

Área de concentração: Recursos Hídricos

## **REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES $Q_{90}$ E $Q_{95}$ NA PARCELA CAPIXABA DO RIO DOCE, BRASIL**

Ednaldo Miranda de Oliveira<sup>1</sup>, Renan Gon Ferreira<sup>2</sup>, Marcus Vinicius Sandoval Paixão<sup>3</sup>, Rafaela Barreto Cazaroto<sup>4</sup>, Edno Ferreira dos Santos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Engenheiro Agrícola e Ambiental, Doutorado em Recursos Hídricos e Ambientais, Ifes Santa Teresa (ednaldo.oliveira@ifes.edu.br); <sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo; <sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutorado em Produção Vegetal, Ifes Santa Teresa; <sup>4</sup>Graduandos em Engenharia Agrônômica, Ifes Santa Teresa

APRESENTADO NO V CBRA – CONGRESSO BRASILEIRO DE REFLORESTAMENTO AMBIENTAL – 06 A 08 DE NOVEMBRO DE 2018, VITÓRIA/ES

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi gerar e espacializar equações regionais de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  para a parcela capixaba da bacia hidrográfica do Rio Doce, visando avaliar a regionalização hidrológica e a espacialização das vazões regionalizadas como alternativa para melhorar o planejamento dos recursos hídricos e tornar mais seguras, precisas e rápidas as tomadas de decisão nesta região. Para geração das equações regionais utilizou-se o Método Tradicional e como variáveis explicativas foram adotadas as características físicas e climáticas da região. As seguintes variáveis físicas foram consideradas: área de drenagem, fator de forma, densidade de drenagem e comprimento do rio principal. As variáveis climáticas foram as seguintes: precipitação média anual e precipitação média do semestre seco. As variáveis dependentes ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) foram obtidas de 9 estações fluviométricas, e de posse das equações regionais obtidas pelo SisCoRv 1.0, prosseguiu-se com a espacialização das vazões regionalizadas em ambiente de Sistema de Informações Geográficas. A área de drenagem foi a variável que melhor explicou as equações da  $Q_{90}$ , enquanto a equação da  $Q_{95}$  exigiu duas variáveis explicativas (área de drenagem e precipitação média do semestre seco). A gestão e o planejamento integrado na região de estudo não estão funcionando adequadamente, e a falta de informações hidrológicas tem contribuído para esta realidade. O método Tradicional foi eficiente na regionalização de vazões e a espacialização das equações regionais mostrou-se uma alternativa de grande valia como suporte à gestão e o planejamento dos recursos hídricos na parcela capixaba da Bacia do Rio Doce.

**Palavras-chave:** Gestão dos recursos hídricos. Modelagem hidrológica. Vazões mínimas de referência.

### **Introdução**

A regionalização visa estimar variáveis hidrológicas em locais com dados insuficientes ou inexistentes a partir de um conjunto de técnicas estatísticas que exploram ao máximo os dados existentes de uma região para obter indiretamente, em regiões com semelhança espacial, os valores de vazão em seções sem monitoramento (MELATI; MARCUZZO, 2016).

Para que o planejamento e gestão dos recursos hídricos sejam eficazes, é essencial que a disponibilidade hídrica natural, representada pelas vazões mínimas, seja conhecida (LI et al., 2010;

MASIH et al., 2010). Logo, a disponibilidade de dados fluviométricos é crucial para que uma gestão adequada dos recursos hídricos seja possível (MOREIRA; SILVA, 2014).

Por isso, utilizar a regionalização de vazões para superar esse impasse, tornou-se cada vez mais frequente no Brasil (REIS et al., 2013). A regionalização não é capaz de substituir os dados consistidos, oriundos de monitoramentos (BAZZO et al., 2017), mas preenche lacunas espaciais e temporais de informação, deixadas inclusive por densas redes hidrométricas.

Não existe, ainda, um método globalmente aceito para regionalização (PARAJKA et al., 2013; RAZAVI; COULIBALY, 2013). Diversos métodos foram desenvolvidos e os mais comumente utilizados se baseiam em regressões múltiplas (ARSENAULT; BRISSETTE, 2014), como o Método Tradicional, descrito pela Eletrobrás em 1985.

Os trabalhos de Euclides, Ferreira e Faria Filho (2005) e Moreira et al. (2012), demonstram que a facilidade de execução deste método e a possibilidade de espacialização das equações regionais obtidas, através do Sistema de Informações Geográficas (SIG), expõem uma alternativa metodológica de grande valia para a melhoria das ações de planejamento e gestão dos recursos hídricos, pois permite obter a disponibilidade hídrica e acompanhar sua variação temporal ao longo da hidrografia digital da região em análise.

Para esta alternativa, porém, o Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC) das bacias é indispensável. A área da bacia é considerada a principal variável explicativa por vários autores (LISBOA et al., 2008; LOPES et al., 2016; RAZAVI; COULIBALY, 2013) e a sua extração, tal como das demais características físicas, em termos de precisão e exatidão, torna-se mais eficiente com o uso do MDEHC, que reproduz de modo consistente o escoamento digital da água superficial (ELESBON et al., 2011).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi gerar e espacializar equações regionais de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  para a PCBRD, visando avaliar a regionalização hidrológica e a espacialização das vazões regionalizadas enquanto alternativa para melhorar o planejamento e gestão dos recursos hídricos, e tornar mais seguras, precisas e rápidas as tomadas de decisão nesta região.

## **Material e Métodos**

A área contemplada pelo presente estudo é a PCBRD. Situada na região Sudeste do Brasil, esta área é compreendida pelo quadrilátero que se limita geograficamente pelos paralelos  $18^{\circ}43'$  e  $20^{\circ}25'$  S e pelos meridianos  $39^{\circ}41'$  e  $41^{\circ}51'$  W, em altitude média de 1.267 metros. Para este estudo, os dados utilizados estão disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) e foram coletados por 9 estações fluviométricas e 18 estações pluviométricas, todas pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA).

Neste trabalho, foram consideradas duas variáveis dependentes a serem regionalizadas (vazões mínimas associadas à permanência de 90 e 95% do tempo –  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , respectivamente) e seis variáveis independentes, das quais duas são climáticas (precipitação média anual –  $P_a$  e do semestre seco –  $P_{ss}$ ) e

quatro são físicas (área de drenagem – A, fator de forma – F, densidade de drenagem – Dd e comprimento do rio principal – Lp).

Os valores das variáveis dependentes  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  foram obtidos a partir das curvas de permanência dos valores diários das 9 estações fluviométricas, geradas com auxílio do Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH 1.0), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH/UFV). Os dados diários de precipitação do período-base foram importados no HIDRO 1.3, desenvolvido pela ANA, para determinação das variáveis climáticas Pa e Pss (abril a setembro).

O MDEHC utilizado, na resolução de 3 arco-segundos (células de 90 x 90m), foi obtido junto ao Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), através do banco de dados HydroSHEDS. A escolha deste MDEHC foi devida à facilidade de obtenção das imagens e por ser uma alternativa prática na caracterização físicas das bacias (GUEDES; SILVA, 2012).

Para seleção da variável, ou combinação de variáveis explicativas, a compor as equações regionais de melhor ajuste na regionalização da  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , utilizou-se o Sistema Computacional para Regionalização de Vazões (SisCoRv 1.0), desenvolvido pelo GPRH/UFV. Por meio da regressão múltipla, o software relaciona as variáveis entre si através dos modelos linear, potencial, exponencial, logarítmico e recíproco (BAZZO et al., 2017).

No SisCoRv 1.0, foram realizados testes iterativos, avaliando-se todas as combinações possíveis entre as variáveis explicativas na geração das equações regionais. A decisão de seleção se baseou nos ajustes das equações. As equações de melhor ajuste foram aquelas que apresentaram maior coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_a$ ) e menor erro padrão da estimativa (EPE), eliminando-se aquelas que não atenderam aos limites satisfatórios de  $R^2_a \geq 0,7$  e  $EPE < 0,5$  a um nível de 5% de significância pelo teste F (ELESBON et al., 2015).

## Resultados e Discussão

Os valores das variáveis explicativas (físicas e climáticas) e das variáveis dependentes a serem regionalizadas ( $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ) são apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1:** Valores calculados para as variáveis explicativas e dependentes

Estação	A (km <sup>2</sup> )	F (ad)	Dd (km km <sup>-2</sup> )	Lp (km)	Pa	Pss	Q <sub>90</sub>	Q <sub>95</sub>
					(mm)		(m <sup>3</sup> s <sup>-1</sup> )	
56990990	430,06	0,37	0,59	44,45	1.091,30	170,60	2,60	2,16
56991500	1.324,96	0,49	0,61	90,23	1.087,40	170,80	6,58	5,90
56992000	2.132,36	0,27	0,61	165,27	1.047,40	167,00	7,65	6,64
56993002	463,8	0,27	0,59	52,11	1.133,70	192,70	1,14	0,75
56993551	874,92	0,19	0,57	92,18	1.114,70	192,90	1,51	1,15
56994500	76.378,88	0,57	0,69	733,12	1.236,00	184,70	335,70	291,60
56995500	933,59	0,40	0,68	88,44	1.178,70	241,60	1,62	1,22

56997000	1.200,2	0,32	0,69	91,33	1.127,20	240,60	3,02	2,17
56998000	81.940,55	0,46	0,69	798,14	1.233,20	189,90	368,20	325,00

Na Tabela 2 são apresentados os resultados obtidos para as variáveis independentes que melhor explicaram o comportamento das vazões  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ , o modelo de regressão com melhor ajuste aos dados, os coeficientes de ajuste estatístico calculados e as equações de regionalização obtidas pelo SisCoRv 1.0.

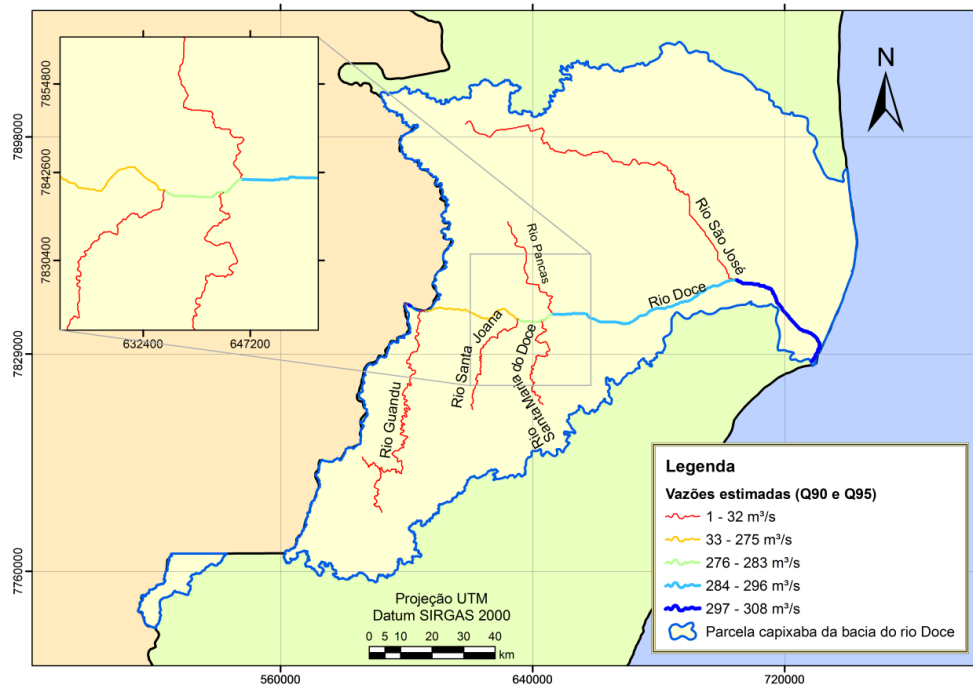
**Tabela 2:** Valores de  $R^2$  e EPE das variáveis explicativas e equações regionais ajustadas

Variáveis Explicativas	Modelo	$R^2$	EPE	Equação de regionalização ( $Q_{90}$ e $Q_{95}$ )
A	Potencial	0,9576	0,4602	$Q_{90} = 0,0017 \times A^{1,0829}$
A, Pa, Lp	Potencial	0,9945	0,1658	$Q_{90} = 3,4943 \times A^{2,6198} \times Pa^{-9,4795} \times Lp^{-2,6099}$
A, Pss, Dd, Lp	Potencial	0,9958	0,1442	$Q_{90} = (4,7851 \times 10^8) \times A^{1,5355} \times Pa^{-4,0859} \times Dd^{5,2860} \times Lp^{-1,2225}$
A, Pss	Potencial	0,9721	0,3854	$Q_{95} = 1.551,8299 \times A^{1,0914} \times Pss^{-2,6637}$
A, Pss, Dd	Potencial	0,9872	0,2615	$Q_{95} = (3,6471 \times 10^{11}) \times A^{0,8725} \times Pss^{-5,3691} \times Dd^{7,3198}$
A, Pss, Lp	Potencial	0,9794	0,3312	$Q_{95} = (2.913,4916) \times A^{1,8184} \times Pss^{-2,5451} \times Lp^{-1,4132}$

Analisando-se os ajustes estatísticos obtidos para as variáveis explicativas testadas no SisCoRv 1.0, verifica-se que a área de drenagem foi uma das variáveis que na explicação do comportamento das vazões de permanência associadas a 90 e 95% do tempo, em toda a região, exerceu maior influência. Porém, para a estimativa da  $Q_{95}$ , apenas a área de drenagem não foi suficiente, sendo necessários outros parâmetros para que a equação de regionalização fosse explicada satisfatoriamente.

A equação de regionalização mais apropriada para a estimativa da  $Q_{90}$  é aquela que possui apenas a área de drenagem como variável independente, pois além de explicar satisfatoriamente o comportamento da variável a ser regionalizada, a área é uma variável de entrada no modelo de fácil determinação. Para a estimativa da  $Q_{95}$ , apenas a área de drenagem não foi capaz de explicar com ajuste estatístico satisfatório a equação de regionalização na área estudada pelo método Tradicional. A Pss foi fundamental para que a explicação da  $Q_{95}$  fosse estatisticamente satisfatória, o que pode ser explicado pela forte correlação que existe entre a época de estiagem e as vazões de permanência mais restritivas ao uso dos recursos hídricos.

Na Figura 5 é apresentado o mapa de variação dos valores de  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  ao longo da hidrografia da PCBRD, o qual se originou do processo de espacialização das equações de melhor ajuste obedecendo-se à faixa de áreas de validade imposta.



**Figura 1:** Espacialização da  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  geradas pelas equações de regionalização

Para a espacialização das vazões regionalizadas, a área de drenagem foi estatisticamente aquela que melhor representou a  $Q_{90}$  em relação às combinações testadas de variáveis explicativas. Por isso, optou-se pelo uso apenas da área de drenagem como variável explicativa do modelo de regressão da  $Q_{90}$ . Para a  $Q_{95}$ , porém, a equação mais recomendável teve duas variáveis explicativas mais representativas, a área de drenagem e a  $P_{ss}$ .

As áreas de validade válidas para a espacialização das equações de regionalização compreenderam os limites de 430,06 km<sup>2</sup> a 81.940,55 km<sup>2</sup>, respectivamente a menor e maior área de drenagem das estações fluviométricas selecionadas (56990990 e 56998000).

De acordo com Elesbon et al., (2015), a vazão mínima de referência  $Q_{95}$  para a estação fluviométrica de Colatina (56994500) foi de 291,8 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, obtida via SisCAH 1.0. No presente trabalho, os valores obtidos para as equações de regionalização e espacializados demonstram, além dos ajustes estatísticos aceitáveis, a conformidade com a realidade, pois se obteve para a mesma estação fluviométrica uma  $Q_{95}$  de 283,3 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (2,91% menor).

Conforme regulamenta a ANA, é permitido outorgar o uso de 70% do valor da vazão mínima de referência para o rio Doce, o que representa 198,3 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> de vazão máxima outorgável à altura da estação fluviométrica 56994500. Porém, como é de amplo conhecimento por parte da sociedade, a utilização das águas deste manancial e de seus afluentes capixabas supera esse valor, principalmente durante os períodos de estiagem.

Dados fluviométricos mais recentes, disponíveis no HidroWeb, apontam que em 2017 ocorreram valores de vazão na seção monitorada de Colatina (56994500) 63% inferiores à vazão máxima outorgável estimada pelo presente trabalho. No entanto, as captações outorgadas continuaram ocorrendo

normalmente. Fica evidente que a gestão e o planejamento integrado dos recursos hídricos não estão funcionando adequadamente para prevenir os colapsos hídricos futuros e garantir a sustentabilidade dos usos múltiplos da água.

## Conclusão

Com base nos resultados obtidos e analisados, conclui-se que:

1. Dentre as características físicas e climáticas utilizadas na regionalização, a área de drenagem foi a que melhor explicou as equações de regressão da vazão Q90, enquanto a equação de regressão da vazão Q95 foi melhor explicada por duas características, a área de drenagem e a precipitação média do semestre seco.

2. O método Tradicional, apesar de suas limitações, foi bastante eficiente na estimativa das vazões regionalizadas, gerando equações com ajustes estatísticos satisfatórios para modelos com poucas variáveis explicativas.

3. A espacialização da Q90 e Q95 constitui-se numa opção metodológica que pode ser adotada como ferramenta de suporte à gestão dos recursos hídricos na PCB RD, bem como ser reproduzida para outras bacias hidrográficas.

## Referências Bibliográficas

AMORIM JÚNIOR, J. C. Disponibilidade hídrica para outorga de captação: critérios anual e mensal para definição de vazões mínimas de referência. 2014. p. 40. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2014.

HIDROWEB. Sistema de Informações Hidrológicas. Séries Históricas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/default.asp>>. Acesso em 27 out 2017.

OLIVEIRA, V. A. de. Regionalização de vazões nas regiões das Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos GD1 e GD2, Minas Gerais. 2013. 15 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SILVA, A. M. da; OLIVEIRA, P. M. de; MELLO, C. R. de; PIERANGELI, C. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.10, n.2, Campina grande. p.374–380, 2006.

VERGARA, F. E.; REIS, F. C. dos; LACERDA, L. N.; REZENDE, C. Da S. A. Proposta de vazão de referência Q<sub>90</sub> para o rio formoso na bacia do Araguaia. **Revista Engenharia Ambiental**, v. 10, n. 1, Espírito Santo do Pinhal, 2013, p. 084-102.