

# AJUSTE DE COEFICIENTES DE FORMA DE BACIAS HIDRÁULICAS DE PEQUENOS AÇUDES NO SEMIÁRIDO NORDESTINO

**Autores:** João Paulo Araujo Souza, Engenheiro, Universidade de Fortaleza (Unifor); Vanda Tereza Costa Malveira, DSc, Professora da Universidade de Fortaleza (Unifor).

## Abstract

The present paper presents form coefficients of the hydraulical basins applied to small reservoirs in northeast semiarid of Brazil, adjusted a sample of 410 small dams of the state of the Ceará. The adjustment allows the determination of a reservoir volume with the information of the observed water table. Some small dams constructed in Brazilian semiarid region do not possess registers of topographical surveys concerning to its hydraulical basins and, therefore, evaluation of its potentials of accumulation do not make use of curves water level *versus* volume. This lack of information prejudices the process of making decision if the main data is about the potential volume accumulated in a watershed. The analyzed equation also allows, the determination of the volume from the data of maximum height of water and its corresponding area of flooding, being this last data available through satellites imageries. To define a relation between volume ( $v$ ) and water table ( $h$ ) an equation of the polynomial type is adopted in the form  $V = aH^b$ ; to define a relation between volume ( $v$ ) water table ( $h$ ) and water surface ( $S$ ), in the form  $V = b^{-1} \cdot H \cdot S$ .

**Keywords:** small reservoirs; semiarid; availability.

**Palavras-chave:** Pequenos açudes; semiárido; disponibilidade

## 1.0 Introdução

O presente trabalho apresenta coeficientes de forma de bacias hidráulicas de reservatórios determinados para a equação de Molle-Cadier e, ajustados de acordo com uma amostra de 410 pequenos açudes do estado do Ceará, no semiárido do Nordeste Brasileiro. O ajuste efetivado permite análise da variação dos coeficientes constituintes na equação que permite a determinação de volume de reservatórios a partir da informação da altura de água observada. A equação original usou uma amostragem de 416 açudes de capacidade variável, isto é, envolvendo de micros a grandes (Molle e Cadier, 1992). O objetivo deste trabalho é apresentar resultados que possibilitem a determinação de volumes de pequenos açudes a partir da informação da profundidade máxima observada, constituindo, assim, uma ferramenta importante na avaliação da disponibilidade hídrica de regiões semiáridas. De um modo geral, os pequenos açudes implantados nessas regiões não possuem registros de levantamentos topográficos de suas bacias hidráulicas e, portanto, não dispõem de curvas cotas x volumes para avaliação de seus potenciais de acumulação.

A equação analisada permite ainda, a determinação do volume a partir do dado de altura máxima de água e sua correspondente área de inundação, sendo este último dado de fácil obtenção através tratamento de imagens de satélites.

Na equação ajustada apresenta-se como variáveis e profundidade de água, sendo o volume do reservatório em função da altura d'água observada. A relação entre as variáveis é constituída pelo parâmetro  $b$ , que é o indicador da topografia da bacia hidráulica e pelo parâmetro  $a$ , que é o indicador de forma da bacia hidráulica, mais especificamente da declividade das margens do reservatório. As Figuras 1 e 2 ilustram dois tipos de topografia de margens de reservatório, sendo a primeira relativa a um reservatório com margens íngremes, acidentadas e, a segunda referente a um reservatório com margens suaves, planas. Os valores desses parâmetros, apresentados nos estudos originais de Molle-Cadier (1992), apresentam uma grande escala de variação, conforme mostra, as Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1** - Valores de  $a$  para margens íngremes e margens suaves

Caracterização	Margens íngremes	Vale em "V"	Margens suaves
(a)	200 a 1.000	800 a 3.000	2.000 a 10.000

**Tabela 2** - Valores de **b** para bacias hidráulicas abertas e fechadas

Caracterização	Encostas côncavas	Vale em "V"	Encostas convexas
( b )	2.20 - 2.80	2.70 - 3.20	3.00 - 3.40



**Figura 1** – Ilustração de um reservatório com margens íngremes, encaixado.  
Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos (CE)



**Figura 2** – Ilustração de um reservatório com margens suaves, aberto.

## 2.0 Metodologia

Para definir uma relação entre volume armazenado (V) e profundidade de água (H) é adotada uma equação do tipo polinomial, com coeficiente a e grau b, na forma da equação 1.

$$V = a * H^b \quad (1)$$

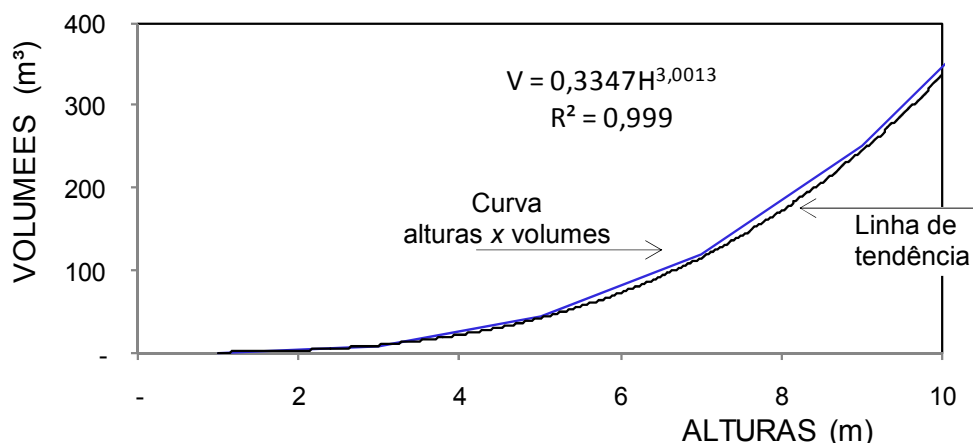
De acordo com Molle e Cadier (1992) o parâmetro **b** é o indicador da topografia da bacia hidráulica e o parâmetro **a** é o indicador de forma da bacia hidráulica, mais especificamente da declividade das margens do reservatório. Conhecendo-se os valores de **a** e **b**, pode se calcular facilmente o volume (V) do reservatório para qualquer profundidade, bem como a superfície (S) do espelho d'água, aplicando a equação 2.

$$S = b * a * H^{b-1} \quad (2)$$

Relacionando a fórmula do volume com a da superfície, obtém-se uma relação simples (Equação 3).

$$V = \frac{H * S}{b} \quad (3)$$

Utilizando um banco de dados com a topografia da bacia hidráulica de 410 açudes, a partir de uma publicação do DNOCS (PINHEIRO, 2004), foi determinada a linha de tendência com sua respectiva equação e coeficiente de correlação ( $R^2$ ) com os valores de altura de água (eixo x) versus volume armazenado (eixo y), de acordo com ilustrado na Figura 3.



**Figura 3:** Exemplo de gráfico de altura de água versus volume armazenado com a equação do reservatório.

Das equações resultaram os coeficientes **a** e **b** relativos ao fator de forma de cada açude que foram organizados para um tratamento estatístico básico que permitisse a determinação de **a** e **b** através da mediana. Esta medida foi escolhida por se tratar de uma medida de tendência central, enquanto que a média resultaria numa média absoluta de todos os valores, incluindo máximos e mínimos extremos e, portanto, menos representativo (Milone, 2004).

## 3.0 Resultados

A partir das curvas e respectivas equações dos reservatórios que constituíram o banco de dados foram organizados e verificados os resultados para os parâmetros **a** e **b**.

- Parâmetro **a** - indicador de forma da bacia hidráulica - o tratamento estatístico com os dados dos reservatórios, apresentado na Tabela 3, resulta no valor para o indicador de forma de bacias hidráulicas (**a**) de pequenos reservatórios no semiárido do Ceará igual a 0,245. Para melhor análise da variação desse valor é destacado o seu máximo (8,810), o seu mínimo (0,003) e seu desvio padrão (1,070).

**Tabela 3 – Valor do parâmetro a**

Mediana	<b>0,245</b>
Mínimo	0,003
Máximo	8,810
Desvio	1,070

- Parâmetro **b** - indicador da topografia da bacia hidráulica - o tratamento estatístico com os dados dos reservatórios, apresentado na Tabela 4, resulta no valor para o indicador da topografia da bacia hidráulica (**b**) de pequenos reservatórios no semiárido do Ceará igual a 2,844. Para melhor análise da variação desse valor é destacado o seu máximo (5,013), o seu mínimo (0,728) e seu desvio padrão (0,619).

**Tabela 4 – Valor do parâmetro b**

Mediana	<b>2,844</b>
Mínimo	0,728
Máximo	5,013
Desvio	0,619

#### 4.0 Discussões e Conclusões

Do tratamento estatístico simples com os dados dos reservatórios resulta:

1. para o indicador de forma de bacias hidráulicas (**a**) de pequenos reservatórios no semiárido do Ceará igual a 0,245 e desvio padrão 1,070;
2. para o indicador da topografia da bacia hidráulica (**b**) de pequenos reservatórios no semiárido do Ceará igual a 2,844 e desvio padrão 0,619;
3. para todos os cálculos efetuados foi observado a mediana dos coeficientes de correlação ( $R^2$ ) igual 0,997.

O coeficiente **b** adotado por Molle-Cadier (1992) foi 2,70, muito próximo do calculado no presente trabalho que é 2,844 (5% superior). A mesma aproximação observa-se no trabalho de Campos (2005), que sugere o valor 3,00 para este parâmetro. 2,696

Os estudos anteriores de Campos (2005) não apresentam sugestões para valores de **a**, indicador de forma da bacia hidráulica. O resultado encontrado no presente trabalho, que é de 0,245, é muito inferior ao sugerido na Tabela 2, organizada de acordo com o trabalho de Molle-Cadier (1972).

Pesquisas mais recentes usando como amostragem açudes com capacidade inferior a três milhões de metros cúbicos, no estado da Paraíba, referente a uma monografia de final de curso (curso de Engenharia Civil da Unifor), ainda não publicada, apresenta valor de **a** igual a 1732, que estaria no intervalo dos vales em forma de "V" da Tabela 2. O valor de **b** na mesma monografia é igual a 2,696.

De acordo com os resultados encontrados no presente trabalho as equações 1 e 3, específicas para pequenos reservatórios no semiárido nordestino, podem ser representadas, respectivamente, na forma

$$V = 0,245 H^{2,844} ;$$
$$V = \frac{H * S}{0,245} .$$

A inconsistência nos resultados apresentados para o parâmetro **a** não é significativa para o objetivo proposto no presente trabalho, qual seja calcular volumes de pequenos açudes com informação de nível d'água do reservatório, que pode ser coletado manualmente com uma visita ao local e, a informação da superfície inundada que pode ser restituída de imagens de satélite e, aplicando-se a segunda equação específica.

Recomenda-se para estudos futuros pesquisas mais específicas para o valor de **a**, uma vez pode se afirmar que o parâmetro **b** encontra-se bem ajustados para aplicação em pequenos açudes no semiárido nordestino, com seu valor entre 2,700, dos estudos de Molle-Cadier (1972); 2,696, estudos ainda não publicados para pequenos açudes no estado da Paraíba; 2,844 como resultado deste trabalho.

## **5.0 Referências**

ARAUJO, J.P. **Ajuste do fator de forma de pequenos reservatórios no método de Molle-Cadier**. Monografia de Final de Curso. Universidade de Fortaleza, Curso de Engenharia Civil. 2010.

CAMPOS, J. N. B. **Dimensionamento de reservatórios: o método do diagrama triangular de regularização**. Fortaleza: Expressão Gráfica e Editora, 2005. 112p.

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do pequeno açude**. Recife: SUDENE, 1992. 523p.

PINHEIRO, F.D., **Açudes em Cooperação no estado do Ceará**. Fortaleza: DNOCS, 2004.733p.

MILONE, G. **Estatística geral e aplicada**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning. 2004. 483p.