

# VOLUME DE PROTEÇÃO E CONTROLE DE CHEIAS EM RESERVATÓRIOS

MANOEL MOISÉS F. DE QUEIROZ<sup>1</sup>, RODRIGO A. ALMEIDA<sup>2</sup>, AGNALDO P. PRETI<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Prof. Dr. Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Rua Universitária, 2069 Cx.Postal 711 - Cascavel, PR, Brasil.. CEP 85814-110. Fone: (45) 3220-3262 E-mail: [mfqueiroz@unioeste.br](mailto:mfqueiroz@unioeste.br)

<sup>2</sup> Acadêmico, Engenharia Civil, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE, Cascavel – PR.

<sup>3</sup> Mestrando, Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel – PR.

**Escrito para apresentação no**

**XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola**

**31 de julho a 4 de agosto de 2006 – João Pessoa - PB**

**RESUMO:** Existe conflito na utilização de reservatórios para controle de cheias e usos múltiplo da água, principalmente para a geração de energia elétrica. Para controlar cheias é necessário um volume vazio capaz de absorver uma eventual cheia sem causar danos nas áreas à jusante. Por outro lado, para gerar energia é desejável alocar o menor volume de proteção possível, ao passo que para controlar cheias é desejável ter uma estimativa confiável da possibilidade do reservatório falhar quando um dado volume de proteção é alocado. O objetivo deste trabalho foi construir a Curva Volume x Duração, empregada para estimar volume de espera, através do ajuste das séries de volumes máximos afluentes usando a distribuição GEV e momentos LH. Foram usados volumes afluentes observados em várias estações fluviométricas de rios do estado do Paraná. Todos os ajustes dos volumes máximos afluentes foram aceitos através do teste de qualidade de ajuste proposto por Wang (1998) com 5 % de significância. A curva Volume x Duração foi adequadamente construída usando valores de volumes máximos afluentes observados em diferentes estações fluviométricas do Paraná.

**PALAVRAS-CHAVE:** curva volume duração, distribuição gev, momentos lh

## **PROTECTION VOLUME AND CONTROL OF FLOODS IN RESERVOIR**

**ABSTRACT:** There is a clear conflict between the reservoir utilization for control and use multiple of the water mainly for electric power generation. In order to control the floods, it is necessary to predict the availability of empty reservoir volumes, capable of absorbing some inflow parcels, to avoid or reduce the damage caused to the downstream area. From an energy standpoint, it is desirable to allocate the smallest possible protection volume, while from a flood control standpoint, it is desirable to have a reliable estimate of the possibility of the reservoir failing to control a flood when a given protection volume is allocated. The objective of this work was to obtain the Curve Volume x Duration using maximum inflow with different duration fitted by GEV distribution and LH moments used to estimate the protection volume in reservoir. They were used maximum affluent volumes of the Paraná Rivers recorded in various gauges. All the fit of the maximum affluent volumes was agree by the approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moments by WANG (1998) with 5% significance level. The Curve Volume x Duration was build appropriately using affluent volumes observed on gauges of the Paraná State.

**KEYWORDS:** curve volume duration, gev distribution, lh moments

**INTRODUÇÃO:** Para reservatórios de usos múltiplos, há certo conflito quanto à manutenção de determinado volume de espera e dos volumes de água armazenados para regularização de vazões, objetivando a maximização dos benefícios resultantes dos recursos hídricos disponíveis. Após estabelecido o período seco de um determinado ano, tem-se naturalmente um volume de espera, em geral, suficiente para amortecer eventuais ondas cheias. Por outro lado, durante o período úmido, após a reposição do déficit de água há o risco do reservatório não ter condições de amortecer convenientemente uma possível cheia. Assim, a operação de reservatórios sob o aspecto do aproveitamento para usos múltiplos é forçada a considerar esses propósitos e controlar cheias, que são conflitantes do ponto de vista operacional. Pois, para garantir os usos múltiplos mantém-se o reservatório o mais cheio possível, enquanto para controlar cheias é necessário conservar o reservatório vazio para garantir espaço capaz de absorver grandes volumes afluentes decorrentes de cheias severas. O controle de enchentes a jusante do reservatório, a segurança da barragem e um nível adequado de água no reservatório para seus usos múltiplos, podem ser alcançados criando-se um volume de espera destinado a amortecer cheias extremas. Assim o volume de espera associado à capacidade do vertedouro, dimensionado com base na análise de frequência de eventos extremos, sob um certo risco assumido, determinam a confiabilidade do sistema. A estimação de volumes de espera em reservatórios, com base em registros históricos de cheias máximas tem sido feita, usando o método curva volume duração (Beard, 1963). Têm ocorrido dificuldades no ajuste dos dados decorrentes das variações amostrais e na obtenção da forma da curva. Neste trabalho utilizou-se a distribuição GEV associada a momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens mais elevadas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Para construção das séries de volumes afluentes máximos com diferentes durações, foram utilizadas as séries de vazões média diária observadas em estações fluviométricas de rios das sub-bacias 64, 65 (Bacia do Paraná), 81 e 83 (Bacia do Atlântico Sul) como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 Estações fluviométricas consideradas\*.

Sub-bacia	Código	Nome	Rio	UF	Município	Resp.	Período
64	64370000	Andirá	Rio da Cinzas	PR	Andirá	ANA	65 ANOS
64	64390000	Porto Sta Terezinha	Rio Laranjinha	PR	Santa Mariana	ANA	58 ANOS
64	64465000	Tibagi	Rio Tibagi	PR	Tibagi	ANA	66 ANOS
64	64507000	Jataizinho	Rio Tibagi	PR	Jataizinho	SUDERHSA	65 ANOS
64	64620000	Rio dos Patos	Rio dos Patos	PR	Prudentópolis	ANA	66 ANOS
64	64790000	Salto Sapucaí	Rio Sapucaí	PR	Iguatu	ANA	31 ANOS
64	64843000	Guairá	Rio Parana	PR	Guaira	ANA	73 ANOS
65	65035000	Porto Amazonas	Rio Iguaçu	PR	P. Amazonas	ANA	63 ANOS
65	65060000	São Mateus do Sul	Rio Iguaçu	PR	São M. do Sul	ANA	68 ANOS
65	65100000	Rio Negro	Rio Negro	PR	Rio Negro	ANA	68 ANOS
65	65155000	São Bento	Rio da Varzea	PR	Lapa	ANA	68 ANOS
81	81125000	Turvo	Rio Santana	PR	Rio B. do Sul	ANA	51 ANOS
81	81135000	Balsa do Cerro Azul	Rio R. do Iguape	PR	Cerro Azul	ANA	64 ANOS
82	82170000	Morretes	R Nhundiaquara	PR	Morretes	ANA	59 ANOS

Agencia Nacional de Águas ([www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br))

Método da Curva Volume x Duração se baseia no cálculo dos volumes afluentes acumulados num período correspondente a duração da cheia, onde relaciona-se cada intervalo de tempo com a duração “d” de dias consecutivos com o máximo volume afluente neste período, dado pela equação:

$$va(d) = \max_{0 < t < h-d+1} \sum_{j=0}^{d-1} [q(t+j)\Delta t] \quad (1)$$

em que:

$va(d)$  = máximo volume afluente para a duração de “d” dias ( $hm^3$ );  $d$  = duração em dias;  $q(t + j)$  = vazão média diária no dia  $(t + j)$ ;  $\Delta t$  = intervalo de discretização do tempo (1 dia = 86.400s);  $h$  = número de dias da estação chuvosa e  $t$  = dia.

A partir da série histórica de vazões naturais médias diárias e admitindo uma vazão defluente máxima que não cause danos a jusante (descarga de restrição), pode-se definir, para o período chuvoso de cada ano hidrológico, o volume vazio necessário para absorver cheias com qualquer duração. Este volume, denominado volume de espera, pode ser representado pela seguinte expressão:

$$ve(i) = \max [(va(d) - d.qr.\Delta t)], \quad d = 1, 2, 3, \dots, h \quad (2)$$

em que:

$ve(i)$  = volume de espera para o período chuvoso do ano hidrológico ( $hm^3$ ) e  $qr$  = descarga de restrição ( $hm^3$ ). Os passos anteriores são repetidos para cada ano, referente ao período chuvoso, da série histórica, sendo o volume de espera a ser adotado dado por:

$$ve = \max [ve(i), i = 1, \dots, m] \quad (3)$$

em que,  $m$  é o número de séries do histórico.

A duração associada a este volume é chamada duração crítica. A Curva Volume X Duração baseada no histórico é apresentada na Figura 1. A partir da série histórica, amostras de eventos máximos de várias durações são ajustadas a uma distribuição de probabilidades, neste caso a distribuição GEV, para cada duração de “d” dias, construindo-se a curva volume x duração associada a uma probabilidade “p” fixa de emergência

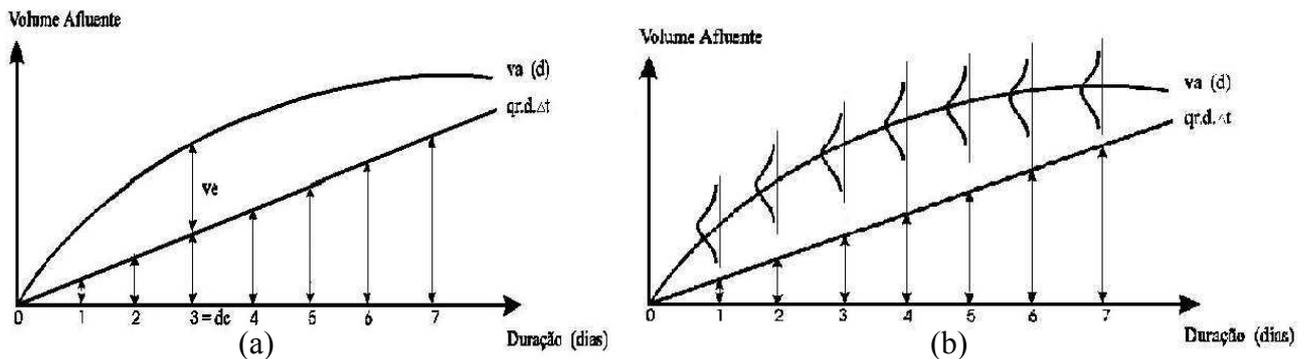


Figura 1: (a) Curva volume x duração e (b) Volume x duração associada a uma probabilidade “p” fixa de emergência.

A função de distribuição generalizada de valores extremos – GEV, que engloba as três formas assintóticas de distribuição de valores extremos conhecidas como valor extremo do tipo I (VEI), valor extremo do tipo II (VEII) e valor extremo do tipo III (VEIII) é definida, segundo Jenkinson (1955), como segue:

$$F(x) = P(X \leq x) = \exp \left[ - \left( 1 - k \frac{x - u}{\alpha} \right)^{\frac{1}{k}} \right] \quad (4)$$

onde  $u$  é um parâmetro de posicionamento com  $-\infty < u < +\infty$ ,  $\alpha$  é um parâmetro de escala com  $0 < \alpha < +\infty$  e  $k$  é um parâmetro de forma com  $-\infty < k < +\infty$ . Quando o parâmetro  $k$  se aproxima de zero a equação (4) converge para a distribuição Gumbel. Os parâmetros  $k$ ,  $\alpha$  e  $u$  foram ajustados usando os momentos de combinações lineares das estatísticas de ordens mais elevadas - momentos LH (Wang, 1997) e a qualidade dos ajustes foi verificada através do teste estatístico proposto por Wang (1998). Para tanto, utilizaram-se procedimentos em ambiente computacional Matlab desenvolvidos por Queiroz (2002).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os ajustes da distribuição GEV as séries de volumes afluentes máximos para cada duração foram adequadamente ajustadas, conforme teste de Wang, com 5% de significância, resultando nas três formas de valores extremos. Foram obtidas as curvas volume X duração ajustadas aos valores de volumes afluentes máximos obtidos através do ajuste da GEV para períodos de retornos de 20, 30, 50, 100, 150 e 200 anos referentes às estações fluviométricas da Tabela 1. A Figura 1 mostra as curvas para 20 e 50 anos de recorrência referente à Estação 64370000.

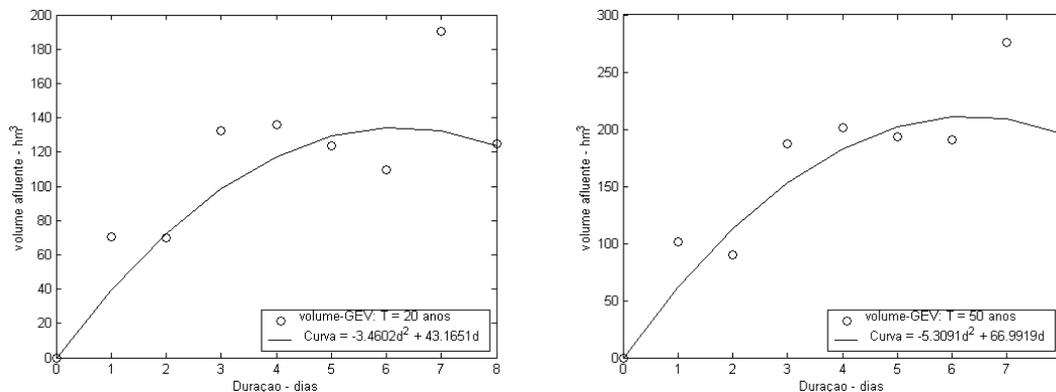


Figura 2: Curva volume duração para 20 e 50 anos de recorrência referente à Estação 64370000

Os valores de volumes afluentes máximos associados aos diferentes valores de períodos de retorno obtidos através de seus respectivos ajustes da distribuição GEV possibilitaram estimar a curva volume duração na sua forma quadrática sem ter que recorrer a procedimentos de interpolação usualmente empregados. Das estações estudadas, apenas uma não resultou em uma curva quadrática como estabelece a teoria. Para obter o volume de espera que deve ser alocado no reservatório, há necessidade de estabelecer a vazão de restrição. Como o estudo foi realizado em estações fluviométricas não foi possível estabelecer o volume de espera em cada caso. Buscou-se estimar a curva volume duração em várias situações para verificar a adequabilidade do emprego da distribuição GEV associada a momentos LH na obtenção da referida curva na sua forma quadrática sem ter que recorrer a artifícios de interpolação.

**CONCLUSÃO:** Os volumes afluentes máximos para as diferentes durações foram adequadamente ajustados através da distribuição GEV, com nível de significância de 5% segundo o teste estatístico proposto por WANG (1998). Com o uso da distribuição GEV foi possível estabelecer, para a maioria das estações fluviométricas estudadas, a curva volume x duração, de forma adequada, obtendo ajuste matemático dos valores de volumes afluentes máximos associados a um determinado período de retorno, para diferentes durações de cheias, na forma quadrática como estabelecido na sua metodologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BEARD, L. R., *Flood Control Operation of Reservoir*. In: Journal of the Hydraulics Division, ASCE, v. 89, Proc. Paper 3380, p. 1-23, 1963.
- JENKINSON, A. F. (1955). *The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) of meteorological elements*. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v.81, p.158-171.
- QUEIROZ, M. M. F. de (2002). *Análise de Cheias Anuais Segundo Distribuição Generalizada*. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos.
- WANG, Q. J. (1997). *LH moments for statistical analysis of extreme events*. Water Resour. Res., v.33, n.12, p.2841-2848.
- WANG, Q.J. (1998). *Approximate goodness-of-fit test of fitted generalized extreme value distribution using LH moments*. Water Resou. Res, v.34, n.12, p.3497-3502.