



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**VALIDAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO APLICADOS A
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO EM RIO NEGRO – MS**

Álefe de Oliveira Cáceres

CAMPO GRANDE – MS
DEZEMBRO DE 2024



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**VALIDAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO APLICADOS A
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO EM RIO NEGRO – MS**

Álefe de Oliveira Cáceres

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido
como parte da avaliação do Curso de Graduação
em Engenharia Ambiental da Universidade Federal
de Mato Grosso do Sul.

Aprovado em 05/12/2024

Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves
Orientador
FAENG/UFMS

CAMPO GRANDE – MS
DEZEMBRO DE 2024



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



**VALIDAÇÃO DE MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO APLICADOS A
SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA:
ESTUDO DE CASO EM RIO NEGRO – MS**

Álefe de Oliveira Cáceres

Trabalho de Conclusão de Curso desenvolvido
como parte da avaliação do Curso de Graduação
em Engenharia Ambiental da Universidade Federal
de Mato Grosso do Sul.

Aprovado em 05/12/2024

Membros da Banca

Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves
Orientador
FAENG/UFMS

Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho
Membro
FAENG/UFMS

Eng. Antônio de Assis de Souza Sobrinho
Membro
Engenheiro Sanitarista e Ambiental

CAMPO GRANDE – MS
DEZEMBRO DE 2024

CÁCERES, Álefe de Oliveira

Validação de modelos digitais de elevação aplicados a sistemas de abastecimento de água: estudo de caso em Rio Negro - MS. Álefe de Oliveira Cáceres - Campo Grande, MS, 2024.

22 f.

Orientador: Prof. Dr. Fábio Veríssimo Gonçalves

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia – Curso de Graduação em Engenharia Ambiental, 2024.

RESUMO

A concepção de um sistema de abastecimento eficiente tem como base dados topográficos de qualidade, que geram impacto tanto nos custos de implantação quanto de operação e manutenção. Tradicionalmente, a obtenção desses dados envolve levantamentos em campo, gerando despesas significativas. Assim, o presente estudo visou avaliar a viabilidade de substituir os métodos de campo pela utilização de modelos digitais de terreno (MDEs) gratuitos, tendo como área de estudo o Município de Rio Negro - MS. Em primeiro momento, foram realizadas análises estatísticas para comparar os modelos SRTM, Copernicus e FABDEM, definindo qual apresentou menor diferença em relação às curvas de nível de referência, fornecidas pela Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (SANESUL). O MDE mais acurado foi aplicado ao modelo hidráulico da rede de abastecimento de água da área de estudo, também fornecido pela SANESUL, de forma a comparar as pressões manométricas da rede original e alterada. O MDE de menor Erro Quadrático Médio (RMSE) foi o FABDEM (11,22 m), seguido pelo Copernicus (11,24 m) e SRTM (11,47 m), podendo ainda concluir elevado erro médio em razão de inconsistências nas curvas de nível de referência. Aplicado ao modelo hidráulico, o FABDEM apresentou variação predominante entre -2,00 e 3,00 m.c.a nos nós, apresentando diferenças não significativas tendo em vista a pressão de operação do sistema. Por fim, pode-se concluir que o uso de modelos digitais de terreno é viável para projetos de abastecimento de água, embora seja necessária cautela do projetista na etapa de verificação dos resultados obtidos.

Palavras-chave: FABDEM, validação, modelos digitais de elevação, topografia, sistemas de abastecimento de água.

ABSTRACT

The design of an efficient water supply system relies on high-quality topographic data, which significantly impacts installation, operation, and maintenance costs. Traditionally, obtaining such data involves field surveys, resulting in considerable expenses. This study aimed to assess the feasibility of replacing field methods with free digital terrain models (DTMs), using the municipality of Rio Negro - MS as the study area. Initially, statistical analyses were performed to compare the SRTM, Copernicus, and FABDEM models, identifying which one presented the smallest differences compared to reference contour lines provided by the state's sanitation company (Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul - SANESUL). The most accurate DTM was applied to the hydraulic model of the study area's water distribution network, also provided by Sanesul, to compare the pressure heads of the original and modified networks. The DTM with the lowest root mean square error (RMSE) was FABDEM (11,22 m), followed by Copernicus (11,24 m) and SRTM (11,47 m), with results also indicating a high average error due to possible inconsistencies in the reference contour lines. Applied to the hydraulic model, FABDEM predominantly presented variations between -2.00 and 3.00 mH₂O at the nodes, showing no significant differences considering the system's operating pressure. In conclusion, the use of digital terrain models is feasible for water supply projects, although designers must exercise caution during the verification of results.

Keywords: FABDEM, validation, digital elevation model, topography, water supply systems.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Escolha do modelo digital de elevação	11
3.2. Aplicação no modelo hidráulico	12
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4.1. Escolha do modelo digital de elevação	13
4.1.1. Comparação entre modelos	13
4.1.2. Validação com curvas de nível	14
4.2. Aplicação no modelo hidráulico	16
5. CONCLUSÃO	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	20

1. INTRODUÇÃO

Como em todo processo de modelagem, a concepção de um sistema de abastecimento de água tem início no diagnóstico do projeto e coleta de dados iniciais, traduzindo-se em etapa crucial para o bom funcionamento do sistema. Atualmente, um dos desafios é conciliar atendimento satisfatório e custos aceitáveis, tornando a relação gasto-produção o principal fator para avaliar a viabilidade de um projeto.

Tais custos se dividem em *capital expenditures* (CAPEX - custos de implantação e infraestrutura necessária) e *operating expenditures* (OPEX - custos distribuídos em operação e manutenção), podendo ainda ser divididos como gastos diretos e indiretos. Os últimos, indiretos, são caracterizados como gastos com projetos de engenharia e serviços de consultoria, entre outros (GOMES, 2014).

Nesse contexto, a obtenção de dados topográficos para os projetos de saneamento é uma metodologia custosa em termos monetários e de mão de obra, sendo geralmente realizada em campo com ferramentas de alto custo, como *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) ou mesmo Estação Total. Ainda, segundo Heller & Pádua (2010), a topografia da área de projeto tem influência direta em diversos aspectos, tais como consumo de energia ou periodicidade de manutenções, fatores intrinsecamente ligados à eficiência energética de um sistema, caracterizando assim impacto em ambos CAPEX e OPEX.

Assim, o presente estudo tem o objetivo de avaliar a viabilidade do uso de modelos digitais de elevação em substituição a topografia convencional, verificando seus impactos em um projeto existente, de forma a verificar possíveis espaços para redução de custos em projetos de engenharia.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Modelos Digitais de Elevação (MDE) são representações da topografia, bidimensionais ou tridimensionais, com a finalidade de modelar e analisar as variações altimétricas de uma área, podendo ser apresentados com ou sem interferência de objetos que cobrem a superfície topográfica (PARANHOS *et al*, 2020). Diferentes MDEs possuem suas particularidades, como resolução espacial, precisão altimétrica, método de captura e interpoladores utilizados em sua geração. Tais características trazem aos modelos diferentes erros intrínsecos, que devem ser levados em consideração na hora de definir seu uso (SILVEIRA & SILVEIRA, 2015).

Estudos como Ghannandi *et al* (2023), Meadows *et al* (2024), Mukherjee *et al* (2013) e Rossano *et al* (2017) destacam as diferenças na precisão entre modelos, com os MDEs Copernicus e SRTM geralmente mostrando melhores resultados, especialmente em áreas de relevo mais moderado. Não obstante, boa parte dos modelos apresenta dificuldades para penetração em vegetações densas e edificações, gerando também limitações em áreas urbanas ou florestais mais densas. Neste quesito, observa-se particularidade do FABDEM, gerado a partir da aplicação de algoritmo treinado para a remoção de florestas densas e áreas urbanas ao MDE Copernicus (HAWKER *et al*, 2022). Tal fato acarreta em esperada maior acurácia, que pode ser também observada nos estudos de Bhardwaj *et al* (2022), Meadows *et al* (2024) e Osama *et al* (2023).

Encontram-se estudos que tratam sobre diversas aplicações para os modelos digitais de terreno relacionadas a estudos hidráulicos e hidrológicos (ZAIDI *et al*, 2018). Manfreda *et al* (2011), Nandam & Patel (2024), Jiang *et al* (2022), Xu *et al* (2021) e Zandsalimi *et al* (2024) discorrem e avaliam a aplicação de diversos modelos digitais de elevação para identificação de áreas urbanas passíveis de alagamento, concluindo a plausibilidade do uso a depender da resolução espacial daqueles. Concomitantemente, Ferreira & Cabral (2021), Roostae & Deng (2020), Roostae & Deng (2023), Tesema (2021) e Zhang *et al* (2014) tratam sobre o uso de diferentes MDEs globais para obtenção das características físicas de bacias hidrográficas e corpos hídricos, apontando também resultados satisfatórios em diferentes situações.

Portanto os MDEs se tornam dados com capacidade de contribuir tanto para gestão de recursos hídricos quanto para a gestão de desastres em municípios. No entanto, são escassos estudos referentes ao impacto de sua aplicação em projetos de saneamento básico (esgotamento sanitário, drenagem urbana e abastecimento de água),

fato que evidencia a necessidade de se ampliarem as pesquisas nesse campo, visando explorar seu potencial para otimizar o planejamento, a operação e a manutenção de tais infraestruturas essenciais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A análise e extração de dados a partir dos modelos de elevação foi realizada utilizando os softwares QGis versão 3.38.3 ‘Grenoble’ (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024), bem como Excel (MICROSOFT, 2015) para tratamento estatístico e Epanet (EPA, 2007) para alterações e simulação da rede de abastecimento.

3.1. Escolha do modelo digital de elevação

Inicialmente, visou-se comparar modelos digitais de elevação e determinar aquele que oferece a maior precisão altimétrica, para aplicação no modelo hidráulico, entre os escolhidos. Considerando os estudos de Meadows *et al* (2024), Rossano *et al* (2017), Mukherjee *et al* (2013) e Ghannandi *et al* (2023), e ainda disponibilidade gratuita dos dados, foram definidos para comparação o *Shuttle Radar Topography Mission - SRTM* corrigido pelo programa Brasil em Relevo (USGS, 2014; MIRANDA *et al*, 2013), Copernicus (COPERNICUS, 2024) e *Forests and buildings removed Copernicus DEM - FABDEM* (HAWKER *et al*, 2022).

As curvas de nível foram obtidas junto à Empresa de Saneamento de Mato Grosso do Sul (Sanesul), fornecendo a base de referência necessária para as análises. Os modelos selecionados foram recortados para cobrir exclusivamente a área de estudo, e reprojetados para o sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000, no fuso 21 Sul da projeção Universal Transversa de Mercator, garantindo a consistência dos dados geoespaciais.

Para a análise comparativa foram gerados pontos de amostragem ao longo das curvas de nível, e as respectivas altitudes foram extraídas a partir dos MDEs selecionados. Em seguida, calculou-se através das Equações 1 e 2 o Erro Médio (ME) e o Erro Médio Quadrático (RMSE), respectivamente, bem como o R² entre as altitudes fornecidas pelos MDEs e as curvas de nível de referência, com o objetivo de quantificar a acurácia e a variação de cada modelo em relação à topografia conhecida.

$$ME = n^{-1} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i) \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{n^{-1} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (2)$$

Onde:

O_i : Valor observado na amostra i ;

P_i : Valor previsto na amostra i ;

n : Número de amostras;

Com base nestes coeficientes estatísticos e na dispersão de dados, identificou-se o MDE que apresentou os menores valores de RMSE, o que indicou a melhor correspondência entre o

modelo digital e os dados altimétricos reais fornecidos. Este foi então selecionado para aplicação ao modelo hidráulico da rede de abastecimento.

3.2. Aplicação no modelo hidráulico

A aplicação na rede de abastecimento de água baseou-se no modelo hidráulico fornecido pela SANESUL, ilustrado pela Figura 1, que inicialmente foi simulado com suas características originais, isto é, com as altitudes originais dos nós. Nestas condições, a pressão resultante em cada junção de rede foi exportada para uma planilha no Excel para posterior análise.

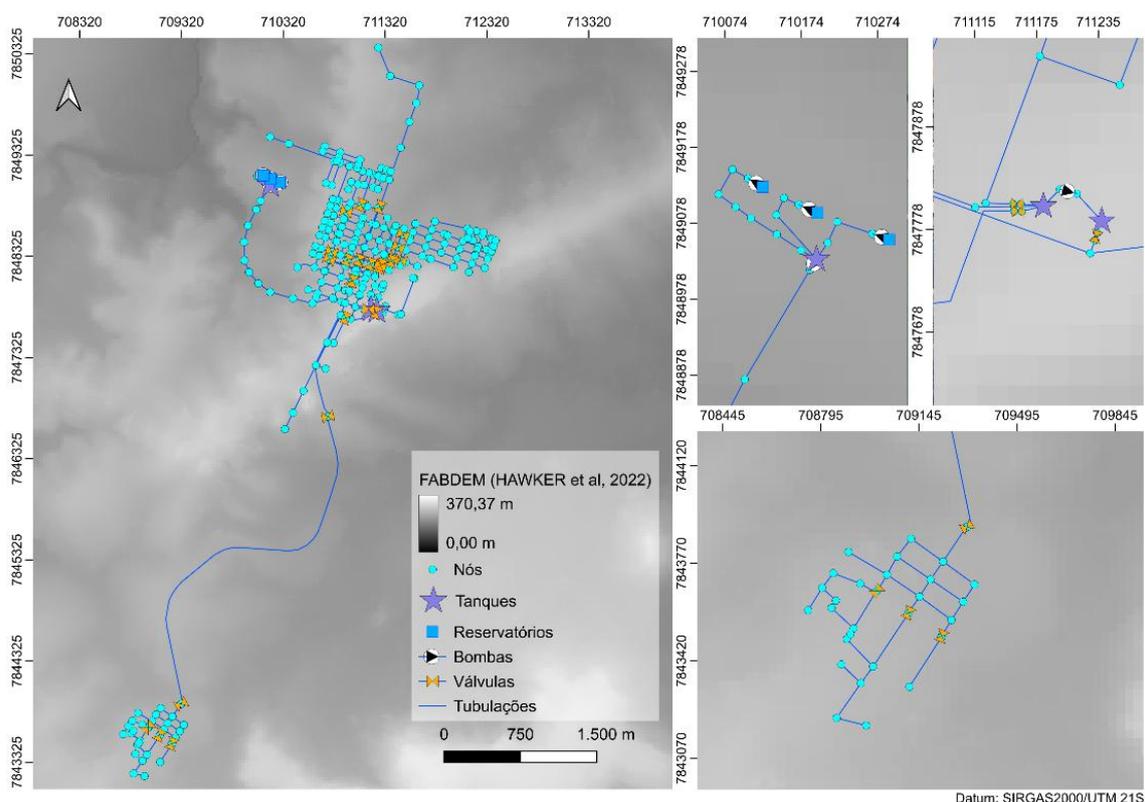


Figura 1: Situação do modelo hidráulico do sistema de abastecimento de água de Rio Negro - MS.

Fonte dos vetores: adaptado do modelo hidráulico fornecido por SANESUL (2024).

Em sequência, as altitudes dos elementos críticos da rede, incluindo nós, reservatórios e tanques, foram atualizadas com apoio de algoritmos do QGIS e manipulação no Excel, com os valores ajustados a partir do MDE selecionado na etapa anterior. Após essa atualização, a rede foi novamente simulada, e as novas pressões resultantes em cada nó foram exportadas, permitindo a comparação entre os resultados.

Por fim, foram calculados os erros quadráticos nos nós e observada a dispersão destes, com o objetivo de identificar e analisar as regiões da rede onde as diferenças entre os dois modelos foram mais significativas. Essa análise foi fundamental para discutir o impacto da variação altimétrica no comportamento hidráulico da rede, destacando os locais que apresentam maior necessidade de atenção na elaboração de um modelo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Escolha do modelo digital de elevação

4.1.1. Comparação entre modelos

Inicialmente, considerando os MDEs selecionados para a comparação, foi realizada uma análise comparativa visual com o objetivo de identificar o impacto de suas particularidades na apresentação dos dados. Para tal, a Figura 2 representa lado a lado os três modelos digitais de elevação estudados, bem como imagem Airbus obtida através do Google Earth Pro.

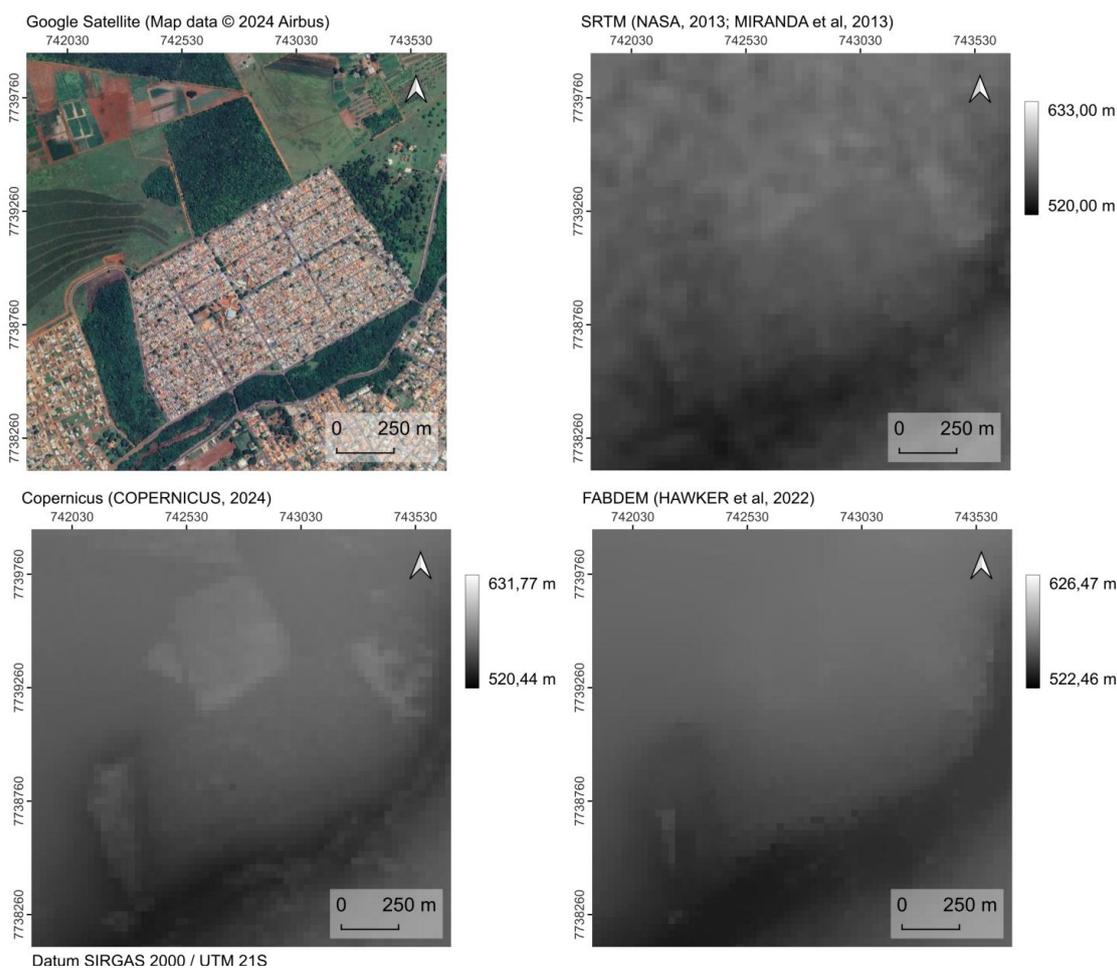


Figura 2: Comparação visual entre os MDEs na região de Campo Grande – MS.

De início se constata limitação evidente no SRTM quando comparado aos outros modelos estudados, observando o intervalo dos dados altimétricos obtidos. Neste, a altimetria é representada exclusivamente em valores inteiros, em contrapartida aos valores decimais encontrados no Copernicus e FABDEM. Tal aspecto reduz a confiabilidade dos dados, principalmente em estudos que demandam detalhamento altimétrico mais acurado.

Outro ponto observado foi a aparência menos uniforme e mais dispersa dos dados do SRTM, quando comparado ao Copernicus. Esse comportamento pode ser atribuído à idade do modelo em questão, cujos dados foram coletados em uma época em que a cobertura da

superfície terrestre possivelmente contava com maior presença de vegetação dispersa e menor ação antrópica. Em contraste, o MDS Copernicus reflete um cenário possivelmente mais antropizado, o que contribui para uma representação mais homogênea e precisa da superfície topográfica.

Dando foco ao FABDEM em comparação aos demais, a influência do algoritmo de remoção de elementos sobre a superfície empregado em sua geração destacou-se em áreas de vegetação densa, com fácil identificação das diferenças entre este modelo e o Copernicus. Percebe-se uma superfície mais limpa, livre da interferência de florestas e edificações. Esse aspecto torna o FABDEM mais apropriado para aplicações que exigem a modelagem mais acurada do relevo.

Não obstante, foram observadas as correlações entre Copernicus e SRTM, Copernicus e FABDEM e SRTM e FABDEM (Figura 3). Os coeficientes R^2 e RMSE entre os pares estudados indicaram maior semelhança entre os dados Copernicus e SRTM do que entre estes e o FABDEM, podendo tal ocorrência ser explicada novamente pela representação de vegetação e edificações que ocorre nos dois primeiros.

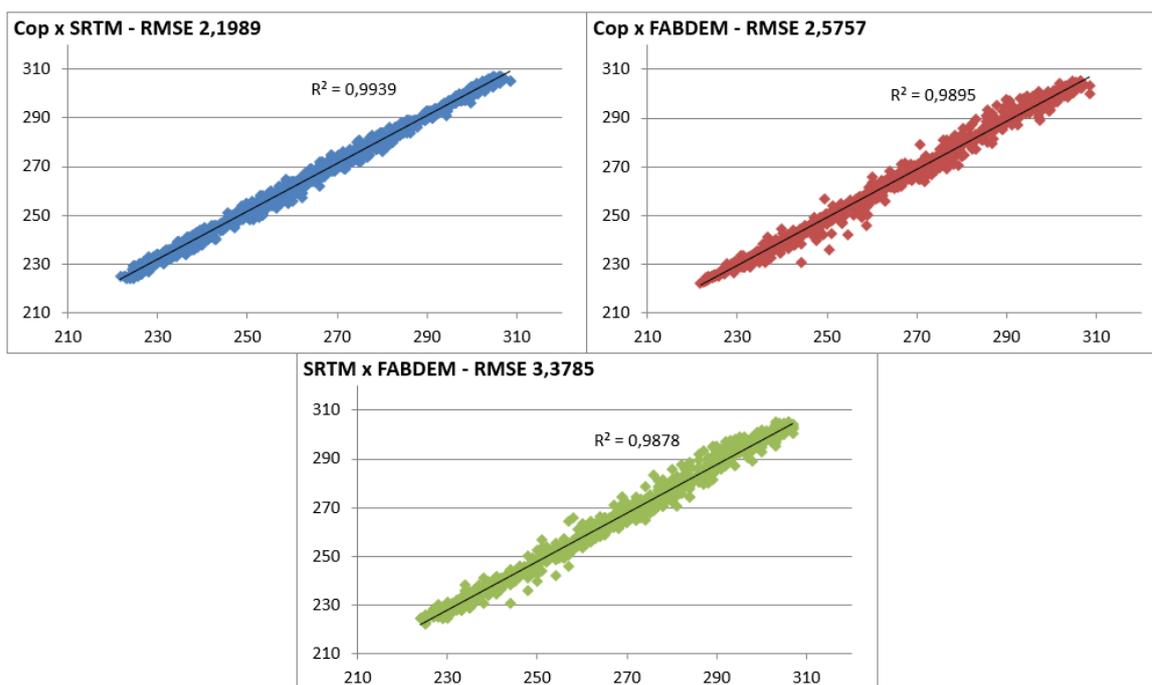


Figura 3: Correlação entre MDEs.

4.1.2. Validação com curvas de nível

A seleção do MDE mais adequado se deu pela validação utilizando as curvas de nível como referência, contando com um total de 1135 pontos amostrais ao longo da área de estudo, conforme ilustra a Figura 4.

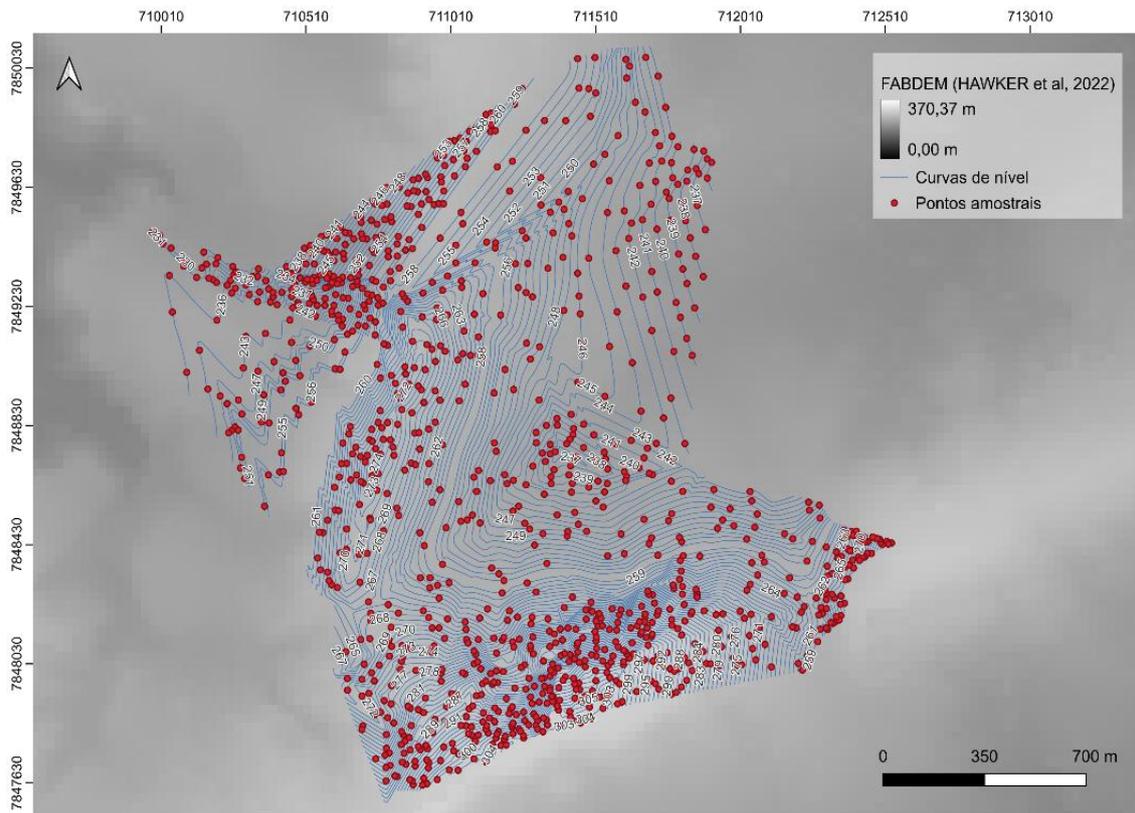


Figura 4: Disposição das amostras na área de estudo.

O cálculo do coeficiente RMSE resultou nos dados dispostos na Tabela 1 a seguir, apontando erro médio menor para o FABDEM, seguido pelo Copernicus, caracterizando o SRTM como menos acurado em relação às curvas de nível.

Tabela 1: Validação dos MDEs com base na altimetria de referência.

Modelo digital de elevação	RMSE	Posição
FABDEM	11,2209	1
Copernicus	11,2376	2
SRTM	11,4669	3

Considerando que os coeficientes RMSE calculados foram relativamente altos para os três modelos de elevação, foi realizada análise de localização dos erros. A Figura 5 apresenta os pontos amostrais em gráfico de bolhas, indicando o tamanho do erro quadrático com o tamanho das bolhas, para os três MDEs estudados, possibilitando identificar a localização de maiores erros na área de estudo.

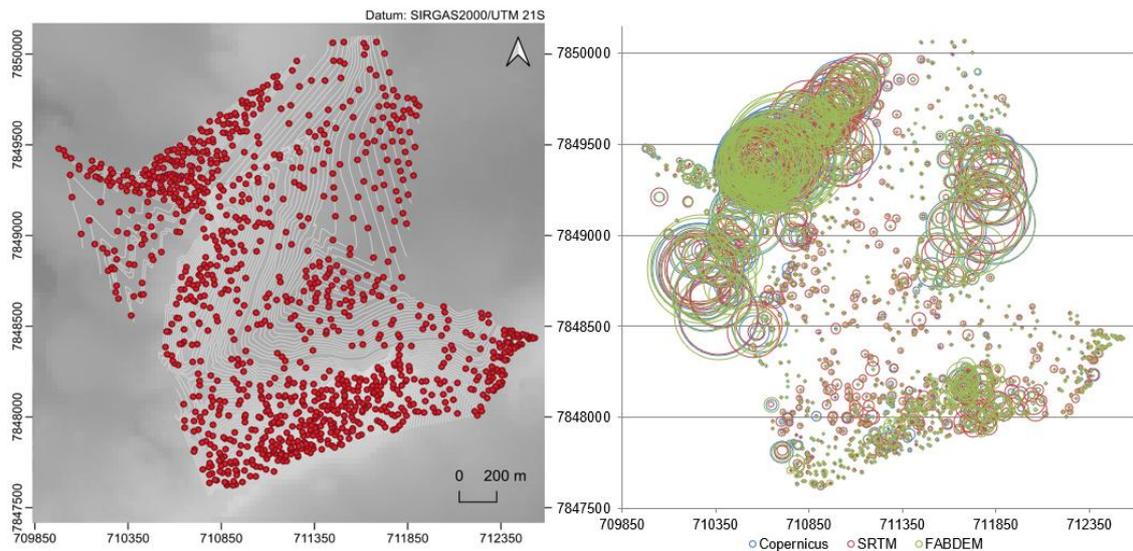


Figura 5: Dispersão de erros quadráticos e localização das amostras.

Como pode-se observar na Figura 5, a sobreposição dos erros quadráticos calculados para as amostras coletadas permitiu identificar grandes erros concentrados em três principais regiões da área de estudo para todos os MDEs estudados.

Isso pode significar que há inconsistências nas curvas de nível usadas como referência, pois estas são dados secundários gerados a partir da interpolação de pontos cotados e, com isso, pode ser que nas áreas de maiores erros não houvessem pontos cotados para contribuir na interpolação, acarretando em perda de acurácia nos cálculos. Não obstante, a dispersão permite confirmar a classificação realizada pelo cálculo do RMSE, observando que nas áreas de menores erros, o SRTM apresenta consistentemente bolhas maiores.

4.2. Aplicação no modelo hidráulico

A simulação da rede em situação original resultou em cargas satisfatórias e baixa amplitude de pressões na rede, ficando a maior parte dos nós no intervalo de 20 a 40 m.c.a. O modelo alterado apresentou pressões similares ao longo da rede, tendo como *outliers* alguns pontos críticos. Novamente uma análise de dispersão permitiu observar regiões onde os erros quadráticos calculados são maiores, permitindo identificar locais que necessitam maior cautela, conforme indicado na Figura 6.

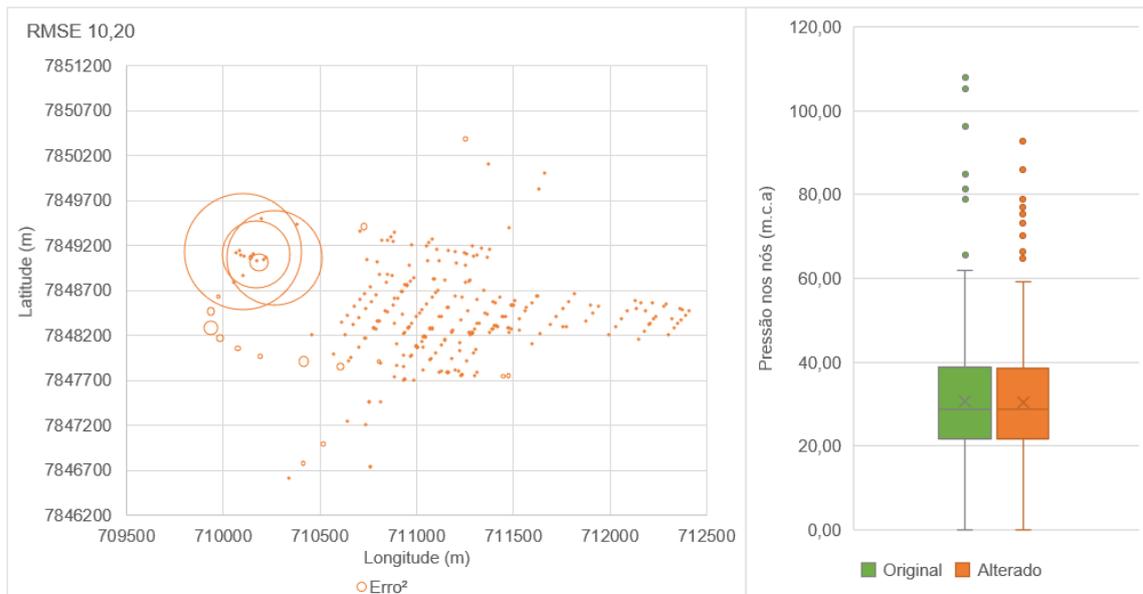


Figura 6: Distribuição de erros e amplitude de cargas nos modelos hidráulicos.

Interpretando o modelo hidráulico, constatou-se que a área de maior divergência entre as duas situações simuladas age como representação do centro de reservação com captações subterrâneas. Tal fato denota que a origem do elevado erro quadrático é a representação de profundidade dos poços tubulares profundos no lugar da elevação dos nós.

No entanto essa porção da rede se situa logo antes de reservatório elevado, que serve para regularizar a carga distribuída à rede de abastecimento, explicando assim a regularização dos erros quadráticos já na linha adutora (que liga o centro de reservação à rede de distribuição).

Excetuando casos específicos que exigem mais atenção, pode-se concluir que as pressões ao longo da rede de distribuição apresentaram variação aceitável entre as duas situações simuladas (predominantemente entre -2,00 e 3,00 m.c.a), como ilustra a Figura 7, caracterizando alterações não significativas em relação à pressão de operação do sistema.

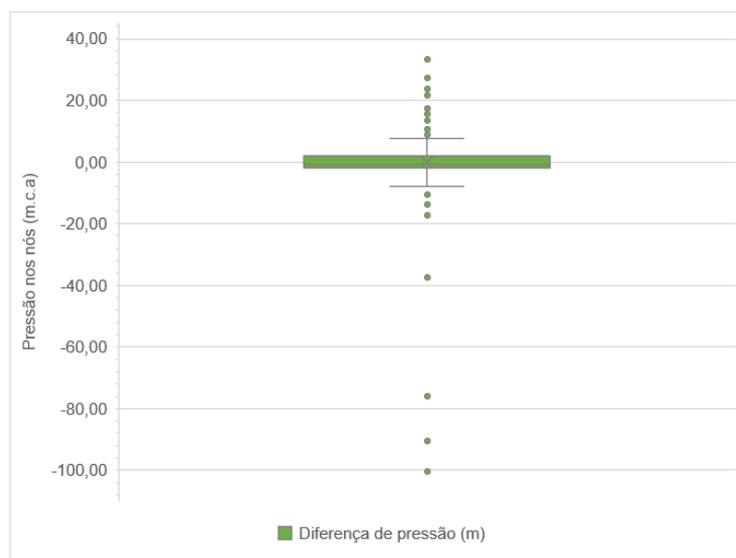


Figura 7: Amplitude da variação de pressões entre os dois modelos.

Por fim, ressalta-se que não se deve levar os resultados obtidos por este estudo em conta quanto trata-se de projetos que dependam diretamente da altitude para veiculação dos fluídos, como é o caso de redes coletoras de esgoto e redes de drenagem urbana, que utilizam da declividade da tubulação combinada à gravidade para o transporte.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que, entre os três modelos digitais de elevação avaliados, o FABDEM apresentou maior acurácia em relação à altimetria apontada pelas curvas de nível. Tal fato pode ser atribuído à metodologia aplicada na sua geração e tal característica é um ponto relevante visto que um MDE mais fiel à realidade topográfica é essencial para diversas aplicações, como é o caso da elaboração de projetos de infraestrutura e saneamento.

No modelo hidráulico da rede de abastecimento do Município de Rio Negro, o modelo digital de elevação selecionado gerou, em sua maioria, variações de pressão aceitáveis, considerando o regime de operação da rede em questão. Tal fato aponta que, com verificações mínimas para aumento da confiabilidade, os dados poderiam ser utilizados sem grandes prejuízos.

Não obstante, aponta-se que para aplicação de MDEs em projetos que dependem diretamente da gravidade, como redes de drenagem ou redes coletoras de esgoto, são imprescindíveis cuidados adicionais. Isto pois a variação de altitude é fator de influência direta na declividade, crucial para a veiculação do fluxo. Nesse contexto, a acurácia do MDE se torna ainda mais crítica e, portanto, para esses tipos de projeto não é aconselhável depender exclusivamente de MDEs sem uma validação mais rigorosa, sendo seu uso aceitável, em tais casos, apenas para a elaboração de pré-projetos.

Por fim, tendo em vista possíveis inconsistências observadas nas curvas de nível, denota-se como possível melhoria para o presente estudo a obtenção de dados primários de maior confiabilidade, como pontos cotados, para aplicação como parâmetros de validação. Além disso, seria interessante expandir a validação de modelos digitais de terreno para áreas com diferentes graus de urbanização, visto que as características do terreno podem variar significativamente entre áreas urbanas e rurais, o que pode afetar a precisão do MDE em diferentes contextos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- COPERNICUS. Modelo Digital de Elevação (MDE). *Copernicus Open Access Hub*, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.5270/ESA-c5d3d65>. Acesso em: outubro de 2024.
- EMPRESA DE SANEAMENTO DE MATO GROSSO DO SUL – SANESUL S.A. Base de dados interna – Modelo hidráulico e dados do sistema de abastecimento de água de Rio Negro - MS. Fornecido em: setembro de 2024.
- FERREIRA, Z. A.; CABRAL, P. A comparative study about vertical accuracy of four freely available digital elevation models: a case study in the Balsas River Watershed, Brazil. *International Journal of Geo-Information*. v. 11-2. p. 106. 2022.
- GHANNANDI, M. A.; ALEBOOYE, S.; IZADI, M.; GHANADI, A. Vertical accuracy assessment of copernicus DEM (Case study: Tehran and Jam cities). *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. v. X-4/W1. p. 209-214. 2023.
- GOMES, H. P. Avaliação econômica: eficiência energética. 1. ed. João Pessoa: Editora UFPB, 2018. 100 p. ISBN: 978-85-237-0818-4.
- HAWKER, L.; UHE, P.; PAULO, L.; SOSA, J.; SAVAGE, J.; SAMPSON, C.; NEAL, J. A 30m global map of elevation with forests and buildings removed. *Environmental Research Letters*, v. 17, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac4d4f>. Acesso em: outubro de 2024.
- HELLER, L.; PÁDUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. 2. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. v. 1. 418 p. ISBN: 978-85-7041-841-8.
- JIANG, W.; YU, J.; WANG, Q.; YUE, Q. Understanding the effects of digital elevation model resolution and building treatment for urban flood modelling. *Journal of hydrology: Regional Studies*. v. 42. 101122. 2022.
- MANFREDA, S.; LEO, M. D.; SOLE, A. Detection of flood-prone areas using digital elevation models. *Journal of Hydrologic Engineering*. v. 13-10. p. 781-790. 2011.
- MEADOWS, M.; JONES, S.; REINKE, K. Vertical accuracy assessment of freely available global DEMs (FABDEM, Copernicus DEM, NASADEM, AW3D30 and SRTM) in flood-prone environments. *International Journal of Digital Earth*, v. 17, n. 1, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/17538947.2024.2308734>. Acesso em: outubro de 2024.
- MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Excel. Versão 2016. Redmond, 2015. Disponível em: <https://www.microsoft.com/pt-br/microsoft-365/excel>. Acesso em: outubro de 2024.
- MIRANDA, E. E. de. Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2013. Disponível em: <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>. Acesso em: outubro de 2024.
- MUKHERJEE, S.; JOSHI, P. K.; MUKHERJEE, S.; GHOSH, A.; GARG, R. D.; MUKHOPADHYAY, A. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. v. 21. p. 205-217. 2013.

- NANDAM, V.; PATEL, P. L. A framework to assess suitability of global digital elevation models for hydrodynamic modelling in data scarce regions. *Journal of hydrology*. v. 630. 130654. 2024.
- OSAMA, N.; SHAO, Z.; FREESHAH, M. The FABDEM Outperforms the Global DEMs in Representing Bare Terrain Heights. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, v. 89, p. 613-624, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.14358/PERS.23-00026R2>. Acesso em: outubro de 2024.
- PARANHOS, A. C. F.; MIOTO, C. L.; PESSI, D. D.; GAMARRA, R. M.; SILVA, N. M.; RIBEIRO, V. O.; CHAVES, J. R. *Geotecnologias para aplicações ambientais*. 1. ed. Uniedusul Editora, 2020. v. ebook. 394 p.
- QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Versão 3.38.4 Grenoble, 2024. Disponível em: https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html. Acesso em: outubro de 2024.
- ROOSTAEE, M.; DENG, Z. Effects of digital elevation model resolution on watershed-based hydrologic simulation. *Water Resources Management*. v. 34. p. 2433-2447. 2020.
- ROOSTAEE, M.; DENG, Z. Effects of digital elevation model data source on HSPF-based watershed-scale flow and water quality simulations. *Environmental Science and Pollution Research*. v. 30. p. 31935-31953. 2023.
- ROSSANO, B.; VARGAS, T.; REIS, L. C. T.; SILVEIRA, A. L. L. Metodologia para Validação do MDE SRTM para a sua utilização em projetos e recursos hídricos. *XXII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH)*, 2017.
- TESEMA, T. A. Impact of identical digital elevation model resolution and sources on morphometric parameter of Tena watershed, Ethiopia. *Heliyon*. v. 7-30. e08345. 2021.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) Non-Void Filled. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-non>. Acesso em: outubro de 2024.
- U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – EPA. EPANET 2. Versão 2.2. Washington, D.C., 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/water-research/epanet>. Acesso em: outubro de 2024.
- USGS. Reprocessing by the GLCF. (1, 3, 30) Arc Second SRTM Elevation, Reprocessed to GeoTIFF. College Park, Maryland: The Global Land Cover Facility. Version 1.0, 2004. Acesso em: outubro de 2024.
- XU, K.; FANG, J.; FANG, Y.; SUN, Q.; WU, C.; LIU, M. The importance of Digital Elevation Model Selection in Flood Simulation and a proposed method to reduce DEM Errors: a case study in Shanghai. *International Journal of Disaster Risk Science*. v. 12. p. 890-902. 2021.
- ZAIDI, S. M.; AKBARI, A.; GISEN, J. I.; KAZMI, J. H.; GUL, A.; FHONG, N. Z. Utilization of satellite-based Digital Elevation Model (DEM) for Hydrologic Applications: A Review. *Journal Geological Society of India*, v. 92, p. 329-336, 2018.

ZANDSALIMI, Z.; FEIZABADI, S.; YAZDI, J.; NEYSHABOURI, S. A. A. S. Evaluating the impact of Digital Elevation Models on Urban Flood Modeling: A Comprehensive Analysis of Flood Inundation, Hazard Mapping, and Damage Estimation. *Water Resources Management*. v38. p 4243-4268. 2024.

ZHANG, S.; ZHAO, B.; ERDUN, E. Watershed Characteristics Extraction and Subsequent Terrain Analysis Based on Digital Elevation Model in Flat Region. *Journal of Hydrologic Engineering*. v. 19-11. 2014.