

O FATOR DE CORREÇÃO DE VIÉS COMO ESTIMADOR DA VAZÃO DE EQUILÍBRIO DE UM RESERVATÓRIO

Ticiano Marinho de Carvalho Studart¹; José Nilson B. Campos¹; Juliana Pontes Machado de Andrade²; Luiz Sérgio Vasconcelos do Nascimento² e Ricardo Marinho de Carvalho³

Resumo. O comportamento aleatório das vazões naturais, e as incertezas a ele associadas, configuram-se, sem sombra de dúvida, no maior obstáculo para a determinação das reais disponibilidades hídricas de um dado reservatório, notadamente em regiões semi-áridas. Tais incertezas não podem ser reduzidas pela elaboração de um modelo matemático mais preciso ou pelo aumento da série de observações. Elas, simplesmente, existem e precisam ser estudadas através de metodologias apropriadas, agregando informação valiosa ao planejamento de recursos hídricos. A presente procurou determinar, através da simulação estocástica do reservatório, um estimador para a sua vazão de equilíbrio, considerando as propriedades de um bom estimador, quais sejam, as de não-tendenciosidade e eficiência.

Abstract. The uncertainties inherent of the random variability of natural discharges are, undoubtedly, the biggest obstacle that the determination of the actual reservoir yield has to face, mostly in semi-arid areas. Such uncertainties cannot be reduced by the elaboration of a more precise mathematical model or by increasing the length of observations. They, simply, exist and must be studied through appropriate methodologies, joining valuable information to the water resources planning. This paper searches, using stochastic simulation, an estimator for the steady state reservoir yield regarding to unbiasedness and efficiency properties of a good estimator.

Palavras-chave. Estimador; vazão regularizada; reservatório.

¹ Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bl. 713, Fortaleza, Ceará, Brasil, CEP 60.451-970, Fone: (85) 288.9623, Fax: (85) e-mails: ticiano@ufc.br e nilson@ufc.br

² Alunos do Curso de Engenharia Civil e Bolsistas de Iniciação Científica - PIBIC/CNPq - Universidade Federal do Ceará. E-mails: julianapma@bol.com.br

³ Professor do Departamento de Engenharia de Edificações – Universidade Federal do Ceará. Campus do Pici, Centro de Tecnologia, Bl. 710, Fortaleza, Ceará, Brasil

INTRODUÇÃO

O comportamento aleatório das vazões naturais, e as incertezas a ele associadas, configuram-se, sem sombra de dúvida, no maior obstáculo para a determinação das reais disponibilidades hídricas de um dado reservatório, notadamente em regiões semi-áridas. Tais incertezas não podem ser reduzidas pela elaboração de um modelo matemático mais preciso ou pelo aumento da série de observações. Elas, simplesmente, existem e precisam ser estudadas através de metodologias apropriadas, agregando informação valiosa ao planejamento de recursos hídricos.

Os autores vêm estudando, através da hidrologia estocástica, o processo de armazenamento em reservatórios superficiais. A avaliação do efeito do volume inicial (V_0), do coeficiente de variação dos deflúvios naturais (CV_{def}), da capacidade do reservatório (K) e do nível de garantia (G) nas estimativas e nos erros do fator adimensional de retirada (Q) já sofreu grandes avanços.

O que se busca, no presente trabalho, é identificar um estimador para a vazão adimensional de equilíbrio (Q^*), considerando as propriedades de um bom estimador, quais sejam, as de não-tendenciosidade e eficiência. Pretende-se ainda o estabelecimento de uma equação geral para este estimador.

A determinação de equações para a estimativa da vazão regularizada por um dado reservatório tem sido objeto de estudo por parte de pesquisadores do mundo inteiro. McMahon e Mein (1978) apresentam um levantamento de diversos procedimentos e equações para a avaliação expedita em estudos de reservatórios. Todos os procedimentos são simplificados e têm, como conseqüência de suas próprias simplificações, aplicação restrita às condições hidrológicas dos locais para onde foram desenvolvidas.

O Volume Inicial

O volume inicial que deve ser assumido no início da simulação causa divergência entre os planejadores. É comum se utilizar o reservatório cheio ($V_0=K$), ou vazio ($V_0=5\%K$) ou ainda com metade da sua capacidade ($V_0=50\%K$). Studart (2000) e Studart e Campos (2001) abordam este tema e apontam que, dentre todos os volumes iniciais, aquele com o qual as vazões regularizadas apresentam menor variabilidade é o $V_0=$ cheio. Observa-se, no entanto, que, embora este volume inicial apresente menor variabilidade (indicando-o como um potencial candidato a estimador, no quesito *eficiência*), o Erro Médio cometido, para altos valores de CV_{def} e horizontes de simulação (H) pequenos, é significativo. Assim sendo, o estimador “vazão adimensional no estado de equilíbrio calculada através da simulação do reservatório considerando $V_0=$ cheio” não é um estimador justo da vazão adimensional de equilíbrio.

Objetivando tornar *justo* este estimador, foi proposto por Studart (2000) um *fator de correção do viés* (χ). Este fator de correção transportaria toda a curva, definida pelos valores da vazão regularizada para cada cenário de horizonte de simulação H, para valores muito próximos da vazão adimensional de equilíbrio, eliminando, por conseguinte, o viés originado ao simular-se o reservatório com V_0 =cheio.

O presente trabalho visa testar a aplicação dessa metodologia em cinco rios do Nordeste Brasileiro, com variabilidades anuais distintas, traduzidas por seus CV_{def} .

METODOLOGIA

Objetivando uma generalização dos resultados obtidos, fez-se uso dos fatores adimensionais de capacidade (f_K), retirada (f_M) e evaporação (f_E), definidos por Campos (1987), que se relacionam com a vazão afluente média (μ) conforme equações 1 a 3.

$$f_K = K/\mu \quad (1)$$

$$f_M = Q/\mu \quad (2)$$

$$f_E = (3\alpha^{1/3}E_V) / \mu^{1/3} \quad (3)$$

Sendo: K a capacidade do reservatório; Q a média das vazões regularizadas; α o fator de forma do reservatório e E_V a lâmina evaporada na estação seca.

Para a determinação das vazões regularizadas, fez-se uso do programa SIMRES, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará, que simula o comportamento de um reservatório pelo Método de Monte Carlo. Para cada cenário estudado – caracterizado pelo CV_{def} do rio original - foram gerados 20.000 traços de vazão anual seguindo uma distribuição Gama II. A média das séries geradas foi a mesma, sendo modificado apenas o desvio padrão, para manter o CV real. Essas vazões foram então desagregadas em valores mensais, tendo como base o padrão real de cada rio, através do Método dos Fragmentos (Svanidze, 1980). As vazões obtidas pela simulação do reservatório com estas séries sintéticas de 20.000 anos de extensão são as vazões de equilíbrio de cada cenário (f_M^*). Cada série de 20.000 valores mensais foi, posteriormente, subdividida em 200 séries de horizontes de simulação de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100 anos.

Dados de entrada

Todos os cenários foram simulados com a mesma curva cota volume (para fixar α). A capacidade do reservatório, no entanto, foi modificada para que se tivesse diferentes f_K . O nível de

garantia (G) foi mantido em 90% e o f_E é o existente em cada local, não sendo avaliada a influência desse parâmetro.

Assim sendo, o reservatório fictício foi simulado tendo os seguintes parâmetros de entrada:

$V_0 =$ cheio;

$G = 90\%$;

$CV_{def} = 0,58, 0,75, 1,20, 1,44$ e $1,61$;

$f_K = 1,0, 1,5$ e $2,0$;

$H = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90$ e 100 anos (estado transiente);

$H = 5.000$ anos (estado de equilíbrio).

A Tabela 1 mostra os dados reais de cada rio utilizado para caracterizar um cenário distinto. A Tabela 2 mostra os dados com que cada série de 20000 anos foi gerada.

Tabela 1 – Localização e características das séries de vazões estudadas

Rio	Localização	μ (hm ³ /ano)	σ (hm ³ /ano)	CV_{def}	H (anos)
Tapacurá	Pernambuco, BRA	75,68	43,58	0,58	34
Rio de Contas	Bahia, BRA	263,23	197,62	0,75	17
Curu	Ceará, BRA	126,31	151,43	1,20	79
Capibaribe	Pernambuco, BRA	172,06	247,72	1,44	33
Ceará-Mirim	Rio Grande do Norte, BRA	76,57	123,15	1,61	54

Fontes: Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas – SIH

Tabela 2 – Valores utilizados em cada cenário

CV_{def}	Média (hm ³ /ano)	Desvio (hm ³ /ano)
0,58	76,57	44,41
0,75		55,90
1,2		91,88
1,44		110,26
1,61		123,28

O Fator de Correção do Viés (χ_{90})

O Fator de Correção do Viés ou simplesmente χ_{90} , para um dado cenário, é definido pela relação:

$$\chi_{90} = (Q/Q^*)_{90} = (f_M/f_M^*)_{90} \quad (4)$$

Sendo

Q_{90} a média das vazões regularizadas com 90% de garantia;

Q^*_{90} a vazão regularizada no estado de equilíbrio com 90% de garantia;

f_{M90} o fator adimensional de retirada com 90% de garantia;

f_{M90}^* o fator adimensional de retirada no estado de equilíbrio com 90% de garantia;

Observa-se que o valor de χ_{90} independe de se adotar a vazão em termos absolutos (Q em hm^3/ano) ou relativos (f_M), uma vez que, ao utilizar-se este último, os denominadores – ambos iguais a μ – são eliminados.

A combinação de cinco valores de coeficientes de variação de deflúvios e três valores de f_K resulta na existência de 15 cenários diferentes. Ao ajustar-se, em cada cenário, os dez valores de χ_{90} ($H=10$ a 100 anos) a uma curva, obtém-se a equação da curva de regressão (ajustada pelo método dos mínimos quadrados) que melhor define o comportamento da variável χ_{90} em função de H , para aquele cenário.

Justeza de um bom estimador

O estimador da vazão adimensional de equilíbrio T ($f_{M\chi}^*$) é dito justo (ou não tendencioso ou não viesado) quando a sua média (ou valor esperado) for igual ao parâmetro θ que se pretende estimar, isto é:

$$E[T] = \theta \quad (5)$$

Assim sendo, o valor esperado (média) de T nas 200 simulações para um dos 15 cenários deve ser igual ao valor da vazão adimensional de equilíbrio, para aquele cenário, obtida pela simulação estocástica do reservatório ($f_{M\chi}^*$), tida como o parâmetro populacional *vazão adimensional de equilíbrio* (f_M^*).

Para um dado horizonte de simulação H , existem 200 valores da variável aleatória “ f_{M90} ”. Dividindo-se, para este H , os valores individuais da vazão regularizada “ f_{M90i} ” pelo valor de “ χ_{90} ” (calculado pela equação), obtém-se os 200 valores individuais “ $f_{M\chi i}^*$ ” assumidos pelo estimador “ $f_{M\chi}^*$ ”.

Por definição, o valor adotado para o f_{M90} é a *média* das 200 simulações (para um dado cenário e H). Sendo assim, não será necessário o cálculo da média dos 200 valores individuais de “ $f_{M\chi}^*$ ”, uma vez que uma das propriedades da média é “*multiplicando-se uma variável aleatória X por uma constante K , sua média será multiplicada por esta constante K* ”. Fazendo-se a constante $K = 1/\chi_{90}$, a média dos $f_{M\chi i}^*$ é determinada simplesmente pela divisão da média dos f_{M90i} (o valor f_{M90} adotado) pelo valor de χ_{90} .

Assim sendo:

$$E[f_M^* \chi] = E[f_{M90i}] / \chi_{90} \quad (6)$$

Mas, por definição:

$$E[f_{M90i}] / \chi_{90} = f_{M90} / \chi_{90} \quad (7)$$

e

$$E[f_M^* \chi] = f_M^* \chi \quad (8)$$

Ou seja, há que se comparar os valores estimados para $f_M^* \chi$ pela equação geral com os valores da vazão adimensional de equilíbrio obtida pela simulação estocástica do reservatório, através dos erros médios.

Os erros na estimativa da vazão regularizada

Tomando-se como referência a vazão adimensional de equilíbrio f_M^* e, considerando que ela representa a *real* capacidade de regularização daquele reservatório para o cenário estabelecido, têm-se que o **erro médio** (ε_m) cometido na estimativa da vazão regularizada é dado por:

$$\varepsilon_m = [(f_M - f_M^*) / f_M^*] \times 100 \quad (9)$$

O **erro médio** traduz o desvio, em termos percentuais, do valor assumido para a vazão regularizada (definida como a média das 200 simulações segundo um determinado cenário de CV_{def} , f_K , f_E , G , V_0 e H) em relação a vazão de equilíbrio. Assim sendo, o erro médio representa o desvio da média das 200 simulações em relação à vazão de equilíbrio.

RESULTADOS

A combinação de cinco valores de coeficientes de variação de influxos e três valores de f_K resulta na existência de 15 cenários diferentes. Ao ajustar-se, em cada cenário, os dez valores de χ_{90} ($H=10$ a 100 anos) a uma curva, obtém-se a equação da curva de regressão, ajustada pelo método dos mínimos quadrados, que melhor define o comportamento da variável χ_{90} em função de H , para aquele cenário. A equação geral da curva do tipo potência têm a forma de:

$$y = C_1 \cdot x^{C_2} \quad (10)$$

sendo C_1 e C_2 constantes.

A obtenção de χ_{90} para o cenário $CV_{def}=1,2$ e $f_K=1,0$ é ilustrada na Tabela 3. Observa-se nas tabelas 3 e 4 que, independentemente do CV_{def} , à medida que se aumenta H , χ_{90} se aproxima da unidade, indicando que quanto maior for a série, mais próximo f_M será de f_M^* . Apesar de só serem apresentados os resultados referentes a $f_K=1,0$, o mesmo foi observado para os demais valores de f_K .

Tabela 3 - Valores da vazão regularizada (f_{M90}), vazão adimensional de equilíbrio (f_M^*) e χ_{90} , considerando $CV_{def}=1,2$, $f_K=1,0$, $V_0=$ cheio e $G=90\%$.

H (anos)	f_M	f_M^*	χ_{90}
10	0,69	0,61	1,14
20	0,63	0,61	1,04
30	0,63	0,61	1,04
40	0,62	0,61	1,03
50	0,62	0,61	1,02
60	0,61	0,61	1,01
70	0,61	0,61	1,01
80	0,61	0,61	1,01
90	0,61	0,61	1,01
100	0,61	0,61	1,01

Tabela 4 – Valores de χ_{90} para $G=90\%$, $CV_{def}=0,58, 0,75, 1,2, 1,44$ e $1,61$ e $f_K=1,0$.

H (anos)	$f_K = 1,0$				
	$CV_{def}=0,58$	$CV_{def}=0,75$	$CV_{def}=1,20$	$CV_{def}=1,44$	$CV_{def}=1,61$
10	1,14	1,07	1,27	1,47	1,47
20	1,04	1,02	1,16	1,29	1,27
30	1,04	1,03	1,10	1,15	1,16
40	1,03	1,03	1,07	1,15	1,14
50	1,02	1,02	1,05	1,10	1,10
60	1,01	1,02	1,05	1,07	1,06
70	1,01	1,01	1,04	1,06	1,07
80	1,01	1,02	1,04	1,04	1,06
90	1,01	1,01	1,03	1,04	1,05
100	1,01	1,01	1,02	1,03	1,04

A variação do χ_{90} com o f_K , para o cenário $CV_{def}=1,44$, é mostrada na Figura 1. As curvas encontram-se praticamente sobrepostas, indicando a pouca sensibilidade de χ_{90} a f_K .

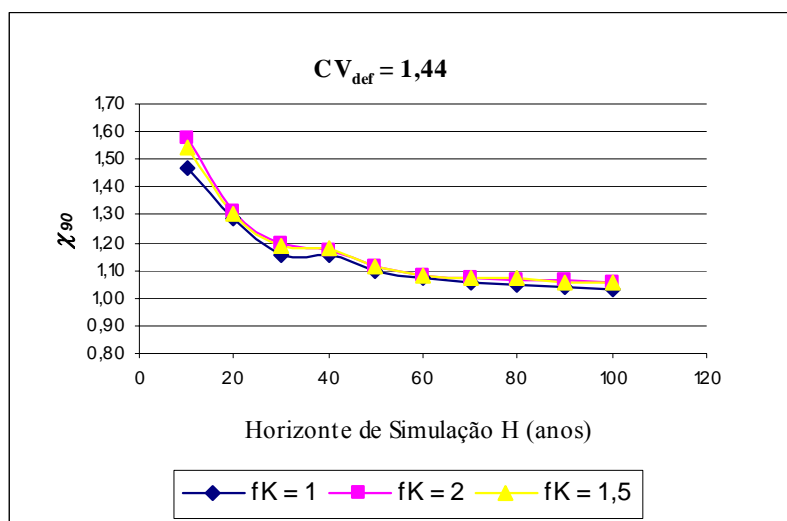


Figura 1 – Influência do f_K no χ_{90} no cenário $CV_{def}=1,44$

A Figura 2 mostra o ajuste da curva aos pontos de χ_{90} x H para o cenário $CV_{def}=1,61$, $f_K=1,0$, $G=90\%$. Para este cenário, a equação da curva de regressão é dada por:

$$\chi_{90} = 2,2182 \times H^{-0,1651} \quad (11)$$

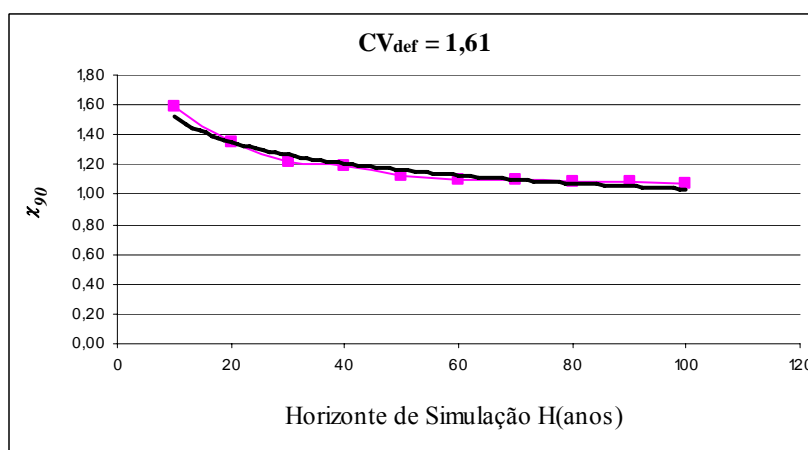


Figura 2 – Ajuste dos valores de χ_{90} e H a uma curva de regressão do tipo potência, considerando $CV_{def}=1,61$, $V_0=cheio$, $f_K=2,0$, $G=90\%$

O coeficiente de explicação r^2 encontrado indica que 95% da variância em χ_{90} pode ser atribuída à variância em H, indicando um ótimo ajustamento da curva. As demais equações são mostradas na Tabela 5.

O bom ajuste das curvas pode ser percebido também através da comparação entre os valores de χ_{90} calculados pelas das equações de regressão com os obtidos nas simulações. O erro médio foi sempre menor que 5% em todas as situações, como pode ser observado nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 5 – Equações das curvas de regressão para $\chi_{90} \times H$.

CV _{def}	$f_k = 1,0$	$f_k = 1,5$	$f_k = 2,0$
0,58	$\chi_{90} = 1,2255 \times H^{-0,0457}$	$\chi_{90} = 1,3197 \times H^{-0,0619}$	$\chi_{90} = 1,4081 \times H^{-0,0757}$
0,75	$\chi_{90} = 1,1136 \times H^{-0,0219}$	$\chi_{90} = 1,2124 \times H^{-0,0404}$	$\chi_{90} = 1,3079 \times H^{-0,0573}$
1,20	$\chi_{90} = 1,528 \times H^{-0,0906}$	$\chi_{90} = 1,6438 \times H^{-0,1049}$	$\chi_{90} = 1,7382 \times H^{-0,1162}$
1,44	$\chi_{90} = 2,018 \times H^{-0,1513}$	$\chi_{90} = 2,1356 \times H^{-0,1603}$	$\chi_{90} = 2,2224 \times H^{-0,1704}$
1,61	$\chi_{90} = 1,975 \times H^{-0,1453}$	$\chi_{90} = 2,1278 \times H^{-0,16}$	$\chi_{90} = 2,2182 \times H^{-0,1651}$

Tabela 6 – Erros médios (ε_m) cometidos na estimativa da vazão adimensional de equilíbrio pelas equações individuais, considerando CV_{def} = 0,58, 0,75, 1,20, 1,44 e 1,61, G=90%, V₀=cheio e $f_k=1,0$.

H (anos)	$f_k = 1,0$				
	CV _{def} = 0,58	CV _{def} = 0,75	CV _{def} = 1,20	CV _{def} = 1,44	CV _{def} = 1,61
10	-2,84%	-1,42%	-2,49%	-2,93%	-3,84%
20	2,84%	1,85%	0,29%	-0,37%	0,37%
30	0,66%	0,45%	2,20%	4,56%	4,21%
40	0,86%	-0,32%	1,91%	0,30%	1,39%
50	0,77%	0,27%	2,01%	1,96%	2,08%
60	0,28%	0,04%	0,34%	1,18%	2,42%
70	0,17%	0,12%	-0,40%	0,45%	-0,04%
80	-0,29%	-0,61%	-1,21%	-0,36%	-1,07%
90	-1,00%	-0,23%	-1,04%	-1,70%	-2,24%
100	-1,32%	-0,13%	-1,45%	-2,79%	-3,03%

Tabela 7 – Erros médios (ε_m) cometidos na estimativa da vazão adimensional de equilíbrio pelas equações individuais, considerando CV_{def} = 0,58, 0,75, 1,20, 1,44 e 1,61, G=90%, V₀=cheio e $f_k=1,5$.

H (anos)	$f_k = 1,5$				
	CV _{def} = 0,58	CV _{def} = 0,75	CV _{def} = 1,20	CV _{def} = 1,44	CV _{def} = 1,61
10	-3,75%	-2,34%	-3,88%	-4,14%	-3,73%
20	3,06%	2,56%	1,73%	1,25%	-0,19%
30	1,55%	0,70%	2,56%	3,98%	4,17%
40	1,74%	0,26%	2,62%	0,50%	1,80%
50	0,56%	0,74%	2,05%	2,37%	2,84%
60	0,67%	-0,14%	0,22%	2,63%	2,28%
70	0,08%	-0,16%	-0,43%	0,42%	0,24%
80	-0,74%	-0,40%	-1,09%	-1,14%	-1,34%
90	-1,37%	-0,66%	-1,36%	-1,92%	-2,34%
100	-1,74%	-0,62%	-2,14%	-3,52%	-3,23%

Tabela 8 – Erros médios (ε_m) cometidos na estimativa da vazão adimensional de equilíbrio pelas equações individuais, considerando $CV_{def}=0,58, 0,75, 1,20, 1,44$ e $1,61$, $G=90\%$, $V_0=$ cheio e $f_K=2,0$.

H (anos)	$f_K = 2,0$				
	$CV_{def} = 0,58$	$CV_{def} = 0,75$	$CV_{def} = 1,20$	$CV_{def} = 1,44$	$CV_{def} = 1,61$
10	-4,25%	-3,11%	-4,97%	-4,99%	-4,26%
20	3,11%	2,73%	2,75%	1,93%	0,61%
30	2,01%	1,46%	3,11%	4,11%	3,89%
40	2,12%	0,99%	3,21%	1,09%	1,83%
50	0,86%	0,79%	1,72%	2,71%	3,19%
60	0,76%	-0,07%	0,38%	2,57%	2,13%
70	0,31%	-0,08%	-0,46%	0,72%	0,61%
80	-0,87%	-0,65%	-1,57%	-1,11%	-1,28%
90	-1,60%	-1,04%	-1,76%	-2,68%	-3,10%
100	-2,27%	-1,01%	-2,25%	-3,92%	-3,15%

Uma Equação Geral para χ_{90}

Devido a pequena influência do f_K na determinação do χ_{90} , partiu-se para uma generalização das equações a partir da média das constantes C_1 e C_2 , para um mesmo CV_{def} (Tabela 9).

Tabela 9 – Média das constantes C_1 e C_2 da curva de regressão.

CV_{def}	C_1	C_2
0,58	1,317767	-0,0611
0,75	1,2113	-0,03987
1,20	1,636667	-0,1039
1,44	2,125333	-0,16067
1,61	2,107	-0,1568

O estabelecimento de uma equação geral que represente o comportamento de χ_{90} , em função do coeficiente de variação dos influxos (CV_{def}) e do horizonte de simulação (H), foi obtido ao determinar-se uma equação de regressão entre os valores C_1 e CV_{def} e C_2 e CV_{def} . As Figuras 3 e 4 mostram o ajuste da reta aos pontos, a equação que descreve a regressão e o coeficiente de explicação r^2 para cada uma das constantes.

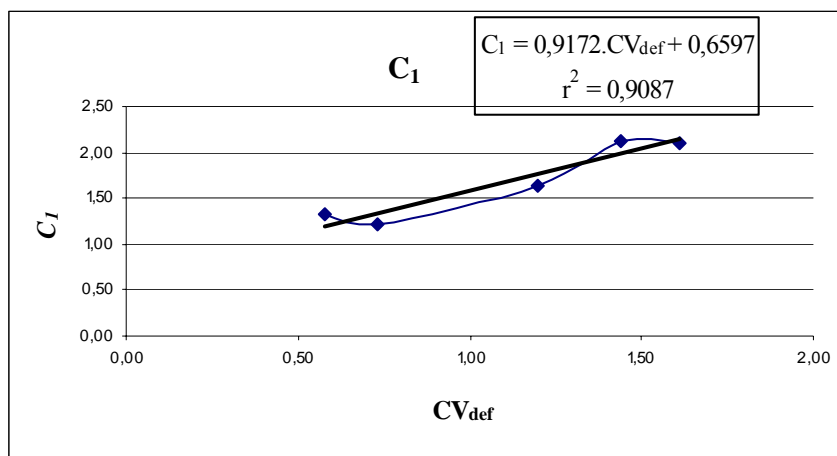


Figura 3 - Cálculo do coeficiente C_1 da reta de regressão.

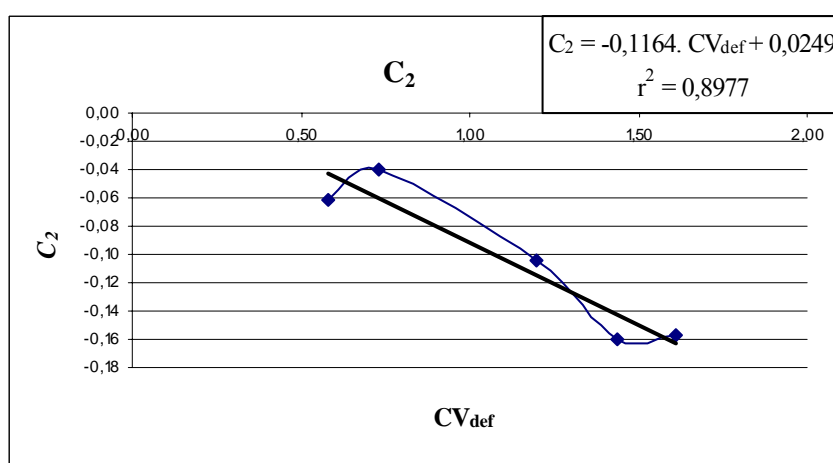


Figura 4 - Cálculo do coeficiente C_2 da reta de regressão.

Finalmente, a equação geral para χ_{90} é dada pela Equação 12.

$$\chi_{90} = (0,9172 \times CV_{def} + 0,6597) \times H^{(-0,1164 \times CV_{def} + 0,0249)} \quad (12)$$

Os valores de χ_{90} são dispersos para pequenos horizontes de simulação e à medida em que se aumenta o H, eles se aproximam entre si e tendem a assumir o valor igual a 1. Apesar do CV_{def} ir diminuindo a sua influência sobre o χ_{90} , não indica que sua influência sobre f_M^* também seja minimizada, apenas indica que a razão entre f_M e f_M^* é aproximadamente constante para um dado H (Figura 5).

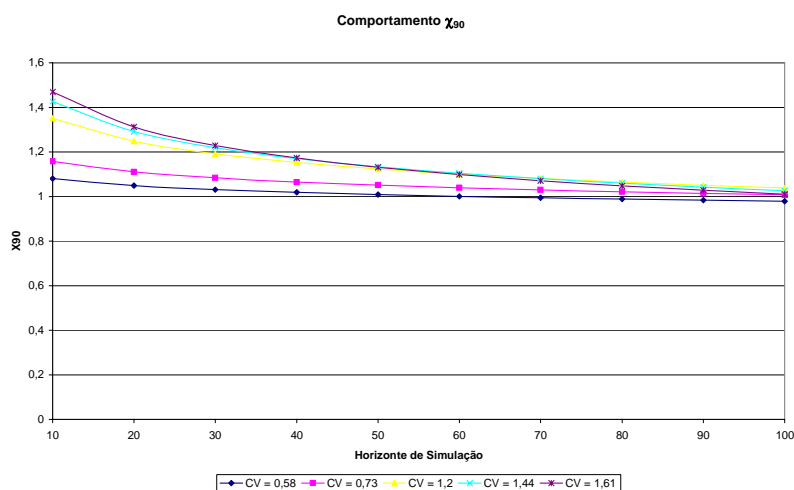


Figura 5 – Comportamento do χ_{90} .

A verificação da equivalência entre a vazão regularizada (em termos de f_M), obtida pela divisão das vazões regularizadas pelos valores de χ_{90} calculados pela equação geral e os resultados obtidos pela simulação estocástica (tidos aqui como os valores *verdadeiros* ou seja, os populacionais) é verificada pelos erros médios (Tabelas 9, 10 e 11).

Alguns valores são superiores a 5%. Em termos gerais a equação respondeu melhor no cenário com $f_K=2,0$. A pesquisa ainda está em andamento e procurar-se-á identificar a razão deste comportamento.

Tabela 9- Erros médios (ϵ_m) cometidos na estimativa de f_M^* pela equação geral, considerando $CV_{def}=0,58, 0,75, 1,20, 1,44$ e $1,61, G=90\%, V_0=cheio$ e $f_K=1,0$.

H (anos)	$f_K = 1,0$				
	$CV_{def} = 0,58$	$CV_{def} = 0,75$	$CV_{def} = 1,20$	$CV_{def} = 1,44$	$CV_{def} = 1,61$
10	-4,85%	7,77%	6,25%	-2,84%	-0,02%
20	0,93%	8,44%	7,46%	0,33%	3,12%
30	-1,09%	5,30%	8,44%	5,66%	6,32%
40	-0,80%	3,36%	7,39%	1,60%	2,93%
50	-0,82%	3,08%	6,91%	3,48%	3,23%
60	-1,25%	2,14%	4,70%	2,85%	3,25%
70	-1,31%	1,62%	3,54%	2,24%	0,51%
80	-1,72%	0,37%	2,37%	1,53%	-0,76%
90	-2,38%	0,30%	2,26%	0,27%	-2,13%
100	-2,67%	0,00%	1,57%	-0,76%	-3,10%

Tabela 10 - Erros médios (ε_m) cometidos na estimativa de f_M^* pela equação geral, considerando $CV_{def}=0,58, 0,75, 1,20, 1,44$ e $1,61, G=90\%, V_0=$ cheio e $f_K=1,5$.

H (anos)	$f_K = 1,5$				
	$CV_{def}=0,58$	$CV_{def}=0,75$	$CV_{def}=1,20$	$CV_{def}=1,44$	$CV_{def}=1,61$
10	-9,14%	2,33%	0,62%	-7,43%	-3,90%
20	-1,40%	6,01%	5,77%	-1,03%	-0,53%
30	-2,08%	3,26%	6,21%	2,37%	3,70%
40	-1,35%	2,23%	5,96%	-0,55%	1,27%
50	-2,08%	2,27%	5,14%	1,70%	2,25%
60	-1,62%	1,01%	3,07%	2,28%	1,64%
70	-1,91%	0,68%	2,25%	0,34%	-0,42%
80	-2,47%	0,18%	1,44%	-0,97%	-2,02%
90	-2,86%	-0,31%	1,03%	-1,56%	-3,04%
100	-3,03%	-0,48%	0,14%	-2,99%	-3,95%

Tabela 11 - Erros médios (ε_m) cometidos na estimativa de f_M^* pela equação geral, considerando $CV_{def}=0,58, 0,75, 1,20, 1,44$ e $1,61, G=90\%, V_0=$ cheio e $f_K=2,0$.

H (anos)	$f_K = 2,0$				
	$CV_{def}=0,58$	$CV_{def}=0,75$	$CV_{def}=1,20$	$CV_{def}=1,44$	$CV_{def}=1,61$
10	-12,55%	-2,16%	-3,44%	-9,76%	-7,24%
20	-3,64%	3,54%	4,50%	-1,31%	-2,34%
30	-3,39%	2,15%	4,93%	1,94%	0,95%
40	-2,36%	1,59%	5,07%	-0,23%	-0,98%
50	-2,84%	1,33%	3,59%	2,00%	0,40%
60	-2,36%	0,42%	2,25%	2,38%	-0,59%
70	-2,30%	0,36%	1,41%	0,96%	-2,03%
80	-3,01%	-0,25%	0,30%	-0,51%	-3,84%
90	-3,35%	-0,67%	0,13%	-1,77%	-5,58%
100	-3,68%	-0,67%	-0,35%	-2,73%	-5,60%

CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como principal objetivo a busca de um estimador justo e eficiente para a vazão regularizada por um reservatório no seu estado de equilíbrio. Sabendo-se que uma importante propriedade de um bom estimador é a *eficiência*, a qual é traduzida pela baixa variabilidade dos valores individuais em torno da média, achou-se que um estimador em potencial seria adotar $V_0=$ cheio. Entretanto, sabe-se que tal prática, para cenários de alta variabilidade dos deflúvios naturais e para baixos valores de horizonte de simulação, leva a uma superestimativa das

reais disponibilidades hídricas. Tentou-se, portanto tirar esta tendenciosidade das estimativas adotando-se uma fator de correção de viés, denominado χ_{90} .

A determinação de f_M^* através deste estimador consiste, basicamente, em simular o reservatório, considerando-o inicialmente cheio e, posteriormente, dividir o resultado obtido para f_M pelo Fator de Correção do Viés (χ_{90}).

Os resultados obtidos na pesquisa ainda são preliminares, mas indicam a possibilidade do desenvolvimento de uma sistemática de parametrização e de um processo matemático que chegue a uma equação regional que possa ser aplicada a diversos locais diferentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMPOS, J.N.B. (1987). **A Procedure for Reservoir Sizing on Intermittent Rivers Under High Evaporation Rate**. Fort Collins, Colorado State University. PhD thesis.
- MCMAHON, T. A. and MEIN, R.G. (1978) **Reservoir Capacity and Yield**. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- STUDART, T.M.C e CAMPOS, J.N.B. (2001) *Incertezas nas Estimativas da Vazão Regularizada por um Reservatório*. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n.3, p. 81-94.
- STUDART, T.M.C. (2000). **Análises de Incertezas na Determinação de Vazões Regularizadas em Climas Semi-Áridos**. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará. Tese de doutorado.
- SVANIDZE, G.G. (1980). **Mathematical Modeling of Hydrologic Series**. Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado, USA.