

Recorrência de Estiagens em Biomas Brasileiros

Alline Gomes Lamenha e Silva¹
Milena Caramori Borges de Souza²
Gláucia dos Santos Nascimento³
Christopher Freire Souza⁴

1 Graduanda de Engenharia Civil pela Universidade Federal de Alagoas - Av. Lourival de Melo Mota, Maceió/AL- Brasil. CEP: 57072-900. E-mail: allinelamenha@gmail.com.

2 Mestranda do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Alagoas - Av. Lourival de Melo Mota, Maceió/AL- Brasil. CEP: 57072-900. milenacaramori@yahoo.com.br.

3 Graduanda de Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Alagoas - Av. Lourival de Melo Mota, Maceió/AL- Brasil. CEP: 57072-900. E-mail: gal.sn@hotmail.com.

4 Professor Doutor da Universidade Federal de Alagoas - Av. Lourival de Melo Mota, Maceió/AL- Brasil. CEP: 57072-900. E-mail: cfsouza.ufal@gmail.com

Resumo: A fim de minimizar falhas no abastecimento de água, usualmente se estabelece a quantidade máxima outorgável a partir da estimativa de vazões mínimas para uma baixa recorrência, e.g. $Q_{7,10}$. No entanto, regulamentações não apresentam definição de quais técnicas devem ser aplicadas para estimativa de recorrência. Neste trabalho, propõe-se uma análise da estimativa de recorrência de vazões mínimas de rios que drenam diferentes biomas, aplicando modelos de distribuição de probabilidades de Weibull e Generalizada de Valores Extremos. O trabalho apresenta também uma caracterização de estiagens, utilizando vazões específicas para permitir comparações. Os rios que apresentaram proporcionalmente à área condições de estiagem mais críticas foram o São Francisco na UHE Xingó e o Mucuri na UHE Santa Clara, enquanto que os que apresentaram estiagens mais amenas foram o rio Paraná na UHE Itaipú e o rio Grande em na UHE Águas Vermelhas.

Palavras-chave: vazões mínimas, caracterização de estiagens, modelos de distribuição de probabilidade.

Abstract: In order to minimize failures in water supply, the maximum amount of water right granting is usually established as a low flow that presents low risk of non-exceedance, e.g. $Q_{7,10}$. However, there is no formal definition of which techniques should be applied for estimating flow recurrence. In this paper, we assessed low flows' recurrence estimation in rivers that drain different biomes, via Weibull and Generalized Extreme Value probability distribution models. This paper also presents a drought comparison, using specific flow rates. Relative drought conditions were the most critical in São Francisco river at UHE Xingó and Mucuri river in UHE Santa Clara, while the Parana river at UHE Itaipu and Grande river at the UHE Águas Vermelhas showed relative milder droughts.

Keywords: low flows, drought comparison, probability distribution models.

1. Introdução

A água apresenta funções importantes na sociedade, que vão desde a manutenção da saúde pública e equilíbrio ecológico ao papel de recurso em atividades econômicas e recreativas. Nesse sentido, a busca por mecanismos eficientes para administrar seu uso é fundamental, sendo chave a correção na caracterização da disponibilidade hídrica. O gerenciamento de recursos hídricos encontra-se associado às estimativas de magnitude e frequência de ocorrência de eventos hidrológicos extremos.

A definição de limites de atendimento de demandas hídricas está atrelada ao estudo de vazões de referência, *i.e.*, vazões com alta garantia de ocorrência para minimizar falhas de abastecimento. A análise de vazões com alta garantia de atendimento envolve o estudo de vazões mínimas que, de acordo com o Glossário Internacional de Hidrologia (WMO, 1974), são vazões de um corpo d'água durante um período prolongado de estiagem.

Essa definição, conforme o exposto por Smakhtin (2001), não apresenta uma clara distinção entre as vazões mínimas e os períodos de estiagem: enquanto estes representam o escoamento resultante de períodos com menores precipitações acumuladas, aquelas representam os menores valores de cada ano.

A caracterização das estiagens mostra-se intimamente relacionada ao estudo de vazões mínimas, que segundo Silveira & Silveira (2001) merecem destaque nos estudos de disponibilidade hídrica por ser a disponibilidade de água considerada crítica para atender todas as demandas nos períodos de ocorrência destas vazões.

Nesse sentido, torna-se necessário identificar métodos adequados para a estimativa de recorrência de vazões mínimas. Os registros de vazões observadas para um determinado corpo d'água, todavia, geralmente são insuficientes para quantificar a frequência de eventos extremos de baixas vazões.

Desta forma, conforme o exposto por Smakhtin (2001), diversas funções de distribuição de probabilidades utilizadas para estimar recorrência além do limite observado: como a distribuição exata de probabilidades das menores vazões é, em termos práticos, desconhecida, busca-se identificar uma distribuição teórica que melhor se ajuste e quantificar os seus parâmetros. Esse procedimento envolve o ajuste das vazões mínimas observadas aos modelos teóricos, a fim de analisar estatística e graficamente qual modelo apresenta melhor ajuste aos dados.

Da importância do estudo das estiagens no país decorre a necessidade de identificar quais métodos servem à estimativa de recorrência das menores vazões, quando aplicado a dados de vazão de rios situados em diversas regiões do Brasil. O presente trabalho apresenta uma avaliação da qualidade do ajuste de modelos de probabilidade aos dados de vazões mínimas com o intuito de representar as estiagens, bem como, a caracterização de magnitude e frequência de estiagens em diferentes pontos do país.

2. Metodologia

O desenvolvimento do presente trabalho contou com as seguintes etapas:

- a) Preparação das séries de vazões mínimas anuais
- b) Estimação de parâmetros que permitam maior aproximação entre as funções de distribuição de probabilidades e os valores observados;
- c) Identificação e retirada de valores *outliers*, e seqüente obtenção de novos parâmetros;
- d) Estimação de vazão para tempos de retorno de 2, 5, 10 e 20 anos;
- e) Comparação entre estiagens a partir de dados padronizados.

Preparação das séries de dados

A fim de garantir uma menor dependência entre os dados, foi realizada a seleção de mínimas vazões diárias de cada ano hidrológico de seca, definido como uma defasagem de seis meses a partir do início do ano hidrológico de cheia, de acordo com o proposto por Gordon (2004).

Estimação de parâmetros

A verificação da magnitude e frequência de eventos de estiagem inicialmente foram aplicados aos dados de vazões mínimas anuais os modelos de probabilidade de Weibull e de Valores Extremos, explicitados respectivamente pelas fórmulas 1 e 2.

$$P(x \leq x_0) = ba^{-b}x^{b-1}e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^b} I_{(0,\infty)}(x) \quad (1)$$

$$P(x \leq x_0) = \sigma^{-1} \exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \exp\left(-\exp\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad (2)$$

Os parâmetros adotados para ambos os modelos foram ajustados a partir de funções disponibilizadas pelo programa MATLAB®, a partir do método de máxima verossimilhança.

As probabilidades empíricas, tomadas como referência, foram estimadas pela fórmula de posição de plotagem de Weibull, mostrada pela Fórmula 3, a seguir.

$$P(x \leq x_0) = \frac{i}{n+1} \quad (3)$$

A aplicação e análise de modelos foram também realizadas em ambiente MATLAB®. Foram elaborados gráficos de dispersão, diagramas de caixas e curva de probabilidade acumulada, a partir dos quais foi possível a análise preliminar do ajuste através da inspeção visual.

Identificação e retirada de valores discrepantes (*outliers*)

Dada a sensibilidade dos modelos de probabilidades a valores discrepantes, destaca-se a importância de considerar valores outliers, que podem representar tanto dados errado quanto eventos atípicos. Os dados foram assim considerados quando estavam situados acima do 3° quartil ou abaixo do 1° quartil a uma distância 1,5 vezes maior que o intervalo inter-quartil. Desta forma, em um segundo momento, estes valores foram retirados da amostra, e o ajuste feito para esse novo cenário, determinando-se novos parâmetros e confeccionando-se os gráficos de dispersão, diagramas de caixas e curva de probabilidade acumulada para esse novo ajuste.

Tempo de retorno e vazões específicas

Por fim, foram estimadas as estiagens para os tempos de recorrência de 2, 5, 10 e 20 anos. A comparação de estiagens entre rios foi realizada a partir das vazões específicas estimadas, padronizando-se suas magnitudes a partir da divisão pela área de drenagem contribuinte ao posto de medição de vazões, de maneira a apresentar os dados em termos de mm.dia^{-1} . Essa escolha é justificada pela necessidade de padronizar os dados de referência para a comparação das estiagens.

Aplicação

A metodologia acima exposta foi aplicada a postos localizados em rios brasileiros inseridos em diferentes biomas, estabelecidos onde atualmente se encontram usinas hidrelétricas:

- Xingó e Três Marias, no rio São Francisco;
- Santa Clara, no Rio Mucuri;
- Lajeado, no Rio Tocantins;
- Itaipú no Rio Paraná;
- Boa Esperança, no Rio Parnaíba e
- Água Vermelha, no Rio Grande.

Para os postos supracitados, foram selecionados 44 anos de dados de vazões naturais (1962-2005), obtidos do sítio eletrônico da ONS.

3. Descobertas e Discussões

A partir da inspeção visual dos gráficos de dispersão, da distribuição acumulada de probabilidades e dos diagramas de caixa foi possível observar que os modelos propostos ajustaram-se bem aos dados de vazão mínima dos postos observados, considerando como referência os ajustes apresentados em Tucci (2001).

Destaca-se para os resultados do Rio Parnaíba, na UHE de Boa Esperança, a ausência de valores discrepantes na série de dados. Nos gráficos 1 e 2 é possível observar a distribuição acumulada de probabilidades para o modelo de distribuição de Valores Extremos e de Weibull, respectivamente. É possível observar uma aproximação da curva ajustada aos pontos admitidos como referência, em azul.

Os gráficos 3 e 4 trazem os gráficos de dispersão para o modelo de distribuição de Valores Extremos e de Weibull, respectivamente. Através do diagrama de dispersão é possível representar simultaneamente os valores de duas variáveis: as vazões observadas de referência e as vazões obtidas através da função inversa dos ajustes propostos. A linha vermelha representa o cenário hipotético em que as vazões ajustadas seriam idênticas às vazões observadas e é tomada como referência para avaliar a qualidade do ajuste. É observado que, para ambos os ajustes, as vazões ajustadas referentes a uma determinada probabilidade de ocorrência aproximam-se das vazões observadas, principalmente para os valores centrais.

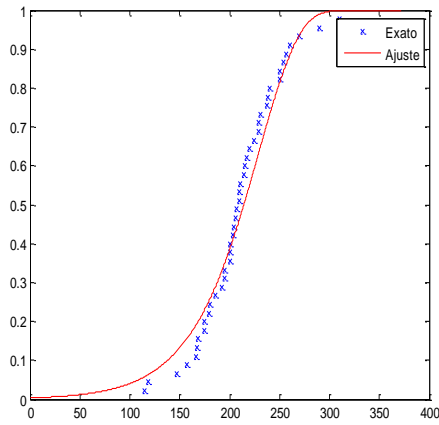


Gráfico 1. Distribuição Acumulada de Probabilidades para o modelo de distribuição de Valores Extremos, na UHE Boa Esperança.

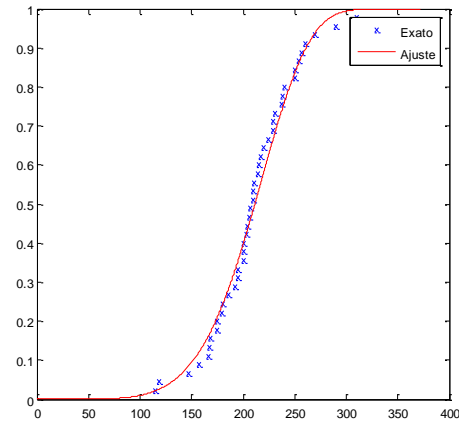


Gráfico 2. Distribuição Acumulada de Probabilidades para o modelo de distribuição de Weibull, na UHE Boa Esperança.

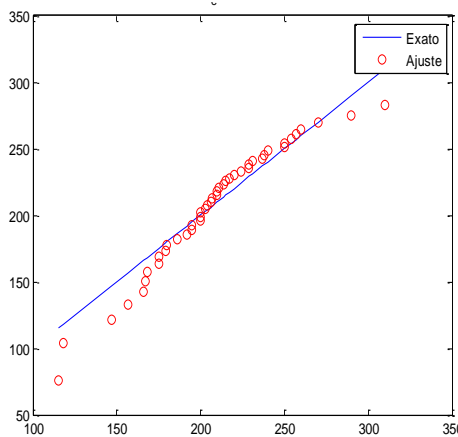


Gráfico 3. Gráfico de Dispersão para o modelo de distribuição de Valores Extremos na UHE Boa Esperança

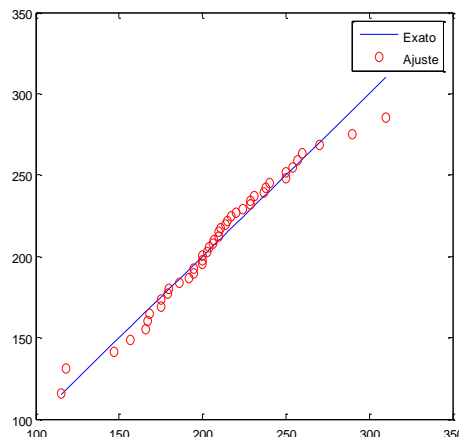


Gráfico 4. Gráfico de Dispersão para o modelo de distribuição de Weibull na UHE de Boa Esperança.

Já na UHE Água Vermelha, como mostra o Gráfico 5, foi observada a presença de outliers em sua série de dados. O gráfico de caixa representa um resumo eficiente do conjunto de dados, sendo possível detectar visualmente a presença de dados discrepantes.

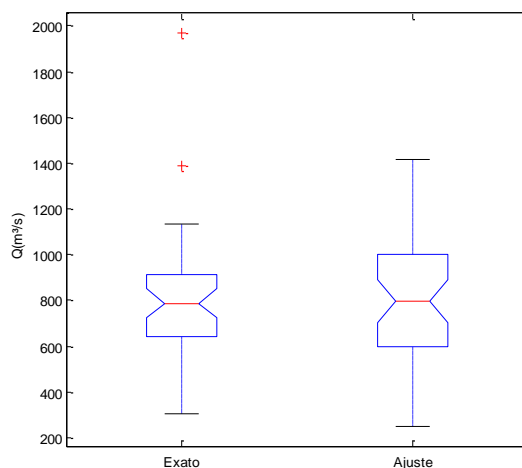


Gráfico 5. Gráfico de Dispersão para a UHE de Água Vermelha

Para ambas as distribuições de probabilidade aplicadas no presente estudo, foi perceptível uma maior aproximação do ajuste à referência adotada a partir da retirada dos outliers, conforme o mostrado nos gráficos 6 e 7, para o modelo de distribuição de Valores Extremos, e nos gráficos 8 e 9, referentes ao modelo de distribuição de Weibull.

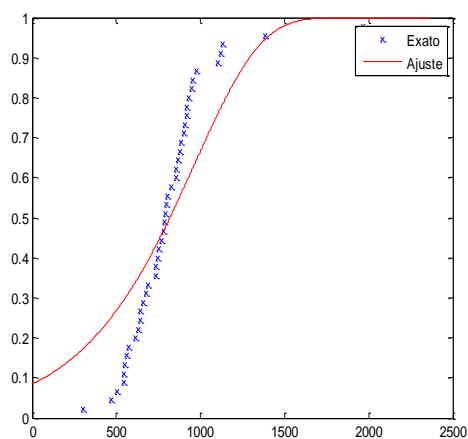


Gráfico 6. Gráfico de Dispersão para o modelo de distribuição de Valores Extremos considerando outliers, na UHE Águas Vermelhas.

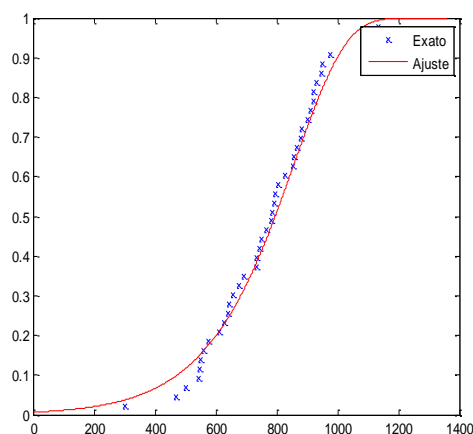


Gráfico 7. Gráfico de Dispersão para o modelo de distribuição de Valores Extremos ajustado sem outliers, na UHE Águas Vermelhas

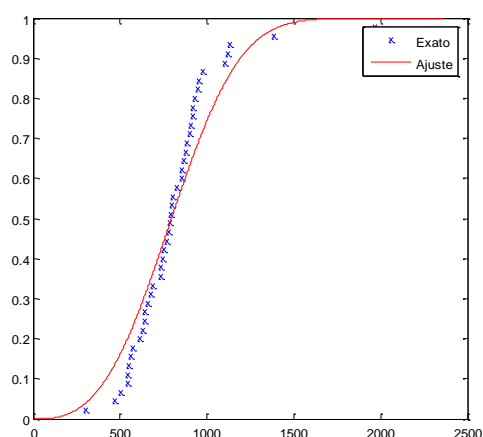


Gráfico 8. Gráfico de Dispersão para o modelo de distribuição de Weibull considerando outliers, na UHE Águas Vermelhas.

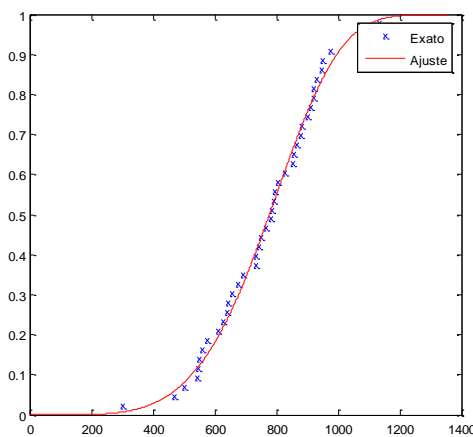


Gráfico 9. Gráfico de Dispersão para o modelo de distribuição de Weibull ajustado sem outliers, na UHE Águas Vermelhas.

As vazões específicas obtidas para o tempo de retorno de 2 anos, a partir dos ajustes sem os outliers, podem ser visualizados na tabela 1 para cada um dos postos, juntamente com as informações sobre o Rio, Bacia e Bioma no qual no qual está inserido e a área de drenagem do respectivo curso d'água.

Posto	Rio	Bacia	Bioma*	Area (km ²)	Q Específica Weibull (mm/dia)	Q Específica G.E.V. (mm/dia)
Lajeado	Tocantins	Tocantins	2, 4	183718	0,244	0,253
Boa Esperança	Parnaíba	Atlântico Norte	3	84966	0,215	0,218
Santa Clara	Mucuri	Atlântico Leste	1	14596	0,152	0,176
Três Marias	São Francisco	São Francisco	1,2	50732	0,229	0,245
Água Vermelha	Grande	Paraná	1,2	139437	0,481	0,492
Xingó	São Francisco	São Francisco	1,2,3	610544	0,119	0,123
Itaipú	Paraná	Paraná	1,2	823555	0,531	0,542

*Biomias: 1, Mata Atlântica ; 2, Cerrado; 3, Caatinga; 4, Amazonia

Ainda que satisfatórios, os dados de vazões específicas para tempos de retorno maiores apresentaram algumas inconsistências. O tempo de recorrência de 20 anos para o ajuste pela distribuição de valores extremos retornou vazões negativas para os postos de Três Marias e Santa Clara.

Este resultado pode indicar a necessidade de limitar o estudo para vazões de estiagens, em detrimento apenas da identificação de vazões mínimas anuais. Isso se deve ao fato de que, uma determinada vazão, apesar de ser a mínima diária no ano hidrológico de seca, pode não representar um evento de estiagem.

Os rios com condições mais críticas, proporcionalmente à área de drenagem, são o São Francisco na UHE Xingó e o rio Mucuri na UHE Santa Clara, enquanto os que apresentam condições menos críticas são o rio Paraná na UHE Itaipú e o rio Grande em Águas Vermelhas.

Os resultados expostos sugerem uma relação entre as condições de estiagem e o contexto do bioma no qual o rio em análise está inserido. Nesse sentido, destacam-se as vazões específicas obtidas para o rio São Francisco em dois pontos distintos: a UHE de Xingó, localizada na Caatinga brasileira, e a UHE de Três Marias, situada no bioma Cerrado. Apesar de situarem-se no mesmo rio, os postos encontram-se inseridos em biomas distintos, apresentando a UHE de Xingó condições de estiagem de cerca de duas vezes mais severa quando comparada a UHE de Três Marias.

4. Conclusões

Os modelos de distribuição de probabilidade de Weibull e de Valores Extremos apresentaram bons ajustes aos dados de vazões mínimas, exceto para eventos com menor frequência nos rios São Francisco na UHE Três Marias e Grande na UHE Águas Vermelhas.

A análise da interferência de dados discrepantes na qualidade dos resultados permitiu verificar que a exclusão dos valores outliers melhorou a qualidade do ajuste. Foi detectada a necessidade de estabelecer limites máximos para vazões de estiagem, visto que alguns dados de vazão mínima podem influenciar o estudo desse cenário para valores de maior interesse.

Os rios com condições mais críticas, proporcionalmente à área de drenagem, são o São Francisco na UHE Xingó e o rio Mucuri na UHE Santa Clara, enquanto os que apresentam condições menos críticas são o rio Paraná na UHE Itaipú e o rio Grande em Águas Vermelhas.

5. Referências

GORDON, Nancy D., Thomas A. McMahon, Brian L. Finlayson, Christopher J. Gippel e Rory J. Nathan. 2004. Stream hydrology: an introduction for ecologists. Chichester, West Sussex, England ; Hoboken, N.J., Wiley.

SILVEIRA, A. L. L. & SILVEIRA, G. L. Vazões mínimas. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2001. p. 125-164.

SMAKHTIN, V. U. **Low flow hydrology: a review**. Journal of Hydrology, 240, p. 147-186, 2001.

Tucci, C. E. M. Regionalização de vazões. In: Tucci, C. E. M. (Org.) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/UFRGS, 2001. p.573-620.

WMO: World Meteorological Organization, 1974. **International Glossary of Hydrology**, WMO, Geneva.