

DEMOCRATIZAÇÃO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ÁGUA NO NORDESTE SEMI-ÁRIDO E A EFICIÊNCIA HIDROLÓGICA DE UM SISTEMA DE RESERVATÓRIOS SUPERFICIAIS

Ticiania M. de Carvalho Studart¹; José Nilson B. Campos¹; Marcelo Brauner dos Santos² & Ricardo Brauner dos Santos³

RESUMO - Em uma grande porção do Nordeste brasileiro, a construção de reservatórios superficiais é condição essencial à obtenção de suprimentos de água confiáveis. Por essa razão, a ocupação dos sertões nordestinos se deu concomitantemente à implementação da política de açudagem, inserida na política de combate às secas. A idéia da democratização da distribuição espacial da água, através da construção de inúmeros reservatórios na bacia hidrográfica de açudes estratégicos é muito presente no Nordeste Semi-Árido. Entretanto, as altas taxas de evaporação e as irregularidades das vazões naturais dos rios, interferem significativamente nas eficiências dos reservatórios superficiais da Região. Muitas vezes o açude principal, quando analisado isoladamente, sem a influência da pequena açudagem, regulariza muito mais água que o sistema de reservatórios formado pelo mesmo e pelo conjunto de pequenos a sua montante. Assim sendo, o presente trabalho pretende estudar, com técnicas de hidrologia estocástica, as trocas existentes entre a democratização do acesso à água e a eficiência hidrológica, tendo como estudo de caso um sistema formado por 38 reservatórios em uma bacia hidrográfica representativa das condições hidrológicas e morfológicas do Nordeste Semi-Árido.

ABSTRACT- In a large area of the Northeast Brazil, the construction of superficial reservoirs is an essential condition towards consecution of reliable water supply. For that reason, the occupation of Sertão happened at the same time to the implementation of hydraulic infrastructure, inserted in a major public policy against droughts. The idea of the spatial water distribution democratization through the building of large number of small reservoirs upstream strategic dams is very present in the Semi-arid Northeast. However, the high evaporation rates and the irregularities of the annual discharges, interfere significantly in the superficial reservoirs' efficiencies. Very often, the strategic reservoir, when analyzed alone, without the influence of the small dams, have greater yield than the system. The present paper intends to study, with stochastic hydrological techniques the trades between the water democratization practice and the hydrological efficiency. As case study is taken a system formed by 38 reservoirs in a very representative basin of Northeast Semi-Arid's hydrological and morphologic conditions.

Palavras-chave: Pequena açudagem, eficiência hídrica, democratização da água

¹ Professores do Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará – Campus do Pici – Bloco 713 – Fortaleza, Ceará – Brasil – CEP:60.451-970 – Fone (85) 288.9623. Fax (85) 288.9627 – e-mails: ticiania@ufc.br e nilson@ufc.br.

² Bolsista PIBIC – CNPq, Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará

³ Bolsista Apoio Técnico - CNPq, Aluno do Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Ceará

1 - INTRODUÇÃO

Em meados do Século XIX o senador Francisco de Brito Guerra, com o espírito lúcido e prático que o distinguia, reconhecendo o alcance e a necessidade do açudamento do Sertão, proclamava que “*seria feliz quando suas águas não chegassem ao oceano.*” Esta política, que nos dias de hoje poderia denominar-se “extravasamento zero”, foi muito difundida no Nordeste Semi-Árido e ainda hoje encontra inúmeros adeptos.

Frases como “*no sertão mais vale deixar à família um bom açude do que um rico palácio*”, traduz muito bem como a idéia da pequena açudagem se internalizou no nordestino, na esperança de torna-se imune as secas.

A despeito de ser uma prática bastante defendida pela população e por alguns técnicos, a experiência tem demonstrado que a pequena açudagem tem sido um dos fatores responsáveis pela redução do volume afluyente aos grandes reservatórios, os quais são de interesse estratégico para o gerenciamento dos recursos hídricos, por suas características interanuais.

O presente trabalho pretende avaliar, em um caso concreto, o efeito da “democratização da água” na eficiência hídrica de um sistema de reservatórios, localizado na bacia do rio Jaguaribe, no Estado do Ceará. Para este estudo, selecionou-se o Açude Várzea do Boi, que barra o riacho Carrapateiras, um dos principais afluentes do rio Jaguaribe. O açude está localizado no município de Tauá, estado do Ceará, distando cerca de 320 km de Fortaleza e 15 km da sede municipal. Situado em uma região onde os índices pluviométricos são os mais baixos do Estado, controla uma bacia hidrográfica de 1.256 km² e forma um reservatório com capacidade máxima de acumulação de 51,9 hm³ (PERH, 1992).

Concluído em 1954, ao longo destes anos foram sendo construídos, a sua montante, inúmeros pequenos reservatórios - 37 com área de espelho d’água superior a 5 ha (COGERH/ENGESOF, 2000). Serão considerados dois cenários – o açude antes da construção dos pequenos reservatórios a sua montante e sua situação atual.

O presente sistema já foi analisado em estudo anterior (CAMPOS et. al., 2000). A abordagem para solução da equação do balanço hídrico, no entanto foi distinta da utilizada no presente trabalho. No trabalho citado, a simulação do ano foi dividido em duas estações – uma úmida e uma seca – e o método utilizado foi o do Diagrama Triangular (CAMPOS, 1996). No presente trabalho o reservatório foi simulado a nível mensal.

2 - CARACTERIZAÇÃO MORFOMÉTRICA DA INFRA-ESTRUTURA HIDRÁULICA DA BACIA DO AÇUDE VÁRZEA DO BOI

A Figura 1 apresenta a topologia da bacia, com os 37 reservatórios selecionados. Foi atribuída uma letra para denominação de cada talvegue diretamente afluente à bacia hidráulica deste. A cada espelho d'água ou reservatório foi atribuído, conforme metodologia descrita no Plano do Jaguaribe (COGERH/ENGESOFT, 2000), um código alfanumérico representativo de sua posição dentro da bacia hidrográfica do açude principal. Assim, para o caso de uma bacia hidráulica de um açude ao qual afluem 4 talvegues, estes seriam denominados A, B, C e D, e os reservatórios existentes denominados A01, A02,...,D01, D02, D03, etc. Isto se deveu, principalmente, à impossibilidade de identificação nominal de cada espelho d' água pertencente à bacia hidrográfica maior. No que refere às áreas de contribuição de cada reservatório, também assumiu-se os valores contidos no Plano supracitado.

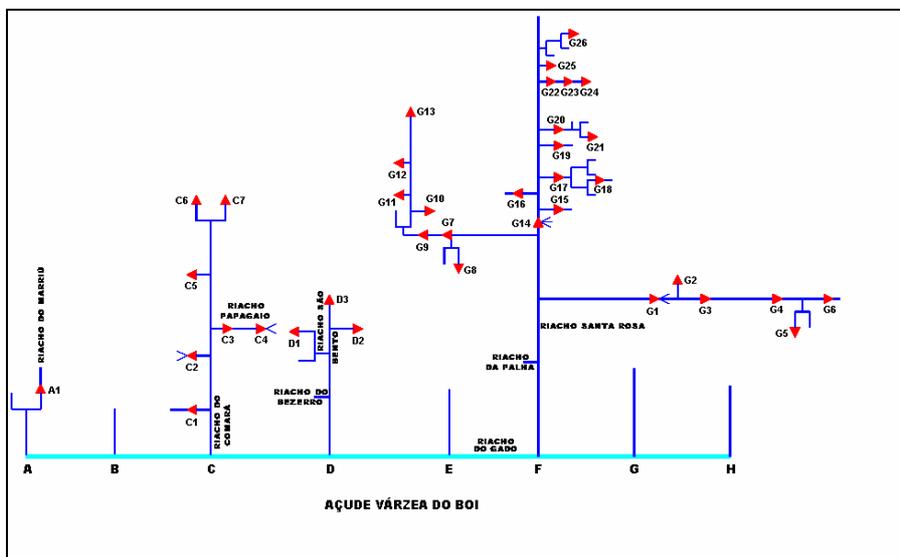


Figura 1– Diagrama unifilar da bacia do Açude Várzea do Boi, com os 37 reservatórios a sua montante (COGERH/ENGESOFT, 2000)

As principais características do Açude Várzea do Boi são apresentadas na Tabela 1. Já as dos pequenos reservatórios estão contidas na Tabela 2. As áreas livres referem-se aquelas não controladas por reservatórios de montante. Observa-se que a pequena açudagem controla uma área correspondente a 49,4% da bacia original. A influência deste controle será analisada *a posteriori*.

Tabela 1 – Principais características do Açude Várzea do Boi

Açude	Município	Rio barrado	Conclusão	Capacidade (hm ³)	Bacia Hidrográfica. (km ²)	Área Livre (km ²)	Altura máxima (m)
Várzea do Boi	Tauá	Carrapateiras	1954	51,8	1.256,0	635,04	17,4 (1)

Fonte: COGERH/ENGESOFT (2000); (1) Macêdo (1981)

Os dados das curvas cota x volume do Açude Várzea do Boi foram retirados do trabalho de Macêdo (1981); os dos demais 37 reservatórios foram estimados pela Equação 1.

$$V = \alpha h^3 \quad (1)$$

onde V é a capacidade do reservatório, h é a altura da cota do sangradouro e α , o fator de forma do reservatório. Segundo Campos, Nascimento e Studart (2002), esta equação apresentou desempenho bastante satisfatório quando a grandeza analisada foi a vazão regularizada, em estudo de 20 reservatórios de pequeno a grande porte (todos no Estado do Ceará).

Tabela 2 – Características dos reservatórios da bacia do Açude Várzea do Boi – capacidade (K), fator de forma do reservatório (α) e área de drenagem (livre)

n	Código	K (hm ³ /ano)	α	Área Livre (km ²)
1	A01	0,24	595,2	1,37
2	C01	0,17	437,3	2,69
3	C02	0,28	730,3	4,79
4	C03	0,31	1.379,2	1,82
5	C04	0,19	582,3	3,82
6	C05	0,35	1.178,1	0,65
7	C06	0,06	158,4	0,16
8	C07	0,07	185,9	0,20
9	D01	0,45	2.899,8	3,65
10	D02	0,45	2.758,4	1,41
11	D03	0,06	428,0	2,73
12	G01	0,66	2.376,4	40,93
13	G02	0,33	944,5	4,06
14	G03	0,20	1.003,6	34,07
15	G04	0,53	498,8	15,41
16	G05	0,15	484,0	3,73
17	G06	0,21	675,4	2,98
18	G07	0,20	993,5	12,53
19	G08	0,19	141,7	0,67
20	G09	1,26	3.813,5	72,15
21	G10	0,34	982,2	1,95
22	G11	0,22	743,6	2,86
23	G12	1,13	4.824,2	6,09
24	G13	0,82	2.793,7	76,72
25	G14	8,51	15.264,0	202,98

Tabela 2 – Características dos reservatórios da bacia do Açude Várzea do Boi – capacidade (K), fator de forma do reservatório (α) e área de drenagem (livre) (cont)

n	Código	K (hm^3/ano)	α	Área Livre (km^2)
26	G15	0,24	321,2	15,30
27	G16	0,27	929,8	0,80
28	G17	0,33	1.437,1	34,55
29	G18	0,30	648,3	5,16
30	G19	0,45	2.792,9	7,65
31	G20	0,27	1.238,1	18,38
32	G21	0,36	1.285,7	3,79
33	G22	0,31	1.755,1	1,61
34	G23	0,47	4.655,5	19,39
35	G24	0,22	809,1	10,72
36	G25	0,33	820,7	1,87
37	G26	0,23	262,0	1,32
-	-	-	Σ	620,96
38	BVB	52,00	1.520,0	635,04
			Σ	1.256,00

3 - O REGIME FLUVIAL DO RIO CARRAPATEIRAS NO AÇUDE VÁRZEA DO BOI

Para a aplicação da operação simulada do reservatório, há que se ter as séries históricas de vazões do rio Carrapateiras, nos locais das barragens Várzea do Boi e das demais a sua montante. O conhecimento do regime fluvial da bacia nestas localidades é imprescindível para a simulação do sistema.

Os dados fluviométricos disponíveis

Segundo a Base de dados HIDRO - Sistema de Informações Hidrológicas – da Agência Nacional de Água (ANA), existem duas estações que interessam o presente estudo – a do próprio açude e a de Arneiróz, a 50 km sua jusante, no rio Jaguaribe (Tabela 3). Entretanto, para a primeira, não existem registros.

Tabela 3 - Relação das estações fluviométricas – ANA

Código da Estação	Estação	Rio	Latitude	Longitude
36010000	Açude Várzea do Boi	Carrapateiras	-05:55:00	-040:21:00
36020001	Arneiróz	Jaguaribe	-06:20:00	-040:09:00

Conforme a Monografia Hidrológica do GVJ (SUDENE, 1967), a lâmina escoada sobre as bacias do Açude Várzea do Boi e a estação de Arneiróz é a mesma. Ambas apresentam regime

hidrológico Tipo IV. Com efeito, este fato foi corroborado pela revisão do estudo hidrológico do Açude Público Várzea do Boi, no princípio da década de 70 (DNOCS/CONSÓRCIO SCET – COOP/SIRAC/CONESPLAN, 1972), o qual concluiu que ambas as bacias apresentam as mesmas características geomorfológicas .

Segundo o estudo, de todos os elementos que têm influência sobre o escoamento, só a superfície permite diferenciar as duas bacias hidrográficas. Como se dispõe de uma série longa de vazões para Arneiróz, e admitindo-se que existe uma correlação linear entre as contribuições entre as bacias do Açude Várzea do Boi e Arneiróz (em função das semelhanças supracitadas), pode-se calcular as vazões afluentes ao primeiro, multiplicando-se as do segundo por um coeficiente que traduza a relação entre as áreas das duas bacias.

Dados fluviométricos de Arneiróz

A coleta sistemática de dados fluviométricos na Bacia do Rio Jaguaribe foi iniciada em 1911, pela Inspetoria de Obras Contra as Secas (IOCS). Naquele ano, a Inspetoria instalou uma série de postos hidrométricos - dentre os quais o de Arneiroz - e pluviométricos, que ainda hoje constituem a base de qualquer estudo hidrológico que se elabore no Vale. Em 1916, um ano após a catastrófica “Seca do Quinze”, as observações foram interrompidas por cinco anos. Em 1921, a rede hidrométrica voltou a funcionar. Nos anos de 1932 e 1933, quando da ocorrência de um novo período de déficits de escoamento, aconteceu uma nova paralisação nas observações de vazões.

Na década de 1960, com a criação do Grupo de Estudos do Vale do Jaguaribe - GVJ, através da SUDENE, foram feitos amplos melhoramentos na rede. Dentre os trabalhos elaborados pelo GVJ podem ser citados: análise e organização das observações arquivadas; campanhas hidrológicas de medição e melhoramento das escalas linimétricas.

Posteriormente ao GVJ, foram iniciados pela SUDENE, prosseguidas pelo DNOCS, estudos para aproveitamento hidroagrícola dos solos irrigáveis do Vale. A Tabela 4 apresenta as vazões médias mensais em Arneiróz após o preenchimento.

Tabela 4 - Vazões mensais em Arneiróz (em hm³/ano) após preenchimento

Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
5,75	30,87	83,02	91,05	18,62	2,91	0,70	0,17	0,01	0,00	0,29	1,81	235,21
											CV	1,39

Fonte: DNOCS/AGUASOLOS (1989)

3.1.2 O regime do Rio Carrapateiras no sítio do Açude Várzea do Boi

Considerando as semelhanças supracitadas, pode-se calcular as vazões afluentes ao Açude Várzea do Boi, multiplicando-se as de Arneiroz por um coeficiente que traduza a relação entre as

áreas das duas bacias. Assim sendo, os padrões sazonais das vazões afluentes ao Açude Várzea do Boi podem ser observadas nas Tabela 5. Observa-se que os mesmos são típicos de rios do Semi-Árido Brasileiro, com deflúvios concentrados durante a estação chuvosa e altos coeficiente de variação das vazões anuais – 1,39.

Tabela 5 - Vazões médias mensais em Várzea do Boi (considerando a área total da bacia) obtidas por relação entre a áreas com a estação de Arneiróz (em hm³/ano)

jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Média anual
1,25	6,70	18,01	19,75	4,04	0,63	0,15	0,04	0,00	0,00	0,06	0,39	51,02

Algumas considerações sobre a lâmina escoada

Ainda a título de análise, comparou-se a lâmina escoada na bacia sobre a bacia do Açude Várzea do Boi e seu coeficiente de escoamento (C.E), definido pela Equação 2, com os determinados tendo como base os estudo do DNOCS/AGUASOLOS (1989), acima citado.

$$C.E. = \text{Lâmina Média Escoada Anual} / \text{Precip. Média Anual} \quad (2)$$

Observa-se que os valores estão bem próximos entre si, excetuando-se os encontrados quando da elaboração do Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Jaguaribe (COGERH/ENGESOFT, 2000).

Tabela 6 - Comparação entre os valores de lâminas escoadas sobre a bacia Várzea do Boi e coeficiente de escoamento encontrados em diferentes estudos

Estudo	Lâmina média	Precip. Média Anual	Coefficiente de Escoamento
PERH (1992) (1)	44,0 mm	515,7	8,5%
SUDENE (1967) (2)	43,0 mm	515,7	8,3%
COGERH/ENGESOFT *(2000)	33,9 mm	515,7	6,6%
DNOCS/AGUASOLOS (1989)	40,6 mm	515,7	7,8%

(1) Atlas de do Plano Estadual de Recursos Hídricos PERH (1992) (2) Monografia Hidrológica, pág.367 SUDENE (1967)

Observa-se na Tabela 6 que os valores encontrados, em termos de lâmina, são bastante compatíveis com aqueles obtidos com os do GVJ (SUDENE, 1967) – dados muito confiáveis e com os obtidos no PERH (1992). Observa-se ainda que os valores obtidos para o Plano do Jaguaribe se encontram inferiores a todos os outros.

As séries de vazões afluentes aos reservatórios estudados

Para a determinação das séries de vazões afluentes dos 37 reservatórios foi usada a mesma metodologia já explanada para o Açude Várzea do Boi. Os valores das vazões médias afluentes anuais a cada reservatório, inclusive àquela referente à porção não controlada do Açude Várzea do Boi (área livre) são as que constam na Tabela 7.

Tabela 7 – Características dos reservatórios da bacia do Açude Várzea do Boi – capacidade (K), fator de forma do reservatório (α) e área de drenagem (livre)

n	Código	Área Livre (km ²)	Lâmina Média escoada anual (mm)	Vazão Média Afluyente Anual (μ) hm ³ /ano	CV
1	A01	1,37	40,6	0,05629	1,39
2	C01	2,69	40,6	0,11053	1,39
3	C02	4,79	40,6	0,19681	1,39
4	C03	1,82	40,6	0,15742	1,39
5	C04	3,82	40,6	0,15696	1,39
6	C05	0,65	40,6	0,02671	1,39
7	C06	0,16	40,6	0,00657	1,39
8	C07	0,20	40,6	0,00822	1,39
9	D01	3,65	40,6	0,14997	1,39
10	D02	1,41	40,6	0,05794	1,39
11	D03	2,73	40,6	0,11217	1,39
12	G01	40,93	40,6	3.55867	1,39
13	G02	4,06	40,6	0,16682	1,39
14	G03	34,07	40,6	1.95500	1,39
15	G04	15,41	40,6	0,77151	1,39
16	G05	3,73	40,6	0,15326	1,39
17	G06	2,98	40,6	0,12244	1,39
18	G07	12,53	40,6	5.52784	1,39
19	G08	0,67	40,6	0,02753	1,39
20	G09	72,15	40,6	5.68639	1,39
21	G10	1,95	40,6	0,08012	1,39
22	G11	2,86	40,6	0,11751	1,39
23	G12	6,09	40,6	0,25023	1,39
24	G13	76,72	40,6	3.15232	1,39
25	G14	202,98	40,6	11.4156	1,39
26	G15	15,30	40,6	0.62866	1,39
27	G16	0,80	40,6	0.03287	1,39
28	G17	34,55	40,6	1.52467	1,39
29	G18	5,16	40,6	0.21202	1,39
30	G19	7,65	40,6	0.31433	1,39
31	G20	18,38	40,6	0.79823	1,39
32	G21	3,79	40,6	0.15573	1,39

Tabela 7 – Características dos reservatórios da bacia do Açude Várzea do Boi – capacidade (K), fator de forma do reservatório (α) e área de drenagem (livre) (cont)

n	Código	Área Livre (km ²)	Lâmina Média escoada anual (mm)	Vazão Média Afluente Anual (μ) hm ³ /ano	CV
33	G22	1,61	40,6	0.93345	1,39
34	G23	19,39	40,6	1.12461	1,39
35	G24	10,72	40,6	0.44047	1,39
36	G25	1,87	40,6	0.07684	1,39
37	G26	1,32	40,6	0.05424	1,39
-	-	620,96		-	
38	BVB	635,04 ⁽²⁾	40,6	42,9700	1,39
38	BVB	1256,00 ⁽¹⁾	40,6	51,2000	1,39

(¹) sem considerar os reservatórios a montante; (²) considerando os reservatórios a montante

4 - A OPERAÇÃO SIMULADA DO AÇUDE VÁRZEA DO BOI

O processo de modelagem do regime hidrológico em bacias em condições alteradas, caso do Açude Várzea do Boi, pode se tornar extremamente complexo se o analista incorporar em seu modelo todas as grandezas que interferem na ocorrência dos fenômenos. Desta forma, no intuito de simplificar o processo de análise é razoável seguir as etapas abaixo relacionadas:

- Fazer o levantamento de todos os reservatórios a sua montante;
- Simular os reservatórios a montante;
- Compor o regime hidrológico *alterado*, somando-se os deflúvios gerados na porção não-controlada, com as sangrias dos reservatórios de montante
- Simular o reservatório de jusante.

A operação simulada do Açude Várzea do Boi

A capacidade de regularização do Açude Várzea do Boi foi analisada, então, a partir da operação simulada dos 37 reservatórios situados a sua montante, utilizando as séries de vazões afluentes aos mesmos, determinadas no item 3. Os estudos foram desenvolvidos através da equação do balanço hídrico, tomando por base as seguintes premissas:

- a unidade de tempo é um mês;
- a retirada do reservatório é constante ao longo dos anos e ao longo dos meses;
- a contribuição líquida sobre o lago - precipitação menos evaporação - é admitida constante ao longo dos anos, mas variável ao longo dos meses.

A equação do balanço hídrico de um reservatório.

A determinação do comportamento do reservatório é feito pela equação de seu balanço hídrico, que consiste em igualar as entradas e saídas do reservatório como se segue:

$$dV/dt = E - S \quad (3)$$

onde dV/dt é a variação do volume ao longo do tempo, E o resultado de todas as entradas no sistema e S o resultado de todas as saídas. As entradas são compostas dos deflúvios afluentes e das precipitações diretas sobre o espelho d'água do reservatório; as retiradas, por sua vez, são formadas pelas evaporações e pelas retiradas. A equação do balanço hídrico usada neste modelo é dada por:

$$V_{i+1} = V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) + I_i - R_i - S_i \quad (4)$$

onde:

V_{i+1} e V_i = representam os volumes de água estocados no reservatório no início dos meses $i+1$ e i respectivamente;

P_i = precipitação média sobre o espelho de água do açude durante o mês i ;

E_i = lâmina média evaporada da superfície do lago durante o mês i ;

A_{i+1} e A_i = representam as áreas do lago do reservatório no início dos meses $i+1$ e i respectivamente;

I_i = volumes afluentes ao reservatório durante o mês i ;

M_i = retirada do reservatório durante o mês i ;

S_i = volume sangrado do reservatório.

Considerando-se que o reservatório está com um volume inicial V_0 , simular-se-á, para uma garantia G , o reservatório a nível mensal para a respectiva série histórica de vazões durante H anos, onde H é a extensão da série histórica. Inicialmente considera-se a retirada $M = \min (K/2, \mu/2)$. Ao final de cada ano é calculado se o volume anual armazenado é suficiente para atender a demanda (= retirada M); se não for, é considerado que naquele ano ocorreu uma falha.

A regra de operação é definida por:

$$V_{i+1} = 0, \text{ se } (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) \leq 0 \quad (5)$$

$$V_{i+1} = (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) + I_i), \text{ se } 0 < (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2} (A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) < k \quad (6)$$

$$V_{i+1} = k, \text{ se } (V_i + (P_i - E_i) \times \frac{1}{2}(A_{i+1} + A_i) - M_i + I_i) \geq k \quad (7)$$

No final dos H anos é verificado se a retirada M assumida inicialmente ($\min(K/2, \mu/2)$) corresponde à frequência de falhas pretendida. Caso seja superior, diminui-se a retirada, caso contrário, eleva-se a retirada e simula-se novamente o comportamento do reservatório para H anos e assim sucessivamente até que a retirada correspondente a uma frequência de falhas pretendida seja encontrada.

A simulação dos reservatório utilizando o programa SIMRES

A simulação dos 38 reservatórios – Várzea do Boi e os 37 a sua montante – foi feita utilizando o módulo SIMULAÇÃO do programa SIMRES, desenvolvido pelo Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (Campos, et.al., 1999).

Dados de Entrada do SIMRES

A simulação do Açude Várzea do Boi utiliza como TAPE3.DAT a *série sintética* com 5.000 anos de extensão, no intuito de analisar o comportamento do reservatório no seu estado de equilíbrio. Para que se pudesse avaliar o impacto da pequena açudagem nas vazões regularizadas do Açude Várzea do Boi, estipulou-se 2 cenários:

- Cenário 0 – Várzea do Boi com área de drenagem igual 1.256 km², sem reservatórios a sua montante
- Cenário 1 – Várzea do Boi com área de drenagem igual a 635,04 km², considerando 37 reservatórios a sua montante

No Cenário 0, onde não se considera nenhum reservatório, que não o Várzea do Boi, sua simulação é feita nos moldes das *bacias de condições naturais*. Os dados utilizados como TAPE3.DAT são os constantes na Tabela 4.3 multiplicados pelo fator de correção de área igual a 0,216 (correspondente a 1.256/5.790,8).

No Cenário 1 procede-se da seguinte maneira: seu arquivo TAPE3.DAT é formado pelas sangrias dos 37 reservatórios a sua montante (arquivos TAPE6.DAT gerado após a simulação destes reservatório) somadas às vazões geradas na área não controlada (dados da Tabela 3 multiplicados pelo fator de correção de área igual 0,109, correspondente à relação 635,04/5.790,8).

As vazões regularizadas pelos reservatórios

O Açude Várzea do Boi foi simulado no Cenário 0, ou seja, sem reservatórios a montante. Foi utilizado apenas o nível de garantia igual a 90%, a nível anual, previsto em lei, no Ceará (Decreto Estadual 23.067/94). Os volumes anuais (em hm³/ano) sangrados (S), evaporados (E) e regularizados (R) são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Volumes anuais (em hm³/ano) sangrados, evaporados e regularizados pelo Açude Várzea do Boi em condições naturais (Cenário 0), considerando um nível de garantia de 90% anual

Açude	G	K (hm ³)	μ m ² /ano)	Sangria (hm ³ /ano)	Evaporação (hm ³ /ano)	Vazão			
						Regularizada (hm ³ /ano)	%S	%E	%R
BVB (livre)	90	51,8	51,609	31,845	12,581	7,427	61,7	24,4	14,4

Observa-se que o Açude Várzea do Boi, sem considerar os reservatórios a montante, sangra, em média, cerca de 62% de suas vazões anuais e regulariza 14,4% das vazões anuais. Uma das razões, certamente é sua capacidade modesta. Tal fato já tinha sido identificado na Monografia Hidrológica (SUDENE, 1967).

As simulações para cada um dos 37 reservatórios, para garantia anual de 90%, são apresentadas na Tabela 9. Os resultados referem-se ao estado de equilíbrio.

Tabela 9- Volumes anuais sangrados, evaporados e regularizados (em hm³/ano) por cada um dos 37 reservatório situados na sua bacia hidrográfica, considerando um nível de garantia anual de 90%

nº	Cod	G	K (hm ³)	μ hm ² /ano)	Sangria (hm ³ /ano)	Evaporação (hm ³ /ano)	Vazão			
							Regularizada (hm ³ /ano)	%S	%E	%R
1	A01	90	0,236	0,05629	0,00560	0,05073	0	9,9	90,1	0,0
2	C01	90	0,171	0,11053	0,04972	0,06081	0	45,0	55,0	0,0
3	C02	90	0,275	0,19681	0,09541	0,10143	0,00001	48,5	51,5	0,0
4	C03	90	0,312	0,15742	0,06990	0,08754	0,00001	44,4	55,6	0,0
5	C04	90	0,192	0,15696	0,08263	0,07433	0,00001	52,6	47,4	0,0
6	C05	90	0,352	0,02671	0,00002	0,02676	0	0,1	100,2	0,0
7	C06	90	0,060	0,00657	0,00004	0,00654	0	0,6	99,5	0,0
8	C07	90	0,071	0,00822	0,00007	0,00816	0	0,9	99,3	0,0
9	D01	90	0,454	0,14997	0,02411	0,12594	0,00001	16,1	84,0	0,0
10	D02	90	0,448	0,05794	0,00064	0,05738	0	1,1	99,0	0,0
11	D03	90	0,062	0,11217	0,07963	0,03255	0	71,0	29,0	0,0
12	G01	90	0,659	3,55867	3,18335	0,31218	0,06510	89,5	8,8	1,8
13	G02	90	0,331	0,16682	0,05844	0,1084	0,00001	35,0	65,0	0,0
14	G03	90	0,201	1,955	1,81848	0,10631	0,03093	93,0	5,4	1,6
15	G04	90	0,528	0,77151	0,55511	0,15598	0,06244	72,0	20,2	8,1
16	G05	90	0,154	0,15326	0,08903	0,06216	0,00216	58,1	40,6	1,4
17	G06	90	0,206	0,12244	0,04930	0,07316	0	40,3	59,8	0,0
18	G07	90	0,198	5,52784	5,41613	0,1006	0,01144	98,0	1,8	0,2
19	G08	90	0,194	0,02753	0,00093	0,02663	0	3,4	96,7	0,0
20	G09	90	1,264	5,68639	5,01207	0,5566	0,5566	88,1	9,8	9,8

Tabela 9- Volumes anuais sangrados, evaporados e regularizados (em hm³/ano) por cada um dos 37 reservatório situados na sua bacia hidrográfica, considerando um nível de garantia anual de 90% (cont)

n°	Cod	G	K (hm ³)	μ hm ² /ano)	Sangria (hm ³ /ano)	Evaporação (hm ³ /ano)	Vazão				
							Regularizada (hm ³ /ano)	%S	%E	%R	
21	G10	90	0,335	0,08012	0,00781	0,07236	0	9,7	90,3	0,0	
22	G11	90	0,224	0,11751	0,04185	0,07568	0	35,6	64,4	0,0	
23	G12	90	1,127	0,25023	0,01820	0,23222	0,00001	7,3	92,8	0,0	
24	G13	90	0,824	3,15232	2,65399	0,37583	0,12644	84,2	11,9	4,0	
25	G14	90	8,512	11,4156	7,95830	3,00640	0,46650	69,7	26,3	4,1	
26	G15	90	0,244	0,62866	0,50182	0,08486	0,04322	79,8	13,5	6,9	
27	G16	90	0,271	0,03287	0,00032	0,03261	0	1,0	99,2	0,0	
28	G17	90	0,33	1,52467	0,96974	0,42597	0,13337	63,6	27,9	8,7	
29	G18	90	0,298	0,21202	0,10503	0,10458	0,00252	49,5	49,3	1,2	
30	G19	90	0,449	0,31433	0,13307	0,18129	0,00001	42,3	57,7	0,0	
31	G20	90	0,269	0,79823	0,64450	0,13320	0,02116	80,7	16,7	2,7	
32	G21	90	0,359	0,15573	0,04302	0,11275	0,00001	27,6	72,4	0,0	
33	G22	90	0,307	0,93345	0,81157	0,12188	0,00004	86,9	13,1	0,0	
34	G23	90	0,466	1,12461	0,86730	0,25733	0,00004	77,1	22,9	0,0	
35	G24	90	0,221	0,44047	0,32791	0,10021	0,01272	74,4	22,8	2,9	
36	G25	90	0,328	0,07684	0,00730	0,06958	0	9,5	90,6	0,0	
37	G26	90	0,231	0,05424	0,00682	0,04745	0	12,6	87,5	0,0	
									Σ	1,03	

Observa-se na Tabela 9 que a grande maioria dos açudes é ineficiente. Dos 37, 26 não apresentam capacidade de regularização (%R igual a zero). O restante regulariza percentuais irrisórios, com exceção de quatro deles que regularizam entre 7 e 10% do seu volume afluyente anual. Observa-se ainda que 17 reservatórios apresentam mais de 50% de seu volume afluyente perdido por evaporação, o que certamente prejudica o desempenho de todo o sistema.

Na Tabela 10 são mostrados os dados referentes ao Cenário 0 - simulação conjunta do Açude Várzea do Boi e dos 37 a sua montante, com o nível de garantia de 90%.

Tabela 10 - Volumes anuais sangrados, evaporados e regularizados (em hm³/ano) pelo Açude Várzea do Boi, considerando um nível de garantia anual de 80, 85, 90 e 95%

n°	Cod	G	K (hm ³)	μ hm ² /ano)	Sangria (hm ³ /ano)	Evaporação (hm ³ /ano)	Vazão			
							Regularizada (hm ³ /ano)	%S	%E	%R
-	BVB	90	51,8	42,977	26,658	12,082	4,391	62,0	28,1	10,2

Comparando os resultados das simulações do Açude Várzea do Boi, quando considerado isoladamente (Cenário 0) e em conjunto (Cenário 1) - para o nível de garantia de 90% - observa-se que o mesmo regularizava, sem a interferência dos reservatórios, um volume anual de 7,4 hm³/ano (Tabela 8). Ao adicionar-se os reservatórios, sua vazão regularizada individual passa para 4,4

hm³/ano (Tabela 10). Tal diferença não é suprida pelas vazões regularizadas individualmente por cada reservatório que, juntas, somam apenas 1,03 hm³/ano (Tabela 9). Os resultados apontam uma redução da ordem de 40% nas vazões regularizadas pelo reservatório, devido à pequena açudagem a montante.

A Tabela 11 sumariza os resultados obtidos para a vazão regularizada anual do Açude Várzea do Boi, para G=90%, considerando o Cenário 1 – real - ou seja, com a existência de 37 reservatórios controlando cerca de 49% de bacia de drenagem.

Tabela 11 - Volumes anuais sangrados, evaporados e regularizados (em hm³/ano) pelo Açude Várzea do Boi, considerando um nível de garantia anual de 90 %

Nível de Garantia	Vazão Regularizada (hm ³ /ano)	Vazão Regularizada Contínua m ³ /s
90	4,391	0,14

5 - CONCLUSÕES

O presente trabalho estudou a influência da “democratização da água” na capacidade de regularização de um sistema de reservatórios com o objetivo de melhor analisar, em um caso concreto esta prática tão difundida e defendida por muitos no Semi-Árido Brasileiro. Para tal estudou-se a bacia do Açude Várzea do Boi, no Vale do Jaguaribe, no Estado do Ceará, o qual apresenta 37 pequenos reservatórios a sua montante.

Simulou-se o reservatório em dois cenários diferentes. O Cenário 0 supõe toda a bacia do reservatório sendo controlada unicamente pelo Açude Várzea do Boi – seria a simulação do passado. O Cenário 1 adota a situação real – cerca de 49% da bacia sendo controlada por 37 pequenos reservatórios.

Em qualquer cenário adotado verifica-se o subdimensionamento do Açude Várzea do Boi, tendo, em média, percentuais sangrados extremamente elevados, em torno de 60% do volume que a ele aflui, em média, anualmente. Tal comportamento pode ser observado durante os anos de 1986, 1988, 1989, 1990 (COGERH, 2004). Desde 1995, entretanto, em função dos índices pluviométricos abaixo da média histórica observados na região, o reservatório permaneceu apenas com seu volume morto, tendo voltado a sangrar em 2004.

Ao simular-se o Cenário 1 – real - observa-se que a grande maioria dos açudes é ineficiente, não apresentando qualquer capacidade de regularização. Tal fato reduziu significativamente a capacidade de regularização do Açude Várzea do Boi, uma vez que um volume considerável de água que seria drenada para o reservatório é perdida na bacia por evaporação nos pequenos reservatórios. Comparando-se os dois cenários – o passado e o atual – para um mesmo nível de

garantia (G=90%), observa-se que o Açude Várzea do Boi regularizava, sem a interferência dos reservatórios, um volume anual de 7,4 hm³/ano. Ao adicionar-se os pequenos reservatórios a sua montante, sua vazão regularizada individual passa para 4,4 hm³/ano. Tal diferença não é suprida pelas vazões regularizadas individualmente por cada reservatório que, juntas, somam apenas 1,03 hm³/ano . Os resultados apontam uma redução da ordem de 40% nas vazões regularizadas pelo reservatório, devido à pequena açudagem a montante.

AGRADECIMENTOS - Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pelo suporte a presente pesquisa.

BIBLIOGRAFIA

CAMPOS, J.N.B. Dimensionamento de Reservatórios – *O Método do Diagrama Triangular de Regularização* (1996). Edições UFC, Fortaleza, 51 p.

CAMPOS, J.N.B., STUDART, T.M.C., MARTINZ, D. e COELHO, L. (1999) – SIMRES – Um Modelo Computacional para Simulação de Reservatórios. Fortaleza, Ce.

CAMPOS, J.N.B; VIEIRA NETO, J. QUEIRÓZ, , L.S.V; STUDART, T.M.C. (2000) - impacto cumulativo da pequena açudagem: estudo de caso do Açude Várzea Do Boi, em Tauá-Ce. In: V Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH, Natal, RN.

CAMPOS, J.N.B; NASCIMENTO, L.S.V; STUDART, T.M.C. (2002) - *Avaliação de Erros na Estimativa de Vazões Regularizadas por Ajustamento da Tabela Cota vs. Volume por Equações Matemáticas*. In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH, Maceió, Al..

COGERH (2004) – *Matriz de Ocorrência de Eventos Extremos nos Principais Açudes do Estado do Ceará*. (www.cogerh.com.br/monitoramento/documentos). Fortaleza, Ceará.

COGERH/ENGESOFT (2000) - *Plano de Gerenciamento das Águas da Bacia do Jaguaribe*. Fortaleza, Ceará.

DNOCS/CONSÓRCIO SCET – COOP/SIRAC/CONESPLAN (1972) - *Estudo Hidrológico do Açude Público Várzea do Boi, projeto de irrigação, Hidrologia*.. Fortaleza, Ceará.

DNOCS/AGUASOLOS (1989) - *Estudo Hidrológico do Açude Público Arneiróz II*, Fortaleza, Ceará.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET (1990). *Normais Climatológicas (1961 a 1990)*. Brasília, DF, 1990.

MACEDO, M. V. (1981) – *Características Físicas e Técnicas dos Açudes Públicos do Ceará* . DNOCS, Fortaleza, Ce.

MOLLE, F. e CADIER, E. (1989) – *Manual de Pequenos Açudes*. SUDENE/ORSTOM. Recife, Pe.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (1992) – Estudos de Base. Fortaleza, Ce.

PLANO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (1992) – Atlas. Fortaleza, Ce.

SUDENE (1967) – *Estudo Geral de Base do Vale do Jaguaribe* - Monografia Hidrológica. Recife, Pe.

SUDENE (1980) - *Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste-PLIRHINE*. Recife, Pernambuco.