

## **ANÁLISE DE SAZONALIDADE APLICADA À REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA DE VAZÕES DE ESTIAGEM NO RIO GRANDE DO SUL**

**MATHEUS CHAGAS SIMÕES<sup>1</sup>; EVERTON PINTO DA LUZ<sup>1</sup>; TAMARA LEITZKE  
CALDEIRA<sup>1</sup>; NATHÁLIA SILVA CHITES<sup>1</sup>; CLAUDE FÁTIMA DE BRUM PIANA<sup>2</sup>;  
SAMUEL BESKOW<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Federal de Pelotas, CDTec/Engenharia Hídrica –  
*matheus.simoes.hidrica@gmail.com; evertonluz@ymail.com; tamaracaldeira.eh@gmail.com;*  
*nchites@gmail.com*

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pelotas, CDTec, *clause@ufpel.edu.br*

<sup>3</sup>Universidade Federal de Pelotas, CDTec/Engenharia Hídrica – *samuel.beskow@ufpel.edu.br*

### **1. INTRODUÇÃO**

De acordo com Veza et al. (2010), diversas aplicações na área de recursos hídricos requerem a análise do comportamento de vazões de estiagem e as respectivas frequências de ocorrência em rios como, por exemplo: planejamento para abastecimento de água, projetos de reservatórios, manutenção de quantidade e qualidade de água para irrigação, recreação e requerimento de vazão para conservação de espécies animais. A fim de analisar as vazões de estiagem em rios para possibilitar a gestão de recursos hídricos em bacias hidrográficas, existe a necessidade de disponibilidade de informações hidrológicas, as quais preferencialmente devem ser obtidas por monitoramento hidrológico. Todavia, existe uma quantidade insuficiente de estações fluviométricas no Brasil, sendo que a maior carência de dados se dá para pequenas bacias hidrográficas.

Diversas metodologias na área de hidrologia têm sido desenvolvidas para minimizar a carência de monitoramento fluviométrico no mundo e possibilitar a estimativa de variáveis hidrológicas de interesse como, por exemplo, a vazão de estiagem, em bacias hidrográficas não monitoradas. Dentre essas metodologias, a regionalização hidrológica é frequentemente utilizada com o objetivo de transportar informações de locais com dados provenientes de monitoramento para outros locais onde o monitoramento é inexistente ou apresenta curto período com dados.

Dependendo do tamanho da região onde serão utilizados dados de monitoramento hidrológico, pode ser necessário dividir a região de interesse em sub-regiões a fim de agrupar as bacias que apresentam comportamento hidrológico homogêneo, oportunizando que a regionalização hidrológica seja mais bem sucedida. Neste contexto, pesquisas têm sido desenvolvidas para propor metodologias de identificação de regiões homogêneas visando a regionalização de vazões de estiagem e, dentre essas metodologias, Laaha e Blöschl (2006) destacam as medidas de sazonalidade.

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade e potencial de dois índices de sazonalidade com vistas à regionalização hidrológica de vazões de estiagem no estado do Rio Grande do Sul.

### **2. METODOLOGIA**

Para a realização deste estudo foram consideradas bacias hidrográficas de diferentes áreas de drenagem localizadas inteiramente no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil. Os dados fluviométricos utilizados no trabalho foram obtidos junto ao portal Hidroweb da Agência Nacional de Águas (ANA) ([hidroweb.ana.gov.br](http://hidroweb.ana.gov.br)),

sendo um total de 108 postos fluviométricos, (Figura 1a). Para definir as vazões de estiagem a partir de séries de vazões médias diárias, foi utilizado o quantil de vazão  $Q_{90}$  que corresponde à vazão que é igualada ou excedida em 90% do tempo do período de monitoramento. Posteriormente, dois métodos de análise de sazonalidade foram avaliados: Seasonality Ratio e Seasonality Index.

O método da Seasonality Ratio (SR) foi proposto por Laaha e Blöschl (2006) e permite analisar o padrão espacial das vazões de estiagem em diferentes estações do ano, utilizando como referência a  $Q_{95}$ . Para calcular SR utiliza-se a equação (1):

$$SR = \frac{Q_{95S}}{Q_{95W}} \quad (1)$$

Onde:  $Q_{95S}$  é a vazão igualada ou excedida em 95% do tempo, sendo obtida a partir da série parcial do período de verão e  $Q_{95W}$  é a vazão igualada ou excedida em 95% do tempo obtida a partir da série parcial do período de inverno. Para este trabalho, os dados de vazão foram separados em duas séries, uma abrangendo o período de inverno (1 de abril à 31 de setembro) e outra o período de verão (1 de outubro à 31 de março). Além disso, optou-se pela  $Q_{90}$ , ao invés da  $Q_{95}$ .

O método Seasonality Index (SI) foi proposto por Burn *et al.* (1997) e também foi apresentado nos trabalhos de Young *et al.* (2000) e Laaha e Blöschl (2006). Este método foi desenvolvido para representar a distribuição sazonal da ocorrência de vazões de estiagem, conforme as equações 2, 3, 4, 5 e 6.

Neste trabalho foram obtidos, para cada estação fluviométrica, os dias em que a vazão foi menor ou igual à  $Q_{90}$  e estes foram transformados em datas do calendário Juliano ( $D_j$ ). Posteriormente, a obtenção do ângulo direcional ( $\theta_j$ ), em radianos, relacionado à  $D_j$  foi obtida por:

$$\theta_j = \frac{D_j 2\pi}{365} \quad (2)$$

A média aritmética das coordenadas cartesianas  $x_\theta$  e  $y_\theta$  de um total de  $n$  dias  $j$  foi obtida por:

$$\begin{cases} x_\theta = \frac{1}{n} \sum_j \cos(\theta_j) \\ y_\theta = \frac{1}{n} \sum_j \sin(\theta_j) \end{cases} \quad (3)$$

O ângulo direcional do vetor médio é computado como:

$$\begin{cases} \theta = \arctan\left(\frac{y_\theta}{x_\theta}\right) \text{ se } x > 0 \\ \theta = \arctan\left(\frac{y_\theta}{x_\theta}\right) + \pi \text{ se } x < 0 \end{cases} \quad (4)$$

A equação 5 é empregada, através da transformação do ângulo médio de volta para uma data no calendário Juliano, para originar o dia médio de ocorrência (D).

$$D = \theta \frac{365}{2\pi} \quad (5)$$

O comprimento  $r$  do vetor médio indica a variabilidade dos dias de ocorrência das vazões de estiagem.

$$r = \sqrt{x_\theta^2 + y_\theta^2} \quad (6)$$

Todas análises hidrológicas realizadas neste trabalho foram conduzidas com o auxílio do aplicativo computacional chamado “System of Hydrological Data Acquisition and Analysis” (SHYDA), o qual está em fase de desenvolvimento no Laboratório de Simulação Hidrológica e Processamento de Dados, do curso de Engenharia Hídrica, na Universidade Federal de Pelotas (UFPEL).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de SR variaram entre 0,05 e 1,21 (Figura 1a), em que é possível verificar o enquadramento de 6, 19, 49 e 34 bacias hidrográficas nas classes  $SR \leq 0,3$ ,  $0,3 < SR \leq 0,6$ ,  $0,6 < SR \leq 0,9$  e  $SR > 0,9$ , respectivamente. A Figura 1b ilustra outro mapa contendo apenas duas classes ( $SR \leq 1$  e  $SR > 1$ ), onde fica evidente que ocorre a presença de vazões de estiagem de verão no Rio Grande do Sul.

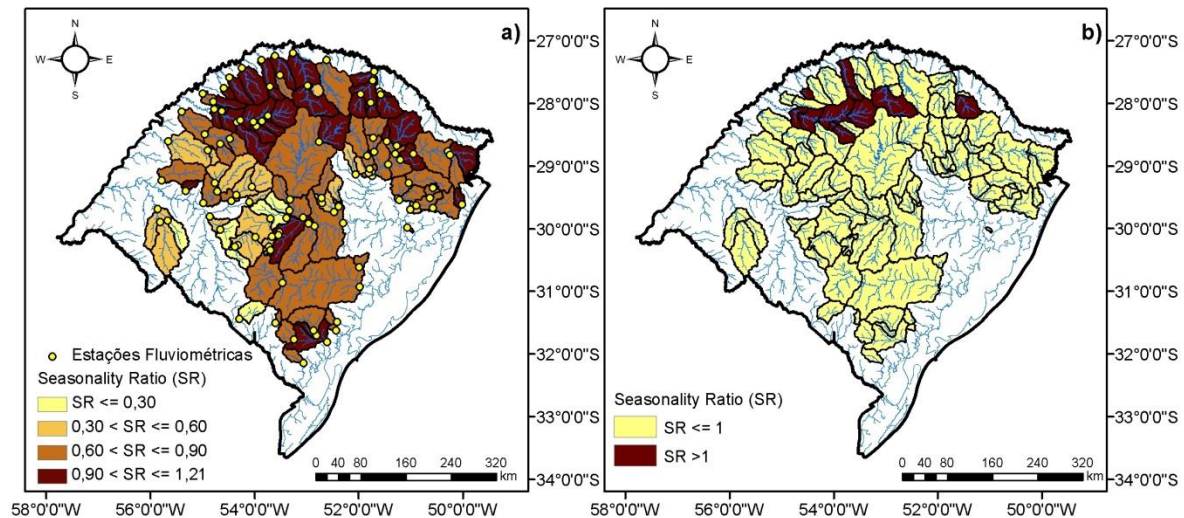


Figura 1– Bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul empregadas neste estudo e os respectivos valores de Seasonality Ratio (SR) considerando (a) quatro classes de SR; e (b) duas classes de SR.

Os resultados encontrados neste trabalho para SR diferiram daqueles encontrados por Tongal *et al.* (2013) e Laaha e Blöschl (2006) para a região dos Alpes e na Áustria, respectivamente. A não ocorrência, nas bacias deste trabalho, de um forte regime de inverno pode ser atribuída à: i) distribuição de chuvas no Rio Grande do Sul no período considerado neste trabalho como de inverno (abril à setembro); e ii) insignificância de precipitação na forma de neve quando comparado às regiões estudadas por Laaha e Blöschl (2006) e Tongal *et al.* (2013). Deve ser ressaltado que a medida SR considera apenas um parâmetro, sendo no caso específico deste trabalho a razão entre a  $Q_{90}$  de verão e a  $Q_{90}$  de inverno.

Na Figura 2a é possível verificar que os valores de D variaram entre 4 e 110, havendo o enquadramento de 8, 31, 57 e 12 bacias hidrográficas nas classes  $D \leq 30$ ,  $30 < D \leq 60$ ,  $60 < D \leq 90$  e  $90 < D \leq 110$ , respectivamente. Os resultados encontrados para D demonstram que o dia médio de ocorrência de vazões de estiagem, nas bacias hidrográficas analisadas, está compreendido entre 1 de janeiro e 20 de abril, todavia, 81% das bacias apresentaram o dia médio D entre 31 de janeiro e 31 de março, comprovando que existe uma forte sazonalidade.

Na Figura 2b podem ser analisados os valores de r, os quais tiveram variação de 0,2 a 0,83, havendo a classificação de 1, 11, 66 e 30 bacias hidrográficas nas categorias  $r \leq 0,2$ ,  $0,2 < r \leq 0,4$ ,  $0,4 < r \leq 0,6$  e  $0,6 < r \leq 0,83$ , respectivamente. Cabe salientar que r igual a 1 indicaria uma forte estiagem, ou seja, todas as vazões de estiagem ocorreram no mesmo dia, enquanto r igual a 0 representaria a não existência de sazonalidade, o que significaria que todas as vazões de estiagem ocorreram em dias alternados. Ficou claro neste estudo que o SI fornece informações mais detalhadas sobre a sazonalidade de vazões de

estiagem quando comparado ao SR. Burn *et al.* (1997), Laaha e Blöschl (2006) e Young *et al.* (2000) são alguns exemplos de pesquisadores que empregaram o método SI para estudos hidrológicos visando avaliar a sazonalidade das vazões de estiagem e também das vazões de cheias, corroborando com os resultados deste trabalho e indicando que este método apresenta potencial para analisar a sazonalidade, bem como para servir de suporte para a regionalização hidrológica.

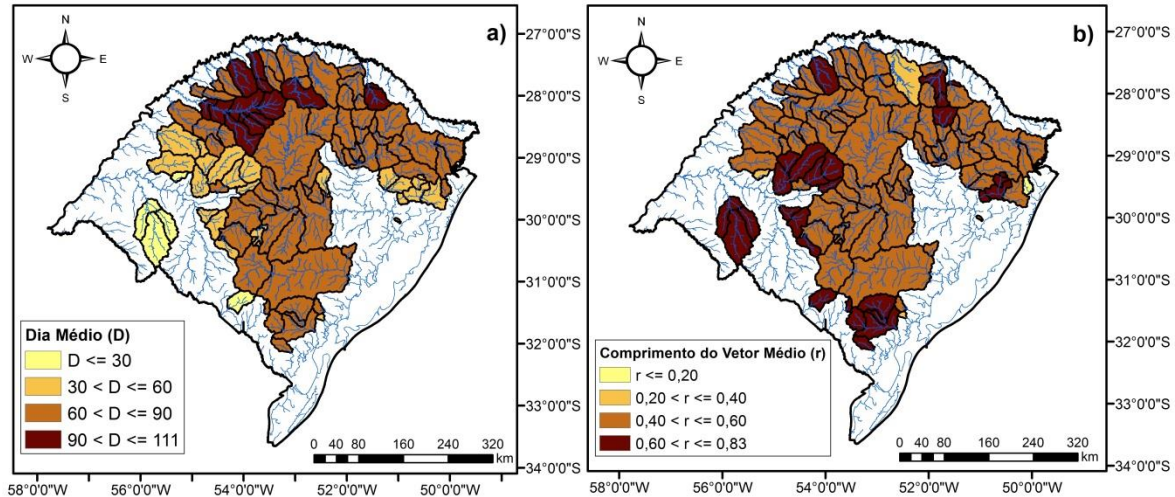


Figura 2 – Bacias hidrográficas do Estado do Rio Grande do Sul empregadas neste estudo e os respectivos valores de (a) dia médio (D) de ocorrência de vazões abaixo da Q90, e (b) comprimento do vetor médio (r), representando o Seasonality Index (SI).

#### 4. CONCLUSÕES

Este estudo permitiu concluir que: i) o método SR apresenta limitações, quando utilizado de forma isolada, para identificar regiões hidrológicamente homogêneas de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul; e ii) a utilização do método SI, por meio das variáveis D e r, pode ser uma boa alternativa para delinear regiões hidrológicamente homogêneas no que diz respeito a vazões de estiagem no Rio Grande do Sul, beneficiando a gestão de recursos hídricos no estado.

#### 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BURN, D. D.; ZRINJI, Z.; KOWALCHUK, M. Regionalization of catchments for regional flood frequency analysis. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 2, n. 2, p. 76-82, 1997.
- LAAHA, G.; BLÖSCHL, G. Seasonality indices for regionalizing low flows. **Hydrological Processes**, v. 20, n. 18, p. 3851-3878, 2006.
- TONGAL, H.; DEMIREL, M. C.; BOOIJ, M. J. Seasonality of low flows and dominant processes in the Rhine River. **Stochastic Environmental Research and Risk Assessment**, v. 27, n. 2, p. 489-503, 2013.
- VEZZA, P.; COMOGLIO, C.; ROSSO, M.; VIGLIONE, A. Low flows regionalization in North-Western Italy. **Water Resources Management**, v. 24, n. 14, p. 4049-4074, 2010.
- YOUNG, A. R.; ROUND, C. E.; GUSTARD, A. Spatial and temporal variations in the occurrence of low flow events in the UK. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 4, n. 1, p. 35-45, 2000.