

# DISPONIBILIDADE DE ÁGUA SOB IMPACTO DA PEQUENA AÇUDAGEM: CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA ALTO JAGUARIBE, CE

*Vanda Tereza Costa Malveira<sup>1</sup> ; Andreas Güntner<sup>2</sup>; José Carlos de Araújo<sup>3</sup>*

**RESUMO** - Um dos desafios centrais de investigadores e gestores de água em grandes bacias é avaliar, de modo confiável, a disponibilidade de água em condições reais. Em bacias do Semi-árido Brasileiro, um dos principais desafios consiste em considerar a proliferação de pequenos açudes. Esse artigo tem como objetivo principal validar o modelo WASA (*Water Availability in Semi-Arid Environments*) para a bacia do Alto Jaguaribe, Ceará. A referida bacia, com área pouco inferior a 25 mil km<sup>2</sup>, conta atualmente mais de quatro mil reservatórios a montante, sendo estratégica para o abastecimento do estado. O modelo foi aplicado tanto para a bacia completa quanto para suas sub-bacias, no período entre 1961 e 2005. Os resultados confirmam a validade do modelo WASA para estimar a disponibilidade hídrica em grandes bacias hidrográficas mesmo considerando o efeito de milhares de pequenos reservatórios, porém o modelo apontou discrepâncias, para bacias menores, em relação aos dados observados.

**ABSTRACT** - One of the greatest challenges of water managers and investigators of large basins is to assess, with acceptable confidence level, the water availability of large areas in real conditions. In Brazilian semi-arid basins, one has to consider the highly dense number of small dams upstream the strategic reservoirs. This paper has the purpose of validating the WASA model (*Water Availability in Semi-Arid Environments*) for the Upper Jaguaribe basin, Ceará, Brazil. The study basin has a catchment area of almost 25,000 km<sup>2</sup>, counts with more than 4,000 dams upstream and is strategic for water supply in the State. The model was applied to the whole basin as well as to each of its main sub-catchments for the period of 1961 to 2005. The results show that WASA is valid for large catchments even considering the effect of thousands of small dams, but discrepancies between simulated and measured data were observed for smaller catchments.

**Palavras-chave:** Hidrologia, pequena açudagem, semi-árido.

**Key-words:** Hydrology, small dams, semi-arid environment.

---

1) Mestre em Recursos Hídricos. Professora da UNIFOR; Técnica do DNOCS, CE; Doutoranda da Universidade Federal do Ceará, e-mail: vandat@unifor.br.

2) Doutor. Pesquisador do Centro de Pesquisas da Terra (Geoforschungszentrum) de Potsdam, Alemanha, e-mail: guentner@gfz-potsdam.de.

3) Doutor em Hidráulica e Saneamento. Professor Associado do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, e-mail: jcaraujo@ufc.br

# 1 - INTRODUÇÃO

O Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH) do Ceará, aprovado em 1992, introduz propostas para planejamento e gestão da água no estado. Os diagnósticos elaborados no PERH permitiram uma estratégia de implantação de novas estruturas hidráulicas de acumulação, estabelecendo prioridades técnicas em função dos melhores potenciais de aproveitamento, além da introdução de uma política de monitoramento e controle das bacias hidrográficas.

De um modo geral, sabe-se que a disponibilidade de água superficial é limitada por fatores climatológicos e morfológicos para uma dada bacia hidrográfica. No caso do semi-árido nordestino, onde a descarga disponível para uso da sociedade é pequena quando comparada com o escoamento médio, os estudos devem considerar a presença das pequenas barragens. Seu impacto é de grande monta, aumentando consideravelmente o espelho d'água e, portanto, incrementando as perdas por evaporação no sistema. Além disso, o número dos pequenos açudes aumenta consideravelmente a cada ano. Assim, para se validar um modelo hidrológico (de modo que se possa utilizá-lo com confiança para fins de planejamento) para o semi-árido, é necessário investigar a temporalidade da construção dessas pequenas (mas altamente impactantes) obras.

Nesse sentido, a presente pesquisa estuda o modelo WASA (*Water Availability in Semi-Arid Environments*, Güntner, 2000; Güntner e Bronstert, 2004), considerando-se que o referido modelo destina-se a grandes bacias em ambientes semi-áridos e permite considerar a presença de pequenos açudes, tratados estatisticamente em cinco classes. Caso o modelo se mostre válido, isso permitirá que o mesmo seja utilizado como instrumento de planejamento para a região semi-árida.

## 2 – DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NA ÁREA DE ESTUDO

A disponibilidade natural dos recursos hídricos, na bacia estudada, apresenta variações extremas do ponto de vista temporal. Nos anos mais secos com precipitações limitadas, podem-se observar eventos torrenciais isolados, concentrando-se a precipitação anual em até um mês (FRIISCHKORN, ARAÚJO e SANTIAGO, 2003). Esse fato, associado à elevada evaporação e ao embasamento cristalino predominante, resulta em trocas hídricas deficitárias com a atmosfera. Para aumentar a disponibilidade hídrica da bacia têm sido implementados programas de construção de reservatórios artificiais, historicamente através do DNOCS e, recentemente, também através de órgãos do Estado.

De acordo com Malveira et al. (2004) os primeiros reservatórios de médio porte foram implantados na região no período de 1940 a 1961 (Figura 1): os açudes Várzea do Boi em 1954 e Poço da Pedra em 1958, com 51 e 52 milhões de metros cúbicos, respectivamente. A política de implantação de reservatórios de públicos de médio e pequeno porte foi intensificada no período de 2001 a 2004 através de investimentos do governo do estado do Ceará.

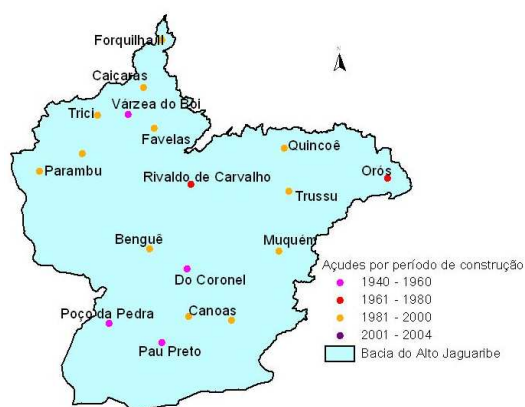


Figura 1 - Açudes estratégicos na bacia do Alto Jaguaribe, por período de construção.

O objetivo que se tinha desde 1931, quando da instituição de política de açudagem pública, era construir reservatórios para garantir a disponibilidade de água para as necessidades diversas da região (ARAÚJO, 1990). Nas últimas décadas, no entanto, o conceito de disponibilidade passa a ser tratado de forma científica mais rigorosa.

As bacias hidrográficas são tratadas como unidades referência para avaliações de disponibilidade de água superficial. No semi-árido nordestino, onde a descarga regularizada com 90% de garantia ( $Q_{90}$ ) varia entre 30 e 50% do escoamento médio anual (ARAÚJO et al., 2003), e que este escoamento é composto também de sedimentos transportados, a real disponibilidade de água está longe de ser associada à quantidade de reservatórios existentes numa unidade de drenagem.

A bacia do Alto Jaguaribe, em setembro de 2002, apresentava elevada densidade de pequenos açudes: 6,2 reservatórios por  $\text{Km}^2$  (Figura 2). Os 18 reservatórios estratégicos da bacia somam 2.793 milhões de metros cúbicos de acumulação máxima, de acordo com a COGERH, sendo Orós seu maior e mais importante açude, situado imediatamente a montante de seu exutório, com capacidade para  $1.940 \text{ hm}^3$ . De acordo com Araújo et al.(2003), a disponibilidade hídrica não pode ser associada à capacidade máxima de acumulação dos reservatórios, uma vez que essa cifra não corresponde ao volume efetivamente disponível ou sequer armazenado na bacia.

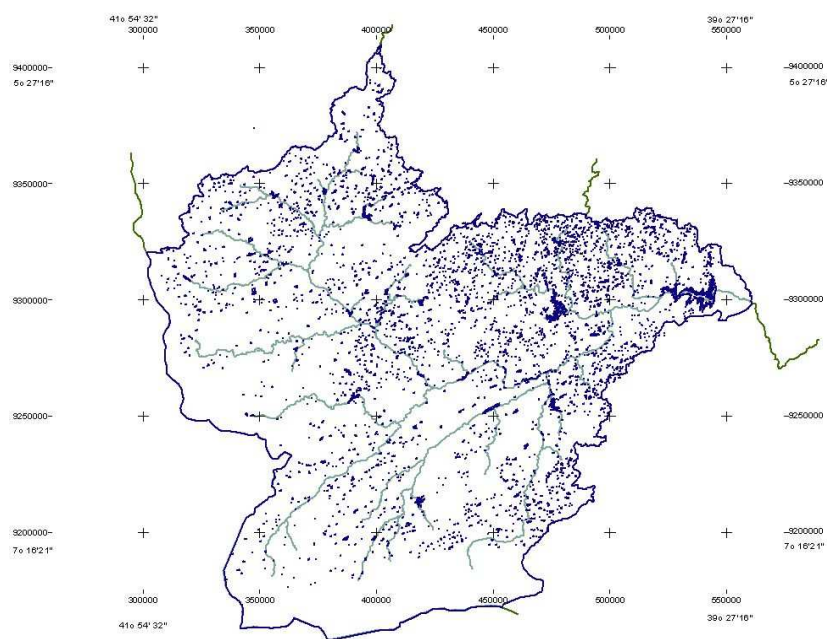


Figura 2 – Estrutura de açudagem na bacia do Alto Jaguaribe em 2002

Fonte: Dados da pesquisa para tese de doutorado da aluna Vanda Tereza C. Malveira (UFC)

Muitos dos pequenos reservatórios têm a bacia hidráulica tão aberta do ponto de vista topográfico, que podem secar completamente em três meses após o final da estação chuvosa devido à elevada taxa de evaporação (entre 2.000 e 2.400 mm por ano). Alguns sofrem ruptura devido ao mau dimensionamento de seu vertedor ou devido a práticas inadequadas de construção. Outro aspecto a ser considerado é o assoreamento dos reservatórios, que reduz sua capacidade de acumulação e modifica sua morfologia, aumentando a quota de evaporação e de extravasamento, reduzindo a disponibilidade hídrica (ARAÚJO, GUENTNER e BRONSTERT, 2006).

A densa estrutura de reservatórios existente na bacia de drenagem deve ser avaliada sob alguns aspectos relativos à oferta hídrica, tais como:

- o citado potencial de armazenamento é pontual do ponto de vista temporal, isto é, pode ocorrer imediatamente no final do período úmido, se a distribuição pluviométrica for uniforme em toda a bacia de drenagem. Há que se destacar o potencial de evaporação da região, cujo efeito pode ser observado em imagens de satélites, onde se verifica o completo desaparecimento de alguns pequenos reservatórios, no intervalo de um mês;
- os volumes máximos armazenáveis devem ser avaliados periodicamente, uma vez que os reservatórios sofrem os efeitos da sedimentação, reduzindo estes volumes, o que ocorre em uma média de 0.2% de acordo com resultados encontrados por Araújo, Güntner e Bronstert (2006);
- além dos aspectos quantitativos, é necessário o monitoramento dos aspectos qualitativos, quando da avaliação dos recursos hídricos realmente disponíveis.

### 3 – MATERIAL E MÉTODOS

Neste trabalho será apresentada a modelagem realizada através do modelo WASA (*Water Availability in Semi-Arid Environments*, GÜNTNER, 2002; GÜNTNER e BRONSTERT, 2004). O modelo foi desenvolvido para aplicação em grandes bacias semi-áridas, podendo ser aplicado para avaliação de disponibilidade de água. O modelo, de base física, considera os seguintes processos: variação da umidade do solo a partir da precipitação e a influência da cobertura vegetal, a geração do escoamento superficial incluído o escoamento lateral gerado nos planos superiores em aclave, o escoamento na calha de drenagem e o armazenamento em reservatórios agrupados em cinco categorias. O modelo WASA considera, ainda, os pequenos reservatórios, agrupando-os em cinco classes e dando, a cada classe, tratamento estatístico a partir de um reservatório padrão representativo.

A parametrização da bacia do Alto Jaguaribe ocorreu de acordo com procedimentos correntes da hidrologia atual, isto é, obtidos em plataformas do Sistema de Informações Geográficas (SIG), garantindo melhor precisão dos dados. Os dados de entrada do modelo WASA têm com base informações sobre topografia, cobertura vegetal, uso do solo, classificação de solos, precipitação, temperatura, umidade e radiação para a caracterização física da área, além de dados relativos aos reservatórios existentes na bacia, sob os aspectos espaciais e temporais. Este banco de dados constitui-se assim de uma matriz de mapas temáticos, que são operados em plataformas GIS, conforme resultado parcial para a bacia em estudo, apresentado por Malveira e Teixeira (2006).

É importante mencionar que, no processo de parametrização, considerou-se a variação temporal da pequena afluência na bacia. Com base em imagens georreferenciadas de diversos anos, foi possível avaliar, em cada sub-bacia, o número de pequenos açudes em cada uma das cinco classes a cada ano. As simulações com o WASA tiveram como ponto de partida o início da operação do açude Orós, em 1961, e como data final o ano de 2005, período de conclusão de coleta de dados.

Para a validação do modelo, coletaram-se os dados dos volumes dos reservatórios monitorados por órgãos como DNOCS e COGERH, confrontando-se os valores medidos com os simulados. O índice de disponibilidade hídrica admitido foi o volume de água armazenado nos reservatórios no primeiro dia de cada mês. A verificação analítica dos resultados de modelagens hidrológicas foi realizada através do coeficiente de eficiência NSE de Nash e Stedinger (1971), calculado de acordo com a equação 1.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_t (V_{medido,t} - V_{simulado,t})^2}{\sum_t (V_{medido,t} - \bar{V}_{medido})^2} \quad (1)$$

Em que:

$V_{\text{medido}, t}$  = volume do reservatório, medido no tempo t. ( $\text{m}^3$ );

$V_{\text{simulado}, t}$  = volume do reservatório, simulado através do WASA, no tempo t. ( $\text{m}^3$ ).

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações realizadas (1961-2005) para a bacia do Alto Jaguaribe são apresentados para dois reservatórios: Orós, o mais a jusante, localizado nas imediações do exutório ( $24600 \text{ km}^2$ ); e Poço da Pedra, com área de drenagem de  $930 \text{ km}^2$ . O volume de água armazenado nos reservatórios no primeiro dia de agosto (final da estação chuvosa) é ilustrado nas Figuras 3 e 4 para os açudes Orós e Poço da Pedra, respectivamente.

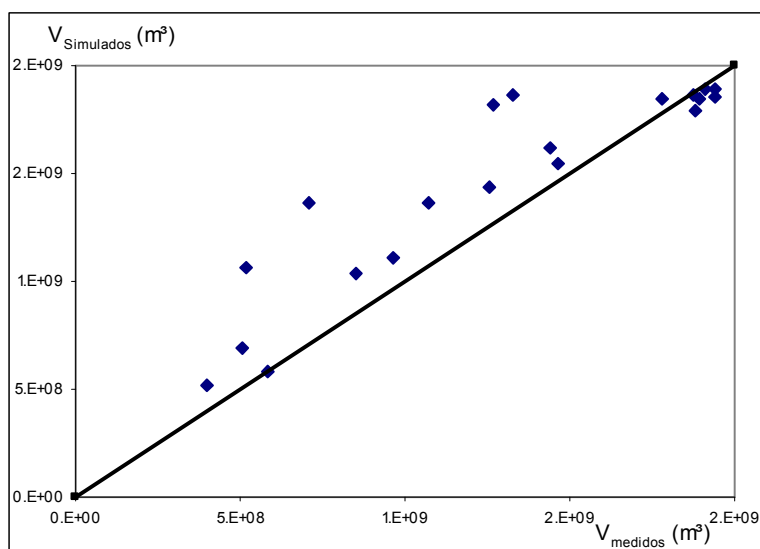


Figura 3 – Volumes medidos e simulados para o final da estação chuvosa para o Açude Orós (1961 – 2005)

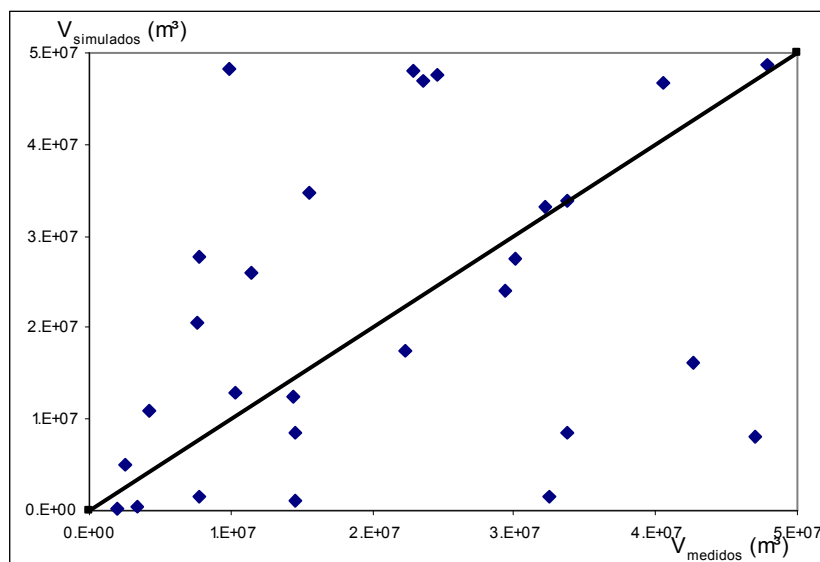


Figura 4 - Volumes medidos e simulados para o final da estação chuvosa para o Açude Poço da Pedra (1961 – 2005)

O NSE calculado para a bacia do Orós resultou em 0,721 e, para a bacia do Poço da Pedra - 0,603 (negativo). De acordo com estes resultados, verifica-se que o modelo está apto para avaliação da disponibilidade de água em bacias de grandes áreas de drenagem, como é o caso da bacia do Orós, mesmo considerando-se a complexidade da presença de milhares de pequenos barramentos a montante. Já o mesmo não se verificou para o caso do açude Poço da Pedra, cuja bacia é inferior a mil km<sup>2</sup>.

A diferença de desempenho do modelo WASA para as duas simulações, isto é, para uma área grande e uma área média, pode estar associada aos parâmetros relacionados aos pequenos reservatórios, o que afeta tanto as perdas por evaporação quanto as relativas às retiradas, seja através da tomada d'água, seja diretamente do reservatório. Para a bacia do Orós têm-se informações hidrológicas mais confiáveis. Os parâmetros hidrológicos da bacia do açude Poço da Pedra, no entanto, são geralmente provenientes de modelagem. Outro aspecto importante: informações da bacia do açude Poço da Pedra sobre os pequenos reservatórios não é satisfatória. Embora isso também ocorra na bacia do Orós, o elevado número de açudes a montante deste é mais bem representado pelo esquema proposto por Güntner e Bronstert (2004).

## 5 – CONCLUSÕES

Do investigado pode-se concluir que o modelo WASA demonstrou validade para a bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe para um longo período (45 anos), mesmo considerando-se a complexidade da interferência antrópica, como a construção de milhares de pequenos reservatórios. Este aspecto representa um avanço em relação à análise anterior do desempenho do modelo WASA (GÜNTNER et al., 2004). No entanto, as hipóteses preconizadas no modelo para os pequenos reservatórios podem ter distorcido resultados individuais de bacias menores, como demonstrado no caso do açude Poço da Pedra. O modelo WASA credencia-se, assim, a ser um importante instrumento de planejamento dos recursos hídricos para grandes bacias do semi-árido.

## 6 – AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS) e à Fundação Alemã para Pesquisa (DFG – *Deutsche Forschungsgemeinschaft*) pelo apoio à presente pesquisa, colocada no contexto do Programa SESAM (ver <http://brandenburg.geoecology.uni-potsdam.de/projekte/sesam/index.php>).

## 7 – BIBLIOGRAFIA

- ARAÚJO, J. A. A. (1990), Coord. *Barragens do nordeste do Brasil; experiência do DNOCS em barragens na região semi-árida*. 2<sup>a</sup>.ed. Fortaleza: DNOCS. 328 p.
- ARAÚJO, J. C. ; FERNANDES, L. ; MACHADO JUNIOR, J. C. ; OLIVEIRA, M. R. L. ; SOUSA, T. C. (2003). Sedimentation of reservoirs in semiarid Brazil. In: Gaiser; Krol; Frischkorn; Araújo. (Org.). *Global change and regional impacts*. 1 ed. Berlin: Springer Verlag, 2003, v. 1, p. 205-216.
- ARAÚJO, J. C. ; GUENTNER, A. ; BRONSTERT, A. (2006). Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil. *Hydrological Sciences Journal-Journal des Sciences Hydrologiques*, Wallingford, v. 51, n. 1, p. 157-170, 2006.
- FRISCHKORN, H. ; ARAÚJO, J. C. ; SANTIAGO, M. M. F. (2003). Water resources of Piauí and Ceará. In: Gaiser; Krol; Frischkorn; Araújo. (Org.). *Global change and regional impacts*. 1 ed. Berlin: Springer Verlag, 2003, v. 1, p. 87-94.



- GÜNTNER, A. (2002) *Large-scale hydrological modelling in the semi-arid North-East of Brazil*. PIK-Report No. 77. Potsdam Institute for Climate Research, Germany
- GÜNTNER, A., BRONSTERT, A. (2004): Representation of landscape variability and lateral redistribution processes for large-scale hydrological modelling in semi-arid areas. *Journal of Hydrology*, 297(1-4), 136-161
- GÜNTNER, A.; KROL, M.; ARAÚJO, J. C.; BRONSTERT, A. (2004) Simple water balance modelling of surface reservoir systems in a large data-scarce semiarid region. *Hydrological Sciences Journal*, Wallingford, v. 49, n. 5, p. 901-918
- MALVEIRA, V.T.C.; TEIXEIRA, A. S.; VIEIRA, V. P. P. B. (2005). Uso de SIG na caracterização da evolução do armazenamento superficial de água no estado do Ceará – período 1901 a 2004. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, João Pessoa, 2005. *Anais...* João Pessoa, ABRH.
- MALVEIRA, V.T.C.; TEIXEIRA, A. S. (2006) Uso de imagens SRTM90 para o traçado de bacias de drenagem e parametrização de dados – bacia do açude Orós – Ceará – Brasil. In: VIII SIMPÓSIO ÍTALO-AMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Fortaleza, 2006. *Anais...* Fortaleza, ABES.
- NASH, J.E.; SUTCLIFFE, J.V. (1970). *River flow forecasting through conceptual models – Part I: A discussion of principles*. J. Hydrology v.10 p.282-290.