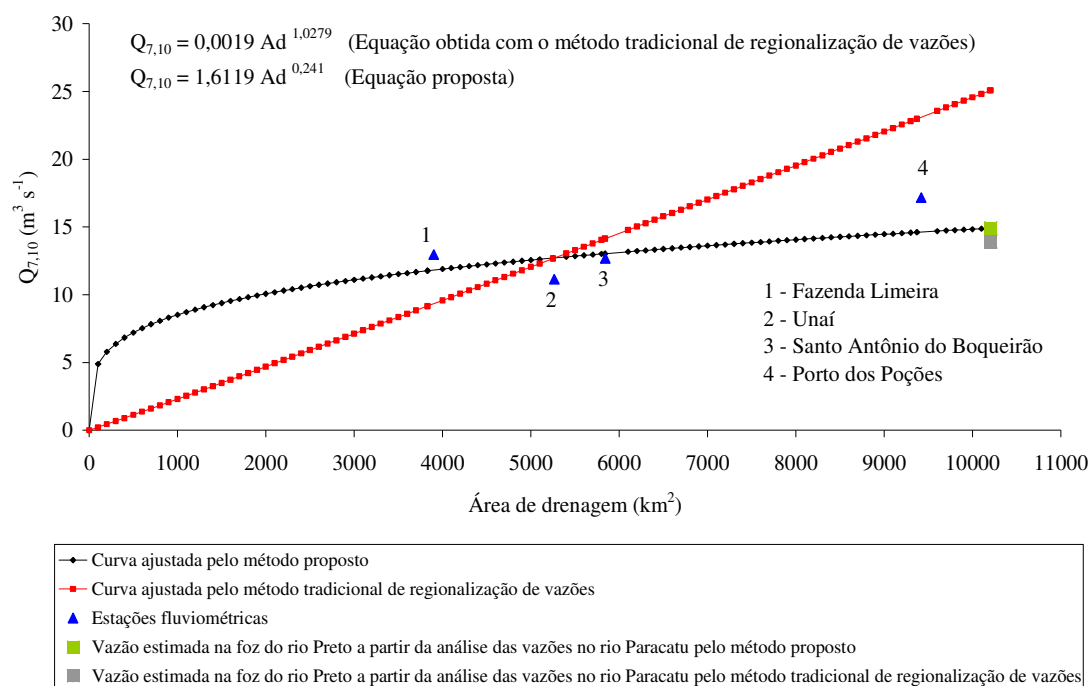


Figura 6. Equações ajustadas para estimar a $Q_{95\%}$ no Rio Preto, considerando-se a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2005).

Tendo em vista o acentuado crescimento das vazões para as pequenas áreas de drenagem e o fato de que a partir de então a vazão passar a apresentar uma taxa de crescimento muito reduzida, quando foi utilizado o método proposto neste trabalho, fato evidenciado principalmente nas Figuras 5 e 6, 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. Em vista disto, está apresentado na Figura 7 uma linha que constitui 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.

Pela análise da Figura 7, 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 de referência a ser concedido, constituir

em uma proporção (estabelecida conforme o órgão gestor) da vazão compreendida entre estas duas linhas (preferencialmente), e, obrigatoriamente, igual ou inferior à correspondente à curva obtida, utilizando-se a equação proposta. Obviamente que o comitê poderá, com critérios próprios (econômicos, sociais, ambientais ou outros), optar pela concessão de outorgas que estejam fora deste limite preferencial, entretanto, a vazão de referência deve estar sempre inferior à delimitada pela curva obtida pela equação proposta.

Na Figura 8, apresenta-se tanto a curva resultante do uso da equação obtida quando se utilizou a metodologia proposta neste trabalho, para estimar a $Q_{7,10}$ ao longo do Rio do Sono, como a curva obtida quando se utilizou a equação proposta por EUCLYDES et al. (2005), 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.

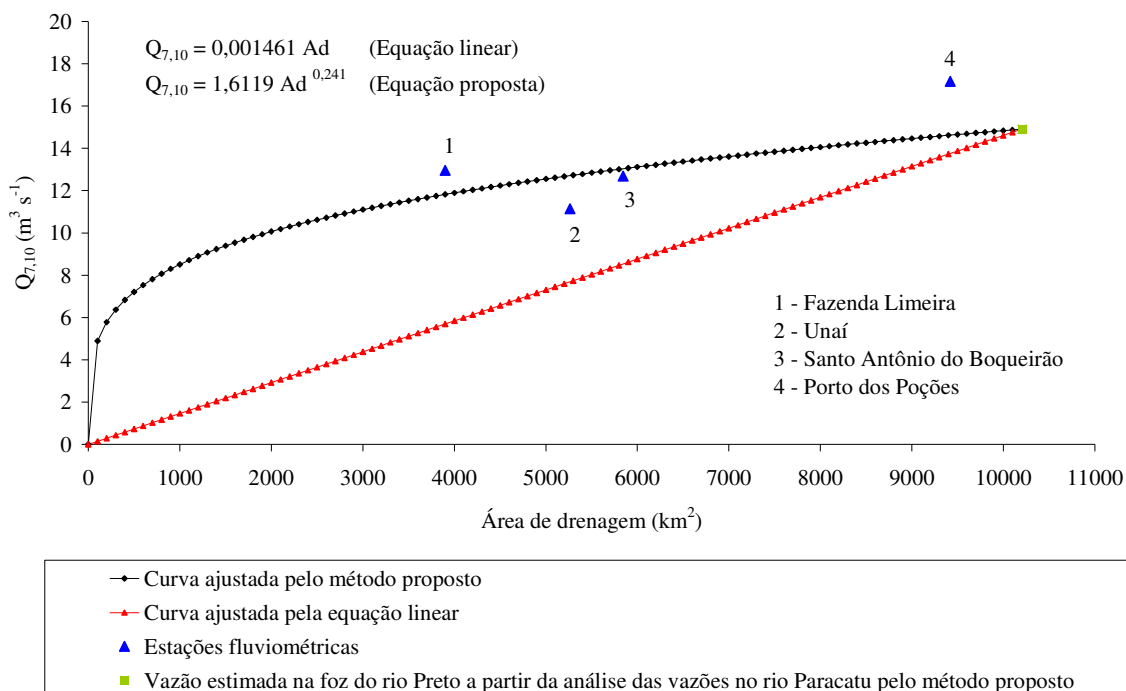


Figura 7. Equação ajustada utilizando-se a metodologia proposta neste trabalho e a equação linear que possibilitaram a estimativa da $Q_{7,10}$ no Rio Preto.

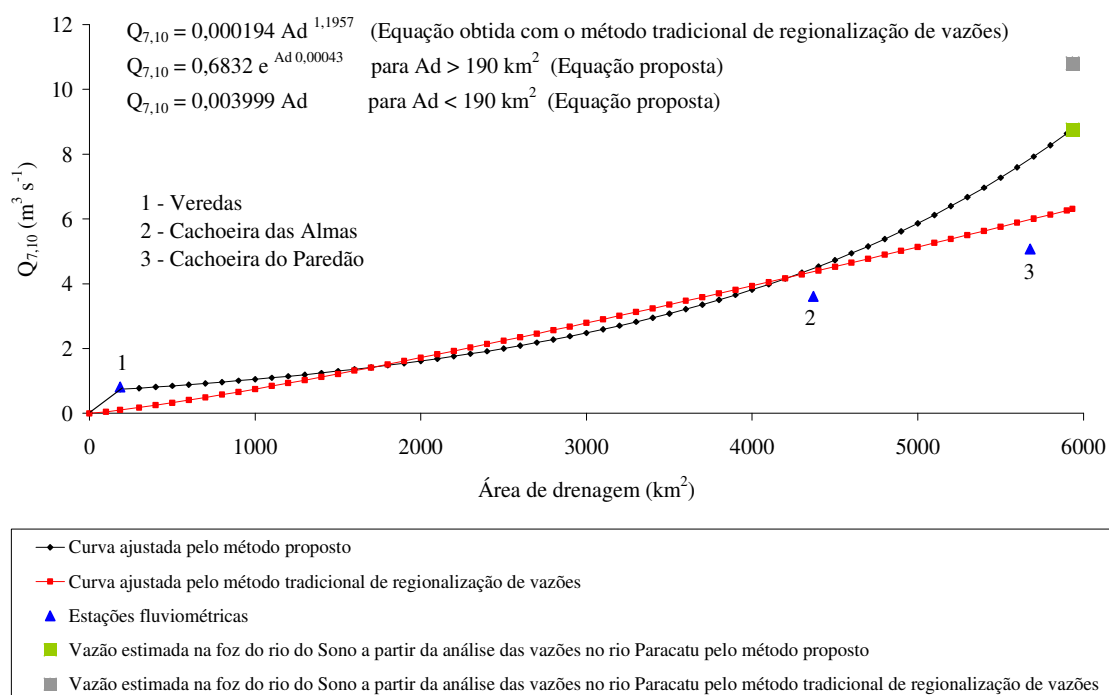


Figura 8. Equações ajustadas para estimar a $Q_{7,10}$ no Rio do Sono considerando-se a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2005).

Pela análise da Figura 8, evidencia-se que as $Q_{7,10}$ estimadas utilizando-se a equação proposta neste trabalho apresentam grandes diferenças em relação às estimadas quando se utilizou a equação baseada na metodologia tradicional de regionalização, ocorrendo uma diferença de $2,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ nas vazões estimadas na foz do Rio do Sono, o que representa 28% da vazão estimada.

A $Q_{7,10}$ estimada na foz do Rio do Sono, realizada a partir da análise da diferença das $Q_{7,10}$, obtidas no Rio Paracatu, utilizando-se o 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

$6,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, o que dá uma diferença de $4,5 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ entre as estimativas, 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 9), sendo que, neste caso, a $Q_{95\%}$, estimada na foz do Rio do Sono, a partir da análise das vazões no Rio Paracatu, utilizando-se o 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, quando se utilizou o método proposto neste trabalho.

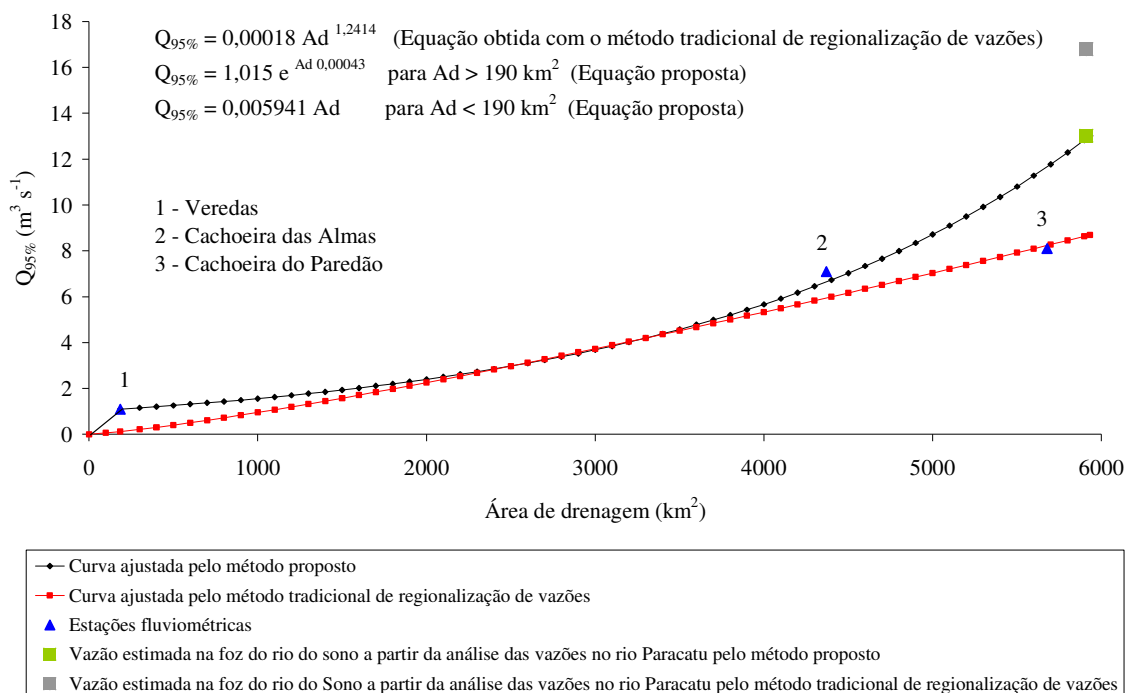


Figura 9. Equações ajustadas para estimar a $Q_{95\%}$ no Rio do Sono considerando-se a metodologia proposta neste trabalho e o método tradicional de regionalização de vazões obtido por EUCLYDES et al. (2005).

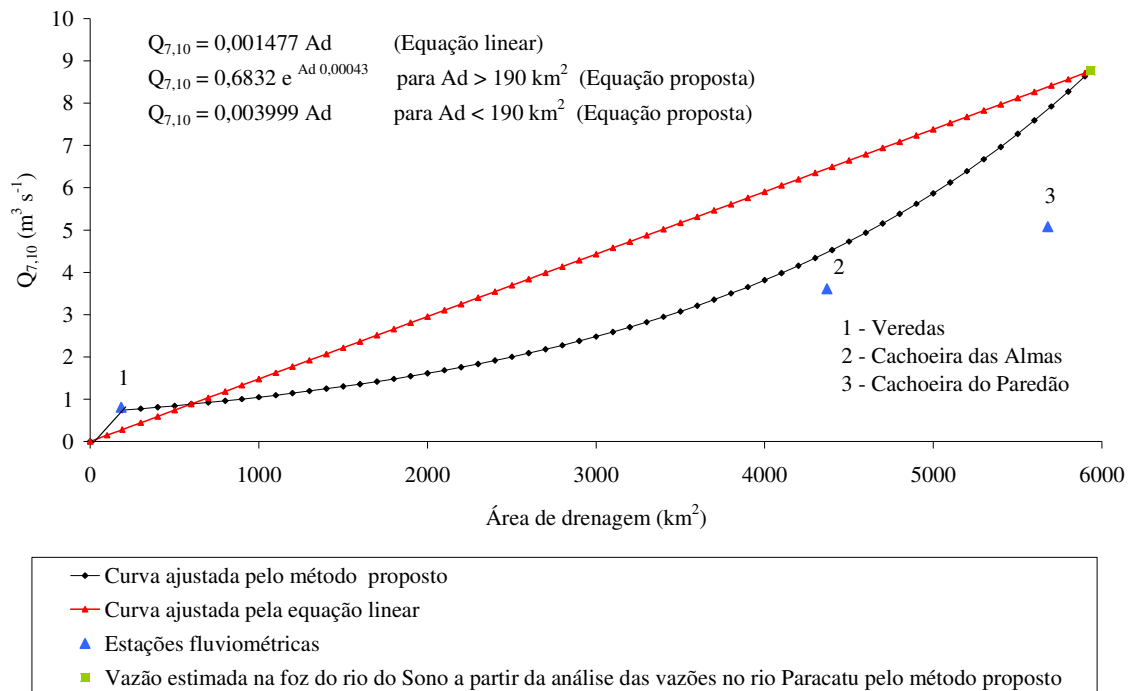


Figura 10. Equação obtida utilizando-se a metodologia proposta neste trabalho e a equação linear que possibilitaram a estimativa da $Q_{7,10}$ no Rio do Sono.

Na Figura 10, 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 utilizando-se o modelo proposto neste trabalho. Verifica-se, neste caso que, para áreas de drenagens inferiores a 598 km^2 , as $Q_{7,10}$ estimadas quando se utiliza a equação linear são inferiores às estimadas quando se utiliza a 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 km^2 , as $Q_{7,10}$ estimadas utilizando-se a equação linear são superiores às estimadas quando se utiliza a equação proposta neste trabalho, devendo, neste caso, as vazões máximas outorgáveis, serem definidas com base na equação ajustada utilizando-se o método proposto, uma vez que a utilização da vazão obtida a partir da equação linear, que, para fins de concessão de outorga, implicaria em retiradas que excederiam ao limite permitido na legislação, segundo o critério ecológico de disponibilidade de água.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho possibilitaram as seguintes conclusões:

- o método proposto para o ajuste das vazões 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 na aplicação do método tradicional de regionalização de vazões; e
- o procedimento de ajuste das vazões mínimas possibilita que sejam reduzidas as inconsistências nas bases de dados necessárias para a gestão de recursos hídricos, tornando as informações mais confiáveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL – Governo Federal. MINAS GERAIS - Governo do Estado. DISTRITO FEDERAL. Plano Diretor de recursos hídricos da Bacia do Rio Paracatu – PLANPAR. S.I.: 1997. v. 1. T. 1. CD-ROM.

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.

EUCLYDES, H.P., FERREIRA, P.A., PINTO, F.A., VIGODERIS, R.B. **Atlas digital das águas de Minas.** Viçosa: UFV, DEA; Brasília, DF: MMA; Belo Horizonte, MG: RURALMINAS. 2005. CD-ROM.

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.

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.