

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA DO RIO GRANDE NA UHE – ÁGUAS VERMELHAS

Carlos Alberto Inacio da Silva ¹; Benicio Emanuel Omena Monte ¹; Cledeilson Pereira Santos ¹;

Denis Duda Costa ¹; Christopher Freire Souza ²

RESUMO – O trabalho retrata as características hidrológicas do rio Grande, na seção da UHE-Águas Vermelhas, a partir da série de dados de vazões naturais reconstituídas. Tendo como objetivo a descrição do seu comportamento temporal. Para tanto se utilizou de índices estatísticos que auxiliaram na descrição da variabilidade da série de dados amostrais, e ainda o tempo de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, pois o estudo dessas magnitudes é de grande interesse para a previsão de desastres naturais, bem como para dimensionamento de grandes obras hidráulicas. Os resultados obtidos através do uso de métodos estatísticos permitiram as seguintes conclusões: as variáveis hidrológicas estudadas apresentaram uma variabilidade bem definida, seu comportamento foi homogêneo, visto que os dados provem de uma população com medianas iguais.

Palavras-Chave – Regime hidrológico, teste de homogeneidade, distribuição GEV e Weibull

ABSTRACT– This work shows the hydrological characteristics of the Rio Grande, in the section of UHE-Red Water, from the data set reconstructed natural flows. Aiming at the description of its temporal behavior. For that we used statistical indexes that helped to describe the variability of the series of sample data, and still recurrence time of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years, for the study of these magnitudes is of great interest to predict natural disasters, as well as for design of large hydraulic works. The results obtained through the use of statistical methods to the following conclusions: the hydrologic variables studied showed a well-defined variability, their behavior was homogeneous, since the data comes from a population with equal medians.

Keywords - hydrological regime, homogeneity test, the GEV distribution and Weibull

INTRODUÇÃO

A avaliação do regime hidrológico dos corpos hídricos constitui-se em um instrumento fundamental para o processo de gestão dos usos da água em bacias hidrográficas.

1) Mestrando em Recursos Hídricos e Saneamento: UFAL, Campus A. C. Simões - Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP:57072-900, (82) 3214-1861, albertufal@gmail.com; benicio_monte1@hotmail.com; cledeilson-ifs@hotmail.com; denisdudacosta@gmail.com

2) Professor Efetivo: UFAL, Campus A. C. Simões - Av. Lourival Melo Mota, s/n, Cidade Universitária - Maceió - AL, CEP:57072-900, (82) 3214-1860, christopher@ctec.ufal.br

No estudo hidrológico, algumas variáveis são de suma importância como a vazão, que varia temporalmente. Daí a necessidade da utilização de índices estatísticos para que se possa entender o comportamento hidrológico de um rio.

Dentre esses índices estatísticos mais importantes estão média, variância, os máximos e mínimos, principalmente no que tange vazões de cheia e estiagem que são de maior interesse à gestão. O conhecimento da magnitude e frequência dessas vazões é primordial no dimensionamento de sistemas hidráulicos e também como indicadores de prejuízos da sociedade.

A bacia hidrográfica do rio Grande, situada na região sudeste do Brasil, é uma bacia com grande potencial hídrico, caracterizada por boa variação de vazões entre os períodos de cheia e estiagem.

Com base neste enfoque se propõe com o presente trabalho, estudar o comportamento hidrológico do Rio Grande, na seção da UHE-Águas Vermelhas, a partir dos dados de vazões naturais reconstituídas. Para tanto, aplicou-se uma análise exploratória dos dados, teste de homogeneidade e seleção e ajuste de modelos de distribuição de probabilidades.

METODOLOGIA

A Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG) situa-se na Região Sudeste do Brasil na Região Hidrográfica do Paraná que, em conjunto com as Regiões Hidrográficas Paraguai e Uruguai, compõem a Bacia do Prata. A bacia abrange área de drenagem de 143.437,79 km², dos quais 57.092,36 km² (39,80%) encontram-se dentro do Estado de São Paulo e 86.345,43 km² (60,20%) no Estado de Minas Gerais, como se pode visualizar na figura 1.

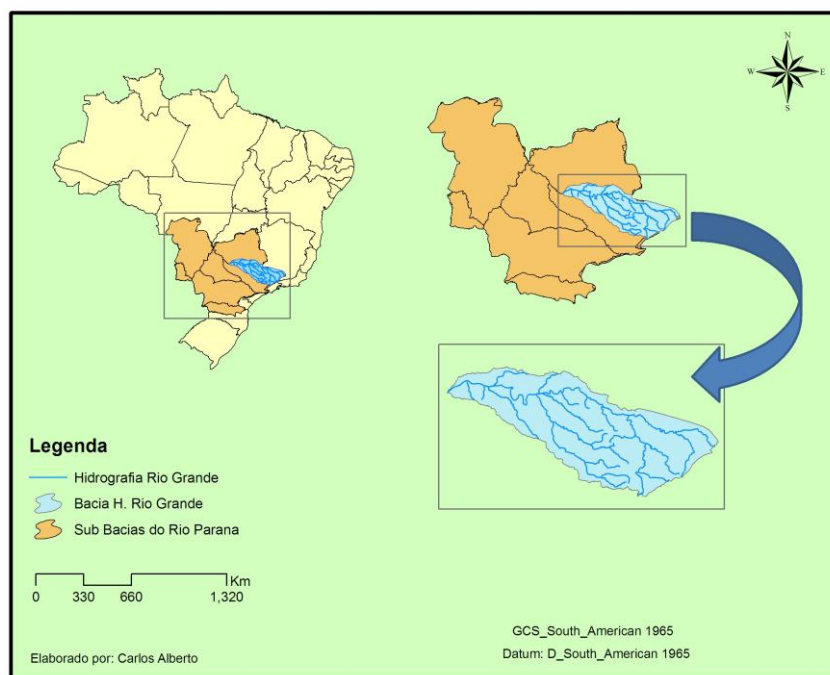


Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Grande.

Para realização do estudo, foram analisados os dados de vazão natural reconstituída do rio Grande do período dos anos de 1962 a 2005 do ano hidrológico de cheia e estiagem, disponibilizados pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

Foram utilizados os dados de vazão máxima e mínima anual da bacia hidrográfica do rio Grande, em m³/s, a partir da definição de anos hidrológicos, respectivamente, de cheia e de estiagem. Para definição do início do ano hidrológico de cheia, identificou-se o mês com maior recorrência de mínima vazão diária, enquanto que para ano hidrológico de estiagem, seis meses de defasagem em relação ao primeiro.

A hipótese de homogeneidade foi testada através do teste da soma dos postos de Wilcoxon, que usa os postos de dados amostrais de duas populações independentes, consideradas neste como as duas metades da série. O teste consiste em testar a hipótese nula de que duas amostras independentes provêm de populações com medianas iguais. A hipótese alternativa é a afirmativa de que as duas populações têm medianas diferentes, conforme Triola (2008).

A estatística de teste dessa inferência é dada pela seguinte equação:

$$z = \frac{R - \mu_R}{\sigma_R} \quad (1)$$

$$\mu_R = \frac{n_1 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{2} \quad (2)$$

$$\sigma_R = \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{12}} \quad (3)$$

onde:

n_1 = tamanho da amostra para a qual se encontrou a soma R dos postos;

n_2 = tamanho da outra amostra;

R = soma dos postos da amostra de tamanho n_1 .

O ajuste das distribuições aos dados observados seu deu através do método da máxima verossimilhança (MVS) que, segundo Naghettini e Pinto (2007), é considerado mais eficiente que o método dos momentos e o de mínimos quadrados porque produz os estimadores de menor variância.

As magnitudes dos eventos de cheia e estiagem com 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos de recorrência foram estimados para caracterizar o regime quanto a cheias e estiagens.

As distribuições utilizadas para caracterizar o escoamento a partir dos dados observados foram à distribuição GEV e a distribuição de Weibull. A distribuição GEV é uma distribuição que reúne três distribuições assintóticas de valores extremos numa mesma função, a partir de três parâmetros: forma (Θ_3), escala (Θ_1) e posição (Θ_2) Naghettini e Pinto (2007).

A função de probabilidades acumuladas da distribuição GEV é obtida através da equação:

$$P(y \leq y_0) = e^{-\left[1 - \theta_3 \frac{y_0 - \theta_2}{\theta_1}\right]^{-\frac{1}{\theta_3}}} \quad (4)$$

Para o caso de valores mínimos, utilizou-se a distribuição Weibull que refere-se a forma assintótica limite para um conjunto de N variáveis aleatórias originais, são independentes e igualmente distribuídas conforme um modelo $FX(x)$ de cauda inferior limitada Naghettini e Pinto (2007).

A função de probabilidades acumuladas da distribuição de Weibull é:

$$F_z(z) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{z}{\beta}\right)^\alpha\right] \text{ para } z \geq 0, \beta \geq 0 \text{ e } \alpha > 0 \quad (5)$$

A posição de plotagem que corresponde às probabilidades empíricas foi usada para avaliar o ajuste de modelos teóricos de distribuição de probabilidades à magnitude dos eventos de cheia e estiagem, sendo representadas pelas equações de Gringorten, para vazões máximas e a de Weibull para vazões mínimas, seguindo Naghettini e Pinto (2007).

Equação de Gringorten:

$$q_i = \frac{i - 0,44}{n + 0,12} \quad (6)$$

Equação de Weibull :

$$q_i = \frac{i}{n + 1} \quad (7)$$

Para atestar se as distribuições se ajustaram de forma eficaz aos dados observados, usou-se o teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, que apresenta como base a máxima diferença entre as funções de probabilidades acumuladas, empíricas e teóricas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise exploratória dos dados

A análise exploratória dos dados permitiu a observação preliminar dos dados amostrais. O boxplot (gráfico de caixa) foi o método gráfico utilizado para avaliar a distribuição empírica dos dados. O estudo do boxplot foi utilizado para verificar a presença de outliers tanto para eventos de cheia e estiagem, havendo a presença como se comportará os ajustes das distribuições aos dados e também o teste de aderência.

Para o comportamento hidrológico das vazões máximas do Rio Grande, UHE - Águas Vermelhas foi observado que o valor da mediana foi de 6.150 m³/s (figura 2), sendo 5.244 m³/s o 1º quartil e 7.438 m³/s o 3º quartil.

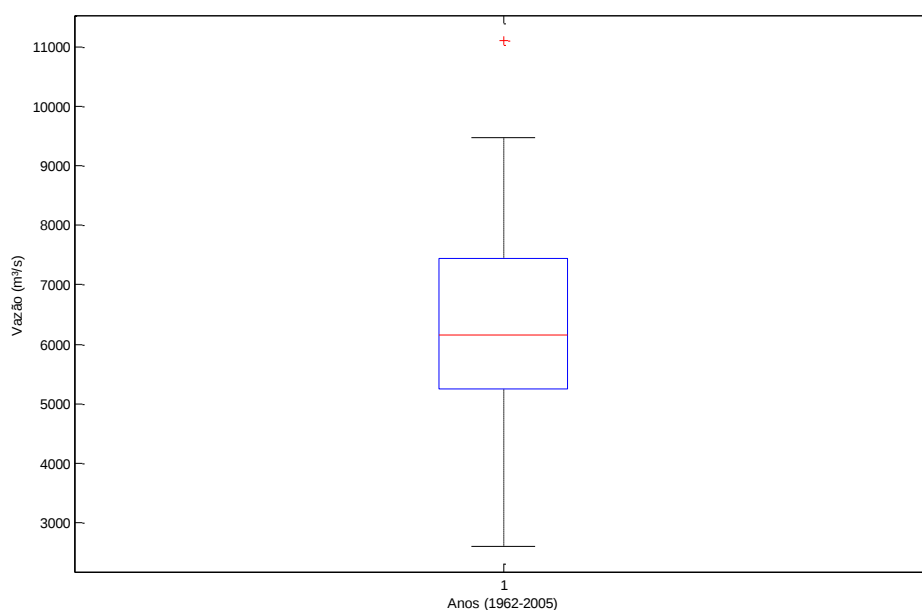


Figura 2 – Diagrama de caixa das vazões máximas anuais na UHE - Águas Vermelhas

Para as vazões mínimas (figura 3), a mediana teve valor igual a 789 m³/s, e o 1º e 3º quartis tiveram valores iguais a 643 m³/s e 915 m³/s.

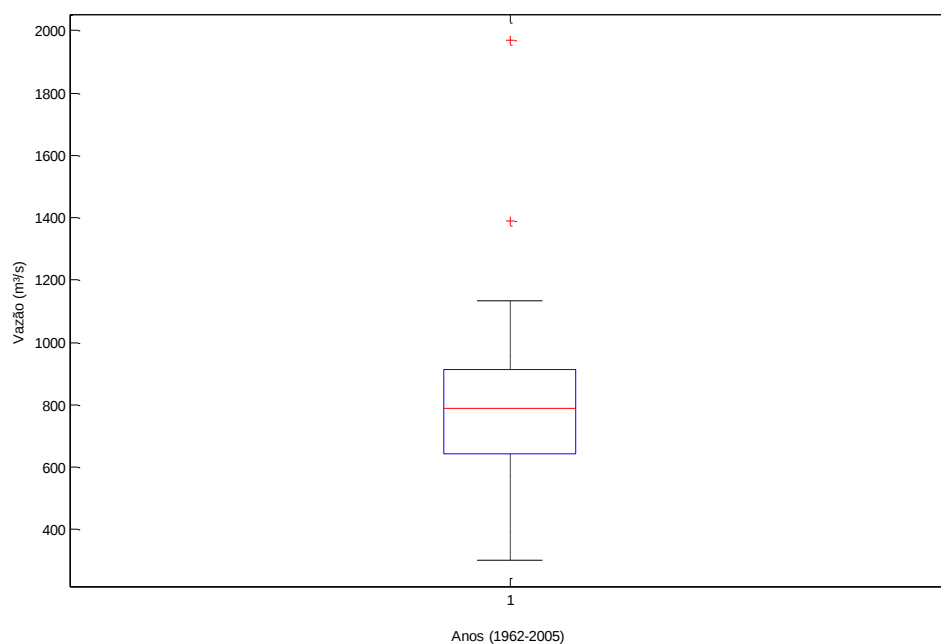


Figura 3 – Diagrama de caixa das vazões mínimas anuais na UHE - Águas Vermelhas

A figura 3 apresenta a variabilidade temporal da serie de vazões máximas, médias e mínimas mensais anuais, da estação de UHE – Águas Vermelhas no período que compreende os anos de 1962 a 2005. Percebe-se que as vazões seguem um comportamento regular, com uma sazonalidade bem definida. Para o ano hidrológico de cheia seu inicio se dá no mês de Setembro se estendendo até Fevereiro e o de estiagem (Março-Agosto).

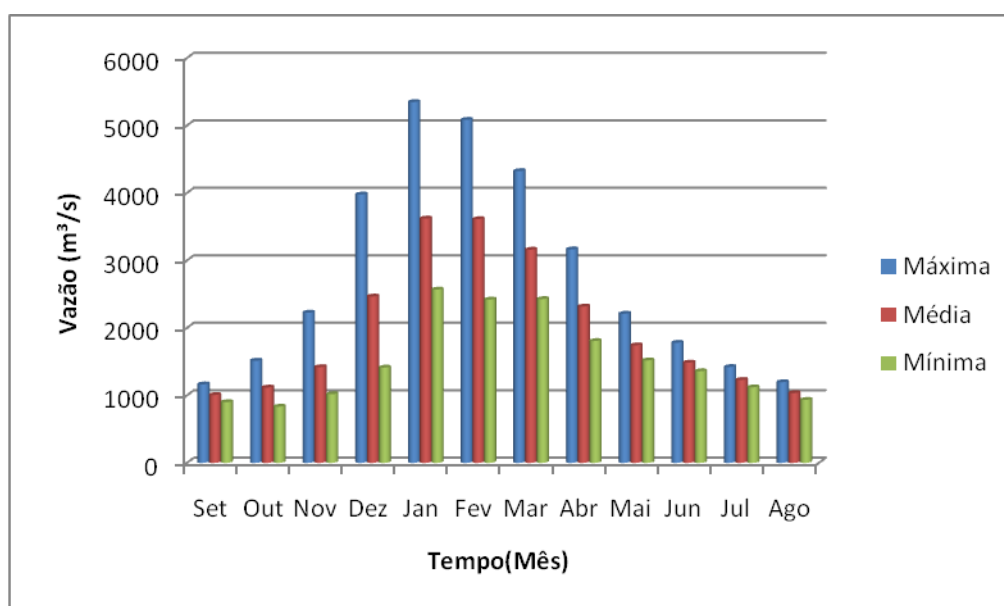


Figura 3 – Variabilidade temporal das vazões na UHE - Águas Vermelhas

Teste da hipótese de homogeneidade

O teste de homogeneidade de Wilcoxon resultou em valor de probabilidade (valor P) de 0.8973 para não rejeitar a hipótese de homogeneidade das medianas de vazões máximas.

Conforme a figura 4 fica evidente que o valor da estatística de teste z , ficou fora da região crítica, evidenciando assim que todos os elementos da amostra provem do mesmo posto e de uma única população, e que não houve alteração significativa no comportamento da bacia para as vazões máximas.

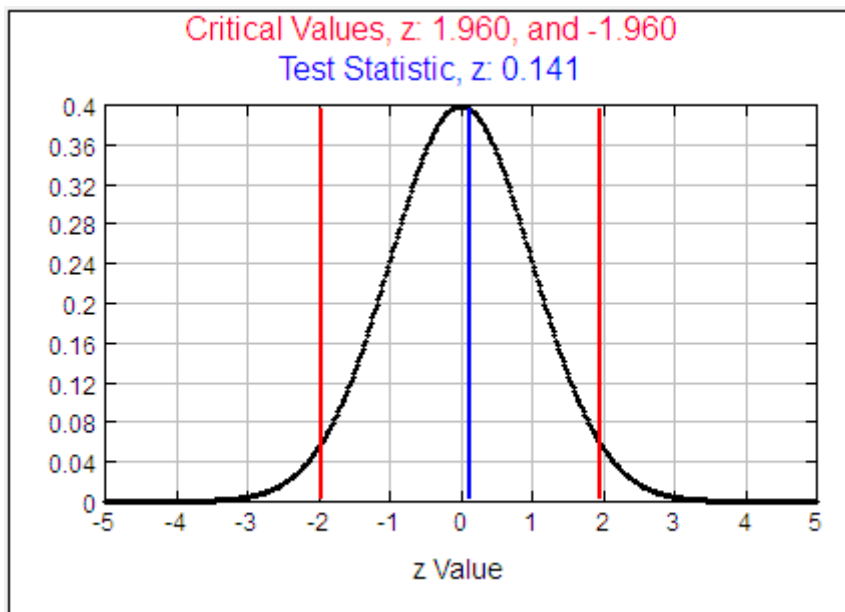


Figura 4 - Gráfico da Estatística de Teste z e Região Crítica.

Quanto às vazões mínimas, pode-se observar a não rejeição da hipótese nula de que as amostras provem de populações de mesma mediana, isso se deve ao fato de que a estatística de teste caiu fora da região crítica, como exemplificado na figura 5.

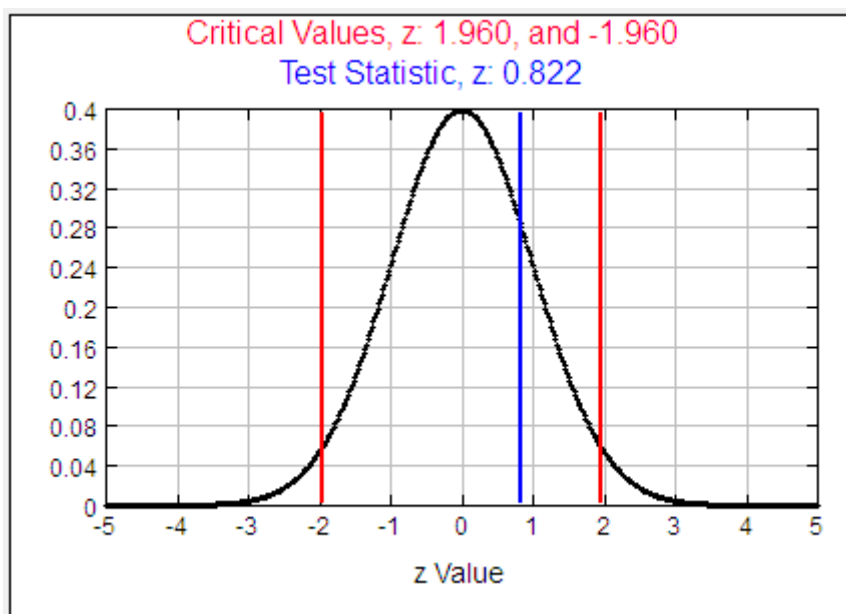


Figura 5 - Gráfico da Estatística de Teste z e Região Crítica.

Tempo de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos para os períodos de cheia e estiagem para rio Grande, UHE - Águas vermelhas.

A afirmação da não rejeição da hipótese nula por falta de evidências suficientes mostra que as distribuições tenderam a uma boa aderência para os dados observados tanto nas vazões máximas quanto nas mínimas.

Para os tempos de recorrência voltados para valores máximos observou-se que os parâmetros de forma, escala e posição, tenderam há um bom ajuste para recorrências analisadas.

Os eventos extremos com tempo de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, estimados pela distribuição de Valores Extremos generalizados (GEV), têm magnitudes estimadas em 6,195 m³/s, 7,754 m³/s, 8,632 m³/s, 9,594 m³/s, 10,760 m³/s, respectivamente, para o ajuste observado na figura 8.

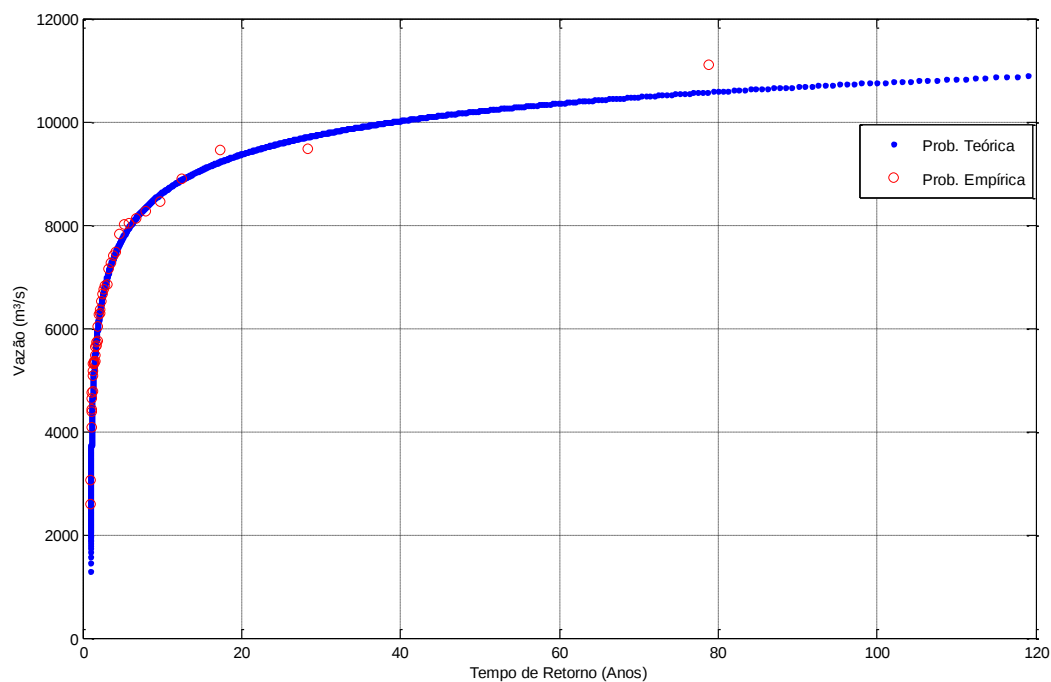


Figura 6 - Tempo de Retorno das Cheias estimadas pela distribuição GEV.

Para as vazões mínimas, as magnitudes para os tempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos foram estimadas pela distribuição Weibull, com valores, respectivamente, de 795,9 m³/s, 542,6 m³/s, 421 m³/s, 305,5 m³/s, 240,9 m³/s e 190,2 m³/s, com ajuste apresentado na figura 9.

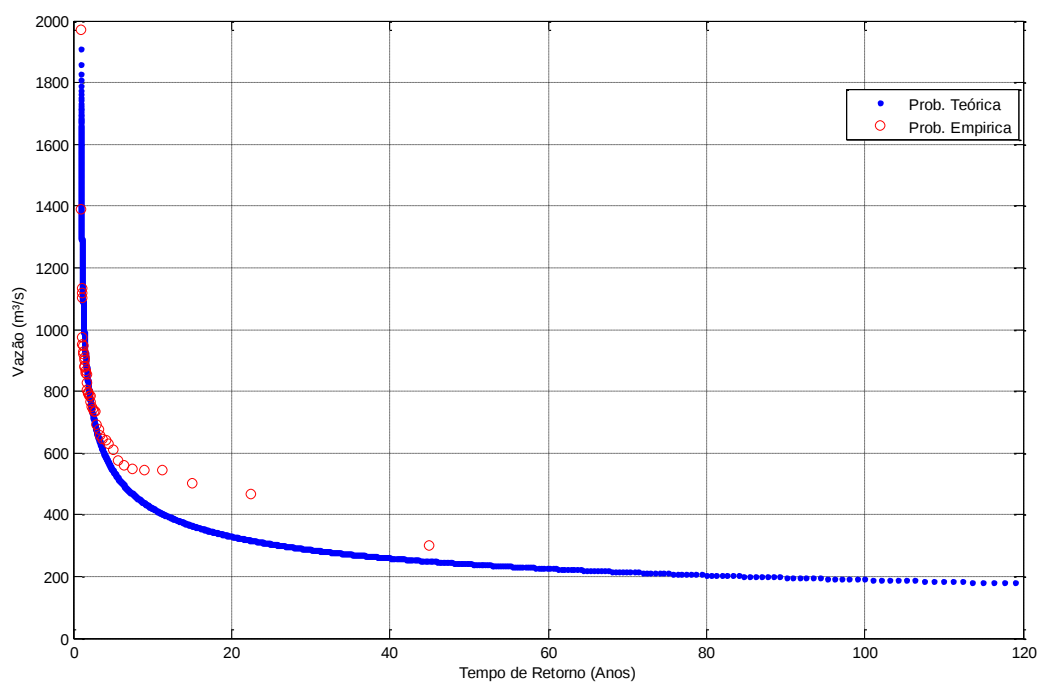


Figura 7 - Tempo de Retorno das Cheias estimadas pela distribuição GEV.

Os parâmetros de forma, escala e posição da distribuição GEV foram obtidos pelo método da máxima verossimilhança, para os valores mínimos, parâmetro de forma e escala também foram adquiridos pelo método da máxima verossimilhança.

Os parâmetros estimados pelo método da Máxima Verossimilhança (MVS) são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros das Distribuições das distribuições GEV e Weibull

Distribuição	Forma	Escala	Posição
GEV (Q _{máx})	-0.0002	1.6096	5.6226
WEIBULL (Q _{mín})	901.0387	2.9576	

A análise da aderência via teste de Komogorov-Smirnov, resultou em bom ajuste aos dados. Na tabela 2 são observados os valores da estatística de teste, valor crítico e valor de (P), para as vazões máximas e mínimas, usando a distribuição GEV e Weibull, respectivamente.

Tabela 2 - Teste de Aderência de Kolmogorov-Smirnov para as distribuições GEV e Weibull

Distribuição	Estatística de Teste	Valor Crítico	Valor de (P)	Nível de Significância
GEV	0.0803	0.2006	0.9172	$\alpha = 0,05$
Weibull	0.1731	0.2006	0.1270	$\alpha = 0,05$

Observa-se que os valores de (P) ficaram acima do valor de significância, tanto para o ajuste da distribuição GEV, quanto para a Weibull.

CONCLUSÕES

Os resultados comprovaram que o comportamento do Rio Grande é caracterizado por um período sazonal bem definido, visto que para o ano hidrológico de cheia, observa-se seu início no mês de setembro, alcançando seu maior pico no mês de janeiro e para o ano hidrológico de estiagem variando entre os meses de março a agosto.

Os ajustes dos modelos de distribuição de probabilidade de Weibull e de Valores Extremos Generalizados (GEV), em geral, aproximaram-se dos observados, como constatado pelo teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov demonstrando que não há diferença significativa a um nível α

de probabilidade de 5 % entre os valores observados e os teóricos das distribuições GEV e Weibull, e que houve aderência adequada dos dados observados aos do modelo teórico.

Para um tempo de recorrência de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos, observaram-se as magnitudes distribuídas tanto para eventos de cheia, percebe-se que enquanto aumenta o tempo de recorrência houve um aumento das vazões máximas e para eventos de estiagem houve um decréscimo, enquanto aumenta o tempo de recorrência diminui as vazões mínimas, como podemos observar pelo cálculo das equações de Gringorten e Weibull.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento (PPGRHS), da UFAL e a CAPES, pela viabilização do artigo.

Este artigo se insere no âmbito da disciplinada Estatística Aplicada, usando dados de vazões reconstituídas e suas aplicações em estudos do comportamento hidrológico do rio Grande, na UHE-Águas Vermelhas”. Os autores agradecem a todas as instituições mencionadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, *Diagnóstico da situação dos recursos hídricos na Bacia Hidrográfica do Rio Grande (BHRG)* – SP/MG (Relatório Síntese – R3) – São Paulo - Março de 2008.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J.A. *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 1º ed. 552 p.

ONS. *Séries Históricas de Vazões*. 2007, disponível em: http://www.ons.org.br/operacao/vazoes_naturais.aspx

TRIOLA, M. F. *Introdução a Estatística*. Traduzido por Vera Regina de Farias e Flores, revisão técnica Ana Maria Lima de Farias. -10 ed.- Rio de Janeiro: LCT,2008.