

Análise comparativa da dinâmica hídrica utilizando SRTM e LIDAR: um enfoque na caracterização topográfica

Camila Gardenea de Almeida Bandim^{1*}, Gabriel Antonio Silva Soares¹, Nara Torres Silveira², Livia Andrea Ferreira de Lima Silva³, Victor Gustavo Oliveira da Silva⁵, Juliana Patricia Fernandes Guedes Barros¹, Josiclêda Domiciano Galvêncio⁵, Weronica Meira de Souza⁵

¹ Mestranda(os) em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

² Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA), Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

³ Mestranda em Geografia (PPGEO) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil.

⁴ Graduado em Geografia na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Brasil.

⁵ Professoras do Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA-PE).

Histórico do Artigo: Submetido em: 23/01/2024 – Revisado em: 14/03/2024 – Aceito em: 27/03/2024

RESUMO

A estrutura geomorfológica molda bacias hidrográficas, influenciando e impactando ciclos hídricos e atividades humanas. Preservar os ambientes hídricos e compreender os desafios ambientais são temas contemporâneos que se destacam devido ao aumento de problemáticas que envolvem esses elementos. Diante disso, o estudo visa analisar a dinâmica hídrica na Bacia do Rio Pirapama, com foco na caracterização topográfica, comparando os sistemas Lidar e SRTM. A área refere-se a bacia hidrográfica do rio Pirapama, localizada no estado de Pernambuco. Nos procedimentos metodológicos, dados Lidar e SRTM foram processados em software de geoprocessamento, permitindo uma análise comparativa da topografia e dinâmica do fluxo. Os resultados indicam que o SRTM, embora representativo, carece de detalhes devido à resolução de 30 metros, enquanto o Lidar, com resolução de 1 metro, oferece maior consistência e detalhamento na representação do relevo. A classificação do terreno evidencia áreas propensas a inundações e urbanização desordenada. Na seção de Direções e Acúmulos de Fluxos, a comparação entre SRTM e Lidar destaca a discrepância na representação de áreas propícias a acúmulos. O Lidar, com sua alta resolução, revela detalhes cruciais para análises hidrológicas. Em conclusão, áreas planas e onduladas na Bacia do Rio Pirapama são identificadas como suscetíveis a inundações, enquanto o Lidar se destaca na obtenção de resultados mais consistentes e detalhados em comparação ao SRTM, sublinhando a importância de dados de alta resolução em estudos hídricos.

Palavras-Chaves: bacias hidrográficas; geotecnologias; interferências antrópicas.

Comparative Analysis Of Water Dynamics Using SRTM And Lidar: A Focus on Topographic Characterization

ABSTRACT

The geomorphological structure shapes river basins, influencing and impacting water cycles and human activities. Preserving water environments and understanding environmental challenges are contemporary themes that stand out due to the increase in problems involving these elements. Therefore, the study aims to analyze water dynamics in the Pirapama River Basin, focusing on topographic characterization, comparing Lidar and SRTM systems. The area refers to the Pirapama river basin, located in the state of Pernambuco. Our methodological procedures, Lidar and SRTM data were processed in geoprocessing software, allowing a comparative analysis of topography and flow dynamics. The results indicate that SRTM, although representative, takes care of details due to the 30-meter resolution, while Lidar, with 1 meter resolution, offers greater consistency and detail in the representation of relevance. The terrain classification highlights areas prone to flooding and disorderly urbanization. In the Flow Directions and Accumulations section, the comparison between SRTM and Lidar highlights the discrepancy in the representation of areas prone to accumulations. Lidar, with its high resolution, reveals crucial details for hydrological analyses. In conclusion, flat and rolling areas in the Pirapama River Basin are identified as susceptible to flooding, while Lidar stands out in obtaining more consistent and detailed results compared to SRTM, underlining the importance of high-resolution data in water studies.

Keywords: watersheds; geotechnologies; anthropogenic interference.

Bandim, C. G. A., Soares, G. A. S., Silveira, N. T., Silva, L. A. F. L., Silva, V. G. O., Barros, J., Galvêncio, J., Souza, V. (2024). Análise comparativa da dinâmica hídrica utilizando SRTM e LIDAR: Um enfoque na caracterização topográfica. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.1, p.38-47.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

1. Introdução

A estrutura geomorfológica e todos os elementos presentes nela são determinantes para caracterizar a bacia hidrográfica e seu comportamento hídrico. Assim, é fundamental compreender que os atributos físicos e bióticos, fundamentais para os processos do ciclo hidrológico, influenciam aspectos como infiltração, quantidade de água produzida como deflúvio, evapotranspiração e os escoamentos superficial e subsuperficial (Tonello *et al.*, 2006).

Devido à diversidade de componentes em uma bacia hidrográfica, seu ciclo hidrológico mantém um equilíbrio dinâmico constante. Mesmo sem perturbações no balanço hídrico, como apontado por Lima (1986), destaca-se que o desequilíbrio hídrico pode ocorrer por diversas razões, como desmatamento, mudanças climáticas, poluição, erosão e assoreamento de rios. Geralmente, esses problemas estão associados à expansão populacional e ao crescimento da malha urbana, que interfere diretamente nos processos hídricos.

Bacias hidrográficas de pequeno porte, como a do rio Pirapama, localizada no estado de Pernambuco, são particularmente suscetíveis ao desequilíbrio hídrico devido às diferentes atividades concentradas em menor área, modificando a dinâmica natural. No caso específico da bacia citada, esta integra o grupo de bacias de pequenos rios litorâneos GL 2, junto ao seu reservatório homônimo, desempenha papel vital no abastecimento de água da Região Metropolitana do Recife (RMR) (Silva e Ribeiro, 2006). As atividades de uso e ocupação da terra nessa região, como destacado por Silva e Santos (2005), incluem ocupação urbana e industrial, fazendas, granjas, policultura, pequenas usinas hidrelétricas, áreas de cultivo de cana-de-açúcar, mata atlântica e manguezais.

Santos *et al.* (2003) destacam que a constituição de áreas urbanas em uma bacia hidrográfica por vezes é realizada sem planejamento, que contribui para o desequilíbrio e diminuição da qualidade das águas, além de ocasionar problemáticas constantes como inundações, enchentes e alagamentos. Zhao *et al.* (2013) afirmam que essas alterações são responsáveis por déficits na interceptação da vegetação, propriedades do solo e afetam a evapotranspiração, as águas subterrâneas, além de causarem variações no clima, como precipitação, temperatura do ar e umidade, impactando o crescimento da cobertura vegetal e, conseqüentemente, os saldos hidrológicos.

Diante das discussões sobre a dinâmica hídrica em bacias hidrográficas, é crucial aprimorar os estudos sobre processos hídricos, evidenciado pelas pesquisas recentes em busca de alternativas avançadas com tecnologias. Presentemente, as geotecnologias e produtos derivados do sensoriamento remoto têm se tornado ferramentas eficazes para o aprimoramento dos estudos hídricos em bacias hidrográficas (Soares, 2020). O Light Detection And Ranging - LIDAR, uma técnica que fornece dados de alta qualidade em resolução, é descrito por Rodriguez *et al.* (2010) como uma tecnologia que emite um feixe de laser em direção à superfície para obtenção de informações espaciais. Embora seja amplamente utilizado no Brasil, o LIDAR tem uma base considerável de utilização internacional, especialmente em estudos relacionados à dinâmica hídrica.

Os pesquisadores destacam a excelente resolução dos dados, sobretudo após a última atualização que aprimorou as malhas, possibilitando uma análise mais detalhada e reduzindo os erros de elevação vertical. A fusão dos dados LIDAR a modelagem hidrológica é considerada uma tecnologia eficaz, demandando não apenas conhecimento hidrológico, mas também expertise em sensoriamento remoto, geoprocessamento e extração de redes de drenagem (Hsu *et al.*, 2000; Brown *et al.*, 2007; Mason *et al.*, 2007; Gallegos *et al.*, 2009; Tsubaki e Fujita, 2010; Fewtrell *et al.*, 2011; Sampson *et al.*, 2012; Ozdemir *et al.*, 2013).

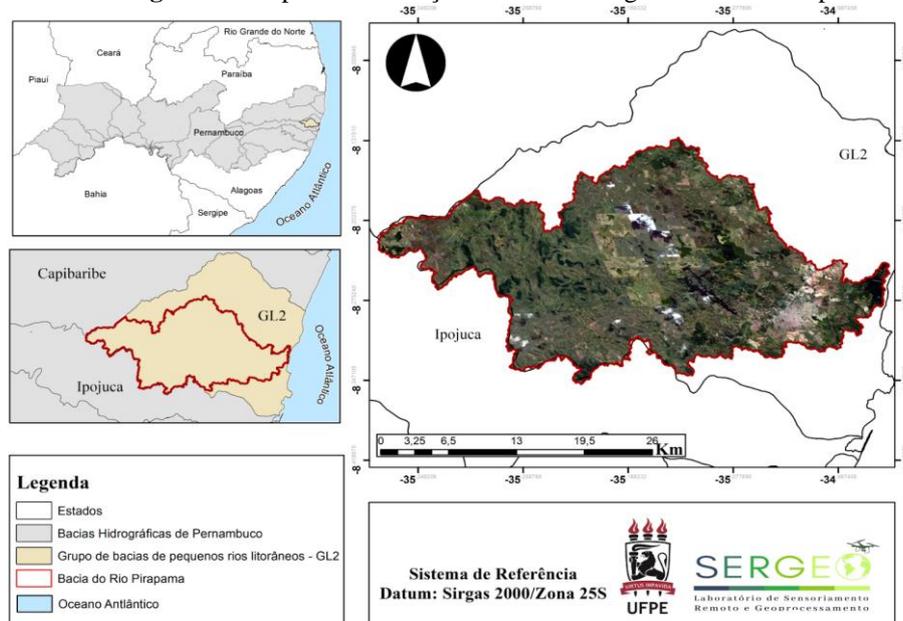
Dada a importância evidente do aprimoramento das pesquisas relacionadas aos processos hídricos de trabalhos utilizando o sistema LIDAR para a temática hídrica, especialmente para a região Nordeste e o estado de Pernambuco, este estudo possui o objetivo de analisar a dinâmica hídrica da bacia hidrográfica do rio Pirapama, visando uma melhor caracterização topográfica a partir de modelos digitais de elevação distintos.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo corresponde a Bacia do Rio Pirapama, situada na porção centro-sul da Região Metropolitana do Recife (RMR) e na Zona da Mata Pernambucana, mais precisamente entre as latitudes 8° 07'29" e 8° 21'00" S e longitudes 34° 56'20" e 35° 23' 13" W. Localiza-se majoritariamente no município de Santo Agostinho, compreende, ainda, as localidades de Pombos Vitória de Santo Antão, Escada, Moreno, Ipojuca e Jaboatão dos Guararapes. (Figura 1).

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Pirapama.



Fonte: Autores (2023)

Esta bacia possui uma área de aproximadamente 600 km² com extensão de 80 km (CPRH, 2002). Conforme o Plano Estadual de Recursos Hídricos (SECTMA, 1998), a bacia hidrográfica em questão compõe a Unidade de Planejamento Hídrica, denominada UP15, do Grupo de Pequenas Bacias Litorâneas (GL2)

2.2 Dados utilizados

Os dados utilizados foram capturados pelo sistema aerotransportado do sensor LIDAR, fornecidos ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS/PE). A alta resolução dos dados correspondem a 1 metro, os mesmos são resultado do voo realizado em 2014. Ainda foram usados dados do Shuttle Radar Topography Mission -SRTM, obtidos no site da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA, possuindo uma resolução espacial correspondente a 30 metros.

2.3 Processos realizados

Primeiramente realizou-se a identificação e seleção das quadrículas do LIDAR Pernambuco por ordem de sequência numérica em seu formato *Raster* o que foi essencial para apenas utilizarmos as quadrículas

necessárias para a constituição por completo da bacia hidrográfica do rio Pirapama, foco principal deste trabalho. No total foram 111 quadrículas utilizadas. O mesmo processo realizou-se para o SRTM, utilizando apenas 1 imagem.

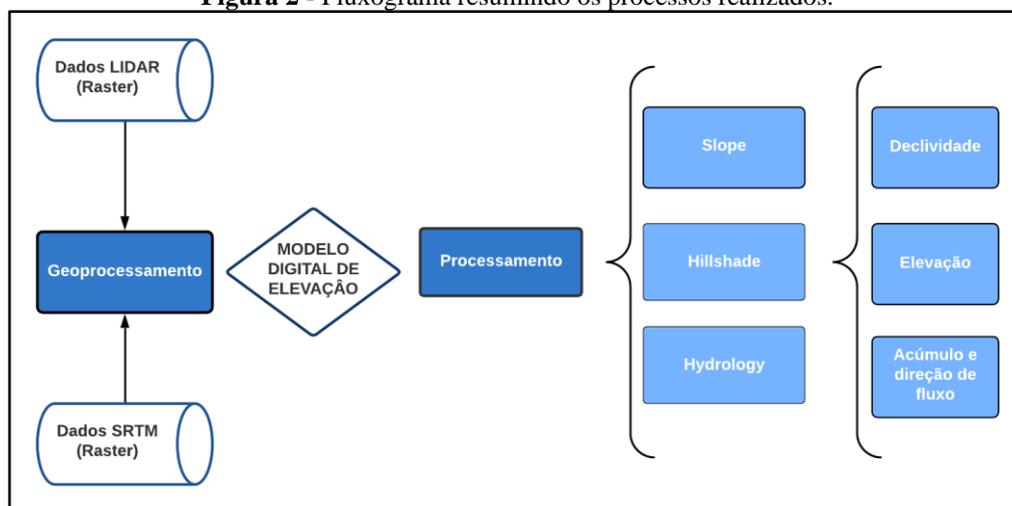
O pós-processamento foi realizado através do software de geoprocessamento que fornece aplicações baseadas em padrões para realização de análise espacial, armazenamento, manipulação, processamento de dados geográficos e mapeamento.

Inicialmente os dados passaram pelo processo de mosaico das quadrículas, constituindo um Modelo Digital de Elevação - MDE e em seguida foi retirada uma máscara referenciada da bacia do rio Pirapama, tanto para o LIDAR como para o SRTM. Essas máscaras em formato *Raster* foram a base para todos os produtos deste trabalho.

Com o uso do software de geoprocessamento, os MDEs foram processados para obter os resultados. As ferramentas utilizadas foram: o *Slope*, que permitiu a elaboração do mapa de declividade com base nos valores altimétricos dos pixels adjacentes do *raster*, perfazendo um total de 8 pixels, permitindo assim o cálculo para constituir a inclinação do terreno; logo após a ferramenta *Hillshade*, obteve-se assim o mapa de hipsometria. Essa ferramenta trabalha junto ao *raster* criando um relevo sombreado a partir de uma grade considerando o ângulo de iluminação do sol e sombras, e com isso calcula os valores de altimetria; e por fim, a ferramenta *Hydrology* que permite a delimitação e criação de redes de drenagem diante a um algoritmo padrão sobre as células do MDE *raster*, a partir desse esse processo se obteve as direções de fluxos e acúmulos de fluxo.

O fluxograma a seguir (Figura 2) define resumidamente esse processo:

Figura 2 - Fluxograma resumindo os processos realizados.



Fonte: Autores (2023)

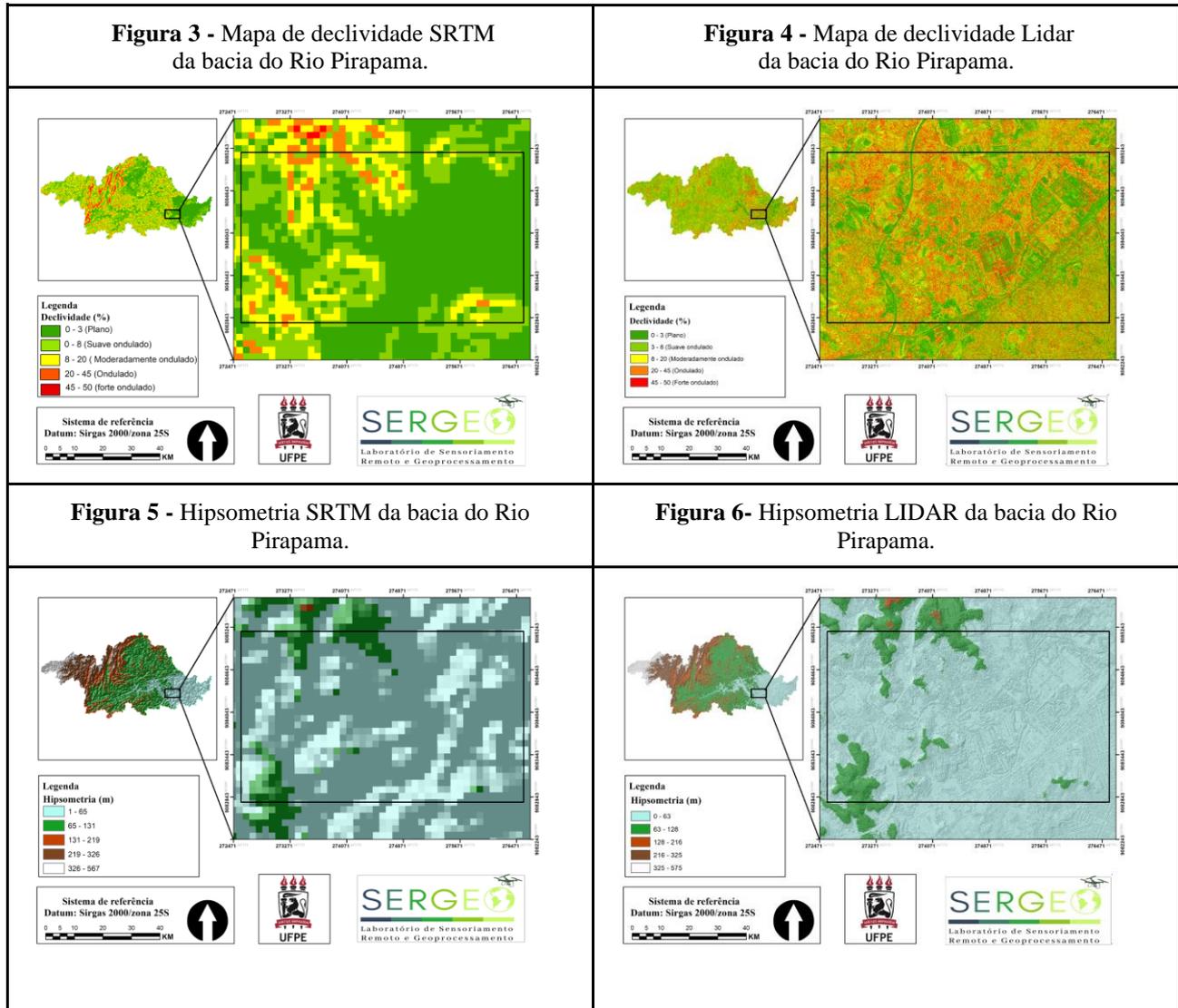
3. Resultados e Discussão

Nesta seção, apresentam-se os resultados da análise qualitativa do relevo para a bacia do Pirapama, evidenciando os detalhes dos mapas de declividade e hipsometria. A Figura 3 (declividade-SRTM), Figura 4 (declividade-Lidar), Figura 5 (hipsometria - SRTM) e Figura 6 (hipsometria - Lidar) oferecem uma visão abrangente desses aspectos geográficos. O recorte em destaque concentra-se na área centro-leste da bacia, abrangendo o espaço pertencente à cidade de Cabo de Santo Agostinho. Esse enfoque busca captar detalhes específicos desta região.

Ao analisar os resultados correspondentes do SRTM, baseados nos Modelos Digitais de Elevação

(MDE) com resolução espacial de 30 metros, observa-se uma certa generalização das áreas declivosas e altimétricas da bacia.

O recorte destaca a falta de detalhamento nos resultados com SRTM, apresentado nas figuras 3 e 5, revela uma malha pixelizada grosseira que dificulta a caracterização precisa dos aspectos físicos relacionados à declividade e à altimetria. De maneira geral, é possível fazer uma identificação visual dos níveis de relevo e suas altitudes; no entanto, a precisão dessas observações torna-se subjetiva.



Fonte: Autores (2023)

Por outro lado, os resultados baseados no LIDAR, com resolução espacial de 1 metro, fornecem informações mais detalhadas sobre a variação do relevo e da altitude em comparação ao SRTM. Os feixes de luz emitidos pelo sensor captam todos os elementos do espaço, permitindo uma observação mais clara e precisa das estruturas da área urbana, bem como do relevo presente na região de estudo. Alba *et al.* (2010), em seus trabalhos com validação de campo, corroboram que os modelos SRTM podem apresentar altitudes superestimadas em comparação com os dados de referência, destacando a superior consistência dos resultados

obtidos com o LIDAR devido à qualidade da resolução e ao melhor detalhamento proporcionado por essa tecnologia.

O mapeamento do relevo altimétrico da área de estudo, considerando os resultados do LIDAR, pode ser visualizado nas Figuras 4 e 6. Os critérios de classificação da declividade foram estabelecidos pela EMBRAPA (1979), e a hipsometria seguiu parâmetros automatizados.

Observa-se uma diversidade de níveis de relevo, predominando áreas planas e suavemente onduladas que variam de 0 a 8%. A parte mais homogênea dessa categoria situa-se a leste da bacia hidrográfica, com variação altimétrica em torno de 0 a 63 metros. Rocha (2013) indica que áreas com essas características são propensas ao acúmulo natural de água devido ao terreno mais acentuado, tornando-se suscetíveis a inundações. Em contrapartida, locais com características suaves onduladas são frequentemente escolhidos para o desenvolvimento urbano, devido ao melhor planejamento.

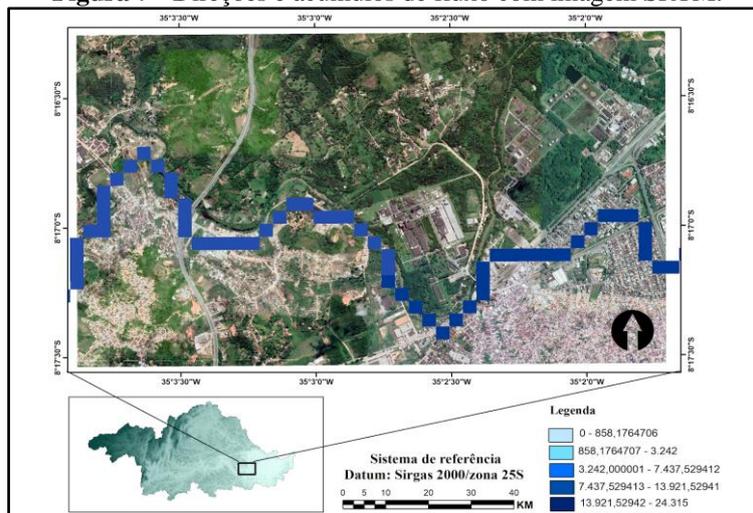
As porcentagens relativas às declividades de 20 a 50% (ondulado e forte ondulado) predominam nas direções norte, leste e sul, embora estejam em menor quantidade em toda a extensão da bacia. Os valores altimétricos associados a esses relevos variam de 216 a 575 metros. Também em menor proporção, encontram-se os relevos moderadamente ondulados, representando 8 a 20%. Gomes (2004) descreve esses relevos como típicos do modelado cristalino, apresentando morros e colinas arredondados com altitudes superiores a 60 metros, acompanhados de vales encaixados e ativos.

O relevo suave ondulado pode ser considerado moderado em relação ao acúmulo de fluxo, pois sua estrutura tem potencial tanto para acumular quanto para direcionar a água. Contudo, os relevos mais declivosos têm baixo potencial de acúmulo, mas são responsáveis pelo direcionamento dos fluxos, influenciando a velocidade do percurso associada à sua altitude. Essa dinâmica determina consideravelmente o comportamento hidrológico da bacia.

3.1 Direções e acúmulos de fluxos

Nesta seção, apresentam-se os resultados da análise direcional dos fluxos e seus respectivos acúmulos, para a cidade de Cabo de Santo Agostinho. A comparação entre as Figuras 7 e 8, onde o primeiro mapa é derivado de dados SRTM, e o segundo utiliza informações provenientes do LIDAR, destaca uma notável discrepância. O recorte selecionado abrange uma área com maior probabilidade de acúmulos, caracterizada por terrenos predominantemente planos e suavemente ondulados, conforme ilustrado anteriormente na Figura 7.

Figura 7 - Direções e acúmulos de fluxo com imagem SRTM.

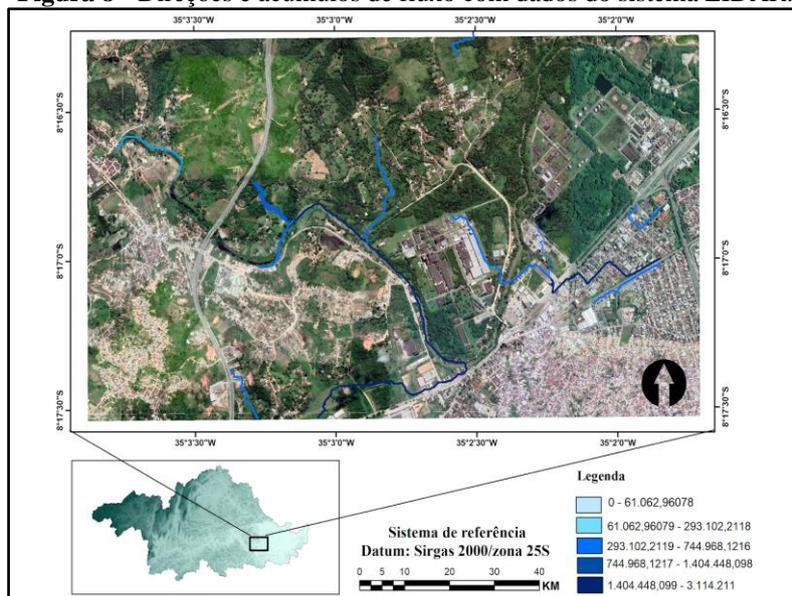


Fonte: Autores (2023)

Os resultados provenientes do SRTM indicam uma representação satisfatória, evidenciando de forma eficaz a direção principal e o acúmulo de fluxo na área de estudo. Os acúmulos mais significativos concentram-se no centro-leste da quadrícula em foco. No entanto, a resolução de 30 metros revela uma representação genérica e grosseira desses resultados, caracterizada pela falta de exatidão e detalhes. Esses elementos são cruciais para uma análise consistente, sendo sua ausência capaz de comprometer a profundidade da avaliação em um estudo, conforme ilustrado acima na figura 8.

Conforme destacado por Foote e Huebner (1995), os erros posicionais são de grande relevância em um Sistema de Informações Geográficas (SIG), uma vez que podem impactar diversas características das informações armazenadas em conjuntos ou bancos de dados geográficos. Em outras palavras, a qualidade e precisão dos dados desempenham um papel fundamental na obtenção de resultados mais robustos em uma análise.

Figura 8 - Direções e acúmulos de fluxo com dados do sistema LIDAR.



Fonte: Autores (2023)

Em contrapartida, os resultados referentes aos dados LIDAR demonstram maior consistência, atribuída à riqueza em detalhes e precisão proporcionadas por esse material. O processamento foi realizado com uma resolução de 1 metro, e considerando esse elemento, é seguro afirmar que os resultados alcançados serão mais eficazes. Tsubaki e Fujita (2010) destacam em sua pesquisa a importância de dados de qualidade para obter respostas satisfatórias, salientando a excelência no detalhamento e na precisão do sistema Lidar, que permite uma observação sensível para obter resultados capazes de mitigar os problemas relacionados à dinâmica da água. Os pontos suscetíveis a inundações e/ou alagamentos estão claramente visíveis, concentrando-se mais intensamente no centro-leste, enquanto os níveis mais leves e moderados abrangem o centro-norte, leste e oeste do mapa, variando as intensidades de acordo com depressões e considerando a influência da malha urbana local (Figura 8).

É crucial compreender a influência antrópica sobre os processos hídricos, pois a interferência ocorre diretamente por meio das construções humanas, conforme enfatizado por Ozdemir *et al.* (2013). Eles salientam que o papel da topografia é de extrema importância para a drenagem de águas superficiais, podendo auxiliar no mapeamento de detalhes topográficos do terreno e calibrar modelos hidrológicos. Diversos estudos incentivam pesquisas que considerem avaliar os impactos da topografia em áreas urbanizadas e corroborar a

importância desses fatores. Todo esse entendimento é de extrema importância, e o detalhamento, de fato, contribui significativamente. No entanto, para pesquisas e resultados concretos e alinhados à realidade, é essencial o trabalho de campo, seja utilizando dados LIDAR ou SRTM.

4. Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, é possível considerar que as áreas mais suscetíveis à confluência na Bacia do Rio Pirapama são aquelas caracterizadas por planícies e/ou ondulações, devido à sua baixa altimetria. É relevante destacar que essas áreas coincidem geralmente com locais propícios para o desenvolvimento de aglomerados urbanos, podendo agravar as problemáticas relacionadas a inundações em ambientes urbanos. Por outro lado, os pontos mais elevados da bacia, representados pelos terrenos ondulados e fortemente ondulados, atuam como direcionadores de fluxo, devido à elevada altimetria, esses pontos não propiciam acúmulo, direcionando eficientemente as águas para as áreas mais planas.

Além disso, os resultados obtidos com o sistema LIDAR em relação aos acúmulos de fluxo, quando comparados com os resultados do SRTM, demonstraram consistência e excelência. Esta constatação reitera a importância de dados com melhor resolução para a obtenção de resultados mais satisfatórios em estudos dessa natureza.

5. Agradecimentos

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), à FACEPE-Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas concedidas ao primeiro, segundo terceiro e quarto autores.

6. Referências

Alba, P. J., Amado et al., B. S. (2010, Setembro). Comparação de Modelos de Altitudes com Diferentes Fontes de Dados. **Anais do Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**, Ribeirão Preto/SP, Brasil, 22.

CPRH - Agência Estadual de Meio Ambiente (2002). **Estudo dos recursos hídricos da bacia do rio Pirapama**. Recife, PE, Brasil. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/wp-content/uploads/2021/02/Pirapama2002_3.4.2.pdf>. Acesso em: novembro/2023.

Brown, J. D., et al. (2007). Modeling storm surge flooding of an urban area with particular reference to modeling uncertainties: A case study of Canvey Island, United Kingdom. **Water Resources Research**, 43, 6, 1-22.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (1979). **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ)**. In **X Reunião Técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. p. 83.

Fewtrell, T. J. et al. (2011). Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**. 36, 7-8, 281-291.

DG - Department of Geography. 1995. **Foote, K. E., Huebner, D. J. Error, Accuracy and Precision**.

Austin City. Disponível em: Mais sobre erro, precisão e precisão GIS | GEOG 469: Aplicações de SIG na Indústria de Energia (psu.edu). Acesso em: 19/09/2023.

Gomes, C. M. S. (2004). **Água: recurso desencadeador de conflitos? Os impactos sociais da construção da Barragem de Pirapama**. Dissertação de Mestrado em Serviço Social, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, Brasil.

Gallegos, H. A., et al. (2009). Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. **Advances in Water Resources**. 32 (8), 1323-1335.

Hsu, M., et al. (2000). Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. **Journal of Hydrology**. 234, 1-2, 21-37.

Mason, D. C., et al. (2007). Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. **Hydrological Processes: An International Journal**, 21 (11), 1436-1447.

Ozdemir, H., et al. (2013). Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. **Hydrology and Earth System Sciences**.10 (6), 5903-5942.

Rocha, A. C da P. (2013). **Análise morfodinâmica e morfogenética do interflúvio do médio curso da margem direita do rio Beberibe**. Dissertação de mestrado em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, Brasil.

Rodriguez, L. C. E., et al. (2010). Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp no Brasil. **Revista Ambiência**, 6 (4), 67 - 80.

Sampson, C. C., et al. (2012). Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. *Advances in water resources*, 41 (3), 1-17.

Santos, C. A. G., et al. (2003, novembro). Aplicação de um modelo hidrossedimentológico distribuído a bacia hidrográfica do rio Pirapama-PE. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Curitiba, PR, Brasil, 14.

SECTMA - Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente (1998). **Recife: Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco**, v. 1-3, p. 849. Disponível em: <<https://www.apac.pe.gov.br/planos>>. Acesso em: outubro de 2023.

Silva, S. C da., Ribeiro, M. M. R. (2006). Enquadramento dos corpos d'água e cobrança pelo uso da água na bacia do rio Pirapama-PE. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 11 (4), 371-379.

Silva, R. M., Santos, C. A. G. (2005, novembro). Aplicação do modelo distribuído AÇUMOD na modelagem das potencialidades das sub-bacias do rio Pirapama. **Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, João Pessoa, PB, Brasil, 18.

Soares, G. A. S., Galvêncio, J. D. (2020). Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 13 (7), 3659-3674.

Tonello, K. C., et al. (2006). Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore**, 30 (5), p. 849-857.

Tsubaki, R., Fujita, I. (2010). Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. **Hydrological Processes: An International Journal**, 24 (11), 1404-1420.

Zhao, G., et al. (2013). Erosão do solo, conservação e mudanças ambientais no Planalto de Loess, na China. **Degradação e Desenvolvimento da Terra**, 24 (5), 499-510.