

DETERMINAÇÃO DO VOLUME DE ESPERA DO RESERVATÓRIO CASTANHÃO-CE UTILIZANDO SERIES SAZONAIS DE VAZÕES.

Samuellson Lopes Cabral^{1}, Francisco de Assis Souza Filho¹; José Nilson Beserra Campos¹;
Cleiton da Silva Silveira¹ & Wictor Edney Dajtenko Lemos¹.*

RESUMO—Em regiões áridas e semiáridas, com elevadas taxas de evaporação, e alta variabilidade das vazões, o gestor de recursos hídricos depara-se com o problema de reduzir as perdas de água na operação de reservatórios superficiais, considerando as diferentes prioridades de usos e as situações extremas. Para minimizar as perdas, os modelos matemáticos surgem como auxílio na operação e gerenciamento dos recursos hídricos. Este artigo tem o objetivo de determinar o volume de espera do reservatório do Castanhão, localizado no Estado do Ceará, com uso de modelos matemáticos e cenários de operação para auxiliar os efeitos extremos ao longo do ano de 2013. Os resultados mostram que todos os métodos avaliados foram considerados satisfatórios, para auxiliar o gerenciamento do reservatório.

Palavras chaves : volume de espera, operação de reservatórios, controle de cheias.

ABSTRACT – In arid and semiarid regions, under high evaporations rates and high inflows variability, the water resources manager faces the issues of minimizing water losses during reservoir operation that should attend multiples uses and priorities. For that objective, mathematical models are important tools in reservoir water management. This article intends to estimate the flood control volume in Castanhão reservoir at Ceará state under the probabilities of floods during 2013. The paper suggests some operational rules for reservoir operation.

Keywords: flood control volume, reservoir operation, flood control

¹ Universidade Federal do Ceará: *samuellsoncabral@hotmail.com

INTRODUÇÃO

A partir da implementação da legislação estadual de recursos hídricos, o Estado do Ceará adotou princípios e diretrizes de gerenciamento dos recursos hídricos que orientam a sua ação gestora, no sentido da busca da sustentabilidade no uso desses recursos. A Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) tem papel fundamental como Instituição executiva do gerenciamento das águas.

Um dos eixos estratégicos fundamentais para o alcance desse objetivo é o planejamento dos recursos hídricos. Através do planejamento busca-se estabelecer caminhos de maior eficiência em relação ao uso, controle e proteção, de modo a permitir a maior efetividade do sistema nesse atendimento.

As águas doces de maior potencial de aproveitamento, no âmbito das condições físico-climáticas do semiárido brasileiro, são decorrentes do armazenamento das vazões naturais em reservatórios barragens que necessitam de planos operacionais a fim de minimizar os efeitos das cheias e garantir os usos múltiplos das águas.

Segundo Kelman (1987), a operação de reservatórios para fins conservativos é realizada procurando manter o estoque de água o mais elevado possível, porém é usual durante a época chuvosa manter parte do volume útil livre com o objetivo de encaixar o excesso d'água provocado pela afluência de uma cheia. Assim, o reservatório beneficia o vale a jusante, tornando as inundações menos frequentes.

A operação de controle de cheias pode ser estabelecida através dos meios estruturais e não estruturais como alternativa para o fornecimento de proteção contra enchentes, redução dos riscos e importância dos danos causados. Para reservatórios de usos múltiplos, como o Castanhão, há conflitos 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 (PRETI et al, 2007).

Após anos considerados secos, tem-se um volume de espera, em geral para amortecer eventuais ondas de cheias. Entretanto durante anos chuvosos, após a reposição do déficit de água, há riscos do reservatório não ter condições de amortecer uma possível cheia.

A utilização de ferramentas computacionais, tais como modelos matemáticos, hidrológicos e climáticos, auxilia a operação do reservatório a fim de propor possíveis cenários de vazões, mitigando efeitos de cheias e secas.

Esse trabalho tem como objetivo determinar o volume de espera do reservatório Castanhão, no Ceará, para o ano de 2013, utilizando modelos matemáticos e séries sazonais de vazões, a fim de auxiliar o gerenciamento do reservatório, mitigando possíveis efeitos de secas e cheias e servir de ferramentas para os próximos anos.

Material e Métodos

Caracterização da bacia hidrográfica e do reservatório

A bacia do médio Jaguaribe (Figura 1) é uma das três regiões hidrográficas do rio Jaguaribe, com uma área de aproximadamente 10.504 Km² e engloba treze municípios. O reservatório do Castanhão, localizado nesta bacia, tem capacidade de armazenamento em torno de 6700 hm³, e responde por mais de 35% da capacidade de estocagem de água do Estado.

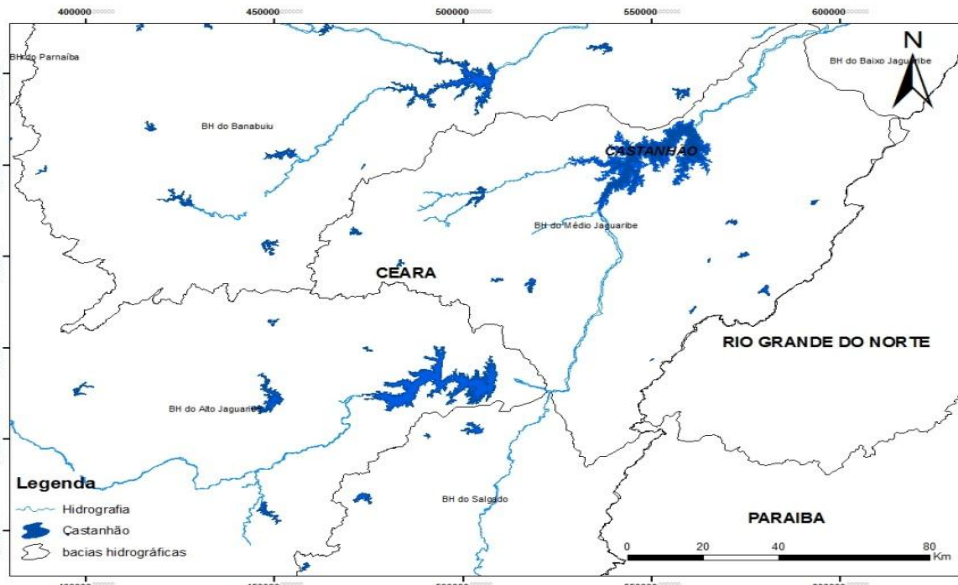


Figura 1 – Localização da área de estudo.

A Figura 2 apresenta a sazonalidade das precipitações e das vazões para o médio Jaguaribe. Observa-se grande concentração das precipitações e vazões no primeiro semestre.

O principal sistema sinótico de precipitações do Ceará é a Zona de Convergência Inter-Tropical (ZCIT), que desloca-se para o hemisfério sul no período de março a maio.

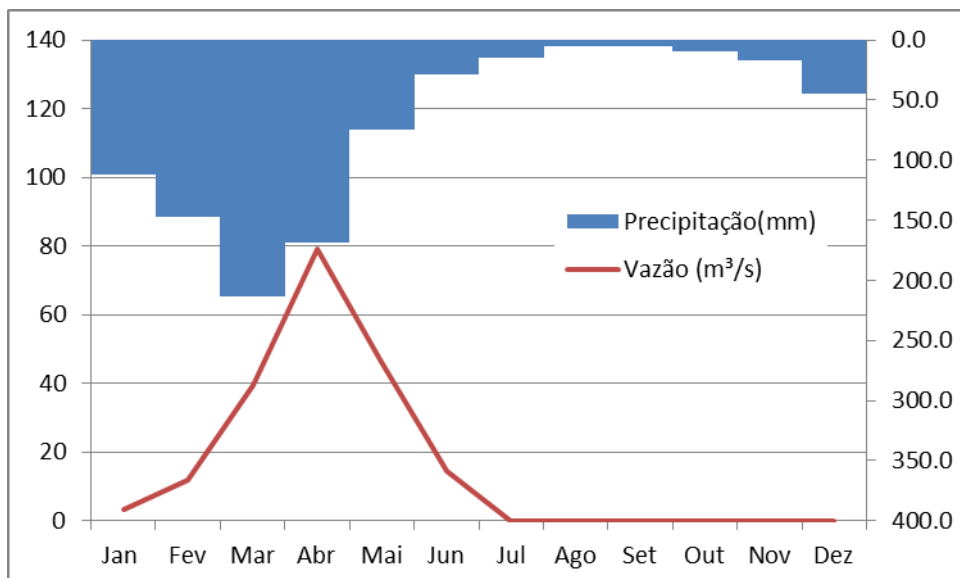


Figura 2 – Características sazonais da precipitação e da vazão da área de estudo.

Dados fluviométricos

Os dados fluviométricos utilizados foram obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA) www.ana.gov.br no Sistema de Informações Hidrológicas (HIDROWEB). A estação foi a de Jaguaribe, localizada no município de Jaguaribe – CE, no rio Jaguaribe sob responsabilidade da ANA, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Estação fluviométrica utilizada.

Código	Início	Fim	Posto	Município	Latitude	Longitude
36320000	1979	2012	Jaguaribe	Jaguaribe	-5,27	-38,25

METODOLOGIA

A metodologia aplicada nesse trabalho foi desenvolvida por Souza Filho (2003), para auxiliar o gerenciamento dos recursos hídricos no Estado do Ceará, minimizando os efeitos das cheias. Os métodos utilizados neste trabalho são apresentados nas quatro seguintes etapas: (1) obtenção das vazões observadas, (2) aplicação dos modelos, (3) definição da operação do reservatório, (4) cálculo dos volumes armazenados e de espera.

Foram avaliados três métodos de operação: o método da curva volume duração determinístico (MVCD1); o método da curva-volume probabilístico (MVCD2) e o método das trajetórias críticas (MTC).

Descrição dos métodos

O MVCD1 foi criado com o objetivo de calcular o volume de espera conforme equação abaixo:

$$VE = \max [VA_D - D \times Q_{lim} \times \Delta t] \quad (1)$$

Onde: VE denota o volume de espera para o período analisado, VA_D representa o volume armazenado Q_{lim} denota a vazão efluente máxima esperada, D e Δt o intervalo de tempo.

O MVCD2 leva em conta que uma hipótese poderia ser a seleção do volume de espera máximo obtido, com o intuito de estar preparado para o pior evento ocorrido na série histórica avaliada (KELMAN(1987).

A curva de duração é construída a partir da união dos pontos VA_{ad} definida através da equação a seguir:

$$P[VA_D \geq VA_{ad}] = \alpha \quad (2)$$

Onde: P[.] representa probabilidade. α = probabilidade de falha no amortecimento de cheia de um ano.

O MTC define o volume de espera em cada intervalo de tempo correspondente ao período chuvoso, associado a uma probabilidade predefinida de não amortecimento de cheia de um ano. O algoritmo inicia considerando um volume de espera nulo ao final do período chuvoso e

posteriormente, através de um processo recursivo define o volume de espera em cada dia do período chuvoso com base na equação abaixo, apresentada a seguir conforme Kelman (1987):

$$VE_{t-1,i} = \max \left[0, (QA_{t-1,i} - Q_{lim}) \times \Delta t + VE_{t,1} \right] \quad t = 1, \dots, H \quad (3)$$

Onde: $VE_{t-1,i}$ = volume de espera no dia t-1, em função da vazão afluente do ano i; $QA_{t-1,i}$ = vazão afluente do dia t-1, do ano i; Q_{lim} = vazão efluente limite; $VE_{t,i}$ = volume de espera no dia t, do ano i; H = índice do último dia do período chuvoso.

RESULTADOSE DISCUSSÕES

Para estabelecer os volumes de espera do reservatório do Castanhão optou-se por uma metodologia que leva em conta a sazonalidade das vazões de uma série histórica..Os cenários de operação do reservatório do Castanhão foram pré-definidos em vazões de 100, 500, 1000, 1500 e 2000m³/s.

A Figura 3 apresenta as características do reservatório do Castanhão, onde se observa que o volume de controle de cheia encontra-se no intervalo das cotas 100 a 106. Quando o reservatório estiver dentro desse intervalo às ferramentas computacionais visam auxiliar o gerenciamento do reservatório, a fim de otimizar a operação do reservatório.

AÇUDE CASTANHÃO

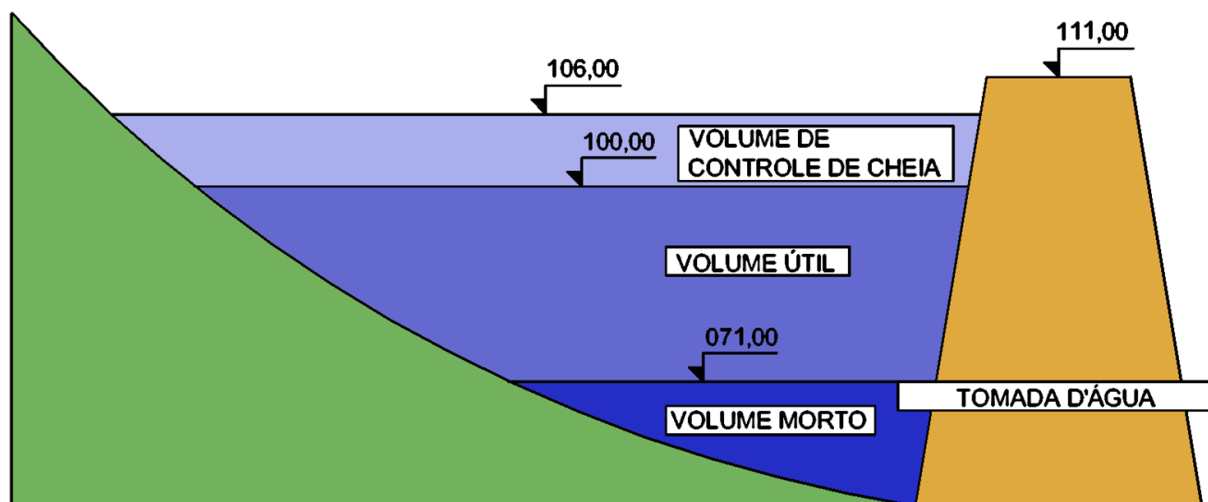


Figura 3 - Características do reservatório do Castanhão.

Castro (2011) determinou o volume de espera de vários reservatórios no semi-árido, inclusive nos Castanhão, utilizando além de séries históricas da ANA, previsões de modelos hidro-climáticos, encontrando resultados bastante satisfatórios para a operação dos reservatórios.

A seguir são apresentados os resultados das simulações dos volumes de esperas do reservatório do Castanhão com os cenários pré-definidos, utilizando os métodos MCVD1, MCVD2 e do MTC.

A Tabela 2 apresenta as vazões retiradas e os volumes de espera para o reservatório do Castanhão, utilizando a série histórica e o método da curva volume – duração determinístico.

Tabela 2 - Relação entre as vazões retiradas e os volumes de espera do Castanhão pelo MCVD1.

Castanhão (6700 hm ³)		
Vazão de retirada (m ³ /s)	Volume de espera (hm ³)	Decisão
100	11800	Inviável
500	10400	Inviável
1000	8855	Inviável
1500	7637	Inviável
2000	7120	Inviável

Para todos os cenários de operação do reservatório do Castanhão, ou seja, considerando as vazões de 100, 500, 1000, 1500 e 2000m³/s, o método do MCVD, tornou-se inviável devido o reservatório não suportar todo volume de espera.

A capacidade máxima do Castanhão é de 6,7 bilhões de m³ para a cota 106. Nos resultados fornecidos pelo modelo MCDV1 pode-se observar que quando são consideradas vazões de retiradas de 100m³/s, 500m³/s, 1000m³/s, 1500m³/s e 2000m³/s, para a serie histórica da ANA, obtiveram-se volumes de espera superiores à capacidade de acumulação do reservatório, sendo excluídos esses possíveis cenários de operação do reservatório. O modelo MCDV1 mostra que para vazões de retiradas acima de 2000 m³/s torna-se o melhor cenário possível de operação simulado nesse trabalho. Entretanto a otimização da operação do reservatório alinhada a um prognóstico eficiente de previsão de aflúncias no reservatório é fundamental para a operação do Castanhão.

Lobo Neto (2011) testou para alguns modelos de determinação do volume de espera no reservatório do Castanhão, utilizando um ano específico, e encontrou uma boa correlação no emprego dessa metodologia.

A Tabela 3 apresenta a relação entre a vazão retirada, o volume de espera e a tomada de decisão do gestor, para o método da curva volume-duração probabilístico com 90% de probabilidade de ocorrência.

Tabela 3 - Relação entre as vazões retiradas e os volumes de espera do Castanhão pelo MCVD2 ANA.

Castanhão (6700 hm ³)		
Vazão de retirada (m ³ /s)	Volume de espera (hm ³)	Decisão
100	3470	Aceitável
500	2547	Aceitável
1000	2047	Aceitável
1500	1547	Aceitável
2000	1047	Aceitável

O modelo MCVD2 utilizando a frequência de 90% de probabilidade de ocorrência das vazões foi o que melhor se mostrou entre todos os modelos estudados.

Nos cenários com retiradas de 100, 500, 1000, 1500 e 2000m³/s, o volume de espera é na ordem de 3,4 bilhões de m³ a 1,0 bilhão de m³, tornando o cenário aceitável devido a capacidade do reservatório ser de 6,7 bilhões de m³.

Sabe-se que a capacidade máxima do reservatório do Castanhão é de 6,7 bilhões de m³, e que esta acumulação é observada quando a lâmina d'água do reservatório atingia a cota 106. Nos resultados fornecidos pelo modelo MCDV2 pode-se que quando é consideradas vazões de retiradas de 100m³/s, 500m³/s, 1000m³/s, 1500m³/s e 2000m³/s para toda serie histórica da ANA, obteve-se volume de espera menor que a capacidade de acumulação do reservatório.

O modelo MCDV2 mostra que para todos os cenários de vazões de retiradas tem-se o melhor cenário possível de operação simulado nesse trabalho, entretanto a otimização da operação do reservatório alinhada a um prognóstico eficiente de previsão de afluências no reservatório é fundamental para a operação do reservatório do Castanhão.

A Tabela 4 mostra a relação entre os cenários de operação, o volume de espera e a tomada da decisão, pelo método das trajetórias críticas (MTC).

Tabela 4 - Relação entre as vazões retiradas e os volumes de espera do Castanhão pelo MTC ANA.

Vazão de retirada (m ³ /s)	Castanhão (6700 hm ³)	
	Volume de espera (hm ³)	Decisão
100	9800	Inviável
500	8350	Inviável
1000	7157	Inviável
1500	7109	Inviável
2000	6113	Aceitável

No cenário com retiradas de 100m³/s, o volume de espera é na ordem de 9,8 bilhões de m³, tornando o cenário inviável devido a capacidade do reservatório ser de 6,7 bilhões de m³. No cenário com retiradas de 500m³/s, o volume de espera é na ordem de 8,3 bilhões de m³, tornando o cenário inviável devido a capacidade do reservatório ser de 6,7 bilhões de m³.

No cenário com retiradas de 1000m³/s, o volume de espera é na ordem de 7,1 bilhões de m³, tornando o cenário inviável devido a capacidade do reservatório ser de 6,7 bilhões de m³. No cenário com retiradas de 1500m³/s, o volume de espera é na ordem de 7,1 bilhões de m³, tornando o cenário inviável devido a capacidade do reservatório ser de 6,7 bilhões de m³. No cenário com retiradas de 2000m³/s, o volume de espera é na ordem de 6,1 bilhões de m³, tornando o cenário aceitável devido a capacidade do reservatório ser de 6,7 bilhões de m³, além de estar operando na faixa de volume para controle de cheia a jusante.

Sabe-se que a capacidade máxima do reservatório do Castanhão é de 6,7 bilhões de m³, e que esta acumulação é observada quando a lâmina d'água do reservatório atingia a cota 106. Nos resultados fornecidos pelo modelo MTC pode-se que quando é consideradas vazões de retiradas de 100m³/s, 500m³/s, 1000m³/s, 1500m³/s, para toda serie histórica da ANA, obteve-se volume de espera maior que a capacidade de acumulação do reservatório, sendo excluídos esses possíveis cenários de operação do reservatório.

O modelo MTC mostra que para vazões de retiradas de 2000 m³/s tem-se o melhor cenário possível de operação simulado nesse trabalho, entretanto a otimização da operação do reservatório alinhada a um prognóstico eficiente de previsão de aflúncias no reservatório é fundamental para a operação do reservatório do Castanhão.

CONCLUSÃO

Os três métodos, o MCVD1, o MCV2 e o MTC, mostraram-se viável metodologicamente mas apresentaram resultados inviáveis, do ponto de vista operacional, na operação de cheias no reservatório do Castanhão do Ceará, para o ano de 2013.

Essa metodologia se mostrou simples e eficaz, no objetivo de auxiliar a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH), tornando uma ferramenta para os próximos anos.

A utilização desta ferramenta é necessária uma vez que, ao início da cheia, o operador do aproveitamento não conhece a magnitude da cheia afluyente para tomar a decisão de operar para garantir a vazão de restrição.

Recomenda-se a utilização de previsões hidrológicas e climáticas para aumentar os possíveis cenários de operação.

REFERÊNCIAS

COGERH. *Site da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos do Ceará*. Disponível em: <<http://portal.cogerh.com.br/>>. Acesso em: 08 de Maio 2013.

Kelman, J. *Cheias e aproveitamentos hidrelétricos*. ABRH, 1987, 175 p.

Neto Lobo, J.B. *Operação do reservatório Castanhão para o controle de cheias; Definição do nível de alerta*. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. (2009).

Ribeiro, D, C, M. *Modelo de previsão de vazão aplicado ao nordeste brasileiro utilizando a informação climática para auxiliar a operação de hidrossistemas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pos Graduação em Recursos Hídricos da Universidade Federal do Ceará. (2011).

Souza Filho, F. A.; Lall, U. "Seasonal to interannual ensemble streamflow forecasts for Ceara, Brazil: Applications of a multivariate, semiparametric algorithm". *Water Resources Research*, Vol. 39, No. 11, 1307. 2003.