

REGIONALIZAÇÃO HIDROLÓGICA DA Q₉₀ NO RIO GRANDE DO SUL UTILIZANDO TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL: POTENCIAL DE MEDIDAS DE SAZONALIDADE COMO ATRIBUTOS

MARCELLE MARTINS VARGAS¹; LEONARDO DE LIMA CORRÊA²; CARLOS
ROGÉRIO DE MELLO³; MARILTON SANCHOTENE DE AGUIAR⁴; TAMARA
LEITZKE CALDEIRA⁵; SAMUEL BESKOW⁶

¹Discente UFPel/Engenharia Hídrica– marcellevarg@gmail.com

²Discente UFRGS/PPG Computação– skllc@hotmail.com

³Docente UFLA/ Departamento de Engenharia– crmello@deg.ufla.br

⁴Docente UFPel/Ciência da Computação– marilton@inf.ufpel.edu.br

⁵Discente UFPel/PPG Recursos Hídricos–tamaraleitzkecaldeira@gmail.com

⁶Docente UFPel/Engenharia Hídrica– samuelbeskow@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Estudos em bacias hidrográficas dependem fortemente de informações acerca de monitoramento, principalmente em relação à gestão de recursos hídricos. O conhecimento de vazões de estiagem em bacias hidrográficas é útil, principalmente como instrumento de outorga para diversos usos. Projetos em regiões não monitoradas ou com séries históricas curtas são propostos por hidrólogos e profissionais da área, visando entender o comportamento de bacias hidrográficas frente às variáveis de interesse. Neste contexto, torna-se necessário estabelecer regiões hidrologicamente homogêneas em relação a estas variáveis. Este procedimento, que visa transpor informações de bacias monitoradas para outras, sem monitoramento, porém dentro de uma região hidrologicamente homogênea, em torno de uma variável de interesse, é chamado de regionalização hidrológica.

RAO; SRINIVAS (2006b) relatam em seu estudo que regiões próximas nos limites geográficos, políticos, administrativos ou fisiográficos, são comumente utilizadas para regionalização. No entanto, os mesmos afirmam que a prática não é aceitável, visto que tais procedimentos não garantem homogeneidade hidrológica. BESKOW et al. (2014) afirmam que há diversas metodologias para identificar regiões homogêneas para regionalização de vazões de estiagem e, dentre elas, as medidas de sazonalidade, expostas em LAAHA; BLÖSCHL (2006), as quais verificam o regime temporal e espacial das vazões de estiagem, têm sido utilizadas, apresentando excelentes resultados.

Para a análise de *cluster* em hidrologia é necessário definir atributos que permitam diferenciar bacias hidrográficas, a fim de obter a correta classificação das mesmas. Atributos associados à sazonalidade de vazões têm sido aplicados com sucesso, como pode ser observado em VEZZA et al. (2010) e LAAHA; BLÖSCHL (2006). A clusterização é um processo pelo qual um conjunto de dados, sob a análise de atributos de representação, é dividido em *clusters* de maneira que os dados vinculados ao mesmo *cluster* tenham maior similaridade, ao passo que os dados contidos em diferentes *clusters* são dissimilares entre si.

Este trabalho objetivou avaliar o potencial das medidas de sazonalidade *Seasonality Ratio*, *Seasonality Index* e *Seasonality Histogram*, para regionalização hidrológica da vazão de referência Q₉₀ no Rio Grande do Sul, utilizando diferentes técnicas de Inteligência Artificial (IA).

2. METODOLOGIA

Para este trabalho, consideraram-se, inicialmente, as 108 bacias hidrográficas utilizadas por BESKOW et al. (2014) em estudo sobre potencialidade das medidas de sazonalidade para regionalização de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. As séries históricas foram obtidas junto ao portal HidroWeb, na plataforma da Agência Nacional de Águas (ANA) e considerou-se séries acima de 10 anos de extensão, seguindo recomendações propostas por VEZZA et al. (2010). Estas séries foram submetidas ao teste de Mann-Kendall para identificação de tendências, seguindo as recomendações de MALAMUD et al. (2011). As séries de vazões de estiagem foram definidas a partir do quantil de vazão Q_{90} , o qual indica a vazão que é igualada ou superada em 90% do tempo. Para avaliar o comportamento das bacias hidrográficas frente à vazão Q_{90} , foram empregadas as medidas de sazonalidade *Seasonality Ratio (SR)*, *Seasonality Index (SI)* e *Seasonality Histogram (SH)*, as quais, segundo BESKOW et al. (2014), permitem analisar vazões de estiagem em distintas estações do ano, representa a distribuição sazonal da ocorrência de vazões de estiagem e caracteriza as vazões de estiagem através de um histograma de sazonalidade em escala mensal, respectivamente. Além das medidas de sazonalidade, consideraram-se os atributos latitude e longitude do centroide de cada bacia.

Visando ao agrupamento de bacias hidrográficas com comportamento hidrológico semelhante em relação à Q_{90} , a partir das medidas *SR*, *SI* e *SH*, aplicaram-se os algoritmos de clusterização *K-Means*, *Partitioned Around Medoids (PAM)*, *K-Harmonic Means (KHM)*, *Fuzzy C-means (FCM)* e *Genetic K-means Algorithm (GKA)*. Neste contexto, utilizou-se o software *Clustering Tool*, contendo os algoritmos de clusterização descritos, bem como as medidas de similaridade *Euclidiana*, *Manhattan* e *Mahalanobis* e os métodos de inicialização dos pontos de referência *Random*, *Origem* e *K-Means++* (CORRÊA, 2014).

Para cada cluster (ou região) gerado a partir das diferentes combinações de IA, com diferentes estações fluviométricas, foi utilizado o teste regional H, baseado nos momentos-L (HOSKING; WALLIS, 1993), a fim de verificar a homogeneidade, seguindo a classificação: homogêneo ($H < 1$); possivelmente heterogêneo ($1 < H < 2$); e heterogêneo ($H > 2$). Posteriormente, para cada grupo homogêneo, foi ajustado um modelo matemático visando relacionar a Q_{90} com a área de drenagem das bacias hidrográficas, seguindo um ajuste potencial, conforme sugerido por RIBEIRO et al. (2005). O índice de Confiança *c*, proposto por CAMARGO;SENTELHAS (1997), foi utilizado para quantificar o desempenho dos modelos ajustados.

As análises de importação, manuseio e elaboração das séries hidrológicas, bem como o teste H, foram realizados no software "System of Hydrological Data Acquisition and Analysis" (SYHDA), recentemente registrado junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI), e que foi desenvolvido por integrantes do Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica, cadastrado junto ao CNPq. A fim de validar os modelos regionais gerados, empregou-se o procedimento de validação cruzada, seguindo recomendações de VEZZA et al. (2010). A validação cruzada foi analisada somente para os grupos formados pelo melhor cenário de combinação de IA (algoritmo, método de inicialização e medida de similaridade), o índice de Confiança *c* foi empregado para permitir comparação com o índice da função de regionalização gerada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base no teste de Mann-Kendall, aplicado nas 108 séries históricas analisadas inicialmente, a um nível de significância de 5% para as vazões médias anuais, 78 séries foram consideradas sem tendências e, portanto, empregadas neste estudo. O método de sazonalidade *SR* permitiu constatar que ocorre a predominância do regime de vazões de estiagem de verão no estado do Rio Grande do Sul; o método *SI* indicou um bom potencial tanto para analisar a sazonalidade quanto para a definição de regiões hidrologicamente homogêneas no estado; e quanto ao *SH*, foi possível identificar os meses mais afetados pelas vazões de estiagem, bem como avaliar o formato da distribuição sazonal, corroborando, deste modo, com as conclusões de LAAHA; BLÖSCHL (2006).

Considerando o mesmo algoritmo de clusterização, pôde-se observar que o método para quantificar a sazonalidade de vazões de estiagem exerceu influência considerável sobre o processo de clusterização. Observou-se superioridade das medidas de sazonalidade *SH* e *SI* em relação à *SR* para permitir diferenciar bacias hidrográficas no tocante a vazões de estiagens. Um dos aspectos que explica esta diferença de comportamento é o número de parâmetros de cada método utilizado, sendo 3, 4 e 14 parâmetros para *SR*, *SI* e *SH*, respectivamente. Além disso, foi possível observar que, de modo geral, os algoritmos *FCM*, *GKA* e *PAM* propiciaram os melhores resultados, enquanto *K-means* e *KHM* geraram resultados substancialmente inferiores. Desta forma, enfatiza-se a necessidade de uma avaliação criteriosa quando do emprego visando à regionalização hidrológica. RAO;SRINIVAS (2006a) relatam que não há um único procedimento de regionalização hidrológica capaz de produzir resultados aceitáveis para todas as situações. A Tabela 1 sintetiza os resultados acerca das regiões formadas, considerando cada medida de sazonalidade pela melhor combinação de IA (algoritmo, método de inicialização e medida de similaridade).

Tabela 1: Melhor cenário de combinação IA para cada medida de sazonalidade.

Região	<i>SR</i> *			<i>SI</i> **			<i>SH</i> ***		
	Ajuste da Função (c)	Validação Cruzada (c)	H****	Ajuste da Função (c)	Validação Cruzada (c)	H****	Ajuste da Função (c)	Validação Cruzada (c)	H****
1	0,85	0,84	-0,08	0,95	0,94	-0,16	0,97	0,94	-0,04
2	0,71	0,50	-0,22	0,98	0,97	-0,08	0,96	0,84	-0,14
3	0,90	0,67	4,70	0,98	0,96	-0,21	0,98	0,97	24,16
4	0,82	0,68	1,34	0,89	0,76	-0,12	0,98	0,97	-0,27
5	0,99	1,00	-0,16	0,98	0,98	0,30	0,99	0,97	-0,06
6	0,91	0,89	-0,17	0,98	0,97	24,16	0,92	0,85	-0,04

**SR*: técnica *FCM*, método de inicialização *Origem* e medida de similaridade *Mahalanobis*;

***SI*: técnica *GKA*, método de inicialização *Random* e medida de similaridade *Manhattan*;

****SH*: técnica *FCM*, método de inicialização *K-means++* e medida de similaridade *Euclidiana*; ****Resultados do teste H de Hosking & Wallis (1993).

Seguindo o enquadramento do teste H (Tabela 1), as regiões consideradas heterogêneas foram alteradas, necessitando a exclusão de uma ou mais bacias nestas regiões. Esta constatação corrobora com RAO; SRINIVAS (2006a, b), os quais também concluíram que, mesmo após a definição de grupos de bacias empregando técnicas de IA, é comum os grupos resultantes não atenderem a requisitos de homogeneidade, sendo inevitável a revisão dos grupos formados.

Os valores médios do índice de Confiança *c*, considerando o melhor

cenário observado, foram 0,86, 0,96 e 0,97 para as medidas de sazonalidade *SR*, *SI* e *SH*, respectivamente. Os resultados da validação cruzada podem ser considerados como um importante instrumento de avaliação da função de regionalização gerada para cada região homogênea, fornecendo maior consistência à análise do ponto de vista regional. Quanto à análise da validação cruzada, os valores médios do índice *c* foram 0,76, 0,91 e 0,90, respectivamente.

4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados expostos, pôde-se verificar que: i) Técnicas de IA têm potencial para definir regiões homogêneas para regionalização da Q_{90} no Rio Grande do Sul, em especial os métodos *FCM*, baseado em lógica fuzzy, e *GKA*, baseado em algoritmo genético; ii) A utilização da medida *SH* gerou funções de regionalização com desempenho ligeiramente superior à *SI*, e estas duas medidas tiveram superioridade considerável em relação à medida *SR*; iii) Os atributos relacionados à sazonalidade de vazões de estiagem, especialmente através dos métodos *SI* e *SH*, agregaram informações importantes e representativas às bacias hidrográficas, facilitando a clusterização; iv) Os modelos matemáticos ajustados tiveram desempenho excelente, mesmo com apenas uma variável explicativa (área) bastante fácil de ser obtida; desta forma, podem ser utilizados no estado para estimativa de Q_{90} em locais sem monitoramento.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BESKOW, S.; MELLO, C. R. de; FARIA, L. C.; SIMOES, M. C.; CALDEIRA, T. L.; NUNES, G. S. Índices de sazonalidade para regionalização hidrológica de vazões de estiagem no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.18, n.7, p. 740 – 746, 2014.
- CAMARGO, A. P; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativas da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p. 89 – 97, 1997.
- CORRÊA, L. L. **Implementação e análise de técnicas de inteligência artificial aplicados à clusterização em recursos hídricos**. 2014, 96 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciência da Computação), Universidade Federal de Pelotas.
- HOSKING, J. R. M.; WALLIS, J. R. Some statistics useful in regional frequency analysis. **Water Resources Research**, v. 29, n.2, p. 271 – 281, 1993.
- LAHA, G.; BLÖSCHL, G. Seasonality indices for regionalizing low flows. **Hydrological Processes**, v. 20, p. 3851 – 3878, 2006.
- MALAMUD, B.D.; TURCOTTE, D.L.; GRIMMOND, C. S. B. Temperature trends at the Mauna Loa observatory, Hawaii. **Clima of the Past**, v.7, p. 975 – 983, 2011.
- RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by fuzzy cluster analysis. **Journal of Hydrology**, v. 318, p. 57 – 79, 2006a.
- RAO, A. R.; SRINIVAS, V. V. Regionalization of watersheds by hybrid-cluster analysis. **Journal of Hydrology**, v.318, p. 37 – 56, 2006b.
- RIBEIRO, C. B. M.; MARQUES F. A.; SILVA D. D. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do rio Doce. **Engenharia na Agricultura**, v. 13, n. 2, p.103-107, 2005.
- VEZZA, P.; COMOGLIO, C.; ROSSO, M.; VIGLIONE, A. Low flows regionalization In North-Western Italy. **Water Resources Management**, v.24, p.4049 – 4074, 2010.