DOI 10.21168/rega.v13n2.p99-109

Atualização de cota maximorum do reservatório Orós

Study of update of quota maximorum the Orós reservoir

Submetido em: 13/02/16
Revisado em: 21/06/16
Aprovado em: 26/08/16

Thomas Lívio Santos Coelho
José Nilson Bezera Campos
Luciana Kamila Rodrigues Ferreira Coelho
Fabio Eduardo Franco Rodrigues Ferreira

RESUMO: O artigo apresenta um estudo de atualização de cota máxima maximorum (CMM) do reservatório Orós, com critérios atualmente vigentes. Utilizou-se uma série histórica recente e aplicaram-se modernos programas estatísticos. Foram testadas oito funções de probabilidade: Weibull três e dois parâmetros, logística, normal, gama, lognormal, menores valores extremos e maiores valores extremos. O desempenho dessas funções foi avaliado pelo método de Anderson Darling (AD) e pela estatística P- valor. A distribuição do Weibull de três parâmetros foi selecionada como a de melhor da série histórica. Obteve-se, com a distribuição Weibul-3, a CMM igual a 207,6 metros. Esse valor está sessenta centímetros acima da estabelecida pelo projeto original do DNOCS da década de 1950. Apesar do pequeno incremento da CMM, os efeitos da atualização proposta, podem representar uma grande ampliação da área de preservação permanente do reservatório, a qual foi definida na Lei Federal nº 12.651/2012 (Novo Código Florestal) como função da CMM.

Palavras-chave: Distribuição de probabilidade, Segurança hidrológica, Eventos extremos, Área de preservação permanente.

ABSTRACT: The article presents a study of the maximum maximorum water level (CMM) of Orós reservoir, with currently prevailing criteria. We used a recent historic series and applied modern statistical software. Eight probability functions were tested: three and two parameters Weibull, logistic, normal, gamma, lognormal, smaller extreme values and largest extreme values. The performance of these functions was evaluated by the method of Anderson Darling (AD) and the statistic P-value. The three-parameter Weibull distribution has been selected as the best historical series. It was obtained, with the distribution-3, CMM Weibul equal to 207.6 m. This value is 60 cm above the quota established by Orós original project, of the Decade of 1950. Despite the small increase in CMM, the effects of the proposed can result in a large increasing in Permanent Preservation Area (APP), defined in Federal Law 12.651/2012.

Keywords: Probability distribution, Hydrological safety, Extreme events, Permanent preservation area.

INTRODUÇÃO

O conhecimento da cota máxima maximorum (CMM) de um reservatório, geralmente estabelecida na fase de projeto, é indispensável para fixar a cota do coroamento e, também, para a definição dos limites das áreas de proteção ambiental (APPs). Nos termos da Lei 12.651/2012, as APPs são formadas pela área entre a CMM e a cota máxima operativa normal do reservatório.

Em reservatórios projetados e construídos há décadas, as CMMs foram estabelecidas com métodos empíricos, como a Fórmula do Engenheiro Aguiar em reservatórios do Nordeste (Campos, 2009), ou com métodos estatísticos simplificados aplicados a séries de curtas durações. Esses métodos, muitas vezes, são incompatíveis com o atual estágio do conhecimento científico. Nesses casos, faz-se necessário realizar estudos hidrológicos de atualização das CMMs, suportados por séries históricas de atualizadas e mais

longas. As novas estimativas podem proporcionar valores mais objetivos e confiáveis para a CMM.

Para calcular a CMM foram pesquisadas as séries históricas de níveis do reservatório Orós. Foram aplicados métodos estatísticos para verificar se as funções de probabilidade descrevem bem a série histórica.

Foram avaliadas oito funções densidade de probabilidade (fdp) para modelar a série histórica Dentre as oito fdps, foi selecionada a de melhor ajuste utilizando-se o critério de Anderson Darling-AD (1952). Selecionada a fdp, estimou-se a cota do nível de água decamilenar, como representativa da CMM.

A atualização da CMM propicia elementos para definir e limitar a APP do reservatório nos termos do Novo Código Florestal e com a utilização de métodos científicos atualmente praticados.

Observe-se que, embora o novo Código Florestal estabeleça os parâmetros a considerar na definição da APP, não explicita os métodos matemáticos e estatísticos que devem ser utilizados na estimativa desses parâmetros. Nesse ponto, esse artigo inova ao propor, e aplicar, uma metodologia de cálculo das cotas para definir a APPs.

O método foi aplicado para atualizar a CMM do açude presidente Juscelino Kubitschek, (Orós-CE), construído em 1960, com o projeto de meados da década de 1950.

REVISÃO DA LITERATURA

Apresenta-se nessa seção os estudos recentes que trataram de métodos estatísticos para definir e escolher uma função densidade de probabilidade (fdp) que descrevem eventos raros de fenômenos hidrológicos e climáticos. Os estudos são apresentados em ordem cronológica e cobrem o período de 2004 a 2015. A pesquisa foi feita nas bases *Scielo, Web of Science* e Google Acadêmico.

Silva e Clarke (2004) analisaram estatisticamente os eventos de chuvas intensas em 218 postos na bacia do rio São Francisco. Para a obtenção da distribuição mais adequada às séries históricas estudadas, os autores utilizaram o método de *Hoskinge Wallis* (1997), que se baseia no método dos Momentos-L. Foram testadas as distribuições de Gumbel e a distribuição Generalizada de Valores Extremos (GEV). Os autores não obtiveram boa aderência para a função Gumbel. A função GEV teve um bom desempenho para representar as chuvas intensas da região.

Lyra et al. (2006) estudando séries de 25 estações climatológicas com tamanho entre 24 e 62 anos do Estado de Táchira, Venezuela. Os autores identificaram regiões homogêneas, em relação à sazonalidade das chuvas mensais e verificaram o ajuste das séries históricas às distribuições gama, Gumbel, normal, lognormal de três parâmetros e Weibull. Os parâmetros das distribuições foram estimados pelo método da verossimilhança. A aderência às distribuições avaliada com o método quiquadrado (χ^2). As distribuições de melhor aderência foram a gama e a normal.

Sansigolo (2008) estudou eventos anuais de temperatura máxima e mínima absoluta, precipitações máximas diárias e velocidades instantâneas do vento em Piracicaba, São Paulo. A aderência foi avaliada com os testes de Kolmogorov-Smirnov (KS) e χ^2. Os parâmetros das fdps foram estimados pelo método da verossimilhança. As distribuições utilizadas foram a normal, Gumbel, Fréchet, Weibull, lognormal e Pearson III. Para os valores de extremos de precipitações máximas diárias e de temperaturas máximas absolutas, a função Gumbel apresentou melhor ajuste. Os valores de temperaturas mínimas absolutas foram satisfatoriamente modelados pela distribuição normal devido à simetria dos valores. As velocidades instantâneas dos ventos foram melhor ajustadas pela distribuição de Weibull. As demais distribuições não apresentaram resultados satisfatórios para nenhuma das variáveis estudadas.

Aragão et al. (2013) estudaram as precipitações máximas diárias em 48 postos pluviométricos do estado de Sergipe. Foram testadas as distribuições de Weibull e Gumbel. Os autores utilizaram o método K-S para verificar e selecionar a fdp de melhor ajuste às chuvas intensas observadas, e concluíram que a fdp Weibull representa melhor os eventos de chuvas extremas no estado de Sergipe.

Watanabe (2013) realizou uma análise teórica e comparativa, entre a distribuições Log-normal II, Log-normal III, Pearson III, Log-Pearson III e Gumbel com o objetivo de avaliar a validade do modelo de Gumbel em determinar vazões de dimensionamento de vertedouros. Os autores concluíram que as distribuições de dois parâmetros, como Gumbel e lognormal II, são mais estáveis que as de três parâmetros.

Campos et al. (2014), com a aplicação de simulação Monte Carlo, estudaram a variável aleatória volume anual regularizado no reservatório Castanhão, no estado do Ceará. Os autores geraram séries sintéticas de volumes afluentes anuais, e fizeram a operação simulada do reservatório. Os autores testaram as distribuições de probabilidade gama, lognormal e normal. Com a aplicação da estatística AD, a função gama foi selecionada como a que melhor descreve a variável volume anual regularizado.

Franco et al. (2014) avaliaram dados de precipitações máximas diárias de oito postos pluviométricos na bacia do rio Verde em Minas Gerais. Foram pesquisadas as fdps Gumbel, gama e GEV. O estudo de aderência foi feito pelos métodos KS, AD, χ^2 e Filliben. Os resultados apontaram a função GEV com a de melhor aderência aos dados observados.

As chuvas diárias máximas de 29 localidades no estado do Paraná foram estudadas por Kist e Virgens Filho (2015). Foram avaliadas as fdps exponencial, gama, Weibull, lognormal, Pareto generalizada e exponencial mista. A partir dos testes de aderência AD e χ^2, os resultados apontaram a distribuição exponencial mista como a de melhor aderência. Em seguida, vieram as distribuições gama e Weibull.

Beskow et al. (2015) realizaram uma avaliação do desempenho de distribuições de probabilidade multiparâmetros Generalizada de Valores Extremos (GEV) e Kappa, em relação aos modelos estatísticos de Gumbel e lognormal, para o estado do Rio Grande do Sul. Os parâmetros das distribuições foram calculados pelo método dos Momentos-L. Foram utilizados 342 postos pluviométricos com séries de chuvas diárias de, no mínimo, dez anos. Os parâmetros das distribuições foram obtidos com o software, Sistema de Aquisição de Dados Hidrológicos e Análise (SYHDA). Foram utilizados os testes de aderência de KS, χ^2, AD e teste de Filliben, com nível de significância de 5%. Os autores identificaram que o teste de aderência AD foi o melhor por ser mais restritivo que os demais para as séries históricas estudadas. A distribuição Kappa foi a de melhor ajuste, seguida pela GEV, embora as demais também tenham obtidos resultados satisfatórios.

Caldeira et al. (2015) estudaram as precipitações máximas diárias de 342 estações no Estado do Rio Grande do Sul. Os autores avaliaram as fdps lognormal de 2 e 3 parâmetros e Gumbel. Os ajustes foram testados com as estatísticas KS e χ^2. O estudo concluiu que a lognormal III é a que melhor descreve a precipitação máxima diária na região.

ÁREA DO ESTUDO

Para fins de gestão de águas, a bacia do rio Jaguaribe foi dividida em cinco regiões hidrográficas: Salgado, Banabuiú, Alto Jaguaribe, Médio Jaguaribe e Baixo Jaguaribe. O açude Presidente Juscelino Kubitscheck, mais conhecido por Orós, segundo maior de Ceará, localiza-se no Alto Jaguaribe, no limite com o médio Jaguaribe, conforme Figura 1. (CEARÁ, 2009).

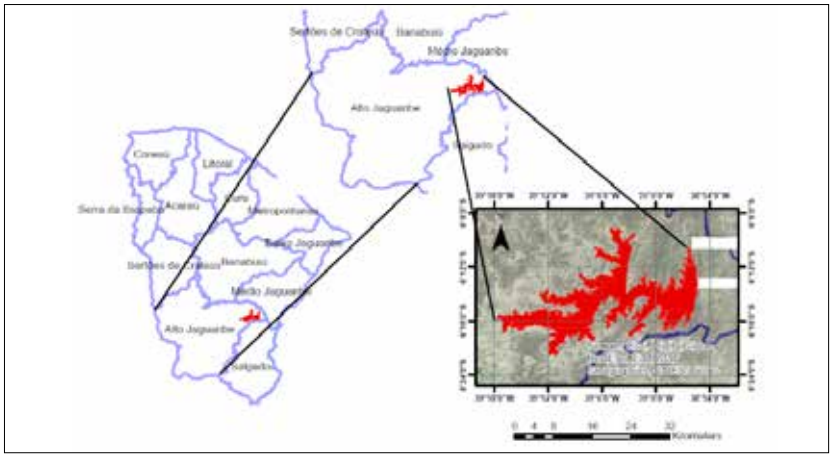

Figura 1 - Bacia do alto Jaguaribe e açude Orós

O alto rio Jaguaribe, desenvolve-se por 325 km das nascentes até o boqueirão do Orós. Os principais afluentes neste trecho são Carrapateiras, Puiú, Trici, Cariús, Jucás, Trussu, riacho da Conceição e Condado. O lago do Orós cobre áreas dos municípios de Iguatu, Quixelô e Orós, e encontra-se a cerca de 340 km de Fortaleza.

A construção da barragem iniciou durante a seca de 1958. No início de 1960, os trabalhos se desenvolviam em ritmo intenso, com 24 horas por dia. Porém, em decorrência de fortes chuvas, o reservatório encheu mais rapidamente do que esperavam os engenheiros da obra. Em consequência, aos 17 minutos do dia 26 de março, o maciço de terra foi transbordado. Foram destruídos 877.500 m^3 do maciço, que já alcançava 2.000.000 de m^3. (DNOCS, 2016).

As obras foram retomadas em ritmo intenso e a obra foi concluída 1961. O reservatório tem capacidade de 1.940.000.000 m^3, controla cerca de 24.000 km^2 de bacia hidrográfica e regulariza uma vazão de 20,40 m^3/s. Os principais usos são o abastecimento humano, a irrigação, piscicultura e a recreação. (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011).

O Alto Jaguaribe apresenta heterogeneidade tanto em relação a distribuição espaço-temporal das chuvas quanto ao regime de escoamento. A área apresenta relevo moderadamente movimentado com predominância das unidades geomorfológicas dos maciços residuais e da depressão sertaneja.

Cerca de 80% da área apresenta declividade inferior a 15°, contudo, algumas áreas isoladas apresentam declividades superiores a 30°. Em função da natureza geológica e geomorfológica da região, o potencial de águas superficiais é bem mais relevante do que o potencial hidrogeológico. (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011)

O clima da região pode ser definido como tropical quente semiárido. O regime de chuvas é irregular, e existe um acentuado déficit hídrico durante oito meses do ano. Neste contexto, as ações antrópicas como, desmatamento, alteração do relevo, plantio de culturas, pequenas barragens e drenagens, entre outras, alteram a dinâmica das águas. (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ/SRH/COGERH, 2011)

DADOS E MÉTODOS

Nesta seção, apresenta-se a descrição dos dados coletados e, em seguida, da metodologia aplicada para a atualização da CMM. A sequência utilizada consistiu em coletar, analisar e formar uma série consistente e escolher as fdps candidatas a descrever o fenômeno em análise. Utiliza-se a cota de período de retorno de 10.000 anos como representativa da CMM.

Dados

Os dados foram coletados na Companhia de Gerenciamento de Recursos Hídricos – Ceará - COGERH, a qual disponibilizou séries históricas dos níveis das águas e vazões medidas diariamente na operação do reservatório. A série compreende o período de 1978 a 1981 e de 1986 a 2014.

Foram coletados também a séries histórica de níveis junto ao DNOCS, cobrindo o período de 1961 a 2014. As duas séries foram analisadas em termos de consistência e formou-se uma série de cotas máximas anuais para o período de 1961 a 2014. Os anos com valores inconsistentes foram retirados (Tabela 1).

Método de atualização da CMM

Para determinar a fdp que melhor descreve os valores empíricos da série de níveis de água foram selecionadas: Weibull de 2 e 3 parâmetros, menores valores extremos, Weibull, logística, normal, gama, lognormal e maiores valores extremos.

Para avaliar a hipótese de rejeição, ou aceitação, de uma determinada fdp como descritora da série histórica, utilizou-se o nível de significância de 5% (α = 0,05), avaliado pelo P-valor. Também foi avaliado o valor crítico de AD para as fdps em análise. Para selecionar a fdp a ser utilizada para obtenção da CMM utilizaram-se os critérios de menor AD e de maior P-valor.

Teste de aderência

Para avaliar a hipótese de rejeição, ou aceitação, de uma determinada fdp como descritora da série histórica, utilizou-se o nível de significância de 5% (α). Isto é, se o P-valor for menor que 0,05, então

Tabela 1 - Cotas Máximas Anuais de 1974 e 1978 à 2014

Cotas Máximas Anuais - Açude Orós, Período: 1974 e 1978 à 2014			
Mês/Ano	Cota (m)	Mês/Ano	Cota (m)
xxx/74	204,94	jun/96	196,39
mai/78	200,31	mai/97	199,15
mai/79	199,02	abr/98	196,76
mar/80	200,74	mai/99	192,92
abr/81	202,04	mai/00	193,68
jun/82	197,03	jan/01	189,86
jan/83	194,15	mai/02	186,51
jun/84	198,05	mai/03	189,45
xxx/85	204,28	fev/04	201,52
abr/86	201,87	jan/05	197,87
abr/87	200,78	mai/06	197,53
abr/88	200,91	mai/07	197,34
abr/89	202,76	abr/08	200,88
jan/90	200,03	mai/09	201,27
mai/91	197,53	mai/10	198,37
abr/92	196,48	mai/11	200,58
jan/93	193,08	abr/12	199,08
jul/94	188,12	jan/13	196,42
jun/95	194,42	mai/14	195,16

rejeita-se a hipótese de que a amostra pertence à distribuição testada.

Adicionalmente, testou-se o valor crítico de AD. as distribuições possuem valores críticos de acordo com o nível de significância. Para a normal e a lognormal, e nível de significância de 5%, o AD crítico é dado por 0,752. Para as distribuições Weibull dois parâmetros e máximos valores esperados o AD crítico é 0,758. Para as demais distribuições não há valor específico calculado, recomenda-se usar 0,752 (Naghettini e Pinto, 2007).

Seleção da fdp de melhor ajuste

A seleção da fdp de melhor ajuste foi feita com a ajuda do software Minitab17. A série histórica é ajustada às fdps teóricas. O Minitab calcula os parâmetros das distribuições, faz o gráfico do ajuste, com o intervalo de confiança de 95%, e estima os valores de AD e valor-P.

Há dois critérios que podem ser aplicados complementarmente. Geralmente, admite-se que quanto menor AD, melhor o ajuste. O segundo critério, recomendado pelo Minitab, é o maior P-valor. Contudo, nem sempre o P-valor pode ser calculado. Se os valores de AD são próximos, recorre-se ao P-valor. O inverso se os P-valores são próximos.

Estimativa da CMM

Com os valores dos parâmetros das distribuições, calculados pelo Minitab, estima-se, utilizando-se a função inversa de probabilidade, para uma frequência 0,9999 (corresponde ao período de retorno de 10.000 anos.

RESULTADOS

A série histórica de cotas máximas

Formou-se a série histórica final de cotas máximas anuais do açude Orós (Ver Figura 2). Essa série de 38 anos, apresentada na tabela 1, fundamentará o cálculo do processo estatístico de estimativa de nível d'água decamilenar.

Apesar da inserção do valor do ano de 1974 produzir uma quebra na série histórica, foi identificado que a não inclusão dos anos de 1975, 1976 e 1977, não causariam prejuízos ao estudo, pois foi observado que entre o ano de 1974 e o ano de 1978, não houve nenhum vertimento, assim os valores de cotas desses três anos não representam valores extremos para a série e portanto o fato desses valores não estarem contidos na série, não provocam alterações negativas ou subdimensionam a modelagem estatística de atualização de cota máxima maximorum.

Análise de adequação das distribuições à série histórica

Apresentam-se, a seguir, as análises do ajuste da série histórica às fdps candidatas.

Distribuição Normal

Os ajustes da série de cotas à distribuição normal são apresentados da figura 3. Visualmente, trata-se de um bom ajuste. As estatísticas obtidas foram: P-valor = 0,096 (maior do que 0,05), AD = 0,625. Considerando-se um nível de significância de 0,05, pode-se concluir que não há evidências estatísticas que possam rejeitar a hipótese de que a série empírica pertence a uma população normal.

O valor AD = 0,625, menor do que o valor crítico de 0,752, conduz à mesma decisão: não há evidências que permitam rejeitar a hipótese de que a série pertence a uma distribuição normal.

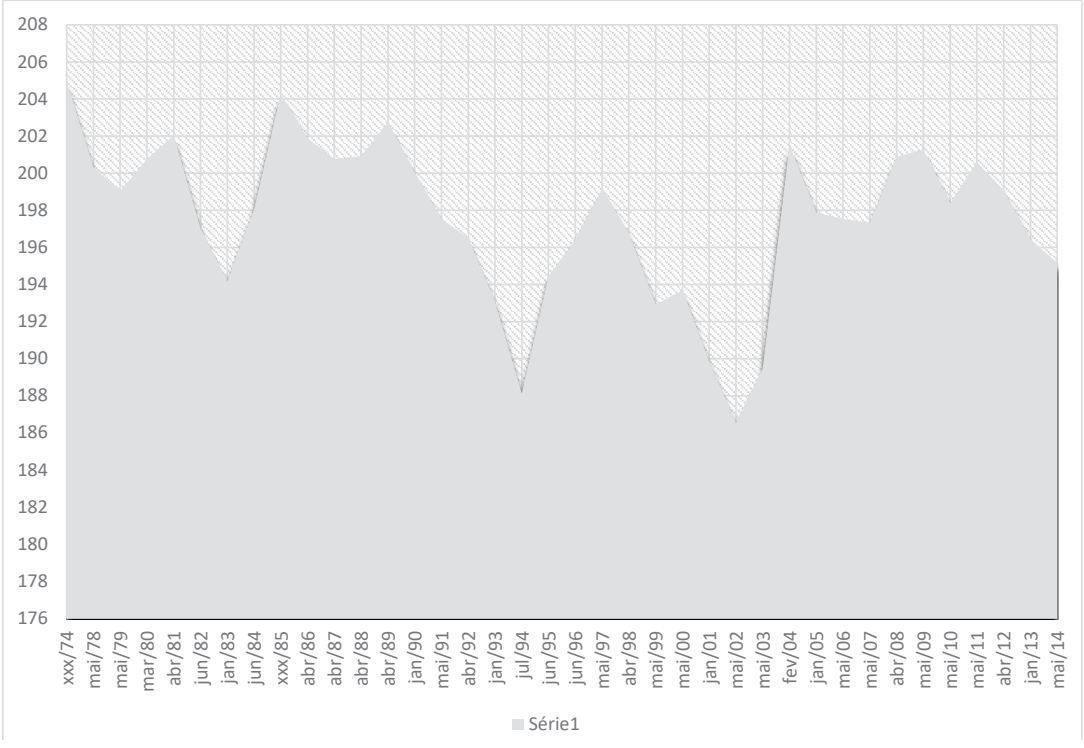

Figura 2 - Cotas máximas anuais 1974, 1978 à 2014

Distribuição Gama

A figura 3, quadro inferior à esquerda, apresenta a aderência da série à distribuição gama. Visualmente, trata-se de um bom ajuste.

O P-valor, igual a 0,085, é superior a 0,05, portanto, não há evidências estatísticas que permitam rejeitar a hipótese que os dados são oriundos de uma população gama.

O valor de AD, igual a 0,667, é inferior ao valor crítico (0,752). Portanto, o teste AD corrobora os a decisão do teste do P-valor.

Distribuição Lognormal

A figura 3 (quadro superior, esquerdo) mostra o ajuste à distribuição lognormal. Aparentemente, trata-se de um bom ajuste. Obtiveram-se as seguintes estatísticas: P-valor = 0,068 (maior do que 0,05); AD = 0,684 (menor do que 0,752).

Em ambos os casos, pode-se concluir que não há evidências estatísticas de os dados empíricos não sejam oriundos da distribuição lognormal.

Distribuição Valores Extremos Máximos

A figura 3 (quadro inferior direito) apresenta o ajuste da série empírica à distribuição valores extremos máximos. Observam-se muitos valores fora dos limites de confiança, o que aponta para um mau ajuste. Obtiveram-se as estatísticas: P-valor = 0,01 (menor do que 0,05); AD = 1,730 (maior do que 0,758). A conclusão, em ambos os testes, é que se rejeita a hipótese que os dados pertencem a uma população valores extremos máximos.

Distribuição Logística

A figura 4 (quadro inferior direito) mostra o ajuste dos dados à distribuição logística. Aparentemente, trata-se de um bom ajuste. As estatísticas obtidas foram: P-valor = 0,211 (maior do que 0,05); AD 0,458 (menor do que 0,752). Em ambos os casos, pode-se concluir que não há evidência estatísticas par rejeitar a hipótese que a amostra de cotas não pertence a uma distribuição logística.

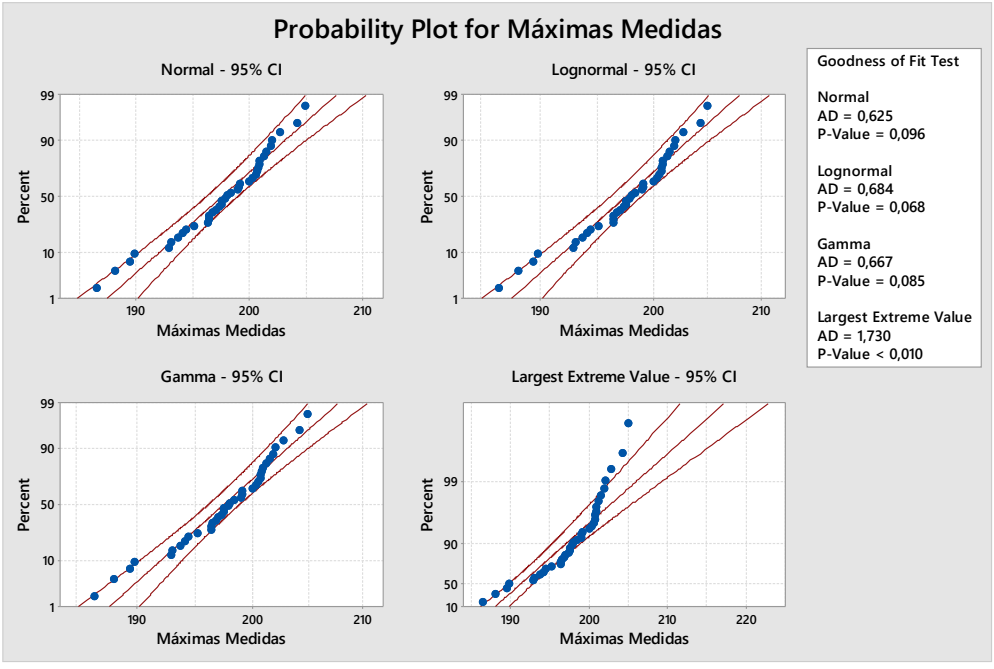

Figura 3 – Ajuste da série de níveis do reservatório Orós às distribuições normal, gama, lognormal e maiores valores extremos

Distribuição Menores Valores Extremos

A figura 4 (quadro inferior esquerdo) mostra o ajuste dos dados à distribuição menores valores extremos. Trata-se, visualmente, de um bom ajuste. As estatísticas obtidas foram: P-valor = 0,250 (maior do que 0,05); AD = 0,177 (menor do que 0,752). Em ambos os teste não há evidência estatísticas para rejeitar a hipótese que a amostra de cotas não pertence a uma distribuição menores valores extremos.

Distribuição Weibull 2 Parâmetros

A figura 4 (quadro superior direito) mostra o ajuste dos dados à distribuição Weibull 2 parâmetros. Visualmente, há bom ajuste. As estatísticas obtidas foram: P-valor = 0,250 (maior do que 0,05); AD = 0,179 (menor do que 0,758). Em ambos os testes, não há evidência estatísticas para rejeitar a hipótese que a amostra de cotas não pertence a uma Weibull de 2 parâmetros.

Distribuição Weibull 3 parâmetros

A figura 4 (quadro superior esquerdo) mostra o ajuste dos dados à distribuição Weibull 3 parâmetros. Visualmente, há bom ajuste. As estatísticas obtidas foram: P-valor = 0,500 (maior do que 0,05); AD = 0,187 (menor do que 0,752). Em ambos os testes, não há evidência estatísticas para rejeitar a hipótese que a amostra de cotas não pertence a uma Weibull de 3 parâmetros.

Síntese: a seleção da fdp

A tabela 2 apresenta todos os valores de AD e P-valor. Observa-se que apenas uma distribuição, a máximos valores extremo, a hipótese de aderência das séries históricas foi rejeitada. Assim, passa-se à etapa seguinte: entre as sete que passaram no teste de aderência, seleciona uma para representar a variável aleatória cota máxima anual do nível do reservatório.

Para selecionar a melhor *fdp*, temos dois possíveis critérios: 1) o mínimo valor de AD, 2) o maior *valor-p*.

No critério menor AD, a função menores valores extremos, com 0,177, apresenta, e o menor valor, seria a escolhida. Porém, a função Weibull 3 parâmetros apresenta AD igual a 0,181 ligeiramente maior do que a função menores valores extremos. É legítimo afirmar que os dois valores são estatisticamente

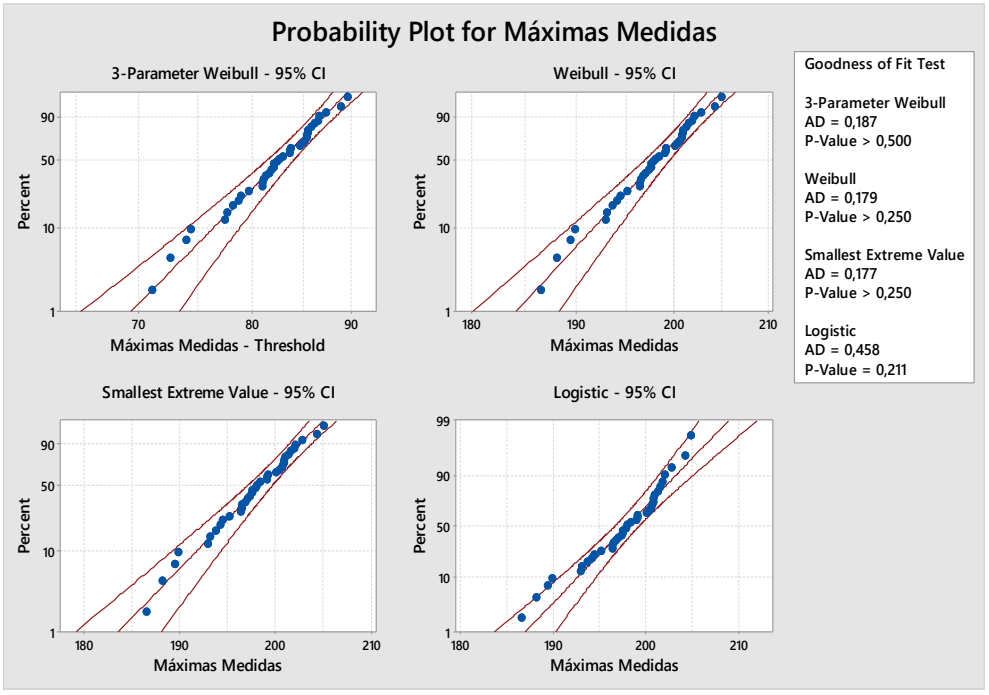

Figura 4 – Quadro comparativo, funções Weibull 3 Parâmetros, Weibull, Menores Valores Extremos e Logística

iguais. Por outro lado, no critério de maior *valor-p*, a função Weibull 3 parâmetros, com 0,500, supera significativamente a função menores valores extremos (0,250). Desta forma, conclui-se que a fdp Weibull 3 parâmetros é a que melhor representa a série histórica de cotas máximas anuais.

Tabela 2 - Valores das estatísticas P-valor e AD

Distribuição	P-Valor	AD
1° Weibull 3 Parâmetros	0,500	0,187
2° Menores Valores Extremos	0,250	0,177
3° Weibull	0,250	0,179
4° Logística	0,211	0,458
5° Normal	0,096	0,625
6° Gamma	0,085	0,667
7° LogNormal	0,068	0,684
8° Maiores Valores Extremos	0,010	1,730

ATUALIZAÇÃO DE COTA MÁXIMA MAXIMORUM

Na tabela 3 apresentam-se as cotas máxima maximorum obtidas com as oito distribuições testadas. Observe-se que a cota 239,2, obtida com a distribuição maiores valores extremos, função rejeitada nos testes de aderência, apresenta valor discrepante comparativamente às demais.

As três fdps com menores valores de AD, e maiores valores de P-valor, apresentam valores da CMM muito próximos entre si. As três funções, Weibull 3 parâmetros, menores valores extremos, e Weibull dois parâmetros, apresentam valores da CMM muito próximos entre si (207,6; 207,2; 207,4), todos próximos ao valor da CMM no projeto original (207,0).

As distribuições logística, normal, gama e lognormal, embora não possam ser estatisticamente descartadas, afastam-se muito dos critérios de escolha, portanto não seriam as selecionadas.

No presente estudo, pelos critérios de seleção adotados, seleciona-se a distribuição Weibull 3 parâmetros, o que leva a CMM = 207,6m. Dessa forma, a CMM atualizada representa um ligeiro acréscimo. Todavia, em termos de APP, dependo da relevo da área do entorno do lago, esse valor pode representar uma área relativamente grande.

Tabela 3 – CMMs modeladas pelas distribuições de probabilidades

Distribuição	Cota maximorum (m)
Weibull 3 Parâmetros	207,6
Menores Valores Extremos	207,2
Weibull	207,4
Logística	219,4
Normal	213,7
Gama	213,9
Lognormal	214,5
Maiores Valores Extremos	239,2

CONCLUSÕES

Em síntese, a atualização da CMM do reservatório Orós, com aplicação de uma série recente de cotas operacionais do Orós, e com avançadas ferramentas estatísticas, resulta em uma elevação de 60 cm em relação à cota do projeto original.

Três distribuições de probabilidade, Weibull 2 e 3 parâmetros e menores valores extremos, mostraram-se como boas descritoras da série histórica de níveis de água operacionais do reservatório Orós.

A metodologia aplicada necessita de séries históricas de níveis operacionais, e, portanto, somente pode ser aplicada a reservatórios construídos há algumas décadas que disponham dos registros históricos. Futuros estudos, com outros reservatórios devem ser feitos para avaliação mais geral da metodologia, e confirmar, ou não, as funções Weibull 2 e 3 parâmetros, e menores valores extremos com boas descritoras das séries de cotas máximas operacionais.

Referências

ANDERSON, T.W.; DARLING, D.A. Asymptotic theory of certain goodness-of-fit criteria based on stochastic processes. Annals of Mathematical Statistics, v.23, p.193–212, 1952.

ARAGÃO, R.; SANTANA, G.R.; COSTA, C.E.F.F.; CRUZ, M.A.S.; FIGUEIREDO, E.E.; SRINIVASAN, V.S., Chuvas intensas para o estado de Sergipe com base em dados desagregados de chuva diária. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental , v.17, n.3, p.243–252, 2013.

BESKOW, S.; CALDEIRA, T. L..; DE MELLO, C. R.; FARIA, L. C.; GUEDES H. A. S. Multiparameter probability distributions for heavy rainfall modeling in extreme southern Brazil. Journal of Hydrology: Regional Studies, v.4, n.123, 2015.

CALDEIRA, T.L.; BESKOW, S.; MELLO, C.R.; FARIA, L.C.; SOUZA, M.R.; GUEDES, H.A.S. Modelagem probabilística de eventos de precipitação extrema no estado do Rio Grande do Sul. Rev. Bras. Eng. Agríc. Amb. v.19, n.3, p.197-203, 2015

CAMPOS, J.N.B. Lições em modelos e Simulação hidrológica. ASTEF/Expressão Gráfica. Fortaleza, Ce. 2009.

CAMPOS, J.N.B., F.A. SOUZA FILHO, H.V.C. LIMA Risk and uncertainties in reservoirs yield in highly variable intermittent rivers: Case of the Castanhão Reservoir in semiarid Brazil. Hydrological Science Journal, v. 59, p.1184-1195. 2014.

CEARÁ. Assembleia Legislativa. Caderno regional da sub-bacia do Alto Jaguaribe / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. Eudoro Walter de Santana (Coordenador). INESP. Fortaleza, Ceará, 2009. 119 p. v. 5.

FRANCO, C.S.; MARQUES, R.F.P.V.; OLIVERIA, A.S.; OLIVEIRA, L.F.C. Distribuição de probabilidades para precipitação diária na Bacia Hidrográfica do Rio Verde, Minas Gerais. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.18, n. n.7, p.735–741, 2014.

Governo do Estado do Ceará. Secretaria dos Recursos Hídricos; Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. Inventário Ambiental Açude Orós. Fortaleza, Ceará, 2011. 125 p.

KIST, A.; VIRGENS FILHO, J. S. Análise probabilística da distribuição de dados diários de chuva no estado do Paraná. Revista Ambiente Água, v. 10 n. 1, p. 172-181, 2015.

LYRA, G. B.; GARCIA, B. I. L.; PIEDADE, S. M. S.; SEDIYAMA, G. C.; SENTELHAS, P. C. Regiões homogêneas e funções de distribuição de probabilidade da precipitação pluvial no Estado de Táchira, Venezuela. Revista Agropecuária Brasileira, v.41, n.2, p.205-215, 2006.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E.J.A. Hidrologia Estatística. CPRM, 2007. 552p.

SANSIGOLO, C.A. Distribuições de extremos de precipitação diária, temperatura máxima e mínima e velocidade do vento em Piracicaba, SP (1917–2006). Revista Brasileira de Meteorologia, v.23, n.3, p.341–346, 2008.

SILVA, B.C.; CLARKE, R.T. Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do Rio São Francisco. Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.3, p.265–272, 2004.

WATANABE, F. M., Análise do Método de Gumbel para cálculo de vazões de dimensionamento de vertedouros. 2013. Trabalho de conclusão de curso para obtenção de título de Engenheiro Eletricista. Universidade de São Paulo – USP. São Carlos, SP.

Thomas Lívio Santos Coelho Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
thomasportal@gmail.com
Contribuição do autor:
Coleta dos dados, análise dos dados, aplicação dos métodos e redação do manuscrito.

José Nilson Bezera Campos Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil.
jnbcampos@gmail.com
Contribuição do autor:
Revisão, aferição dos resultados e redação do manuscrito.

Luciana K. R.F. Coelho Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, Brasil
kamilafcoelho@gmail.com
Contribuição do autor:
Revisão de literatura, caracterização da área de estudo e redação do manuscrito.

Fabio E. F. R.Ferreira Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, CE, Brasil.
fabioedu1@hotmail.com
Contribuição do autor:
Análise dos métodos e redação do manuscrito.