

USO DE ECOBATÍMETRO MONOFEIXE NA DETERMINAÇÃO DA CURVA COTA X ÁREA X VOLUME DO RESERVATÓRIO DA PCH PIPOCA – MINAS GERAIS – BRASIL

RENATA TEIXEIRA DE ALMEIDA MINHONI¹; GEANNE MOREIRA BRITO² E ROBERTO FRANCISCO DE AZEVEDO³

⁽¹⁾ Professora do Centro de Ciências Exatas e Sociais Aplicadas - Universidade do Sagrado Coração. USC. Bauru – São Paulo – Brasil, renataminhoni@hotmail.com ; renataminhoni@gmail.com

⁽²⁾ Engenheira ambiental da Jäger Umwelt-Technik. Hildesheim – Alemanha, g.moreira-brito@jaeger-envirotech.com

⁽³⁾ Professor do Departamento de Engenharia Civil – Universidade Federal de Viçosa. UFV. Viçosa – Minas Gerais – Brasil, robertoazevedo1946@gmail.com

1 RESUMO

A construção de reservatórios altera as condições naturais de um curso d'água. Dentre as principais alterações pode-se citar a redução da velocidade do fluxo da água, o que provoca o início do assoreamento do reservatório e, conseqüentemente, a redução progressiva de sua vida útil. O gerenciamento de reservatórios é baseado na curva cota x área x volume, que deve ser atualizada periodicamente, uma vez que os reservatórios são sistemas dinâmicos e que são submetidos a uma redução contínua do seu volume útil devido ao processo de assoreamento. Este artigo apresenta um método prático e preciso no levantamento batimétrico do reservatório da PCH (Pequena Central Hidrelétrica) Pipoca, através da utilização de um ecobatímetro monofeixe. O reservatório está localizado na bacia do rio Manhuaçu, entre os municípios de Caratinga e Ipanema, Minas Gerais. O objetivo deste estudo foi a determinação da curva cota x área x volume do reservatório da PCH Pipoca, a obtenção de um Modelo Digital de Elevação (MDE) do relevo submerso do reservatório, a determinação do volume de água e a determinação da área do espelho d'água do reservatório. O levantamento batimétrico foi realizado a partir do planejamento de seções batimétricas espaçadas em 30 metros ao longo da extensão do reservatório, e de uma seção longitudinal do eixo da barragem ao remanso do reservatório. Através dos resultados obtidos, observou-se a presença de maiores profundidades próximas ao eixo da barragem, e menores profundidades próximas ao remanso e nos braços do reservatório.

Palavras-chave: Assoreamento, Batimetria, Hidroeletricidade, Sedimento.

MINHONI, R.T.A.; BRITO, G.M.; AZEVEDO, R.F.
USE OF A SINGLE BEAM DEPTH SOUNDER IN THE DETERMINATION OF QUOTA X AREA X VOLUME CURVE OF THE PIPOCA SHPP RESERVOIR - MINAS GERAIS - BRAZIL

2 ABSTRACT

Recebido em 20/09/2015 e aprovado para publicação em 07/03/2017

DOI: <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2017v22n1p87-100>

The construction of reservoirs alters the natural conditions of a watercourse. Among the main alterations, it is possible to mention the reduction of water flow velocity, which causes the sedimentation of the reservoir to begin and, consequently, the progressive reduction of its lifespan. The management of reservoirs is based on the quota x area x volume curve, which must be periodically updated, as the reservoirs are dynamic systems and are subjected to a continuous reduction of their useful volume due to the silting process. This article presents a practical and spot-on method for the bathymetric survey of the SHPP reservoir (Small Hydroelectric Power Plant) through the use of a single beam depth sounder. The reservoir is located in the Manhuaçu river basin, between the municipalities of Caratinga and Ipanema, Minas Gerais. The goal of this study was the determination of the quota x area x volume curve of the SHPP Pipoca reservoir, obtaining a Digital Elevation Model (DEM) of the submerged relief of the reservoir, the determination of the water volume and the determination of the water mirror area. The bathymetric survey was carried out from the planning of bathymetric sections spaced in 30 meters along the extension of the reservoir, and from a longitudinal section of the dam axis to the backwater of the reservoir. The results obtained showed the presence of greater depths near the dam axis, and smaller depths near the backwater and in the arms of the reservoir.

Keywords: Silting, Bathymetry, Hydroelectricity, Sediment.

3 INTRODUÇÃO

A água é o elemento inorgânico presente em maior quantidade na matéria viva, representando mais de 60% no peso dos seres humanos, e podendo chegar a 98% em alguns animais aquáticos (VON SPERLING, 2005). Dessa maneira, a água representa, em primeira instância, uma demanda fisiológica dos organismos vivos, sendo um aspecto vital ao funcionamento adequado do organismo (TUNDISI, 2003).

Segundo Rebouças (2015) dos $1,36 \times 10^{18} \text{ m}^3$ de água disponível no planeta Terra, cerca de 97,5% do volume total é representado por água salgada e somente 2,5% por água doce. Desta pequena fração de água doce, apenas cerca de 0,3% encontra-se disponível em rios e lagos, ou seja, de fácil extração, justificando, assim, a grande necessidade de se preservarem os recursos hídricos no planeta. O Brasil apresenta grande destaque neste cenário ao possuir cerca de 12% do volume mundial de água doce, valor representado pela grande descarga (1.488 milhões de m^3/s) de água doce nos rios distribuídos pelo seu território. Ainda de acordo com o mesmo autor, no país este volume serve de alicerce à cultura do desperdício da água e à carência de investimentos no uso e proteção eficiente deste recurso.

Os corpos d'água representados por reservatórios artificiais abrigam um volume de aproximadamente 7.500 km^3 de águas represadas em todo o planeta. Estes sistemas são lagos artificiais criados pelo homem para atender finalidades específicas (STRAŠKRABA; TUNDISI, 2013). Dentre as principais finalidades, pode-se citar a geração de energia elétrica, o abastecimento humano e industrial, a irrigação, o controle de cheias, a aquicultura, a navegação, o turismo e a recreação.

A construção de um reservatório seja para armazenamento de água, geração de energia elétrica ou para qualquer outra finalidade, altera as condições naturais de um curso d'água. A principal alteração é a redução da velocidade do fluxo da água, o que provoca um aumento na taxa de deposição de partículas em suspensão que antes eram carreadas pelo fluxo original. Com a deposição contínua das partículas, inicia-se um assoreamento indesejável do

reservatório, o que reduz a sua vida útil e pode vir a impedir a operação do mesmo (CARVALHO, 2008).

Devido ao assoreamento, Yang (2003) afirma que a perda da capacidade de armazenamento dos reservatórios, encontra-se entre 1 a 2% ao ano. Para o caso do Brasil, Carvalho (2008) afirma que o valor médio anual desta taxa de assoreamento dos reservatórios é cerca de 0,5%.

O volume de sedimentos em um reservatório pode ser avaliado por meio de modelos empíricos (BORLAND; MILLER, 1960; SLOFF, 1991 e 1997) ou matemáticos (USACE, 1972; ZHOU; LIN, 1998; CAMPOS, 2001; WU; VIEIRA; WANG, 2004; LAQUINI, 2009). No entanto, estes modelos, apesar de muito úteis, só fornecem uma avaliação preliminar do volume de sedimentos depositados, uma vez que a solução precisa do problema é muito complexa e requer informações muitas vezes indisponíveis.

O acúmulo de sedimentos no fundo do reservatório pode ser medido diretamente e com mais precisão a partir de levantamentos batimétricos que atualizam periodicamente as curvas cota x área x volume do reservatório.

Os levantamentos batimétricos podem ser realizados por meio de batimetria, uma ciência destinada à determinação e representação gráfica do relevo de áreas submersas, como rios, lagos e mares. A batimetria utiliza equipamentos denominados ecobatímetros para calcular a profundidade através de ondas acústicas (PEREIRA; BARACUHY, 2008).

Em contrapartida ao uso de ecobatímetros na realização de levantamentos batimétricos, o uso de imagens de satélite aliado a técnicas de sensoriamento remoto vem sendo utilizados para a estimativa da batimetria em reservatórios e rios (FLENER et al., 2012). Porém, mesmo apresentando resultados satisfatórios, os modelos de levantamentos batimétricos oriundos de imagens de satélite apresentam limitações, como, por exemplo, o emprego em reservatórios profundos (GAO, 2009).

O ecobatímetro monofeixe, também conhecido como *single beam*, é um equipamento que realiza a medição de uma profundidade a partir da emissão de único pulso (ou *ping*) acústico. Já o ecobatímetro multifeixe, ou *multi beam*, emite inúmeros pulsos acústicos, realizando uma varredora do terreno submerso, o que exige um processamento moroso e mais sofisticado dos dados coletados, mas acompanhada de uma maior precisão no resultado obtido (SEABEAM INSTRUMENTS, 2000).

O instrumento monofeixe apresenta simplicidade no uso e no entendimento e um rápido processamento dos dados coletados. Porém, possui limitações que tornam impróprio o seu uso para levantamentos batimétricos em grandes reservatórios, devido a precisão do equipamento (SEABEAM INSTRUMENTS, 2000). Desta maneira, utilizou-se este equipamento para realizar o levantamento batimétrico do reservatório da PCH Pipoca, por se tratar de um reservatório pequeno, por atender as necessidades do empreendimento e ao objetivo deste trabalho, além de apresentar um custo muito inferior ao de um ecobatímetro multifeixe.

O processo de um levantamento batimétrico inclui as seguintes etapas: planejamento das seções batimétricas, levantamento de campo, processamento das informações coletadas no campo e a utilização de *softwares* na geração de mapas e na obtenção de curvas cota x área x volume (CORRÊA FILHO et al., 2005).

Por tais razões, este trabalho contribui para o monitoramento mais adequado do aproveitamento hidrelétrico do reservatório da PCH Pipoca, por meio da atualização a curva cota x área x volume e, assim, manutenção da vida útil do empreendimento. Para isto, foi realizado um levantamento batimétrico no reservatório através de um ecobatímetro monofeixe, de modo a determinar o volume atual de água do reservatório e, assim, proporcionar melhores subsídios ao gerenciamento do reservatório.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Localização e caracterização do reservatório da PCH Pipoca

O reservatório da PCH Pipoca está localizado na bacia do rio Manhuaçu, Estado de Minas Gerais, com uma área de drenagem de 8.826,37 km². Além da PCH Pipoca, no rio Manhuaçu estão localizadas outras cinco PCHs, sendo elas: Sinceridade, Benjamim Mário Baptista, Neblina, Areia Branca e Cachoeirão.

A PCH Pipoca situa-se a jusante da PCH Neblina e a montante da PCH Areia Branca, entre os municípios mineiros de Caratinga e Ipanema. Suas coordenadas extremas estão localizadas entre os meridianos 41° e 42° 20' e entre os paralelos 19° 10' e 20° 40', sendo que o eixo da barragem está localizado na latitude 19° 46' 11,46" S e na longitude 41° 47' 20,64" W (Figura 1).

Figura 1. Reservatório da PCH Pipoca, Minas Gerais.



Fonte: Google Earth (2015).

O empreendimento começou a ser construído em outubro de 2006 e iniciou sua operação em outubro de 2010. Com uma área de 110 ha, abrangendo o reservatório, o canteiro e 20 ha de área de preservação permanente, o empreendimento foi construído com a finalidade de gerar energia elétrica, a partir de uma potência instalada de 20 MW (OMEGA ENERGIA RENOVÁVEL S.A., 2010). As principais características da PCH Pipoca são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Principais características da PCH Pipoca, Minas Gerais.

Características a montante	
N.A.(*) máximo maximorum (**)	403,58 m
N.A. máximo normal	400,50 m
N.A. mínimo normal	399,50 m
Área no N.A. máximo maximorum	121 ha
Volume no N.A. máximo	11,53 hm ³
Barragem	
Tipo	Enrocamento (margem esquerda) e gravidade em concreto (margem direita)
Vertedouro	Soleira livre
Queda bruta	49,20 m
Turbinas	
Número	03
Potência nominal unitária	7,03 MW

Fonte: SPEC PLANEJAMENTO, ENGENHARIA, CONSULTORIA LTDA (2007).

(*) Nível d'água ; (**) Nível de água mais elevado para o qual a barragem foi projetada.

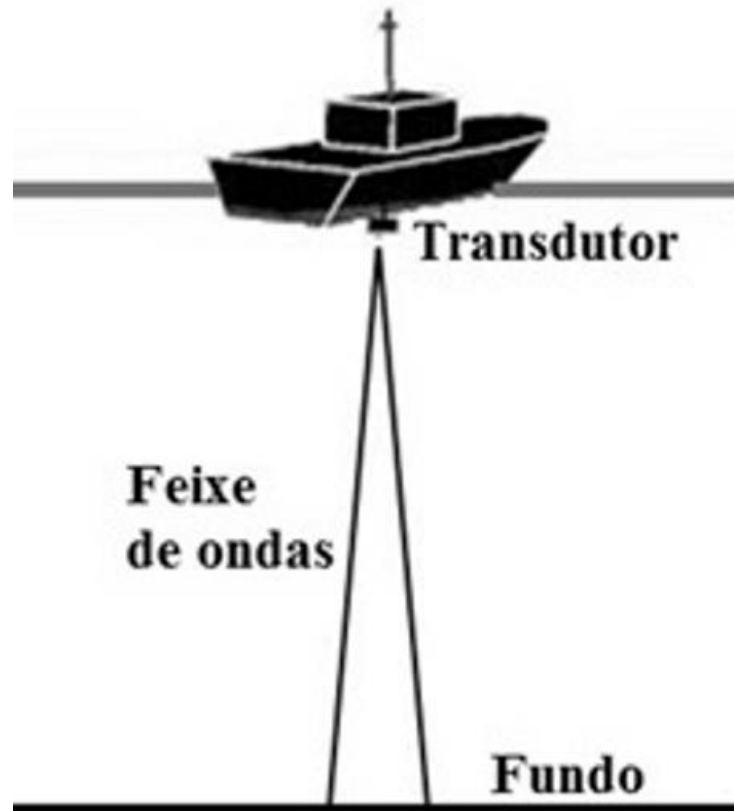
4.2 Material

O equipamento utilizado no levantamento batimétrico do reservatório foi um ecobatímetro monofeixe modelo HY 1600, com frequência de 208 kHz, juntamente com um DGPS modelo Hemisphere R131 (HAIYING MARINE, 2017). Ambos conectados a um *notebook* que utilizava o *software* HYPACK para a obtenção de dados, sincronização de informações e processamento dos dados coletados (HYPACK, 2010). Ainda foram utilizados uma bateria estacionária de 12V e um barco a motor.

O equipamento HY 1600 é um instrumento portátil utilizado do levantamento batimétrico de lagos, rios e áreas costeiras. Possui um alcance de medição de 30 cm a 300 m de profundidade, produzindo dados digitais de profundidade com uma exatidão de 0,1% (HAIYING MARINE, 2017).

O ecobatímetro atua tanto como emissor quanto como receptor dos pulsos sonoros. O equipamento responsável pela emissão e recepção dos pulsos é denominado transdutor. A profundidade de um ponto qualquer do terreno é obtida a partir da emissão de um pulso e a medição da velocidade com que este mesmo pulso retorna ao ecobatímetro (Figura 2) (MATOS, 2012).

Figura 2. Esquema do levantamento batimétrico utilizando ecobatímetro monofeixe.



Conhecendo a velocidade de propagação do som na água e a distância entre o transdutor e a superfície da água, a profundidade do local pode ser calculada a partir da medição do tempo percorrido pelo pulso (USACE, 2002). Esta profundidade pode ser expressa pela seguinte equação 1:

$$D = \frac{1}{2} (V \cdot t) + k + d_r \quad (1)$$

Em que:

D = distância corrigida a partir da superfície da água como referência;

V = média da velocidade do som na água;

t = tempo médio decorrido desde transdutor até o fundo do terreno e de volta ao transdutor;

k = constante índice do sistema;

d_r = distância do transdutor até a superfície da água de referência, distância conhecida como *draft*.

4.3 Metodologia

4.3.1 Planejamento das seções batimétricas

Segundo Morris e Fan (1998), o número de seções transversais a serem planejadas depende do tamanho e da geometria do reservatório, sendo necessário um mínimo de três seções, até mesmo para os menores represamentos. A média do número de seções utilizadas no levantamento batimétrico de 57 reservatórios com áreas entre 30 e 15.000 ha é dada pela equação 2:

$$N_{st} = 2,942 \cdot A^{0,3652} \quad (2)$$

Em que:

N_{st} = número de seções topobatimétricas;

A = área da superfície do reservatório (ha).

De acordo com um guia técnico, elaborado pela ANA, com orientações para atualização das curvas cota x área x volume, para trabalhos com ecobatímetros de feixe únicos em PCHs, a equidistância entre as seções de sondagem deve ser obtida pela seguinte equação 3 (ANA, 2013):

$$E_{st} = (0,25 * A^{0,25}) / D \quad (3)$$

Em que:

E_{st} = equidistância das seções topobatimétricas transversais (km);

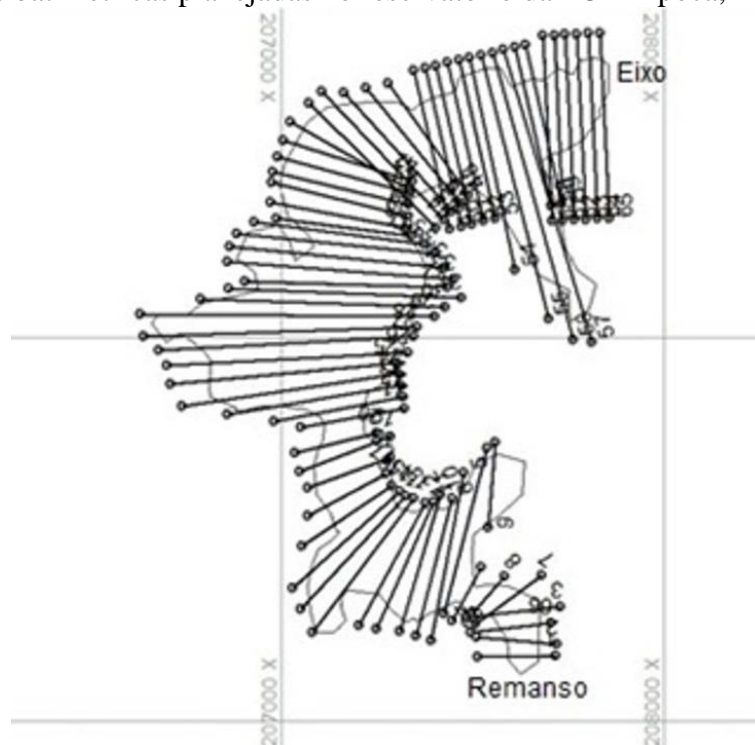
A = área do reservatório em seu nível máximo maximumum (ha);

D = extensão do corpo principal do reservatório (km).

Considerando o valor de área no nível d'água máximo maximumum igual a 121 ha, encontrou-se para a fórmula de Morris e Fan (1998) um número médio de seções recomendadas igual a 17.

Considerando a extensão do reservatório em estudo de aproximadamente 2 km, obteve-se, pelas orientações do guia técnico da ANA, uma equidistância entre seções de 415 m. Porém, para uma maior precisão no levantamento do reservatório e obtenção dos resultados, foram realizadas 65 seções transversais, espaçadas aproximadamente de 30 em 30 m, ao longo do reservatório e dos braços (Figura 3). O aumento no número de seções recomendadas resultou em um levantamento minucioso do terreno submerso, garantindo uma boa estimativa do volume atual do reservatório.

Figura 3. Seções batimétricas planejadas no reservatório da PCH Pipoca, Minas Gerais.

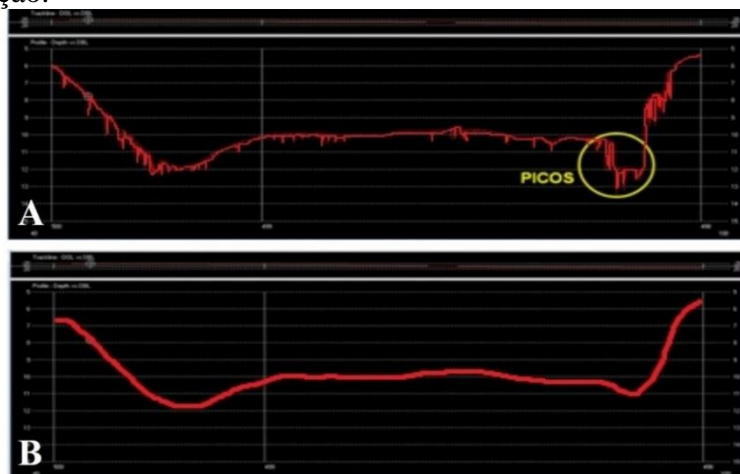


Adicionalmente as seções transversais planejadas foi estabelecida uma seção única longitudinal ao curso d'água principal. As seções foram armazenadas no *software* para guiarem a navegação durante o levantamento de campo.

4.3.2 Processamento dos dados obtidos no levantamento de campo

Após o levantamento batimétrico no campo, em 2012, os dados obtidos foram processados no *software* HYPACK. Os arquivos brutos foram analisados detalhadamente, verificando-se a presença de eventos discrepantes ou fora do comportamento esperado, como picos indesejáveis encontrados no perfil das seções, por exemplo (**Figura 4**). A suavização destas imperfeições foi realizada com a ferramenta *smooth*, dentro do *software*. Após o processamento dos dados deu-se continuidade na obtenção dos resultados previstos no trabalho.

Figura 4. Suavização de picos indesejáveis. A - Seção antes da suavização e B - Seção após a suavização.



4.3.3 Geração do Modelo Digital de Elevação (MDE)

Durante o levantamento de campo não foi possível realizar a batimetria próxima às margens do reservatório, devido as baixas profundidades e a presença de galhos e rochas que poderiam danificar o equipamento. Assim, utilizou-se uma imagem do satélite IRS-P6, sensor LISS (*Linear Imaging Self-Scanner*) III e bandas 2, 3 e 4, para interpolar os dados batimétricos por meio do método TIN (*Triangular Irregular Network*), até a borda real do reservatório.

Para a geração do MDE do reservatório da PCH Pipoca exportou-se o arquivo com as coordenadas de latitude, longitude e profundidade, obtido no *software* HYPACK, para o *software* ArcGIS 10.0 (ESRI, 2017). Com o arquivo importado e a borda real do reservatório, gerou-se o MDE atual através do método TIN, usualmente utilizado para gerar o modelo topográfico digital quando se tem dados de seções transversais (USACE, 2002).

O método TIN é uma estrutura de dados digital utilizada em um sistema de informação geográfica (SIG) para a representação de uma superfície constituída por módulos distribuídos irregularmente e linhas com três coordenadas (x, y, e z) dispostas em uma rede de triângulos não sobrepostos (THURSTON; POIKER; MOORE, 2003).

O método TIN para gerar o MDE é a forma mais apropriada para representar a superfície do fundo do reservatório quando os dados coletados são perpendiculares ao canal submerso (FURNANS; AUSTIN, 2008).

4.3.4 Geração da curva cota x área x volume

A partir do MDE, obtido através do *software* ArcGIS, foram geradas a curva cota x área x volume. Os dados da curva foram exportados e inseridos em uma planilha do *software* Excel para a realização dos ajustes necessários à obtenção do resultado.

No *software* ArcGIS os valores de área e volume foram gerados em intervalos de 1 metro, iniciando na cota mínima. Após os dados serem inseridos na planilha eletrônica, determinou-se o melhor ajuste da curva polinomial, de maneira a se obter a melhor correlação.

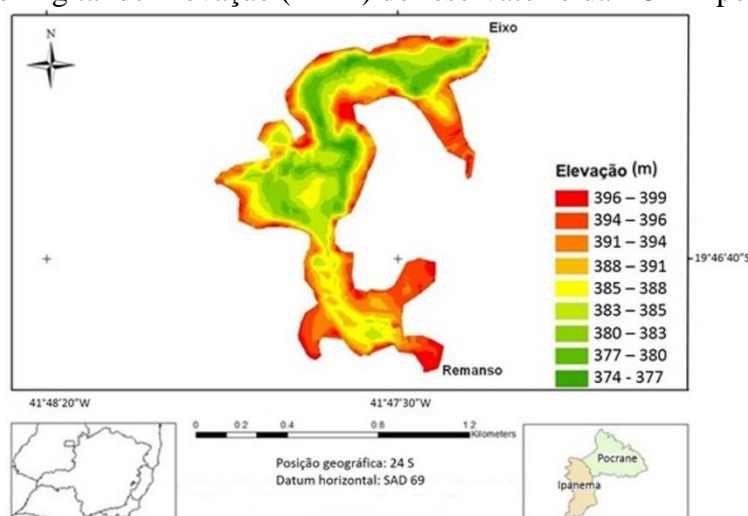
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Modelo Digital de Elevação (MDE)

O MDE obtido no *software* ArcGIS, a partir da interpolação dos dados coletados durante o levantamento batimétrico em campo, é apresentado na Figura 5. Observa-se que as maiores profundidades estão localizadas próximas ao eixo da barragem e ao longo da calha original do rio, e as menores profundidades próximas ao remanso e nos braços do reservatório. Aproximadamente a partir da metade do reservatório ocorre um alargamento da seção transversal alagada, provocando, conseqüentemente, uma redução na velocidade de fluxo da água que gerou um maior acúmulo de sedimentos no centro do rio e dividiu o fluxo em dois braços laterais.

Em um estudo semelhante realizado na PCH Henrique Nunes Coutinho (PCH Cachoeirão), localizada no rio Manhuaçu e a montante da PCH Pipoca, Brito (2013) gerou o MDE do reservatório da PCH por meio do *software* ArcGIS, a partir de dados obtidos em levantamento batimétrico utilizando um ecobatímetro monofeixe. Segundo a mesma autora, a faixa de elevação do reservatório PCH situou-se aproximadamente entre 213 m e 250 m, valores menores aos encontrados no MDE do reservatório da PCH Pipoca, já que este encontra-se a montante da PCH Cachoeirão.

Figura 5. Modelo Digital de Elevação (MDE) do reservatório da PCH Pipoca, Minas Gerais.



5.2 Curva cota x área x volume

As curvas cota x área e cota x volume foram determinadas através das informações do MDE do reservatório da PCH Pipoca. Estes resultados são apresentados na Figura 6 e na Figura 7, acompanhados das respectivas equações de ajuste polinomial, obtidas de acordo com a melhor correlação entre os dados.

Na Figura 6 e na Figura 7 observa-se que para as cotas iniciais não há um aumento significativo de volume e área, respectivamente. Adicionalmente, observa-se na Figura 7 uma estabilização dos valores de área próximos à cota de 400 m, o que não acontece com os valores de volume da Figura 6, indicando a presença de taludes com maiores inclinações nas margens do rio.

Figura 6. Curva cota x volume do reservatório da PCH Pipoca, Minas Gerais, 2012.

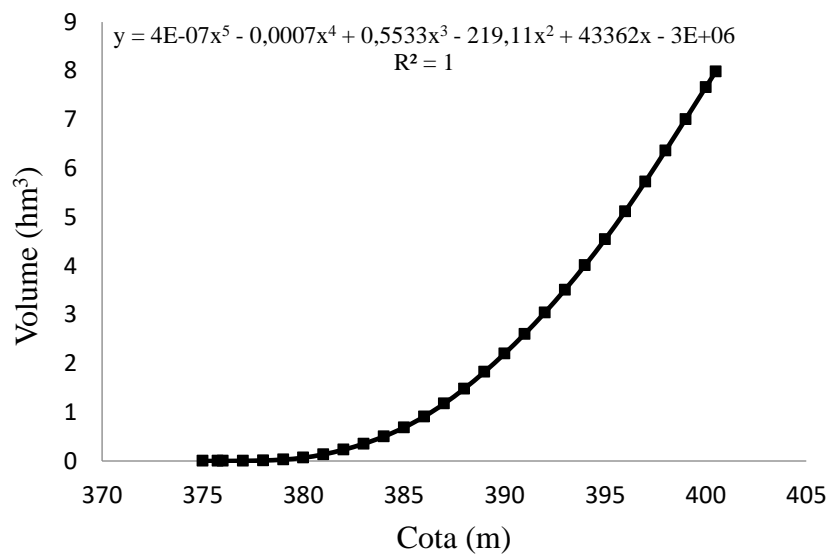
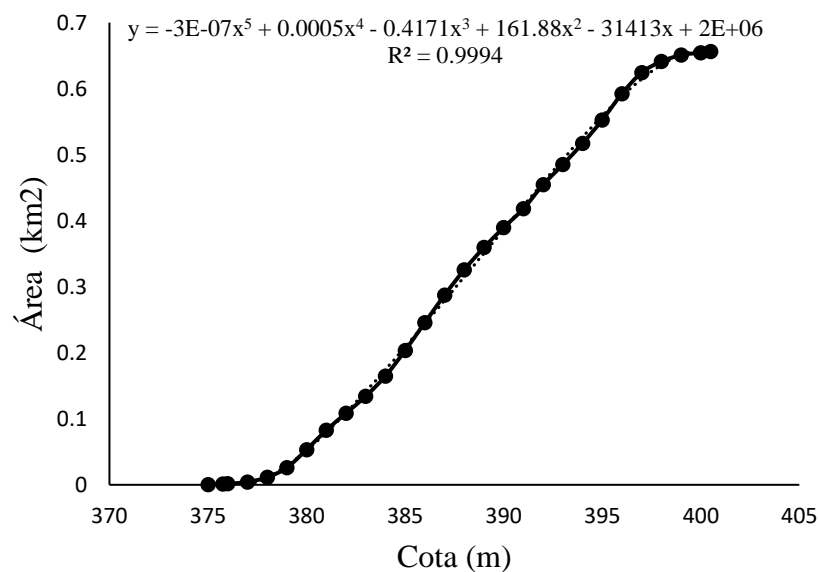


Figura 7. Curva cota x área do reservatório da PCH Pipoca, Minas Gerais, 2012.



Brito (2013), em seu estudo semelhante na PCH Cachoeirão, utilizou os valores de cota, área e volume, obtidos após a geração do MDE, para a elaboração das curvas cota x volume e cota x área do reservatório. A autora também encontrou excelente correlação entre os dados a partir da obtenção de equações de ajuste polinomial.

Dill et al. (2004) e Miranda, Scarpinella e Mauad (2013) realizaram levantamento batimétrico nos reservatórios de Vacacaí Mirim (RS) e Três Irmãos (SP), respectivamente. Os autores compararam dados realizados em diferentes levantamentos batimétricos e estimaram a perda de volume de água do reservatório, provenientes do processo de assoreamento, para o caso do reservatório da PCH Pipoca, tanto o Modelo Digital de Elevação como as curvas cota x área e cota x volume servirão como subsídio para estudos posteriores de monitoramento do reservatório, pois trata-se do primeiro estudo realizado no local.

6 CONCLUSÕES

O artigo apresentou um método prático e preciso para se obter a curva cota x área x volume de reservatórios de pequenas centrais hidroelétricas. Especificamente, foram obtidos resultados no reservatório da PCH Pipoca, construída no rio Manhuaçu, em Minas Gerais.

O levantamento batimétrico realizado neste reservatório foi feito em seções transversais ao longo do leito original do rio equidistantes de apenas 30 metros. Desta forma, o número de seções batimétricas foi bem maior do que o recomendado pela ANA (2013), o que confere bastante precisão ao estudo.

Espera-se que o estudo seja útil ao empreendimento e as partes envolvidas no gerenciamento do reservatório, e certamente dará suporte para os próximos levantamentos batimétricos que deverão ser realizados para se fazer o acompanhamento da velocidade de assoreamento do reservatório, por meio de análises comparativas.

Ressalta-se a importância da recomposição da mata ciliar nas margens do reservatório para diminuir o volume de sedimentos que adentra o mesmo.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e ao último autor deste trabalho pela criação do convênio e pelos subsídios fornecidos para a realização deste estudo.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA. Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica. **Orientações para atualização das curvas cota x área x volume**. Brasília: ANA, SGH, 2013.

BORLAND, W. M.; MILLER, C. R. Distribution of sediment in large reservoirs. **Transactions of the American Society of Civil Engineers**, Reston, VA, USA, v.125, p. 166-180, 1960.

BRITO, G. M. **Avaliação do processo de assoreamento do reservatório da PCH Cachoeirão**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2013.

CAMPOS, R. **Three-dimensional reservoir sedimentation model**. Newcastle: University of Newcastle, 2001.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: CPRM, ELETROBRÁS, 2008. 602 p.

CORRÊA FILHO, C. R. R., ALBERTIN, L. L., MAUAD, F. F. Determinação dos polinômios cota x área x volume utilizando a sonda acoustic doppler profiler (ADP) no reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Minerva**, São Carlos, v.2, n. 1, p. 79-90, 2005.

DILL, P. R. J., PAIVA, E. M. C. D., PAIVA, J. B. D., ROCHA, J. S. M. Assoreamento do reservatório do Vacacaí Mirim / Santa Maria e sua relação com a deteriorização da bacia hidrográfica contribuinte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p. 7-15, 2004.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcGIS**: professional GIS for the desktop. Versão 10.0. Redlands, 2010. Disponível em: <<http://support.esri.com/technical-article/000011244>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

FLENER, C.; LOTSARI, E.; ALHO, P.; KAYHKO, A. Comparison of empirical and theoretical remote sensing based bathymetry models in river environments. **River Research and Applications**, Chichester, v. 28, p. 118-133, 2012. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/rra.1441/pdf>>. Acesso em: 13 jan. 2017.

FURNANS, J.; AUSTIN, B. Hydrographic survey methods for determining reservoir volume. **Environmental Modelling & Software**, Austin, v. 23, p. 139-146, 2008.

GAO, J. Bathymetric mapping by means of remote sensing: methods, accuracy and limitations. **Progress in Physical Geography**, London, v. 33, p. 103-116, 2009. Disponível em: <http://www.watercolumncorrection.com/documents/gao_accuracy_2009.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2017.

GOOGLE EARTH. **Google Earth**. Disponível em: <<https://www.google.com/earth/>>. Acesso em: 10 jan. 2015.

HYPACK. **Manual hypack hydrographic survey software**. Middletown, 2010. 1395 p.
LAQUINI, J. P. **Modelagem determinístico-estocástica da dinâmica de sedimentos em reservatórios de água e de rejeitos de mineração**. 2009. 183 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

MATOS, A. J. S. **Melhorias qualitativas na modelagem de levantamentos batimétricos em reservatórios por meio da ferramenta computacional “CAV-NH”**. 2012. 137 p. Tese

(Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental)–Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

MIRANDA, R. B., SCARPINELLA, G. D., MAUAD, F. F. Influência do assoreamento na capacidade de armazenamento do reservatório da usina hidrelétrica de Três Irmãos (SP/Brasil). **Recursos Hídricos**, Lisboa, v. 34, p. 69-79, 2013.

MORRIS, G. L.; FAN, J. **Reservoir sedimentation handbook**. New York: McGraw-Hill Book Co., 1998.

OMEGA ENERGIA RENOVÁVEL S.A. **Relatório de sustentabilidade**. Belo Horizonte, 2010.

PEREIRA, J. P. G.; BARACUHY, J. G. V. **Ecobatimetria: teoria e prática**. Campina Grande: Gráfica Agenda, 2008. 84 p.

REBOUÇAS, A. C. Água doce no mundo e no Brasil. In: BRAGA, B; TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNSI, T.; CIMINELLI, V. S. T. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 4. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2015. 729 p.

SEABEAM INSTRUMENTS. **Multibeam sonar theory of operation: technology for advanced seafloor mapping applications**. East Walpole: L-3 Communications SeaBeam Instruments, 2000.

SLOFF, C. J. **Reservoir sedimentation: a literature survey**. Delf: Delft University of Technology, 1991.

SLOFF, C. J. **Sedimentation in Reservoirs**. Delf: Delft University of Technology, 1997. SPEC PLANEJAMENTO, ENGENHARIA, CONSULTORIA LTDA. **Relatório do Projeto Básico Consolidado: texto**. Belo Horizonte, MG, 2007, v. 1.

STRAŠKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 300 p. (Coleção Diretrizes para o Gerenciamento de Lagos, 9).

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. 2. ed. São Carlos: RiMa, 2003. 248 p.

THURSTON, J.; POIKER, T. K.; MOORE, J. P. **Integrated Geospatial Technologies: a guide to GPS, GIS, and data logging**. Hoboken: John Wiley & Sons, 2003.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS - USACE. **Engineering and design: hydrographic surveying**. Washington, D.C, 2002. Publicação número: 1110-2-1003.

U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS - USACE. **HEC-6 scour and deposition in rivers and reservoirs, user's manual**. Davis: Hydrologic Engineering Center, 1972.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

WU, W.; VIEIRA, D. A.; WANG, S. S. Y. One-dimensional numerical model for nonuniform sediment transport under unsteady flows in channel networks. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, v. 130, n. 9, 914-23, 2004.

WUXI HAIYING-CAL TEC MARINE TECHNOLOGY CO - HAIYING MARINE, **HY 1600**. Wuxi, 2011. Disponível em:
<http://en.haiyingmarine.com/products_detail/productId=104.html>. Acesso em: 14 jan. 2017.

YANG, X. **Manual on sediment management and measurement**. Geneva: World Meteorological Organization, 2003. 158 p. (Operational Hydrology Report, 47).

ZHOU, J.; LIN, B. One-dimensional mathematical model for suspended sediment by lateral integration. **Journal of Hydraulic Engineering**, Reston, v. 124, n. 7, p. 712-717, 1998.