

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ESTUDO DO IMPACTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS SOBRE A CURVA DE PERMANÊNCIA DO RESERVATÓRIO DO BENGUÊ - CE

*Laldiane de Souza Pinheiro*¹; *Jonathan Alves Rebouças*² & *José Carlos de Araújo*³

RESUMO – Os estudos acerca das mudanças climáticas já ganharam grande destaque na sociedade. Porém, ainda existem muitas dúvidas acerca de quais das reais conseqüências dessas mudanças sobre os recursos hídricos do globo. As regiões semiáridas são regiões de altas oscilações climáticas. Portanto, conseguem representar bem o impacto de mudanças climáticas sobre os recursos hídricos. Esse artigo, por meio de cenários, analisa o impacto das mudanças climáticas sobre o balanço hídrico de um reservatório localizado no nordeste semiárido brasileiro. Com base na curva de permanência do reservatório é possível mostrar que a escassez de chuva tem maior impacto sobre o volume do reservatório do que o aumento da evaporação.

ABSTRACT– The studies on climate change is something that has figured prominently among the society. But there are still many questions about what there all consequences of these changes on water resources of the globe. The semi-arid regions are regions of high climatic oscillations. Therefore, they can represent well the impact of climate change on water resources. For this article were used scenarios and analyzed the impact of climate change on the water balance of a Benguê reservoir located in the North-East semiarid region. Based on permanence curve of the reservoir is possible to show that the lack of rainfall has a greater impact on the volume of the reservoir than the increase in evaporation.

Palavras-Chave – Mudanças climáticas, disponibilidade hídrica e curva de permanência.

INTRODUÇÃO

As regiões semiáridas são caracterizadas pelo regime de chuva irregular com períodos extensos de estiagem, baixa disponibilidade hídrica e presença de solos pobres em matéria orgânica (Bezerra (2004); Silva (2008); Andrade *et al.* (2010)). O Estado do Ceará possui 92% do seu território inserido no semiárido do nordeste brasileiro, apresenta médias pluviométricas anuais em torno de 800 mm/ano e taxas de evaporação potencial de 2200 mm/ano (Araújo *et al.* (2006)).

As sociedades desenvolvidas em regiões semiáridas são vulneráveis à variabilidade do clima e à disponibilidade de água, e, portanto, potencialmente vulneráveis às mudanças nas condições climáticas (Krol *et al.* (2006)). Uma das mais importantes conseqüências das alterações climáticas estão relacionadas a mudanças nos ciclos hidrológicos. De acordo com Rood *et al.* (2005) a

1) Departamento de Engenharia Agrícola-UFC: Campus do Pici - Bloco 804 – Fortaleza-CE.; fone: (85) 3366.9757, fax: (85) 3366 9755, e-mail: laldiane.pinheiro@gmail.com

2) Departamento de Engenharia Agrícola-UFC: Campus do Pici - Bloco 804 – Fortaleza-CE.; fone: (85) 3366.9757, fax: (85) 3366 9755, e-mail: jonalvesreboucas@bol.com.br

3) Departamento de Engenharia Agrícola-UFC: Campus do Pici - Bloco 804 – Fortaleza-CE.; fone: (85) 3366.9757, fax: (85) 3366 9755, e-mail: jcaraujo@ufc.br

sensibilidade do fluxo da água é maior para regiões mais secas, onde uma pequena mudança na temperatura e precipitação afetará mais no escoamento superficial de áreas áridas e semiáridas.

Segundo os relatórios do IPCC – Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (Magrin (2007)) e do INPE (Marengo e Alves (2006); Ambrizzi (2007)), o semiárido tenderá a tornar-se mais árido. Aumentarão a frequência e a intensidade das secas e se reduzirá a disponibilidade de recursos hídricos. Isso teria impacto sobre a vegetação, à biodiversidade e atividades que dependem dos recursos naturais.

Apesar de vários estudos sobre as alterações climáticas utilizando modelos de clima, são grandes as incertezas quanto ao clima em meados do século XXI, em virtude da variabilidade natural do clima ou da ação antropogênica.

O gerenciamento dos recursos hídricos na região semiárida depende muito da variabilidade do clima, especialmente a distribuição de chuvas. Aproximadamente, 90% da água utilizada no nordeste brasileiro para abastecimento humano são armazenadas nos reservatórios superficiais (Araújo *et al.* (2004)). O que denota a importância dessas estruturas no desenvolvimento econômico e social da população.

Diversos estudos utilizaram modelos hidrológicos a fim de se prever, por meio de cenários, os impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica em bacias hidrográficas (Krol *et al.* (2011); Sonneveld *et al.* (2011)).

Diante do exposto, e considerando que mudanças na precipitação e alterações em outras variáveis meteorológicas possam afetar os sistemas de armazenamento de água superficial, este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito das variáveis atmosféricas em condições climáticas atuais e futuras, sobre a curva de permanência do reservatório do Benguê, em região semiárida, utilizando o modelo Wasa-Sed (*Water Availability in Semiarid Environments with a Sediment Dynamics Component*) (Güntner e Bronstert (2004); Güntner *et al.* (2004); Mamede (2008); Müller *et al.* (2008)).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A área em estudo é a bacia do Benguê, localizada no município de Aiuaba, Estado do Ceará, Brasil. A área de drenagem da bacia é de 933 km², e controlada pelo reservatório de mesmo nome com volume de 19,6 hm³ (Medeiros (2009)) (Figura 1). O clima da região é do tipo tropical semiárido, segundo classificação de Köppen (Araújo e Piedra (2009)), com precipitação média anual da ordem de 600 mm e evaporação potencial de aproximadamente 2.500 mm/ano. A temperatura e umidade média anual são respectivamente 26°C e 62% (Medeiros (2009)). A bacia do

Benguê contém 133 reservatórios (Krol *et al.* (2011)) e na sua bacia predomina vegetação do tipo caatinga em níveis relativos de preservação (Mamede (2008)).

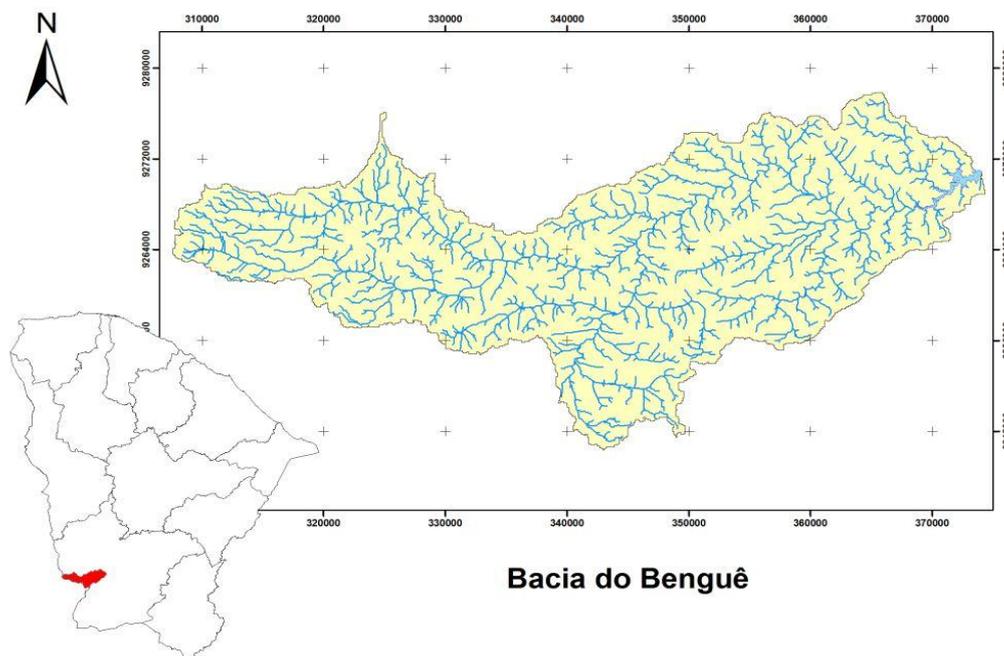


Figura 1 – Localização da Bacia do Benguê, situada na bacia hidrográfica do Alto Jaguaribe, no Estado do Ceará.

Modelo WASA-SED

O modelo WASA-SED – Model of Water Availability In Semiarid Environments With Sediment Dynamics Component (Guntner (2002); Guntner e Bronster (2004); Medeiros (2009); Malveira (2009); Mamede (2009); Malveira *et al.* (2011)) desenvolvido para regiões semiáridas, é um modelo determinístico, semi-distribuído, de simulação contínua de processos hidrológicos e sedimentológicos, que dispensa calibração, uma vez que seus parâmetros são essencialmente físicos. O modelo WASA é voltado para o processo de geração do escoamento, considerando o fluxo vertical, nas camadas de solo, somado aos fluxos laterais superficiais e subsuperficiais das componentes de terreno, dentro de cada unidade de paisagem presentes nas sub-bacias. Nesta última são considerados os processos de transporte em rios e o balanço hídrico dos reservatórios. A unidade temporal do modelo WASA é de um dia. Os processos contemplados no modelo são: interceptação; evapotranspiração; evaporação de reservatórios superficiais; infiltração; percolação entre horizontes do solo; escoamento subsuperficial e armazenamento subterrâneo.

Os dados de entrada referente às características físicas da Bacia do Benguê, que são utilizados para parametrização do modelo, foram adquiridos do estudo de Medeiros (2009).

Curva de permanência

A curva de permanência indica a porcentagem do tempo em que um dado volume é igualado ou excedido. A curva de permanência foi construída com os volumes diários do reservatório do Benguê após cada simulação feita com o modelo WASA-SED. Foram utilizados os volumes diários medidos obtidos do banco de dados do Grupo de Pesquisa HIDROSED da UFC (www.hidroсед.ufc.br).

Criação de cenários

Utilizando o modelo WASA-SED foi simulada a geração de escoamento superficial na bacia do Benguê, em intervalos diários. Foram simulados 27 cenários com situações climatológicas diferentes observando sua resposta na curva de permanência do volume do reservatório do Benguê.

As chuvas do Nordeste semiárido apresentam enorme variabilidade espacial e temporal. Anos de seca e chuvas abundantes se alternam de formas erráticas (Marengo e Alves (2006)). Essas variabilidades causam secas severas e enchentes em anos diferentes, e algumas secas duram dois anos ou mais (Marengo e Alves (2006)). Visto essa imprevisibilidade e objetivando verificar o impacto de anos consecutivos, de baixa e alta pluviosidade, no balanço hídrico do reservatório do Benguê, foram simulados no modelo WASA-SED dois cenários que vão de 2001 a 2008 onde se altera o regime pluviométrico anual exemplificados a seguir:

1. Substituição dos dados climáticos de 2007 e 2008 pelos dados climáticos de 2001 (ano mais seco registrado do período analisado).
2. Substituição dos dados climáticos de 2007 e 2008 pelos dados climáticos de 2004 (ano mais chuvoso registrado do período analisado).

Os cenários criados que vão de 2001 a 2006 tem como foco a análise de sensibilidade da curva de permanência às mudanças da precipitação e da evaporação, bem como avaliar que tipo de cenário é mais prejudicial a disponibilidade hídrica da região.

A precipitação corresponde a uma das principais fontes de entrada de água na bacia. A evaporação, produto das variáveis climáticas, corresponde a uma de suas mais importantes e discutidas formas de saída de água.

No modelo WASA-SED para o cálculo da evaporação utiliza a equação proposta por Penman-Monteith (Penman (1948); Monteith (1965)), onde as variáveis climáticas se relacionam através da superposição de dois termos, um adiabático e outro diabático. Para fins de simplificação, utilizou-se para o cálculo da lâmina evaporada o modelo proposto por Thornthwaite (1948).

O modelo de Thorntwaite, ao invés de utilizar a grande gama de variáveis climáticas que são utilizadas pelo modelo proposto por Penman-Monteith, considera apenas a variabilidade temporal da temperatura para o cálculo da evaporação.

O método de Penman-Monteith utilizado para o cálculo da lâmina evaporada utiliza a seguinte expressão:

$$E_{PM} = \frac{t}{\lambda} \left[\frac{\Delta A + \frac{\rho c_p D}{r_a}}{\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)} \right] \quad (1)$$

Onde: E_{PM} é a evapotranspiração (mm); t é o número de segundos no intervalo de simulação; λ é o calor latente de vaporização da água ($J.Kg^{-1}$); Δ é o gradiente da curva de pressão de vapor saturado ($hPa.K^{-1}$); A é a energia disponível ($W.m^{-2}$), determinada por $A = R_n - G$; ρ é a densidade do ar ($kg.m^{-3}$); c_p é o calor específico do ar úmido ($J.kg^{-1}.K^{-1}$); D é o déficit de pressão de vapor no nível de referência (hPa); r_a é a resistência aerodinâmica ($s.m^{-1}$); r_s é a resistência da vegetação ($s.m^{-1}$), admitida igual a zero no cálculo de evaporação a partir de superfícies líquidas; γ é a constante psicrométrica ($hPa.K^{-1}$); R_n é a radiação líquida ($W.m^{-2}$); e G é o fluxo de calor no solo ($W.m^{-2}$).

O método de Thorntwaite utiliza os valores médios mensais de temperatura e o número máximo possível de horas de brilho solar, para o cálculo da lâmina evaporada, seguindo a seguinte equação.

$$ET_0 = \frac{16 \cdot N}{360} \left(\frac{10 \cdot T}{\sum_{k=1}^{12} (0.2 \cdot T_k)^{1.514}} \right)^{0.016 \cdot \sum_{k=1}^{12} (0.2 \cdot T_k)^{1.514} + 0.5} \quad (2)$$

Onde: N é a duração máxima de brilho solar (horas); T corresponde a temperatura média ($^{\circ}C$); T_k é a temperatura média do ar no k -ésimo mês ($^{\circ}C$); $k = 1, 2, \dots, 12$.

Estudos realizados em regiões semiáridas mostram que os valores encontrados utilizando o método de Thorntwaite e de Penman-Monteith possuem diferenças que vão de 1% à 16% (Trajkovic e Kolakovic (2009)). Em regiões do sudeste do Brasil foram encontrados diferenças que vão de 3% a 34% (Borges e Mendiondo (2007)). Segundo Silva (2005), a diferença dos métodos não afeta significativamente a obtenção de espaçamentos econômicos entre drenos em projetos de drenagem, significando que em termos práticos essas diferenças não são perceptíveis.

A variação da evaporação foi realizada com o auxílio da ferramenta SOLVER do Office Excel 2011. Com a substituição do método de Penman-Monteith pelo método de Thorntwaite mudou-se apenas a temperatura até obter-se a variação desejada para a evaporação.

As variações ocorreram tanto em escala de tempo anual como em escala sazonal. Os meses escolhidos para representar a estação seca foram os meses de agosto a dezembro dos anos em estudo, e os meses escolhidos para representar a estação chuvosa foram os meses de janeiro a maio. Esses meses foram escolhidos segundo estudos climatológicos na região (FIGURA 2).

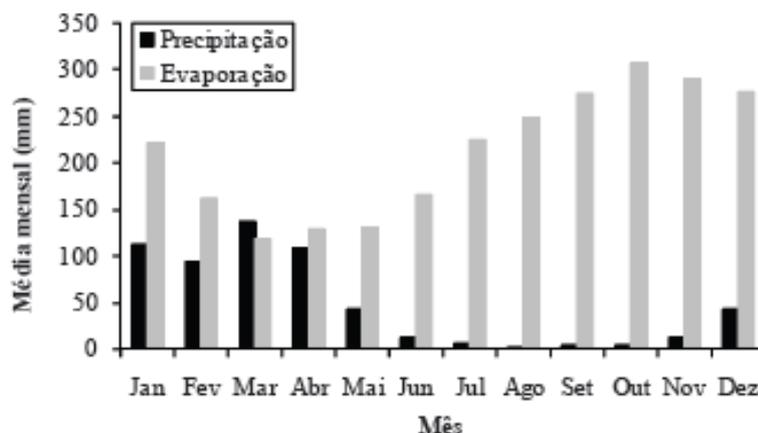


Figura 2. Médias mensais de precipitação e evaporação potencial no município de Aiuaba.

Fonte: (MEDEIROS (2009))

Para verificar o impacto da evaporação e da precipitação sobre o balanço hídrico dos reservatórios seguiu-se parte da metodologia utilizada por Jones (2010). Sua metodologia consistiu em aumentar e diminuir a precipitação anual em um fator de 10% bem como realizar um aumento de 10% na precipitação na estação chuvosa e um decréscimo do mesmo valor na estação seca de cada ano, com a finalidade de verificar a influência da precipitação nesses períodos em detrimento da variação anual. Além da variação de 10% também se utilizou variações de 30% e 50% para verificar seus impactos sobre a curva de permanência. Parte da metodologia utilizada por Krol *et al.* (2011) também foi utilizada. Essa consistiu na variação da evaporação anual em um valor de 15%, para mais e para menos. Além das variações de 15%, também foram realizadas variações de 30% e 50% na evaporação. Além da variação anual da evaporação, também se realizou uma variação com base nas estações secas e chuvosas. Para a estação seca se procedeu com um aumento na evaporação e para a estação chuvosa procedeu-se com um decréscimo na evaporação. Quanto à precipitação se aumentou na estação chuvosa e se diminuiu na estação seca.

Além da análise feita sobre a curva de permanência foi feita uma análise temporal do desvio sofrido pelo volume gerado com a variação das variáveis climáticas em relação ao volume original (volume sem alteração de variável climática).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As simulações realizadas para o período de 2001 a 2008 com seqüência de anos com baixa e alta pluviometria alteraram a curva de permanência do açude Benguê (Figura 3). Comparando-se as freqüências dos volumes, observou-se que na primeira simulação, houve um decaimento da oferta de água nos anos simulados. Enquanto que com os valores medidos obteve-se volumes iguais ou superiores à aproximadamente 2hm^3 , 9hm^3 e $14,8\text{hm}^3$ para as probabilidades de 80%, 50% e 20%, com a primeira simulação esses valores passaram para 3hm^3 , $6,5\text{hm}^3$ e $12,4\text{hm}^3$.

Na segunda simulação, os volumes igualados ou excedidos para a mesma probabilidade foram de 4hm^3 , $10,9\text{hm}^3$ e $17,8\text{hm}^3$. O tempo de permanência com volumes maiores foi maior. Apresentando em torno de 3hm^3 de água a mais em 20% do ano. A curva de permanência apresentou inclinação maior na simulação 1, o que representa o volume armazenado menor, uma vez que, a precipitação diminuiu e os processos de evaporação não alteraram.

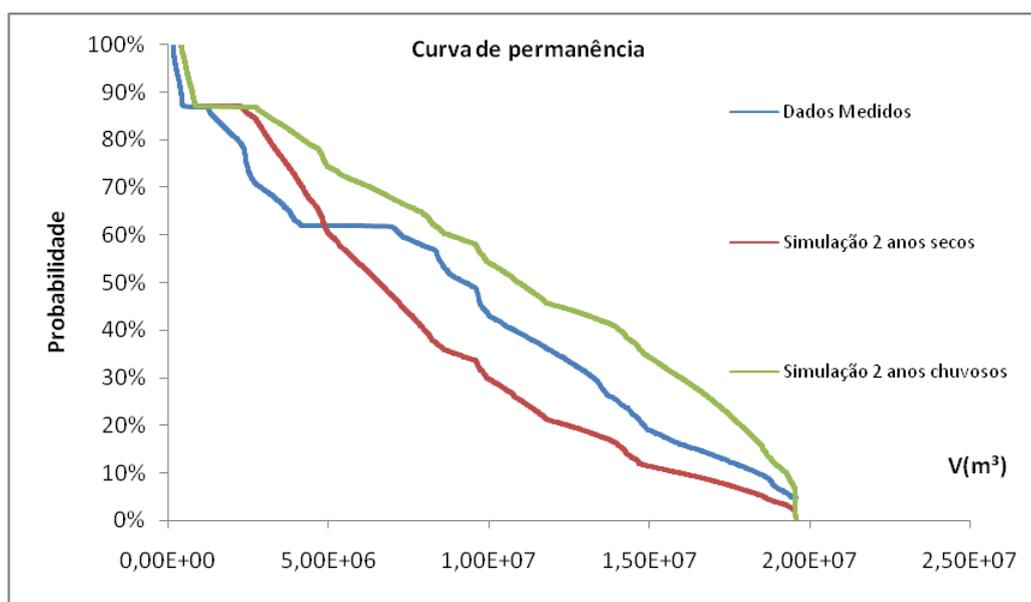


Figura 3 – Curva de permanência do reservatório Benguê nos anos de 2001 a 2008, com valores medidos, e com valores da simulação com os anos de 2007 e 2008 secos; e de 2007 e 2008 chuvosos.

As simulações feitas com o modelo WASA-SED de 2001 a 2006 mostraram de que forma uma mudança percentual na precipitação e na evaporação podem alterar a curva de permanência de um reservatório. As seqüências de gráficos mostrados abaixo resumem a dinâmica da água nos reservatórios no período estudado (Figura 4).

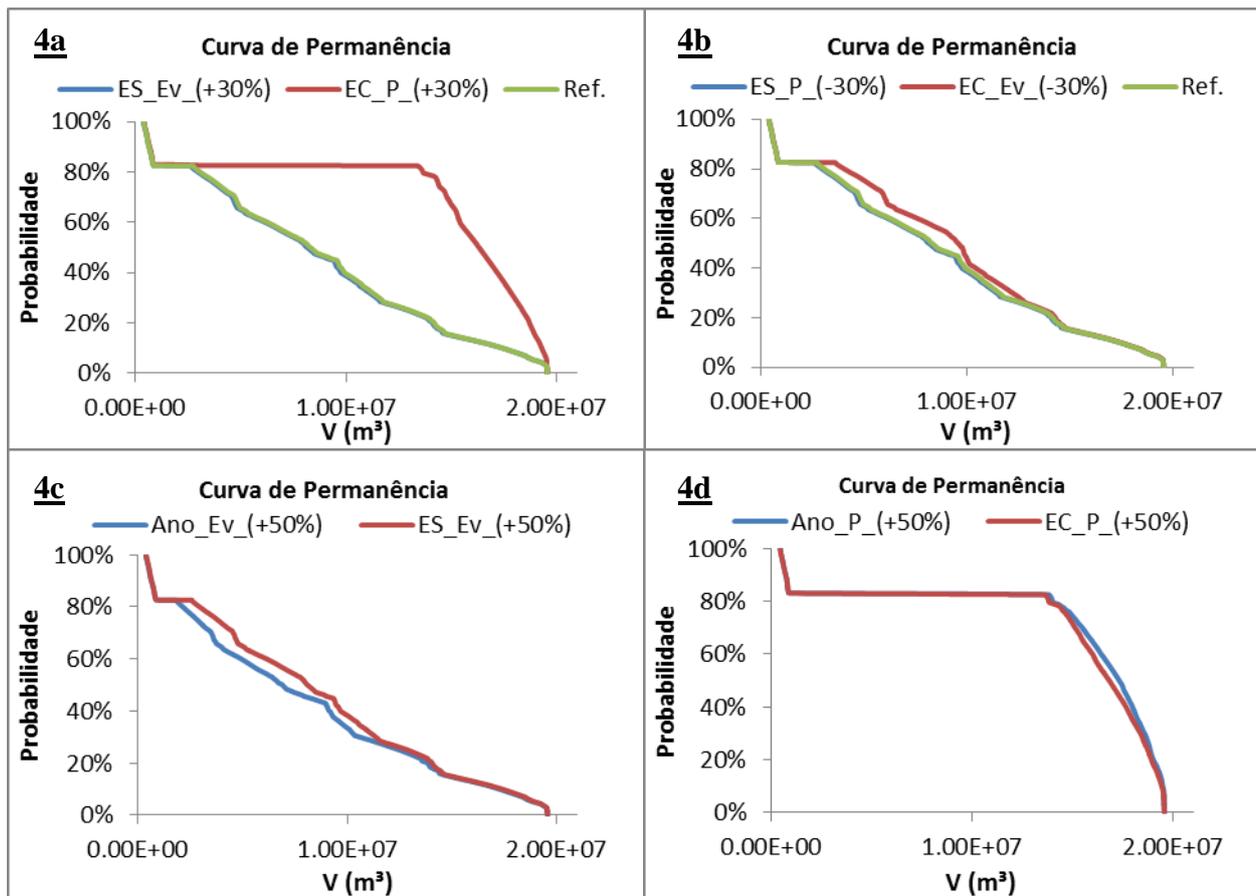


Figura 4 - Curvas de permanência confrontando diversos cenários de 2001 até 2006. A estação seca é representada pela abreviação (ES), a estação seca é representada por (ES) e a chuvosa por (EC). (Ref.) representa a curva sem alteração de variável climática. A variável precipitação é representada por (P) e a evaporação por (Ev).

A figura 4a mostra três curvas de permanência, a curva para uma simulação realizada com uma alteração de +30% na evaporação na estação seca, uma simulação realizada com uma alteração de +30% na precipitação na estação chuvosa e uma sem alteração de variável climática (curva de referência). Observa-se que com um aumento de 30% na precipitação se obtém uma mudança brusca na curva de permanência, enquanto que para uma variação da mesma amplitude para a evaporação o deslocamento da curva para baixo é praticamente imperceptível. Isso mostra que a curva de permanência não é tão sensível a mudança da evaporação na estação seca. A figura 4b mostra uma maior sensibilidade da curva à queda da evaporação na estação chuvosa, fazendo com que essa se desloque para cima, indicando que uma queda na evaporação na estação chuvosa fará com que permaneçam volumes maiores por um intervalo de tempo maior. É válido de nota que valores de volume muito altos e volumes muito baixos não tem sua permanência significativamente alterada. A figura 4c mostra a relação entre uma mudança na evaporação somente na estação seca e uma alteração realizada ao longo do ano. Esse gráfico mostra que a evaporação é mais intensa na estação seca, embora ocorra também na estação chuvosa, exemplificado pelo deslocamento entre as

curvas. A figura 4d mostra um cenário bem característico do semiárido nordestino, com chuvas apenas no primeiro semestre do ano, quando os volumes dos açudes aumentam. Uma vez que, um aumento de precipitação de 50% durante o ano apresentou comportamento bem similar na curva de permanência do reservatório, quando comparado a um mesmo aumento apenas no período.

Alterando precipitação, para mais ou para menos, e mantendo a evaporação constante e vice-versa, foi possível avaliar que de acordo com a figura 5a, que a oferta de água reduziu com o aumento de 50% da evaporação. No entanto, essa redução foi mais intensa quando da diminuição em 50% da precipitação, mostrando que com tal cenário o açude Benguê atingiria no máximo um volume em torno de 10Hm³, metade da sua capacidade máxima.

A figura 5b apresenta o cenário inverso, com aumento da precipitação e diminuição das taxas de evaporação, todavia, a curva de permanência apresentou maior sensibilidade a lamina precipitada. Um aumento da precipitação e uma queda das tavras de evaporação garantem maior disponibilidade hídrica às regiões semiáridas, no entanto, essa simulação aponta um cenário não favorável em que a chuva fosse um fator limitante em detrimento da alta taxa de evaporação.

O impacto na disponibilidade hídrica desse reservatório no semiárido é maior quando ocorre diminuição da precipitação do que mesmo um aumento nas taxas de evaporação. Segundo Krol (2011) com uma projeção de aumento de evaporação em 15% para daqui a 50 anos o volume estocado em pequenos reservatórios teria uma queda de cerca de 32%, enquanto que uma projeção de queda na precipitação de 10% acarretaria em uma diminuição de 27% no volume armazenado. Mostrando que o volume dos reservatórios é deveras mais sensível à falta de precipitação do que ao aumento da evaporação supondo os aumentos lineares. Pois, um decréscimo de 15% na precipitação acarretaria em um decréscimo de 40,5%.

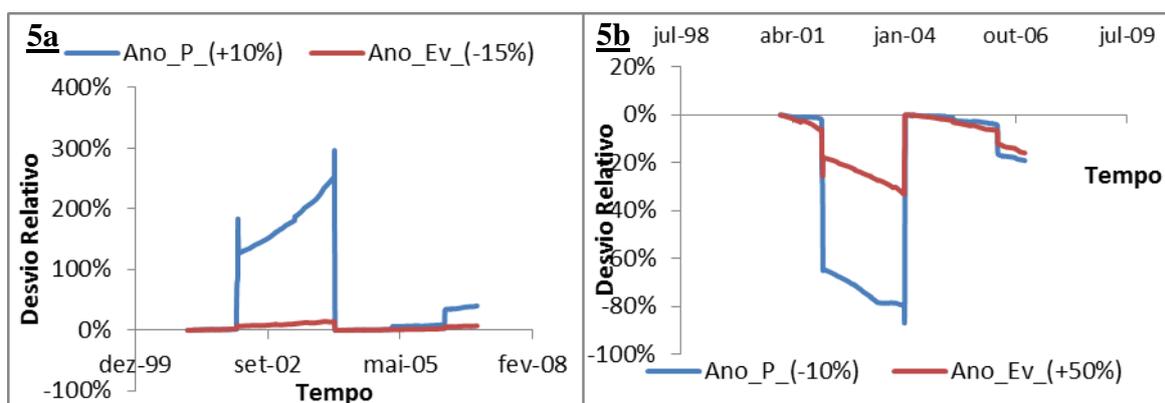


Figura 5 - Curvas de Permanência para a análise de cenários que (a) aumentam a evaporação (Ev) durante todo o ano e diminuem a precipitação (P), no mesmo período. (b) mostra o caso inverso a (a).

As figuras 6a e 6b mostram o desvio relativo dos valores encontrados de volume em relação ao volume sem alteração de variável climática. É possível perceber que o momento em que os valores de desvio relativo são mais altos é de 2001 até 2004. Isso ocorre por que o reservatório após o ano de 2001 (ano muito seco) encontrava-se com um nível muito baixo e em virtude às condições favoráveis do cenário, figura 6a, é possível que haja um aumento significativo no volume. Já na figura 6b ocorre o contrário, o tempo desfavorável é contrabalanceado pelo tempo muito favorável que ocorre no ano de 2004.

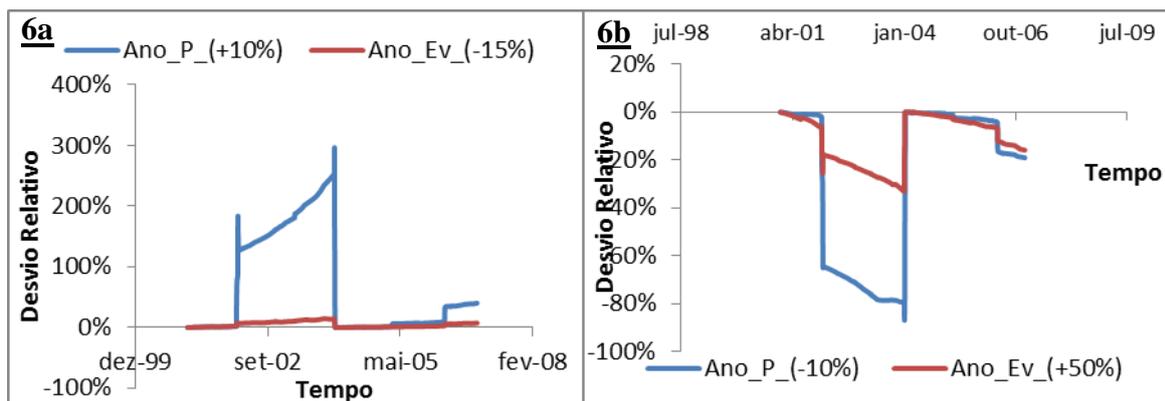


Figura 6 - Gráfico do desvio relativo em relação ao volume do cenário sem alteração climática.

CONCLUSÕES

Cenários de mudanças climáticas nas regiões do semiárido brasileiro são importantes por possibilitarem a verificação da sensibilidade dos volumes armazenados nos reservatórios às variáveis climáticas.

As chuvas têm um papel importante para os reservatórios. A montagem de cenários de escassez de chuva mostra que a recarga tem um papel importantíssimo para o mantimento do reservatório.

Os valores encontrados nesse trabalho superam bastante essa expectativa. Pois, um aumento de 15% na evaporação em todos os anos acarretaria um decréscimo no volume final de 5,04%, enquanto que uma queda na precipitação anual de 10% acarreta numa queda no volume de 19,07%.

Apesar de esse trabalho conseguir reproduzir a maior sensibilidade do volume armazenado no reservatório a falta de chuva é notório que o erro atribuído a substituição do método de Penman-Monteith pelo de Thornthwaite influenciou bastante no resultado subestimando os valores de evaporação nos reservatórios.

BIBLIOGRAFIA

- AMBRIZZI, T. (2007) “Cenários regionalizados de clima no Brasil para o século XXI: projeções de clima usando três modelos regionais”. Brasília:MMA, v. relatório 3.
- ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; PALÁCIO, H. A. Q. (2010) “Semiárido e o manejo dos recursos naturais – uma proposta de uso adequado do capital natural” In O semiárido cearense e suas águas, p. 56-78.
- ARAÚJO, J. C.; DOLL, P.; GUTNER, A.; KROL, M.; ABREU, C.B.R.; HAUSCHILD, MAIKE; MEDIONDO, E.M. . (2004) “Water scarcity under scenarios for global climate change and regional development in semiarid Northeastern Brazil”. *Water international*, v. 29(2), p. 209-220.
- ARAÚJO, J. C.; GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2006) “Loss of reservoir volume by sediment deposition and its impact on water availability in semiarid Brazil”. *Hydrological Sciences Journal*, v. 51(1), p. 157-170.
- ARAÚJO, J. C.; PIEDRA, J. I. G. (2009) “Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed”. *Hydrological Process*, v. 23(8), p. 1169-1178.
- BEZERRA, C. A. (2004) “Fragmento do território - bases para o desenvolvimento do semi-árido do Ceará”. Org. Nizomar Falcão Bezerra - Fortaleza: Fundação Konrad Adenauer, p. 190p.
- BORGES, A. C.; MENDIONDO, E. M. (2007) “Comparação entre equações empíricas para estimativa da evapotranspiração de referência na Bacia do Rio Jacupiranga”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, p. 293-300.
- GÜNTNER, A.; BRONSTERT, A. (2004) “Representation of Landscape variability and lateral redistribution process for large-scale hydrological modeling in semi-arid”. *Journal of Hydrology*, v. 297, p. 136-161.
- GÜNTNER, A.; KROL, M. S.; ARAÚJO, J.C.; BRONSTERT, A. (2004) “Simple water balance modelling of surface reservoir systems in a large data-scarce semiarid region”. *Hydrological Sciences Journal*, v. 49(5), p. 901-918.
- JONES, M. D.; IMBERS, J. (2010) “Modeling Mediterranean lake isotope variability”. *In Global and Planetary Change*, v. 71, n. 3-4, p. 193-200.
- KROL, M. S.; JAEGER, A.; BRONSTERT, A.; GUNTNER, A. (2006) “Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic process: a general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid Northeast of Brazil”. *Journal of Hydrology*, v. 328, p. 417-431.
- KROL, M. S.; VRIES. M. J.; VAN OEL, P. R.; ARAÚJO, J.C. (2011) “Sustainability of small reservoirs and large scale water availability under current conditions and climate change”. *Water Resources Management*, v. 25, n. Springer, p. 3017 – 3026.
- MAGRIN, G. (2007) “Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability”. Cambridge University Press, p. 581-615.

- MAMEDE, G. L. (2008) “Reservoir sedimentation in dryland catchments: modelling and management”. Tese de doutorado, Instituto de Geoecologia, Universidade de postdam, Alemanha.
- MARENGO, J.; FERREIRA, F. F.; CAMPOS, J. N. B.; FILHO, F. A. S.; SOUZA, E. B.; DURAN, B. J.; SERVAIN, J. S.; STUDART, T. M. (2006) “Mecanismo atmosféricos associados à ocorrência de precipitação intensa sobre o nordeste do Brasil”. *Revista Brasileira de Metereologia*, v. 21(1), p. 56-76.
- MEDEIROS, P. H. A. (2009) “Processos hidrossedimentológicos e conectividade em bacia semiárida: modelagem distribuída e validação em diferentes escalas”. Tese de doutorado, Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do ceará, Brasil. 165p.
- MONTEITH, J. L. (1965) “Evaporation and environment”. *Symp. Soc. Exp. Biology*, v. 19, p. 205-234.
- MÜELLER, E. N.; GUNTNER, A.; FRANCKE, T.; MAMEDE, G. (2008) “Modelling water availability, sediment export and reservoir sedimentation in dryland with the WASA-SED Model”. *Geoscientific Model Development Discussions*, v. 1(1), p. 285-314.
- PENMAN, H. L. (1948) “Natural evaporation from open water, bare soil and grass”. *Proceedings Royal Society London*, v. A 193, p. 125-145.
- ROOD, S. B. *et al.* (2005) “Twentieth-century decline in streamflows from the hydrographic apex of North America”. *Journal of Hydrology*, v. 306, p. 215-233.
- SILVA, K. O. D.; SAMUELSON, G. M.; WEBER, J. K.; WEBER, K. A. W. (2005) “Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem”. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, p. 161-165.
- SILVA, R. M. A. (2008) “Entre o combate à seca e a convivência com o semi-árido: transições paradigmáticas e sustentabilidade do desenvolvimento”. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, Série BNB Teses e dissertações, v. 12, p. 276p.
- SONNEVELD, B. G. J. S.; KEYZER, M. A.; ADGEBOLA, P.; PANDE, S. (2011). “The Impact of Climate Change on Crop Production in West Africa: An Assessment for the Oueme River Basin in Benin”. *Water Resour Manage.*
- THORNTHWAITE, C. (1948) “An approach toward a rational classification of climate”. *Water Resources Management*, v. 38, p. 55-94.
- TRAJKOVIC, S.; KOLAKOVIC, S. (2009) “Evaluation of Reference Evapotranspiration Equations Under Humid Conditions”. *Water Resources Management*, v. 23, n. 14, p. 3057-3067.