

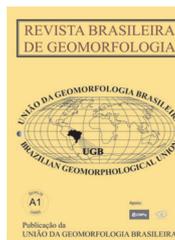


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 21, n° 4 (2020)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i4.1920>



HIDROGEOMORFOLOGIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO GUAMÁ - AMAZÔNIA ORIENTAL - BRASIL

HYDROGEOMORPHOLOGY OF THE GUAMÁ RIVER BASIN - EASTERN AMAZON - BRAZIL

Nicolau Akio Kubota

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará
Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, Pará. CEP: 66075-110. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8745-2370>
E-mail: nickubota@gmail.com*

Aline Maria Meiguins de Lima

*Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará
Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, Pará. CEP: 66075-110. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0594-0187>
E-mail: ameiguins@ufpa.br*

Nívia Cristina Vieira Rocha

*Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará
Avenida Augusto Corrêa, 01, Belém, Pará. CEP: 66075-110. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9808-5716>
E-mail: niviavieira.ciamb@gmail.com*

Isabela Farias Lima

*Instituto Tecnológico Vale
Avenida Boaventura da Silva, 955, Belém, Pará. CEP: 66055-090. Brasil
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2206-7110>
E-mail: isabelafariaslimaa@gmail.com*

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
01/05/2020
Aceito (Accepted):
19/06/2020

Palavras-chave:

Unidade de Paisagem; Escoamento Superficial; Vulnerabilidade.

Keywords:

Landscape Unity; Runoff; Vulnerability.

Resumo:

A bacia do rio Guamá, localizada no nordeste do estado do Pará, de relevante significado socioeconômico e ambiental para região, foi caracterizada em função da sua resposta hidrogeomorfológica utilizando a delimitação em Unidades de Paisagem, que representam o produto da interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico responsáveis pela sua dinâmica. A metodologia constou da integração cartográfica em Sistema de Informações Geográficas (SIG), associando os aspectos relativos a paisagem natural - as unidades geológicas, geomorfológicas, da rede de drenagem e a distribuição da precipitação pluviométrica; e o produto das formas de intervenção antrópica, na forma de uso e ocupação da terra. Os resultados obtidos revelaram que a região apresenta uma dinâmica natural crescente do Alto para o Baixo Guamá,

com variações de graus de vulnerabilidade das sub-bacias afluentes. As unidades geomorfológicas presentes são fortemente associadas ao controle litoestrutural, assim como a rede de drenagem, que é a principal definidora do escoamento superficial e do grau de dissecação/acumulação das formas de relevo.

Abstract:

The Guamá River basin, in the northeast of the state of Pará, with relevant socioeconomic and environmental significance, was described by its hydrogeomorphological response using the delimitation in Landscape Units, which represent the product of the interaction between the various attributes of the natural system and the anthropic system responsible for its dynamics. The methodology used cartographic analysis, in geographic information system (GIS), between natural landscape aspects (geological, geomorphological, drainage network, rainfall) and anthropic components (land use and occupation). The results obtained show an increase of natural dynamics from higher to lower Guamá, with variations in the degrees of the vulnerability of affluent sub-basins. The geomorphological units present are strongly associated with lithostructural control, as well as the drainage network. They define the surface runoff and the degree of dissection/accumulation of the relief forms.

Introdução

A bacia hidrográfica é a unidade ideal para a gestão de recursos naturais e para mitigação do impacto de desastres naturais e de origem antrópica (DAS, 2015). A análise do comportamento hidrogeomorfológico de bacias hidrográficas é importante, dentre outros aspectos, para o planejamento do uso dos recursos hídricos, uma vez que permite avaliar as características da bacia em termos de declividade, topografia, condição do solo, características de escoamento superficial e subterrâneo e outras. (SUKRISTIYANTI *et al.*, 2018). Destaca-se como estudos precursores os de Horton (1945), Strahler (1952) e Schumm (1963), e atualmente, o uso potencial de ferramentas como Sistemas de Informação Geográfica (GIS) e Sensoriamento Remoto (RS) que permitem investigar as características físicas da bacia hidrográfica de forma mais integrada a um grande número de variáveis, incluindo as formas de uso e cobertura da terra (NIKHIL RAJ; AZEEZ, 2012).

O arranjo de fluxos em um sistema de drenagem indica um padrão que sucessivamente se relaciona ao controle litoestrutural das rochas subjacentes. Assim, a morfologia da bacia de drenagem reflete os variados processos geológicos e geomorfológicos que condicionam a configuração do relevo ao longo do tempo (KULKARNI, 2015). O critério de análise da paisagem, no sentido de “Unidades de Paisagens Naturais”, neste contexto representa um ambiente dinâmico, sistêmico, com trocas de energia e matéria, em que se desenvolve o ser humano como ser social, não exclui a ação antrópica (MAXIMIANO, 2004). E sua resposta hidrogeomorfológica, possibilita, dessa forma, sua ava-

liação quantitativa em termos da conservação do solo e da água no contexto de gestão de recursos naturais (KULKARNI, 2015). As classificações hierárquicas adotadas dependem do contexto e cada ontologia (propriedade intrínseca) de domínio de formas de relevo (GUILBERT *et al.*, 2016).

Os modelos digitais de elevação (MDE), na avaliação das características do relevo, têm sido usados para gerar redes de fluxo que são utilizadas para deduzir parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas, tais como, ordem dos canais, comprimento dos canais, relação de bifurcação, densidade de drenagem, frequência de canais, textura de drenagem, fator de forma, coeficiente de manutenção e fator de forma (ALTAFF *et al.*, 2013; MOKARRAM; AMOORTHY, 2015). Nesse sentido, a abordagem baseada em GIS facilita a análise desses diferentes parâmetros morfométricos e explora a relação entre a morfometria da rede de drenagem e as propriedades das geoformas (*landforms*), solos e áreas erodidas (PARETA; PARETA, 2012).

A avaliação morfométrica das bacias hidrográficas ainda permite elaborar um diagnóstico hidrológico primário de modo a prever o seu comportamento aproximado acoplado à geomorfologia e geologia (DAS, 2015). Possibilita adquirir dados mensuráveis da rede de fluxo da bacia de drenagem, que podem ser associados a vários fenômenos hidrológicos correlacionados às características fisiográficas (RAI *et al.*, 2017). As técnicas de geomorfologia quantitativa são satisfatórias para a maioria das bacias hidrográficas, no entanto sua aplicabilidade depende do padrão pluviométrico, da litoestrutura, do tipo de solo e do padrão de uso da terra de cada bacia

considerada (APARNA *et al.*, 2015). Isto implica que de forma individual a análise morfométrica pode não explicar todas as variações observadas, existindo a necessidade da agregação de outras variáveis, principalmente em bacias hidrográficas com forte grau de antropismo.

A bacia do rio Guamá representa a mais importante unidade hídrica da Região Metropolitana de Belém (RMB) e do Nordeste do Estado do Pará, onde a relação entre os parâmetros geomorfológicos e sua resposta hidrológica encontra como fator limitante o recobrimento insuficiente dos rios amazônicos por postos de monitoramento fluviométricos (ROCHA; LIMA, 2020), tornando assim, necessário aplicar modelos matemáticos ou de caracterização das condições de escoamento superficial (ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017). Nesta abordagem, busca-se identificar a resposta hidrogeomorfológica das bacias hidrográficas afluentes do rio Guamá, considerando a delimitação de Unidades de Paisagem, que representem a interação entre os diversos atributos do sistema natural e do sistema antrópico responsáveis pela sua dinâmica.

Materiais e método

A bacia hidrográfica do rio Guamá localiza-se no nordeste do Estado do Pará, onde estão inseridos 19 municípios. A unidade hídrica que compõe a totalidade da bacia do rio Guamá é formada por um conjunto de sub-bacias. Porém, dadas as suas dimensões tem comportamento e dinâmicas próprias, por este motivo, se destaca apenas a bacia principal, que é representada pela área drenada pelo rio Guamá. A Figura 1 apresenta a divisão das sub-bacias e a Tabela 1 os trabalhos referentes elaborados para cada uma.

O rio Capim é o principal afluente do rio Guamá, drenando uma menor área do território maranhense. O rio Moju e o rio Acará apresentam sua foz integrada a do rio Guamá, todos com regime de maré associado. A Agência Nacional de Águas (ANA, 2004) admite inclusive a denominação Bacia do Guamá-Capim em função da expressão areal da bacia do rio Capim, que por ultrapassar o limite estadual é considerada uma bacia federal.

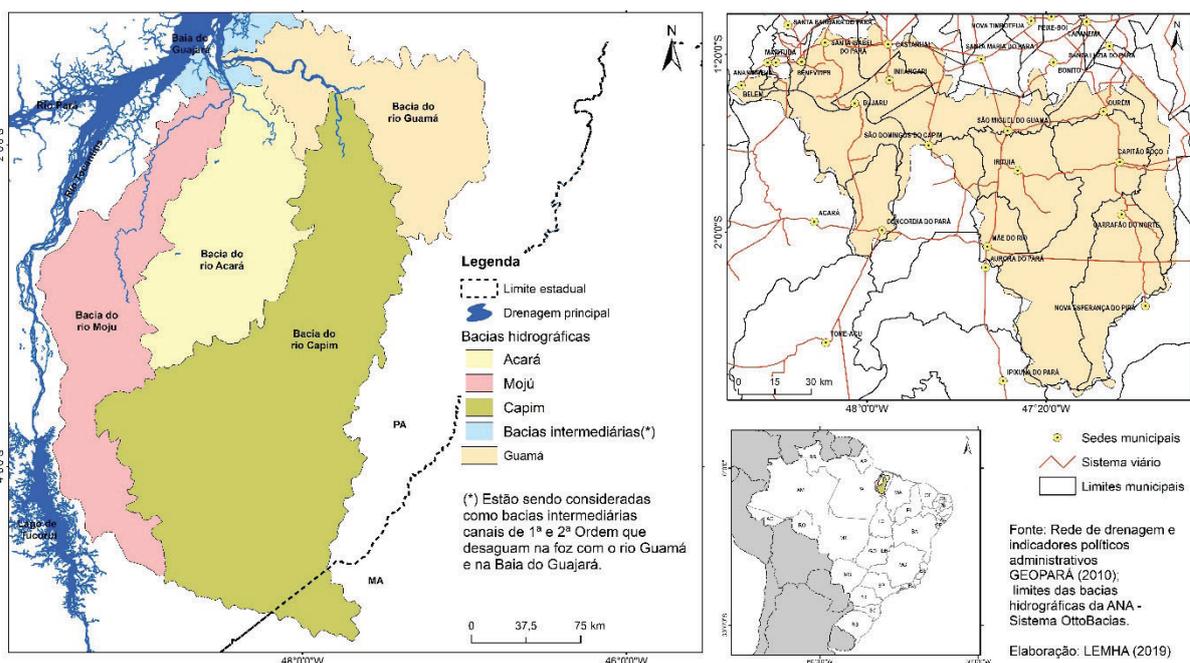


Figura 1 - Mapa de localização da Bacia hidrográfica do Guamá.

Tabela 1: Dimensões das bacias hidrográficas e trabalhos de referência.

Bacias hidrográficas	Área	Referências bases
Rio Guamá	12584 km ²	Rocha (2017), Rocha e Lima (2020)
Rio Capim	37262 km ²	Lima e Ponte (2012)
Rio Acará	13569 km ²	Dias e Lima (2019)
Rio Moju	15727 km ²	Ferreira et al. (2020)

Na elaboração deste trabalho foram utilizadas as seguintes bases de dados vetoriais em ambiente SIG (Sistemas de Informação Geográfica):

- Modelo Digital de Elevação (MDE), produzido pela missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 metros, disponível no site da USGS (*United States Geological Survey*).

- Mapa geológico do Estado do Pará, elaborado pela CPRM (Serviço Geológico do Brasil), na escala de 1:1.000.000, no Programa Geologia do Brasil, Integração, Atualização e Difusão de Dados da Geologia do Brasil, Mapas Geológicos Estaduais.

- Rede de drenagem, escala 1:250.000, detalhada para a área de estudo, associada ao sistema de Otto Bacias, da Agência Nacional de Águas (ANA) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

- Dados de 19 estações pluviométricas obtidas pelo satélite meteorológico GPCC (*Global Precipitation Climatology Centre*), da série histórica 1985 a 2015, disponível no domínio da ESRL (*NOAA Earth System Research Laboratories*). Informação quanto ao uso destes para a América do Sul pode obtida em trabalhos como de Negrón-Juaréz *et al.* (2009) e Schneider *et al.* (2015).

- Carta de uso e cobertura da terra obtida pela plataforma *Google Earth Engine*, associada a Fusão de imagens: MCD12Q1.A2016001.h13v09.006, MODIS, de janeiro a dezembro de 2016; com o Global Forest/Non-Forest Map (FNF) gerado pela classificação de imagens SAR, com 25

metros de resolução, PALSAR-2/PALSAR SAR mosaico, de janeiro a dezembro de 2017. Onde a classe “floresta” é definida para áreas de floresta maiores que 0,5 hectares e acima de 10% de cobertura (SHIMADA *et al.*, 2014).

Todos os produtos cartográficos foram associados ao Datum SIRGAS 2000 e processados no Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA), do Instituto de Geociências da UFPA. Como no estudo da hidrogeomorfologia ainda não existe um padrão metodológico único (GOERL *et al.*, 2012), havendo diferentes procedimentos adaptados aos objetivos propostos para cada pesquisa, neste trabalho utilizou-se os descritos em Araújo *et al.* (2015), que se baseiam na caracterização, análise e avaliação dos atributos dos diferentes conjuntos de geformas, tomando como critério fundamental as características geológicas, geomorfológicas e hidrológicas da bacia. Foram adotados a identificação visual (rugosidade) dos padrões de geforma semelhantes e os critérios descritivos das formas de relevo (ROSS, 1992; IBGE, 2009) (Figura 2). Em termos de nomenclatura e elementos descritivos bases foram utilizados os trabalhos de IBGE (2009) e Dantas e Teixeira (2013).

A caracterização morfométrica da bacia foi feita conforme definido e descrito em Pareta e Pareta (2012); Altaf *et al.* (2013), Kulkarni (2013), Oruonye *et al.* (2016) e Abdel-Fattah *et al.* (2017), pelo qual foram selecionados os parâmetros de maior correlação positiva (Tabela 2), em que as bases teóricas são vinculadas principalmente a Christofolletti (1980).

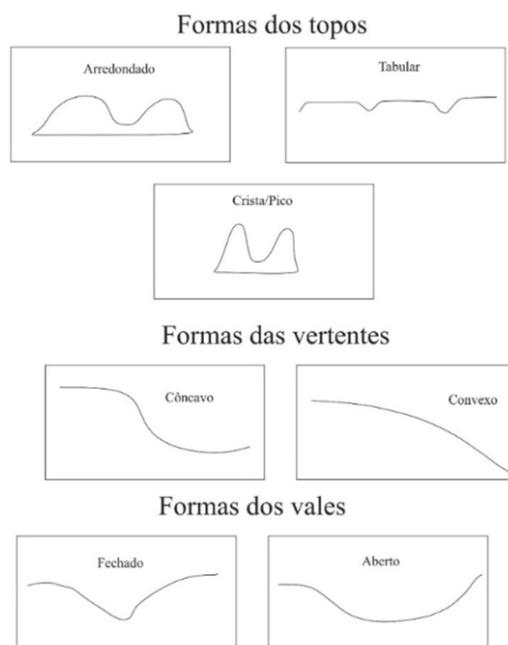


Figura 2 - Representação das geometrias de relevo, modificado de Araújo *et al.* (2015).

Tabela 2: Formulação de parâmetros morfométricos, com base em: Pareta e Pareta (2012), Altaf et al. (2013), Aravinda e Balakrishna (2013).

Parâmetros Morfométricos	Fórmulas	Observação
<i>A</i>	Área da bacia (Km ²)	
<i>Lb</i>	Comprimento da bacia tomado pelo seu curso mais longo (Km)	
<i>P</i>	Perímetro (Km)	
<i>Emax</i>	Maior eixo da bacia (Km)	
<i>Emen</i>	Menor eixo da bacia (Km)	
<i>Lu</i>	Comprimento total dos canais (Km)	
<i>n</i>	Número total de canais	
<i>n₁</i>	Número total de canais de primeira ordem	
<i>n₂</i>	Número total de canais de segunda ordem	
Δa	Amplitude altimétrica (m)	
Ordem dos canais	Foi seguido o procedimento de Strahler (1952).	
Índice de forma (Sw)	$Sw = Lb^2 / A$	Valores mais próximos de 1, sugerem comportamento mais circular da bacia; mais próximo de 0, a bacia tende a um padrão alongado.
Fator de Forma (K)	$K = A / Lb^2$	
Índice de Circularidade (Rc)	$Rc = 4\pi(\frac{A}{P^2})$	
Razão de Circularidade (Rcn)	$Rcn = A/P$	
Índice de forma equivalente ou Índice de Compacidade (Kc)	$Kc = 0,282(\frac{A}{P^{1,72}})$	Quanto mais irregular for a bacia, maior será o valor associado.
Lemniscate's (k)	$K = Emax^2 / A$	Quanto maior o valor, mais irregular é a forma da bacia e mais heterogênea pode ser a rede.
Razão de Elongação (Re)	$Re = A / Lb$	
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = Lu / A$	Quanto maior o valor, maior o grau de retrabalhamento da bacia pela rede de drenagem.
Frequência dos canais (Fs)	$Dh = n / A$	
Intensidade de Drenagem (Di)	$Di = Fs / Dd$	
Gradiente de canais (G)	$Di = \Delta a / Lu$	Quanto maior o valor, maior o efeito da altimetria no relevo e no comportamento da rede de drenagem.
Índice de Eficiência de Drenagem (IED)	$IED = G \times Dd$	
Rugosidade (Rn)	$Rn = \Delta a / Dd$	
Textura de Drenagem (Dt)	$Dt = n / P$	Quanto maior o valor, maior o grau de retrabalhamento da bacia pela rede de drenagem.
Razão de Textura (T)	$T = n_1 / P$	
Textura topográfica (Tt)	$Tt = 10^{(0,219649 + 1,115 \log Dd)}$	
Índice de Canal (Ci)	$Ci = Lu / Emen$	Quanto maior o valor, maior o recobrimento da rede de drenagem.
Razão de comprimento (Re)	$Re = Lb / P$	
Extensão do percurso superficial (Eps)	$Eps = A / 2Lu$	Quanto maior o valor, menor o recobrimento da rede de drenagem.
Número de Infiltração (If)	$If = Fs \times Dd$	Valores altos favorecem o potencial de infiltração.
Coefficiente de Manutenção (Cm)	$Cm = A / Lu$	Determina a área mínima necessária para a manutenção de 1 m de canal de escoamento permanente.
Índice de sinuosidade (Si)	$Is = Lu / Emax$	Quanto maior o valor, mais o curso grada de sinuoso para meandrante. E quanto menor, mais retilíneo.
Relação de bifurcação (Rb _{1,2})	$Rb_{1,2} = n_1 / n_2$	Quanto maior o valor, maior o controle estrutural.

De forma complementar foi trabalhada a textura da superfície do terreno (*Terrain Surface Texture*) de Iwahashi e Pike (2007), que representa um procedimento interativo (em ambiente QGIS), que implementa a classificação da topografia contínua, com base em 3

critérios taxonômicos: gradiente topográfico, convexidade local e textura da superfície, calculados a partir de um modelo de elevação digital de elevação (MDE). A Figura 3 ilustra os procedimentos de análise adotados.

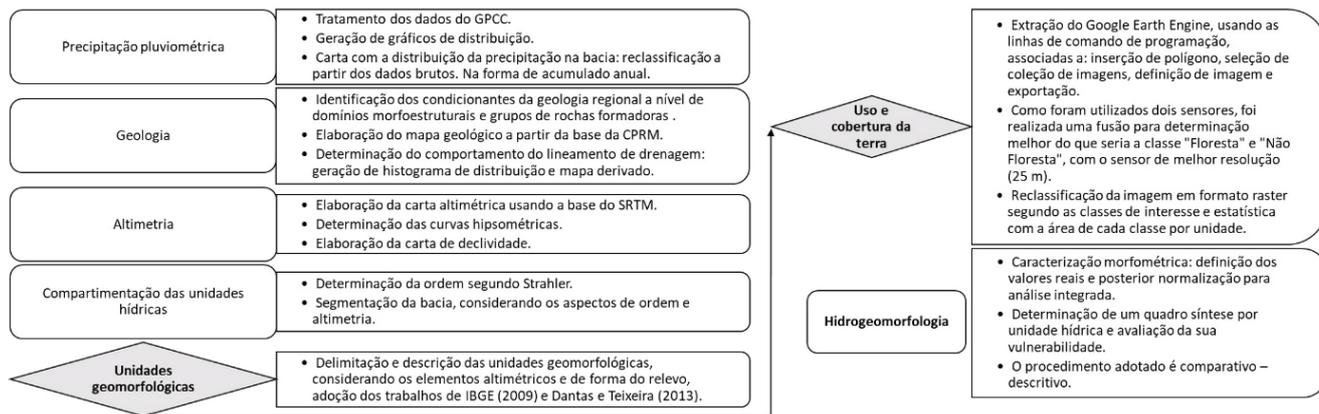


Figura 3 - Procedimentos adotados.

No presente trabalho, metodologicamente adotou-se a compartimentação da bacia em sub-unidades, que caracterizam as principais bacias afluentes e a segmentação do curso principal do rio Guamá, a mesma adotada por Rocha (2017). A primeira etapa foi a definição da Ordem dos Canais segundo o sistema de codificação de Strahler (1952). Ressalte-se que esta ordem é relativa à escala de trabalho, neste caso a rede foi adaptada (adensada) de IBGE (2017), originalmente foi digitalizada na escala 1:250.000, e a bacia do rio Capim não foi associada.

A base cartográfica passou a constituir um SIG onde na forma de tabelas, cujos dados vetoriais e rasterizados foram executados por meio de diversos procedimentos de análise (interseção, superposição cartográfica, reclassificação). Em relação ao suporte estatístico nas análises, foram usados os elementos de estatística básica: média, mediana, quartil e histogramas de distribuição; sendo que na análise da altimetria foram

elaboradas curvas hipsométricas, seguindo as orientações constantes em Pareta e Pareta (2012).

Resultados e discussão

A distribuição pluviométrica da região é apresentada em termos de médias mensais (Figura 4) e totais anuais (Figura 5) para o período de análise. Tais dados, contribuem para classificar o clima da região que pode variar entre *Af* (clima tropical úmido ou equatorial), *Aw* (clima subtropical com chuvas de inverno) e *Amw* (clima de monção com chuvas de inverno) conforme a classificação de Köppen, sendo compreendida como a Zona Tropical Chuvosa, com maior incidência de chuvas no período de janeiro a maio e o mais seco de agosto a outubro. As temperaturas variam de 38 °C a 22 °C, com precipitação média em torno de 2000 mm³.ano⁻¹ e unidade relativa do ar aproximada de 85% (FISCH *et al.*, 1998). A Figura 5 ilustra que os maiores volumes de chuva se concentram próximo a foz e os menores nas cabeceiras, que vão marcar o Alto rio Guamá.

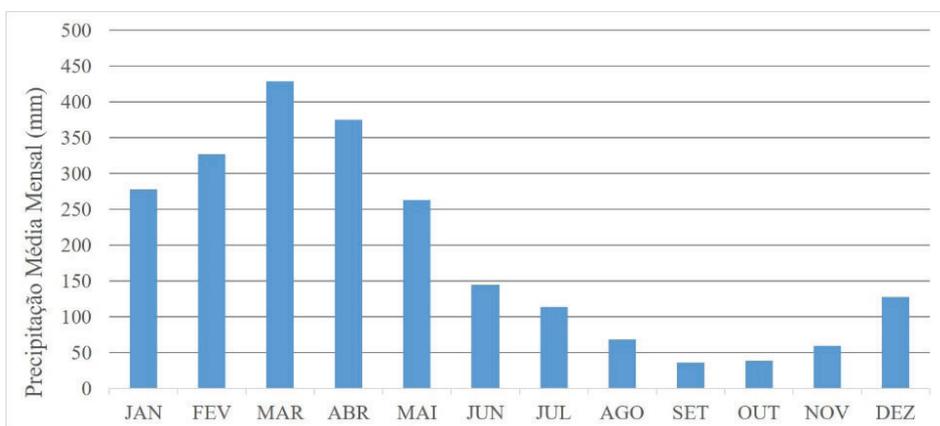


Figura 4 - Precipitação média mensal da série histórica de 1985-2015 e média da série histórica. Fonte: Base do GPCC.

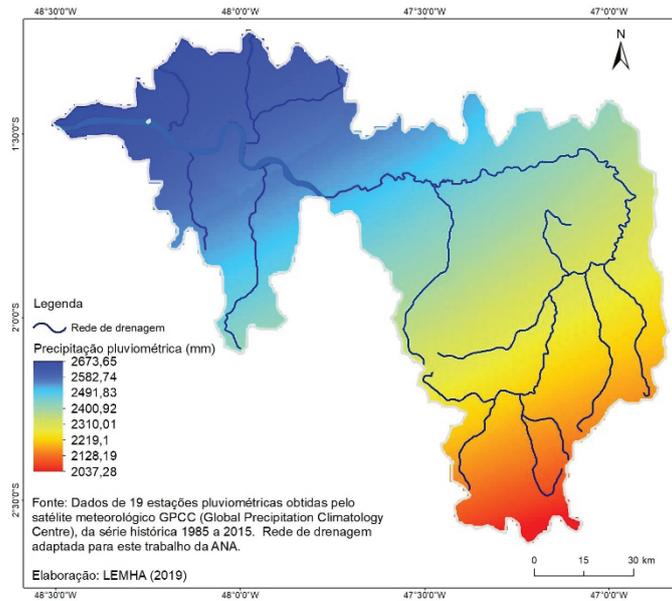


Figura 5 - Distribuição da Precipitação Pluviométrica na bacia do rio Guamá.

A região apresenta um período menos chuvoso de agosto a novembro e um período mais chuvoso de fevereiro a abril. No período menos chuvoso a precipitação média mensal fica em torno de 50,9 mm, enquanto no período mais chuvoso, a média mensal de chuva atinge 377 mm. Assim, o período chuvoso favorece o escoamento superficial, em decorrência do alto índice pluviométrico, mas depende da variabilidade da estrutura geológica da região, que pode induzir tanto o potencial direto de escoar, quanto o de infiltrar.

As unidades geológicas da bacia hidrográfica são representadas, segundo Vasquez e Costa (2008)

e Rocha (2017), por rochas da Bacia do Grajaú (S-ESE), Bacia do Marajó (WSW), Bacia do Parnaíba (N), Cinturão Gurupi (NE) e pela Plataforma do Pará e Bragançina (Figura 6). Rossetti (2006) compartimenta a região em: depósitos miocênicos representados pelas formações Pirabas (Neo-Oligoceno/Eomioceno) e Barreiras (Meso a Neomioceno), em diferentes contextos estruturais ao norte da Bacia de São Luís, centro-leste da sub-bacia de Cameté, na porção leste do Sistema de Graben do Marajó e na Bacia de Bragança-Vizeu; representando estruturas alongadas segundo a direção NE-SE (Figura 7).

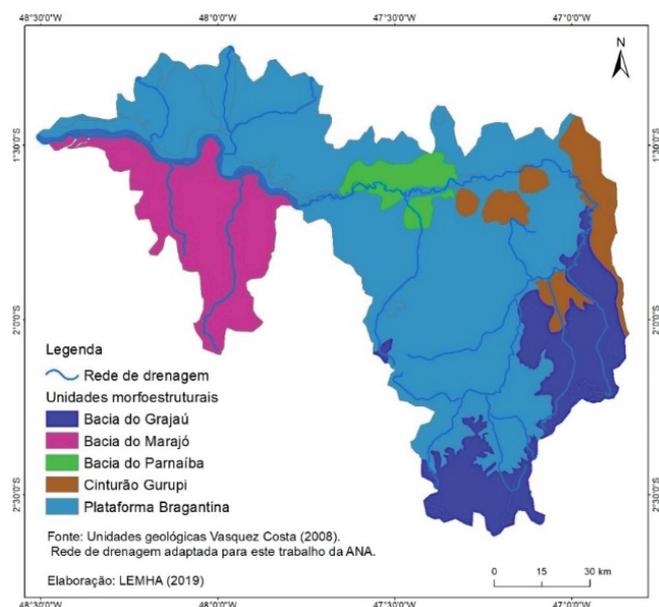


Figura 6 - Unidades Morfoestruturais componentes da bacia do rio Guamá.

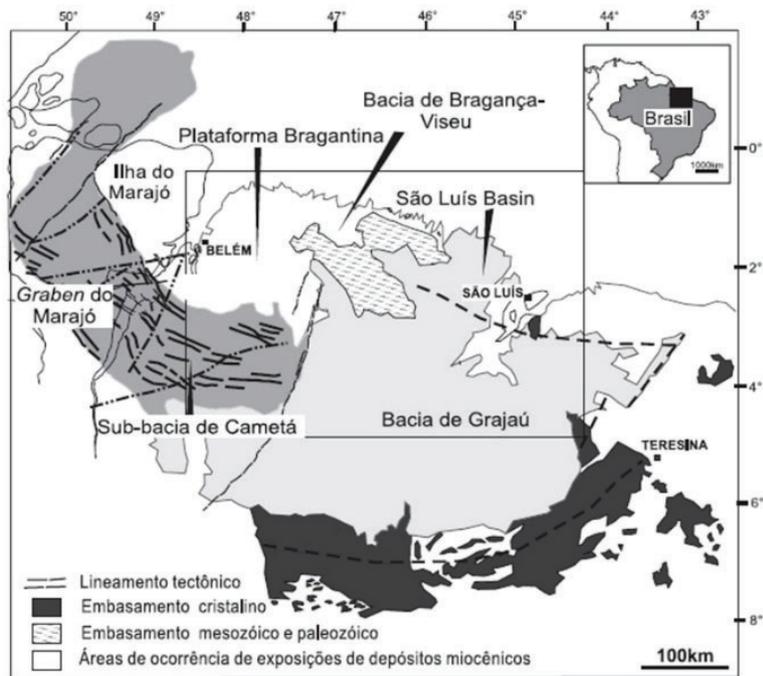


Figura 7 - Bacias sedimentares e plataformas na região nordeste do Pará e Oeste do Maranhão. Fonte: Rossetti (2006).

João et al. (2013) descrevem a mesma região como formada por domínios pré-cambrianos do Fragmento Cratônico São Luís, Cinturão Gurupi e da Província Parnaíba, sendo constituída principalmente pelas unidades: Plataformas Cenozoicas - Plataforma Pará (PPA) e Plataforma Bragantina (PBR); e pelas Bacias Sedimentares do Bacia do Parnaíba (BPR) e Bacia do Grajaú (BGR). A Figura 8 apresenta as unidades componentes

conforme descrito por Vasquez e Costa (2008). Estas representam coberturas sedimentares formadas por um conjunto heterogêneo (arenitos, siltitos, argilitos, folhelhos), além de coberturas arenosas, de cascalho e lateríticas. A borda leste é predominantemente formada por rochas ígneas e metamórficas diversas vinculadas a Bacia do Grajaú e ao Cinturão Gurupi (Figura 9).

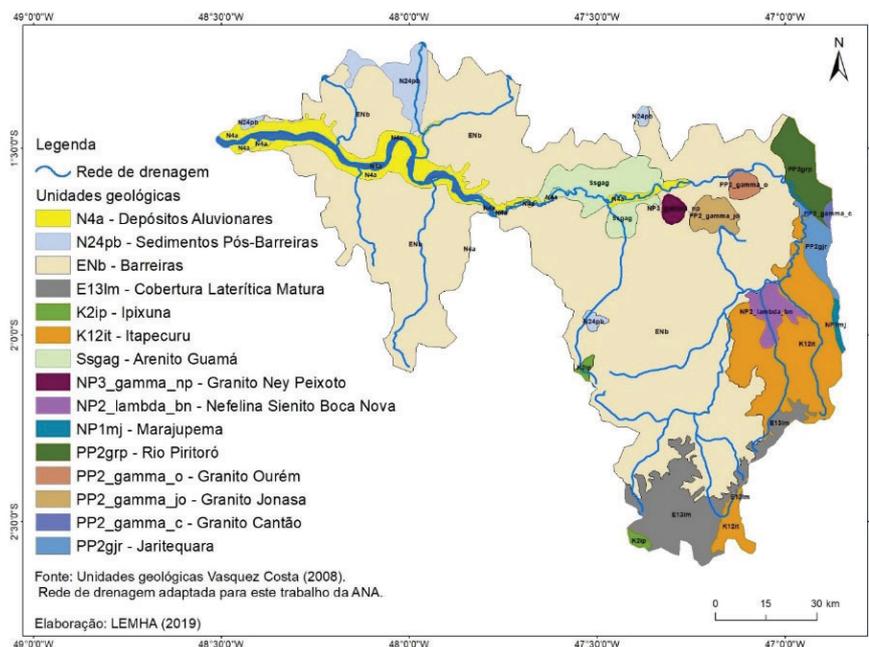


Figura 8 - Unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá.

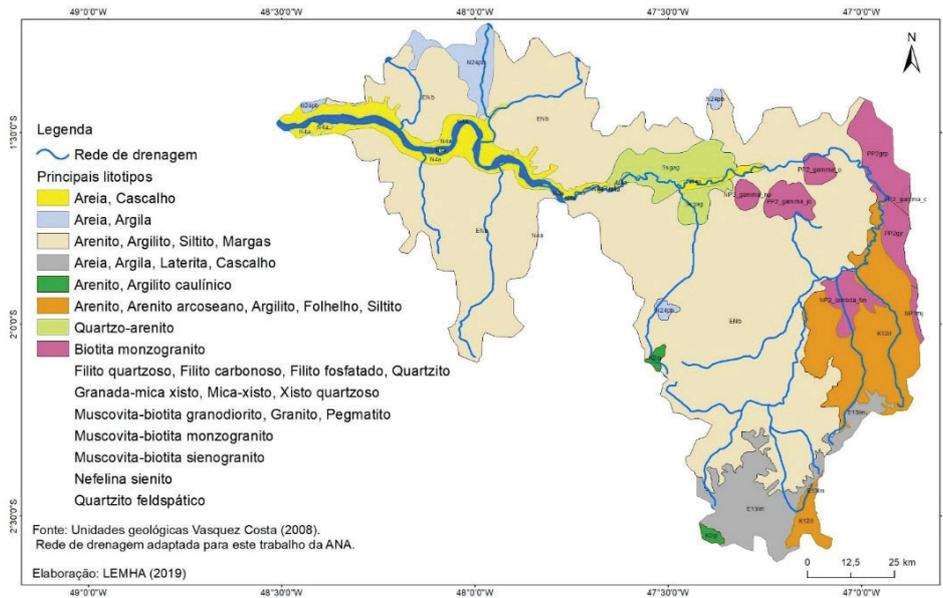


Figura 9 - Principais ocorrências de litotipos nas unidades geológicas componentes da bacia do rio Guamá.

O detalhamento da rede de drenagem permitiu identificar que o comportamento dos lineamentos de drenagem acompanha o padrão NW-SE, como destacado por Rossetti (2006), sendo em segundo plano, mas fortemente presente o comportamento NE-SW (Figura 10). Em termos de potencial erosivo, as coberturas predominantemente sedimentares na bacia favorecem o retrabalhamento das rochas a partir do escoamento superficial e ação das gotas de chuva (erosividade).

Outro fator associado é a presença de coberturas geradas pela ação do intemperismo, conforme eviden-

ciado por James *et al.* (2018), que descrevem também a ocorrência de pacotes sedimentares formados por arenitos argilosos maciços de coloração amarelada com marcas de raízes, fragmentos de lateritas de tamanho variando de seixos a blocos e relictos de lateritas colunar de coloração avermelhada; brecha maciça conglomerática de seixos de fragmentos de argilitos de coloração avermelhada; além de perfil de solo composto por arenitos argiloso, maciço de coloração avermelhada, representando a base do afloramento.

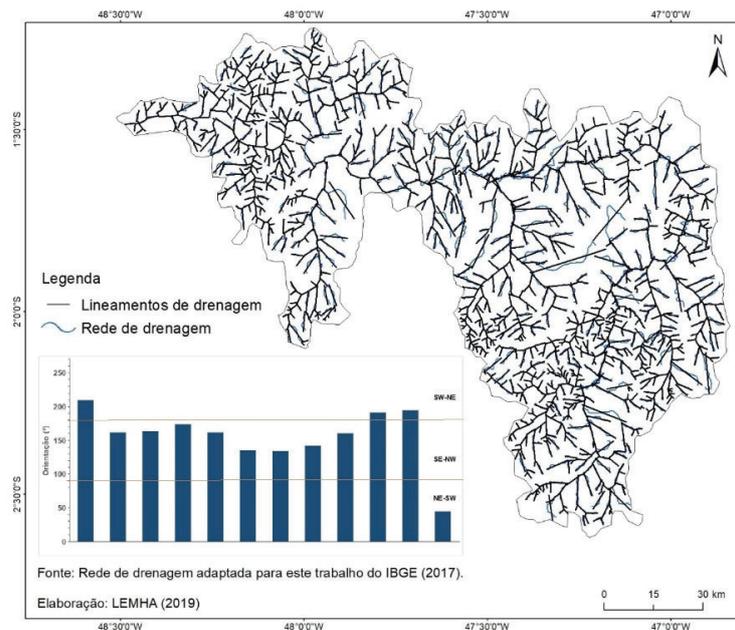


Figura 10 - Comportamento dos lineamentos de drenagem.

A Figura 11 apresenta a variação altimétrica da bacia, com os maiores valores marcando a porção extremo sul e os menores próximo a foz. Pareta e Pareta (2012) relacionam a hipsometria de uma bacia hidrográfica aos processos associados ao intemperismo das rochas, movimentos de massa e escoamento das águas, podendo definir regiões com diferentes estágios de desenvolvimento e estrutura geológica, sendo o Percentual Hipsométrico (H_i) a relação entre a altura relativa e área relativa em relação à altura total e à área total de uma bacia de drenagem; em que valores próximos de zero (0) implicam em menor volume de terreno disponível para erosão (áreas mais evoluídas, com formas mais aplainadas), e os mais próximos de um (1) implicam em maior retrabalhamento erosivo (áreas ativas com remoção e transporte de sedimentos). Para a totalidade da bacia do rio Guamá obteve-se um $H_i = 0,67$ o qual pode ser interpretado como moderado.

A Figura 12 mostra que as maiores variações de declividade estão situadas na borda leste, coincidindo com as maiores altitudes. O principal agrupamento corresponde a faixa inferior a 3° (55,4%), seguido do percentual entre 3° a 5° (25,9%), caracterizando o domínio de declividades suaves em cerca de 80% da bacia.

Ressalta-se que a relativa homogeneidade do relevo é decorrente da compartimentação regional na qual é inserida, em quase a sua totalidade, nos tabuleiros da zona Bragantina (DANTAS; TEIXEIRA, 2013).

A bacia do rio Capim, segundo Lima e Ponte (2012), deságua no rio Guamá na 6ª Ordem (escala 1:250.000), assim pode-se considerar que ao receber o rio Capim a sua Ordem passa para a 7ª Ordem, até a foz, uma vez que segundo Ferreira *et al.* (2020) a bacia do rio Moju é de 5ª Ordem (escala 1:250.000) e de acordo com Dias e Lima (2019) a bacia do rio Acará é de 4ª Ordem (escala 1:250.000), em ambos os casos a maior ordem não iria ser afetada (Figura 13). A unidade hídrica adotada seguiu os conceitos discutidos em Teodoro *et al.* (2007) na categoria de sub-bacia, estas foram justificadas a partir da altimetria e das maiores ordens. Segmentando desta forma a bacia em 8 sub-bacias: Alto Guamá (28%); Médio Guamá Leste (16%); Baixo Guamá (13%); Rio Mãe do Rio (13%); Médio Guamá Oeste (12%); Rio Bujarú (8%); Rio Apeú (6%); e Rio Sujo (4%). Considerando as Unidades Taxonômicas de IBGE (2009) e elementos descritivos do terreno que constam em Dantas e Teixeira (2013) foram compartimentadas 24 Unidades Geomorfológicas (UG) (Figura 14).

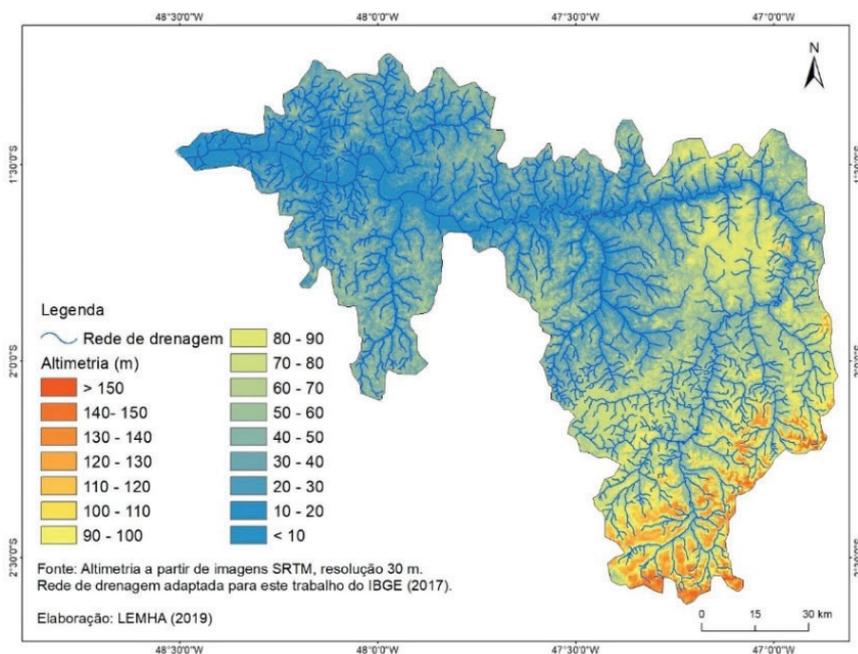


Figura 11 - Comportamento da altimetria na bacia do rio Guamá.

A Plataforma do Pará e Bragantina (60%) representa a unidade dominante, seguida da Bacia do Grajaú (15%) e da Bacia do Marajó (15%). No referente as sub-bacias há uma elevada fragmentação, com poucas

unidades ocorrendo como dominantes, destacando-se: o Alto Guamá, representado principalmente pelas Unidades I (7,24%) e XX (8,88%); o rio Sujo pela Unidade II (2,24%); o rio Mãe do Rio pela Unidade XXII (6,93%);

o Médio Guamá Leste pelas Unidades VII (2,04%), XX (2,86%) e XXI (2,07%); o Médio Guamá Oeste pela Unidade XXII (5,69%); o rio Bujarú pela Unidade XVII (6,65%); o rio Apeú pela Unidade XXII (5,93%); e o Baixo Guamá pelas Unidades XVII (4,16%) e XXII (5,59%). A variação hipsométrica calculada da bacia também reflete a heterogeneidade dos modelados. A

bacia do rio Guamá apresentou um valor de H_i de 0,67 considerado como um comportamento mediano, embora as variações de modelados de maior e menor estabilidade na bacia tenham sido registradas. Os valores mais próximos de 0 foram observados no rio Bujarú (0,19), Médio Guamá Oeste (0,25) e Baixo Guamá (0,31) e de 1 no Alto Guamá (0,62) (Figura 15).

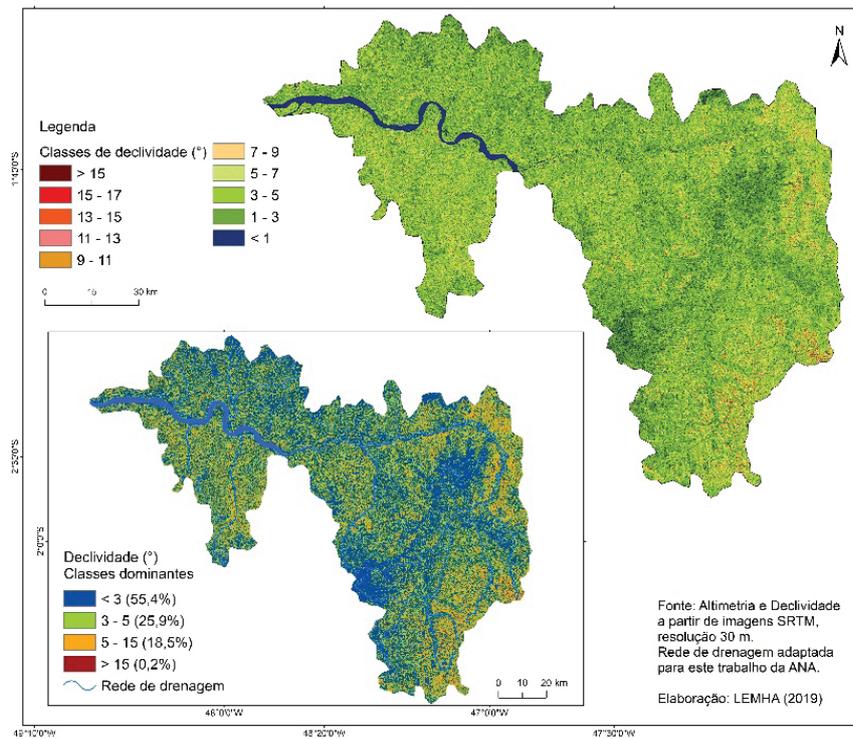


Figura 12 - Classes de declividade identificadas na bacia do rio Guamá.

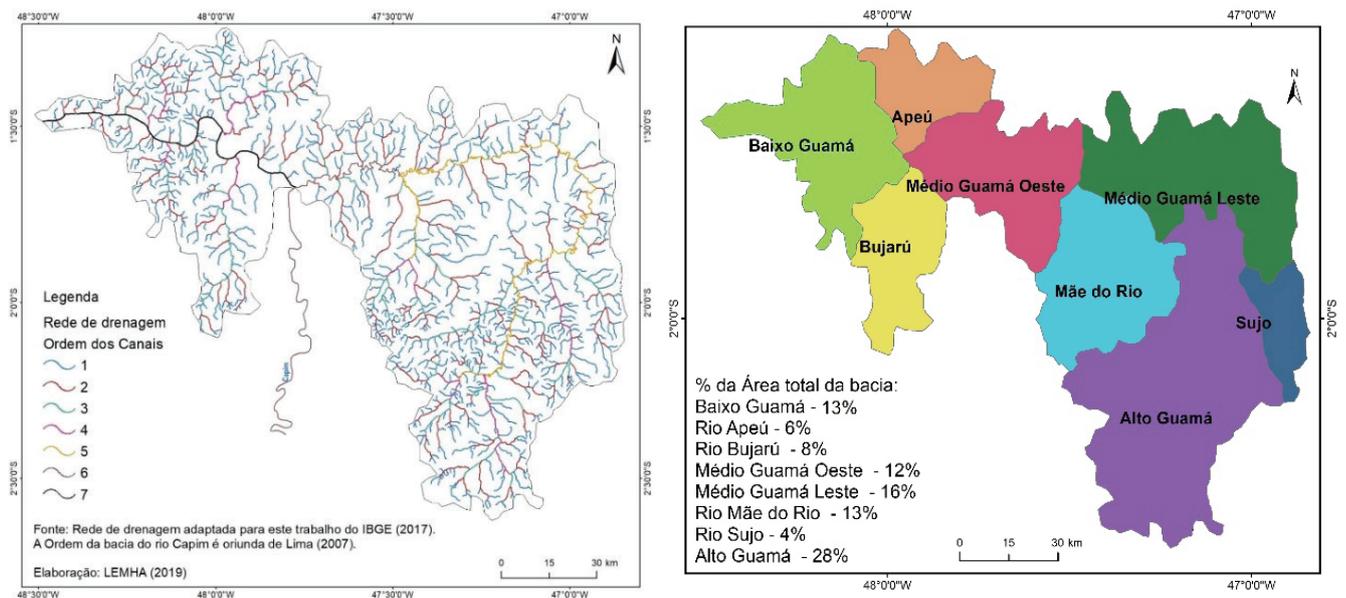


Figura 13 - Ordem dos canais e sub-divisão adotada.

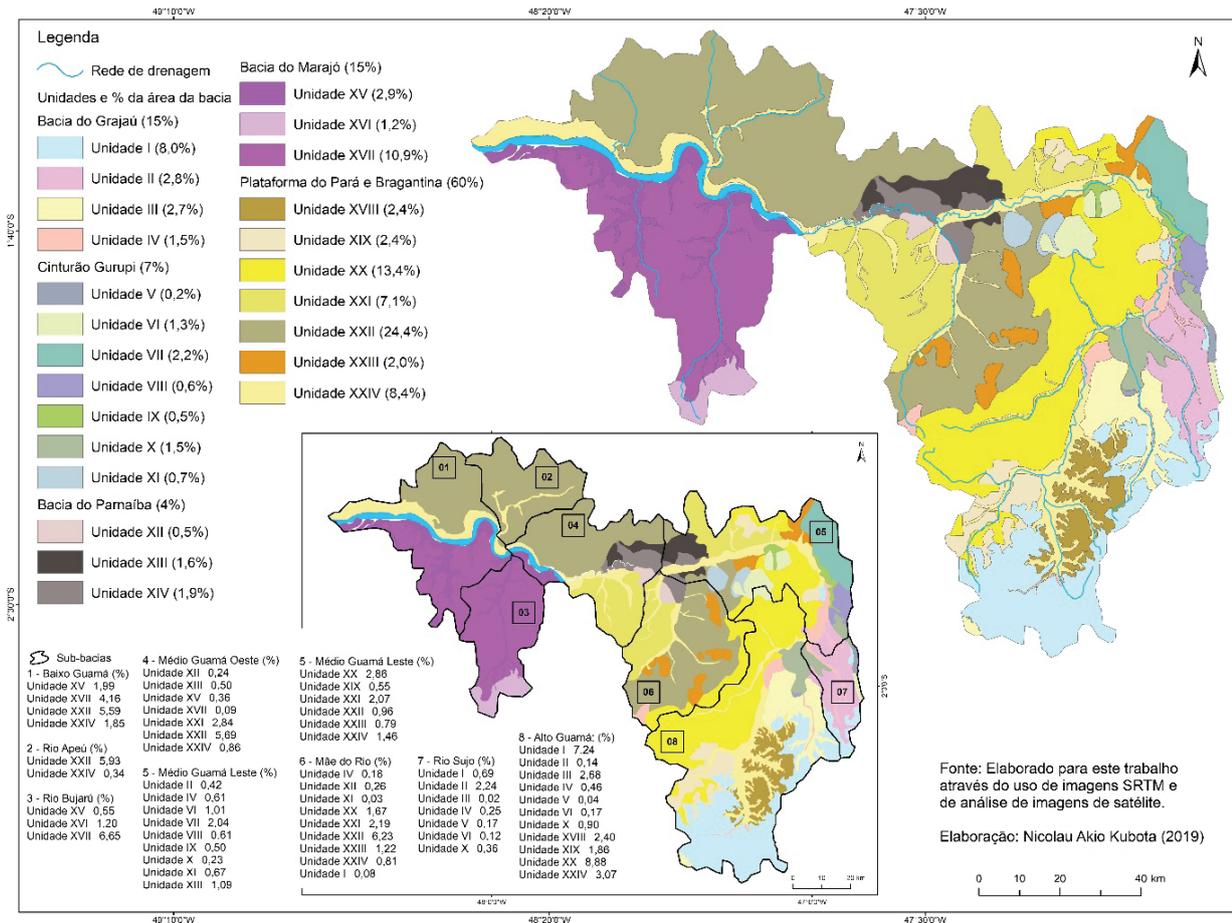


Figura 14 - Mapa geomorfológico com as 24 unidades geomorfológicas propostas.

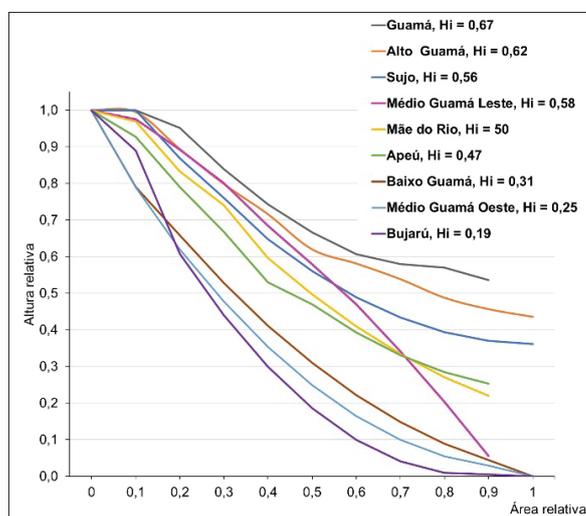


Figura 15 - Comportamento hipsométrico da bacia do rio Guamá.

As unidades foram identificadas e descritas em função dos diferentes Domínios Morfoestruturais (DM) que estão inseridos, entretanto existem UGs que apresentam semelhanças entre as mesmas (Quadro 1). Constatou-se uma forte complexidade do relevo em direção à porção oriental da bacia, que abrange principalmente o

Médio Guamá Oeste e o Alto Guamá (incluindo a bacia do rio Sujo), coincidindo com o divisor topográfico que marca o limite com a bacia do rio Gurupi. O predomínio nesta área é de formas de dissecação, enquanto que o Baixo Guamá é marcado por uma ampla área com formas de acumulação.

Quadro 1: Descrição segundo os Domínios Morfoestruturais (DM) das diferentes Unidades Geomorfológicas (UG) formadoras da bacia do rio Guamá. E sua representatividade percentual no total da área da bacia.

DM	UG	Descrição
<i>Bacia do Grajaú (15%)</i>	I (8,0%)	Área com maiores altitudes apresentando orientação em N-S e NE-SW. Possui superfícies suavemente onduladas. Apresenta escarpas abruptas e suavemente inclinadas. São caracterizadas ainda por formas de topo sinuosos, com vertentes convexo-retilíneas e vales abertos em forma de U, quando associados a cursos de água de 1ª ordem podem apresentar vales em forma de V.
	II (2,8%)	Relevo suavemente ondulado a plano, constituído por vales abertos, localmente fechados, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topos semiangulares e localmente planos.
	III (2,7%)	Relevo suavemente ondulado, constituído por um conjunto de morros com vales abertos, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topo planos a arredondados.
	IV (1,5%)	Relevo suavemente ondulado, localmente plano, constituído por um conjunto de morros com vales fechados, com vertentes convexas-retilíneas, bem como formas de topo arredondados e localmente angulares.
<i>Cinturão Gurupi (7,0%)</i>	V (0,2%)	Região de elevadas altitudes apresentando morros com orientação em N-S e E-W. Possui superfícies suavemente onduladas. É caracterizado por formas de topo angulosos, com vertentes retilíneas a côncavas formando vales abertos.
	VI (1,3%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por colinas de baixa amplitude e áreas aplainadas. Estas possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado.
	VII (2,2%)	Relevo ondulado, representado por colinas de baixa amplitude com topos arredondados e localmente angulares. Estas possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	VIII (0,6%)	Relevo ondulado, localmente aplainado, representado por morros de baixa amplitude com topos arredondados. Possuem vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas.
	IX (0,5%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por morrotes e áreas aplainadas. Estas possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo arredondado
	X (1,5%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por extensas colinas de baixa amplitude. Estas possuem vales fechados e localmente abertas, com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado.
	XI (0,7%)	Relevo suavemente ondulado constituído por colinas com vales abertos, vertentes retilíneas e côncavas, bem como formas de topo arredondado e, localmente, plano.
<i>Bacia do Parnaíba (4,0%)</i>	XII (0,5%)	Relevo ondulado, representado por morros de topos arredondados a planos. Estas possuem vales fechadas e localmente abertas, com vertentes convexo-retilíneas.
	XIII (1,6%)	Relevo ondulado a suavemente ondulado, representado por morros de topos arredondados a planos e pontualmente angulares. Estas possuem vales fechados e localmente abertos, com vertentes convexo-retilíneas.
	XIV (1,9%)	Relevo suavemente ondulado a plano, caracterizadas por vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a arredondado e localmente angulares, além de áreas aplainadas.
<i>Bacia do Marajó (15%)</i>	XV (2,9%)	Relevo plano em regiões de planície, propício a acumulação de sedimentos e inundações, caracterizadas por vales abertos com vertentes côncavo-retilíneas e formas de topo plano a suavemente arredondado.
	XVI (1,2%)	Relevo ondulado a suavemente ondulado, representado por elevações de topos arredondados e pontualmente angulares. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XVII (10,9%)	Relevo suavemente ondulado a plano, representado por morros de topos arredondados a plano. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
<i>Plataforma do Pará e Bragantina (60%)</i>	XVIII (2,4%)	Relevo ondulado constituído por serras associadas a regiões de planalto. Estas feições apresentam vales abertos, vertentes côncavo-convexas e formas de topo arredondado.
	XIX (2,4%)	Relevo suavemente ondulado e localmente plano, representado por chapadas e morros de topos arredondados angulares. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XX (13,4%)	Relevo suavemente ondulado e localmente ondulado, representado por platôs e morros de topos arredondados e angulares. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXI (7,1%)	Relevo ondulado e suavemente ondulado, representado por morros de topos arredondados e angulares. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXII (24,4%)	Relevo suavemente ondulado a ondulado, representado por morros de topos arredondados e localmente com regiões aplainadas. Possuem vales abertos e localmente fechados, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXIII (2,0%)	Relevo ondulado a plano, representado por morros de topos arredondados. Possuem vales abertos, com vertentes côncavo-retilíneas.
	XXIV (8,4%)	Relevo plano em regiões de planície, propício a acumulação de sedimentos e inundações, caracterizadas por vales abertos e localmente fechados com vertentes que variam em côncavo-retilíneas a côncavo - retilíneas e formas de topo plano a suavemente arredondado.

Como discutido por Minár e Evans (2008), as formas de cobertura são condicionantes que interferem no modelado, por propiciarem uma maior/menor ação dos agentes intempéricos. Na bacia do rio Guamá prenomina áreas alteradas, com as manchas associadas a áreas com cobertura vegetal restritas de forma mais densa no Baixo Guamá, em decorrência da presença de áreas protegidas. Observa-se como fator positivo a manutenção da cobertura

vegetal também na bacia do rio Bujarú, conforme já apresentado por Rocha e Lima (2020). O Médio Guamá Oeste e o Alto Guamá são as regiões de maior comprometimento, juntamente com a área delimitada pela sub-bacia Mãe do Rio (Tabela 3, Figuras 16 e 17). A relação entre o modelado natural e os agentes naturais e antrópicos de maior intervenção na paisagem, tem como resultado a variabilidade espacial da rede de escoamento (drenagem) na bacia.

Tabela 3: Distribuição das principais classes de cobertura e uso da terra, no total da bacia e por unidade hídrica (SB). (1) Cobertura vegetal, (2) Cobertura vegetal com ocorrência de áreas alteradas, (3) Agropecuária, (4) Áreas de ocupação (cidades, vilas, povoados), (5) Massa d'água.

Classes	Área total (km²)	Área (%) total	SB Alto Guamá (%)	SB Baixo Guamá (%)	SB Rio Apeú (%)
1	4391	34,90	29,1	55,0	39,3
2	3466	27,54	16,5	30,9	35,9
3	4485	35,64	54,2	4,2	23,0
4	142	1,13	0,2	5,3	1,8
5	99	0,79		4,6	
Classes (%)	SB Rio Mãe do Rio (%)	SB Médio Guamá Leste (%)	SB Médio Guamá Oeste (%)	SB Rio Bujarú (%)	SB Rio Sujo (%)
1	19,5	33,6	29,2	46,5	41,0
2	19,9	23,1	43,0	50,6	30,7
3	60,6	43,2	24,8	2,9	28,3
4		0,2	1,7	0,1	
5			1,4		

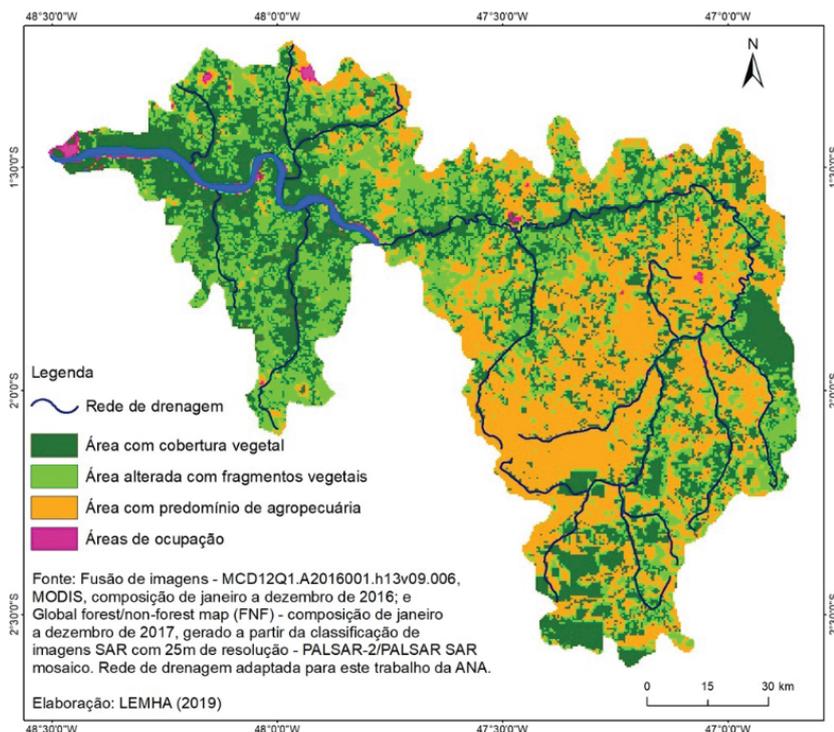


Figura 16 - Padrão de uso e cobertura da terra.

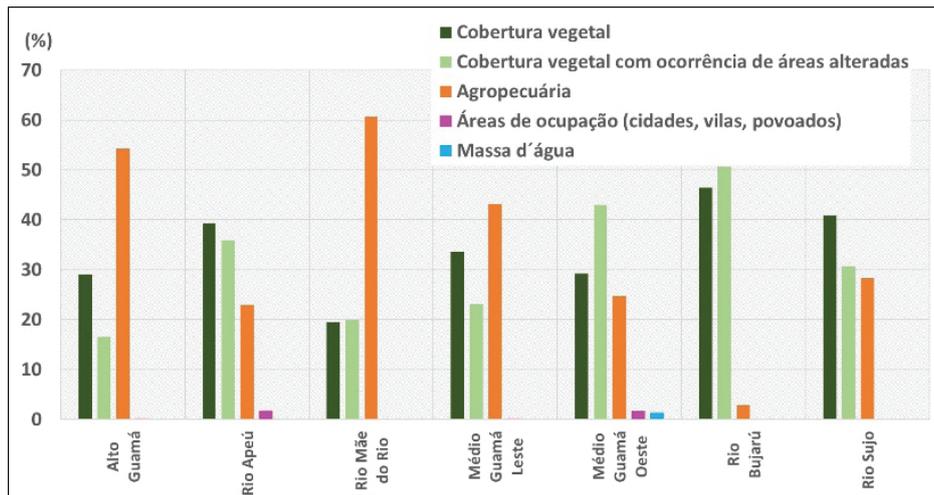


Figura 17 - Comportamento do uso e cobertura da terra na bacia do rio Guamá, por unidade hidrica.

A segmentação do curso do rio Guamá em Alto, Médio (Oeste e Leste) e Baixo Guamá, mostra diversificação, pois além do efeito do vale principal, encontram-se somados os relativos às bacias de primeira a terceira ordem componentes. Com relação à forma (Figura 18), as formas mais irregulares (afastadas do padrão circular) irão potencializar o escoamento su-

perficial (ORUONYE *et al.*, 2016; ABDEL-FATTAH *et al.*, 2017)). Os indicadores de Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcn), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente (Kc), todos apresentaram valores menores que 0,5, sendo Rcn e Kc bem sensíveis ficando em todos os casos inferiores a 0,2.

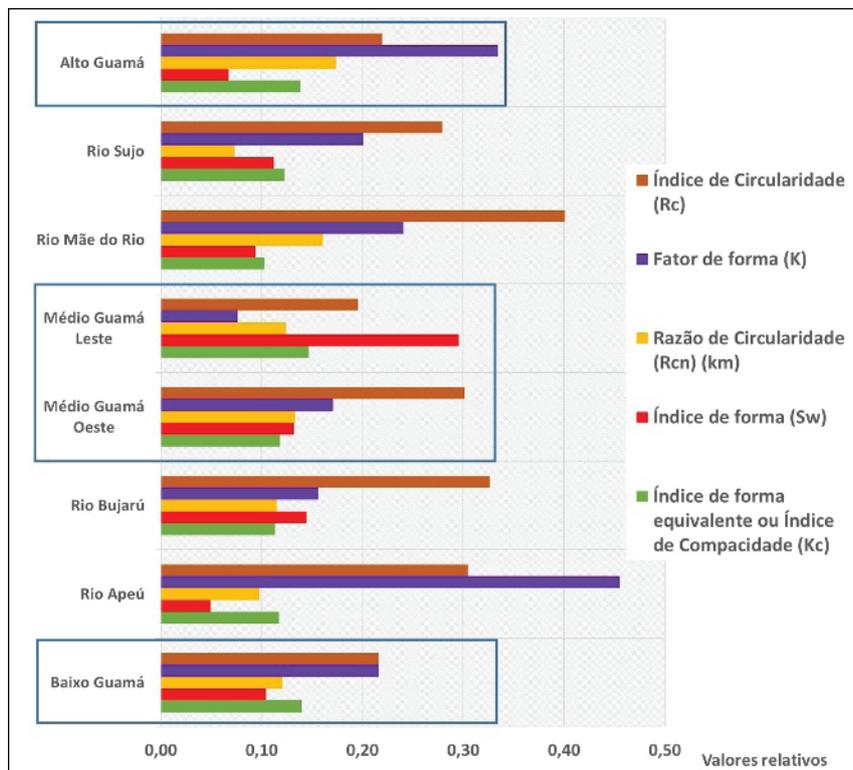


Figura 18 - Avaliação segundo: Fator de forma (K), Índice de forma (Sw), Razão de Circularidade (Rcn), Índice de Circularidade (Rc) e Índice de forma equivalente (Kc) (valores normalizados para 0 a 1).

A Tabela 4 apresenta também esse contexto, indicando que a relação entre o maior e o menor eixo da bacia. Em algumas situações o maior eixo chega a ser quase 50% superior ao menor. Tal comportamento também é compatível com o observado quanto aos lineamentos de drenagem, que acompanham prefe-

rencialmente a direção do maior eixo de cada unidade (Figura 19). Essa associação reforça a interpretação do comportamento do escoamento superficial e sua relação com o padrão de geomorfias no terreno, por interferir diretamente na tendência espacial de incidência dos processos de dissecação/acumulação.

Tabela 4: Descrição geométrica geral.

Unidades hídricas (Sub-bacias)	Área (Km ²)	Perímetro (km)	Maior eixo (m)	Menor eixo (m)	Relação entre os eixos (%)	Orientação do eixo da bacia (°)	
Rio Guamá	12583,88	1064,08	86771,46	46169,67	46,79	148,95	NW-SE
Baixo Guamá	1705,39	314,64	25514,77	21148,83	17,11	122,65	NW-SE
Rio Apeú	793,17	180,86	17967,89	14006,67	22,05	176,69	NW-SE
Rio Bujarú	1020,83	198,20	25801,11	12541,84	51,39	82,68	NE-SW
Médio Guamá Oeste	1487,99	248,99	25673,37	18464,04	28,08	151,12	NW-SE
Médio Guamá Leste	1994,70	358,00	34233,65	18687,41	45,41	161,23	NW-SE
Rio Mãe do Rio	1622,58	225,45	25321,75	20446,84	19,25	70,38	NE-SW
Rio Sujo	483,44	147,41	19056,71	8016,11	57,94	100,08	NW-SE
Alto Guamá	3475,79	445,95	46472,45	23821,77	48,74	72,18	NE-SW

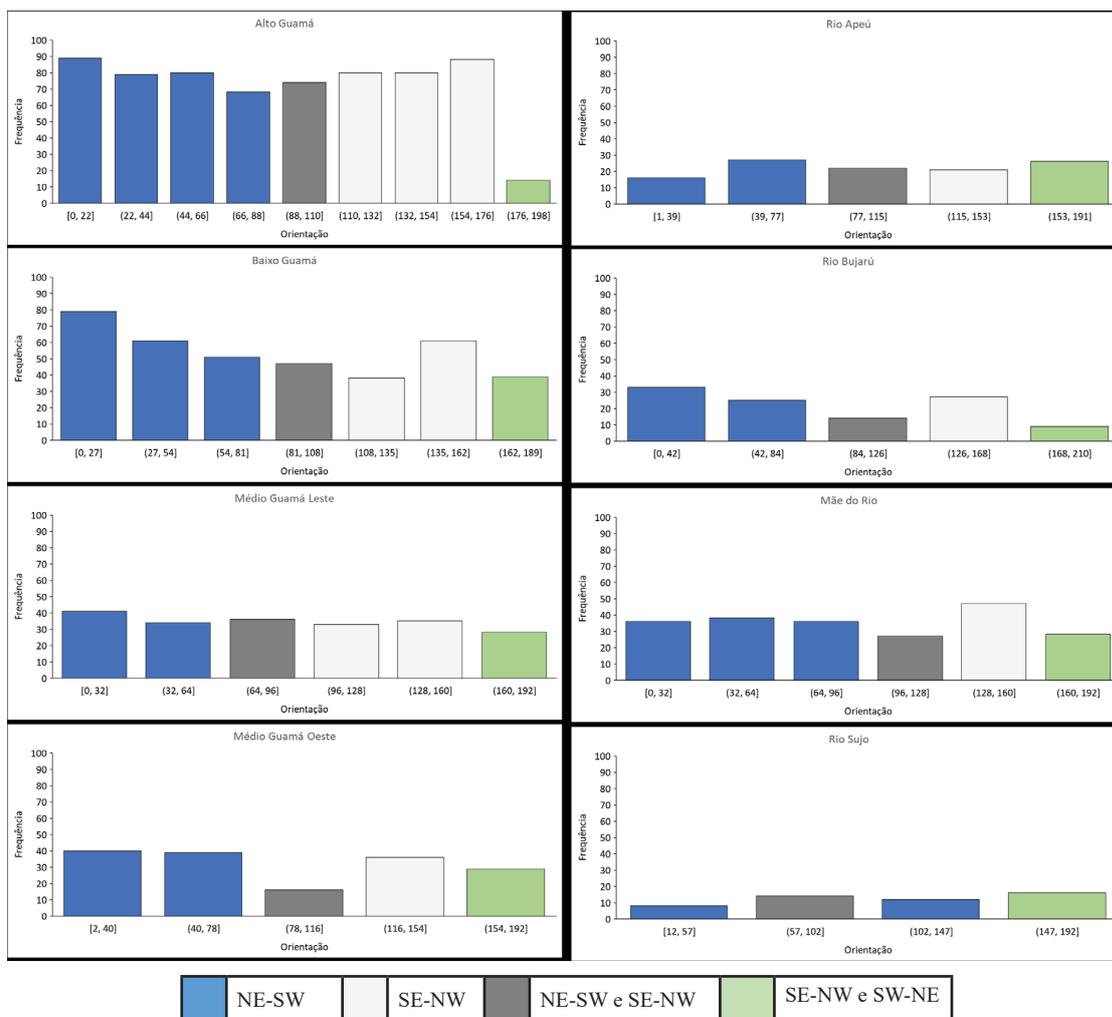


Figura 19 - Histograma de distribuição dos lineamentos de drenagem.

Os índices de: Lemniscate's (k), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di) tendem a caracterizar a maior homogeneidade da distribuição da rede na área da bacia (ALTAFF *et al.*, 2013). Quando a relação é comprimento de canais pela área da bacia o resultado é mais evidente, se comparado quando o

elemento de análise é o número de canais pela área da bacia (Figura 20). Como o número de canais depende da escala de análise este pode variar. A Tabela 5 ilustra a influência da determinação da primeira ordem, quanto ao comprimento/número total de canais, em todos os casos avaliados. Quanto ao comprimento da 1ª Ordem, estes chegam a ser superiores a 50%.

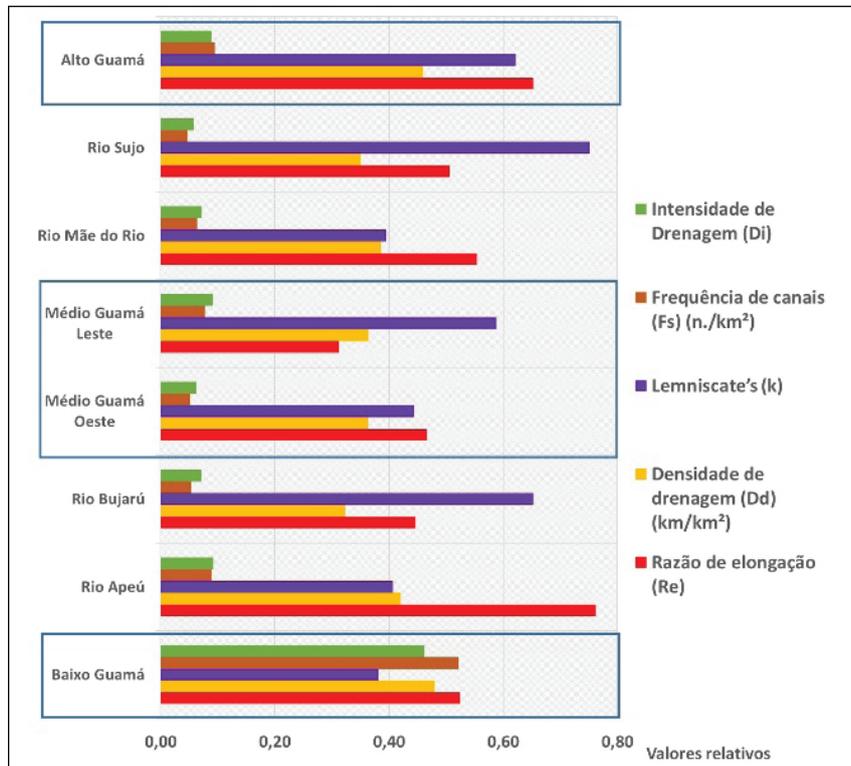


Figura 20 - Avaliação segundo: Lemniscate's (k), Razão de alongação (Re), Densidade de drenagem (Dd), Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di) (valores normalizados para 0 a 1).

Tabela 5: Percentual (%) do comprimento dos canais (Lu) e do número de canais (n) por Unidade Hidrica segundo a Ordem dos canais

(%)	Lu							n						
	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª
Rio Guamá	57,8	20,9	8,4	3,9	5,8	1,1	2,2	49,8	24,1	11,3	5,0	5,6	2,8	1,4
Baixo Guamá	59,3	20,6	5,0	4,2		0,1	10,8	54,7	26,6	11,0	5,6		0,2	2,0
Rio Apeú	56,6	21,5	12,3	9,7				42,6	18,4	31,9	7,1			
Rio Bujarú	56,6	21,9	15,5	6,0				49,5	25,2	21,5	3,7			
Médio Guamá Oeste	55,7	23,4	5,6			10,5	4,8	49,0	24,8	8,5			10,5	7,2
Médio Guamá Leste	55,9	19,6	2,9		21,6			32,5	17,4	2,6		47,5		
Rio Mãe do Rio	57,5	22,3	9,7	3,8	6,7			51,0	26,2	13,1	4,4	5,3		
Rio Sujo	68,1	18,2	13,8					51,1	31,1	17,8				
Alto Guamá	58,1	20,1	10,1	5,7	6,1			52,5	23,1	11,2	7,7	5,5		

A Figura 21 apresenta o comportamento relativo a Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn), os quais traduzem o grau de retrabalhamento do relevo pelos processos de denudação, principalmente

pela ação do escoamento superficial na topografia (PARETA; PARETA, 2012). Observou-se uma certa regularidade nas sub-bacias dos rios Apeú/Bujarú e Mãe do Rio/Sujo, que têm relação com a variação altimétrica registrada nestas unidades, quando comparada com a declividade média calculada (Tabela 6).

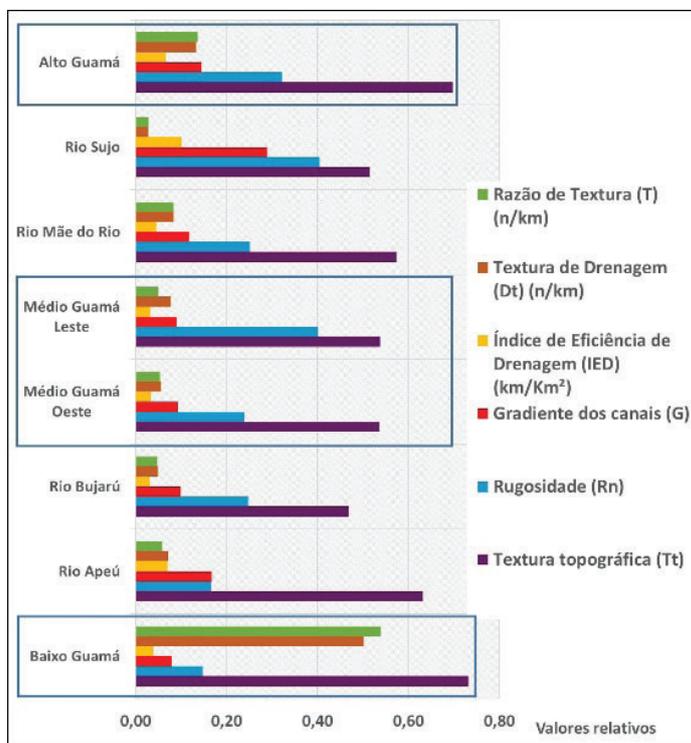


Figura 21 - Avaliação segundo: Textura topográfica (Tt), Gradiente dos canais (G), Índice de Eficiência de Drenagem (IED), Textura de Drenagem (Dt), Razão de Textura (T) e Rugosidade (Rn) (valores normalizados para 0 a 1).

Tabela 6: Comportamento altimétrico segundo as unidades hídricas definidas: % da área total (A); Altura Média (Amed); Altura máxima (Amax); Altura mínima (Amin); Amplitude (Ap); Declividade (média) (dcv).

Unidades hídricas	A (%)	Amed (m)	Amax (m)	Amin (m)	Ap (m)	dcv (°)
Baixo Guamá	13	25	71	0	71	40,6
Rio Apeú	6	32	71	1	70	20,3
Rio Bujarú	8	39	80	0	80	24,0
Médio Guamá Oeste	12	31	87	0	87	31,3
Médio Guamá Leste	16	52	147	1	146	28,9
Rio Mãe do Rio	13	43	98	1	97	26,2
Rio Sujo	4	78	174	32	142	27,8
Alto Guamá	28	80	172	24	148	36,1

Nos segmentos do curso do rio Guamá do Médio ao Alto Guamá o comportamento foi próximo, variando no Baixo Guamá, onde os índices Dt e T foram significativos, pois ambos consideram o número de canais pelo perímetro da bacia, o que é compatível com o observado

na Figura 20, em que ocorre o mesmo destaque para os índices Frequência de canais (Fs) e Intensidade de Drenagem (Di). Na Figura 22 observa-se a distribuição com base no Coeficiente de manutenção (Cm), na Extensão do percurso superficial (Eps), no Índice de sinuosidade

do canal principal (Is), na Relação de bifurcação (Rb) - 1º/2º Ordem, no Índice de Canal (Ci), na Razão de comprimento (Re) e no Número de Infiltração (If), os quais tentem a indicar a tendência de escoamento superficial ou acumulação (KULKARNI, 2013; ORUONYE *et al.*,

2016). Admitindo o comportamento do curso principal representado pelo rio Guamá, segundo Pareta e Pareta (2012), valores de Is superiores a 1,5 classificam o curso como meandrante, o qual foi marcante no Médio Guamá Leste (4,72) e menor no Alto Guamá (2,19).

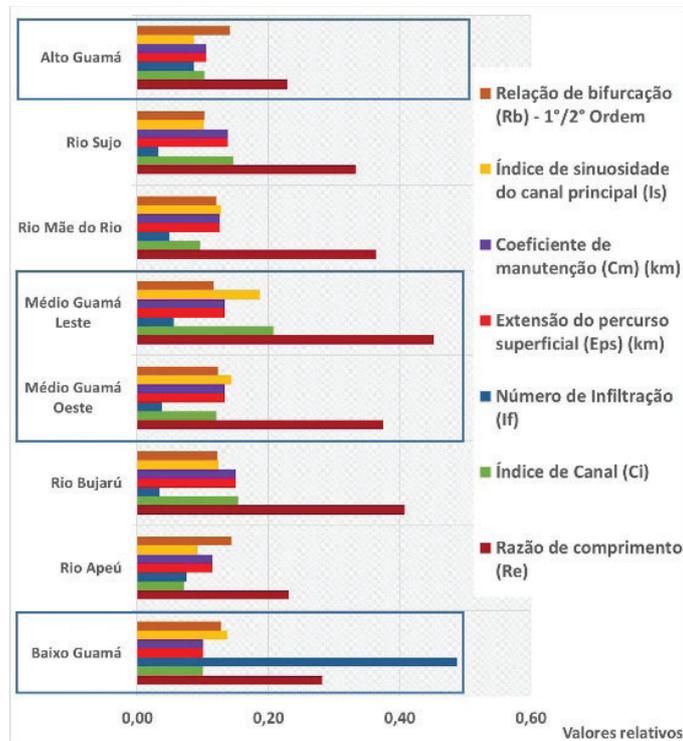


Figura 22 - Avaliação segundo: Coeficiente de manutenção (Cm), Extensão do percurso superficial (Eps), Índice de sinuosidade do canal principal (Is), Relação de bifurcação (Rb) - 1º/2º Ordem, Índice de Canal (Ci), Razão de comprimento (Re) e Número de Infiltração (If) (valores normalizados para 0 a 1).

A Figura 23 apresenta a avaliação da textura do terreno obtida pelo processamento realizado no modelo digital de elevação (IWAHASHI; PIKE, 2007), que reforça a faixa de maior variação da rugosidade que marca o Alto-Médio Guamá Oeste, que delimita a zona limítrofe entre as unidades geológicas Plataforma Bragantina (predominantemente sedimentar) e Cinturão Gurupi e Bacia do Grajaú (ígneas e metamórfica), coincidindo com a relação mais potencial entre os índices de rugosidade (Rn) e textura topográfica (Tt).

A bacia do rio Guamá apresentou assim um comportamento heterogêneo considerando as unidades hídras como unidades de paisagem, onde são associados os condicionantes do meio físico naturais e os fatores antrópicos de uso e cobertura da terra. A avaliação efetuada possibilitou uma visão sistêmica relacionada ao conceito de sensibilidade da paisagem, discutido

por Lima e Ponte (2012), Schirmer e Robaina (2013) e Almeida e Corrêa (2020), em que é ponderada a resistência do sistema às mudanças, e como os modelados respondem a elas. A técnica adotada partiu da categorização das unidades de relevo, sendo que as unidades geomorfológicas foram associadas, identificando o que Guilbert *et al.* (2016) chamam de Padrão de Design de Ontologias (ODP), que seriam elementos que especificam o contexto e definem um quadro de referência que caracteriza uma dada unidade de paisagem.

Minár e Evans (2008) afirmam que os indivíduos geomórficos podem ser descritos como de “origem natural”, sendo um máximo de mudança de caráter genético, geométrico e processual; permitindo sua contextualização em termos de gênese, dinâmica e cronologia, havendo desta forma os chamados modelos “ideais” e os “reais”.

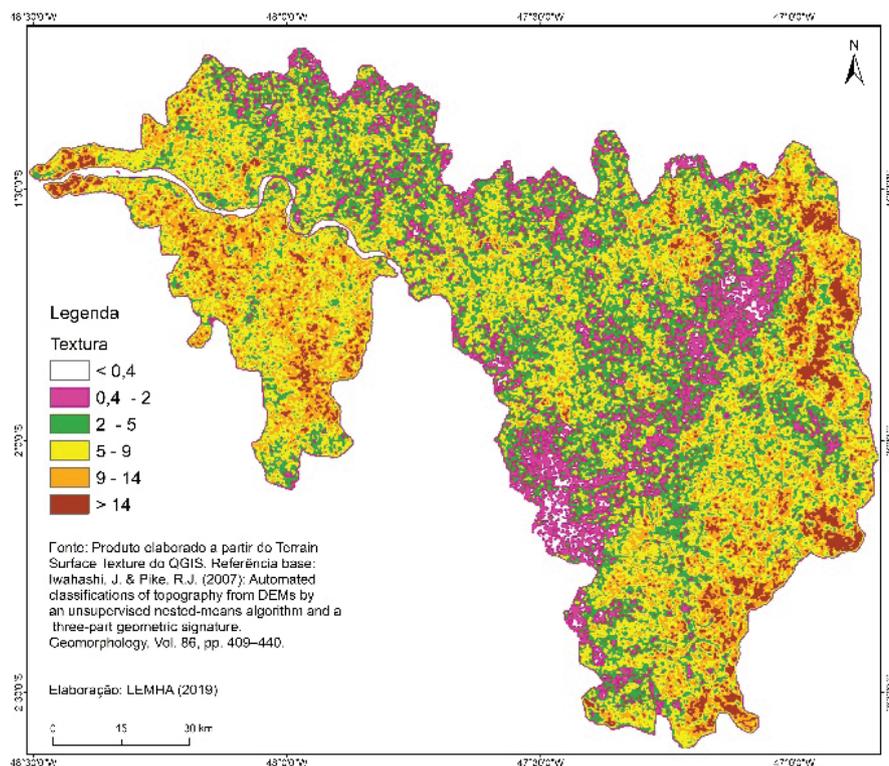


Figura 23 - Comportamento do índice Textura, gerado pelo modelo digital de elevação.

A avaliação segmentada dos condicionantes do meio físico seguida da avaliação de uso da terra evidencia essa transição, em que inicialmente se deseja distinguir os condicionantes produtos do meio, daqueles de interface com o meio. Os resultados obtidos ilustram que para a bacia do rio Guamá há uma forte imposição do ambiente, dada sua condicionante geológica marcante, que interfere diretamente na geometria do relevo e na drenagem.

O Alto Guamá, Médio e Baixo Guamá apresentam um comportamento que gradou de alta a baixa vulnerabilidade relativa aos processos de modificação do relevo a partir da intensificação da remoção, transporte e deposição de sedimentos. Isoladamente as sub-bacias de Sujo, Mãe do Rio, Bujarú e Apeú variaram por constituírem unidades mais individualizadas, sendo fortemente dependentes do processo de uso da terra que ocorre nas mesmas (Quadro 2). A distribuição quantitativa seccionou o potencial de retrabalhamento das formas do relevo em: alto - 41% (Alto Guamá, Rio Mãe do Rio); moderado - 34% (Médio Guamá Leste, Médio Guamá Oeste, Rio Apeú); e baixo - 25% (Rio Bujarú, Baixo Guamá, Rio Sujo). Posicionando espacialmente a bacia, com um comportamento que varia de alto a

moderado, de resposta aos processos que controlam seu comportamento hidrogeomorfológico.

Goerl *et al.* (2012) apresentam como processos hidrogeomorfológicos as inundações, deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos (*debris flow*); além disto, destacam como elementos a serem pontuados na sua caracterização: características hidrológicas do terreno (área de infiltração média, baixa ou muito baixa); morfologia fluvial; cobertura vegetal; elementos estruturais; e topografia. A única componente não explorada neste trabalho, ficando para uma proposta complementar, foi o comportamento de vazão e cotas do rio Guamá e sua contribuição para a formação da planície de inundação. Esta abordagem necessita de modelo específico, pois a bacia somente é monitorada por postos fluviométricos até o limite do Alto com o Médio Guamá, dada a influência de maré que sofre.

Rocha (2017) utilizando o método Curva Número (CN), obteve os números apresentados na Tabela 7 para a ação do escoamento superficial (contribuição das chuvas no terreno) das sub-bacias. Para a análise dos efeitos de deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos, o escoamento (valores médios) contribui de forma significativa principalmente nas unidades:

Rio Bujarú, Rio Apeú e Baixo Guamá. Se estes dados forem somados aos resultados obtidos com a análise hidrogeomorfológica (Quadro 2), estas 3 unidades deveriam ser reclassificadas como moderadas, alterando a

distribuição percentual, mas não o caráter de moderado a alto, relativo ao potencial de retrabalhamento do relevo. E no caso específico do Baixo Guamá, ainda é incluída a variação de nível do rio influenciada pelas marés.

Quadro 2: Síntese do comportamento hidrogeomorfológico.

Unidades hídricas	Classificação Proposta
Alto Rio Guamá	Vulnerabilidade alta aos processo erosivos – dinâmica da paisagem ativa, com processos favoráveis a dissecação das formas de relevo e alta interferência de condicionantes de alteração da cobertura da terra (>50%), com forte atuação das formas de uso e ocupação.
Rio Sujo	Vulnerabilidade baixa aos processo erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).
Rio Mãe do Rio	Vulnerabilidade alta aos processo erosivos – dinâmica da paisagem ativa, com processos favoráveis a dissecação das formas de relevo e alta interferência de condicionantes de alteração da cobertura da terra (>50%), com forte atuação das formas de uso e ocupação.
Médio Guamá Leste	Vulnerabilidade moderada aos processo erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.
Médio Guamá Oeste	Vulnerabilidade moderada aos processo erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.
Rio Bujarú	Vulnerabilidade baixa aos processo erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).
Rio Apeú	Vulnerabilidade moderada aos processo erosivos – dinâmica da paisagem com processos favoráveis as formas de dissecação e acumulação; presença inferior a 50% de áreas destinadas exclusivamente ao uso e ocupação da terra.
Baixo Guamá	Vulnerabilidade baixa aos processo erosivos – dinâmica da paisagem pouco ativa, ocorrência de processos favoráveis a dissecação das formas de relevo, porém a resposta hidrológica é menor, somada ao alto percentual de cobertura vegetal (>40%).

Tabela 7: Contribuição do escoamento superficial (Q) por sub-bacia e reclassificação a partir da respectiva influência, com indicação da representação (%) espacial por sub-bacia.

Sub-bacia	Q (mm) (média)	Q (mm) (área vegetada)	Classificação admitindo a vulnerabilidade erosiva e %		Classificação admitindo a vulnerabilidade erosiva e o volume de escoamento superficial e %	
Alto Guamá	578,39	1039,36	Alto	41	Alto	41
Rio Mãe do Rio	683,74	1142,03	Alto		Alto	
Médio Guamá Leste	668,42	1383,89	Moderado	34	Moderado	55
Médio Guamá Oeste	724,29	1606,51	Moderado		Moderado	
Rio Apeú	954,64	2048,87	Moderado		Moderado	
Rio Bujarú	814,12	1886,70	Baixo	25	Moderado	4
Baixo Guamá	767,70	2109,52	Baixo		Moderado	
Rio Sujo	610,62	1362,32	Baixo		Baixo	

Fonte: Adaptado de Rocha (2017).

Conclusões

A partir da análise integrada verifica-se que a bacia do rio Guamá apresenta uma variação altimétrica que é mais expressiva do Alto em direção ao Baixo Guamá. A textura é marcante, principalmente, nas bordas das sub-bacias; a declividade é variável; há forte controle estrutural. É composta por 24 unidades geomorfológicas que se distribuem em 5 domínios estruturais: Plataforma do Pará e Bragantina (60%), Bacia do Marajó (15%), Bacia do Grajaú (15%), Cinturão Gurupi (7,0%) e Bacia do Parnaíba (4,0%).

Apresenta um potencial moderado a alto (mais que 70% da área total da bacia) para sofrer processos hidrogeomorfológicos, influenciado pelo índice pluviométrico e pelo impacto das ações antrópicas. Porém, a análise das unidades hídricas adotadas na forma de sub-bacias, indica que existe uma variabilidade que torna algumas delas mais vulneráveis: Alto Guamá, Rio Mãe do Rio, Médio Guamá Leste, Médio Guamá Oeste e Rio Apeú.

Uma forma de interpretar tais diferenciações é por meio da associação com as condições de risco geológico, uma vez que efeitos hidrogeomorfológicos (inundações, deslizamentos, fluxos hiperconcentrados e fluxos de detritos) tornam as áreas urbanizadas próximas vulneráveis a perdas humanas e econômicas. Como a bacia do Guamá envolve a Região Metropolitana de Belém e soma cerca de 19 municípios, devem ser ponderadas as consequências sociais destes processos. Estes resultados representam relevância por integrarem diversas informações físicas da bacia, que podem ser utilizadas para auxiliar na caracterização regional e apoiar o planejamento regional, visando o controle do uso da terra frente à ocupação do território da bacia hidrográfica.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências Bibliográficas

ABDEL-FATTAH, M.; SABER, M.; KANTOUSH, S. A.; KHALIL, M. F.; SUMI, T.; SEFELNASR, A. M. A hydrological and geomorphometric approach to understanding the generation

of wadi flash floods. **Water**, v. 9, n. 553, p. 1-27, 2017. <http://doi.org/10.3390/w9070553>

ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometric analysis to infer hydrological behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India. **Geography Journal**, id. 178021, p. 1-14, 2013. <http://doi.org/10.1155/2013/178021>

ALMEIDA, J. D. M.; CORRÊA A. C. B. Conectividade da Paisagem e a Distribuição de Plainos Aluviais em Ambiente Semiárido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 1, p. 171-183, 2020. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1663>

ANA. **Plano estratégico de recursos hídricos da bacia Tocantins-Araguaia**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), Agência Nacional de Águas, 2004, 136p.

APARNA, P.; NIGEE, K.; SHIMNA, P.; DRISSIA, T. K. Quantitative analysis of geomorphology and flow pattern analysis of Muvattupuzha River Basin using Geographic Information System. **Aquatic Procedia**, v. 4, p. 609-616, 2015. <http://doi.org/10.1016/j.aqpro.2015.02.079>

ARAÚJO, I. B.; LIMA, A. M. M.; SANTOS, C. A. Caracterização hidrogeomorfológica das paisagens componentes da bacia hidrográfica do rio Tapajós. **Enciclopédia Biosfera**, v. 11, n. 22, p. 3301-3327, 2015.

ARAVINDA, T.; BALAKRISHNA, H. B. Morphometric analysis of vrishabhavathi watershed using remote sensing and GIS. **Int. Journal of Research in Engineering and Technology**, v. 02, n. 8, p. 514-522, 2013. <http://doi.org/10.15623/ijret.2013.0211077>

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 1980, 150p.

DANTAS, M. E.; TEIXEIRA, S. G. Origem das paisagens. In: JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do Pará**. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM - Serv. Geol. Brasil, p. 25-49, 2013.

DIAS, F. G.; LIMA, A. M. M. Caracterização espaço-temporal da precipitação da bacia hidrográfica do rio Acará/PA. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: UFC, e-book, ISBN: 978-85-7282-778-2, 2019, p. 1-12.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M. CORRÊA, J. A. M. Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA) - Eastern Amazonia. **Journal of Environmental Management**, v. 263, n. 110354, p. 1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110354>.

- FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-126, 1998. <http://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>
- GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M.; SANTOS, I. Hidrogeomorfologia: princípios, conceitos, processos e aplicações. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, p. 103-111, 2012. <http://doi.org/10.20502/rbg.v13i2.166>
- GUILBERT, E.; MOULIN, B.; MURCIA, A. C. Conceptual model for the representation of landforms using ontology design patterns. **Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. III-2, p. 15-22, 2016. <http://doi.org/10.5194/isprsannals-III-2-15-2016>
- HORTON, R. E. Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins: Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. **Geological Society of American Bulletin**, v. 56, n. 3, p. 275-370, 1945. [http://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. Manuais técnicos de Geociências. Rio de Janeiro, 2009. n. 5, 182p.
- IWAHASHI, J.; PIKE, R. J. Automated classifications of topography from DEMs by an unsupervised nested-means algorithm and a three-part geometric signature. **Geomorphology**, v. 86, p. 409-440, 2007. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.09.012>
- JAMES, M. J.; SANTOS JÚNIOR, A. E. A.; COSTA, J. S. Aspectos estratigráficos e análise de minerais pesados das formações Ipixuna, Barreiras e Pós-Barreiras, entre as cidades de Jacundá e Goianésia do Pará, sub-bacia de Mocajuba, sudeste do estado do Pará. **Geociências**, v. 37, n. 4, p. 759-773, 2018.
- JOÃO, X. S. J.; TEIXEIRA, S. G.; FONSECA, D. D. F. (org.). **Geodiversidade do Pará**. Programa Geologia do Brasil, Levantamento da Geodiversidade. Belém: CPRM - Serv. Geol. Brasil, 2013, p. 25-49.
- KULKARNI, D. M. The basic concept to study morphometric analysis of river drainage basin: a review. **International Journal of Science and Research**, n. 4, v. 7, p. 2277-2280, 2015.
- LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. Dinâmica da Paisagem da Bacia do Rio Capim-Pa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 127-142, 2012. <http://doi.org/10.26848/rbgf.v5.1.p127-142>
- MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **R. RA'E GA**, v. 8, p. 83-91, 2004. <http://doi.org/10.5380/raega.v8i0.3391>
- MINÁR, J.; EVANS, I. S. Elementary forms for land surface segmentation: The theoretical basis of terrain analysis and geomorphological mapping. **Geomorphology**, v. 95, p. 236-259, 2008. <http://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.06.003>
- MOKARRAM, M.; AMOORTHY, D. S. Morphometric analysis of hydrological behavior of north fars watershed, Iran. **European Journal of Geography**, v. 6, n. 4, p. 88-106, 2015.
- NEGRÓN-JUARÉZ, R. I., LI, W.; FU, R.; FERNANDES, K.; OLIVEIRA CARDOSO, A. Comparison of precipitation datasets over the Tropical South American and African Continents. **Jornal of Hydrometeorology**, v. 10, n. 1, p. 289-299, 2009. <http://doi.org/10.1175/2008JHM1023.1>
- NIKHIL RAJ, P. P.; AZEEZ, P. A. Morphometric Analysis of a Tropical Medium River System: A Case from Bharathapuzha River Southern India. **Open Journal of Modern Hydrology**, v. 2, n. 4, p. 91-98, 2012. <http://doi.org/10.4236/ojmh.2012.24011>
- ORUONYE, E. D.; EZEKIEL, B. B.; ATIKU, H. G.; BABA, E.; MUSA, N. I. Drainage basin morphometric parameters of river Lamurde: implication for hydrologic and geomorphic processes. **Journal of Agriculture and Ecology Research**, v. 5, n. 2, p. 1-11, 2016. <http://doi.org/10.9734/JAERI/2016/22149>
- PARETA, K.; PARETA, U. Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H. P. India. **International Journal of Remote Sensing and GIS**, v. 1, n. 1, p. 47-62, 2012.
- PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 247-253, 2004. <http://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200013>
- RAI, P. K.; MOHAN, K.; MISHRA, S.; AHMAD, A. A GIS-based approach in drainage morphometric analysis of Kanhar River Basin, India. **Appl Water Sci**, v. 7, p. 217-232, 2017. <http://doi.org/10.1007/s13201-014-0238-y>
- ROCHA, N. C. V. **Avaliação da sustentabilidade hídrica segundo os modelos de uso e ocupação do território na bacia do rio Guamá - Pará, Amazônia Oriental**. 98f. 2017. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Belém-Pa, 2017.
- ROCHA, N. C. V.; LIMA, A. M. M. A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil. **Sociedade e Natureza**, v. 32, p. 141-160, 2020. <http://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-45694>
- ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992. <http://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>

- ROSSETTI, D. F. Evolução Sedimentar Miocênica nos Estados do Pará e Maranhão. **Revista do Instituto de Geociências**, v. 6, n. 2, p. 7-18, 2006. <http://dx.doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300003>
- SCHNEIDER, U.; BECKER, A.; FINGER, P.; ANJA, M.-C.; RUDOLF, B.; ZIESE, M. **GPCC Full Data Reanalysis Version 7.0 at 0.5°**: Monthly Land-Surface Precipitation from Rain-Gauges built on GTS-based and Historic Data. Global Precipitation Climatology Centre, 2015. http://dx.doi.org/10.5676/DWD_GPCC/FD_M_V7_050 (for 0.5° resolution)
- SCHUMM, S. A. Sinuosity of Alluvial Rivers on the Great Plains. **Geological Society of America Bulletin**, v. 74, n. 9, p. 1089-1100, 1963. [http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2)
- SHIMADA, M.; ITOH, T.; MOTOOKA, T.; WATANABE, M.; TOMOHIRO, S.; THAPA, R.; LUCAS, R. New Global Forest/Non-forest Maps from ALOS PALSAR Data (2007-2010). **Remote Sensing of Environment**, v. 155, p. 13-31, 2014. <http://doi.org/10.1016/j.rse.2014.04.014>
- SCHIRMER, G. J.; ROBAINA, L. E. S. Compartimentação de unidades geomorfológicas do município de Agudo/RS. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 14, n. 1, p. 3-12, 2013.
- STRAHLER, A. N. Dynamics basis of geomorphology. **Geophysical Society of American Bulletin**, v. 63, n. 9, p. 923-938, 1952. [http://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[923:DBOG\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[923:DBOG]2.0.CO;2)
- SUKRISTİYANTI, S.; MARIA, R.; LESTIANA, H. Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. **Earth and Environmental Science**, v. 118, p. 1-6, 2018. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/118/1/012028>
- TEODORO, V. L. J.; TEIXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. **Revista Uniara**, v. 20, p. 136-156, 2007.
- VASQUEZ, M. L.; COSTA, L. T. R. **Mapa Geológico do Estado do Pará**, escala: 1.000.000. Serviço Geológico do Brasil (CPRM), 2008.