



# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## REGIONALIZAÇÃO DA VAZÃO $Q_{95\%}$ NA AMAZÔNIA

Calina Grazielli Dias Barros<sup>1</sup>  
\*Claudio José Cavalcante Blanco<sup>2</sup>  
Francisco Carlos Lira Pessoa<sup>2</sup>  
Evanice Pinheiro Gomes<sup>1</sup>  
Laila Rover Santana<sup>1</sup>

## REGIONALIZATION OF $Q_{95\%}$ FLOW IN THE AMAZON

Recibido el 10 de abril de 2017; Aceptado el 16 de octubre de 2018

### Abstract

*Studies on estimated flows in ungauged basins are of great importance for the management and planning of water resources. The regionalization of flows is an alternative to obtain this information. Current analysis proposes regional models that determine minimum flows of reference  $Q_{95\%}$  in the Amazon. Models were developed by multiple regression analysis, where  $Q_{95\%}$  was explained in terms of drainage area, mean annual rainfall and main river length. The Jack-Knife cross validation method evaluated the performance of regional models. Since performance indexes presented NASH rates above 0.60 and errors ( $\epsilon\%$ ) lower than 10% for all cases, they indicated a good and acceptable adjustment. The linear model was the most adopted out of the 22 regional models defined, representing 45.5% of the total, similar to the logarithmic (27.3%), potential (22.7%) and exponential (4.5%). On the other hand, the cubic model did not provide satisfactory results when compared to other models. Therefore, models may be used in a large part of the Amazon region to estimate  $Q_{95\%}$ , due to the physical-climatic characteristics of basins without flow data.*

**Keywords:** *multiple regression, physical-climatic characteristics, hydrographic basins.*

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

<sup>2</sup> Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará, Brasil.

\*Autor correspondente: Faculdade de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará, Rua Augusto Côrrea, 1, 66075-110, Belém, Pará, Brazil. Email: [blanco@ufpa.br](mailto:blanco@ufpa.br)

## Resumo

Estudos que visam estimar vazões em bacias hidrográficas não monitoradas, são de grande importância para a gestão e planejamento dos recursos hídricos. A regionalização de vazões é uma das alternativas para a obtenção dessas informações. Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo propor modelos regionais que permitam determinar vazões mínimas de referência  $Q_{95\%}$  na Amazônia. Esses modelos foram desenvolvidos por intermédio de análise de regressão múltipla, em que a  $Q_{95\%}$  foi explicada em termos de área de drenagem, precipitação anual média e comprimento do rio principal. Conjuntamente, o método “*Jack-Knife cross validation*” foi utilizado na avaliação do desempenho dos modelos regionais. Os índices de desempenho apresentaram valores de NASH superiores a 0.60 e erros ( $\epsilon\%$ ) inferiores a 10% para todos os casos, indicando um ajuste de bom a aceitável. Dos 22 modelos regionais definidos, o modelo linear foi o mais adotado, representando 45.5% do total, da mesma maneira que os modelos logarítmico (27.3%), potencial (22.7%) e exponencial (4.5%). Em contrapartida, o modelo cúbico não apresentou resultados satisfatórios quando comparado aos outros modelos. Portanto, esses modelos podem ser utilizados em grande parte da região amazônica para estimativa de  $Q_{95\%}$  em função das características físico-climáticas de bacias hidrográficas sem dados de vazão.

**Palavras chave:** regressão múltipla, características físico-climáticas, bacias hidrográficas.

## Introdução

Na literatura são encontrados vários termos relacionados à vazão mínima, podendo ser chamada de vazão mínima de referência, residual, remanescente, ecológica e ambiental (Benetti *et al.* 2003; Longhi e Formiga, 2011; Santos e Cunha, 2013). Segundo Medeiros *et al.* (2011), a vazão mínima de referência é uma característica hidrológica que tem sido muito utilizada para manter a quantidade e a qualidade dos recursos hídricos. Trata-se da vazão que deve permanecer no rio para manutenção da bacia hidrográfica.

A principal justificativa da utilização de vazões mínimas de referência, tal como a  $Q_{95\%}$ , consiste no fato destas serem as principais balizadoras de licenças ambientais, outorga de direito de usos das águas e autorizações de intervenções hidráulicas. No Brasil, o Manual de Procedimentos Técnicos e Administrativos de Outorga de Uso de Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2013) dispõe sobre os critérios para análise de outorga preventiva e de direito de uso de recursos e dá outras providências, recomendando - para os rios de domínio da União - como vazão de referência, para a análise de disponibilidade hídrica superficial, a vazão que é igualada ou superada em 95% do tempo ( $Q_{95\%}$ ) uma vez que o risco de 5% é um valor médio entre os riscos considerado tolerável pelos diversos setores usuários.

Desse modo, é necessário buscar metodologias que possam suprir deficiências na rede hidrométrica, preenchendo lacunas temporais, de modo que se tenha a melhor estimativa dos dados de interesse em seções nas quais não haja medições. Uma possível solução para tais problemas é a utilização de técnicas de transferência de informações de outros locais hidrologicamente semelhantes para a bacia hidrográfica de interesse. Tal técnica é conhecida como regionalização hidrológica (Tucci, 2009).

De acordo com Li *et al.* (2010), a regionalização hidrológica é uma ferramenta que permite estimar valores de variáveis, como por exemplo vazão e precipitação, sendo necessário conhecer os processos hidrológicos e compreender a heterogeneidade espaço-temporal de propriedades morfoclimáticas das bacias hidrográficas. Dessa forma, pode-se realizar transferência de informações para locais com inexistência e/ou insuficiência de dados, não sendo necessário estar em uma mesma região geográfica. Nesse sentido, a regionalização hidrológica constitui-se em um instrumento eficaz em estudos de planejamento, projeto, operação e administração de recursos hídricos, pois viabiliza a obtenção de variáveis hidrológicas, como, no presente caso, vazões mínimas de referência.

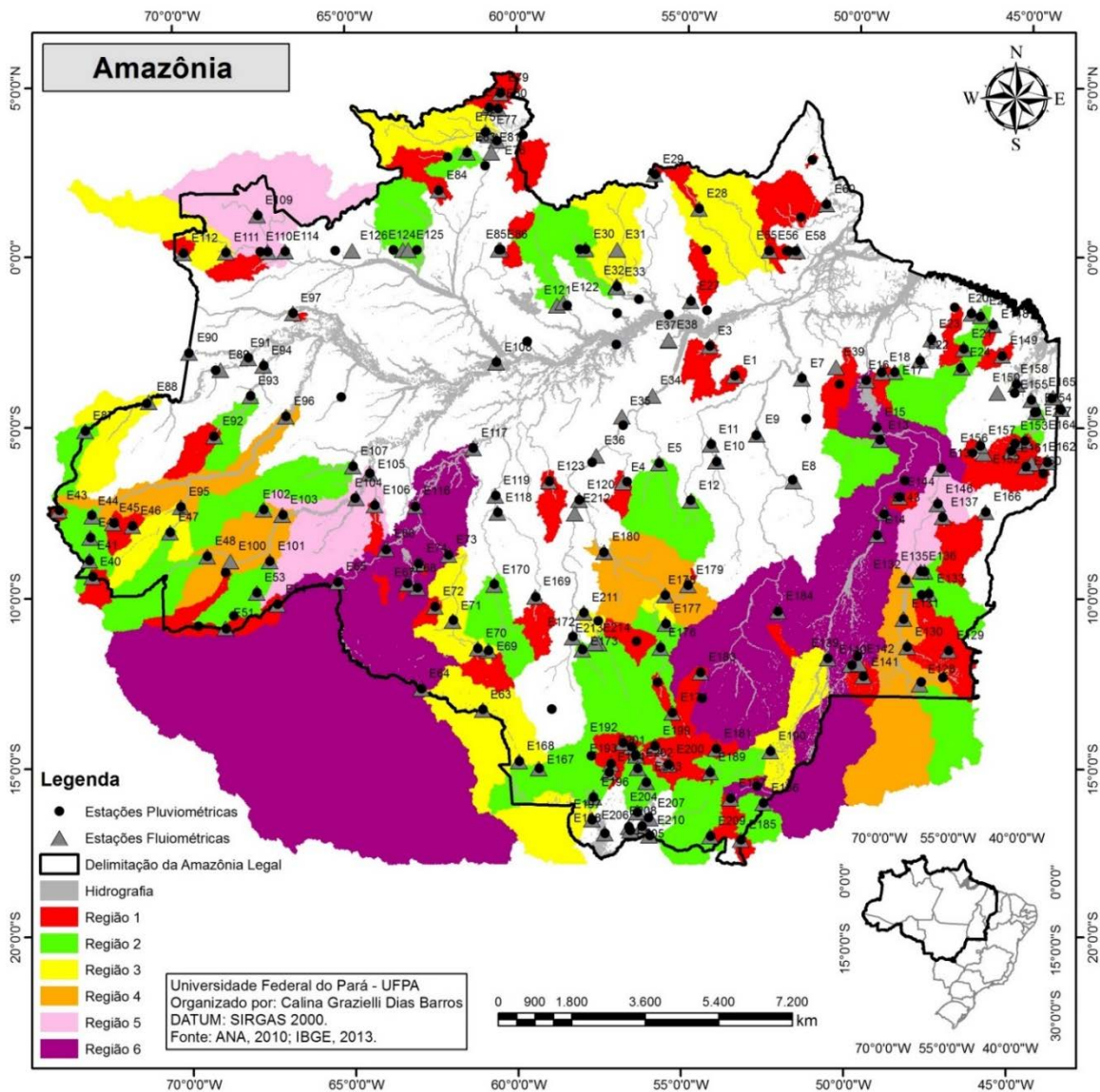
No que tange à estimativa de curvas de permanência, e consequente, determinação de vazão  $Q_{95\%}$ , destacam-se alguns trabalhos na Amazônia, como por exemplo, no estudo desenvolvido por Pessoa *et al.* (2011), em que os autores estimaram curvas de permanência de vazão na região hidrográfica da Calha Norte no estado do Pará por meio de modelos de regressão múltipla, no qual os parâmetros do modelo cúbico ajustado às curvas foram relacionados em função das características físico-climáticas. Os autores determinaram que o modelo de regionalização cúbico foi o mais adequado para as estimativas das curvas de permanência de vazão. Em se tratando de vazões mínimas de referência, tem-se o trabalho de Lopes *et al.* (2017), o qual determinou modelos de regressão do tipo potencial e linear como mais adequados para estimativas de  $Q_{95\%}$  para a bacia hidrográfica do rio Teles Pires. Da mesma maneira que, Melati (2016) obteve equações potenciais de regionalização da vazão de referência  $Q_{95\%}$  para a bacia hidrográfica do Taquai-Antas, tendo a área de drenagem e a precipitação média anual como variáveis explicativas.

No contexto amazônico é notória a falta de monitoramento hidrológico devido às dimensões continentais da região e espaço preservado, o que demanda uma logística bem planejada e onera os custos das campanhas de medição de dados hidrológicos. Assim, o estudo tem como objetivo regionalizar  $Q_{95\%}$  para determinação de vazão mínima de referência na Amazônia Legal.

### Material e Métodos

A área de estudo compreende a Amazônia Legal, que possui uma área de aproximadamente 5 milhões de km<sup>2</sup>, ocupando, aproximadamente, 60% do território brasileiro, abrangendo os Estados da Região Norte (Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins), acrescidos da totalidade do Estado de Mato Grosso e dos municípios do Estado do Maranhão situados a oeste do meridiano 44° O (IBGE, 2011).

Para a realização do estudo, foram utilizadas as informações referentes a 199 estações fluviométricas e pluviométricas localizadas na Amazônia Legal (Figura 1). As séries históricas dessas estações podem ser encontradas em <http://hidroweb.ana.gov.br>.



**Figura 1.** Amazônia Legal, regiões homogêneas de vazão, estações fluviométricas e pluviométricas utilizadas no estudo.

Pessoa (2015) aplicou técnicas de análise de agrupamentos (*cluster analysis*), método hierárquico de *Ward* e o método *fuzzy c-means*, as quais permitiram identificar 6 regiões hidrologicamente homogêneas na Amazônia Legal (Figura 1). Foram utilizadas como dados de entrada as variáveis explicativas da ocorrência da vazão (área de drenagem, precipitação anual média, comprimento do rio principal e desnível do rio). Neste trabalho, aplicou-se o método de regionalização da vazão de referência  $Q_{95\%}$  para cada uma das 6 regiões homogêneas definidas por Pessoa (2015).

A regionalização baseou-se em modelos de regressão múltipla, tendo a vazão de referência  $Q_{95\%}$  como variável a ser regionalizada por intermédio das seguintes variáveis explicativas: área de drenagem,  $A$  em (km<sup>2</sup>); precipitação anual média,  $P$  em (mm); e comprimento do rio principal,  $L$  em (km). A vazão  $Q_{95\%}$  foi obtida através das curvas de permanência, construídas com os dados diários da série histórica de cada estação fluviométrica. Nesse caso, foi utilizada a metodologia empírica de *Weibull Plotting Position* (WPP) para quantificar a permanência ( $D_i$ ), que é geralmente adimensional e coincide com uma estimativa ( $p_i$ ) da probabilidade de excedência das vazões observadas ( $q_i = 1, 2, \dots, N$ , em que  $N$  é o comprimento da amostra), conforme Equação 1 (Viola *et. al.*, 2011; Ganora *et. al.*, 2009; Castellarin *et. al.*, 2007).

$$p_i = P(Q > q_i) = \frac{i}{N+1} \quad \text{Equação 1}$$

A área de drenagem e o comprimento do rio foram determinados via software do tipo SIG; e a precipitação anual média foi determinada através das séries diárias de chuva. Os modelos de regressão múltipla testados foram do tipo linear, potencial, exponencial, logarítmico e cúbico (Pessoa *et al.*, 2011). A função matemática que relaciona a variável dependente e as variáveis independentes é a Equação 2.

$$Q_{95\%} = f(A, P, L) \quad \text{Equação 2}$$

Com o intuito de verificar a existência ou não de multi-colinearidade entre uma ou mais variáveis independentes, foi realizado a análise de correlação simples entre as variáveis explicativas; e para fins de verificação do ajuste dos modelos aos dados observados, foram adotados o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) (Equação 3) e o erro médio relativo percentual ( $\varepsilon$ ) (Equação 4).

$$R^2 = \frac{SQReg}{SQT} = \frac{[\hat{\beta}][X]^T[Y] - n * \bar{Y}^2}{[Y]^T[Y] - n * \bar{Y}^2} \quad \text{Equação 3}$$

$$\varepsilon = \frac{1}{n} * \left( \frac{\sum |Q_o - Q_s|}{Q_o} \right) * 100 \quad \text{Equação 4}$$

Em que,  $SQReg$  é o somatório dos quadrados da regressão,  $SQT$  o somatório dos quadrados total,  $\hat{\beta}$  é o estimador de mínimos quadrados,  $X$  as variáveis independentes,  $Y$  a variável dependente,  $n$  o número de estações analisadas,  $Q_o$  a vazão observada e  $Q_s$  a vazão simulada.

Valores de  $R^2$  podem variar entre 0 e 1, sendo o desempenho do modelo considerado adequado e bom se o valor de  $R^2$  superar 0.75, e aceitável se o valor de  $R^2$  ficar entre 0.36 e 0.75 (Collischonn, 2001). Já no caso no caso do  $\varepsilon$ , o desempenho do modelo é considerado muito bom quando  $\varepsilon$

assume valores menores que 10%; quando  $\varepsilon$  possui valores entre 10% e 25%, o modelo é considerado de bom para satisfatório; e quando  $\varepsilon$  é superior a 25% considera-se insatisfatório (Moriasi *et al.*, 2007).

Os melhores modelos resultantes da aplicação da regressão múltipla foram selecionados observando-se os maiores valores de  $R^2$  e  $\varepsilon$ , após essa seleção, os modelos que apresentaram melhor desempenho foram validados por meio do procedimento de validação cruzada denominado *Jack-knife* (Castellarin *et al.*, 2004). Para medir a qualidade do ajuste das equações, foi utilizado o coeficiente de NASH (Nash e Sutcliffe, 1970) através da Equação 5.

$$NASH = 1 - \frac{\sum (Q_{obs} - Q_{cal})^2}{\sum (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2} \quad \text{Equação 5}$$

Sendo  $Q_{obs}$  a vazão observada,  $Q_{cal}$  a vazão calculada pelo modelo e  $\bar{Q}_{obs}$  a média das vazões observadas. O coeficiente de NASH pode variar entre  $-\infty$  e 1, sendo 1 indicativo de um perfeito ajuste (Asce, 1993). Os valores de NASH estão associados ao método de validação *Jack-Knife* e servem para calcular a qualidade dos modelos, sendo considerado  $NASH > 0.75$  (ajuste muito bom);  $0.75 \geq NASH > 0.50$  (ajuste bom para satisfatório); e  $NASH \leq 0.50$  (ajuste insatisfatório) (Moriasi *et al.*, 2007).

## Resultados e Discussão

No estudo da multi-colinearidade, não houve correlação superior a 0.85 entre as variáveis explicativas em nenhuma das 6 regiões homogêneas (Figura 1), não havendo necessidade de se aplicar testes que determinassem a significância de cada variável explicativa na regressão, e as três variáveis foram utilizadas na regionalização.

Inicialmente, foi realizado o ajuste dos modelos de regressão para cada uma das regiões, porém, os valores dos coeficientes de avaliação do desempenho dos modelos gerados apresentaram  $\varepsilon$  (%) acima de 20% e valores abaixo de 0.36 para os coeficientes de determinação  $R^2$ , com exceção da região homogênea 6, que apresentou desempenho satisfatório, tendo  $R^2 = 0.97$ ; e  $\varepsilon$  (%) = 10.28. O desempenho não satisfatório dos modelos na maioria das regiões analisadas pode ser explicado por bacias com pequenas vazões e grandes áreas de drenagem (Tabela 1), ocasionando alta variabilidade dentro das regiões homogêneas 1, 2 e 3. Essa alta variabilidade não foi captada pelos modelos de regressão. Assim, foi proposta a divisão dessas regiões em sub-regiões com intuito de obter um melhor desempenho dos modelos. Já nas regiões 4, 5 e 6, não foi necessária tal divisão, pois as regiões homogêneas de vazão espelham satisfatórias correlações com as áreas de drenagem contribuintes, necessárias à composição das vazões.

**Tabela 1.** Amostra de pequenas vazões  $Q_{95\%}$  e grandes áreas de drenagem das regiões homogêneas 1, 2 e 3.

Código ANA	Estação	$Q_{95\%}$	A (km <sup>2</sup> )
18870000	Aldeia Bacajá	2.08	12000
27550000	Arapoema	4.02	1120
32450002	Tararua Ponte	3.00	5009
33170000	Esperantina	1.01	8522

Portanto, a região homogênea 1 teve suas estações separadas em três sub-regiões, a partir da variável explicativa área de drenagem:

- Sub-região 1.1: Área entre 491.36 e 813.63 km<sup>2</sup>;
- Sub-região 1.2: Área entre 1119.73 e 9801.62 km<sup>2</sup>;
- Sub-região 1.3: Área entre 10050.13 e 17990.27 km<sup>2</sup>.

No que diz respeito às sub-regiões 1.2 e 1.3, as vazões obtidas apresentaram grande variação, oscilando entre 0.33 e 84.89 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> e 1.50 a 343.25 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, respectivamente. A princípio foi realizado o ajuste das sub-regiões 1.2 e 1.3 da mesma forma que na sub-região 1.1, porém como a variação da vazão foi ampla, os valores dos critérios de avaliação dos modelos foram insatisfatórios. Dessa maneira, foi necessário realizar outra subdivisão, levando em consideração as vazões de mesma ordem de grandeza, gerando oito sub-regiões para a sub-região 1.2 e quatro sub-regiões para a sub-região 1.3 (Tabela 2).

**Tabela 2.** Intervalos de vazões  $Q_{95\%}$  para formação das sub-regiões.

Sub-região	$Q_{95\%}$ (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Sub-região	$Q_{95\%}$ (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Sub-região	$Q_{95\%}$ (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
1.2.1	0.33 - 0.79	2.1	19.95 - 39.77	3.1	121.37 - 226.00
1.2.2	1.44 - 2.60	2.2	46.60 - 69.57	3.2	245.20 - 600.00
1.2.3	4.56 - 6.83	2.3	80.20 - 119.50		
1.2.4	8.52 - 13.00	2.4	212.63 - 636.90		
1.2.5	14.98 - 17.86				
1.2.6	22.81 - 28.40				
1.2.7	31.31 - 39.60				
1.2.8	53.50 - 84.89				
1.3.1	1.50 - 6.92				
1.3.2	14.64 - 38.78				
1.3.3	46.77 - 79.52				
1.3.4	81.41 - 343.25				

Para o ajuste das vazões  $Q_{95\%}$  das regiões homogêneas 2 e 3, foi realizada uma subdivisão que levou em consideração apenas as vazões, pois essas apresentaram uma grande oscilação. No caso da região 2, a variação da vazão foi de 1.64 a 636.9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, e na região 3 a variação da vazão foi de

13.08 a 2946.95  $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , dessa forma, foram formados quatro sub-regiões para a região 2 e duas sub-regiões para a região 3 (Tabela 2). Nota-se que o principal critério adotado para a definição das sub-regiões foi a similaridade entre as vazões, isto é, para cada região em que os modelos de regressão (linear, logarítmico, exponencial, potencial e cúbico) não apresentaram desempenhos satisfatórios, retirava-se as estações fluviométricas que resultassem nas maiores vazões dentro do grupo, permitindo a formação de um outro grupo com as vazões maiores.

Entretanto, quando foi realizado o ajuste das equações de regressão para cada sub-região, percebeu-se que os modelos ainda não apresentavam desempenho satisfatório. Dessa forma, na tentativa de se obter melhores resultados, foi necessária a retirada de algumas estações, usando-se como critério, o erro médio relativo percentual. Dessa maneira, 39 estações com  $\varepsilon$  (%) superior a 20% foram retiradas e os modelos foram novamente testados, tal procedimento mostrou-se eficaz, pois os critérios de desempenho  $\varepsilon$  (%),  $R^2$  e NASH, apresentaram valores satisfatórios. Sendo assim, a equação selecionada para efetuar a regionalização de vazão dentro de uma determinada região homogênea é aquela que apresentou maior coeficiente de determinação, menor erro e valores de NASH acima de 0.50. Diante disso, foi possível construir os gráficos das vazões observadas e calculadas (Figuras 2 a 7), analisando a contribuição de cada estação dentro dos modelos gerados. É possível observar que o  $\varepsilon$  (%) obtido nos modelos assumem valores menores que 10%, indicando um bom desempenho, com exceção da sub-região 1.3.1 e região homogênea 5, cujos valores de  $\varepsilon$  (%) encontram-se entre 10% e 25%, sendo os modelos considerados de bons para satisfatório (Moriasi *et al.*, 2007). Com relação ao coeficiente de determinação, as sub-regiões 1.2.2, 1.2.5, 1.2.6, 1.2.8, 2.2 e 2.3 apresentaram valores entre 0.36 e 0.75, considerados aceitáveis. As demais regiões apresentaram valores adequados e bons ( $R^2 > 0.75$ ) (Collischonn, 2001). Além disso, o coeficiente de NASH obtido para todas as regiões homogêneas estudadas, situam-se entre 0.75 e 1.00, apontando qualidade muito boa para os modelos validados, com exceção da região homogênea 5, que apresentou valor de NASH entre 0.5 e 0.75, indicando um ajuste entre bom e satisfatório (Asce, 1993).

As equações de regionalização de  $Q_{95\%}$  obtidas para Amazônia Legal, bem como a espacialização das regiões homogêneas estudadas, estão demonstradas no mapa da Figura 8. Nas regiões 4 e 6, e sub-regiões 1.2.1, 1.2.2, 1.2.3, 1.2.5, 1.2.7, 1.3.1, 2.4 e 3.2, o modelo linear foi o que apresentou melhores resultados na estimativa das vazões de referência  $Q_{95\%}$ . Bem como se destacaram os modelos potencial e logarítmico nas sub-regiões 1.1, 1.2.4, 1.2.8, 1.3.2, 1.3.3, 1.3.4, 2.1, 2.2, 2.3 e 3.1. Já na região 5, o modelo exponencial foi o mais adequado.

Lopes *et al.* (2017), para a bacia do rio Teles Pires na Amazônia, também determinaram modelos do tipo linear e potencial como sendo mais adequados para estimativas de  $Q_{95\%}$ . Em contrapartida, nota-se que o modelo cúbico é melhor ajustado a modelos de regionalização de curvas de permanência de vazão, como pode ser observado nos estudos de Pessoa *et al.* (2011), Costa *et al.* (2012) e Mimikou e Kaemaki (1985).



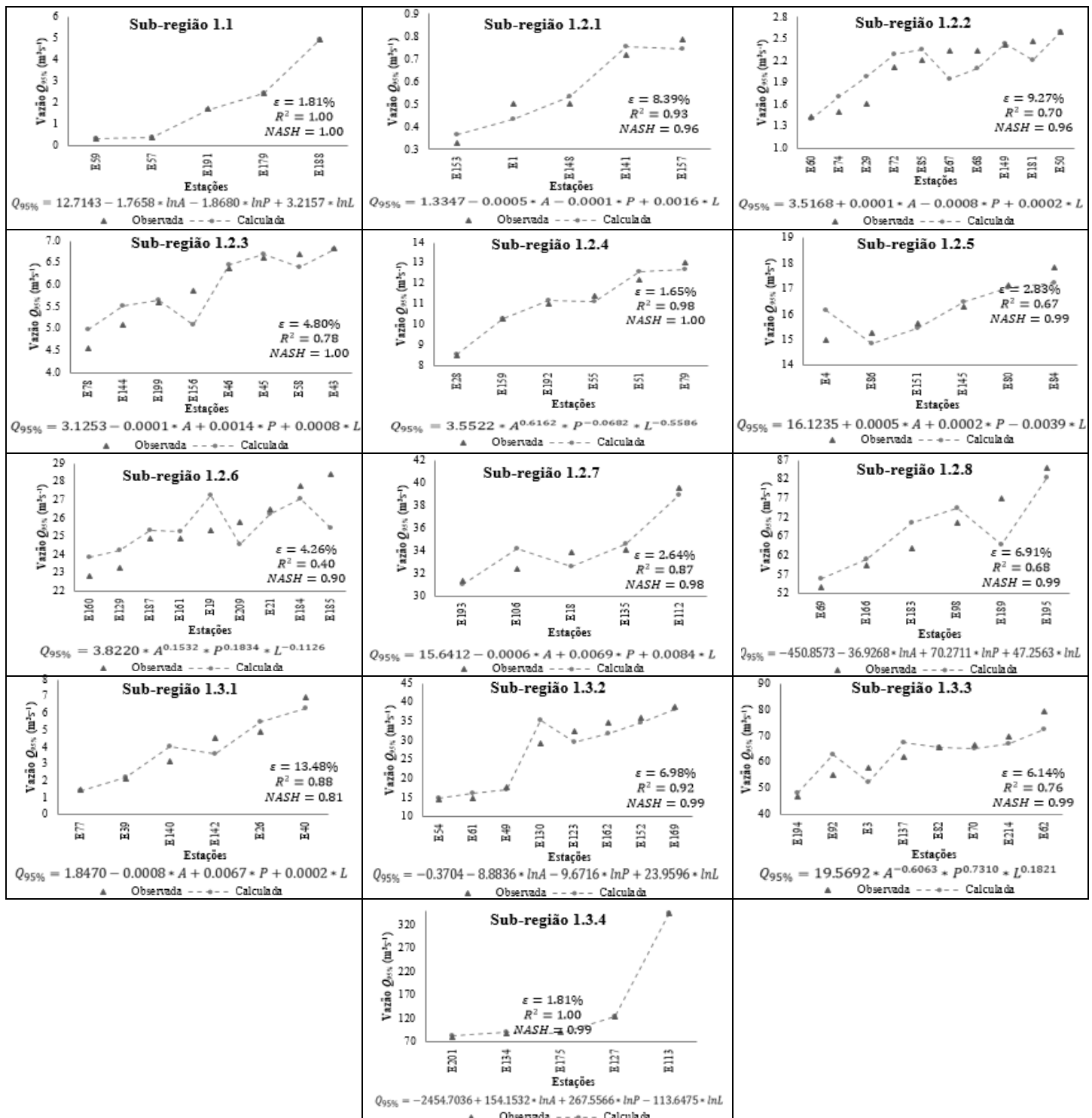


Figura 2. Ajuste das vazões  $Q_{95\%}$  simuladas às vazões  $Q_{95\%}$  observadas da região homogênea 1.

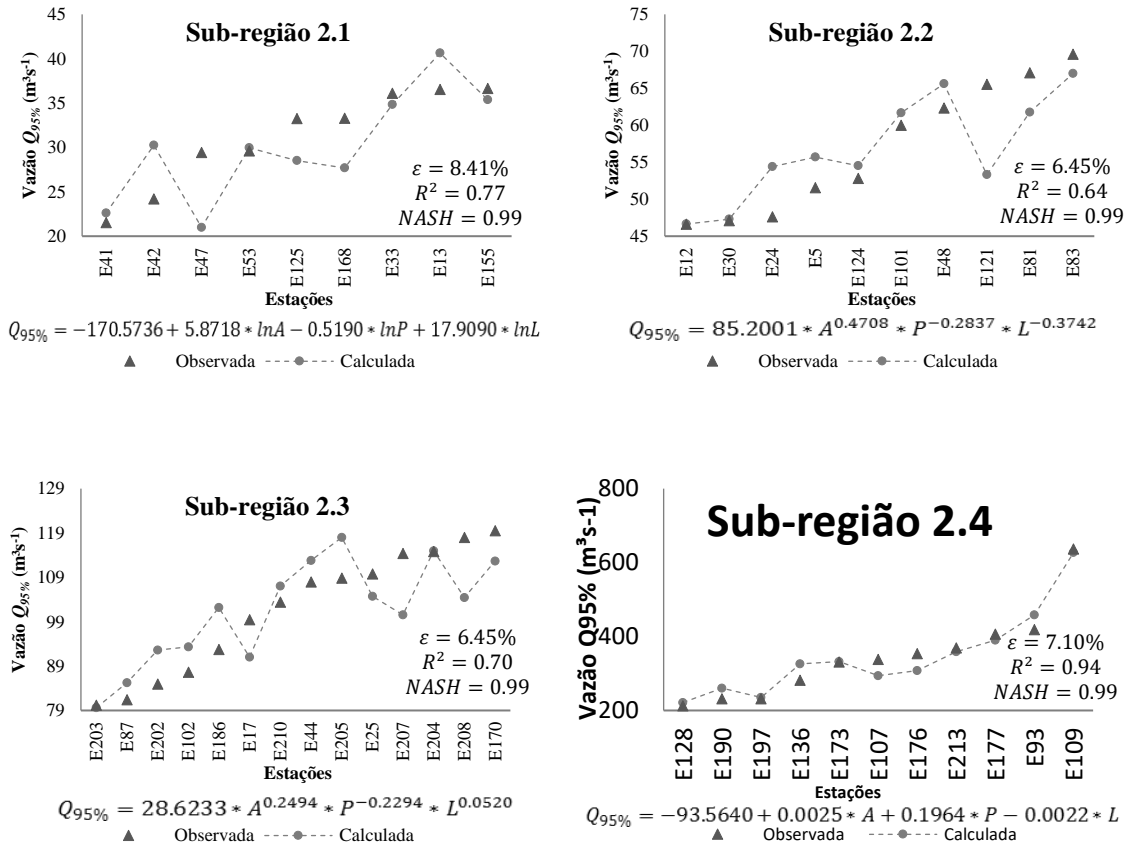


Figura 3. Ajuste das vazões  $Q_{95\%}$  simuladas às vazões  $Q_{95\%}$  observadas da região homogênea 2.

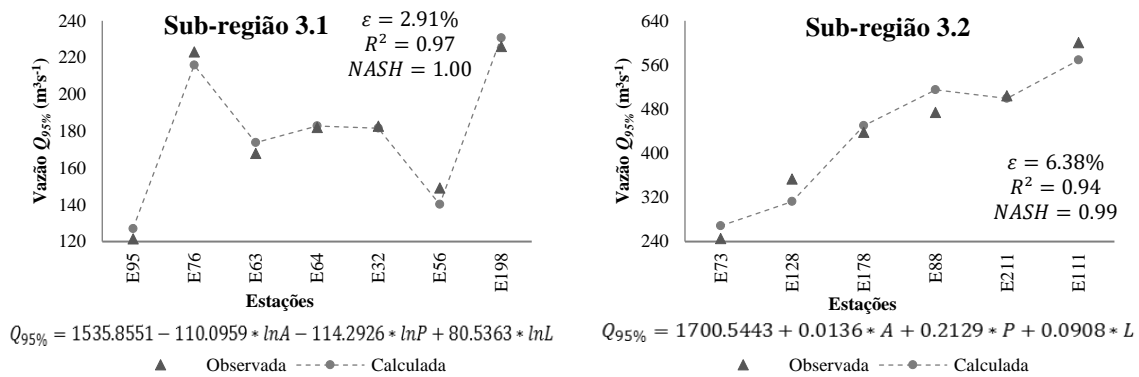


Figura 4. Ajuste das vazões  $Q_{95\%}$  simuladas às vazões  $Q_{95\%}$  observadas da região homogênea 3.

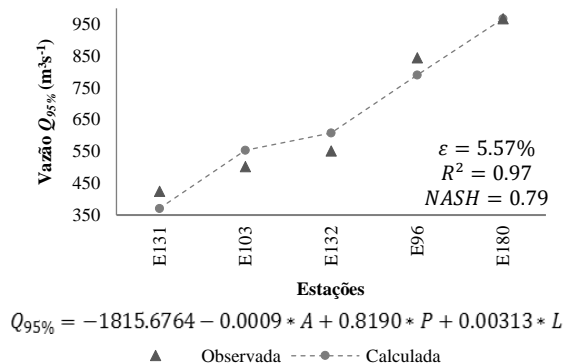


Figura 5. Ajuste das vazões  $Q_{95\%}$  simuladas às vazões  $Q_{95\%}$  observadas da região homogênea 4.

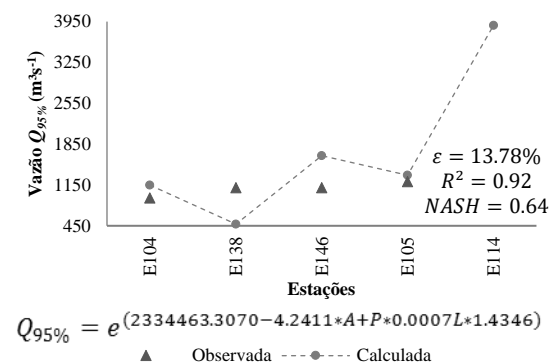


Figura 6. Ajuste das vazões  $Q_{95\%}$  simuladas às vazões  $Q_{95\%}$  observadas da região homogênea 5.

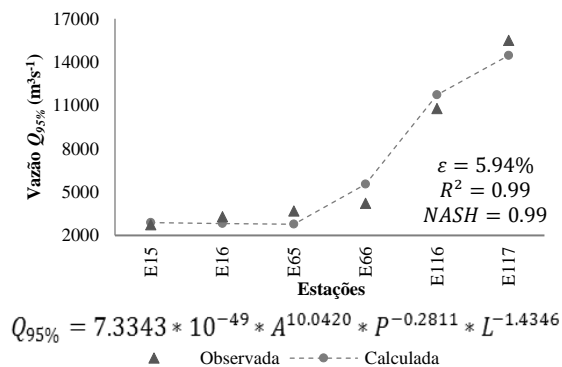


Figura 7. Ajuste das vazões  $Q_{95\%}$  simuladas às vazões  $Q_{95\%}$  observadas da região homogênea 6.

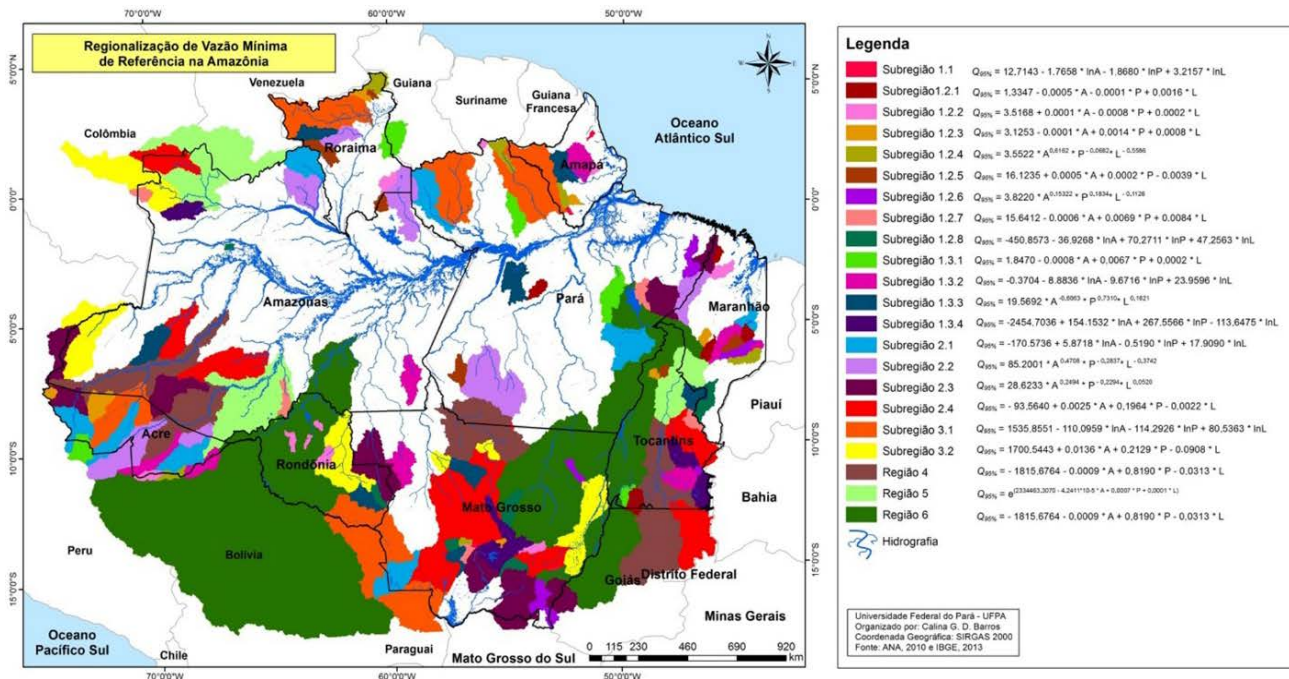


Figura 8. Equações de regionalização de  $Q_{95\%}$  e localização espacial para possível uso.

## Conclusão

Por meio do estudo, foi possível regionalizar a vazão de referência  $Q_{95\%}$  para uma área de 2749727.37 km<sup>2</sup>, que correspondem a aproximadamente 55% da Amazônia Legal. Entretanto, notou-se que não foi possível aplicar o método de regionalização nas maiores áreas da bacia hidrográfica do rio Amazonas, bem como em seus principais afluentes (rio Negro, rio Madeira Tapajós e o rio Xingu), no norte do estado do Amapá e a totalidade da ilha do Marajó. No norte do Amapá e na ilha do Marajó, há uma carência profunda de informações hidrológicas – ausência ou inexistência de estações fluviométricas – o que dificultou a aplicação do método, do mesmo modo que nas grandes bacias hidrográficas. Observa-se que essas regiões são as mais centrais ou isoladas da região, o que torna difícil o acesso e a logística para instalações e manutenções de estações hidrológicas. Apesar de não regionalizar  $Q_{95\%}$  para 100% da Amazônia Legal, o estudo mostrou-se eficiente, pois os modelos gerados apresentaram bons resultados, considerando-se os valores dos índices de desempenho obtidos nos testes realizados.

## Referências

ANA, Agência Nacional De Águas (2013) *Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos da Agência Nacional de Águas – ANA*. Acesso em 20 set. 2018. Disponível em: [www.arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/MANUALDEProcedimentosTecnicosAdministrativosdeOUTORGadeDireitodeUsodeRecursosHidricosdaANA.pdf](http://www.arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/MANUALDEProcedimentosTecnicosAdministrativosdeOUTORGadeDireitodeUsodeRecursosHidricosdaANA.pdf)

- Asce. T. (1993) Committee on Definition of Criteria for Evaluation of Watershed Models of the Watershed Management Committee, Irrigation and Drainage Division. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, **119**(3), 429-442.
- Benetti, A. D., Lanna, A. E., Cobalchini, M. S. (2003) Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **8**(2), 149–160.
- Castellarin, A., Camorani, G., Brath, A. (2007) Predicting Annual and Long-Term Flowduration Curves in Ungauged Basins. *Advances in Water Resources*, **30**(4), 937- 953.
- Castellarin, A., Galeati, G., Brandimarte, L., Montanari, A., Brath, A. (2004) Regional Flow-Duration Curves: Reliability for Ungauged Basins. *Advances in Water Resources*, **27**(10), 953–965.
- Collischonn, W. (2001) *Simulação Hidrológica de Grandes Bacias*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Sul-RS, 182 pp.
- Costa, A. S., Cariello, B. L., Blanco, C. J. C., Pessoa, F. C. L. (2012) Regionalização de Curvas de Permanência de Vazão de Regiões Hidrográficas do Estado do Pará. *Revista Brasileira de Meteorologia*, **27**(4), 413-422.
- Ganora, D., Claps, P., Laio, F., Viglione, A. (2009) An Approach to Estimate Nonparametric Flow Duration Curves in Ungauged Basins. *Water Resources Research*, **45**(10), 8-27.
- IBGE, Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística (2011) *Geoestatísticas de Recursos Naturais da Amazônia Legal*. Acesso em 20 jan. 2016, disponível em: [www.biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo](http://www.biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo).
- Li, M., Shao, Q., Zhang, L., Chiew, F. H.S. (2010) A New Regionalization Approach and its Application to Predict Flow Duration Curve in Ungauged Basins. *Journal of Hydrology*, **389**(1-2), 137–145.
- Longhi, E.H., Formiga, K.T.M. (2011) Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, (20), 2176-9478.
- Lopes, R. T., Zolin, A. C., Prado, G., Paulino, J., Almeida, T. F. (2017) Regionalization of Maximum and Minimum Flow in the Teles Pires Basin, Brazil. *Engenharia Agrícola Jabotical* (Online), **37**(1), 54-63.
- Medeiros, P. C., Souza, F. A. S., Ribeiro, M. M. R. (2011) Aspectos Conceituais Sobre o Regime Hidrológico para a Definição do Hidrograma Ambiental. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, **6** (1), 131-147.
- Melati, M. D. (2016) Regressões Simples e Robusta na Regionalização da Vazão Q95 na Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas. *Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas – UFSM*, **38**(2), 722 – 739.
- Mimikou, M., KAemaki, S. (1985) Regionalization of Flow Duration Characteristics. *Journal of Hydrology*, **82**(1-2), 77-91.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Binger, R. L., Harmel, R. D., Veith, T. (2007) Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *Transactions of the ASABE*, **50**(3), 885-900.
- Nash, J. E., Sutcliffe, J. V. (1970) River Flow Forecasting Through Conceptual Models, Part I - A discussion of Principles. *Journal of Hydrology*, **10**(3), 282–290.
- Pessoa, F. C. L. (2015) *Desenvolvimento de uma Metodologia para Regionalização de Curvas de Permanência de Vazões da Amazônia*. Tese de doutorado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia (Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia), Universidade Federal do Pará, 236 pp.
- Pessoa, F. C. L., Blanco, C. J. C., Martins, J. R. (2011) Regionalização de Curvas de Permanência de Vazões da Região da Calha Norte no Estado do Pará. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **16**(2), 65-74.
- Santos, P.V.C.J., Cunha, A.C. (2013) Outorga de Recursos Hídricos e Vazão Ambiental no Brasil: Perspectivas Metodológicas Frente ao Desenvolvimento do Setor Hidrelétrico na Amazônia. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, **18**(3), 81-95.
- Tucci, C. E. M. (2009) *Hidrologia: Ciência e aplicação*, UFRGS/ABRH, Porto Alegre, 944 pp.
- Viola, F., Noto, L. V., Cannarozzo, M., La Loggia, G. (2011) Regional Flow Duration Curves for Ungauged Sites in Sicily. *Hydrology and Earth System Sciences*, **15**(1), 323-331.