

## IV-088 – ESTUDO DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES DE REFERÊNCIAS EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA

**Nícolas Reinaldo Finkler<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Caxias do Sul (UCS) e mestrando no Mestrado Profissional em Engenharia e Ciências Ambientais da UCS. Bolsista no Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM /UCS).

**Ludmílson Abritta Mendes**

Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP). Professor Adjunto da Universidade Federal de Sergipe (UFS).

**Taison Anderson Bortolin**

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Mestre e Doutorando em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professor da Universidade de Caxias do Sul.

**Vania Elisabete Schneider**

Bióloga pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) . Doutoranda em Gerenciamento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (IPH/UFRGS). Professora e Diretora do Instituto de Saneamento Ambiental (ISAM/UCS).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Francisco Getúlio Vargas, 1130 - Bairro Petrópolis - Cidade Universitária - Caxias do Sul - RS - CEP: 95001-970 - Brasil - Tel.: (54) 3218-2507 - e-mail: [nicolas.finkler@gmail.com](mailto:nicolas.finkler@gmail.com).

### RESUMO

O estabelecimento da disponibilidade e demandas de água em uma bacia hidrográfica constitui ação fundamental para uma adequada gestão dos recursos hídricos. Dados disponíveis de monitoramento quantitativo são escassos e por vezes inconsistentes, sobretudo em pequenas bacias. Este trabalho visa estimar vazões de referência em uma bacia hidrográfica com pequena área de drenagem, localizada no município de Caxias do Sul (RS). O modelo de regionalização utilizado neste estudo foi o Método Tradicional de regionalização de vazões, descrito por ELETROBRÁS, e utilizada como variável independente somente a área de drenagem. Foram utilizados dados de 17 estações fluviométricas, obtidos através do Hidroweb, gerenciado pela ANA. As vazões de referência regionalizadas neste trabalho foram:  $Q_{7,10}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{85}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ . Neste trabalho, o estabelecimento de vazões de referência através da regionalização hidrológica pode auxiliar o planejamento de uso da água em situações futuras, buscando, principalmente, evitar conflitos entre demanda e oferta, tanto sob o aspecto quantitativo como qualitativo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Vazões de Referência, Regionalização Hidrológica, Planejamento de Bacias Hidrográficas, Gestão de Recursos Hídricos.

### INTRODUÇÃO

A falta de dados hidrológicos em pequenas bacias hidrográficas gera um comprometimento de ações do gerenciamento do recurso hídrico. Tal lacuna limita o processo de planejamento dos diversos usos da água, como por exemplo, a instalação de mananciais de abastecimento, sistemas de irrigação, sistemas de drenagem urbana, centrais de geração hidroelétrica, bem como estudos de avaliação de qualidade da água.

Para os estudos citados, é necessário conhecer as formas de disponibilidade dos recursos hídricos, tanto as vazões mínimas para não comprometer outros usos da água, como as vazões máximas para não oferecer riscos socioambientais. Em complementação, Tamiosso (2012) cita que para a instrução do processo de outorga de direito de uso dos recursos hídricos, as agências governamentais necessitam conhecer as respectivas disponibilidades hídricas de modo a não gerarem conflitos, bem como conceder o direito a de forma quantitativamente justa. Esta é uma prática recorrente, vista sob o ponto de vista legal e exposta nas leis federais e estaduais de recursos hídricos (BRASIL, 1997; RIO GRANDE DO SUL, 1994).

Neste contexto, uma rápida análise na rede hidrometeorológica do Brasil, representada pelas estações fluviométricas disponibilizadas pelo inventário da Agência Nacional das Águas (ANA), sugere que a mesma

contempla praticamente todas as bacias hidrográficas com áreas superiores a 500 km<sup>2</sup>. Considerando-se bacias com áreas inferiores a 100 km<sup>2</sup>, observa-se uma carência quase que total destes dados.

A bacia hidrográfica do Arroio Belo localizada em Caxias do Sul (RS), possuidora de características tanto urbanas, quanto rurais, tem um importante função, sendo a bacia que drena grande parte da Zona Sul do município. Conforme o Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Caí (PROFILL, 2007), a sub-bacia possui diferentes usos do recurso hídrico, tais como: a agricultura, dessedentação animal e, sobretudo, a diluição de efluentes domésticos e industriais. A estação fluviométrica Arroio Belo número 87161000, que consta no inventário disponibilizado pela ANA, não possui série de dados de vazão. Assim, faz-se necessário a regionalização hidrológica para a bacia, a fim de implementar ações de gerenciamento hídrico.

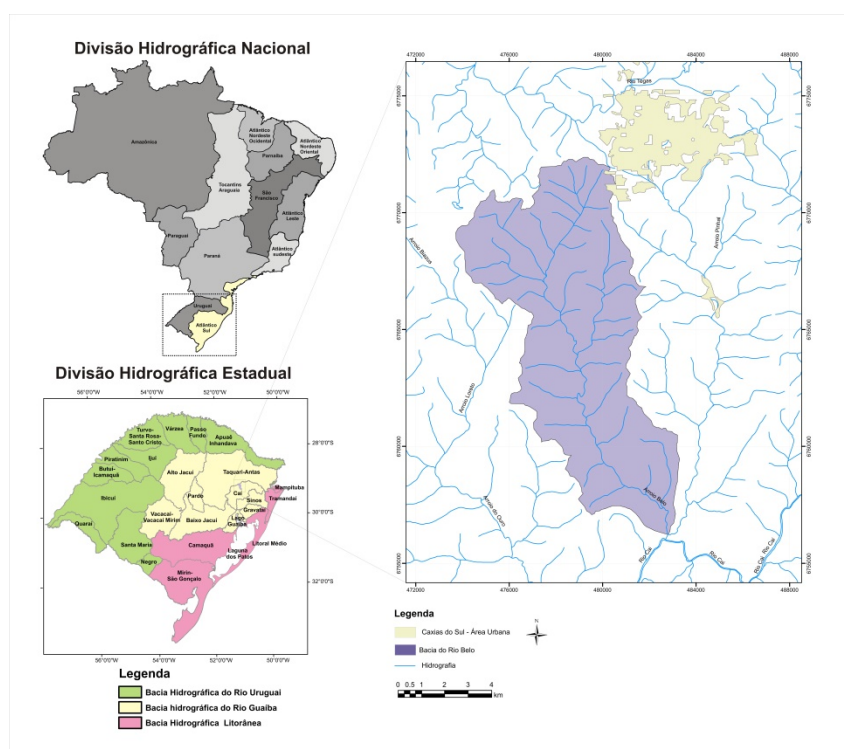
Portanto, este trabalho tem como objetivo estimar vazões de referência em uma bacia hidrográfica com pequena área de drenagem, utilizando o Método Tradicional de regionalização de vazões, descrito por ELETROBRÁS (1985), o qual emprega equações de regressão regionais, aplicadas a regiões hidrológicamente homogêneas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Área de estudo

A Bacia Hidrográfica do Arroio Belo (Figura 1) localiza-se no município de Caxias do Sul, na porção nordeste do Estado do Rio Grande do Sul. Possui área de drenagem de 87 km<sup>2</sup> e seu rio principal é afluente da margem direita do Rio Caí. Sua geologia caracteriza-se como basáltica fraturada segundo o Mapa Geológico do Rio Grande do Sul (CPRM, 2010).

**Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Arroio Belo, Caxias do Sul - RS.**



Fonte: elaborado pelos autores (2015).

A situação atual do arroio, no que se refere à qualidade da água, assemelha-se ao cenário de muitas bacias urbanas brasileiras, em que a maior parte dos recursos hídricos encontra-se sob forte influência antrópica. As nascentes do arroio Belo situam-se no perímetro urbano de Caxias do Sul, região na qual os corpos hídricos da bacia tem seus limites ripários ocupados por habitações. Também na parte alta da bacia ocorre o lançamento

de efluentes domésticos e industriais no Arroio Belo e seus afluentes, cuja capacidade de diluição é pequena por conta das baixas vazões.

A determinação das vazões mínimas nessa região, que não conta com postos fluviométricos, mostra-se, portanto, necessária para que o Poder Público avalie de forma adequada o impacto do lançamento de efluentes quando da análise de solicitações de outorga e ou de licenças ambientais feitos pelos usuários.

### Regionalização de vazões

O Método Tradicional de regionalização de vazões, descrito por ELETROBRÁS (1985), envolve a definição prévia de regiões hidrologicamente homogêneas e, posteriormente, a obtenção das equações que permitem associar a vazão com variáveis independentes, como variáveis topológicas e climáticas. A função matemática que relaciona tais variáveis é apresentada na Equação 1.

$$Q = F(X_1, X_2, X_3 \dots X_n) \quad (1)$$

Onde Q é a vazão estimada; X, a variável independente; e n, o número de variáveis independentes.

As regiões hidrologicamente homogêneas são definidas em função da distribuição geográfica das estações e da combinação de estações que apresenta o melhor ajuste, avaliado por intermédio do teste da função F, do coeficiente de determinação ajustado, do desvio-padrão dos erros do ajustamento, também chamado de erro padrão da estimativa, bem como dos erros percentuais entre os valores das vazões observadas e estimadas pelos modelos de regressão, obtidos para cada uma das regiões homogêneas (ANA, 2013). No ajuste das equações deste método, são utilizados os modelos de regressão múltipla, apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1. Modelos de regressão múltipla empregados pelo método tradicional.**

Modelo	Equação
Linear	$Q = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_{1n})$
Potencial	$Q = (\beta_0 X_1^{\beta_1} X_2^{\beta_2} \dots X_n^{\beta_n})$
Exponencial	$Q = e^{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_{1n})}$
Logarítmico	$Q = (\beta_0 + \beta_1 \ln X_1 + \beta_2 \ln X_2 + \dots + \beta_n \ln X_n)$
Recíproco	$Q = \frac{1}{(\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n)}$

Fonte: ANA (2013).

Os melhores modelos resultantes da aplicação da regressão múltipla são selecionados, observando-se: maiores valores do coeficiente de determinação ajustado; menores valores de erro-padrão fatorial; resultados significativos pelo teste F; e menor número de variáveis independentes.

Assim, será avaliada a adequação dos modelos de regressão da Tabela 1 para regionalizar as seguintes variáveis hidrológicas: a vazão mínima com sete dias de duração associadas a dez anos de período de retorno ( $Q_{7,10}$ ) e as vazões associadas às permanências de 50% ( $Q_{50}$ ), 85% ( $Q_{85}$ ), 90% ( $Q_{90}$ ) e 95% ( $Q_{95}$ ) no tempo. Neste estudo, a regionalização foi determinada em função da área de drenagem.

As séries anuais de  $Q_{7,10}$ , para cada estação, foram submetidas à análise estatística, para identificação do modelo probabilístico que melhor se ajustasse aos dados. Foi utilizado o modelo de distribuição de eventos mínimos de Weibull, considerando o melhor ajuste em relação a outros modelos de distribuição estatística. As vazões  $Q_{50}$ ,  $Q_{85}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$  foram obtidas das curvas de permanência de valores diários das estações fluviométricas usadas na análise.

De posse dos dados de vazão mínima, bem como das áreas de drenagem respectivas de cada estação, foi aplicada a regressão múltipla às vazões mínimas de referência estudadas ( $Q_{7,10}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{85}$ ,  $Q_{90}$  e  $Q_{95}$ ).

A aplicação deste método foi realizada com o auxílio do software Sistema Computacional de Regionalização de Vazões – SisCORV 1.0 (UFV, 2008), desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH-UFV). Ainda, no pré-processamento de dados de vazão será empregado o software SisCAH 1.0 (UFV, 2004) o qual possui interatividade com o SisCORV.

A escolha das estações fluviométricas a serem empregadas no estudo iniciou-se pela busca de postos pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional de Águas (ANA) que possuíssem geologia semelhante à área de estudo. Desta forma, procedeu-se a uma triagem preliminar, considerando postos com, pelo menos, cinco anos de dados completos, bem como a existência de curvas de descarga e vazões diárias geradas para esses postos (TUCCI, 2002). No total, 17 estações fluviométricas foram selecionadas na regionalização, cujos dados foram importados na base de dados Hidroweb, disponibilizado no site da ANA. As características dos postos são apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2. Características das estações selecionadas para o estudo de regionalização.**

Código	Nome da estação fluviométrica	Área de drenagem (km <sup>2</sup> )	Curso hídrico	Latitude	Longitude
86100000	Passo do Gabriel	1820	Rio das Antas	-28:48:20	-50:29:42
86160000	Passo Tainhas	1120	Rio Tainhas	-28:52:05	-50:27:22
86340000	Ponte Santa Rita	317	Rio Santa Rita	-28:17:00	-51:17:00
86410000	Passo Barra do Guaiaveira	2820	Rio Turvo	-28:44:21	-51:25:30
86420000	Ponte do Prata	317	Rio Prata	-28:40:39	-51:36:29
86440000	Passo do Prata	3600	Rio Prata	-28:52:03	-51:26:44
86480000	Passo Migliavaca	1330	Rio Carreiro	-28:37:08	-51:51:21
86500000	Passo Carreiro	1820	Rio Carreiro	-28:50:56	-51:49:57
86560000	Linha Colombo	2030	Rio Guaporé	-28:54:44	-51:57:11
86580000	Santa Lúcia	2470	Rio Guaporé	-29:07:11	-51:54:43
86700000	Ponte Jacaré	436	Arroio Jacaré	-29:11:19	-51:55:19
86745000	Ponte Coimbra	791	Rio Forqueta	-29:12:58	-52:09:44
87170000	Barca do Caí	3030	Rio Caí	-29:35:19	-51:22:56
87250000	Costa do Rio Cadeia	870	Rio Cadeia	-29:36:26	-51:21:04
87270000	Passo Montenegro	4360	Rio Caí	-29:42:02	-51:26:26
87374000	Taquara – Montante	1460	Rio dos Sinos	-29:43:15	-50:44:06
87380000	Campo Bom	2900	Rio dos Sinos	-29:41:31	-51:02:42

Para a seleção do período-base de regionalização, os dados destas estações foram previamente analisados, observando a disponibilidade e consistência das séries. Desta forma, foi escolhido o período que apresentou o menor número de falhas, compreendendo 35 anos, referentes ao período de 1971 a 2006.

Posteriormente à escolha do período-base para a regionalização, um pré-processamento foi efetuado com o objetivo de descartar meses que apresentassem falhas. Assim, foram incluídos na regionalização somente os meses que oferecessem dados completos.

## RESULTADOS

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos com a utilização da metodologia de regionalização de vazões.

**Tabela 3. Equações obtidas com a regionalização de vazões.**

Vazão	Equação	R <sup>2</sup>
Q <sub>50</sub>	$Q_{50} = 0,03150A^{0,9870}$	0,974
Q <sub>85</sub>	$Q_{85} = 0,00340A^{1,0460}$	0,865
Q <sub>90</sub>	$Q_{90} = 0,00249A^{1,0533}$	0,836
Q <sub>95</sub>	$Q_{95} = 0,00137A^{1,0737}$	0,825
Q <sub>7,10</sub>	$Q_{7,10} = (0,00171A^{1,080}) 0,3278$	0,844

Identifica-se, a partir da análise da Tabela 3, que o modelo que melhor ajustou-se a todas as vazões de referência foi o modelo potencial, tendo em vista os melhores valores de  $R^2$  obtidos. Assim, considerando a área de drenagem da bacia hidrográfica (87 km<sup>2</sup>), foram calculadas as vazões mínimas analisadas neste estudo, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4. Resultados das vazões regionalizadas para a bacia hidrográfica.**

Vazão	Valor (L/s)
Q <sub>50</sub>	2586
Q <sub>85</sub>	363
Q <sub>90</sub>	275
Q <sub>95</sub>	165
Q <sub>7,10</sub>	70

O Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Caí indica que a Q<sub>95</sub> do Arroio Belo em sua foz corresponde a 110 L/s (PROFILL, 2007). Comparando estes resultados com a análise realizada neste estudo, a variação desta vazão regionalizada em relação ao apontado pelo Plano pode estar associada ao emprego de outras variáveis (precipitação e uso do solo), bem como da metodologia utilizada no estudo (modelo MGB-IPH). No entanto, pode-se afirmar que os resultados obtidos, amparados pelos valores de  $R^2$ , ajustam-se bem à realidade hidrológica da bacia analisada.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos permitem que se estabeleçam as seguintes considerações:

- A utilização da área de drenagem como variável independente na regionalização de vazões mostrou-se satisfatória, tendo em vista os valores de correlação ( $R^2$ ) obtidos. A mesma consideração pode ser feita em relação ao modelo de regressão múltipla empregado (modelo potencial), o qual se mostrou o mais adequado para o estabelecimento das equações;
- A comparação da vazão de permanência Q<sub>95</sub> obtida (165 L/s) com a apresentada pelo Plano da Bacia Hidrográfica do Rio Caí (110 L/s) mostrou uma variação acima de 50%, todavia aceitável. No entanto, faz-se necessário um estudo mais refinado, utilizando, por exemplo, estações com áreas de drenagens inferiores, o que em outros estudos mostrou-se mais adequado para a regionalização em pequenas bacias hidrográficas;
- A continuidade desse estudo, tendo em vista um melhor ajuste das equações à realidade hidrológica da bacia, deverá incluir outras variáveis independentes, como a precipitação e uso do solo, uma vez que os resultados de regionalização para pequenas bacias são sensíveis à consideração dessas variáveis;
- O estabelecimento de vazões de referência em pequenas bacias hidrográficas auxilia no processo de planejamento de uso da água, principalmente para evitar conflitos entre demanda e oferta, tanto sob o aspecto quantitativo como qualitativo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. Agência Nacional de Águas (Brasil). SISCORV 1.0: Sistema Computacional de Regionalização de Vazões. Brasília: Superintendência de Gestão de Informações (SGI)/Universidade Federal de Viçosa (UFV), 2013. 104 p.
2. BRASIL. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da lei nº 8001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7990 de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm)>. Acesso em: 01 abr. 2015.
3. CPRM – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Rio Grande do Sul. 2010. Disponível em: <[http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa\\_rio\\_grande\\_sul.pdf](http://www.cprm.gov.br/publique/media/mapa_rio_grande_sul.pdf)>. Acesso em: 22 ago. 2014.
4. ELETROBRÁS – Centrais Hidrelétricas Brasileiras S.A. Metodologia pra regionalização de vazões. Rio de Janeiro - RJ, 202 p., 1985.



5. PROFILL. Engenharia e Ambiente. Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Caí. Porto Alegre. 2007. Disponível em: <<http://comitecai.blogspot.com.br/>>. Acesso em 17 jun. 2014.
6. RIO GRANDE DO SUL. Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994. Institui o Sistema Estadual de Recursos Hídricos, regulamentando o artigo 171 da Constituição do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em: <[http://www.al.rs.gov.br/legis/m010/m0100018.asp?hid\\_idnorma=12501&texto=>](http://www.al.rs.gov.br/legis/m010/m0100018.asp?hid_idnorma=12501&texto=>)>. Acesso em: 01 abr. 2015.
7. TAMIOSSO, M. F. Avaliação do Método Silveira com uso de dois modelos chuva-vazão para estimativa de disponibilidade hídrica em bacias com pequena amostragem de vazão. 2012. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
8. TUCCI, C. E. M. Regionalização das Vazões. Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL – IPH, UFRGS. Porto Alegre. 254p. 2002.
9. UFV. Universidade Federal de Viçosa. Programas desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em recursos hídricos da UFV. Viçosa: UFV, DEA 2008. Disponível em: <[www.ufv.br/dea/gprh](http://www.ufv.br/dea/gprh)>. Acesso em: 22ago. 2013.
10. UFV. Universidade Federal de Viçosa. Programas desenvolvidos pelo grupo de pesquisa em recursos hídricos da UFV. Viçosa: UFV, DEA 2004. Disponível em: <[www.ufv.br/dea/gprh](http://www.ufv.br/dea/gprh)>. Acesso em: 22ago. 2013.