

AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE CONEXÕES NA DENSE REDE DE RESERVATÓRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO CURÚ USANDO SENSORIAMENTO REMOTO

Hedlund Erik Martins Távora¹
George Leite Mamede²

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar a configuração da densa rede de reservatórios da bacia hidrográfica do Rio Curú, considerando a posição destas estruturas hidráulicas e sua capacidade de armazenamento de água superficial. Para estimativa da capacidade de armazenamento da densa rede de reservatórios da bacia do Curú, composta por 733 açudes, buscou-se encontrar correlações entre características geométricas dos pequenos reservatórios obtidos a partir de sensoriamento remoto e o volume armazenado usando dados de 151 reservatórios do Ceará. Testaram-se a eficiência de 18 diferentes equações utilizando o EMPA. Os resultados destas equações mostram desempenho significativamente superiores ao método de Molle. As equações que apresentaram melhor desempenho foram aplicadas na estimativa da capacidade de armazenamento da rede de reservatórios do Curú, mostrando resultados encorajadores.

Palavras-chave: Rede de reservatórios superficiais capacidade de acumulação sensoriamento remoto .

UNILAB, IEDS - Egresso do curso de Engenharia de Energias, Discente, hedlund_erik@outlook.com¹
UNILAB, IEDS, Docente, mamede@unilab.edu.br²



INTRODUÇÃO

Os açudes são as principais fontes de recursos hídricos no Nordeste do Brasil. Especialmente no Ceará, onde são estimadas que 90% da demanda hídrica é atendida por reservatórios superficiais estratégicos (de Araújo et al., 2006). Entretanto, essa região é caracterizada pela baixa precipitação, que varia em média de 500 a 1000 mm/ano e elevada evaporação potencial, atingindo 2500 mm/ano (de Araújo e Piedra, 2009). Nesse contexto, a solução do problema hídrico adotado pelos governos é da implantação de centenas de reservatórios (Araújo e Medeiros, 2013). Além do governo, as populações rurais implementam pequenos reservatórios, que são de difícil monitoramento e gerenciamento e demandariam grandes recursos. Por isso, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas utilizando sensoriamento remoto, que relacionam o volume com as características geométricas dos reservatórios por meio das curvas de regressão adaptadas de Molle (1989).

Neste estudo, objetiva-se a caracterização da rede de reservatórios da bacia hidrográfica do Curú e suas conexões utilizando sensoriamento remoto. Considerando que a maioria destes reservatórios são localizados em regiões remotos, de difícil acesso, não são monitorados e não apresentam dados geométricos tais como profundidade, área e volume, propõem-se utilizar sensoriamento remoto para levantamento de algumas destas características geométricas básicas e, a partir destas, estimar o volume utilizando um conjunto de equações analisadas aqui.

METODOLOGIA

A bacia do açude pereira Miranda se encontra localizado na região centro norte do estado do Ceará (LIRA, 2012), e é uma sub bacia da bacia do Curu. Possui uma área de drenagem de 3262,97km², com o rio Canindé como o seu rio principal, e com o exutório situado no Açude Pereira Miranda, nas coordenadas 9480000 - 9590000 N e 440000 - 510000 E considerando o sistema de coordenadas UTM (24 S, WGS 84 datum) (COGERH, 2020). Dentre os municípios que estão dentro da área da bacia estão: Apuiarés, Aratuba, Canindé, Caridade, Guaramiranga, Itaitira, Maranguape, Mulungu, Pacoti, Palmácia, Paramoti e Pentecoste (LIRA, 2012).

Para testar a eficiência de equações de regressão que relacionam o volume do reservatório a partir de características extraídas via sensoriamento remoto, utilizou-se uma amostra de 151 reservatórios com capacidade de armazenamento variando de 833 m³ a 6,7 bilhões de m³. As características geométricas destes reservatórios tais como área (A), comprimento das linhas de drenagem (C), perímetro (P) e profundidade (H) foram obtidas utilizando-se dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) e imagens de satélites de anos mais úmidos com precipitação anual média superiores à histórica (2004 e 2011).

Os dados de profundidade foram obtidos com a criação automática de pontos com valores de altitudes dentro do reservatório e pela subtração entre o maior e o menor valor desses pontos, obtendo-se o valor de desnível do reservatório. Foram utilizadas duas maneiras de obtenção desses pontos, uma por meio da intersecção entre o contorno do reservatório e as linhas de drenagem (H1) e a segunda por meio da transformação das extremidades das linhas de drenagem internas aos reservatórios em pontos (H2).

A partir dos dados de área, perímetro, comprimento total das linhas de drenagem contidas na bacia hidráulica e profundidades foram propostas 18 funções para estimativa da capacidade de armazenamento dos reservatórios com base nestes dados obtidos remotamente. Os valores foram analisados utilizando o erro médio percentual absoluto (EMPA), que é uma medida eficaz para reduzir a importância dos dados que estão sendo analisados. Usando o software Excel por meio da função solver, buscou-se o valor mínimo do EMPA



para cada função.

Separando os açudes por capacidade volumétrica (menores que 10 hm³, entre 10 e 100 hm³ e acima de 100 hm³), foram aplicadas as oito funções que forneceram menores resultados de EMPA para os 151 reservatórios monitorados pela COGERH e analisados nesta pesquisa. Os dados geométricos medidos desta amostra de reservatórios foram disponibilizados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos - COGERH e utilizados na validação do método.

Em seguida, aplicou-se as equações com melhores desempenho para estimativa das características geométricas dos reservatórios da bacia hidrográfica do açude Pentecoste com 2.840 km², que ocupa cerca de 33% da bacia hidrográfica do rio Curú. Nos casos em que a diferença de elevação não era captada, utilizou-se a equação com menor EMPA e a utilização de somente da área como característica geométrica dos reservatórios.

Por último, elaborou-se um tutorial dos processos de obtenção dos dados geométricos dos reservatórios em ambiente SIG - Sistema de Informações Geográficas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na estimativa da capacidade de armazenamento de 151 reservatórios a partir de suas características geométricas foram consideradas 18 equações de regressão. O desempenho das equações na estimativa da capacidade de armazenamento dos reservatórios, expresso pelo erro médio percentual absoluto (EMPA), assim como a descrição de seus parâmetros e constantes estão apresentados no Quadro 1.

Como se pode observar, a equação V1 de cálculo do volume como função das variáveis A, H2 e C apresentou melhor desempenho com EMPA de 36,82% para o universo de 151 reservatórios considerados. Constatou-se, ainda, que a utilização da profundidade H2 tende a melhorar o desempenho do método de regressão, estando presente em três das quatro equações no topo do ranking. Cabe, ainda, destacar que a inclusão do valor de somatório de comprimento da rede de drenagem, resulta em discreta melhora no desempenho das equações. Nesta análise, por exemplo, a equação V2, com apenas duas variáveis, apresentou desempenho muito próximo da equação V1, com uma variável a menos, o que pode justificar sua escolha.

Em seguida, as equações de V1 a V8, que apresentaram os menores resultados de EMPA, foram aplicadas aos grupos de reservatório menores que 10 hm³, entre 10 e 100 hm³ e acima de 100 hm³, comparando-se os resultados para o mesmo conjunto de coeficientes a e b, com os específicos de cada grupo. Os resultados estão sumarizados no Quadro 2.

Nos testes com os grupos de reservatórios, os açudes com valores menores que 10 hm³ tiveram elevação do erro para todas as equações testadas, o que pode ser explicado pela imprecisão na resolução da base de dados altimétricos utilizados com pixels de 30 m e consequente incerteza na determinação das variáveis A, C e H. No grupo com volumes entre 10 e 100 hm³ observaram-se os menores valores de EMPA, indicando uma boa eficiência do método para esta faixa e uma significativa melhora quando se insere coeficientes específicos a e b da faixa. Para reservatórios acima de 100 hm³, constatou-se que o uso de um conjunto de coeficientes a e b específicos da faixa não necessariamente resulta em melhorias no desempenho do modelo, indicando que coeficientes médios regionais podem ser uma boa alternativa.

Quadro 1 - Eficiência na estimativa de volume de 151 reservatórios do Estado do Ceará considerando 18 equações de regressão



Quadro 2 - Eficiência na estimativa de volume de por grupo de tamanhos de reservatórios do Estado do Ceará



Em seguida, realizou-se uma aplicação do método uma amostra de 161 reservatórios (incluindo os 151 usados inicialmente, acrescidos de 10 pequenos). Nesta aplicação, admitiu-se a equação V2 com coeficientes gerais, V2 com coeficientes específicos por faixa e a equação de Molle para os valores de α e K de 2,7 e 1500 (método de Molle), respectivamente. Esta simulação permitiu, então, comparar os resultados para os diferentes tamanhos de reservatórios, como é possível observar no Gráfico 1 de volume obtido por volume real.

Gráfico 1 - Comparativo entre os volumes teóricos das Eq. V2 e de Molle e volumes reais



A equação de Molle se mostrou com resultados mais discrepantes quanto maior o reservatório. Já a equação V2, tanto com coeficientes gerais e quanto específicos por faixa tende a produzir resultados mais coerentes em todas as faixas. Contudo, o uso de coeficiente específicos por faixa resulta em um melhor desempenho do método de estimativa de volume com base em características geométricas dos reservatórios extraídas remotamente usando ferramentas de geoprocessamento.

Em seguida, aplicou-se a equação V2 para um conjunto de 733 reservatórios da bacia hidrográfica do açude Pentecoste, inserida na bacia do Rio Curú. Nos casos em que o valor de H_2 não pode ser estimado usando técnicas de geoprocessamento, ou seja, quando não havia diferença de elevação captada pelo sensoramento remoto, utilizou-se a equação V7. Além destes dados, plotou-se os dados reais de alguns reservatórios (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Relação área volume dos 733 reservatórios da bacia hidrográfica do açude Pentecoste.



CONCLUSÕES

A identificação de características geométricas de reservatórios remotamente possibilitou a estimativa de volume a partir de equações de regressão de redes de reservatórios superficiais, onde geralmente tais informações são indisponíveis, pois muitos destes reservatórios são desprezados na gestão de recursos hídricos.



AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FUNCAP pela bolsa ao primeiro autor e ao CNPq pelo financiamento da pesquisa (Processo 420427/2016-3).

REFERÊNCIAS

- de ARAÚJO, JC; 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.
- de ARAÚJO J.C.; MEDEIROS P.H.A. Impact of dense reservoir networks on water resources in semiarid environments. *Australian Journal of Water Resources*, 17, 87-100, 2013.
- de ARAÚJO J.C.; PIEDRA, J.I.G. Comparative hydrology: analysis of a semiarid and a humid tropical watershed. *Hydrological Processes*, 23, 1169-1178, 2009.
- LIRA, D.; TOLEDO, C.; MAMEDE, G.M. Silting in the dense reservoir network of the Pereira de Miranda catchment. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.34, n.4, p.671-682, jul./ago. 2014
- MEDEIROS P.H.A.; de ARAÚJO J.C. Temporal variability of rainfall in a semiarid environment in Brazil and its effect on the sedimentological processes. *Journal of Soils Sediments*, 14, 1216-1223, 2014.
- MOLLE, F. Evapotranspiration and infiltration losses in small reservoirs. *Série Hidrologia*, 25, SUDENE / ORSTOM, Recife, Brazil, 1989.

