



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do rio Una e Mundaú utilizando dados do LiDAR, Pernambuco 3D

Juliana Patrícia Fernandes Guedes Barros¹; Josicléda Domiciano Galvêncio²

¹ Graduanda do curso de Licenciatura em Geografia do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife/PE - Brasil; (juliana.guedesbarros@ufpe.br) ² Professora Titular do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA. Recife/PE - Brasil; (josicleda.galvencio@ufpe.br)

Artigo recebido em 10/09/2021 e aceito em 22/03/2022

RESUMO

Inundações e enchentes, decorrentes de *inputs* pluviométricos e ocupação desordenada das áreas de interflúvio de bacias hidrográficas, aliadas ao déficit estrutural urbano culminam em danos sociais, políticos, econômicos e ambientais. As bacias do rio Una e Mundaú são ocupadas por áreas urbanas e agricultura, que degradam o solo e alteram as características naturais da dinâmica hídrica, desse modo o entendimento e caracterização fisiográfica de bacias com uso do solo propício ao desenvolvimento de problemática hídrica é de suma relevância para o gerenciamento e prevenção da propagação de enchentes e inundações. A construção de modelos hidrológicos que possibilitem a compreensão de como água flui através de uma área e como as mudanças nessa área podem afetar o fluxo, ou seja, padrões de escoamento, infiltração e fluxo de água nas bacias, são de suma importância nesse contexto. Utilizando modelagem hidrológica semiautomática com os dados do sensor LiDAR, imageado pelo projeto PE3D no ano de 2016, foi construído um modelo a fim de extrair informações hídricas utilizando a ferramenta Hydrology. Tendo objetivo de demonstrando a necessidade de modelagem hídrica atualiza, que disponibilize dados fidedignos para planejamento adequado e orientação das tomadas de decisão pelos comitês de bacia e poder público.

Palavras-chave: enchentes; inundações; modelagem hidrológica; recursos hídricos.

Physiographic characterization of the Una and Mundaú river basins using data from LIDAR, Pernambuco 3D

ABSTRACT

Floods and floods, arising from rainwater and/or occupation of the interfluvial areas of the basins, together with the urban structural deficit, culminate in social, political, economic and environmental damage. The Una and Mundaú river basins are occupied by urban areas and agriculture, which degrade the soil and change the natural characteristics of the water dynamics, thus the understanding and physiographic characterization of basins with land use conducive to the development of water problems is essential relevance to the management and prevention of the spread of floods and floods. The construction of hydrological models that enable the understanding of how water flows through an area and how changes in that area can affect the flow, ie, patterns of runoff, infiltration and water flow in the basins, are of paramount importance in this context. Using semi-automatic hydrological modeling with data from the Lidar sensor, imaged by the PE3D project, a model was built in order to extract water information using the Hydrology tool. Aiming at demonstrating the need for updated water modeling, which provides reliable data for proper planning and guidance in decision-making by basin committees and public authorities.

Keywords: floods; hydrological modeling; water resources.

Introdução

As primeiras análises hidrográficas com o uso do geotecnologias no Brasil foram promovidas

pelo projeto RadamBrasil entre as décadas de 70 e 80. A evolução tecnológica e refinamento de dados tornou possível obter dados detalhados e modelar situações fidedignas com a realidade. Na

conjuntura nacional, o imageamento do território foi realizado pela missão SRTM em 2000, com propósito de elaborar modelos de elevação digital (MDE) de resolução entre 90 e 30 metros, correspondente respectivamente a 3 arco de segundo e 1 arco de segundo. Hoje, Pernambuco conta com dados digitais mais detalhados, obtidos a partir do recobrimento aerofotogramétrico e varredura a laser do sensor LiDAR. O aprimoramento e disponibilidade de dados é uma inovação dentro do contexto mundial e caracteriza a importância de pesquisas, a fim de desenvolver modelagem hídrica mais detalhada, propulsora de análises realistas.

A evolução dos métodos e ferramentas utilizados no estudo da unidade hidrográfica aliado a disponibilidade de acesso a dados topográficos propicia maior diversidade de processamento e modelagem mais detalhada. Nesse contexto o LiDAR é uma inovação para a gestão de bacias, pela alta resolução dos MDEs; sendo o relevo de tal significância para a modelagem hídrica baseada na representação digital de topografia do terreno dá-se a importância de dados de alta resolução. Visto que há extrema necessidade de modelagem hidrológica detalhada para prever e gerenciar as problemáticas, é preciso entendimento dos processos de fluxo porquê as estimativas de risco e gestão das bacias são tomadas com base nas informações de fluxo de escoamento e drenagem das bacias (Tsubaki *et al*, 2010).

Fan (2014) discorre que é fundamental entender e representar da melhor maneira possível o processo de escoamento da água em rios e bacias para possíveis intervenções e gerenciamento dos recursos hídricos, sobretudo em regiões com dificuldades hídricas, como é o caso das Bacias hidrográficas dos rios Una e Mundaú. Os resultados simulados, sobretudo os embasados em dados de alta resolução, são subsídios para análise integrada dos fatores atuantes sobre a espacialidade hidrográfica. Assim, a bacia hidrográfica apresenta-se como importante unidade de planejamento por permitir análise sistêmica dos fatores atuantes. Demonstrando a necessidade de modelagem hídrica atualiza que disponibilize dados fidedignos.

Desse modo, a presente caracterização fisiográfica, embasada em dados topográficos de alta resolução LiDAR, é de suma importância, por fornecer análise das características geométricas, de relevo e drenagem, das quais advém índices para mensurar a suscetibilidade e tendências. Assim como discorre as principais literaturas hídricas relacionadas a dados topográficos de alta resolução.

Após o surgimento do sensor Lidar e a disponibilização do mesmo no estado de Pernambuco diferentes estudos foram realizados relacionados a análise dos recursos hídricos, Soares e Galvêncio (2020); Bandin e Galvêncio (2020) e a biomassa, Santana *et al.*, (2021); Sá *et al.*, (2021); Nishiwaki *et al.*, (2021); Silva *et al.*, (2021); Miranda *et al.*, (2020); Galvêncio e Naue (2020); Miranda *et al.*, (2018). Posteriormente, avançou no uso de drones para obtenção do modelo digital de elevação e recursos hídricos, Luz e Galvêncio (2022); Galvêncio (2020) chegando ao desenvolvimento do software ADIVA-Análise do Índice de Vegetação e Água como apoio a gestão dos recursos hídricos, Galvêncio *et al.*, (2022).

[...] os modelos que tratam da distribuição espacial da água na bacia hidrográfica requerem dados baseados nas características topográficas desta bacia tais como, limites das bacias e sub-bacias, inclinação do terreno, comprimento de rampa, forma do declive, orientação das vertentes, características dos canais de drenagem e conexões entre áreas que definirão como a água se move através da paisagem. (Rénno *et al*, 2007. Pág. 529-556.)

Tendo em vista o aumento populacional nos interflúvios e consecutivo aumento de enchentes e inundações, decorrentes das alterações aos padrões de funcionamento dos processos que controlam o movimento da água e os impactos de mudança do uso da terra sobre a hidrodinâmica natural das bacias (escoamento e infiltração), metodologias como a caracterização fisiográfica é de suma relevância por fornecer estimativas dos processos dinâmicos de fluxo e modelagem hidrológica adequados a prevenção, gerenciamento e direcionamento de ações a áreas mais suscetíveis e/ou em que a soma de fatores cause danos em grande ou pequena escala, afim de avaliar adequadamente e estimar os riscos e danos sociais, ambientais e econômicos.

Diferentes tecnologias precisam ser usadas para apoiar a gestão dos recursos naturais de forma mais eficaz. O uso de sistemas como SUPER-Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco, Luz e Galvêncio (2022); Paz *et al.*, (2022); e de tecnologias de drone, Santos *et al.*, (2022); Santos *et al.*, (2021) e de satélites, Oliveira

et al., (2022); Brito et al., (2021); Lins et al., (2021); Moura et al., (2020); Miranda et al., (2018); Miranda et al., (2017); Moraes et al., (2017) podem ajudar significativamente a gestão dos ecossistemas. Todas essas tecnologias precisam estar interligadas a modelos climáticos e estatísticos robustos, Santos et al., (2021); Galvinctio (2021); Galvinctio e Luz (2021); França et al., (2019); Miranda et al., (2017), Silva et al., (2015).

Diante do contexto, o objetivo é avaliar as características fisiográficas das bacias hidrográficas do rio Una e Mundaú, utilizando dados de alta resolução espacial e vertical do sensor lidar, projeto Pernambuco 3D, afim de determinar atributos morfológicos e morfométricos das bacias, por meio da relação estabelecida entre os fatores topográficos e os modelos de inundação.

Material e métodos

Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida nas bacias hidrográficas dos rios Una e Mundaú, localizadas no estado de Pernambuco, se estendem do agreste ao litoral (figura 1). As bacias são unidades de planejamento hidrográfico delimitadas em 1998, correspondem a unidade de desenvolvimento estadual, sendo particularmente a bacia do rio Mundaú compartilhada entre os estados de Pernambuco e Alagoas. Una e Mundaú, têm respectivamente, de 6.740,31 km² e 2.154,26 km² de extensão, dois quais estão localizadas importantes e significativos centros urbanos do interior do estado Pernambuco que findam a necessidade de planejamento hídrico adequado.

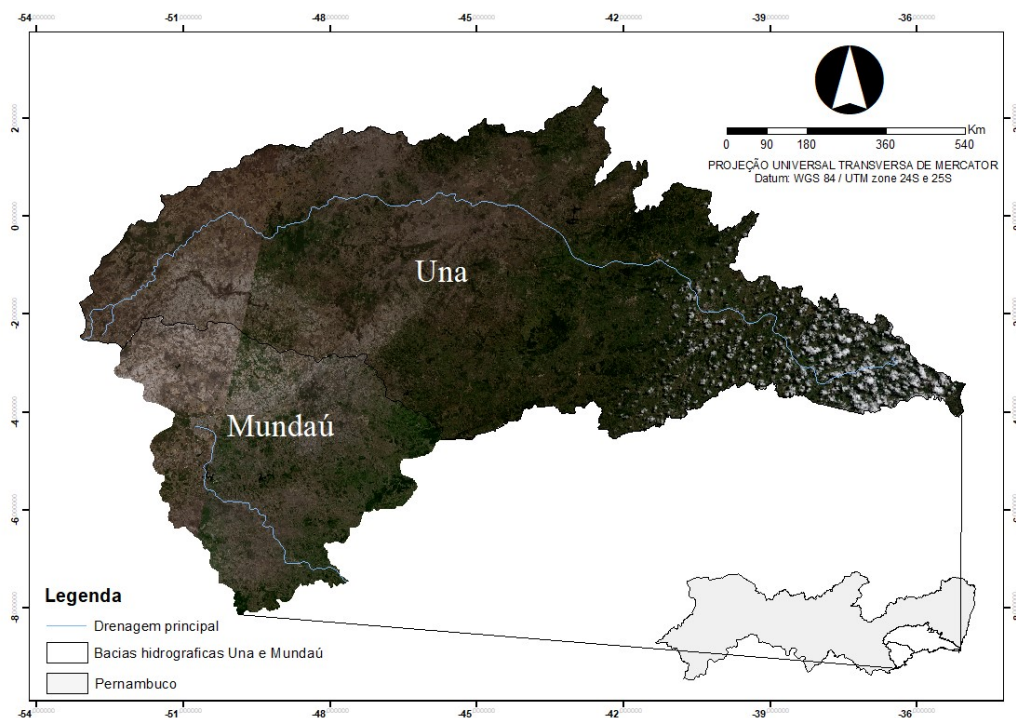


Figura 1: Localização da área de estudo. Fonte: autora.

De acordo com dados do IBGE (2010) a população residente nos municípios inteiramente ou parcialmente inseridos nas bacias dos rios Una e Mundaú somam, respectivamente, 1.320.230 e 364.809 habitantes. A região é sazonalmente sucumbida a eventos de precipitação significativos, decorrentes de sistemas climáticos variados, que findam danos econômicos, sociais e ambientais. Tais danos estão intrinsecamente ligados as alterações antrópicas sobre as bacias, que culmina em picos

de vazão elevados ocasionados pela diminuição da infiltração e aumento de escoamento superficial dos interflúvios.

A fração da bacia Mundaú que compreende o estado Pernambuco tem como corpo hídrico principal o rio Mundaú, perene e com cerca de 69Km percorre quinze municípios pernambucanos. A precipitação média anual na bacia é de 900mm, com quadra chuvosa que se estende de março a junho, tendo a altitude como

fator significativo na diferenciação das médias climatológicas na região, com a presença de brejos de altitude cujo valores de precipitação são mais acentuadas em relação as demais áreas na bacia, a exemplo o município de Garanhuns (Silva, 2009).

A bacia do rio Una, cujo rio principal é o rio Una, tem aproximadamente 255Km de extensão; é intermitente no alto curso e sofre perenização nos demais cursos em decorrência do aumento dos índices pluviométricos. O clima na bacia é quente úmido do litoral a zona da mata, com médias anuais de precipitação elevadas superiores a 1000mm, de período chuvoso que perdura seis meses de março a julho/agosto. A região interiorana da bacia, região agreste, tem índices pluviométricos diminutos, sendo os meses de março os mais chuvosos com precipitação anual média variante entre 600 e 800mm (CONDEPE/FIDEM, 2006).

As bacias Una e Mundaú possuem geomorfologia diversa, com embasamento litológico variante da cabeceira à foz; estão submetidas a variações influentes sobre o padrão de drenagem, que a depender do uso do solo e ocupação dos interflúvios pode gerar diversas problemáticas. O alto curso de ambas bacias está embasado pela zona de influência da Borborema, que confere altitudes elevadas com alta taxa de declive do relevo, sendo a bacia Mundaú, a fração que compreende ao estado Pernambuco, inteiramente inserida na região da Borborema. A bacia Una tem, em partícula, diferenciação geomorfológica notável, que varia do relevo cristalino do Planalto da Borborema, evoluindo no médio curso as formas dômicas dos mares de morro na zona da mata sul, chegando enfim à planície litorânea de São José da Coroa Grande/PE.

O solo, de grande importância nas bacias, é uma das características mais relevantes devido à grande área de produtividade primária, com regiões ocupadas por agricultura de subsistência, monocultura extensiva de cana de açúcar, café e pastagem para criação de pecuária leiteira e de corte. Os tipos de solos abrangentes nas bacias são diversos por conta das características fisiográficas e variabilidade climática. Na porção norte da bacia Mundaú há predomínio de Regossolos e Planossolos, os solos mais significativos na bacia, no trecho restante próximo a divisa com o estado de Alagoas a predomínio de solos Podzólicos e Latossolos (SUDENE, 1999). Enquanto os solos mais expressivos na bacia Una são Planossolos, Regossolos, Vertissolos, Solos Litólicos, Podzólicos Distróficos, Latossolos Distróficos e Areias Quartzosas Marinhas (CONDEPE/FIDEM, 2006).

Procedimentos metodológicos

Os dados utilizados são os *rasters* do imageamento do sensor remoto de varredura a laser *Light Detection and Ranging* (Lidar) no estado de Pernambuco, através do projeto Pernambuco tridimensional (PE3D), foram disponibilizados pelo governo do Estado de Pernambuco ao laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), associado ao departamento de Ciências Geográficas – UFPE. Os dados estão subdivididos em folhas articuladas de aproximadamente 8Km², segmentadas em cinco blocos; cada folha tem como produto Modelo Digital de Terreno (MDT), Modelo Digital de Elevação (MDE) e ortofotos ambos com resolução de 2 metros.

As duas bacias caracterizadas estão localizadas nos blocos I e II, sendo Mundaú e Una recobertas respectivamente por 321 folhas e 901 folhas. Decorrente da quantidade de quadriculas e dificuldade de processamento, a caracterização foi dividida entre sub-bacias de amostragem representativas dos cursos hidrográficos, tendo como base a topografia do relevo na adoção de três classes: alto curso, médio curso e baixo curso, assim como representado pelas figuras 2 e 3. As sub-bacias foram obtidas utilizando modelagem do fluxo de água na superfície e extração de drenagem com a ferramenta *Whatersshade*, a partir de mosaico dos MDEs de 1 arco de segundo SRTM, obtidos na plataforma Earth Explorer do USGS. Os valores *stream* adotados no raster de drenagem no processo de obtenção das sub-bacias são “*Value>5000*” para bacia do rio Mundaú e “*Value>10000*” para Una.

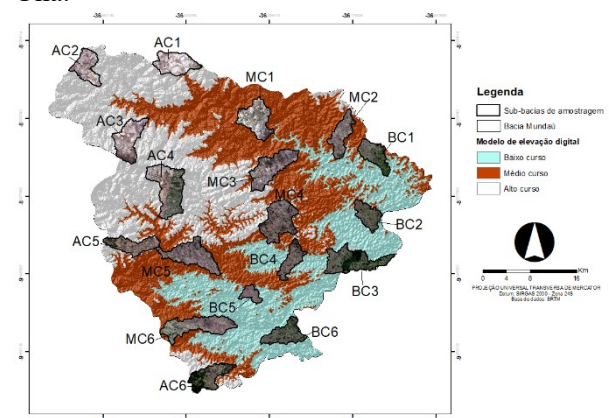


Figura 2: Modelo de elevação digital da bacia mundaú dividido em três classes: alto curso, médio curso e baixo curso. E, sub-bacias de amostragem adotadas na caracterização. Fonte: autora.

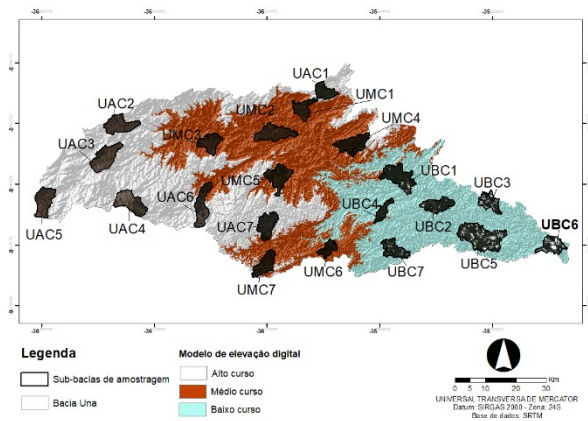


Figura 3: Modelo de elevação digital da bacia Una dividido em três classes: alto curso, médio curso e baixo curso. E, sub-bacias de amostragem adotadas na caracterização. Fonte: autora.

O limiar de delimitação das bacias foi definido com base na área resultante a fim de facilitar o processamento simultâneo das quadriculas obtidas e visualização do acumulo de

escoamento. A escolha e distribuição das sub-bacias de amostragem foi definida com base na área, capacidade de representação dos cursos da bacia e atributos significativos para análise, como reservatórios, uso do solo para agricultura e centros urbanos.

Os dados obtidos do Lidar foram processados para construção de um modelo hidrológico baseado na representação digital de topografia das bacias hidrográficas, com a utilização da ferramenta *Hydrology*, a fim de obter resultados quanto a direção de fluxo, acumulo de escoamento, ordem da rede de drenagem, comprimento de fluxo e área da bacia. O modelo está baseado em uma grade regular que quantifica as características de cada célula por uma varredura e associação entre elas, tendo como resultado as características de drenagem da superfície a qual está submetido.

Tabela 1: A= área total; P = Perímetro total; K_f = Fator de forma; K_c = Coeficiente de compacidade; L_{axial} = comprimento axial; $H_{máx.}$ = Altitude máxima; $H_{mín.}$ = Altitude mínima; $I_{máx.}$ = Declividade máxima; $I_{mín.}$ = Declividade mínima; $I_{média}$ = Declividade média; D_d = Densidade de drenagem; L_p = Comprimento do curso d'água principal; L_t = Comprimento total dos cursos d'água; P_d = padrão de drenagem; S_{in} = Sinuosidade do curso d'água; $Cota_{máx.}$ = Altitude máxima; $Cota_{mín.}$ = Altitude mínima; S = Declividade do curso d'água principal entre a foz e a nascente.

Atributos fisiográficos adotados

Índice	Equação	Metodologia
Área da bacia (Km ²)	A	-
Fator de forma	$K_f = \frac{A}{L_{axial}^2}$	Paz (2004)
Coeficiente de compacidade	$K_c = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}}$	Paz (2004)
Comprimento axial (Km)	L_{axial}	-
Altitude máxima/mínima (m)	$H_{máx./mín.}$	-
Altitude média (m)	$H_{média}$	-
Declividade máxima/mínima	$I_{máx./mín.}$	EMBRAPA (1979)
Declividade média	$I_{média}$	EMBRAPA (1979)
Comprimento do curso d'água principal (Km)	L_p	-
Comprimento total do curso d'água (Km)	L_t	-
Declividade do curso d'água principal (m/m ⁻¹)	$S = \frac{(cota_{máx.} - cota_{mín.})}{L_p}$	Cecílio <i>et al</i> (2006)
Densidade de drenagem (Km/Km ²)	$D_d = \frac{L_t}{A}$	Cardoso <i>et al</i> (2006)
Sinuosidade do curso de água	$S_{in} = \frac{L_p}{L_{axial}}$	Stipp <i>et al</i> (2010)
Perímetro (Km)	P_i	-

Os dados geoprocessados são base para discussão e caracterização fisiográfica das sub-bacias de estudo aliados aos atributos morfológicos

na análise geométrica, de relevo e de drenagem. Isto é, a atribuição de índices para caracterização, com o intuito de entender as disposições e

implicações naturais das bacias sobre o resultado da modelagem hídrica, tendo como parâmetro índices para dimensionar e ratificar o modelo hidrológico. A tabela 1 detalha os atributos adotados para caracterização fisiográfica das sub-bacias de amostragem, assim como o referencial metodológico seguido.

Ademais, os resultados obtidos da modelagem realizada com os dados lidar serão comparados aos dados SRTM, atualmente utilizados na gestão dos recursos hídricos e delimitação oficial, com o intuito de compreender e explorar os limites advindos de MDEs de baixa resolução espacial em contraponto a inovação e detalhamento do sensor LiDAR, expondo a defasagem da rede hídrica brasileira.

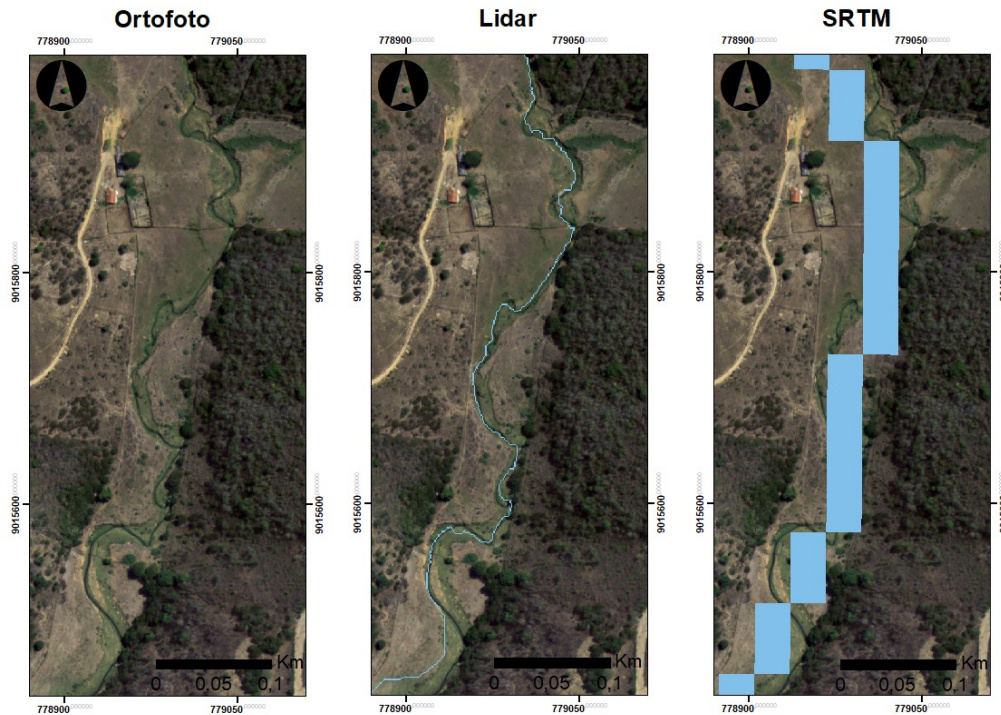
Resultados e discussão

A análise sistêmica dos fatores atuantes sobre o recorte espacial de uma bacia hidrográfica permite delimitar e analisar regiões que sofrem com maiores intempéries advindos do manejo e uso inadequado da unidade hidrográfica. Os fatores morfológicos, climáticos e antrópicos têm grande impacto sobre a dinâmica hídrica natural e podem ser usados para mensurar a variabilidade e impacto dos processos atuantes, sejam eles naturais ou decorrentes da ação antrópica.

Os resultados da caracterização fisiográfica indicam padrões de representação dentre os modelos LiDAR nas diferentes sub-bacias de amostragem, pontualmente sobre áreas com núcleos urbanos, assim como a distribuição e suscetibilidade do atributos topográficos apresentam padrões de representação a depender das características topográficas e uso do solo. Os resultados explicitam a notoriedade da alta resolução na representação do fluxo, uma vez que a microtopografia é influente sobre as características do escoamento, a distribuição espacial e atributos topográficos das regiões de estudo compõem uma medida de variabilidade e padrão dos processos atuantes. Autores como

Brown *et al* (2007), Fewtrell *et al* (2011) e Sampson *et al* (2012) discutem quanto a topografia artificial e natural do relevo e suas implicações sobre o escoamento e suscetibilidade a enchentes e inundações a depender da disposição espacial dos atributos topográficos. Mason *et al* (2007), aborda um ponto de convergência entre os autores, salienta que modelos baseados em fluxo de superfície, assim como os modelados pela ferramenta *Hydrology*, utilizada na modelagem, requer dados topográficos de alta resolução, pela influência de fatores hidráulicos como a vegetação e áreas impermeabilizadas. Os fatores hidráulicos tratados por Mason são abordados de formas distintas de acordo com cada autor e tangenciamento de diferentes análises. Na análise hidrológica, em áreas urbanas a microtopografia representa fator mais expressivo para análise.

A comparação entre os modelos Lidar e SRTM, apresenta resultados distintos. A modelagem SRTM generaliza o acúmulo de escoamento, não representa pequenos corpos hídricos e aumenta a extensão máxima e mínima da inundação; enquanto a modelagem LiDAR apresenta maior detalhamento e representação efetiva das áreas de acúmulo de escoamento, além de contemplar pequenos corpos hídricos e bifurcações no acúmulo. Fewtrell *et al* (2011) e Ozdemir *et al* (2013), apresentaram resultados semelhantes, em escala menor os modelos para enchentes em áreas urbanas apresentaram resposta a mudanças na resolução do MDE, decorrente dos efeitos do atrito (coeficiente de rugosidade) acentuados conforme a resolução e escala de análise de impactos significativos na propagação de inundações, especialmente inundações em ambientes urbanos. Isto é, em simulações com resolução mais fina o *Flow accumulation* evidencia respostas mais significativas pelos efeitos da rugosidade do relevo, advindo da representação de pequenas depressões, elevações, canais e estradas, como exemplificado pelas figuras 4 e 5.



A visualização da figura 5 ratifica a resposta do modelo ao aumento da resolução, e, também as discordâncias no resultado apresentado, é possível perceber que há determinados pontos em que o acúmulo de escoamento tem resultados inversos, com a presença de bifurcações no fluxo de escoamento e/ou fluxos contrários. Vale salientar que a sub-bacia AC1 tem uso do solo atrelado majoritariamente a agricultura com um pequeno núcleo urbano, desse modo a região necessita de gerenciamento adequado que leve em consideração as necessidades locais e dinâmica de fluxo de escoamento, assim como possíveis inundações. Gerenciamento, que pode ser atualizado e/ou reavaliado com a disponibilidade dos dados Lidar e interpolação com outros dados referentes a declividade, precipitação, pedologia e pluviosidade. Vale pontuar que as demais bacias de amostragem apresentaram os mesmos resultados e especificidades de representação de cada modelagem, especialmente sobre núcleos urbanos maiores como o de Garanhuns, o qual é representado pela bacia AC4 (figura 4).

Para além das variantes de representação e resolução do modelo, os índices fisiográficos elucidam os resultados da modelagem. A interpretação dos resultados permite entender as características as quais as sub-bacias de amostragem estão submetidas, como é possível visualizar nas tabelas 2 e 3.

É notório que a bacia do rio Una apresenta tendência maior a enchentes já no alto curso em comparação as três classes adotadas na Bacia Mundaú. Os índices de forma (K_f e K_c), indicam em quatro das sete sub-bacias totais alta propensão a enchentes ao passo que as sub-bacias do rio Mundaú têm resultado de média a baixa propensão a enchentes. É válido ressaltar que o formato da bacia é um dos índices mais expressivos para o escoamento superficial, seu valor indica não só a propensão a qual a bacia está submetida, mas a tendência a erosão e picos de vazão. Os demais índices também corroboram com os índices de forma, evidenciando os fatores hidráulicos que moldam o fluxo de água em superfície.

É crucial a representação do fluxo local, assim como as características da rede de drenagem, pois corroboram com os demais índices fisiográficos e evidenciam maiores suscetibilidades a enchentes e inundações. Tsubaki *et al* (2010), expõem essa necessidade do entendimento total do comportamento da estrutura de fluxo e de suas características para o entendimento da escala de impacto e de seus vetores, bem como sua relação as características do terreno local.

Tabela 2: Índices fisiográficos das sub-bacias de amostragem de cada classe adotada na bacia Mundaú.

Índice	Sub-bacias de amostragem																	
	Alto curso						Médio curso						Baixo curso					
	AC1	AC2	AC3	AC4	AC5	AC6	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5	MC6	BC1	BC2	BC3	BC4	BC5	BC6
A	22	18	24	36	18	20	25	18	28	30	29	31	16	14	31	13	6	18
K_f	1,6	0,6	0,4	0,5	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2	0,3	0,3	0,2	1,1	0,5	0,3
K_c	1,4	1,5	1,5	1,5	1,7	1,5	1,6	1,6	1,6	1,4	1,9	1,9	1,5	1,5	1,9	1,7	1,6	1,6
L_{axial}	3,6	5,6	7,5	8,3	9,5	7,9	7,1	8	10,2	7,9	10,7	13,1	7,5	6,4	11,3	3,4	3,6	7,5
$H_{máx}$	906	951	1046	936	877	905	745	770	832	903	805	703	70	63	762	709	666	577
H_{min}	698	739	690	684	659	542	557	527	536	521	570	382	40	37	257	479	447	263
$H_{média}$	802	845	868	810	768	723	651	648	684	712	687	542	55	50	509	594	556	420
$I_{máx}$	83	84	86	87	85	85	86	86	87	87	85	87	88	85	87	84	86	86
I_{min}	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
$I_{média}$	41	42	43	43	42	42	43	43	43	43	42	43	44	42	43	42	43	43
L_p	2,1	6,7	6,4	9	13	5	7,9	5,8	11,3	7,5	8	16,9	6,2	2	15,3	0,9	4,1	1,9
L_t	18	14	22	28	14	15	21	18	29	27	23	21	15	23	17	17	9	13
S	99	32	56	28	17	73	24	42	26	50	29	19	48	12	33	255	53	165
Dd	0,8	0,7	0,9	0,8	0,8	0,7	0,8	0,9	1	0,8	0,8	0,6	0,9	1,6	0,5	1,2	1,5	0,7
Sin	0,5	1,1	0,8	1	1,3	0,6	1,1	0,7	1,1	0,9	0,7	1,2	0,8	0,3	1,3	0,3	1,1	0,2
P_i	23	23	27	33	26	25	29	25	31	28	36	39	22	20	37	22	14	24

Tabela 3: Índices fisiográficos das sub-bacias de amostragem do alto curso Una.

Índice	Características fisiográficas - Una						
	Sub-bacias de amostragem						
	Alto curso						
	UAC1	UAC2	UAC3	UAC4	UAC5	UAC6	UAC7
A	26	44	51	50	44	44	41
K _f	0,4	0,4	0,3	0,4	1	0,2	0,4
K _c	1,3	1,4	1,3	1,9	1,3	1,6	1,3
L _{axial}	7,6	10,9	12,1	10,7	6,6	15,5	9,9
H _{máx}	914	753	739	969	1023	795	807
H _{min}	481	589	601	682	749	498	470
H _{média}	697	671	670	825	886	646	638
I _{máx}	87,6	85,4	87,4	87,6	86,6	87,1	85,9
I _{min}	0	0	0	0	0	0	0
I _{média}	43,8	42,7	43,7	43,8	43,3	43,5	42,9
L _p	10,6	11,6	12,5	12,6	6,5	17,7	1,3
L _t	25	31	37	45	37	36	31
S	41	14	11	23	42	17	259
D _d	0,9	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8	0,7
Sin	1,3	1,0	1,0	1,1	0,9	1,1	0,1
P _i	24	33	34	50	32	40	32

As diferenças nos resultados de drenagem de cada sub-bacia correspondem a influência dos fatores litológicos, variantes de relevo e declividade do terreno, a influência desses fatores molda a rede de drenagem e regem o direcionamento de fluxo nas sub-bacias, ou seja, há diferenças nas resultantes dos modelos hidrológicos de acordo com a morfometria das amostragens. As sub-bacias da bacia Mundaú apresentam em sua maioria drenagem pobre e índice de sinuosidade variante de acordo com o relevo que submete a sub-bacia; ao passo que as sub-bacias Una têm densidade de drenagem ligeiramente superior quando comparadas as do Mundaú e sinuosidade intermediária na maior parte das bacias.

As características do terreno demonstram diferenças de relevo acentuadas e alta declividade, que aliado aos padrões de ocupação do solo nas bacias têm como resultantes aumento da velocidade de escoamento, menor infiltração e consecutivamente menor quantidade d'água armazenada em subsuperfície, diminuição no tempo de concentração e maior tendência a enchentes pronunciadas a depender dos *inputs* de precipitação. Na avaliação de escalas e efeitos da rugosidade para Ozdemir *et al* (2013) um dos pontos abordados é a importância de prever e dimensionar a velocidade da inundação, este ponto é contemplado pelos índices de declividade do curso d'água principal e valores máximos, mínimos e médios de declividade do terreno, assim como as altitudes, são adições valiosas para os

estudos hídricos porque influem sobre o comportamento hidrodinâmico das sub-bacias.

Vale salientar que visto que as áreas de amostragem compreendem a pequenas sub-bacias os impactos das problemáticas podem não atingir a região efetivamente, mas, serão reverberadas ao longo da rede de drenagem da bacia. É importante ter em mente o conceito de Paz (2004), "bacia dentro de bacia", isto é, a relação expressiva entre sub-bacias e a bacia hidrografia, um vez que os processos que afetam determinadas áreas reverberam em toda bacia a depender da magnitude e escala de abordagem, a chamada área contribuinte.

Comparação entre os resultados de baixa, média e alta propensão das sub-bacias de amostragem

Ao analisar os resultados mais significativos das amostragens de cada sub-bacia pode-se perceber os padrões de fluxo na bacia e como a interpolação dos resultados morfológicos e morfométricos pode contribuir para análise detalhada dos processos atuantes sobre o escoamento, e mais, como as características de relevo e drenagem estão intrinsecamente ligados. Uma das semelhanças mais expressivas é quanto os índices de forma e o padrão de drenagem, percebe-se que as bacias de menor tendência a enchentes também têm menores índices de densidade de drenagem e comprimento do canal principal e total.

As amostragens da bacia Mundaú explicitam uma bacia de média a baixa propensão a enchentes, o relevo tem um papel significativo pois, propicia sub-bacias alongadas de declividade semelhantes

ao longo dos cursos. A bacia não apresentou resultados de alta propensão a enchentes, sendo as sub-bacias com resultados mais acentuados MC4 e BC3 (figuras 6 e 7), como exposto pela tabela 2.

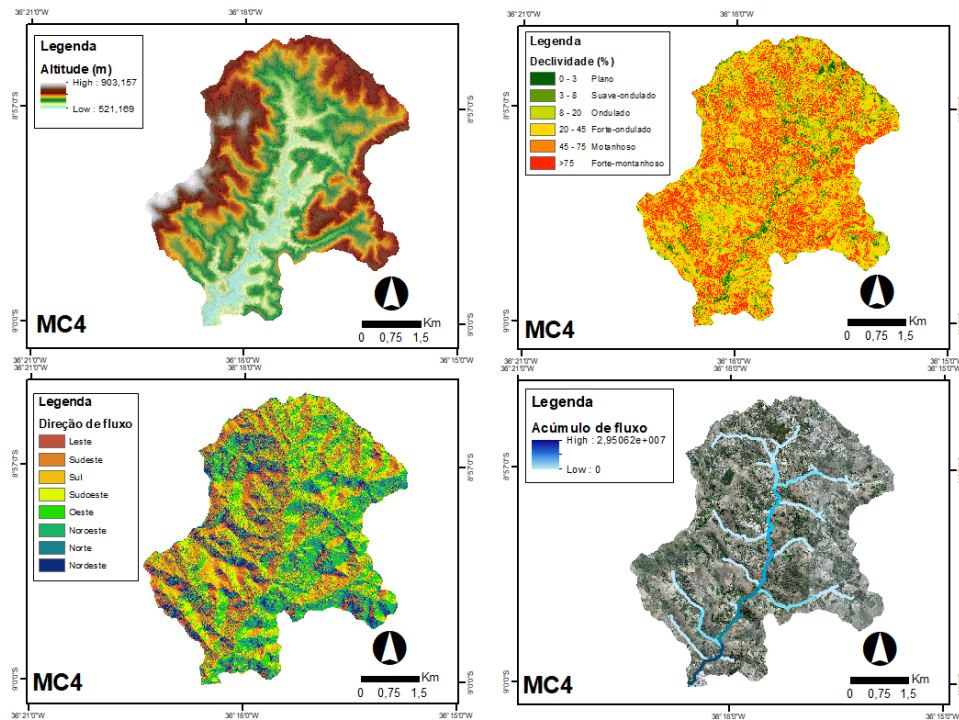


Figura 6: resultados de Altitude, Declividade, Direção de fluxo e Acúmulo de fluxo da sub-bacia de amostragem MC4. A sub-bacia em questão tem média de propensão a enchentes de acordo como os índices fisiográficos adotados. Fonte: autora.

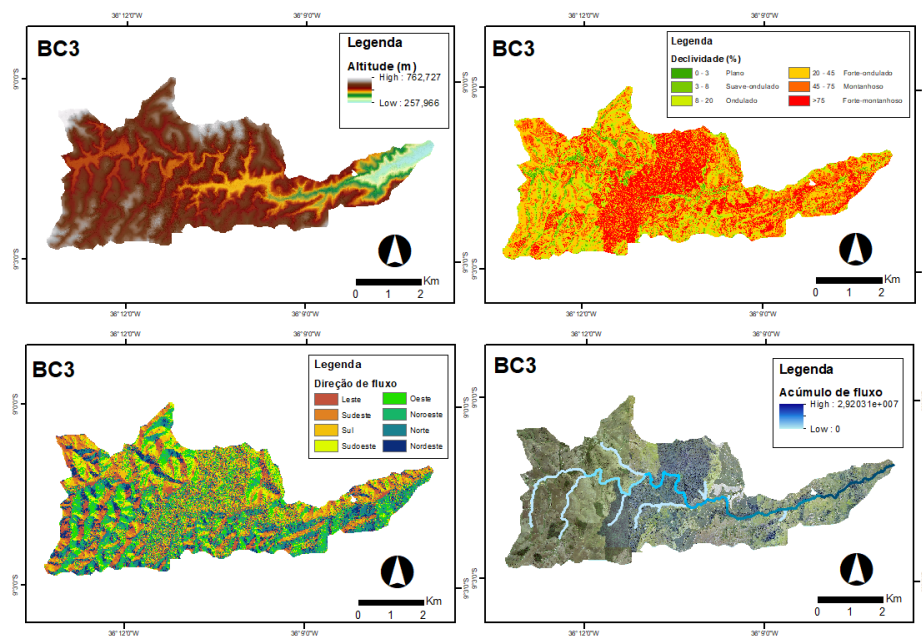


Figura 7: resultados de Altitude, Declividade, Direção de fluxo e Acúmulo de fluxo da sub-bacia de amostragem BC3. A sub-bacia BC3 em questão tem baixa propensão a enchentes de acordo com os índices fisiográficos. Fonte: autora.

A bacia MC4 (figura 6) tem formato alongado, com altitudes variantes aproximadamente 300m, o que implica em relevo declivoso entre forte-ondulado e forte-montanhoso e resultados de *Flow accumulation* que indicam fluxo de escoamento direcionado ao centro da sub-bacia. E mais, mesmo com resultado de média propensão a sub-bacia tem rede de drenagem pobre, diminuindo ainda mais a suscetibilidade e enchentes pronunciadas, por motivo da baixa eficiência na concentração do escoamento superficial no exutório da sub-bacia. Enquanto a sub-bacia BC3 (figura 7) tem formato substancialmente mais alongado em relação à anterior; com Kf e Kc de respectivamente 0,2 e 1,9, densidade de drenagem pobre e relevo declivoso, tem baixa propensão a enchentes de acordo com índices fisiográficos. Mas, é importante inferir que decorrente da ocupação dos interflúvios pela agricultura não podem ser descartadas as

possibilidades de ocorrência de enchentes na sub-bacia BC3, sobretudo pela concentração dessas áreas onde as células de acúmulo de fluxo apresentam maiores resultados, representados por tonalidades de azul mais escuro (figura 7).

As amostragens da Bacia Una apresentam resultados dos três níveis de propensão a enchentes já no alto curso, em razão do relevo ao qual a bacia está submetida, resultante de sub-bacias mais arredondadas em que a interpolação de fatores é mais propensa a enchentes proeminentes. As sub-bacias mais significativas são UAC5, UAC1 e UAC6 (figuras 8, 9 e 10). É notável o alongamento da forma das sub-bacias conforme a diminuição da propensão a enchentes, o coeficiente de compacidade indica bacias mais retangulares para as amostragens UAC1 e UAC6.

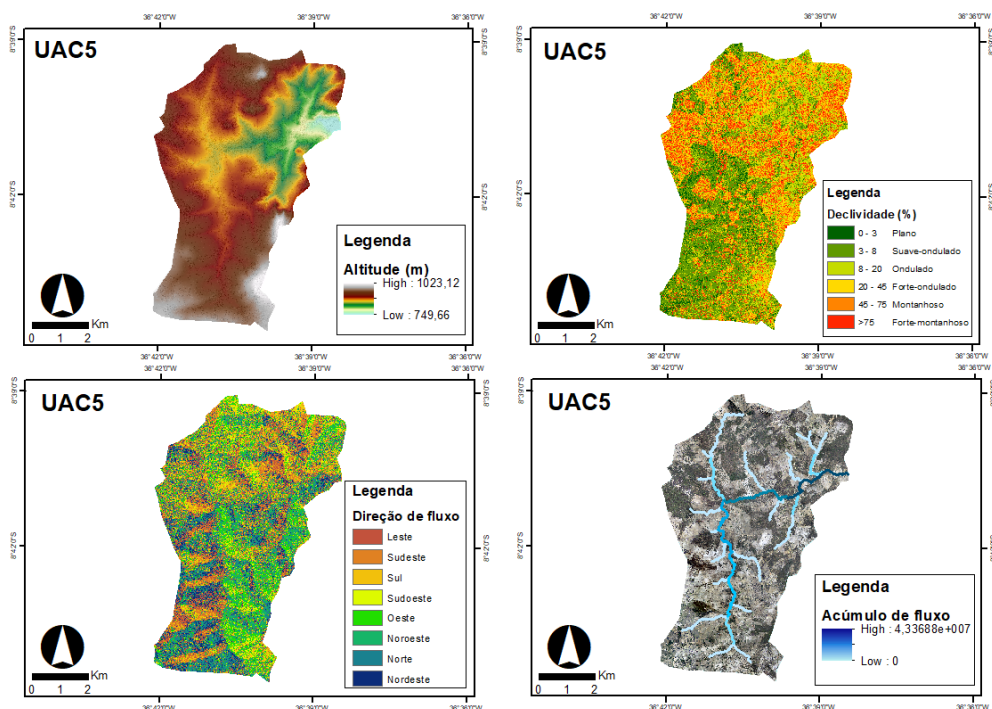


Figura 8: resultados de Altitude, Declividade, Direção de fluxo e Acúmulo de fluxo da sub-bacia de amostragem UAC5. A sub-bacia em questão tem alta propensão a enchentes de acordo com os índices fisiográficos adotados. Fonte: autora.

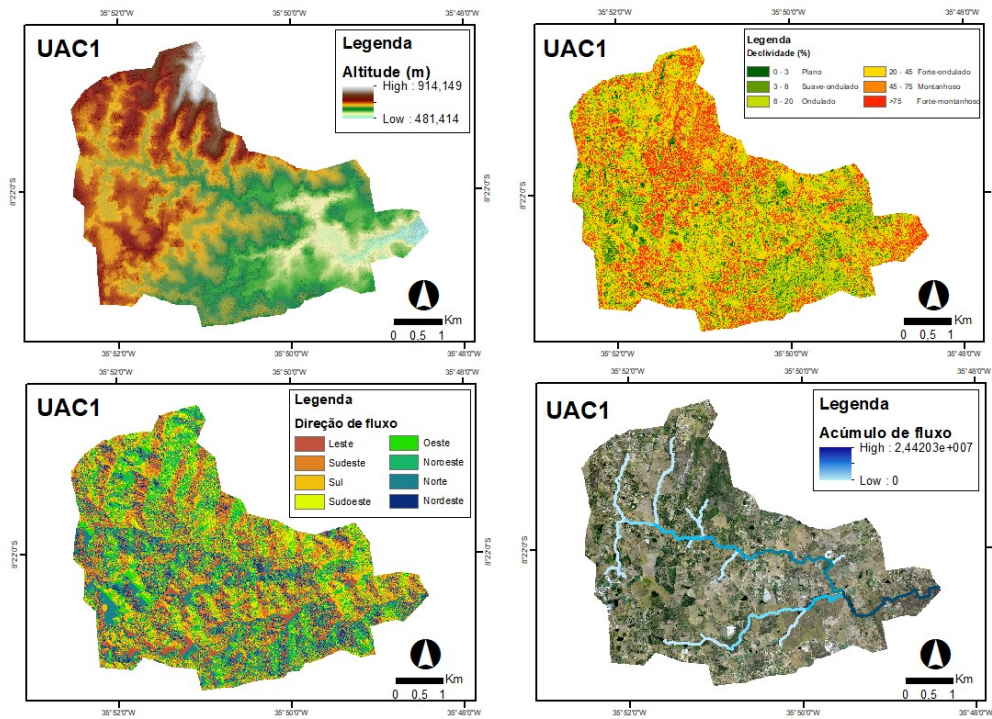


Figura 9: resultados de Altitude, Declividade, Direção de fluxo e Acúmulo de fluxo da sub-bacia de amostragem UAC1. A sub-bacia em questão tem média propensão a enchentes de acordo com os índices fisiográficos adotados. Fonte: autora.

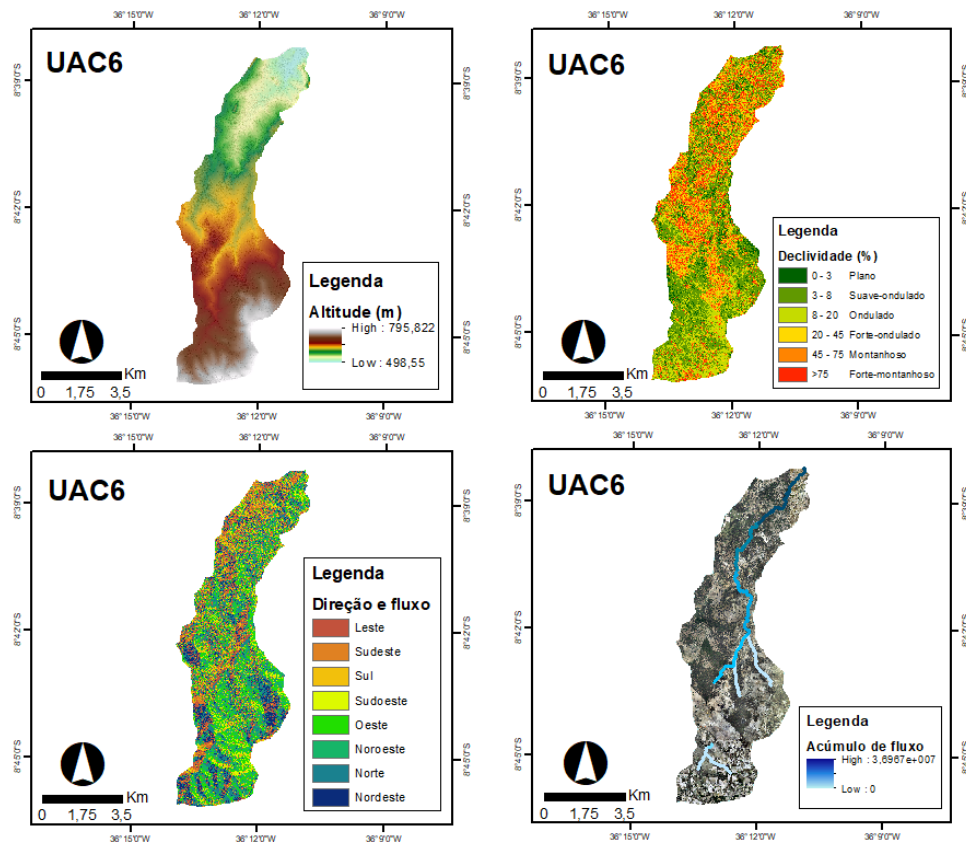


Figura 10: resultados de Altitude, Declividade, Direção de fluxo e Acúmulo de fluxo da sub-bacia de amostragem UAC6. A sub-bacia em questão tem baixa propensão a enchentes de acordo com os índices fisiográficos adotados. Fonte: autora.

A sub-bacia UAC5 (figura 8) apresenta os maiores índices de Kf e Kc, respectivamente 1 e 1,3, dentre as amostragens da bacia Una, o que finda alta propensão a enchentes. É importante ressaltar que o relevo da sub-bacia possui particularidade que suaviza o coeficiente de compacidade. De acordo com a mapa de altitude (figura 8) a sub-bacia possui uma região com altitudes elevadas e baixa declividade a Sul, uma espécie de platô responsável por suavizar o coeficiente de compacidade. Os maiores fluxos de acúmulo estão concentrados a norte da sub-bacia, área mais baixa e de maiores índices de declividade no terreno.

As sub-bacias UAC1 e UAC6 (figuras 9 e 10) tem característica semelhantes, são sub-bacias com diferenças de altitude significativas e declividade homogênea ao longo do curso, em geral variante entre forte-ondulada e montanhosa, o fator determinante para a média propensão da UAC1 e baixa propensão da UAC6 é o formato das sub-bacias. O formato da UAC1 é arredondado possui interflúvios mais largos e densidade de drenagem ligeiramente maior, ao passo que a UAC6 tem formato retangular, com interflúvios menores e menor densidade de drenagem corroborando a baixa propensão a enchentes e inundações.

Incertezas da modelagem LiDAR

Mesmo com os resultados superiores dispostos e comparação com modelagem hidrológica de baixa resolução em relação a alta resolução LiDAR, algumas regiões dentre as sub-bacias de amostragem apresentam dificuldades de representação e incoerências, sobretudo no que tange a geometria de canais sinuosos. A concentração de fluxo de escoamento (*Flow accumulation*) demonstra que a resolução dos MDEs Lidar utilizados é insuficiente para delimitar/extrair a drenagem das sub-bacias submetidas a relevos que atingiram a fase de

maturidade a senilidade ou em que a soma dos fatores topográficos torne a rede de drenagem sinuosa, como exemplo as figuras 11 e 12.

A partir dessa premissa pode-se inferir dificuldades no modelo de escoamento, pela suavização da microtopografia com alteração aos padrões de escoamento. Pesquisas detalhadas requerem dados topográficos de resolução centimétrica, uma vez que a modelagem realizada com a ferramenta *Hydrology* depende substancialmente de topografia detalhada para modelar o fluxo d'água superficial. Vale ressaltar, que mesmo com incoerências pontuais da modelagem LiDAR o modelo é sumamente superior aos modelos baseados nos demais dados topográficos disponíveis, por exemplo os baseados em MDEs SRTM.

As incertezas no fluxo local sobre topografias complexas é uma temática já contemplado por Tsubaki (2013), o autor salienta que as alterações ao coeficiente de rugosidade da planície de inundação alteram significativamente os resultados de fluxo de escoamento. Em sua pesquisa analisa três modelos representativos de terreno dentre eles uma topografia rural, a qual as sub-bacias de amostragem da presente pesquisa estão submetidas, e tem como resultado os efeitos do erro nos modelos digitais utilizados, assim como descrito pelo próprio: os erros causam uma subestimação da expansão da área inundada e uma mudança na direção do fluxo de inundação. Os menos resultados podem ser percebidos nas regiões representadas na presente pesquisa, tal qual a subestimação e fluxo contrários, como exemplo as figuras 11 e 12. Sobretudo a maior extensão do erro de delimitação de drenagem na sub-bacia BC3, onde a má representação suaviza também os índices fisiográficos adotados sobre a amostragem, em especial os que são mensurados a partir comprimento do curso do rio total e principal, como exemplo a densidade de drenagem, sinuosidade e declividade do curso de d'água principal.

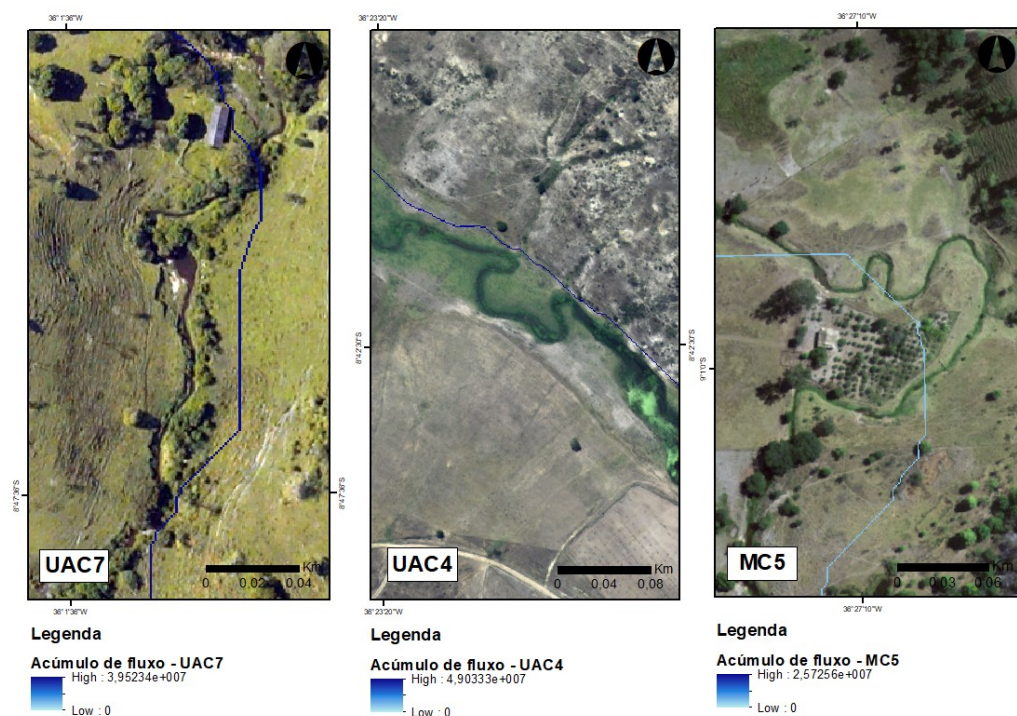


Figura 11: disparidades de representação na resposta do Flow accumulation (acúmulo de fluxo), modelado com dados Lidar, em sub-bacias de amostragem do alto curso Una e médio curso Mundaú. Fonte: autora.

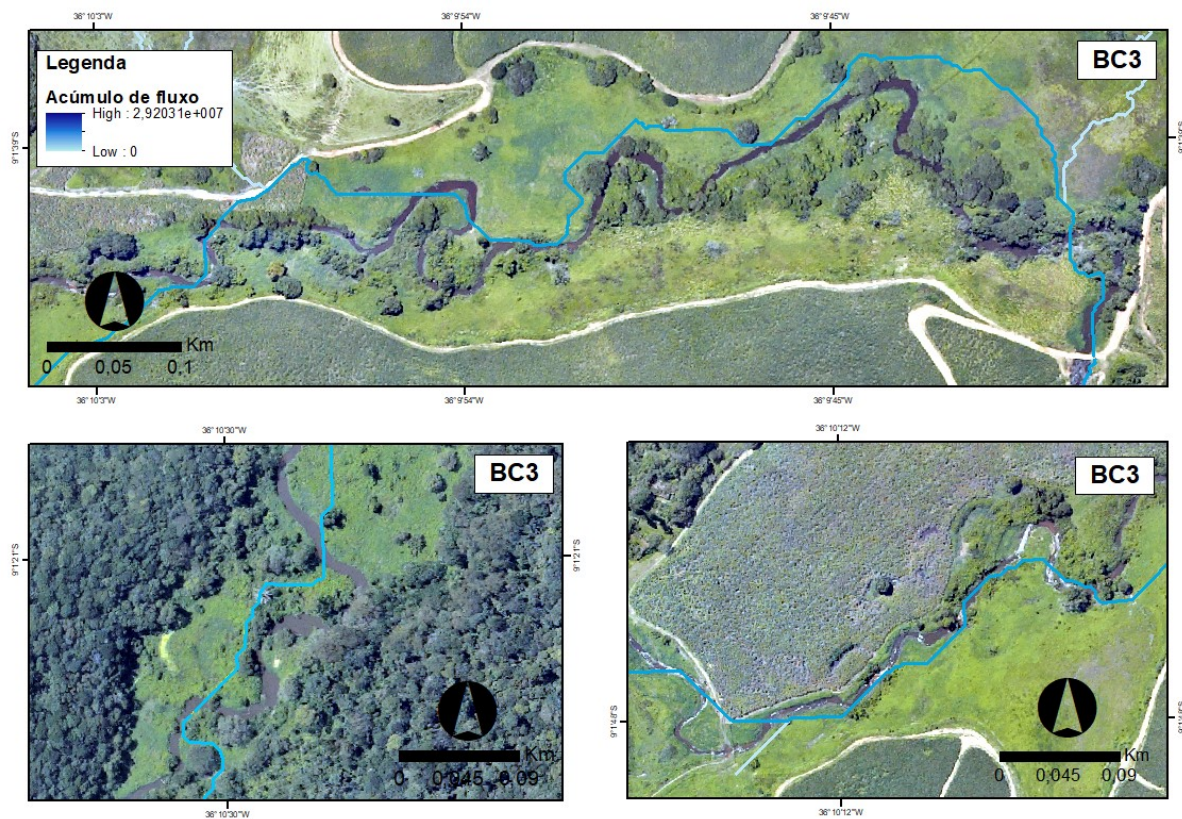


Figura 12: disparidades de representação na resposta do Flow accumulation (acúmulo de fluxo), modelado com dados Lidar, no baixo curso do rio Mundaú. Fonte: autora.

As incertezas na modelagem LiDAR, mesmo que diminutas e pontuais, afetam a caracterização fisiográfica, pois os dados numéricos extraídos da modelagem, sobre determinadas regiões, não são fidedignos e explicitam a resposta do modelo acúmulo de escoamento (*Flow accumulation*) a tendência de generalidades e má representação do fluxo e previsão do modelo a depender da sensibilidade do MDE em determinadas áreas.

Conclusão

As variáveis fisiográficas foram fundamentais para elucidação dos fatores hídricos que agem sobre o escoamento. A modelagem hidrológica embasada nos MDEs Lidar mostrou-se hidrológicamente consistente e superior a modelagem SRTM, pela abrangência de atributos que alteram o fluxo e representação fidedigna da geometria dos canais. Os atributos fisiográfico mostraram-se complementares e indissociáveis, o modelo de fluxo de escoamento não pode ser entendido sem as demais características, bem como as características sozinhas não podem ser interpretadas sem o modelo de fluxo de escoamento. Portanto, os resultados simulados podem ser aplicados pra estabelecer medidas de mitigação e desonerar obras hídricas de canalização, represamento e contenção de enchentes, e, em planos de gerenciamento das bacias hidrográficas.

Agradecimentos

A primeira autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Dedicamos ainda, agradecimentos à Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO) do Departamento de Ciências Geográficas (DCG), por todo o suporte técnico e científico.

Referências

- Brown, J. D., Spencer, T., Moeller, I., (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* [Online] (6). Disponível: doi.org/10.1029/2005WR004597.
- Bandim, C., Galvêncio, J. (2021). Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: Estudo de caso avenida Caxangá. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 1, 058-067. doi:<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p058-067>
- Brito, Pedro; Miranda, Rodrigo ; Morais, Ygor Cristiano Brito ; Costa, Valeria ; Moura, Magna ; Silva, Antonio Samuel Alves Da ; Galvêncio, Josicleda . 2021. Avaliação Da Evapotranspiração Estimada Pelo Modis E Do Balanço Hídrico Para A Bacia Do Pontal-Pernambuco. *Revista Brasileira De Geografia Física* 14, 2866-2877.
- CONDEPE/FIDEM., 2006. Bacia hidrográfica do rio Una, quarto e quinto grupos de bacias hidrográficas de pequenos rios litorâneos – GL 4 E GL 5. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco nº 3.
- Cecílio, R. A., & REIS, E. F., 2006. Apostila didática: manejo de bacias hidrográficas. Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Rural.
- EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária., 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Súmula da 10 Reunião Técnica de Levantamento de Solos.
- Fan, F. M., Pontes, P. R. M., Paiva, R. C. D. D., & Collischonn, W., 2014. Avaliação de um método de propagação de cheias em rios com aproximação inercial das equações de Saint-Venant. *Rbrh: revista brasileira de recursos hídricos*. Porto Alegre, RS. Vol. 19, n. 4 (out./dez. 2014), p. 137-147.
- Fewtrell, T. J., Duncan, A., Sampson, C. C., Neal, J. C., & Bates, P. D., 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. Disponível: doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.011.
- Galvêncio, J. D.; Miranda, Rodrigo Q. ; Moura, M. S. B.; Montenegro, Suzana Maria Gico. 2022. ADIVA-Análise De Índice De Vegetação E Água. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 15, 1654-1659.
- Galvêncio, Josiclêda Domiciano. 2021. Impacto do aumento de CO2 nas Precipitações do estado de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14, 1828-1839.
- Galvêncio, Josicleda Domiciano; Luz, G. G. . 2021. Desenvolvimento de Modelo que Estima o Impacto do CO2 Atmosférico nas Precipitações do Estado de Pernambuco, utilizando ARIMA.

- Revista Brasileira De Geografia Física, 14, 1840-1851.
- Galvêncio, Josiclêda Domiciano. 2020. Estimation Of Surface Temperature With Images Obtained With Drones. *Journal Of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 397-406.
- Galvêncio, Josiclêda Domiciano; Naue, Carine Rosa . 2020. Estimation Of Ndvi With Visible Images (Rgb) Obtained With Drones. *Journal Of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 407-420.
- Galvêncio, J. D.; Popescu, S. C. . 2016.. Measuring Individual Tree Height and Crown Diameter For Mangrove Trees With Airborne Lidar Data. *International Journal of Advanced Engineering, Management And Science*, 2, 431-443.
- Gusmao, A. C. V. L. ; Silva, B. B. ; Montenegro, S. M. G. L. ; Galvêncio, J. D. . 2012. Determinação Do Saldo Radiativo Na Ilha Do Bananal, To, Com Imagens Orbitais. *Revista Brasileira De Engenharia Agrícola E Ambiental (Online)*, 16, 1107-1114.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). 2010.Censo Brasileiro de 2010. Rio de Janeiro.
- Lacerda, A. C. ; Galvêncio, J. D. ; Morais, Y. C. B ; Pimentel ; Moura, M. S. B. 2020. Influência Topoedafoclimática Na Produção Primária Bruta No Semiárido. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 13, 3119-3135.
- Lins, Frederico Abraão Costa ; Montenegro, Abelardo Antônio De Assunção ; Farias, Carolyne Wanessa Lins De Andrade ; Chagas, Aline Maria Soares Das ; Miranda, Rodrigo De Queiroga ; Galvêncio, Josiclêda Domiciano. 2021. Análise Da Dinâmica Temporal Da Evapotranspiração Real Em Uma Bacia Hidrográfica Do Semiárido Através De Modelagem Hidrológica E Sensoriamento Remoto. *Irriga*, 26, 543-564.
- Luz, G. G., Galvêncio, J. D. 2022. Balanço de radiação com imagens captadas com Drones. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 15, 1169-1179.
- Luz, G. G., Galvêncio, J. D. 2022. Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPER. *Revista Brasileira De Geografia Física* 15, 1094-1107.
- Mason, D. C., Horritt, M. S., Hunter, N. M., & Bates, P. D., 2007. Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. *Hydrological Processes [Online]* 21(11). Disponível: <https://doi.org/10.1002/hyp.6343>.
- Machado, C.C.C.; Silva, B. B. Da; Albuquerque, Manoel B; Galvêncio, J. D. 2014. Estimativa Do Balanço De Energia Utilizando Imagens Tm-Landsat 5 E O Algoritmo Sebal No Litoral Sul De Pernambuco. *Revista Brasileira De Meteorologia (Impresso)*, 29, 55-67.
- Miranda, Rodrigo De Queiroga ; Nóbrega, Rodolfo Luiz Bezerra ; Moura, Magna Soelma Beserra De ; Raghavan, Srinivasan ; Galvêncio, Josiclêda Domiciano . 2020. Realistic And Simplified Models Of Plant And Leaf Area Indices For A Seasonally Dry Tropical Forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, 101992.
- Miranda, R. Q. Galvêncio, J. D.; Morais, Y. C. B.; Moura, M. S. B. ; Jones, C. A. ; Srinivasan, R. . 2018. Dry Forest Deforestation Dynamics In Brazil?S Pontal Basin. *Revista Caatinga*, 31, 385-395.
- Miranda, R. Q. ; Galvêncio, J. D. ; Moura, M. S. B. ; Srinivasan, R. . 2017. Paralelização Do Algoritmo Sufi2: Uma Abordagem Windows. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 1535-1544.
- Miranda, Rodrigo De Queiroga ; Galvêncio, Josiclêda Domiciano ; Moura, Magna Soelma Beserra De ; Jones, Charles Allan ; Srinivasan, Raghavan . 2017. Reliability Of Modis Evapotranspiration Products For Heterogeneous Dry Forest: A Study Case Of Caatinga. *Advances In Meteorology*, 2017, 1-14.
- Morais, Ygor Cristiano;B., Bezerra De Araújo, Maria Do Socorro ; Moura, M. S. B. ; Galvêncio, J. D. ; De Queiroga Miranda, Rodrigo. 2017. Análise Do Sequestro De Carbono Em Áreas De Caatinga Do Semiárido Pernambucano. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 32, 585-599.
- Nishiwaki, A. A. M. ;Moura, M. S. B.; Galvêncio, J. D.; Santos, C. V. B. ; Carvalho, H. F. S. . 2021, Comparison of detection methods for vegetable individuals from the Caatinga using airborne LiDAR data. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 11, 302-309.
- Ozdemir, H., Sampson, C. C., Almeida, G. A., & Bates, P. D., 2013. Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. *Hydrology and Earth System Sciences [Online]* 17(10). Disponível: doi.org/10.5194/hess-17-4015-2013
- Oliveira, T. H. ; Oliveira, J.S.S. ; Pimentel, Rejane Magalhães De Mendonça ; Galvêncio, J. D. . 2022, Spatial evolution of land use and land cover for the Tatu-Bola Wildlife Refuge - Pernambuco, using orbital images. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 12, 038-059.

- Oliveira, Leidjane Maria Maciel ; Montenegro, S. M. G. L. ; Antonino, Antônio Celso Dantas ; Silva, Bernardo Barbosa Da; Silva, B. B. Da ; Machado, C.C.C.; Galvêncio, J. D. . 2012. Análise Quantitativa De Parâmetros Biofísicos De Bacia Hidrográfica, Obtidos Por Sensoriamento Remoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira (1977. Impressa), 47, 1209-1217.
- Paz, A. R. D., 2004. Hidrologia aplicada. https://engenhariacivilfsp.files.wordpress.com/2015/03/aula-1_apostila_hidrologia_aplicada_uergs.pdf
- Paz, Y. M ; Silva, J.F ; Holanda, R. M ; Galvêncio, J. D. . 2022. Avaliação espacial da produção de sedimentos e estratégias para redução dos processos erosivos em bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. Derbyana, 43, 1-30.
- Paz, Y. M. ; Galvêncio, J. D. ; Holanda, R. M. ; Srinivasan, R. ; Jones, C. A. . 2018.. Análise De Sensibilidade E Calibração Espacial Do Modelo Swat Aplicado Em Uma Bacia Do Litoral Pernambucano Através De Dados Climáticos Observados E De Reanálise (Analysis Of Sensitivity And Calibration Of The Swat Model Applied In A Basin In Northeast Of Brazil Using Observed And Reanalysis Climatic Data). Revista Brasileira De Geografia Física, 11, 371-388.
- Rennó, C. D., & Soares, J. V., 2007. Conceitos básicos de modelagem hidrológica. Meirelles, MSP Geomática: modelos e aplicações ambientais/Editores técnicos: Margareth Simões Penello Meirelles, Gilberto Câmara e Cláudia Maria de Almeida—Brasília: Embrapa Informação Tecnológica.
- Sampson, C. C., Fewtrell, T. J., Duncan, A., Shaad, K., Horritt, M. S., & Bates, P. D., 2012. Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. Advances in Water Resources [Online] 41. Disponível: doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.02.010.
- Santos, C., Carvalho, H., Silva, M., Moura, M., & Galvêncio, J. (2020). Uso de Sensoriamento Remoto na análise da temperatura da superfície em áreas de floresta tropical sazonalmente seca. Revista Brasileira de Geografia Física, 13(3), 941-957. [doi:https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p941-957](https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p941-957)
- Santos, C. V. B. ; Moura, M. S. B. ; Carvalho, H. F. S. ; Galvêncio, J. D.; Miranda, R. Q. ; Nishiwaki, A. A. M. ; Montenegro, S. M. G. L. . 2022. Avaliação do índice de área foliar e índice de área da planta em floresta seca utilizando modelos simplificados em imagens de alta resolução com o uso de VANT. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, 12, 109-123.
- Santana, S. H. C. ; Sastres, L. F. S. ; Navarro, S. H.; Silva, E. R. A. C.; Laurentino, M. L. S.; Galvêncio, J. D. 2021. Biomass Analysis Method In A Forestfragment Of Pinus Uncinata. Mercator (Fortaleza. Online), 20, 1-9.
- Santos, M. A. F., Costa, V. S. O., Galvêncio, J. D. 2021. Secas meteorológica, agrícola, hidrológica no município de Serrinha-BA. Revista Brasileira de Climatologia, 28, 652-670.
- Santos, Cloves; Moura, Magna ; Galvêncio, Josicleda ; Carvalho, Herica ; Miranda, Rodrigo ; Montenegro, Suzana. 2021. Comparação de imagens multiespectrais utilizando Satélites e VANT para a análise de mudanças estruturais em área de Floresta Seca. Revista Brasileira de Geografia Física 14, 2510-2522.
- Sá, Carlos André De Souza ; De Moura, Magna Soelma Beserra ; Galvêncio, J. D. ; Miranda, R. Q. ; Da Silva, Marcelo José; Dos Santos, Cloves Vilas Boas. 2021. Detecção Semiautomática De Árvores Em Pomar De Mangueira Irrigada A Partir De Imagens Obtidas Por Drone. Irriga, 26, 507-524.
- Stipp, N. A. F., Campos, R. A., & Caviglione, J. H., 2010. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Taquara—Uma contribuição para o estudo das ciências ambientais. Portal de Cartografia das Geociências, 3(1), 105-124.
- Silva, J., Galvêncio, J., Miranda, R., & Moura, M. (2021). Modelos da Produtividade Primária Bruta em área de floresta tropical em sazonalmente seca, usando dados reflectância da vegetação de caatinga. Revista Brasileira de Geografia Física, 14(6), 3775-3784. [doi:https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3775-3784](https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3775-3784)
- Silva, Bernardo Barbosa; Montenegro, Susana Maria Gico Lima ; Da Silva, Vicente De Paulo Rodrigues ; Da Rocha, Humberto Ribeiro ; Galvêncio, Josicleda Domiciano ; De Oliveira, Leidjane Maria Maciel. 2015. Determination Of Instantaneous And Daily Net Radiation From Tm - Landsat 5 Data In A Subtropical Watershed. Journal Of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 135, 42-49.
- Silva, D. F. D., 2009. Análise de aspectos climatológicos, agroecômicos, ambientais e de seus efeitos sobre a bacia hidrográfica do rio Mundaú (AL e PE).
- Silva, B. B.; Galvêncio, Josicleda D.; Montenegro, S. M. G. L.; Machado, C. C. C.; Oliveira, Leidjane Maria Maciel; Moura, Magna Soelma Beserra De . 2013. Determinação Por

- Sensoriamento Remoto Da Produtividade Primária Bruta Do Perímetro Irrigado São Gonçalo-PB. Revista Brasileira De Meteorologia (Impresso) 28, 57-64.
- Silva, B. B. Da; Silva, Bernardo Barbosa Da; Braga, Alexandra Chaves; Braga, C. C.; Oliveira, Leidjane Maria Maciel; Galvêncio, J. D.; Montenegro, S. M. G. L. 2012. Evapotranspiração E Estimativa Da Água Consumida Em Perímetro Irrigado Do Semiárido Brasileiro Por Sensoriamento Remoto. Pesquisa Agropecuária Brasileira (1977. Impressa) 47, 1218-1226.
- Soares, Gabriel Antonio Silva, Galvêncio, Josiclêda 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, 3659-3674.
- SUDENE., 1999. Plano diretor de recursos hídricos da bacia do rio Mundaú. Secretaria de Recursos Hídricos, Governo do estado de Pernambuco.
- Tsubaki, R., & Fujita, I., 2010. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. Hydrological Processes [Online] 24(11). Disponível: doi.org/10.1002/hyp.7608.
- Tsubaki, R., & Kawahara, Y., 2013. The uncertainty of local flow parameters during inundation flow over complex topographies with elevation errors. Journal of Hydrology, 486, 71-87.