



ESTIMATIVA REMOTA DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO E DO ASSOREAMENTO DO RESERVATÓRIO DO DESCOBERTO

Tairone Urcino Oliveira¹; Bruno Collischonn²

ABSTRACT - The urban water supply system of Brasília experienced a severe crisis during the last two years because of the low levels of its main freshwater source, the Descoberto reservoir. The last bathymetric survey was done in 2002, but increasing urbanization and soil use changes in the watershed have led to fears that the reservoir suffered a loss of capacity since then, due to siltation. In this study, we propose a less time-consuming and expensive approach to estimate the capacity of artificial reservoirs, based on the integration of water levels with inundated area obtained from satellite imagery. We applied it to the Descoberto reservoir, and we compared the resulting depth-area-volume curve with the existing one, in order to assess siltation and the loss of capacity during the period. We compared this estimation of siltation with a theoretical one, based on classical hydrosedimentological methods. Results from the remote sensing approach show inexpressive loss of capacity in the last 15 years, which is consistent with theoretical estimates and with visual assessments made during the low-level period.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Curva cota-volume. Assoreamento.

1 - CONTEXTUALIZAÇÃO

O reservatório do Descoberto é o principal manancial de abastecimento público de água do Distrito Federal (DF). No fim do ano de 2016, o baixo armazenamento de água nesse reservatório levou a Companhia de Saneamento Ambiental do DF (CAESB) e os órgãos de recursos hídricos a tomarem uma série de medidas para superação da crise hídrica, chegando a ser estabelecido um rodízio de abastecimento.

A médio e longo prazo, os processos hidrossedimentológicos na bacia hidrográfica tendem a carrear material sólido para o reservatório, os quais acabam por sofrer sedimentação devido à diminuição da velocidade do fluxo nesse ambiente (Carvalho, 2008). Assim, o preciso conhecimento do estoque de água armazenado pelo reservatório é de fundamental importância para as tomadas de decisões e gerenciamento dos recursos hídricos.

A estimativa da capacidade de armazenamento de reservatórios existentes é feita por meio de levantamento batimétrico, para à componente aquática e aerofotogrametria ou técnica similar, para à componente terrestre. Esses levantamentos são relativamente demorados e onerosos, de forma que essa estimativa não é feita com a devida periodicidade, fazendo com que o acompanhamento diário do volume seja realizado por meio da curva cota-área-volume.

1) Aluno de Engenharia Civil do UniCEUB, SEPN 707/907, Asa Norte, 70790-075, Brasília (DF), taironeurcino@gmail.com

2) Professor A1 do curso de Engenharia Civil do UniCEUB e Especialista em Recursos Hídricos da Agência Nacional de Águas, bruno.collischonn@ceub.edu.br

Por outro lado, o sensoriamento remoto é uma ferramenta de crescente uso na quantificação de variáveis associadas à hidrologia. Uma possibilidade é estimar o volume armazenado em reservatórios por meio da integração de dados de área inundada com os níveis de água de maneira mais rápida e econômica do que pela batimetria convencional.

O presente estudo propôs estimar a capacidade atual de armazenamento de água do reservatório do Descoberto, através de imagens de satélite, considerando as incertezas associadas à estimativa, de modo a avaliar o processo de assoreamento.

2 - METODOLOGIA

2.1 - Área de estudo

O reservatório do Descoberto, situado no rio de mesmo nome, localizado na divisa entre Distrito Federal e Goiás, recebe a contribuição de uma área de drenagem de 433 km², o que o torna responsável por 58,89% da água produzida, a qual atende a 61,52% da população do DF (CAESB, 2014).

O levantamento batimétrico mais recente data do ano de 2002, apurando uma capacidade máxima de armazenamento de 86 hm³, na cota 1030 m (soleira do vertedouro), relativo a uma área inundada de 12,55 km². Na época da construção do reservatório, na década de 70, a capacidade de armazenamento era estimada em 102,3 hm³; portanto houve, em menos de 30 anos, um decréscimo de quase 17% no volume de água disponível (MAGNA, 2002).

2.2 - Estimativa remota

O volume de um reservatório pode ser obtido por meio da integração da função que relaciona a área inundada com o nível d'água, conforme a equação 1.

$$V_i = \int_{h_0}^{h_i} A_i \cdot dh \quad (1)$$

Em que: A_i corresponde à área inundada e V_i refere-se ao volume armazenado pelo reservatório em um dado nível h_i .

A área inundada do reservatório foi estimada com base em imagens de satélites disponibilizados gratuitamente, contemplando os anos de 2013 a 2017. Foram utilizadas cenas dos satélites LANDSAT-8 e SENTINEL-2 retiradas do sítio do serviço geológico dos EUA (USGS), disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/>. E também cenas do satélite sino-brasileiro RERSORCE-SAT-2 retiradas no sítio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), disponível em <http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>.

A área da lâmina d'água foi delimitada com uso do software *ArcGis*. Inicialmente foi realizado um recorte circundante ao reservatório para evitar o processamento de áreas distantes, sem



interesse. Em seguida foi calculado o índice MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*) proposto por Xu (2006), que realça as feições de um ambiente aquático, valendo-se do fato de que a água apresenta baixa reflectância tanto nas bandas do verde (0,52 a 0,60 micrômetros) quanto do infravermelho médio (MIR) (entre 1,5 e 1,7 micrômetros) em contraste com vegetação e solo.

$$MNDWI = \frac{\text{verde} - MIR}{\text{verde} + MIR} \quad (2)$$

O índice tem como resultados indicadores com valores positivos para os corpos d'água e zero ou negativos para a vegetação e o solo (XU, 2006). Posteriormente reclassificou os indicadores, alterando os valores negativos para “zero” e os positivos e nulo para “um”, permitindo a conversão da cena para um vetor e, assim, poder calcular a área do polígono que representa a lâmina de água.

Somente imagens sem incidência de nuvens sobre o reservatório foram selecionadas. Para cada imagem, foi identificado o nível de água através dos registros de monitoramento da Barragem do Descoberto (código 60435500), disponíveis no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), no site <http://hidroweb.ana.gov.br>. Originalmente, tratava-se de uma estação convencional, com leituras manuais realizadas duas vezes por dia (adotado a média). Mais recentemente, em 2014, foi instalada uma estação telemétrica no local, a qual disponibiliza os níveis d'água a cada 15 minutos (adotado a leitura de 12h00).

A partir do conjunto de pares de dados de área inundada e nível d'água foi obtida a equação de regressão $A=f(h)$ do tipo potencial (Molle e Cadier 1992), escrita por:

$$A = a \cdot (h - h_0)^b \quad (3)$$

Onde a , b e h_0 são parâmetros de ajuste.

Os parâmetros a e b foram obtidos em ambiente *MS Excel*, por meio da função de regressão, que utiliza o procedimento de mínimos quadrados. Para o parâmetro h_0 foi adotado a altitude do ponto mais profundo do reservatório (1008 m), conforme curva cota-área-volume obtida da batimetria de 2002.

Determinada a equação de regressão, a curva cota-área-volume foi obtida através da integração utilizando um procedimento numérico. Primeiramente fixou-se um intervalo Δh , suficientemente pequeno de 1cm, e calculou-se a área inundada por meio da regressão para $H_0+\Delta H$, $H_0+2.\Delta H$, $H_0+3.\Delta H$, ... até $H_{\text{máx}}$ (1030 m). Admitindo-se que a taxa de variação da área no intervalo ΔH obedece a uma relação linear, o volume de cada incremento ΔH foi calculado como o volume de um prisma, ou seja, $(A_i+A_{i+1}).\Delta H/2$ e a soma dos volumes de todos os prismas resultam na curva cota-volume.

Um pré-requisito importante para aplicação dessa metodologia deve ser que o reservatório tenha experimentado uma grande variação de níveis no período de análise (Collischonn e Clarke 2016). Essa condição foi preenchida no caso do Descoberto, uma vez que este verteu em abril de 2016 e registrou o menor nível histórico no final de 2017 (ADASA, 2017).

2.3 - Avaliação teórica do assoreamento

A avaliação do assoreamento foi realizada através de uma metodologia teórica, a fim de comparar seus resultados com o assoreamento estimado a partir das imagens de satélite. Para realização do cálculo, foram aplicados conceitos de eficiência de retenção, peso específico aparente dos depósitos e da descarga sólida afluyente (Carvalho, 2008), utilizando a expressão:

$$V_{\text{assoreado}} = \frac{Q_{st} E_r A T}{\gamma_{ap}} \quad (5)$$

A eficiência de retenção (E_r) foi estimada pela curva média de Brune (1953), que relaciona o volume do reservatório e a vazão afluyente anual. Para a vazão média afluyente ao reservatório, foi adotado o valor oriundo do balanço hídrico realizado pela CAESB (2015).

Devido à falta de dados para avaliação e estimativa do peso específico aparente (γ_{ap}), adotou-se o valor proveniente dos estudos realizado na bacia do reservatório por Bicalho (2006). Ressalta-se, ainda, que a descarga sólida afluyente ao reservatório (Q_{st}) foi retirada de um estudo desenvolvido por Campagnoli (2006), como ilustrado na figura 1.

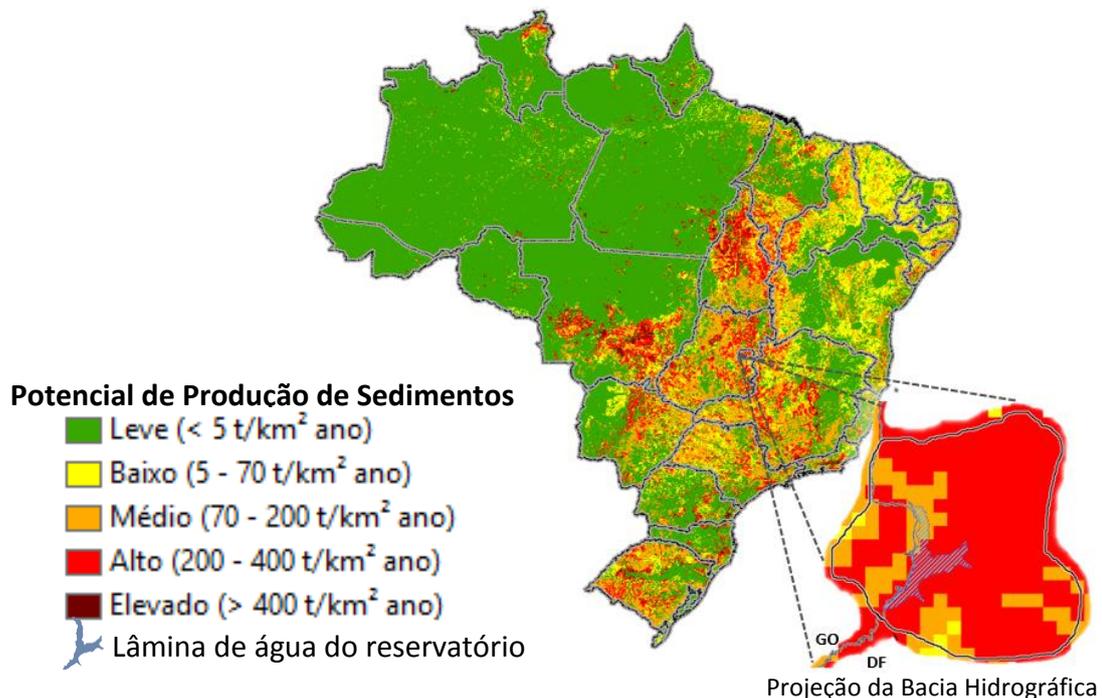


Figura 1 - Mapa de Potencial de Produção de Sedimentos do Brasil (Fonte: Campagnoli, 2006)

3 - RESULTADOS

3.1 - Curvas cota-área e cota-volume resultantes

Para o satélite RESORCE-SAT-2, SENTINEL-2 e LANDAST-8, foram utilizadas 18, 25 e 43 cenas respectivamente. A figura 2 apresenta o resultado da regressão entre as áreas inundadas e níveis de água e compara com a curva advinda da batimetria antecedente.

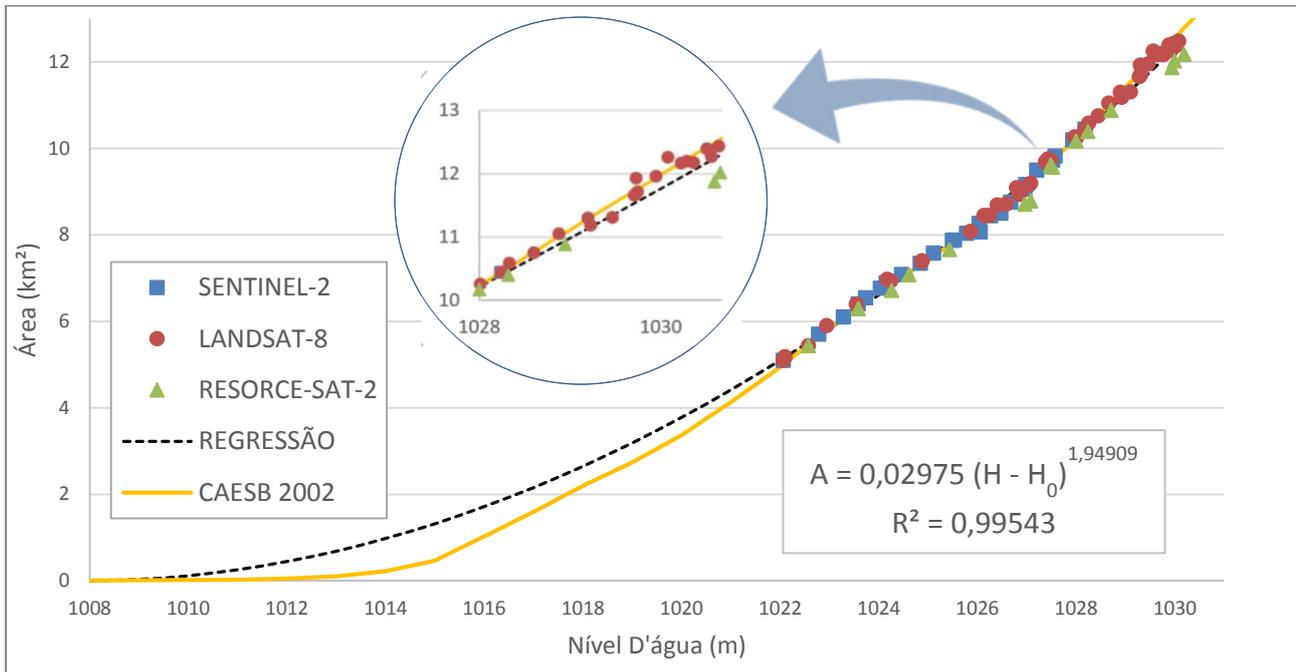


Figura 2 - Regressão entre a área inundada e nível d'água.

As imagens intermediárias e próximas ao nível de água do vertedouro são mais recorrentes, possuindo maiores possibilidades de amostras nesse intervalo. Por outro lado, as imagens nas datas em que o reservatório esteve em níveis muito baixos, próximos ao volume morto, são naturalmente raras, de forma que há uma incerteza sobre o comportamento do extremo inferior da curva. Observa-se que a extrapolação para níveis inferiores à cota 1021 leva a uma superestimativa da área inundada, o que fará com que o volume também seja superestimado nesse tramo.

A curva cota-volume resultante da integração da equação que relaciona áreas inundadas e níveis de água é apresentada na figura 3.

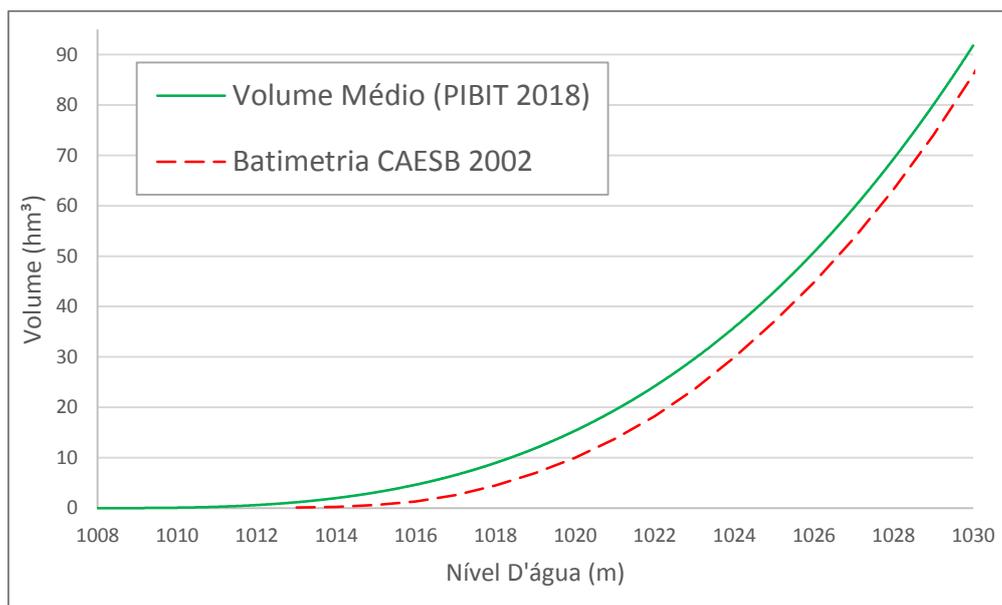


Figura 3 - Curva Cota-Volume.



O volume total do reservatório correspondente à cota 1030m foi de 91,77 hm³, 6,7% a mais que volume obtido na batimetria de 2002. Nota-se que essa diferença a mais é resultante da superestimativa no tramo inferior da curva cota-área, em que os dados foram extrapolados. De fato, o mais adequado é considerar somente a diferença de volume entre as cotas 1021 e 1030, que foi a faixa de variação efetiva dos níveis d'água do reservatório. Nesse intervalo, a batimetria de 2002 informa um volume de 72,29 hm³, enquanto a do presente trabalho resulta em 72,33 hm³, o que implica, virtualmente, o mesmo volume.

Esses resultados permitem estimar que não houve assoreamento expressivo nas zonas mais altas do reservatório. Em tese, estas seriam as áreas em que ocorrem as maiores deposições de material mais grosseiro. Entretanto, não se descarta a possibilidade de assoreamento em zonas mais profundas, próximas da tomada de água da barragem, uma vez que não se dispõe de imagens em cotas inferiores a 1021, nunca atingidas.

Essa conclusão é aderente a novos levantamentos de campo realizados recentemente pela CAESB, ainda não publicados, que também resultaram em volumes levemente superiores à estimativa anterior (Magalhães César, 2018).

3.2 - Estimativa teórica do assoreamento

Considerando a vazão média afluente ao reservatório de 8,12 m³.s⁻¹, obtém-se uma vazão anual equivalente a 256,07 hm³, que, relacionado com capacidade de armazenamento de 86 hm³, resulta em 33% capacidade de retenção da afluência média anual. Assim, utilizando a curva média de Brune, o reservatório possui uma eficiência de retenção de 95%.

Considerando, ainda, um potencial de descarga sólida média afluente ao reservatório de 300 t.km⁻².ano⁻¹, o peso específico aparente médio aparente dos depósitos de 1,43 t.m⁻³ e a área de drenagem da bacia de 433 km² tem-se, então, que o volume de sedimento retido no reservatório corresponde a 0,09 hm³.ano⁻¹. Dessa forma, estima-se que o reservatório tenha assoreado cerca de 1,30 hm³ nos últimos 15 anos, o que representa 1,5% da capacidade de armazenamento do reservatório.

Esse volume relativamente pequeno, resultante dessa estimativa teórica, reforça a conclusão de que o assoreamento tenha sido pouco expressivo no período.

3.3 - Validação em campo

Visando a uma avaliação qualitativa foi realizada uma visita aos principais afluentes que abastecem o reservatório, de maneira a identificar a incidência de assoreamento nas cabeceiras das sub-bacias. A visita foi realizada no dia 13/11/2017, o que coincidiu com a semana em que o reservatório apresentou os menores níveis históricos, permitindo uma visualização oportuna dos efeitos. Os locais vistoriados são mostrados nas figuras 4 e 5.

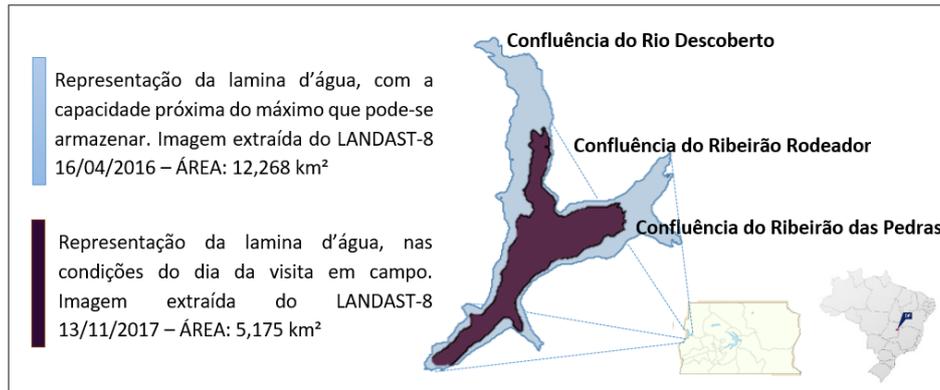


Figura 4 - Representação dos pontos visitados.



Figura 5 - Rio Descoberto (A), Ribeirão das pedras (B) e Ribeirão Rodeador (C).

Durante a vistoria, não foi constatada visualmente a presença de assoreamento que seja expressivo e que possa interferir na capacidade de armazenamento da barragem. Há a presença de macrófitas em alguns pontos, cuja decomposição eventualmente leva a depósitos de material orgânico, embora pouco expressivos no todo. Algumas áreas urbanas drenando diretamente para o reservatório foram dotadas de bacias de retenção de sedimentos, evitando, assim, maiores depósitos no reservatório. Ademais, somente alguns pequenos bancos de areia com pequeno volume foram identificados.

4 - CONCLUSÕES

No presente trabalho, foi feita uma estimativa da capacidade de armazenamento atual do reservatório do Descoberto (DF), baseada em dados de sensoriamento remoto. A partir da comparação com levantamentos anteriores, foi possível estimar o assoreamento ao longo de quase 20 anos recentes.

Contrariamente ao senso comum, a estimativa mostrou que não houve assoreamento, tendo resultado em uma capacidade levemente superior ao 86 hm³ anteriormente adotados. Esse resultado é, até certo ponto, surpreendente, uma vez que a bacia tem experimentado urbanização e ocupação muitas vezes desordenada, o que levava à expectativa de assoreamento. Vistorias em campo, realizadas no período de níveis mais baixos do manancial, também não permitiram a identificação visual de depósitos expressivos na porção.



Uma estimativa teórica, baseada em metodologias consagradas na hidrossedimentologia, resultou em um assoreamento de 1,3 hm³ no período. Tendo em vista, à pequena magnitude desse volume e às incertezas associadas à metodologia, considera-se que o resultado obtido também valida a metodologia remota adotada, bem como suas conclusões.

Não se descartam, entretanto, assoreamentos na parte mais profunda do reservatório, abaixo da cota 1021, uma vez que não há cenas nessas condições.

A estimativa da capacidade de armazenamento de reservatórios por meio de sensoriamento remoto mostra-se uma possibilidade bastante promissora, em particular em regiões mais remotas, onde questões logísticas podem elevar consideravelmente os custos de levantamentos convencionais.

BIBLIOGRAFIA

- ADASA. (2017). “Níveis dos reservatórios do Distrito Federal”. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/monitoramento/niveis-dos-reservatorios>>, consulta em: 09/12/2017.
- BICALHO, C. C. (2006). “Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia do rio Descoberto”. Distrito Federal.
- BRUNE, J.; Gunar M. (1953). “Trap Efficiency of reservoirs”. American Geophysical Union, 407-418.
- CAESB. (2014). “SIÁGUA -Sinopse do Abastecimento de Água do Distrito Federal”. Brasília-DF.
- CAESB. (2015). “Avaliação preliminar da bacia hidrográfica de influência do lago”. Relatório. Brasília.
- CAMPANHOLI. (2006). “The production of the sediment of the South America continent: propose of mapping of the erosion rates based on geological and geomorphological aspects”. Revista Brasileira de Geomorfologia, ano 7, nº 1.
- CARVALHO, N. O. (2008). “Hidrossedimentologia prática”. 2. ed., ver., atual e ampliada. Rio de Janeiro: Interciência.
- COLLISCHONN, B.; CLARKE, R. T. (2016). “Estimativa e incerteza de curvas cota-volume por meio de sensoriamento remoto”. RBRH, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 719-727.
- MAGALHÃES CÉSAR, M. C. (2018). “Comunicação pessoal”.
- MAGNA. (2002). “Estudos de concepção e de viabilidade técnica e econômica para elevação da crista do vertedouro”. Levantamentos Topobatimétricos. Volume II, Tomo 01/02.
- MOLLE, F.; CADIER, E. (1992). “Manual do pequeno açude”. SUDENE-DPG-PRN, DPP-WR, 525p.
- XU, H. (2006.) “Modification of normalised difference water index (MNDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery”. International Journal of Remote Sensing.