

## XIV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

### COMPRIMENTO E PERÍODO DAS SÉRIES HIDROLÓGICAS EM FUNÇÃO DA ESTACIONARIEDADE E INDEPENDÊNCIA DOS VALORES

*Patrick Morais Veber<sup>1</sup>; Mayara Zanchin<sup>2</sup>; Roberta Machado Karsburg<sup>2</sup>; Claudia Fernanda  
Almeida Teixeira-Gandra<sup>3</sup>; Rita de Cássia Fraga Damé<sup>3</sup>*

**RESUMO** – O estudo do comportamento das vazões em um curso d'água é importante no conhecimento dos períodos secos e chuvosos, além de subsidiar dimensionamento de obras hidráulicas. Objetivou-se conhecer a influência do comprimento e período das séries hidrológicas, quanto à estacionariedade e independência dos valores de vazões mínimas, médias e máximas anuais diárias, juntamente com os de precipitação totais e máximos anuais diários. Foram utilizados dados da estação Ponte Cordeiro de Farias no município de Pelotas/RS, de 1965 a 2015. Utilizaram-se os testes não-paramétricos de Mann-Kendall para verificar a estacionariedade e a Função de Autocorrelação para identificar a independência dos valores, considerando diversos períodos e comprimentos de série. Os resultados mostraram que para as vazões mínimas anuais, o comprimento da série exerce maior influência na detecção da tendência da série e na dependência dos valores, enquanto que este comportamento não ocorreu nas séries de vazões máximas e médias anuais. O uso e o manejo de solo na bacia vêm sendo alterado ao longo do tempo, o que leva a inferir que esta seja a razão de alteração de tendência na série de vazões mínimas, considerando estas relacionadas à infiltração de água no solo e ao movimento da água no interior deste.

**ABSTRACT**– The study of the flow behavior in a watercourse is important in the knowledge of dry and rainy periods, besides subsidizing the design of hydraulic works. The objective of this study was to determine the influence of the length and period of the hydrological series, as regards the stationarity and independence of the values of minimum, average and maximum annual flows, together with total and annual precipitations. Data from the Ponte Cordeiro de Farias station in the city of Pelotas / RS, from 1965 to 2015, were used. The non-parametric Mann-Kendall tests were used to verify the stationarity and the Autocorrelation Function to identify the independence of the values, considering various lengths and series lengths. The results showed that, for the minimum annual flows, the series length exerts a greater influence in the detection of the trend of the series and in the dependence of the values, whereas this behavior did not occur in the series of maximum and average annual flows. The use and management of soil in the basin has been altered over time, which leads us to infer that this is the reason of trend change in the series of minimum flows, considering these related to the infiltration of water in the soil and the movement of water inside.

**Palavras-Chave** – Vazão, Mann-Kendall, Autocorrelação.

1) Docente do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas-UFPel/Pelotas-RS, patrick.veber@hotmail.com.

2) Docentes do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas-UFPel/Pelotas-RS, maayfrizzo@gmail.com; robertakarsburg@gmail.com.

3) Docentes do Centro de Engenharias e do Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas-UFPel/Pelotas-RS, cftexei@gmail.com; ritah2o@hotmail.com.

## INTRODUÇÃO

O estudo do comportamento da vazão de um curso d'água é de suma importância para se prever épocas de secas e cheias, implementar planos de gestão dos recursos hídricos - incluindo a outorga - além de dar subsídios ao dimensionamento de obras hidráulicas (ROSSI; THEBALDI, 2017).

As cheias são a principal causa das inundações, por esse motivo, seu comportamento vem sendo estudado durante as últimas décadas. Dentre seus principais estudos, encontram-se os aspectos hidrológicos e hidráulicos. Para a gestão de riscos provocados pelas inundações, é necessário identificar a tipologia das cheias e os riscos a elas associados. Pelo fato do risco de inundação ser um conceito ao qual está inerente alguma incerteza, é simples compreender que para prever a cheia com a sua respectiva incerteza, surge a necessidade de conhecê-la e descrevê-la estatisticamente (SILVA, 2015).

Portanto, para projetos de estruturas hidráulicas, seja para fins de irrigação, controle de inundações, geração de energia elétrica entre tantos outros, faz-se necessário o conhecimento da vazão e chuva de projeto, como também vazões e precipitações associados a um período de retorno, podendo ser citado para casos de disponibilidade hídrica a fim de satisfazer a irrigação de lavouras, a partir das vazões e médias e precipitações totais, como também para a diluição de resíduos depositados em corpos hídricos e outorga de uso de água a partir de vazões mínimas. No entanto estes dados, comparativamente aos de precipitação encontram-se mais raramente, visto o seu elevado custo de obtenção (LUDWIG *et al.*, 2014).

Diante desta realidade, em termos de sistema de informação hidrológica brasileiro, os dados de vazão de muitos postos não retratam, necessariamente, eventos representativos do fenômeno, em função da escassez da disponibilidade temporal e espacial da informação (TUCCI, 2004; ARAGÃO *et al.*, 2013). Frequentemente, dados coletados de maneira sistemática ficam sujeitos à correlação, inerente a essa técnica de amostragem. Nesse sentido, metodologias estatísticas que assumem a independência e estacionariedade das observações podem não ser adequadas (SARNAGLIA, 2010)

De acordo com Catalunha *et al.* (2002), algumas distribuições de probabilidade têm boa capacidade de estimativa para pequenos números de dados, enquanto outras requerem grandes séries de observações. Considerando a disponibilidade de dados disponíveis, tanto em comprimento quanto em período, bem como as alterações de uso do solo em uma bacia hidrográfica ao longo do tempo e ainda as metodologias convencionais e inovadoras disponíveis no trato dos recursos hídricos faz-se necessário conhecer o comportamento destas e em consequência o comportamento hidrológico da bacia hidrográfica. Sendo assim, objetivou-se conhecer a influência do comprimento

e período das séries hidrológicas, quanto à estacionariedade e independência dos valores de vazões mínimas, médias e máximas anuais diárias, juntamente com os de precipitação totais e máximos anuais diários.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foi utilizada a série de vazões médias diárias da estação Ponte Cordeiro de Farias, código 88850000 (Figura 1), bem como os valores de precipitação da mesma estação (3152016) pertencentes à bacia Atlântico, trecho sudeste (8), sub-bacia lagoa Mirim (88), arroio Pelotas, no município de Pelotas, Rio Grande do Sul, latitude de 31° 34' 25" S, longitude de 52° 27'45" O e altitude de 40 m, de responsabilidade da Agência Nacional de Águas (ANA), com uma área de drenagem de 386 km<sup>2</sup>.

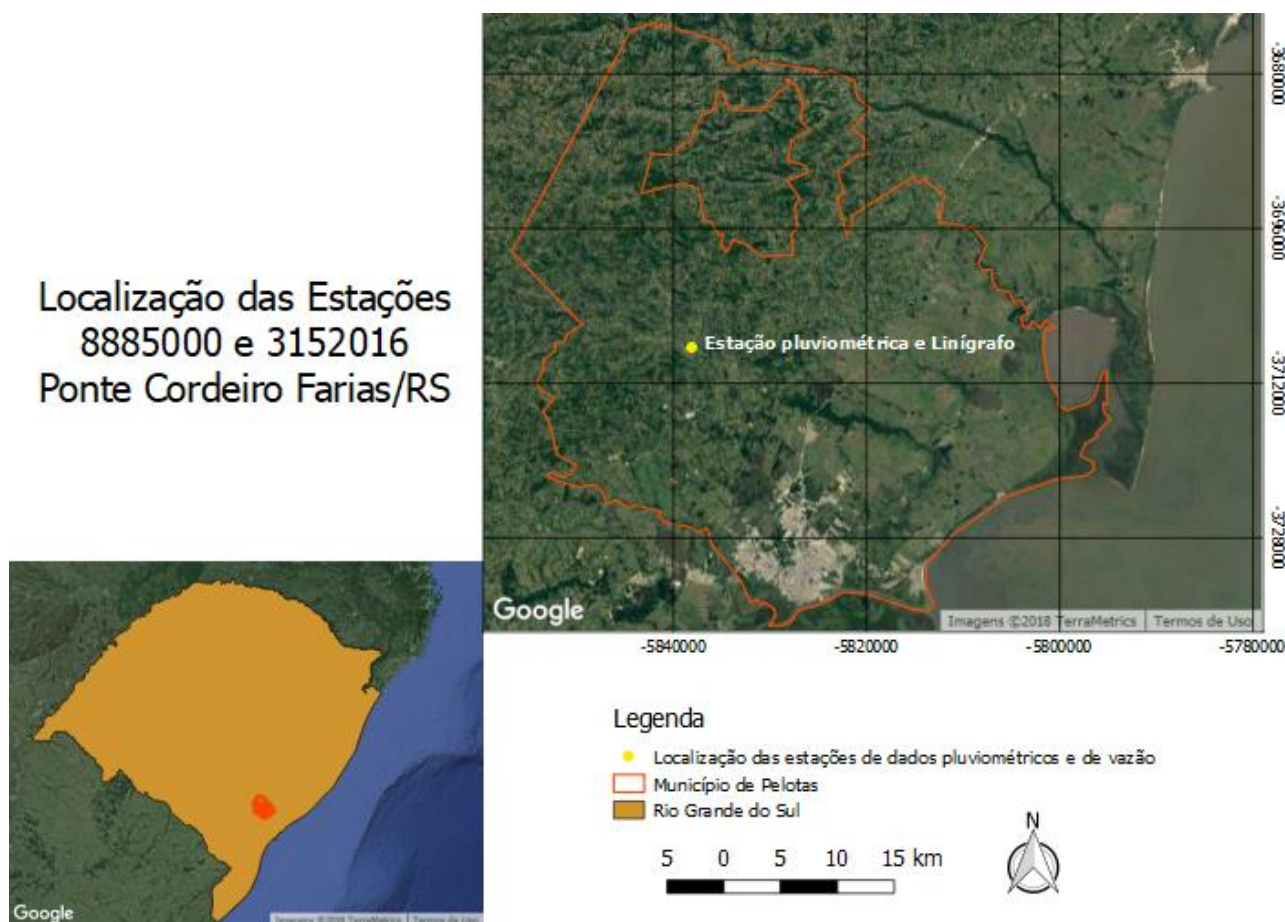


Figura 1 – Localização das estações de vazão média diária (885000) e precipitação diária (3152016) no município de Pelotas/RS

A partir das séries observadas foram construídas 42 séries de vazões máximas diárias anuais, médias anuais e mínimas anuais, da mesma maneira, foram utilizados 42 séries de precipitações máximas diárias anuais e de totais mensais. Para a constituição das séries foi utilizado o ano hidrológico que, segundo Tucci (2014), no Rio Grande do Sul inicia em maio e termina em abril - considerando o período de 1965 a 2015 para os dados de vazão com os de precipitação. Os dados obtidos para o período citado compreendem uma série de dados de 51 anos, a partir disso, denominou-se mais 41 comprimentos de série distintos, sendo estes definidos a partir de Lag de 1 ano, sendo que a menor série compreendeu um tamanho de 10 anos.

Na análise estatística das séries hidrológicas foi utilizado o *software* RStudio versão 3.5.0. Para a verificação de estacionariedade das séries citadas anteriormente utilizou-se o teste não-paramétrico de Mann-Kendall, sendo que de acordo com Kahya e Kalayc (2004), o teste de Mann-Kendall é o teste de tendência mais utilizado em hidrologia. A estatística do teste é calculada por:

$$S = \sum_{k=1}^{N-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(X_j - X_k) \quad (1)$$

Com

$$\text{sgn}(X_j - X_k) = \begin{cases} +1, & \text{se } X_j > X_k \\ 0, & \text{se } X_j = X_k \\ -1, & \text{se } X_j < X_k \end{cases} \quad (2)$$

E possui variância dada por

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q t_p(t_p-1)(2t_p+5)}{18} \quad (3)$$

Em que:

$n$  - é o tamanho da série (número de pontos),

$t_p$ - o número de repetições para o  $p$ -ésimo valor

$q$  - é o número de valores repetidos.

A estatística  $S$  é assintoticamente Normal e caso o número de dados da série seja maior que 10, a variável normal padronizada  $Z$  é dada pela seguinte equação:

$$Z = \left\{ \begin{array}{l} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ se } S > 0 \\ 0, \text{ se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}}, \text{ se } S < 0 \end{array} \right\} \quad (4)$$

Se  $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$  ou  $P_r \geq P_{\alpha/2}$ , a série pode ser considerada estacionária para o nível de significância  $\alpha = 5\%$  e  $Z_{\alpha/2} = 1,96$ . O valor positivo de  $S$  indica uma tendência ascendente enquanto o valor negativo de  $S$  indica uma tendência descendente.

Na aplicação Função de Autocorrelação foi utilizada a função de autocorrelação entre os dados hidrológicos, sendo apresentado gráficos dos quais são chamados de correlogramas afim de identificar as funções de autocorrelação mais significativas presentes nas séries hidrológicas.

Os dados admitiram um limite de confiança que é dado pela equação 5:

$$\text{limite de confiança} = \pm \frac{1,96}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Em que:

$n$  – é o número de dados na série.

Portanto, como hipótese nula assume-se que a distribuição dos dados não muda. Essa suposição é violada na presença de variações sazonais, se há algum tipo de ciclos nos dados ou, ainda, se há alteração da variância no tempo, ou seja, a independência dos dados significa que conhecer o valor atual do dado não responde nenhuma informação sobre o próximo valor.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise da série trabalhada (1965 a 2015) busca responder se nesta aceita-se a hipótese de que os dados de vazão – podendo ser mínima, média ou máxima - provêm de uma população, que independe das distribuições testadas. Testou-se o ajuste de distribuição por Mann Kendall e por Autocorrelação para diferentes tamanhos de série, onde ambas análises apresentaram série mínima de dez componentes.

Os ajustes de distribuição Mann-Kendall (para determinação de tendência temporal de alteração estatisticamente significativa em uma série de dados) e Teste de Independência (nenhuma observação presente na amostra pode influenciar a ocorrência, ou a não ocorrência, de qualquer outra observação seguinte) para cada série de vazões em análise – mínima, média e máxima –

demonstrou comportamentos heterogêneos para cada variável. Utilizou-se o teste bicaudal (5% de probabilidade) com  $P = 0,025$ .

A Tabela 1 identifica como as séries de dados de vazões mínimas comportam-se frente à estacionariedade e independência.

Tabela 1 – Comportamento das Séries de Vazões Mínimas Anuais da estação 88850000 em períodos contidos entre 1965 a 2015

Tamanho da Série	Pr	Pz*	Conclusão
51 a 41 dados	$Pr \geq P_{\alpha/2}$	0,037 a 0,92	Estacionário; Dependente
40 a 30 dados	$Pr < P_{\alpha/2}$	0,0002 a 0,012	Não estacionário; Dependente
29 a 23 dados	$Pr < P_{\alpha/2}$	0,0036 a 0,0206	Não estacionário; Independente
22 a 10 dados	$Pr \geq P_{\alpha/2}$	0,032 a 0,854	Estacionário; Independente

\* Dentro do intervalo de confiança (0,025 ou 1,96)

Assim, observa-se que, as séries de dados correspondentes a tamanhos de 10 até 22 componentes de análise, ou seja, compreendendo períodos de 1965 a 1975 até 1965 a 1990 apresentam estacionariedade e independência de valores. Através de gráficos consegue-se ilustrar essa alteração de tendência encontrada na análise das vazões mínimas anuais para a área em estudo. Na Figura 2 nota-se que a tendência da série é de crescimento até o ano de 1994, já, na Figura 3 demonstra-se o decréscimo da tendência a partir do ano de 1995 até 2015.

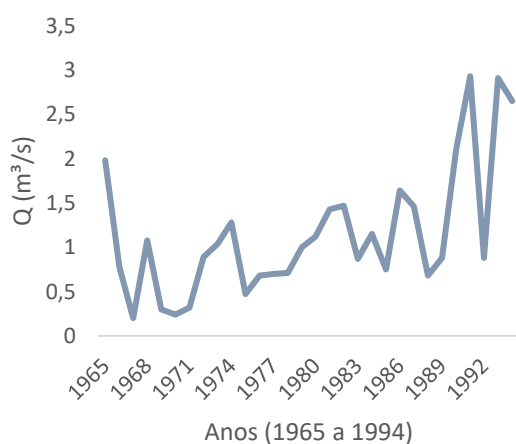


Figura 2 Série de vazões mínimas anuais de 1965 a 1994

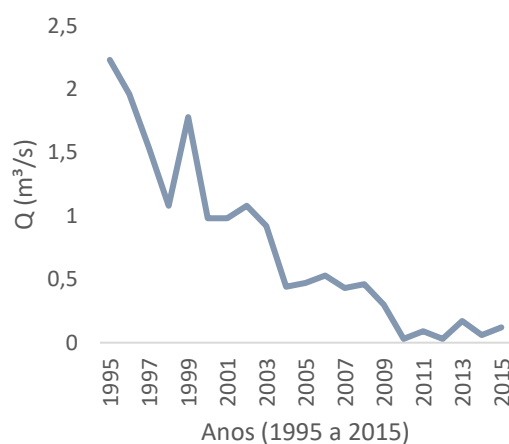


Figura 3 Série de vazões mínimas anuais de 1995 a 2015

Logo, as vazões mínimas presentes nesse período de tempo aceitam as hipóteses de nulidade ( $H_0$ ), demonstrando tendência significativa de alteração temporal (estacionariedade dos dados) e independência entre duas variáveis em análise. Entretanto, percebe-se que as séries de vazões



mínimas com maior número de variáveis (superior a 22) não se comporta de igual maneira, não permitindo aplicação do ajuste de distribuição normal para tamanhos superiores a 22 componentes nas vazões mínimas.

A Tabela 2 apresenta o comportamento das vazões médias relacionadas a ajustes de distribuição normal.

Tabela 2 – Comportamento das Séries de Vazões Médias Anuais da estação 88850000 em períodos contidos entre 1965 a 2015

<b>Tamanho da Série</b>	<b>Pr</b>	<b>Pz*</b>	<b>Conclusão</b>
51 a 44 dados	$Pr \geq P_{\alpha/2}$	0,24 a 0,92	Estacionário; Dependente
30 e 29 dados	$Pr < P_{\alpha/2}$	0,013 a 0,007	Não estacionário; Dependente
39 a 28; 23 dados	$Pr < P_{\alpha/2}$	0,004 a 0,016	Não estacionário; Independente
43 a 40 dados 27 a 10 dados	$Pr \geq P_{\alpha/2}$	0,03 a 0,89	Estacionário; Independente

\* Dentro do intervalo de confiança (0,025 ou 1,96)

Para vazões médias, ocorreram algumas alterações no tamanho de representatividade da série. Assim, pela tabela 2, nota-se que séries com 27 até 10 dados de análise apresentam homogeneidade e independência de valores. Entretanto, nessa mesma série de vazões médias, tamanhos de série de 43 a 40 componentes demonstram resultados iguais que séries ligeiramente menores; indicando que para vazões médias o tamanho de série é menos limitado que para vazões mínimas em trabalhos hidrológicos.

A Tabela 3 apresenta informações para séries de vazões máximas referentes aos ajustes de distribuição para o mesmo período em análise.

Tabela 3 – Comportamento das Séries de Vazões Máximas Diárias Anuais da estação 88850000 em períodos contidos entre 1965 a 2015

<b>Tamanho da Série</b>	<b>Pr</b>	<b>Pz*</b>	<b>Conclusão</b>
22	$Pr \geq P_{\alpha/2}$	0,39	Estacionário; Dependente
23; 21	$Pr < P_{\alpha/2}$	0,019	Não estacionário; Dependente
51 a 24 20 a 10	$Pr \geq P_{\alpha/2}$	0,053 a 0,87	Estacionário; Independente

\* Dentro do intervalo de confiança (0,025 ou 1,96)

A análise de ajuste de distribuição para a série de vazões máximas foi a que se mostrou mais eficaz, em comparação com as séries de médias e mínimas. Com apenas três tamanhos de séries que

não apresentam um ou os dois critérios necessários em harmonia, quase a totalidade dos dados correspondeu de forma positiva ao ajuste. Assim, tanto séries com 51 valores em análise como séries com apenas 10 demonstraram homogeneidade (estacionariedade) e independência.

Aplicando os ajustes para precipitação total anual para séries de mínima obteve-se os resultados expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Ajuste de distribuição para precipitações totais anuais e precipitações máximas

<b>Precipitação</b>	<b>Tamanho da Série</b>	<b>Pr</b>	<b>Pz*</b>	<b>Conclusão</b>
Total	42 a 1	0,40 a 0,99	0,35 a 0,98	Estacionário; Independente
Máxima	42 a 1	0,96 a 0,22	0,03 a 0,29 0,0001 a 0,02	Estacionário; Independente Não Estacionário; Independente

\* Dentro do intervalo de confiança (0,025 ou 1,96)

Conforme análise dos dados de precipitação total (relacionados a vazões médias), observa-se que seu comportamento foi estacionário e independente, para a totalidade de dados analisados. Para os dados de precipitação máxima (referentes a vazões máximas), estacionariedade e independência para 40 dos 42 dados analisados – sendo dois componentes não estacionários e independentes. Entretanto, essa variação não foi considerada significativa para a análise geral, sendo possivelmente originária de erros de medição.

Correlacionando os dados de precipitação, estacionários e independentes, com os dados de vazão mínima, percebe-se que estes não possuem nem 50% dos dados analisados adequados para aplicações teóricas de probabilidade. Condiciona-se através dessa comparação que, a partir de algum período ou em alguns períodos de tempo, pode ter ocorrido alguma alteração na bacia, fazendo o comportamento das vazões mínimas ser alterado.

Sabe-se que, práticas conservacionistas possibilitam a infiltração de água no perfil do solo e, conseqüentemente, regularização das vazões mínimas (reduzindo o escoamento em superfície). Quando ocorre alteração na variável “uso do solo” de uma bacia hidrográfica, essa infiltração tende a sofrer modificações. Alterações como inutilização de práticas de controle ou aumento da retirada de cobertura vegetal tendem a reduzir a infiltração de água no solo e aumentar o escoamento superficial, tornando irregular o ciclo de vazões mínimas em um ecossistema, possibilitando assim que a estacionariedade e independência dos dados sofra interferência.



## CONCLUSÃO

A série de vazões mínimas anuais mostra-se mais sensível em relação à alteração de tendência e independência comparativamente às séries de vazões médias, e máximas diárias anuais. As alterações no uso do solo podem ter contribuído para este comportamento, visto que os valores de precipitação são independentes e estacionários.

Vincular a alteração climática à ocorrência de tendências em séries de vazões sem uma análise dos demais componentes do ciclo hidrológico, precipitação e infiltração, por exemplo, pode ser uma conclusão precoce em relação ao tema.

Análises semelhantes às realizadas neste trabalho, em outras estações da bacia hidrográfica, permitirão concluir de forma afirmativa quanto ao comprimento e período da série em que há comportamento estacionário e independente e sua relação com as atividades na bacia hidrográfica, bem como indicarão a metodologia recomendada ao estudo hidrológico respeitando a característica estatística da série.

## REFERÊNCIAS

ARAGÃO, R.; SANTANA, G. R.; COSTA, C. E. F. F; FIGUEIREDO, E. E.; SRINIVASAN, V. S. (2013). “*Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, 17 (3), pp. 243-252.

CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, A. (2002). “*Aplicação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no estado de Minas Gerais*”. Revista Brasileira de Agrometeorologia, 10 (1), pp. 153-162.

Kahya, E.; Kalayc, S. (2004) *Trend analysis of streamflow in Turkey*. Journal of Hydrology, v. 289, p. 128-144.

LUDWIG, R.; SILVA, D. M.; DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A. (2014). “*Comparação entre metodologias para estimativa de vazão em canal de irrigação no arroio Chasqueiro/RS*”. Irriga, 19 (1), pp. 94-102.

ROSSI, M. S.; THEBALDI, M. S. (2017). *Vazões de referência do Rio São Miguel em Arcos (MG)*. Revista Agrogeoambiental, 9 (1), pp 77-86.

SARNAGLIA, A. J. Q. (2010). “*Estimação de Processos Periódicos Autorregressivos: Uma Abordagem no Domínio da Frequência*”. Dissertação de mestrado. Belo Horizonte – MG. 51f.

SILVA, C. S. B. (2015).”*Modelagem não homogênea e não estacionária de máximos anuais de vazão*”. Dissertação de mestrado. Brasília – DF. 121f.

TUCCI, C. E. M. (2014) *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. Editora UFRGS, 943 p.

## **AGRADECIMENTOS**

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo, ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água e o Centro de Engenharia da Universidade Federal de Pelotas pela infraestrutura cedida para a realização do estudo.