

A ESCOLHA DO VOLUME INICIAL ASSUMIDO PARA UM RESERVATÓRIO: UMA QUESTÃO IRRELEVANTE?

Ticiania M. Carvalho Studart¹ e José Nilson B. Campos¹

Resumo. A influência do volume inicial (V_0) já foi objeto de estudo de alguns pesquisadores, de maneira que se pode encontrar na literatura alguns procedimentos de como lidar com o problema. Os mais comuns são: iniciar com o reservatório cheio, começar com metade de sua capacidade, fazer o armazenamento inicial igual ao final, calcular o volume inicial probabilisticamente e computar o risco de esvaziamento nas condições de equilíbrio. O presente trabalho utiliza o Método de Monte Carlo para avaliar a influência da escolha do volume inicial nas vazões regularizadas por um reservatório isolado, supondo diferentes padrões de variabilidade para seus deflúvios naturais, traduzidos por coeficientes de variação iguais a 0,2, 0,8 e 1,6. Os resultados mostram que para rios com baixos valores de CV, típicos de regiões temperadas, a questão do volume inicial é totalmente irrelevante. Para regiões Semi-Áridas, caracterizadas pela alta variabilidades dos deflúvios anuais, a realidade é outra. O volume inicial exerce uma enorme influência nos resultados obtidos para a vazão regularizada e precisa ser convenientemente estudado.

Abstract. The influence of initial storage (V_0) on the reservoir storage process has been object of a few studies and, as a result, one can find in literature some procedures to handle the problem. The most common are: start with full reservoir; start with a half full reservoir; making initial storage equal to final storage; choosing the initial storage by chance and computing the risk of emptiness for steady state conditions. In the present paper it was used Monte Carlo Method to find out the influence of the initial storage on reservoir yield, under different coefficient of variation of annual inflows (CV=0.2, 0.8 and 1.6). The results showed that for rivers with low values of CV, the question of initial storage is irrelevant; for rivers with high CV's, however, different values of initial storage leads to complete different values of reservoir's yields.

Palavras-Chave. Volume inicial, simulação estocástica, reservatório, vazão regularizada

¹ Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bl. 713, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60.451-970, Fone: (085) 288.9623, Fax: (085) e-mails: ticiana@ufc.br e nilson@ufc.br

INTRODUÇÃO

A influência do volume inicial (V_0) já foi objeto de estudo de alguns pesquisadores, de maneira que se pode encontrar na literatura alguns procedimentos de como lidar com o problema. Os mais comuns são: iniciar com o reservatório cheio, começar com metade de sua capacidade, fazer o armazenamento inicial igual ao final, calcular o volume inicial probabilisticamente e computar o risco de esvaziamento nas condições de equilíbrio.

O presente trabalho pretende estudar como a escolha do volume inicial influencia os resultados obtidos para a vazão regularizada de um dado reservatório, na fase transiente do processo de armazenamento, considerando diferentes cenários de variabilidade dos deflúvios anuais afluentes ao mesmo.

METODOLOGIA

Conforme detalhado em Studart e Campos (1999), o processo de armazenamento passa por dois estados distintos: o estado transiente e o estado de equilíbrio, sendo a vazão regularizada, nos dois estados, função dos seguintes parâmetros:

Estado transiente:

$$Q_r = f(\mu, \sigma, V_0, H, K, G, E, \alpha) \quad (1)$$

Estado de equilíbrio:

$$Q_r = f(\mu, \sigma, K, G, E, \alpha) \quad (2)$$

onde: Q_r – vazão a ser regularizada pelo reservatório em questão; μ - média dos deflúvios anuais afluentes ao reservatório; σ - desvio padrão dos deflúvios anuais afluentes ao reservatório; V_0 - volume inicial assumido para o reservatório; H – horizonte de planejamento (em anos); K – capacidade do reservatório; G – garantia (em %); E – evaporação no reservatório e α - fator de forma do reservatório.

O coeficiente de variação da séries dos deflúvios afluentes ao reservatório é dado por:

$$CV_{\text{def}} = \sigma/\mu \quad (3)$$

A simulação do reservatório

O método de Monte Carlo será utilizado para determinar a vazão regularizada por um dado reservatório. O processo se encontra detalhado em Campos et. al. (2000) e consiste: na geração de 20.000 traços de vazões anuais seguindo uma distribuição Gama II, desagregação das vazões anuais em mensais pelo Método dos Fragmentos (Svanidze,1980) e simulação do reservatório com garantia G igual a 90%. As vazões regularizadas calculadas neste trabalho serão denominadas de Q_{90} , devido ao nível de garantia adotado.

Valores dos parâmetros a serem adotados na simulação

Como “laboratório” será escolhido o Açude Caxitoré, no Semi-Árido cearense. A escolha do reservatório não é relevante, uma vez que será feita uma análise comparativa dos resultados. Os parâmetros que constam na Equação 1 permanecerão inalterados, exceto:

- $CV_{def} = 0,2, 0,8 \text{ e } 1,6$
- $V_0 = \text{cheio e vazio}$
- $H = 10 \text{ a } 100 \text{ anos (estado transiente) e } 5.000 \text{ anos (estado de equilíbrio)}$

O reservatório será inicialmente simulado no estado de equilíbrio do processo de armazenamento ($H=5.000$ anos), no sentido de eliminar a influência das condições iniciais assumidas na simulação. A vazão regularizada encontrada para este horizonte de simulação será considerado a “verdadeira”. Para a simulação estocástica do sistema será utilizado o software SIMRES (Campos et. al. 1999) desenvolvido no Departamento de Engenharia Hidráulica da UFC.

RESULTADOS

Para cada valor de coeficiente de variação dos deflúvios, simulou-se o reservatório no seu estado de equilíbrio. Segundo Studart (2000), em termos de vazão regularizada, pode-se calcular estas condições para $H=5.000$ anos. Conforme observado na Tabela 1, as vazões de equilíbrio (Q_{90}^*), para $CV_{def}=0,2, 0,8 \text{ e } 1,6$ são, respectivamente, 97,2 hm^3/ano , 52,5 hm^3/ano e 23,5 hm^3/ano .

No estado transiente foram simuladas 200 séries de 10 anos, 200 séries de 20 anos e assim, sucessivamente, até 200 séries de 100 anos. A Tabela 1 mostra, para cada horizonte de simulação (H), a média dos 200 valores encontrados para Q_{90} , considerando-se duas condições de volume inicial extremas – cheio e vazio.

Tabela 1. Valores médios da vazão regularizada pelo Açude Caxitoré (em hm³/ano), considerando G=90%, V₀ =cheio e vazio e o coeficiente de variação das vazões naturais (CV_{def}) iguais a 0,2, 0,8 e 1,6.

H	CV _{def} =0,2		CV _{def} =0,8		CV _{def} =1,6	
	cheio	vazio	cheio	vazio	cheio	vazio
10	96,33	64,00	60,07	47,30	33,02	19,03
20	96,63	91,09	56,03	50,23	28,38	20,17
30	96,81	93,91	54,91	50,07	26,44	21,90
40	96,79	94,91	54,39	50,92	25,95	22,76
50	96,88	95,41	53,32	50,48	25,41	23,06
60	96,79	95,56	52,98	50,76	25,30	23,16
70	96,97	95,91	53,09	50,92	25,18	23,49
80	96,85	95,96	53,75	50,91	25,04	23,44
90	96,85	95,97	52,55	51,13	24,92	23,33
100	96,86	96,14	52,47	51,14	24,82	23,50
Q ₉₀ *	97,20	97,20	52,50	52,50	23,50	23,50

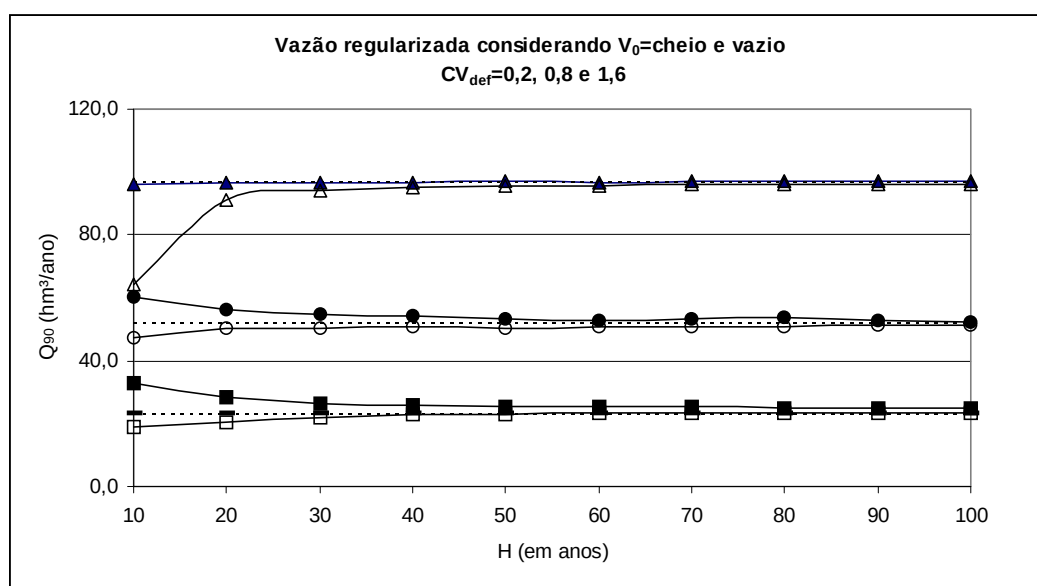


Figura 1. Valores médios da vazão regularizada pelo Açude Caxitoré (em hm³/ano), considerando G=90%, V₀ =cheio e vazio e o coeficiente de variação das vazões naturais (CV_{def}) iguais a 0,2, 0,8 e 1,6. As linhas tracejadas indicam a vazão de equilíbrio.

Calculou-se o coeficiente de variação de cada série com 200 valores de Q_{90} (cada série correspondendo a um H. Os resultados são os observados na Tabela 2.

Tabela 2. Coeficiente de variação das vazões regularizadas pelo Açude Caxitoré (CV_{reg}), considerando $G=90\%$, V_0 = cheio e vazio e coeficiente de variação das vazões naturais (CV_{def}) iguais a 0,2, 0,8 e 1,6.

H	$CV_{def}=0,2$		$CV_{def}=0,8$		$CV_{def}=1,6$	
	cheio	vazio	Cheio	vazio	cheio	vazio
10	0,06	0,08	0,20	0,38	0,36	0,82
20	0,04	0,08	0,16	0,22	0,31	0,50
30	0,04	0,05	0,13	0,18	0,26	0,36
40	0,03	0,04	0,12	0,14	0,23	0,27
50	0,03	0,03	0,10	0,12	0,20	0,24
60	0,03	0,03	0,11	0,11	0,19	0,21
70	0,02	0,03	0,09	0,10	0,18	0,20
80	0,02	0,03	0,08	0,09	0,17	0,20
90	0,02	0,03	0,08	0,09	0,17	0,19
100	0,02	0,02	0,08	0,08	0,15	0,16

Conforme observado na Tabela 2 a variabilidade das vazões regularizadas é bastante influenciada pelo volume inicial assumido para o reservatório. O cenário de menor variabilidade das vazões efluentes é aquele que considera o reservatório inicialmente “cheio”.

Para vazões afluentes com baixos coeficiente de variação ($CV_{def}=0,2$), a variabilidade das vazões regularizadas também é bastante reduzida, variando de 0,06 (quando $H=10$ anos) a 0,02 (quando $H=100$ anos). Para vazões afluentes com altos coeficientes de variação ($CV_{def}=1,6$), estes valores são muito superiores, variando de 0,36 (quando $H=10$ anos) a 0,15 (quando $H=100$ anos).

Para o cenário no qual o volume inicial é considerado “vazio”, os valores acima são bem superiores, principalmente para vazões afluentes com CV_{def} mais altos. No caso de $CV_{def}=0,2$, o coeficiente de variação das vazões regularizadas (CV_{reg}) passa a assumir valores entre 0,08 e 0,02, para $H=10$ e 100 anos, respectivamente. A diferença maior é sentida no caso do $CV_{def}=1,6$, no qual as vazões regularizadas passam a assumir valores entre 0,82 e 0,16, para $H=10$ e 100 anos, respectivamente. Quanto maior o coeficiente de variação da série de Q_{90} , menor a representatividade de seu valor médio.

Os erros cometidos nas estimativas de Q_{90}

Considerando o valor encontrado para H igual a 5.000 anos como o populacional, ou verdadeiro, calculou-se os erros cometidos ao estimar-se Q_{90} no estado transiente para cada cenário de variabilidade dos deflúvios naturais (Tabela 3)..

Observa-se que, em rios típicos de climas temperados ($CV_{def}=0,2$), os erros cometidos, independentemente do V_0 assumido, são desprezíveis, exceto para V_0 =vazio e $H=10$ anos (33,8%). O mesmo comportamento é observado para rios com CV_{def} iguais a 0,8. Para rios com altos coeficientes de variação ($CV_{def}=1,6$), típicos de regiões Semi-Áridas, no entanto, as vazões regularizadas são superestimadas quando V_0 =cheio e subestimadas quando V_0 =vazio, para valores de H inferiores a 50 anos.

Tabela 3. Erros na estimativa da vazão regularizada, considerando $G=90\%$, V_0 = cheio e vazio e coeficiente de variação das vazões naturais (CV_{def}) iguais a 0,2, 0,8 e 1,6.

H	$CV_{def}=0,2$		$CV_{def}=0,8$		$CV_{def}=1,6$	
	Cheio	vazio	cheio	vazio	cheio	vazio
10	-1,30	-33,77	14,29	-11,90	36,84	-21,05
20	0,00	-6,49	4,76	-4,76	15,79	-15,79
30	0,00	-3,90	2,38	-4,76	10,53	-10,53
40	0,00	-2,60	2,38	-4,76	10,53	-5,26
50	0,00	-1,30	0,00	-4,76	5,26	-5,26
60	0,00	-1,30	0,00	-4,76	5,26	-5,26
70	0,00	-1,30	0,00	-4,76	5,26	0,00
80	0,00	-1,30	2,38	-4,76	5,26	0,00
90	0,00	-1,30	0,00	-4,76	5,26	-5,26
100	0,00	-1,30	0,00	-4,76	5,26	0,00

CONCLUSÕES

O presente trabalho observou que para rios com baixos coeficientes de variação dos deflúvios naturais, típicos de regiões temperadas, a escolha do volume inicial a ser adotado na simulação de um reservatório não é uma questão importante. Arbitrar-se o reservatório inicialmente cheio ou vazio, não altera os resultados encontrados para a vazão regularizada, uma vez que o processo de armazenamento já pode ser considerado no seu estado de equilíbrio, na pior das hipóteses, a partir de $H=20$ anos.

Para rios típicos de regiões Semi-Áridas, caracterizadas pela alta variabilidade de suas vazões naturais, a realidade é bem diferente. Não se pode desprezar enorme influência exercida pelo

volume inicial nos resultados encontrados, principalmente ao adotar-se pequenos horizontes de simulação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPOS, J.N.B., MARTINZ, D., STUDART, T.M.C. e COÊLHO, L.(1999). "SIMRES: Um Laboratório Computacional de Teoria da Estocagem de Águas". INTERNET : **Home Page: www.deha.ufc.br/nilson**.

CAMPOS, J.N.B., STUDART, T.M.C., FRANCO, S. AND LUNA, R. (2000) "Hydrological Transformations in Jaguaribe River Basin during 20th Century" IN: **American Geophysical Union 20th Annual Hydrology Days**, Colorado State University, Colorado, USA, April.

STUDART, T.M.C. e CAMPOS, J.N.B.(1999). "Reservoir Storage Problem: The Faster Convergence Rate from Transient to Steady State Conditions". In: **American Geophysical Union 19th Annual Hydrology Days**, Colorado State University, Colorado, USA, April.

STUDART, T.M.C. (2000) . **Análises de incertezas na determinação de vazões regularizadas em climas semi-áridos**. Universidade Federal do Ceará (tese de doutorado).

SVANIDZE, G.G. (1980). **Mathematical Modeling of Hydrologic Series**.Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.