



AVALIAÇÃO DE EXTENSÃO DE SÉRIES HISTÓRICAS FLUVIOMÉTRICAS E SUAS APLICAÇÕES EM ESTUDOS HIDROLÓGICOS

Bruna Ramos Aniceto¹

Flávio Aparecido Gonçalves²

Eixo Temático: Recursos Hídricos e Qualidade da Água (Grupo 02)

Resumo

O conhecimento de vazões mínimas se faz necessário na avaliação da disponibilidade hídrica natural e também no planejamento de bacias hidrográficas. Os dados de vazões apresentam falhas e séries históricas incompletas. O objetivo deste estudo é avaliar o tamanho da extensão de séries históricas fluviométricas e suas aplicações em estudos hidrológico, analisando cinco estações da região da Bacia do Paraná, a partir da constituição de séries históricas amostrais. A metodologia teve a seleção de estações fluviométricas com mais de cinquenta anos de dados de vazões mínimas, teve testes estatísticos não-paramétricos, teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov e distribuição de probabilidade. Foi constituída a série de dados Q_7 completa e específica, $Q_{7,10}$ completa e específica e a vazão de permanência $Q_{90\%}$ para cada série constituída. Para verificar se os dados eram estaticamente iguais aos valores médios das séries constituídas comparados com o desvio padrão da série de dados foi utilizado o método da diferença percentual PBIAS e o teste “T” de Student. Os resultados obtidos são que Q_7 e $Q_{7,10}$ demandam uma série de dados históricos de 34 anos e 27 anos, respectivamente, porém a série $Q_{90\%}$ precisa ser longa. Os testes “T” de Student e diferença percentual PBIAS confirmam que os dados das séries históricas são estaticamente iguais entre os dados de média e desvio padrão, confirmando assim que a série histórica fluviométrica não precisa ser longa para obter dados confiáveis e válidos. Espera-se que outros estudos neste contexto sejam realizados para contribuir ainda mais para as análises da condição hídrica.

Palavras-chave: Série histórica fluviométrica. Disponibilidade hídrica. Recursos hídricos.

¹Graduanda em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Alfenas - Campus Poços de Caldas, bramosaniceto@gmail.com.

²Prof. Dr. Flávio Aparecido Gonçalves, Universidade Federal de Alfenas – Campus Poços de Caldas, Engenharia Ambiental, flavio.goncalves@unifal-mg.edu.br

INTRODUÇÃO

A água é fator condicionante do desenvolvimento econômico e bem-estar e é um recurso natural essencial à vida humana. Toda água proveniente da superfície da terra recebe o nome de recurso hídrico e o uso deste recurso tem uma relação direta com a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica.

As variáveis hidrológicas mais importantes e necessárias de conhecimento são a precipitação e a vazão. Tais registros (de precipitação e vazão) são feitos em postos ou estações, nomeadas de estações pluviométricas (para determinação da precipitação) e estações fluviométricas (para determinação da vazão). Com estes registros é possível constituir as chamadas séries históricas (ou séries históricas de longo período), que permitem a análise das ocorrências e disponibilidade do recurso hídrico ao longo do tempo.

Os dados de vazão mínima que estimam as menores vazões da série histórica são utilizados para verificação da disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica. Sendo muito utilizadas, as vazões mínimas, com sete dias de duração e um período de retorno de dez anos ($Q_{7,10}$), que serve como uma vazão de referência para cálculo de estimativa de água e das vazões passíveis de outorga e as vazões de permanência ($Q_{90\%}$ e $Q_{95\%}$) que representam a vazão de permanência em 90% e 95% do tempo, respectivamente (NOVAES et al, 2009).

A Normal Climatológica (NC) é recomendada pela Organização Meteorológica Mundial (OMM) para o monitoramento climatológico. A NC corresponde a dados de 30 anos consecutivos (ATAIDES; FURTADO, 2014). O fato é que é difícil encontrar séries longas e que tenha a NC completa e sem a ocorrência de falhas para uma análise hidrológica eficiente.

A questão de falhas e séries incompletas dificulta o levantamento da NC e da série histórica. Mesmo encontrando séries muito longas, com mais de 100 anos de dados hidrológicos, a grande maioria de dados das séries históricas apresentam falhas de dados, interrupções de coletas de dados e até mesmo extinção de dados.

A construção de séries históricas é feita, normalmente, observando dados do

Realização

Apoio



Inventário das Estações Fluviométricas emitido pela Agência Nacional de Águas e Saneamento – ANA. O último Inventário Fluviométrico foi atualizado e publicado pela ANA, em 2009 (ANA, 2009). Tal inventário não reflete a realidade das informações das séries históricas. Nota-se que muitas estações apresentavam falhas, dados incompletos ou que não condiziam com os mostrados no inventário.

Sendo assim, justifica-se este presente estudo devido ao número baixo de estudos existentes relacionados à extensão de séries históricas de dados hidrológicos para posterior análise da disponibilidade hídrica e utilização da água.

Tendo em vista o exposto, o objetivo geral deste estudo consiste em avaliar a extensão de séries históricas fluviométricas a partir da análise de cinco estações fluviométricas da região da Bacia Hidrográfica do Paraná, com a construção de séries históricas amostrais de vazões mínimas e da correlação de parâmetros estatísticos.

Embora a área de estudo escolhida tenha sido a Bacia Hidrográfica do Rio Paraná, este estudo poderia ter sido feito em qualquer outra bacia, pois dados de séries históricas são encontradas em todas as regiões do país.

METODOLOGIA

As etapas deste estudo estão listadas a seguir:

1. Seleção das estações fluviométricas com dados de vazão mínima com mais de 50 anos de dados. Dados retirados do site do HidroWeb e tomando como base o Inventário das Estações Fluviométricas emitido pela ANA;
2. Realização dos testes não-paramétricos para as 5 estações. Os testes não-paramétricos são utilizados em séries históricas de dados hidrológicos com a finalidade de saber se atende a aplicação de distribuição de probabilidade. Desta forma, se a série histórica atende ao teste não-paramétrico, que é uma etapa preliminar, esta série está apta a passar pelo teste de probabilidade (MELLO; SILVA, 2013);
3. Teste de probabilidade de Kolmogorov-Smirnov. O teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov avalia se os dados amostrais se aproximam razoavelmente de uma determinada distribuição e é baseado na distância máxima entre a distribuição observada e a distribuição teórica de referência, comparando em seguida com a maior diferença

Realização

Apoio

calculada a um valor estatístico. Tal valor considera o tamanho da amostra e o nível de significância (neste estudo, foi utilizado nível de 5%) (CATALUNHA et al, 2002; MELLO; SILVA, 2013). Neste estudo, foram feitos os testes não-paramétricos de hipótese aleatoriedade, estacionaridade, independência e homogeneidade, seguindo a metodologia de Mello e Silva (2013);

4. Criação de séries específicas e criação das séries de NC. As séries específicas (10%, 20%...) foram criadas a partir da geração aleatória pela ferramenta Excel, ou seja, com os dados de uma série histórica completa, foram selecionados dados específicos de 10%, 20% e assim por diante, de forma aleatória para não interferir nos dados desta nova série específica gerada. Em relação à normal climatológica, seguiu-se o seguinte critério (de acordo com as recomendações da OMM): deu-se prioridade para a normal climatológica de referência, de 1961 a 1990; para as séries que não possuíam esses anos sem falhas, selecionou-se a normal climatológica padrão mais recente, de 1981 a 2010 (conforme Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, s/d); e no caso de não ter também esses anos completos, selecionou-se os 30 anos consecutivos mais recentes, com o primeiro ano terminando com o dígito 1. Uma estação não atendeu a nenhum destes critérios de NC, sendo assim este parâmetro ficou em branco e não foi relacionado;

5. Obtenção de valores de Q_7 ;

6. Cálculo de $Q_{7,10}$ de acordo com a distribuição de probabilidade. As distribuições utilizadas neste estudo são Normal, Gumbel para máximos, Gumbel para mínimos e Log Normal. Tais distribuições são as mais recomendadas para estudos hidrológicos e seguem a metodologia de Mello e Silva (2013);

7. Cálculo da vazão média geral da série histórica e desvio padrão;

8. Seleção do ano de dados que possui a vazão anual mais próxima da média geral e dados diários deste ano são colocados em ordem decrescente para seleção de 90%;

9. Verificação da diferença percentual pelo método de PBIAS. A diferença percentual de PBIAS é utilizada para verificar quão distantes ou quão próximos dois valores (V_1 e V_2) estão entre si. A classificação dos resultados PBIAS é dada pelos seguintes intervalos (VALLE JUNIOR; RODRIGO; OLIVEIRA, 2019): $|PBIAS| < 10\%$ é considerado muito bom; $10\% < |PBIAS| < 15\%$ é considerado bom; $15\% < |PBIAS| < 25\%$ é considerado

satisfatório; e $PBIAS| > 25\%$ é considerado insatisfatório;

10. Teste “T” de Student. No teste “T” de Student é feita uma comparação entre duas médias, uma média é tabelada e a outra é calculada. O “T” tabelado considera o grau de liberdade e o nível de significância desejado e encontra-se o valor tabelado considerando essas duas variáveis. E o “T” calculado é determinado por equações que levam em consideração o número de dados, a média e o desvio padrão dos dados que estão sendo comparados. Se o “T” calculado é maior que o “T” tabelado considera o nível de significância de x% (nível de significância definido previamente) e as informações são estatisticamente diferentes entre si. De outra forma, se o “T” calculado é menor que o “T” tabelado diz-se então que os valores são estatisticamente iguais (OLIVEIRA, 2021).

Todos os cálculos e testes estatísticos aplicados neste estudo foram feitos com a ferramenta Excel da Microsoft.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio do Portal HidroWeb da ANA foi possível selecionar cinco estações de séries históricas fluviométricas com pelo menos 50 anos de dados completos de vazões mínimas, ou seja, foram excluídos anos com falhas.

Na Tabela 1 estão apresentados os dados gerais de cada estação selecionada.

Código	Nome da estação	Sub-bacia	Rio	Munic.	Lat.	Long.	Alt. (m)	Ad (km ²)
60010000	Santana De Patos	Rio Paranaíba	Rio Paranaíba	Patos De Minas - MG	-18.8411	-46.5508	851	2730
60130000	Fazenda Cachoeira	Rio Paranaíba	Rio Perdizes	Monte Carmelo - MG	-18.7808	-47.4089	616	131
60145000	Iraí De Minas	Rio Paranaíba	Rio Bagagem	Iraí De Minas - MG	-18.9772	-47.4575	946	93
60150000	Estrela Do Sul	Rio Paranaíba	Rio Bagagem	Estrela Do Sul - MG	-18.7389	-47.6897	720	868
61250000	Fazenda Da Guarda	Rio Grande	Rio Sapucaí	Campos Do Jordão - SP	-22.6878	-45.4797	1501	109

Tabela 1 - Dados gerais das estações fluviométricas selecionadas para o estudo

Onde: município (Munic.), latitude (Lat.) e longitude (long.), altitude (alt.) e área de drenagem da região (Ad).

Foi verificado quanto a NC de cada estação e seguiu a teoria apresentada na metodologia, onde apenas uma estação não atendeu aos critérios para criação de uma NC, sendo assim para esta estação a NC ficou em branco.

Código da estação	NC adotada
60010000	1981-2010
60130000	-
60145000	1961-1990
60150000	1961-1990
61250000	1951-1980

Tabela 2 – Estações e suas respectivas NCs

Em seguida foi realizado testes não-paramétricos e de distribuição de probabilidade. Os resultados para as vazões mínimas anuais encontram-se no Quadro 1:

Quadro 1 – Resultados dos testes não paramétrico e de distribuição de probabilidade

Código da estação	Testes não-paramétricos aceitos	Distribuição de probabilidade
60010000	E	Gumbel para mínimos
60130000	E	Log Normal
60145000	E	Gumbel para mínimos
60150000	E; H	Gumbel para mínimos
61250000	E; H	Distribuição Normal

Onde: A - aleatoriedade; E - estacionariedade; I - independência e H - homogeneidade.

Nenhuma estação teve o teste não-paramétrico aceito para aleatoriedade e independência, porém todas as estações foram aceitas no teste não-paramétrico de estacionariedade e duas estações também foram aceitas no teste não-paramétrico de homogeneidade e o teste de estacionariedade, simultaneamente.

Segundo Mello e Silva (2013), quando um teste não-paramétrico não é aceito, não

é recomendado a aplicação da distribuição de probabilidade. Como neste estudo as estações foram aceitas em pelo menos um teste não-paramétrico, o teste de distribuição de probabilidade foi testado para todas séries constituídas.

Para a distribuição de probabilidade notou-se que três estações se ajustaram melhor a Distribuição de Gumbel para mínimos (Código das estações: 60010000, 60145000 e 60150000), uma estação se ajustou melhor a Distribuição Log Normal (Código da estação: 60130000) e uma estação se ajustou melhor a Distribuição Normal (Código da estação: 61250000). Era esperado que a maioria das estações se ajustassem a Distribuição Gumbel para mínimos, tendo em vista que se trata de dados de vazões mínimas.

Na Tabela 3 estão apresentados os resultados para Q_7 e a diferença percentual pelo método de PBIAS considerando as séries específicas:

Série específica	MB	B	S	I	Tamanho médio (anos)
10%	3	0	2	0	7
20%	3	1	1	0	13
30%	4	0	1	0	20
40%	4	0	1	0	27
50%	5	0	0	0	34
60%	5	0	0	0	40
70%	5	0	0	0	47
80%	5	0	0	0	54
90%	5	0	0	0	61
NC	2	0	2	0	30

Tabela 3 – Resultado de Q_7 por PBIAS por série específica das vazões mínimas
Onde: MB - Muito Bom; B - Bom; S - Satisfatório; e I - Insatisfatório.

A Tabela 3 pode ser interpretada da seguinte forma, por exemplo, na série específica de 10%, três estações tiveram a diferença percentual considerada Muito Boa (MB), nenhuma estação teve a diferença percentual considerada Boa (B), duas estações tiveram a diferença percentual avaliadas como Satisfatória (S) e nenhuma estação teve resultado considerado Insatisfatório (I). O tamanho médio da série específica de 10% é de

Realização

Apoio

7 anos. Assim, segue a análise conforme este exemplo preliminar.

Com uma série histórica com 7 anos de dados já obtém resultado de diferença percentual entre os dados de muito bom e satisfatório e aceitáveis para uma análise.

É possível destacar que conforme vai aumentando os valores da série específica (10%, 20%...), também vai melhorando o resultado e classificação da diferença percentual para MB. A partir da série específica de 50% todos os resultados foram considerados MB e nenhuma série específica teve resultado insatisfatório, inclusive a série de NC. Este resultado confirma a hipótese de que a série histórica não precisa ser muito longa para se obter uma análise aceitável dos dados da série histórica.

Analisando os resultados de Q_7 , é possível dizer que o tamanho aceitável de uma série histórica com dados de Q_7 de vazão mínima é de aproximadamente 34 anos (50% da série específica), valor próximo a NC que contém 30 anos de dados históricos. Desta forma, não é necessária a escolha de séries com mais de 34 anos para análise satisfatória de Q_7 de vazão mínima.

Os resultados relacionados ao $Q_{7,10}$ considerando a diferença percentual de PBIAS dentro de cada série específica encontram-se na Tabela 4.

Série específica	MB	B	S	I	Tamanho médio (anos)
10%	3	1	0	1	7
20%	0	1	3	1	13
30%	1	1	2	1	20
40%	4	0	1	0	27
50%	4	1	0	0	34
60%	5	0	0	0	40
70%	4	0	1	0	47
80%	5	0	0	0	54
90%	5	0	0	0	61
NC	1	2	1	0	30

Tabela 4 - Resultados de $Q_{7,10}$ por PBIAS por série específica

A análise da Tabela 4 deve ser feita como explicado para a Tabela 3.

Para a série específica de $Q_{7,10}$ é possível notar a correlação que acontece quando

Realização

Apoio



se aumenta o valor da série específica, com a melhora da classificação de PBIAS. A partir da série específica de 40%, os dados são praticamente todos considerados MB, B e S. Em outras palavras, pode-se dizer que em uma série histórica de 27 anos (40% da série específica de $Q_{7,10}$) já apresenta resultados aceitáveis de uma avaliação de série histórica fluviométrica, não sendo necessário séries muito longas, o que é mais difícil de se encontrar devido ao alto número de séries históricas que apresentam falhas e a desatualização do Inventário das Estações Fluviométricas.

A Tabela 5 apresenta os resultados para a vazão de permanência $Q_{90\%}$.

Série específica	MB	B	S	I	Tamanho médio (anos)
10%	1	0	3	1	7
20%	0	0	4	1	13
30%	1	1	2	1	20
40%	1	1	2	1	27
50%	2	0	0	3	34
60%	1	1	3	0	40
70%	0	2	1	2	47
80%	0	2	2	1	54
90%	4	0	1	0	61
NC	1	0	1	2	30

Tabela 5 - Resultados de $Q_{90\%}$ por PBIAS por série específica

A Tabela 5 deve-se ser feita como no exemplo explicado para a Tabela 3.

Os dados da Tabela 5, conforme vão aumentando a série específica, também vai melhorando o resultado e classificação da diferença percentual para MB. A exceção é a série específica de 70% que não apresenta nenhum resultado MB, dois resultados B e I e um resultado S.

Para a vazão de permanência $Q_{90\%}$ já é possível observar mais resultados com diferença percentual de PBIAS como I, o que não ocorreu na série de Q_7 e apareceu em menor quantidade na série $Q_{7,10}$. A série específica de 90% teve quatro incidências de MB e uma incidência de S, desta forma, para análise deste parâmetro (vazão de permanência $Q_{90\%}$), verificou-se a necessidade de as séries históricas serem mais longas para obter uma

Realização

Apoio

análise aceitável deste parâmetro. Das séries históricas avaliadas, o tamanho ideal da série histórica deveria ser em média de 61 anos de dados (série específica de 90%).

Quanto ao teste “T” de Student que indica os dados que são estaticamente iguais entre a série completa e as séries específicas foram analisados três condições:

Primeira condição: a média e desvio de Q₇.

Total	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	NC
Iguais	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3
Diferentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabela 6 - Resultado para o teste “T” de Student considerando a primeira condição

A Tabela 6 mostra que os dados são estatisticamente iguais em praticamente todas as séries específicas, sendo que a única diferença apareceu em uma estação no parâmetro NC (Código da estação 60150000).

Segunda condição: a média e desvio padrão dos valores diários do ano com média mais próxima da série de vazão de permanência Q_{90%}.

Total	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	NC
Iguais	1	1	1	4	1	3	1	2	3	2
Diferentes	4	4	4	1	4	2	4	3	2	2

Tabela 7 - Resultado para o teste “T” de Student considerando a segunda condição

A Tabela 7 mostra que os dados são estatisticamente diferentes na maioria das séries específicas.

Terceira condição: a média e desvio padrão de Q_{7,10}.

Total	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	NC
Iguais	5	5	5	5	5	5	5	5	5	3
Diferentes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabela 8 - Resultado para o teste “T” de Student considerando a terceira condição

A Tabela 8 mostra que os dados são estatisticamente iguais em praticamente todas as séries específicas, sendo que a única diferença apareceu em uma estação no parâmetro

NC (Código da estação 60150000).

CONCLUSÕES

O objetivo inicial deste estudo foi a construção de séries históricas amostrais de vazões mínimas e de vazões mínimas para avaliação de extensão de séries históricas fluviométricas consultando cinco estações da região da Bacia Hidrográfica do Paraná e correlacionado os dados das séries históricas com os parâmetros estatísticos.

Com a realização deste estudo foi possível verificar que para uma série de vazão mínima quando se estudado a vazão de Q_7 , a partir de uma série de tamanho de 34 anos já se tem um tamanho aceitável de série histórica para análise de dados, contudo uma série histórica de 7 anos também obteve resultados satisfatório dentro da análise. Para a vazão $Q_{7,10}$, o tamanho da série história poderia ser de 27 anos e tais valores são bem próximos de uma NC, facilitando assim, a busca por séries que tenham pelo menos a NC completa. Contudo, para a vazão de permanência $Q_{90\%}$ notou a necessidade de obter-se de séries mais longas para estudos hidrológicos, pois os resultados se mostraram favorável para séries históricas com tamanho ideal de 61 anos ou mais para os dados serem considerados muito bom ou bom.

No teste estatístico (Teste “T” de Student) feito para a série de dados de vazões mínimas do parâmetro de Q_7 e vazão de permanência de $Q_{90\%}$ comparado com valores de média e desvio padrão obteve-se dados estaticamente iguais ao longo das séries específicas e sendo diferente apenas para a série de NC. Já para o parâmetro valores diários do ano com a média mais próxima da vazão de permanência $Q_{90\%}$ o resultado foi estatisticamente diferente para a maioria das séries específicas e da NC.

Deve-se destacar ainda a dificuldade de relacionar os dados do Inventário das Estações Fluviométricas com os dados reais encontrados da plataforma HidroWeb. Se o inventário estivesse atualizado com as informações das estações fluviométricas, menos tempo para construção das séries históricas seria dispensado, podendo assim focar mais tempo em estudos de hidrologia estatística.

Espera-se que outros estudos neste contexto sejam realizados para contribuir ainda mais para as análises da condição hídrica de determinada região e bacia hidrográfica.

Realização

Apoio

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO - ANA. **Inventário de estações fluviométricas**. 2 ed. Brasília: ANA, SGH, 2009.

ATAIDES, R. S.; FURTADO, T. V. **A importância da utilização das Normais Climatológicas para análise de variação climática**. 2014. Disponível em: <http://meteorologia.florianopolis.ifsc.edu.br/formularioPI/arquivos_de_usuario/201411D.pdf>. Acesso em: 13 out. 2021.

CATALUNHA, M. J.; SEDIYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, A. Aplicação de 5 funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 10, n. 1, p. 153-162, nov. 2002.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais climatológicas do Brasil**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em: 13 out. 2021.

MELLO, C. R.; DA SILVA, A. M. **Hidrologia**: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas. Lavras: Editora UFLA, 2013.

NOVAES, L. F. de; PRUSKI, F. F.; QUEIROZ, D. O. de; RODRIGUEZ, R. del G.; SILVA, D. D. da; RAMOS, M. M. **Modelo para quantificação da disponibilidade hídrica**: Parte 1 – obtenção da equação de recessão. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 14, n. 1, p. 15-26, jan./mar. 2009. <https://doi.org/10.21168/rbrh.v14n1.p15-26>.

OLIVEIRA, T. C. C. **Tamanho ideal de séries históricas e suas aplicações em estudos hidrológicos**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental). Mestrado em Ciência e Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Alfenas, Campus Poços de Caldas, p. 129. 2021.

VALLE JUNIOR, L. C. G.; RODRIGUES, D. B. B.; OLIVEIRA, P. T. S. *Initial abstraction ratio and Curve Number estimation using rainfall and runoff data from a tropical watershed*. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 24, n. 5, 2019. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.262120200117>.

Realização

Apoio