

IV-184 – AVALIAÇÃO DE RESERVATÓRIO EM PERNAMBUCO UTILIZANDO PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO DE ALTA RESOLUÇÃO

Thaise Suanne Guimarães Ferreira⁽¹⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste. Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste.

Maria Alice Britto Feitoza⁽²⁾

Graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste. Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste.

José Bandim de Almeida Neto⁽³⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste.

Elyfas Allyjackson Morais Rodrigues⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste.

José Almir Cirilo⁽⁵⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco, Campus Agreste.

Endereço⁽¹⁾: Av. Campina Grande, s/n - Km 59 - Nova Caruaru - Caruaru – PE – CEP: 55014-900 - Brasil - Tel: (81) 2103-9194 - e-mail: thaisesuanne14@gmail.com

RESUMO

Todo reservatório apresentará eventualmente o processo de assoreamento, causando alterações no relevo com o passar do tempo e por consequência diminuição da capacidade de reservação. Os processos de gestão e operação são definidos baseados nos volumes acumulados na área que abrange as barragens, por isso manter essas informações atualizadas é de grande importância para os responsáveis pelos barramentos. Essas informações são expressas através da curva cota-área-volume. O presente artigo atualizou as curvas cota-área-volume dos mais importantes reservatórios pernambucanos, utilizando os produtos espaciais de alta resolução disponibilizados pelo Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D). Resultado do perfilhamento a laser de todo território do estado, o PE3D tem como objetivo a geração de uma base de dados espaciais de apoio ao desenvolvimento de projetos e gestão dos recursos. Ao todo, dos 14 reservatórios originalmente analisados, apenas em nove a atualização das curvas puderam ser obtidas e suas capacidades máximas comparadas as disponíveis na Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), foram eles: Engenheiro Francisco Sabóia, Entremontes, Jucazinho, Serrinha II, Serro Azul, Carpina, Chapéu, Barra do Juá e Goitá. A maioria das barragens apresentou uma diminuição significativa de volume, sendo Barra do Juá a apresentar a maior (53,05%). Serro Azul foi a exceção apresentando redução de apenas 3,50% de seu volume, cerca de apenas 10 milhões de metros cúbicos. Esse resultado reflete a margem de erro associada à metodologia utilizada no trabalho já que a locação de Serro Azul teve base nas informações geradas pelo PE3D. Jucazinho, que tinha sua capacidade questionada a algum tempo, teve sua cota de fundo elevada em 15m, ocasionando a redução de mais de 125 milhões de metros cúbicos de capacidade de armazenagem. Concluiu-se que a redução da capacidade de armazenamento está diretamente relacionada ao processo de assoreamento sofrido pelo reservatório e a atualização das curvas será essencial para o desenvolvimento de planos operacionais mais realistas a situação. Também validou-se o PE3D como ferramenta importante para a avaliação da capacidade dos reservatórios pernambucanos.

PALAVRAS-CHAVE: Capacidade de reservatórios, Sensoriamento remoto, Geoprocessamento, PE3D, Curva CAV.

INTRODUÇÃO

A água é necessária para a existência da vida. Trata-se de um recurso finito, que possui valor econômico e é importante para o atendimento das mais diversas necessidades humanas, como a irrigação, usos consuntivos, atividade industrial, contenção de cheias, navegação, dentre outras. Segundo Rocha et. al. (2002) a disponibilidade dos recursos hídricos se relaciona de forma direta com o desenvolvimento das regiões, seja ele econômico ou social.

Uma grande parte do território pernambucano encontra-se na região do semiárido brasileiro. Para Fontes et. al. (2015), o semiárido brasileiro é uma região que possui uma grande variação de precipitação, tanto no espaço quanto no tempo. Além disso é uma região que possui muitos rios intermitentes, o que faz com que haja uma vazão baixa ou inexistente em seus rios durante a maior parte do ano. Esse cenário gera uma dificuldade em atender as necessidades da população dessa região, e é a partir dessa problemática que a construção de barragens surja como uma alternativa para amenizar.

Em Pernambuco além das barragens destinadas ao abastecimento existem aquelas que objetivam o controle e contenção de cheias. Segundo Silva (2015), após as enchentes que atingiram a mata sul do estado nos anos de 2010 e 2011 ficou evidente aos órgãos responsáveis pelo gerenciamento dos recursos hídricos a necessidade de um sistema de informações espaciais hidrometeorológicas. Tal necessidade resultou no produto Pernambuco Tridimensional (PE3D), que é o produto do recobrimento e aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território, que gerou os Modelos Digitais do Terreno e de Elevação (MDT e MDE) e as ortoimagens do estado. O PE3D foi utilizado na realização de um plano de contenção para as bacias do Una e Sirinhaém, que incluía a construção de cinco barragens, sendo elas: Serro Azul, Barra de Guabiraba, Gatos, Pannels II e Igarapeba. No geral, o PE3D pode ser utilizado em diversas áreas e para as mais variadas aplicações, como a ambiental no que diz respeito a identificação de áreas desmatadas, no ambiente urbano com o controle da expansão urbana e em obras de infraestrutura, como adutoras, estradas, ferrovias e barragens, por exemplo.

Porém, independente da finalidade, todo reservatório está fadado a sofrer as ações do tempo, principalmente ao processo de assoreamento. Logo, seja pelo tempo transcorrido desde sua construção, pelo mau uso do solo ou mesmo pela dificuldade à época de se realizar levantamentos topográficos em grandes extensões, é importante reavaliar, com base nas informações atuais, a real capacidade dos reservatórios, visto que se trata de informação essencial para o planejamento hídrico. Devido ao alto custo que a atualização dessas informações teria se realizadas através de métodos tradicionais a utilização dos produtos do PE3D para esse fim se propõe como uma fonte alternativa, rápida e barata.

Para realizar o cálculo da capacidade dos reservatórios, segundo Ladeira et al. (2011), é necessário calcular o volume que a barragem vai comportar para diferentes cotas, esse cálculo pode ser realizado de duas formas, através do MDT ou através de um mapa topográfico. As informações adquiridas a partir disso podem ser organizadas graficamente na forma de curvas cota-área-volume. Neste trabalho, é feita a apresentação dos produtos do Pernambuco Tridimensional como ferramentas de avaliações dos reservatórios existentes no estado. A metodologia foi aplicada em 14 reservatórios pernambucanos: Algodões, Barra do Juá, Carpina, Chapéu, Engenheiro Francisco Saboia, Entremontes, Goitá, Jucazinho, Pirapama, Prata, Saco II, Serrinha II, Serro Azul e Tapacura.

OBJETIVOS

O presente estudo tem como objetivo a atualização das curvas cota-área-volume dos quatorze maiores reservatórios de Pernambuco utilizando dados espaciais de alta resolução, produtos do perfilamento a laser do Pernambuco Tridimensional. Busca-se também avaliar a precisão dos resultados encontrados com utilização dos Modelos Digitais do Terreno para tais fins ao comparar com as curvas cedidas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) geradas durante o projeto das barragens, levando em consideração o processo de assoreamento sofrido ao longo do tempo.

METODOLOGIA

Área de estudo

Foram escolhidas as 14 barragens cujos reservatórios são os maiores em capacidade de armazenamento do estado pernambucano. São eles: Engenheiro Francisco Sabóia, no município de Ibimirim, Entremontes, no município de Parnamirim, Jucazinho, em Surubim, Serrinha II, localizado no município de Serra Talhada, Tacapura em São Lourenço da Mata, Serro Azul em Palmares, Carpina em Lagoa do Carro, Chapéu no município de Parnamirim, Saco II no município de Santa Maria da Boa Vista, Barra do Juá em Floresta, Pirapama no município de Cabo de Santo Agostinho, Algodões no município de Ouricuri, Goitá em São Lourenço da Mata e por fim o Prata no município de Bonito. A localização das barragens no estado é mostrada na Figura 1.

Dentre todos, o principal reservatório a ser analisado é Jucazinho. Construído em 1998, o foco em Jucazinho tem por base os questionamentos levantados nos últimos anos por pesquisadores acerca de sua real capacidade de armazenamento. É o maior reservatório destinado a abastecimento humano localizado na da bacia do Rio Capibaribe - o mais importante rio de Pernambuco- e terceiro maior reservatório de todo o estado, responsável pelo fornecimento de água para cerca de 15 municípios. Conhecer seu limite de armazenamento torna-se essencial para planejar adequadamente seu uso, principalmente em tempos de seca.

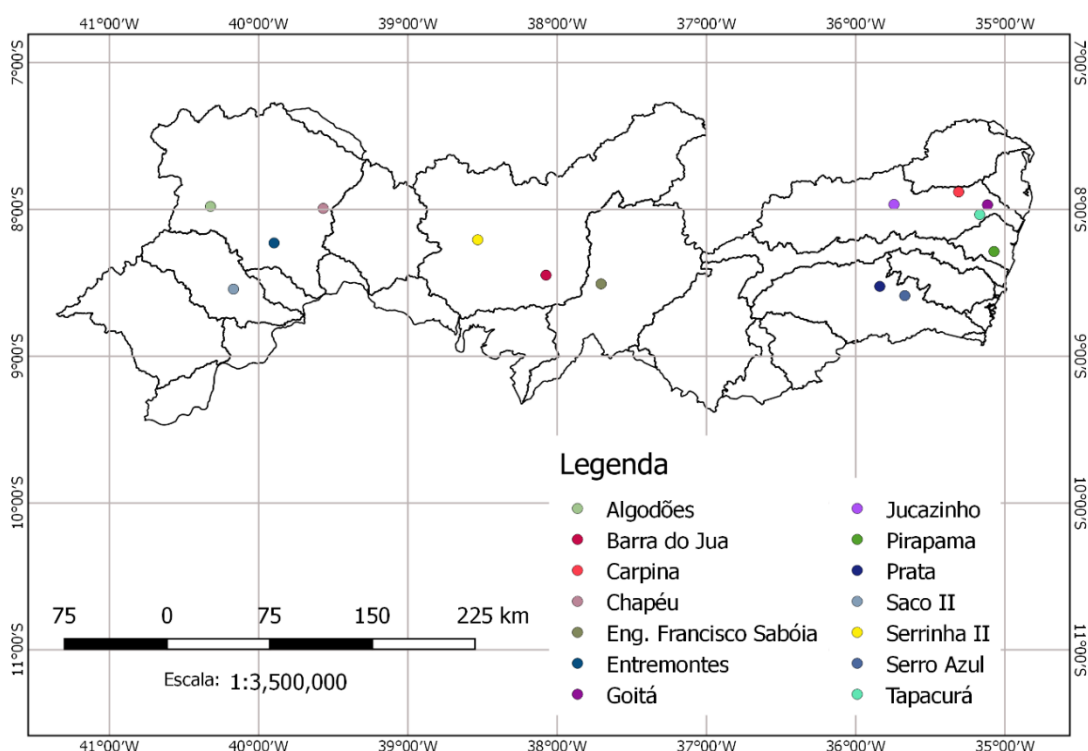


Figura 1 – Mapa de localização das quatorze maiores barragens do estado de Pernambuco quanto à capacidade.

Pernambuco Tridimensional

O Programa Pernambuco Tridimensional (PE3D) constitui uma fonte de dados espaciais capaz de gerar resultado com alta precisão. Sua concepção surgiu da necessidade de gerar bases de apoio às ações de gestão territorial. Iniciado em janeiro de 2014, o programa resultou no perfilamento a laser e recobrimento aerofotogramétrico de todos os 98.149 km² da área do estado de Pernambuco. A partir disso foram produzidas as Ortofotos e Modelos Digitais do Terreno e de Elevação (MDT e MDE) nas escalas de 1:5000 em todo o estado e de 1:1000 em seus 26 principais municípios, com um erro de no máximo 25 cm.

Seus produtos podem ser utilizados para o desenvolvimento de projetos de várias naturezas, como sistemas de abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem, construção de adutoras, linhas de transmissão elétrica, estradas, parques fabris, enfim, todo tipo de estrutura que depende do conhecimento do terreno. Outra

importante linha de aplicação do PE3D tem sido o desenvolvimento de sistemas de alerta de controle de cheias (DANTAS et al., 2014). As ferramentas desenvolvidas possibilitam, atualmente, a geração de cenários prevendo a operação das barragens de controle de cheia na bacia do rio Uma, a mais atingida nos eventos de 2010 e 2011 (CIRILO, 2015). Detalhes sobre o PE3D podem ser obtidos em Cirilo et al. (2014, 2016).

Neste trabalho, os dados de Modelo Digital de Terreno (MDT) obtidos do programa foram utilizados para obtenção das informações de áreas e volumes, de modo a resultar nas curvas cota x área x volume em cada reservatório analisado.

Geração da Curva Cota-Área-Volume

Utilizando o *software* ArcGIS desenvolvido pela empresa norte americana *Envrironmental Systems Research Institute* (ESRI), primeiramente através do MDT foram geradas as curvas de nível para que a área a ser alagada pela barragem pudesse ser delimitada usando o comando *Contour* da ferramenta *Raster Surface*, e então seleciona-se a curva de cota igual ou levemente superior à cota da soleira do sangradouro informada nas fichas técnicas dos reservatórios disponíveis no site da APAC. Transformou-se a curva selecionada em um vetor tipo polígono, através do comando *Features to polygon*, presente nas ferramentas *Features*. Com o polígono gerado foi extraído o recorte do mosaico da bacia do reservatório, através do comando *Extract by mask*, do conjunto de ferramentas *Extraction* em *Spacitial Analyst Tools*. Por fim, utilizando o MDT extraído como entrada, obteve-se os dados de área e volume para cada cota através do comando *Surface Volume* do *3D Analyst*.

RESULTADOS

Os procedimentos para a geração das curvas cota-área-volume foram realizados nos 14 reservatórios em estudo. Dentre eles, cinco apresentaram problemas durante a execução. Nas barragens de Algodões e Saco II a área de inundação dos reservatórios estava limitada por cotas menores que a cota do sangradouro informada na APAC. De acordo com os MDTs do PE3D o reservatório de Algodões tem sua acumulação iniciada na cota 437m alcançando sua capacidade máxima na cota 477m, enquanto no projeto vai da cota 474 à 494m. Saco II pelo PE3D está localizada entre as cotas 390 e 424m e na APAC entre as cotas 413 e 435m. Sendo assim, ambos reservatórios foram descartados da pesquisa.

Os açudes de Pirapama e Prata apontaram inconsistências que inviabilizaram a obtenção de resultados. Tapacura continha volume significativo de água na época do perfilhamento a laser, não representando bem a profundidade imersa. As três barragens também foram descartadas.

Na Tabela 1 são apresentados os dados de projeto do reservatório, a cota do sangradouro, sua capacidade máxima de acordo com a ficha técnica e a capacidade máxima calculado pelo MDT para as barragens restantes. As diferenças, em percentual, entre as capacidades dos reservatórios pelas duas fontes analisadas podem ser encontradas na Tabela 2.

Tabela 1 – Informações sobre os reservatórios do estudo.

AÇUDE	MUNÍCIPIO	COTA DO SANGRADOURO (M)	CAPACIDADE MÁXIMA (M³) PELA FICHA TÉCNICA	CAPACIDADE MÁXIMA (M³) PELO PE3D
Engenheiro Francisco Sabóia	Ibimirim	435,00	504.000.000,00	398.866.006,06
Entremontes	Parnamirim	388,00	339.333.700,00	245.449.037,50
Jucazinho	Surubim	292,00	327.035.818,00	201.907.769,37
Serrinha II	Serra Talhada	395,00	311.080.000,00	205.207.277,87
Serro Azul	Palmares	203,00	303.120.000,00	292.515.068,18
Carpina	Lagoa do Carro	118,00	270.000.000,00	214.579.225,87
Chapéu	Parnamirim	406,00	188.000.000,00	129.494.413,98
Barra do Juá	Floresta	402,00	71.474.000,00	33.550.234,84
Goitá	São Lourenço da Mata	70,00	52.535.576,00	40.290.950,46

Tabela 2 – Porcentagem entre as capacidades máximas da ficha técnica e do PE3D.

AÇUDE	PORCENTAGEM ENTRE OS VOLUMES
Engenheiro Francisco Sabóia	-20,86%
Entremontes	-19,12%
Jucazinho	-38,26%
Serrinha II	-34,03%
Serro Azul	-3,50%
Carpina	-20,53%
Chapéu	-28,85%
Barra do Juá	-53,05%
Goitá	-23,31%

As curvas cota-área e cota-volume obtidas na APAC e com o PE3D de cada reservatório são apresentadas nas Figuras 2 a 18. Para Serro Azul apenas a curva cota-volume é disposta, pois na ficha técnica do reservatório essa é a única informação fornecida, logo não há como fazer a comparação das áreas.

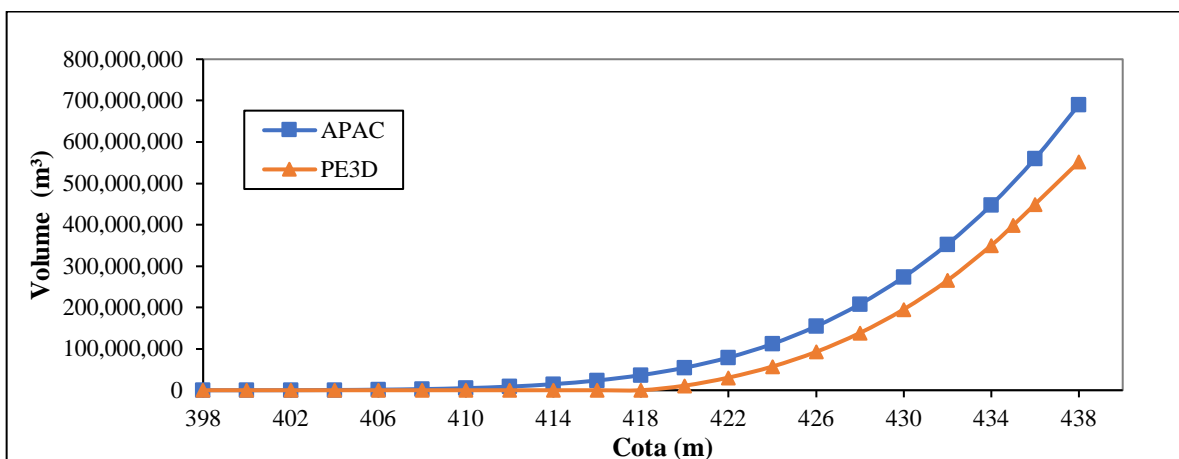


Figura 2 – Curvas Cota-Volume do reservatório Engenheiro Francisco Saboia obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

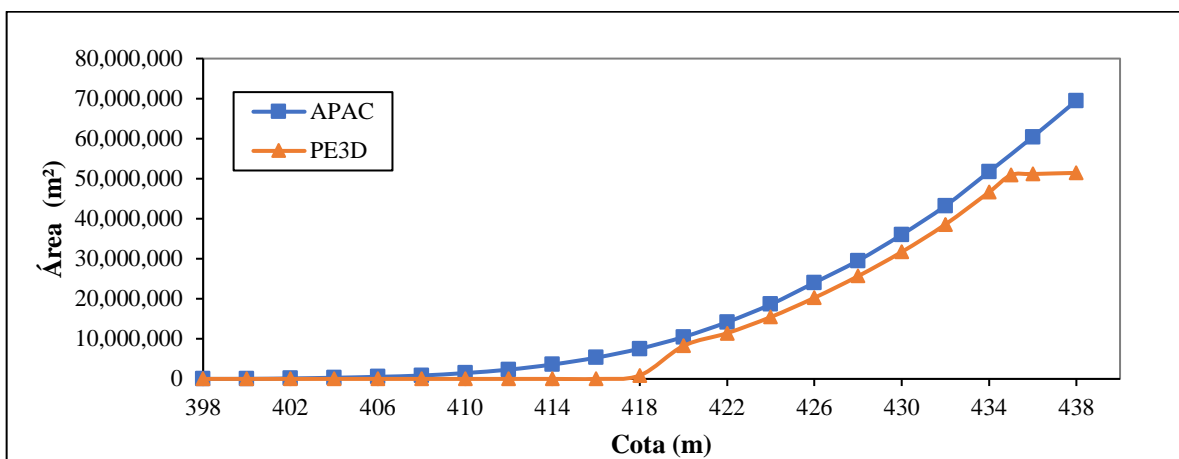


Figura 3 – Curvas Cota-Área do reservatório Engenheiro Francisco Saboia obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

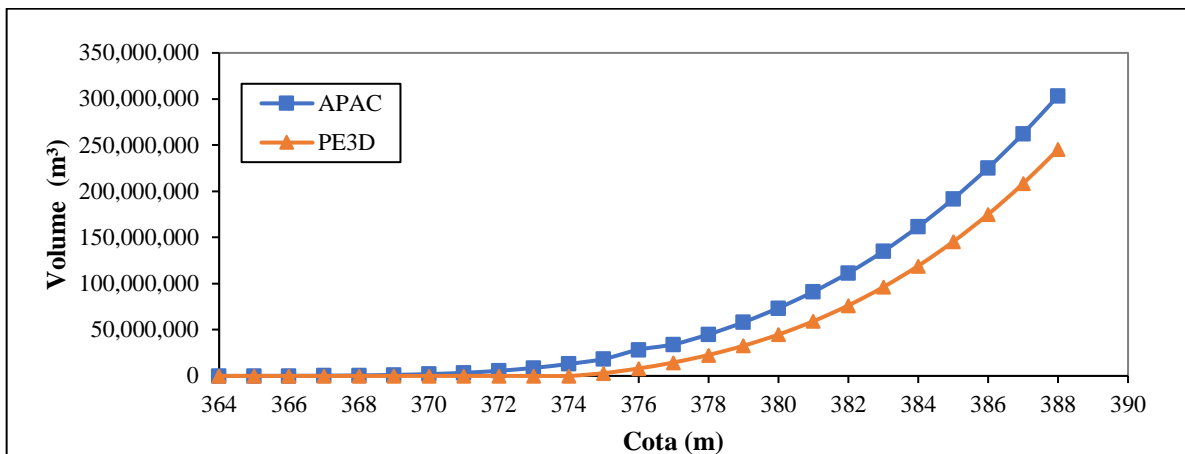


Figura 4 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Entremontes obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

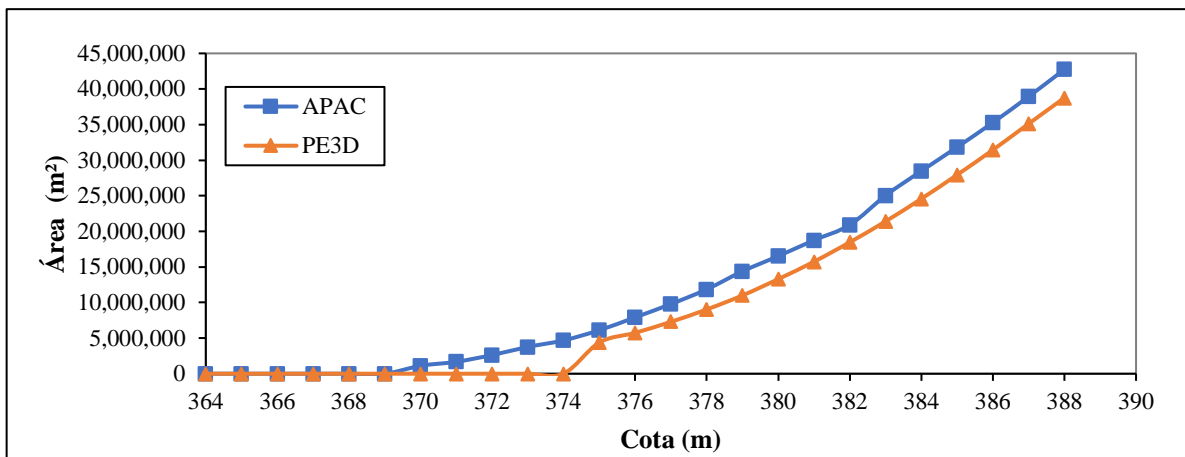


Figura 5 – Curvas Cota-Área do reservatório de Entremontes obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

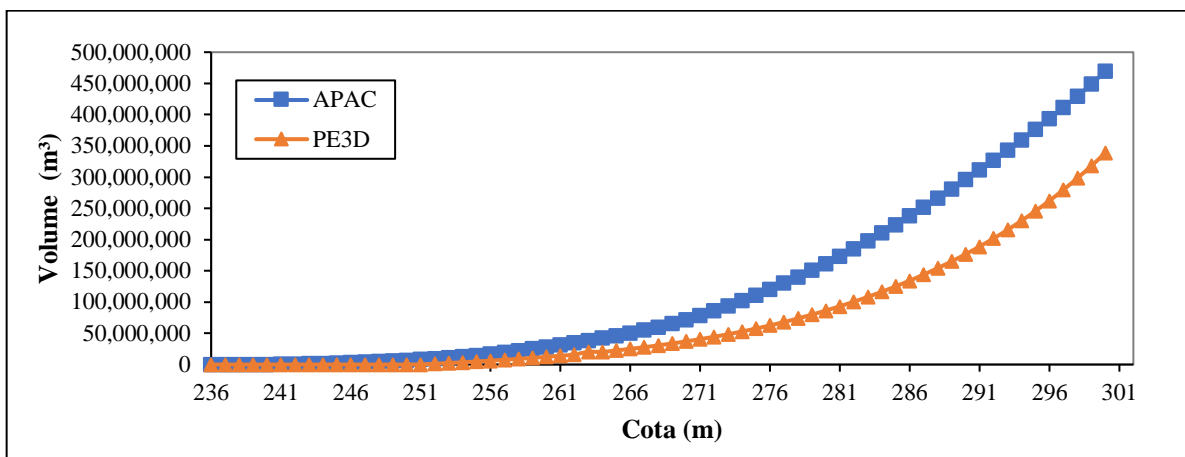


Figura 6 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Jucazinho obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

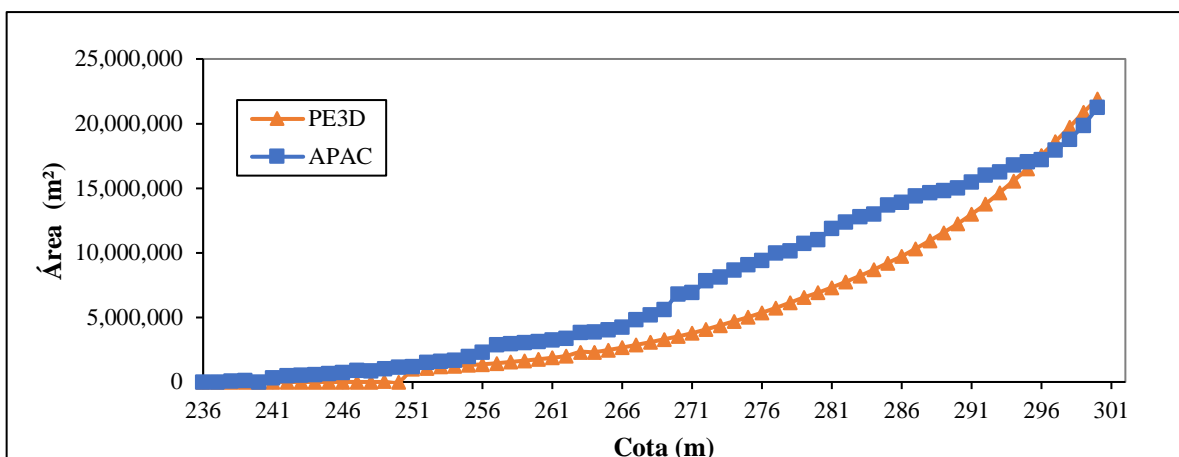


Figura 7 – Curvas Cota-Área do reservatório de Jucazinho obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

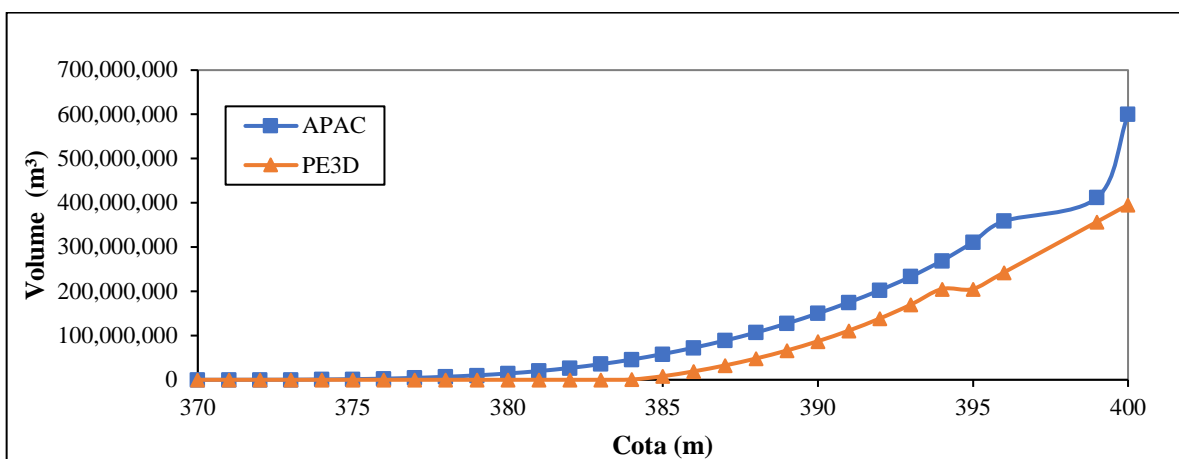


Figura 8 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Serrinha II obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

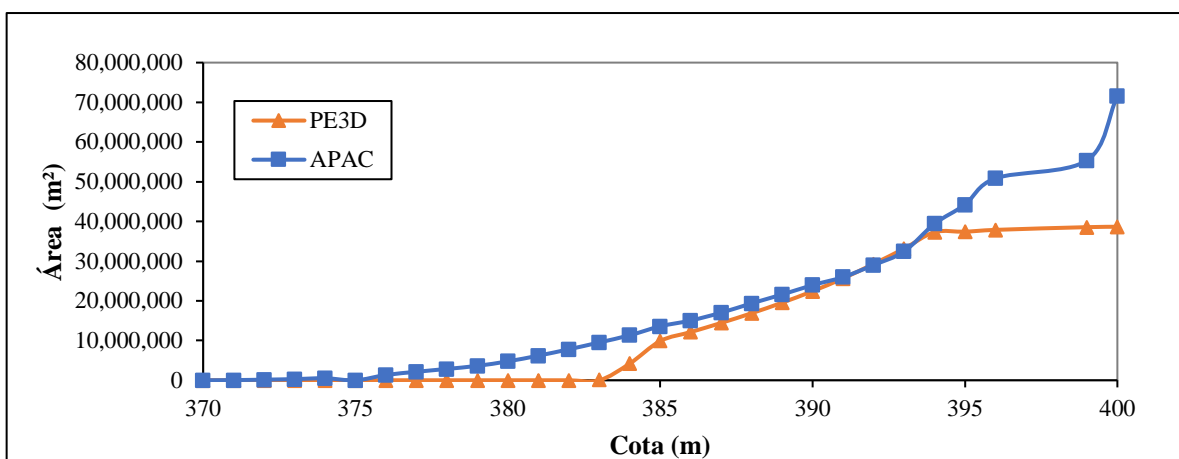


Figura 9 – Curvas Cota-Área do reservatório de Serrinha II obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

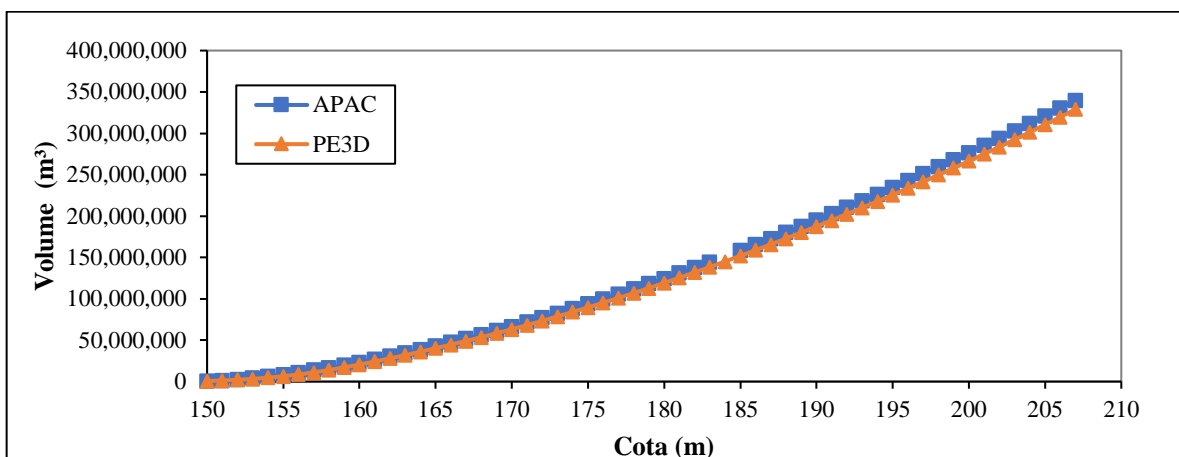


Figura 10 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Serro Azul obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

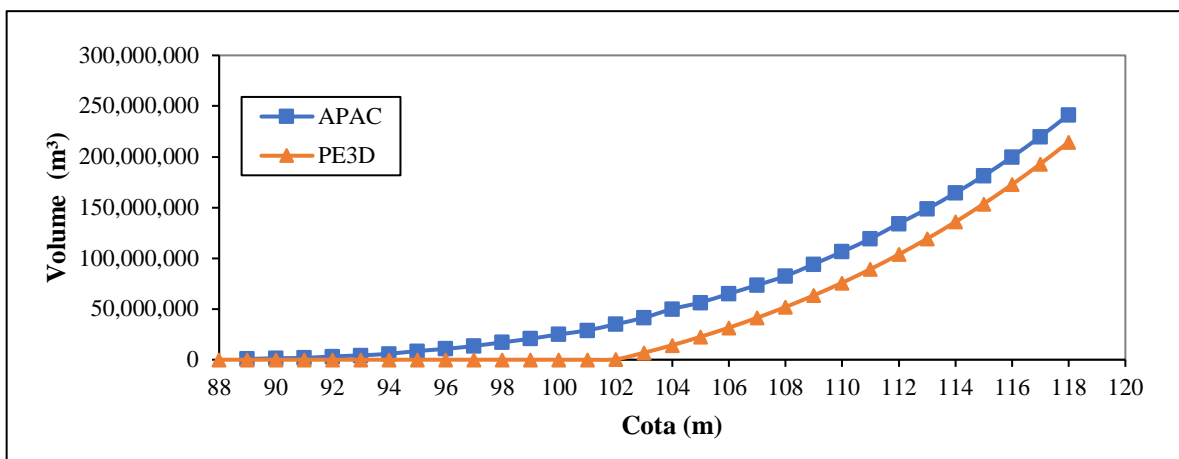


Figura 11 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Carpina obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

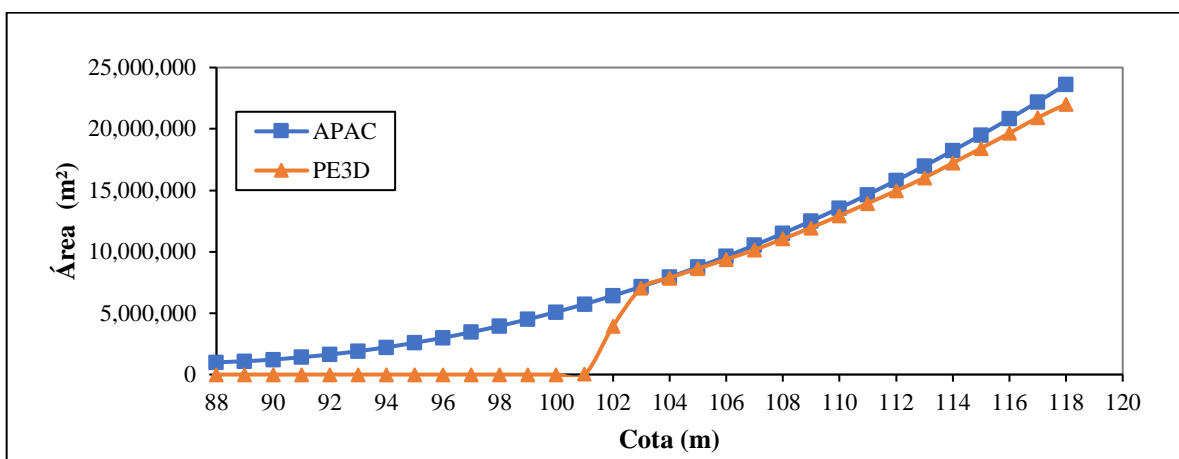


Figura 12 – Curvas Cota-Área do reservatório de Carpina obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

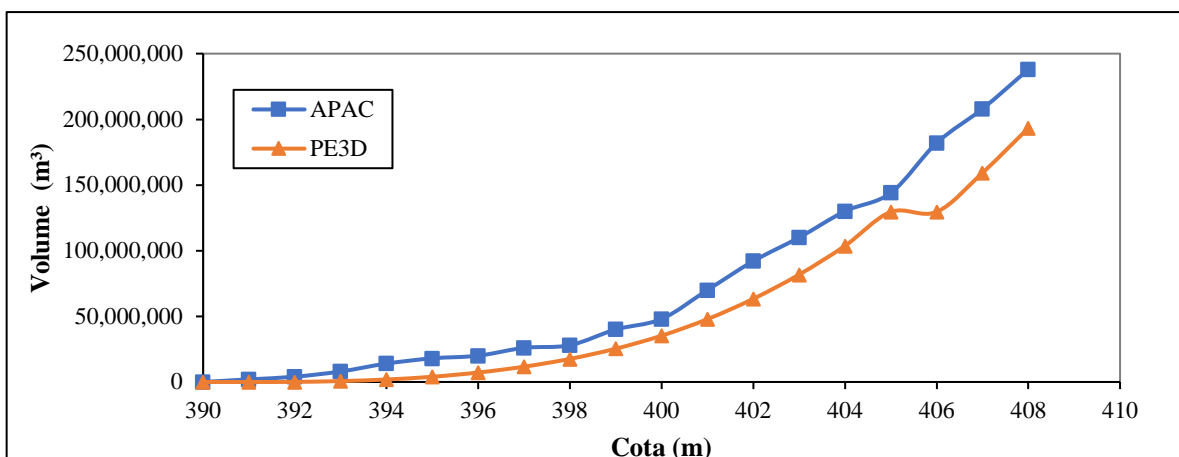


Figura 13 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Chapéu obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

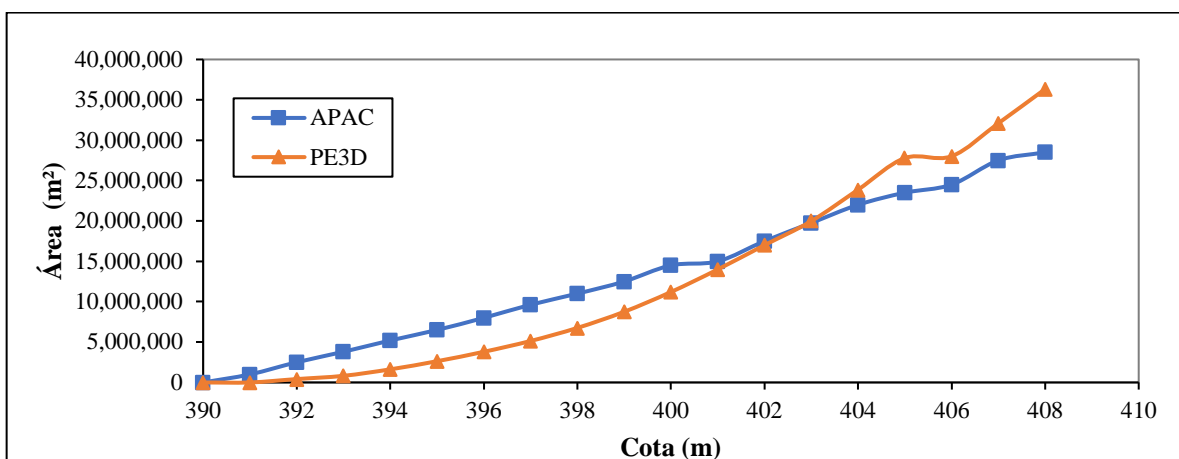


Figura 14 – Curvas Cota-Área do reservatório de Chapéu obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

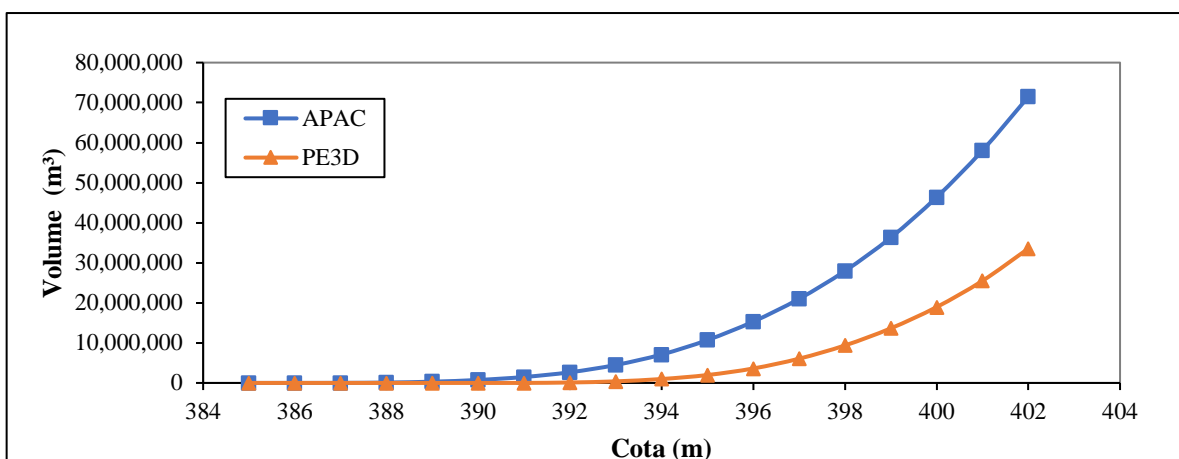


Figura 15 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Barra do Juá obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

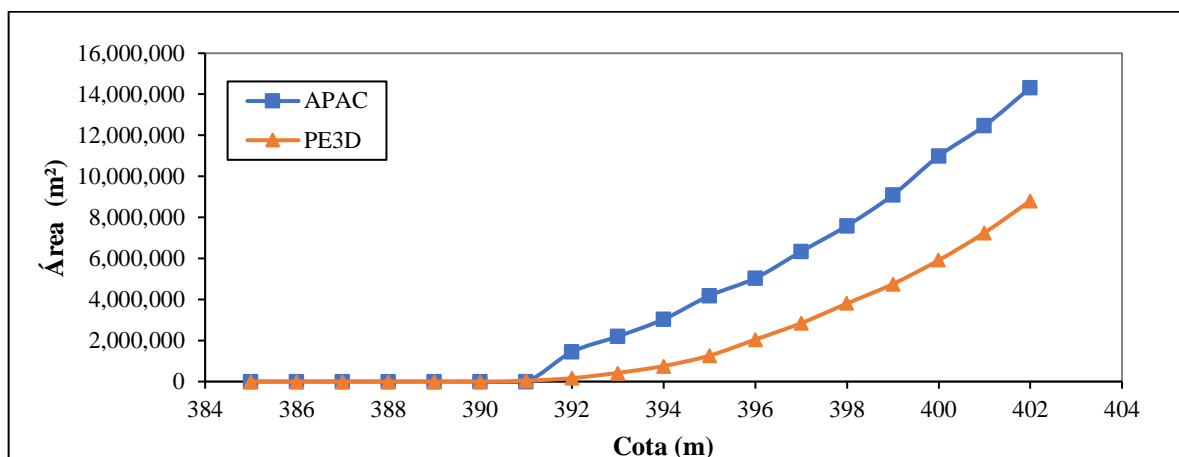


Figura 16 – Curvas Cota-Área do reservatório de Barra do Juá obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

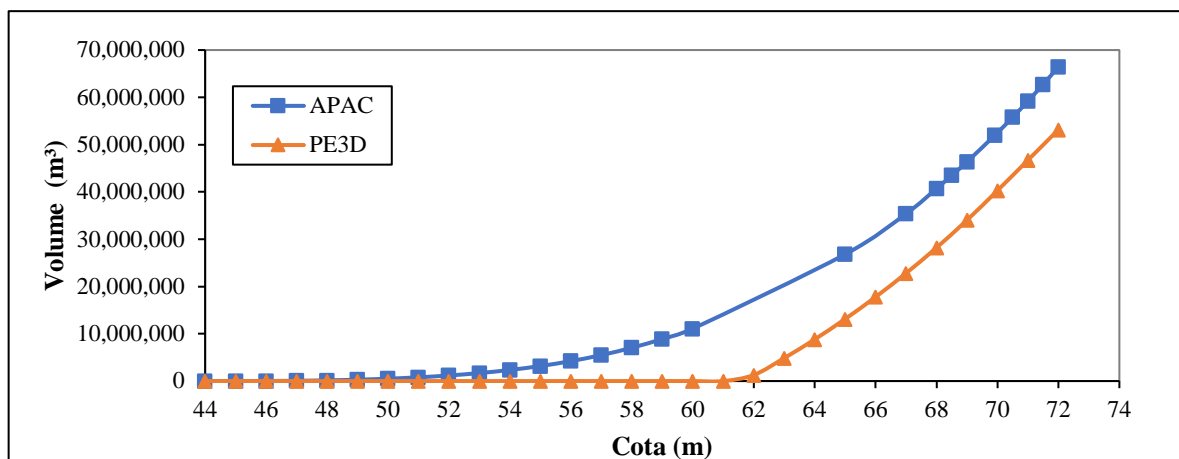


Figura 17 – Curvas Cota-Volume do reservatório de Goitá obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

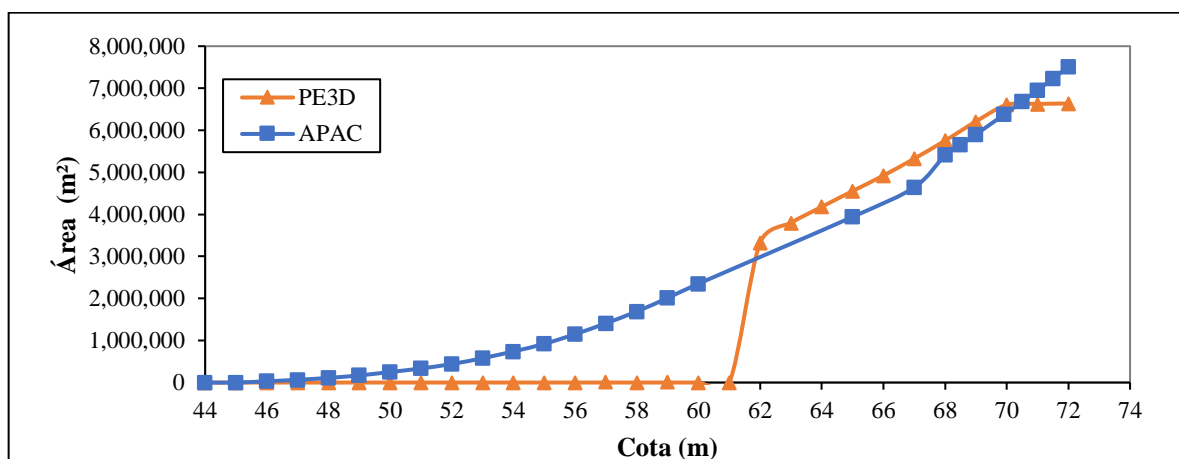


Figura 18 – Curvas Cota-Área do reservatório de Goitá obtidas na APAC e utilizando o PE3D.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se pela Tabela 2 a pequena diferença entre as capacidades de armazenamento da ficha técnica e do MDT de Serro Azul, apenas 3,50% ou um pouco mais de 10 milhões de metros cúbicos, o que pode ser caracterizado como margem de erro, principalmente ao se analisar que o projeto do reservatório teve base nos dados disponibilizados pelo PE3D. A Figura 10, curva cota-volume de Serro Azul, confirma o comportamento semelhante das duas fontes de dados ao longo das mesmas cotas.

Em relação as demais barragens, houve uma diminuição do volume calculado pelo MDT, com destaque para Barra do Juá com redução de 53,05%, Jucazinho e Serrinha II com redução de 38,26%, e 34,03%, respectivamente. Barra do Juá, sendo a mais antiga entre as três, reflete os efeitos do tempo e da falta de monitoramento da deposição de sedimentos em reservatórios

Carpina e Serrinha II, ambos tiveram um aumento de 13m e Goitá e Jucazinho, que apresentaram uma elevação de 15m em sua menor cota da área alagada. A compactação desses sedimentos na área do reservatório é uns dos principais responsáveis pelo assoreamento.

No geral, as divergências dos resultados podem ser causadas por possíveis assoreamentos nas regiões da barragem ou mesmo a deficiências do levantamento topográfico durante o projeto. Em Jucazinho deve-se ainda levar em consideração as possíveis mudanças ocorridas das indicações existentes no projeto durante sua execução.

CONCLUSÕES

Foi possível determinar as curvas cota-área-volume para os vários intervalos de nove dos quatorze reservatórios inicialmente propostos. Com a comparação entre as informações da APAC e as obtidas, foi possível analisar as volume das perdas de capacidade sofridas pelos reservatórios.

A diferenças nas capacidades em alguns reservatórios atingiram valores altos, como Barra do Juá que teve uma redução de 53,03% em seu volume ao longo dos anos. Jucazinho apresentou uma diferença no volume armazenado de um pouco mais que 125 milhões de metros cúbicos, valor bastante considerável, demonstrando a necessidade de estudos mais detalhados apontando e analisando todas as possíveis causas dessa diferença.

Considerando a disposição semelhante entre as curvas CAV, os resultados foram coerentes quando se pondera os efeitos do assoreamento, pois grande parte dos reservatórios estudados datam de construção das décadas de 70, 80 e 90, possuindo um longo período para sofrer com as ações dos sedimentos transportados ao longo do curso dos rios. Os resultados atuais podem, assim, servir de base para planejamento operacional mais realista no presente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br>>. Acesso em: Set.2018.
2. CIRILO, J. A.; ALVES, F.H.B.; SILVA, L. A. C.; CAMPOS, J. H. A. L. Suporte de Informações Georreferenciadas de Alta Resolução para Implantação de Infraestrutura e Planejamento Territorial. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, p. 755-763, 2014.
3. CIRILO, J.A.; ALVES, F.H.B.; SILVA, B.M.; CAMPOS, P.H.A.L. PERNAMBUCO TRIDIMENSIONAL: Base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. In: São Paulo. Anais, 2015.
4. CIRILO, J. A.; ALVES, F.H.B.; RIBEIRO NETO, A. (2016). Utilização de mapeamento digital do terreno para prevenção de desastres e planejamento do uso do solo. In: Conferência Internacional do INCT para Mudanças Climáticas, São Paulo, SP.
5. DANTAS, C.E.O; CIRILO, J.A.; RIBEIRO NETO, A.; SILVA, E.R. Caracterização da formação de Cheias na Bacia do Rio Una – Pernambuco: Análise Estatística Regional. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 4, p. 239:248, 2014.
6. ESRI. ArcGIS. Disponível em: <<https://www.esri.com/en-us/arcgis/about-arcgis/overview>>. Acesso em: Out. 2018.
7. FONTES, A. S.; ZUCCHI, M. DO R.; MEDEIROS, Y. D. P.; AZEVEDO, A. E. G. de. Avaliação dos fatores intervenientes no processo de salinização em reservatórios superficiais do semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, p. 708–721, 2015.
8. NASCIMENTO, V. F. ; RIBEIRO NETO, A. . *Characterization of reservoirs for water supply in Northeast Brazil using high resolution remote sensing*. Revista Brasileira De Recursos Hídricos, v. 22, n. e50, 2017.
9. PERNAMBUCO. Pernambuco Tridimensional (PE3D). Disponível em: <<http://www.pe3d.pe.gov.br/>>. Acesso em: Out. 2018.

10. ROCHA, J.C.S.; ASFORA, M. C.; CORREIA, C. O. Sistema de informações sobre recursos hídricos de Sergipe: estágio atual. Anais: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. Aracaju, Sergipe. 2002.
11. SILVA, E. R. Modelagem Integrada para Controle de Cheias, Previsão e Alerta de Inundações: Estudo de Caso da Bacia do Rio Una em Pernambuco. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 145 p., 2015.