

ZONAS HIDRO-AGRÍCOLAS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIM, AMAZÔNIA ORIENTAL, BRASIL

*HYDRO-AGRICULTURAL AREAS OF THE CAPIM RIVER WATERSHED, EASTERN AMAZON,
BRAZIL*

*ÁREAS HIDRO-AGRÍCOLAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA RÍO CAPIM, AMAZONIA
ORIENTAL, BRASIL*

<https://doi.org/10.26895/geosaberes.v12i0.989>

ALINE MARIA MEIGUINS DE LIMA ^{1*}
DÊNIS JOSÉ CARDOSO GOMES ²
EDIVALDO AFONSO DE OLIVEIRA SERRÃO ³
FABLO HENRIQUE DA SILVA CARVALHO ⁴

¹ Professora do Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, CEP: 66075-110 - ameiguins@ufpa.br, <http://orcid.org/0000-0002-0594-0187>

*Autor correspondente

² Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Mestrado. Av. Roraima n. 1000, Cidade Universitária, Bairro Camobi, Santa Maria - RS, CEP: 97105-900 - deniss.feg@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0001-6441-6783>

³ Programa de Pós-Graduação em Meteorologia pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Doutorado. Rua Aprígio Veloso, 882 - Universitário, Campina Grande - PB, CEP: 58428-830 - oliveiraserrao@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-2376-847X>

⁴ Geólogo, Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, CEP: 66075-110 - fhscrp@gmail.com, <http://orcid.org/0000-0003-4383-2125>

Histórico do Artigo:
Recebido em 26 de Maio de 2020.
Aceito em 19 de Dezembro de 2020.
Publicado em 01 de Janeiro de 2021.

RESUMO

As zonas hidro-agrícolas da bacia do rio Capim (Amazônia Oriental) foram identificadas utilizando as variações do modelado da paisagem e a dinâmica do escoamento superficial. As variáveis avaliadas foram: a morfometria e os parâmetros que condicionam o relevo, a distribuição da precipitação pluviométrica e as formas de uso da terra. Os resultados indicaram a segmentação da bacia em Médio-Alto e Médio-Baixo curso, com graus de alteração distintos. As regiões mais vulneráveis são próximas ao curso principal do rio Capim em sub-bacias inferiores a 700 km², e as prioritárias para o uso agropecuário nos divisores topográficos; o que reforça a necessidade de um plano de bacia que ordene o setor e recupere estas áreas. As bacias amazônicas necessitam de ações efetivas de controle e monitoramento quantitativo e qualitativo das águas, para melhoria da produção agropecuária e abastecimento humano.

Palavras-chave: Escoamento superficial. Vulnerabilidade. Manejo de bacia.

ABSTRACT

The hydro-agricultural zones in the Capim river basin (Eastern Amazonia) were identified using the variations of the landscape model and the dynamics of the surface runoff. The evaluation variables were: morphometry basin and the relief-forming parameters, the distribution of rainfall, and the land use classes. The results indicated the segmentation of the basin in Medium-High and the Medium-Low course, with distinct degrees of alteration. Where the most vulnerable regions belong to the Capim river valley in watersheds smaller than 700 km², and the priorities for agricultural use in topographic boundaries; which reinforces the need for a basin plan that orders the sector and recovers these areas. The Amazon basins need effective control and quantitative and qualitative monitoring of water to improve agricultural production and human supply.

Keywords: Runoff. Vulnerability. Basin management.

RESUMEN

Las áreas hidro-agrícolas de la cuenca del río Capim (Amazonia Oriental) se identificaron utilizando las variaciones del modelo de paisaje y la dinámica de la escorrentía superficial. Las variables evaluadas fueron: morfometría y los parámetros que condicionan el relieve, la distribución de las precipitaciones y las formas de uso del suelo. Los resultados indicaron la segmentación de la cuenca en curso medio-alto y medio-bajo, con diferentes grados de alteración. Las regiones más vulnerables están cerca del curso principal del río Capim en subcuencas de menos de 700 km², y los prioritarios para uso agrícola en los divisores topográficos; que refuerza la necesidad de un plan de cuenca que ordene el sector y recupere estas áreas. Las cuencas amazónicas necesitan acciones efectivas para controlar y el monitoreo cuantitativo y cualitativo de las aguas, para mejorar la producción agrícola y el suministro humano.

Palabras clave: Escorrentía superficial. Vulnerabilidad. Manejo de cuencas.

INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica é a unidade geoespacial que melhor integra os componentes do meio físico, por reunir os aspectos geológicos e de cobertura de solos aos componentes do balanço hídrico, que incluem os fatores climáticos. Esta representatividade a torna um meio complexo, traduzindo o que Ferreira (2010) e Tricart (2017) descrevem como um conjunto de relações mútuas entre os diversos componentes da dinâmica e dos fluxos de um dado sistema; onde destaca-se a compreensão de que existe uma relação onde a estabilidade é medida pelo equilíbrio entre a morfogênese e a pedogênese, seja por fatores naturais ou antrópicos.

A importância social e econômica da compreensão destas interações está no seu reflexo sobre o uso da terra, principalmente na seleção de áreas onde seu aproveitamento implique na menor susceptibilidade à ocorrência de processos erosivos ou na geração de sedimentos que possam vir a ser depositados nos cursos d'água, dificultando o fluxo natural do escoamento (GOERL et al., 2013). Desta forma, o manejo de bacias hidrográficas integra-se ao estudo da paisagem como uma forma de auxiliar no entendimento das fragilidades naturais e do seu potencial de uso (PEREZ ORTEGA et al., 2018; SOUZA et al., 2019).

Para Yu et al. (2020) a avaliação do comportamento do balanço hídrico em uma bacia hidrográfica permite gerar estimativas espacialmente distribuídas e abrangentes do escoamento superficial, possibilitando capturar os aspectos dinâmicos dos processos hidrológicos. González-Ferreras e Barquí (2017) complementam discutindo a estreita relação entre o estudo da paisagem e a hidrologia, uma vez que esta descreve a superfície da terra quantitativamente e possibilita reconhecer e classificar hidro-objetos, visando a definição de áreas com comportamento e resposta hidrológicos distintos, a fim de permitir uma análise objetiva e a comparação inter-bacia.

Na região Amazônica a escassez de dados hidrológicos gera a forçante de se criar modelos preditivos do comportamento hidrológico, que possibilitam estimar a dinâmica do fluxo superficial (MOULATLET et al., 2015) e subterrâneo (CHOUDHARI et al., 2018). A parametrização morfométrica tem sido uma ferramenta utilizada em associação a análise da componente do escoamento, admitindo a heterogeneidade das formas de cobertura da terra. As abordagens podem variar de ambientes urbanizados (CAMINO et al., 2018), para o diagnóstico dos impactos de obras hídricas (LIMA et al., 2019) ou simplesmente para a geração de modelos hidrológicos de suporte à decisão no planejamento territorial (BIERKENS et al., 2015).

Nesta associação com as formas de uso da terra, destaca-se uma ferramenta indireta que considera um fator de correção, que é o parâmetro Curva Número (USDA, 1986). Este modelo tem vários contextos de aplicação (KOWALIK; WALEGA, 2015; MAHJOURI, 2018; MONTIEL GONZAGA et al., 2019), mas está fundamentado na estimativa de um potencial de escoamento superficial, admitindo parâmetros de distribuição geoespacial (cobertura e uso da terra) na bacia e sua possível influência. A sua aplicabilidade por ser resumida pela abordagem

de Lorenzon et al. (2015), que admitem que as formas de cobertura da terra constituem elementos significativos no processo de escoamento superficial e de infiltração.

A análise da paisagem integrada a de sensibilidade hídrica foi abordada por Lima e Ponte (2012) para a bacia do rio Capim, localizada no nordeste do estado do Pará, onde os autores anteciparam as fragilidades físicas da bacia, indicando a necessidade da ampliação do monitoramento, para a melhorar a quantificação de sua disponibilidade hídrica. Esta região congrega uma relevante área de expansão econômica do estado do Pará, com a presença da atividade agropecuária em primeiro plano, seguida do extrativismo vegetal e da mineração (LIMA; SILVA, 2016; NEVES et al., 2019). Este trabalho teve por objetivo identificar as zonas hidro-agrícolas da bacia do rio Capim, por meio das variações do modelado da paisagem e da dinâmica do escoamento superficial, considerando o efeito das formas de uso da terra e as prioridades de manejo da bacia, associadas ao seu potencial agrícola.

MATERIAIS E MÉTODO

A bacia do rio Capim localiza-se no nordeste do estado do Pará (PA), sendo o principal curso d'água afluente do rio Guamá. A dimensão total das duas bacias, Guamá (15.655,9 km²) e Capim (37.599,5 km²), fez com que a Agência Nacional de Águas (ANA) denominasse o sistema de Guamá-Capim, admitindo como um rio de gestão federal, uma vez nascentes do rio Capim encontram-se no estado do Maranhão (MA).

A delimitação de Lima e Ponte (2012) admitiu uma subdivisão em 25 sub-bacias, considerando os marcos topográficos e a ordem dos canais. Manteve-se esta divisão, apenas realizando uma revisão da rede de drenagem, por meio da utilização do modelo digital de elevação (MDE) gerado. Os municípios formadores da bacia são: no PA - Aurora do Pará, Dom Eliseu, Goianésia do Pará, Ipixuna do Pará, Paragominas, Rondon do Pará, São Domingos do Capim e Ulianópolis; no MA - Açailândia, Cidelândia e Vila Nova dos Martírios. Destes, apenas Aurora do Pará, Goianésia do Pará, Ipixuna do Pará, Rondon do Pará e São Domingos do Capim apresentam sua sede municipal na bacia. Destaca-se o município de Paragominas, sua sede é externa a bacia, porém esta contém a maior parte do seu território administrativo. O principal eixo viário é a BR 010 (Belém-Brasília), mas existem diversas outras estradas que interligam o interior da bacia, sendo o rio Capim um obstáculo natural de transposição (Figura 1).

Dos cursos d'água formadores destacam-se aqueles de importância municipal como oferta hídrica ou para o lançamento de efluentes: rio Ipixuna, afluente do Candiru-Açu, rio Potiritá, rio Surubijú e rio Ararandeuá. O rio Capim nasce da confluência entre os rios Surubijú e Ararandeuá, com uma contribuição menor do igarapé Jotuba. Tendo influência de maré até a altura do município de Aurora do Pará. Seu potencial de navegabilidade fez com que fosse desenvolvido o projeto da Hidrovia Guamá-Capim, que apoiaria o transporte da produção agrícola e mineral local, porém o mesmo não teve continuidade.

Na elaboração do sistema de informação geográfica (SIG) foram utilizados como bases: limites administrativos e indicadores municipais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE - ano de referência 2017); para geração do Modelo Digital de Elevação (MDE), empregou-se as imagens produzidas pela missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, disponibilizadas pela *United States Geological Survey* (USGS), discutidas por Valeriano e Rossetti (2012); geomorfologia, hidrografia e divisão hidrográfica de Lima e Ponte (2012), atualizada pelos autores para maior detalhamento; mapa de unidade geológicas disponibilizado pelo Serviço Geológico do Brasil em 2008; dados da precipitação pluviométrica do *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), de 1988 a 2017, cujo método de obtenção é descrito em Becker et al. (2012); carta de tipos de solos de Ross et al. (2018), disponibilizado pelo sistema *Earthdata* do *Oak Ridge National Laboratory*; e mapeamento das formas de uso e cobertura da terra (UCT) gerado pelo Projeto MapBiomass

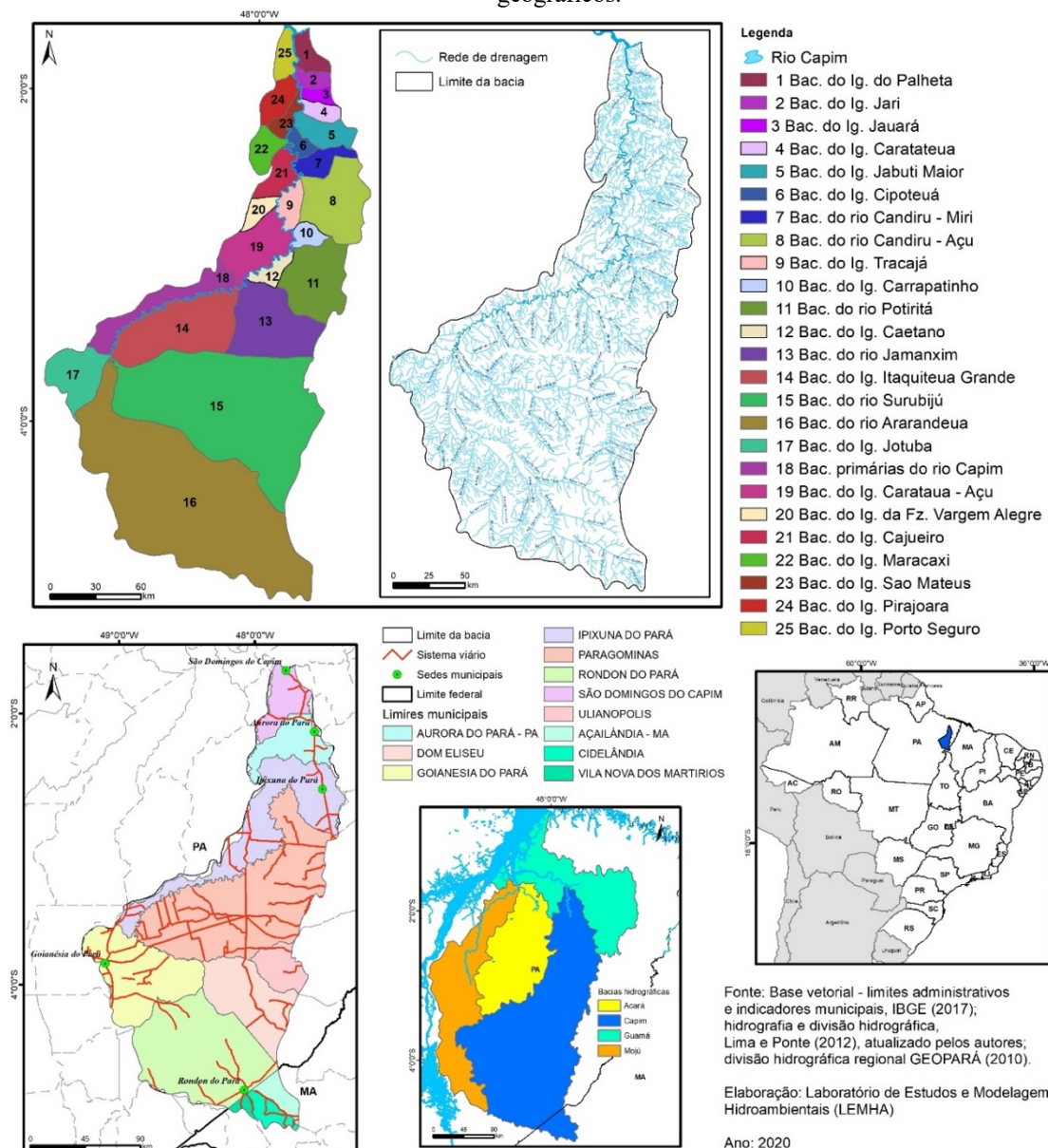
(Amazônia Legal), para o ano de 2018, conforme descrito por Souza Jr. (2017).

O processamento envolveu a análise geoespacial e geoestatística em ambiente SIG considerando as etapas descritas na Figura 2. Como referências base, buscou-se trabalhos que sintetizassem as aplicações destes indicadores. Para a morfometria e análise do modelo digital de elevação foram utilizados: Altaf et al. (2013), Wang et al. (2016), Choudhari et al. (2018) e Harsha et al. (2020). E na formulação do CN: USDA (1986), Kowalik e Walega (2015) e Montiel Gonzaga et al. (2019).

A primeira fase consistiu da construção do SIG com as bases cartográficas selecionadas e geração do modelo digital de elevação. Seu processamento gerou como produtos:

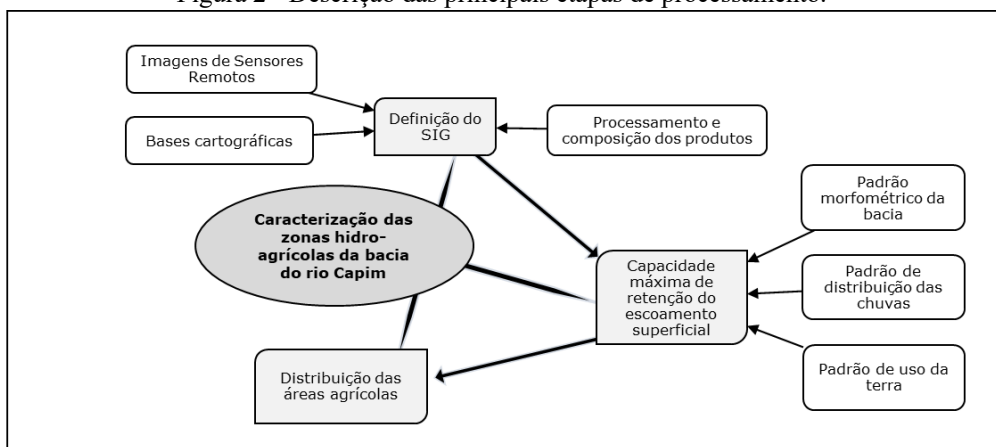
(a) Carta Altimétrica, reclassificada segundo os principais divisores topográficos (quebras naturais do relevo), com distribuição quantitativa por sub-bacia e geração da curva hipsométrica;

Figura 1 - Localização da bacia do rio Capim e distribuição dos principais aspectos administrativos e geográficos.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 2 - Descrição das principais etapas de processamento.



Fonte: Elaborada pelos autores.

(b) Carta de Declividade, com histograma geral, enfocando máximos e mínimos, tendo como produtos derivados o Fator LS (relação entre o comprimento de rampa e a declividade da Equação Universal de Perda de Solo) e a acumulação preferencial de escoamento superficial (admitindo a tendência de acumulação e direção do escoamento segundo o vale principal da bacia), estes últimos processados em ambiente QGis (CONRAD et al., 2015; PANAGOS et al., 2015; HRABALIKOVA; JANECEK, 2017);

(c) Índice de Concentração de Canais de Drenagem pelo uso da função densidade de Kernel, descrita em Volkmer et al. (2010), que utilizam uma função matemática que contabiliza a relação entre a área da bacia e a concentração relativa de canais;

(d) Distribuição dos Lineamento de Drenagem na bacia, com a avaliação quantitativa das principais orientações e Caracterização Morfométrica (Tabela 1) das sub-bacias e sua espacialização; e

(e) Agrupamento Morfométrico segundo as Macro-Regiões da bacia (utilizando o método descrito em Bem et al. (2015) e Pinto et al. (2016) de análise hierárquica por agrupamento de Ward), admitindo a integração dos fatores altimétricos com a geração da Carta de Potencial de Retenção da bacia, utilizado o sistema QGis, onde são estimados os vales de maior capacidade de retenção e sua maior densidade de concentração, no seu cálculo é considerada a profundidade do vale e a distância vertical até o nível base da rede de canais, onde o algoritmo consiste em duas etapas principais - interpolação da elevação do nível de base da rede de canais e subtração deste nível de base das elevações originais (CONRAD et al., 2015).

A segunda fase constituiu da geração de um Zoneamento por Unidades Hídricas, pelo produto entre: a carta de Uso e Cobertura da Terra (UCT), reclassificada segundo o fator Curva Número (CN) para geração da capacidade máxima de retenção da bacia (S_{mr}) (Tabela 2); e a distribuição da precipitação pluviométrica, admitindo a média do acumulado anual de 1988 a 2017. Para discutir as informações, tendo como base o comportamento do setor agropecuário na região, foram espacializados por município (respeitando a representatividade em área de cada município contido na bacia) os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), para o ano de 2017 relativos ao censo agropecuário.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A divisão nas sub-bacias formadoras seguiu tanto o padrão altimétrico e a correspondente declividade, quanto a agregação entre as unidades geológicas e formas de relevo correspondentes, seccionando a bacia em dois contextos expressivos, o Alto Curso (sub-bacias 15, 16 e 17 - Surubijú, Ararandeuá e Jotuba respectivamente) e o Baixo-Médio Curso (composto pelo restante das sub-bacias).

Tabela 1 - Parâmetros morfométricos adotados.

Parâmetros	Descrição	
Ordem dos canais (U)	Ordem hierárquica dos canais (de Strahler), onde dois canais de primeira ordem (que recebem contribuição apenas de nascentes ou da chuva) ao se encontrarem (ponto de confluência), formam um canal de segunda ordem; sempre dois canais de ordem inferior ao se interligarem, formando um canal de ordem superior e assim por diante.	
Padrão de drenagem (Dp)	Arranjo geométrico da rede de drenagem no terreno.	
Área (A)	Área física das unidades hídras (bacia e sub-bacias) delimitadas segundo seus divisores topográficos, em km^2 ou m^2 .	
Perímetro (P)	Comprimento, em km ou m , do limite de cada unidade hídrica (bacia e sub-bacia).	
Número de canais (Nu)	É referente ao número de segmentos de canais, delimitado pelo intervalo de confluências, sendo denominados de Nu^1 para o equivalente de 1ª ordem, Nu^2 de segunda ordem, e assim por diante.	
Comprimento do eixo da bacia (Lb)	Maior eixo longitudinal da bacia, tomado das cabeceiras a foz, em km ou m .	
Distância areal mínima (Adm)	Menor eixo longitudinal da bacia, perpendicular a Lb , em km ou m .	
Comprimento total dos canais (Lu)	Comprimento total, em km ou m , de segmentos de canais, delimitado pelo intervalo de confluências. Podendo ser tomado individualmente segundo a ordem sendo denominado de "Comprimento médio dos canais de 1ª Ordem (L_{um}^1)", e assim por diante.	
Comprimento do canal principal (Cl)	Comprimento total do curso d'água principal segundo sua maior extensão, em km ou m .	
Variação altimétrica (Δa)	Representa a variação entre a Valor Altimétrico Máximo (A_{max}) e Mínimo (A_{min}) de cada unidade hídrica (bacia e sub-bacia).	
Fator de forma (R_f)	$R_f = A/(L_b)^2$	Traduzem a forma da bacia e sua relação espacial com a drenagem, se mais alongada ou circular.
Razão de comprimento (R_c)	$R_c = Cl/P$	
Índice de canal (C_i)	$C_i = Cl/Adm$	Diferencia uma rede de drenagem mais/menos linear e uma bacia mais/menos alongada.
Índice de sinuosidade (S_i)	$S_i = Cl/Lb$	
Gradiente dos canais ($G\%$)	$G = (\Delta a/Cl)*100$	Representa o grau de variação altimétrica da bacia.
Frequência dos canais (F_s)	$F_s = Nu/A$ ($1/km^2$)	F_s , D_d e D_i indicam o grau de retrabalhamento do terreno na bacia pelo quantitativo da rede de drenagem.
Densidade de drenagem (D_d)	$D_d = Lu/A$ (m/km^2)	
Intensidade de drenagem (D_i)	$D_i = F_s/D_d$ (m^{-1})	Avalia a relação entre o comprimento do curso principal e a área da bacia.
Relação de alongação (R_e)	$R_e = 2\sqrt{(A/\pi)}/Cl$	
Índice de forma (K)	$K = A/(Cl)^2$	Avalia a relação entre o comprimento dos canais, associando a 1ª e 2ª ordem.
Comprimento médio da razão de bifurcação (R_{bwm})	$R_{bwm} = L_{um}^1/L_{um}^2$	
Relação areal (L_{ar})	$L_{ar} = 1,4A^{0,6}$ (km^2)	Traduz a expressão areal das sub-bacias.
Coeficiente de manutenção (C_m)	$C_m = 1/D_d$ (km^2/m)	Indica quantos km^2 de superfície da bacia são necessários para desenvolver e manter um canal de 1 km de comprimento.
Relação de bifurcação (R_b)	$R_b = Nu^1/Nu^2$	Os valores mais baixos de R_b (1-2 ordem) são características das bacias hidrográficas, que sofreram menos distúrbios estruturais e o padrão de drenagem não foi distorcido devido a estes.
Textura de drenagem (D_t)	$D_t = Nu/P$ (km^{-1})	Traduzem como o quantitativo de canais se distribui na bacia, na sua totalidade ou apenas a 1ª ordem.
Razão de textura de drenagem (Rt)	$Rt = Nu^1/P$ (km^{-1})	

Fonte: Altaf et al. (2013), Wang et al. (2016), Choudhari et al. (2018) e Harsha et al. (2020).

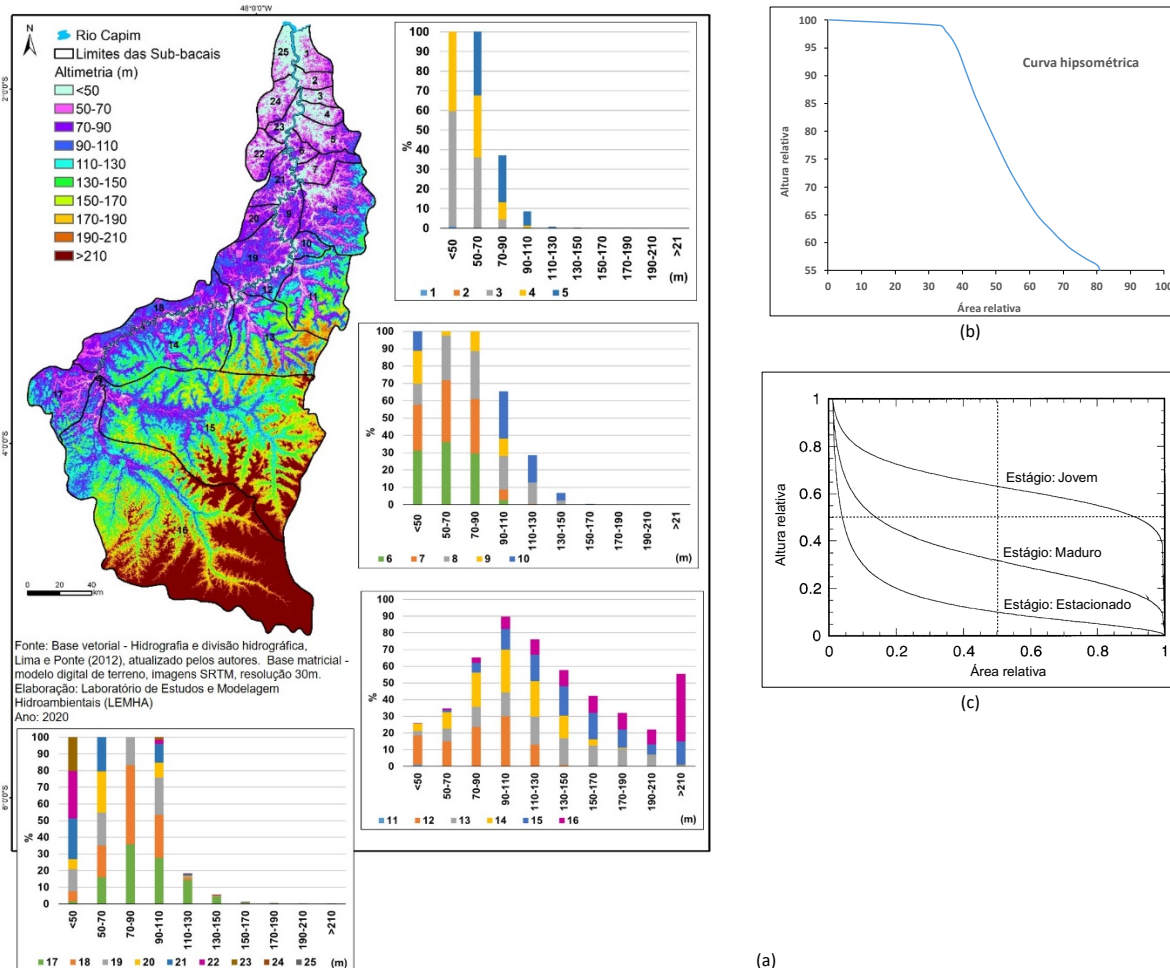
Tabela 2 - Determinação do CN.

Parâmetros	Descrição	
S_{mr}	Capacidade máxima de retenção (mm)	$S_{mr} = (25400/CN) - 254$
CN	Fator Curva Número	$CN = \sum CN_i A_{bi} / \sum A_{bi}$
A_{bi}	Área (km^2) equivalentes as formas de uso e cobertura da terra	Grupo de solos: - HSG-A: baixo potencial de escoamento (> 90% de areia e <10% de argila) HSG-B: potencial de escoamento moderadamente baixo (50-90% de areia e 10-20% de argila) - HSG-C: potencial de escoamento moderadamente alto (<50% areia e 20-40% argila) - HSG-D: potencial de escoamento alto (<50% areia e >40% argila) - HSG-A/D: alto potencial de escoamento, menos drenado (> 90% de areia e <10% de argila) - HSG-B/D: alto potencial de escoamento, drenado (50-90% de areia e 10-20% de argila) - HSG-C/D: potencial de escoamento alto, drenado (<50% areia e 20-40% argila) - HSG-D/D: potencial de escoamento alto, menos drenado (<50% areia e >40% argila)
CN_i	Curva Número segundo os grupos de solos	

Fonte consultada: USDA (1986), Ross et al. (2018) e Montiel Gonzaga et al. (2019).

A distribuição altimétrica e de declividade, também inferem um alto gradiente total da bacia (diferença entre os maiores e menores valores), porém este fator é irregularmente distribuído, entre as sub-bacias, o que representa um elemento de variabilidade do comportamento do escoamento superficial (Figuras 3 e 4).

Figura 3 - (a) Carta altimétrica e distribuição das classes por sub-bacia. (b) Curva hipsométrica da bacia do rio Capim. (c) Modelo de comportamento hipsométrico de Harsha et al. (2020).



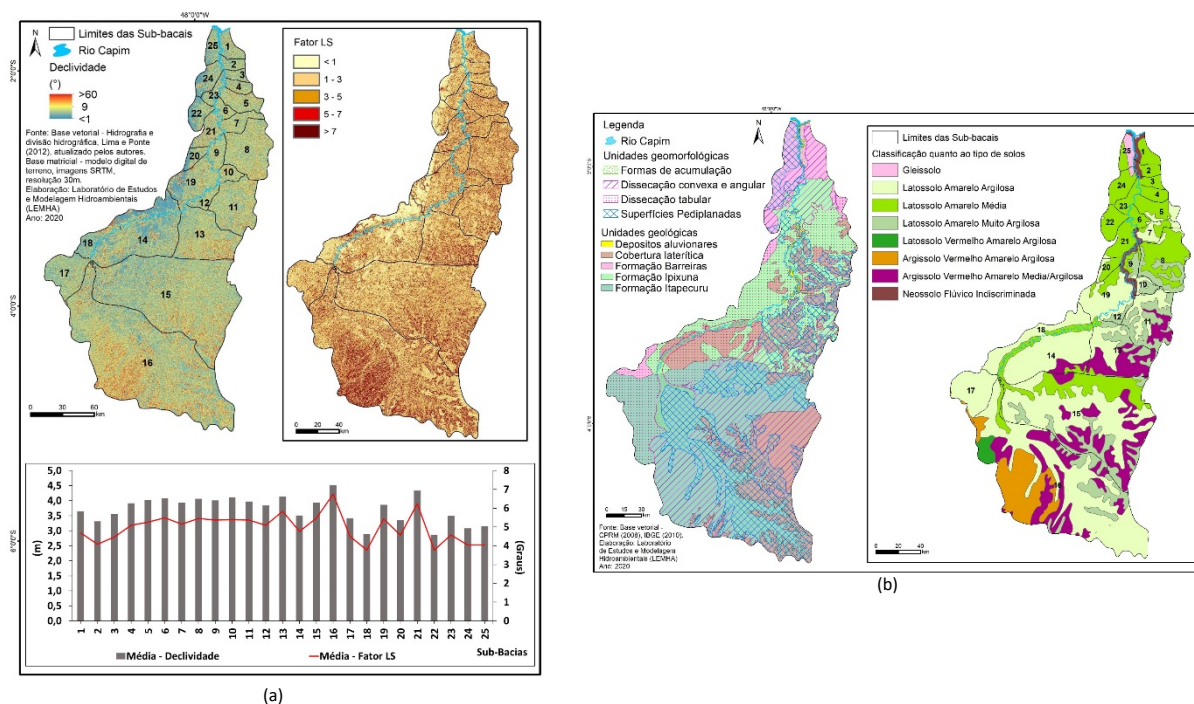
Fonte: Elaborada pelos autores.

Lima et al. (2019) apresentam exemplos da interpretação do comportamento do escoamento superficial a partir da distribuição altimétrica de uma bacia hidrográfica e o modelado resultante, principalmente considerando a morfometria da rede de drenagem. O comportamento hipsométrico, segundo a classificação apresentada em Harsha et al. (2020), demonstra uma curva que traduz um relevo jovem ainda em processo de retrabalhamento pelas forças erosivas, o que implica na forte ação de modelado pelo componente hídrico superficial (pluvial e fluvial).

A bacia do rio Capim é representada pelos Domínios ou Unidades Morfoestruturais (ROSS, 1992) do Planalto Rebaixado da Amazônia (PRA) e Planalto Setentrional Pará-Maranhão (PSPM); ambos pertencentes ao grande Domínio dos Planaltos Amazônicos Rebaixados e Dissecados. O PRA predomina no trecho norte-sul da bacia no Baixo-Médio rio Capim. E o PSPM domina na porção sudeste da bacia, no Alto rio Capim (LIMA; PONTE, 2012). As formas de relevo dominantes são *Superfícies Pediplanadas*, que correspondem a áreas de topografia plana, vales abertos e rasos, com retomada de erosão recente. E formas de dissecção que formam áreas aplainadas e topograficamente elevadas, com limites constituídos principalmente por escarpas e rebordos erosivos, ora com topos tabulares (*Dissecção Tabular*)

ora com vertentes convexas (*Dissecação Convexa*), podendo ocorrer formas com topos angulares e áreas de acumulação. A configuração geológico-geomorfológica representa bem a variação altimétrica da bacia, marcada pelas menores variações em direção a foz, e maior variabilidade de classe nas sub-bacias de cabeceira (Figura 4).

Figura 4 - (a) Distribuição das classes de Declividade e do Fator LS. (b) E integração das unidades geológico-geomorfológicas e de cobertura de solos da bacia do rio Capim.



Estas formas são associadas ao contexto geológico descrito por Vasquez et al. (2008) como pertencente as bacias de São Luís Grajaú e a sub-bacia de Cameté (Bacia de Marajó); onde predominam a Formação Itapecuru (arenitos avermelhados a argilosos caulíníticos, conglomerados e pelitos), especialmente na parte sul da bacia; a norte (e borda leste) tem-se a Formação Ipixuna (argilitos caulíníticos e arenitos) e próximo a foz ocorrem os sedimentos da Formação Barreiras (arenitos quartzosos, siltitos e argilitos); superfícies de Cobertura Laterítica recobrem a parte mais alta de platôs dissecados com topos aplainados; e ao longo do canal principal do rio Capim ocorrem terraços associados a aluviões mais antigos e em nível mais alto que os Depósitos Aluvionares atuais. Estes modelados recebem o impacto direto do escoamento superficial produzido pelas chuvas, onde de Agosto-Setembro-Outubro, concentra-se o trimestre menos chuvoso e de Fevereiro-Março-Abril o mais chuvoso; com máximo de 395 mm e mínimo de 34 mm (média mensal) (GOMES et al., 2018). A ação das águas é a principal agente do intemperismo na região, que gerou uma cobertura basicamente de Latossolos (textura variável entre arenosa a argilosa) e localmente Argissolos, Noossolos e Gleissolos.

O Alto Curso congrega as principais formas de dissecação e superfícies pediplanadas, coincidindo com os sedimentos da Formação Itapecuru e presença de coberturas lateríticas. As sub-bacias do Alto-Curso por agregarem componentes altimétrico e de declividade elevados, além de formas de relevo em retrabalhamento pelos processos erosivos, concentraram também a maior relação do Fator LS e de distribuição do fluxo, indicando o alto potencial do escoamento superficial nesta região. Segundo Panagos et al. (2015) o Fator LS corresponde a distância do ponto de origem do fluxo da superfície até o ponto em que cada inclinação (gradiente - S) diminui o suficiente para o início da deposição ou concentração do fluxo em um canal. Este é

componente do método do USLE (*Universal Soil Loss Equation*) que prevê a média de perda de solo por erosão (CONRAD et al., 2015). O cálculo baseado em SIG apresenta segundo Hrabalíková e Janeček (2017), uma diferença de 8% do calculado manualmente. Para Panagos et al. (2015) os valores inferiores a 1 (Fator LS) são áreas entendidas como planas, e quanto maior o valor, mais esta relação interfere no escoamento.

Admitindo o aproveitamento agrícola, as perdas de solo por erosão não são desejáveis e observa-se no cruzamento destas categorias, que algumas sub-bacias aparecem como vulneráveis a estes processos, especialmente pelo predominante domínio de rochas sedimentares, que vão gerar coberturas de Latossolos de textura variável, assim como de Argissolos em áreas de alta declividade, favorecendo a intensificação da ação do escoamento superficial. Destacaram-se na média geral dos valores, duas sub-bacias com área inferior a 600 km² e quatro com dimensões maiores que 1000 km², o que significa que estes fatores podem influenciar na escolha das práticas de manejo do solo, independentemente da dimensão da bacia hidrográfica (Tabela 3). Lense et al. (2019) afirmam que há severidade dos processos erosivos, principalmente em áreas com solo descoberto, com maior declividade e em culturas sem práticas agrônômicas conservacionistas. Para Meira et al. (2016) a declividade é um fator importante para o processo decisório de mecanização da área produtiva, onde declives acima de 12% (aproximadamente 7°) não são recomendados para o uso de máquinas agrícolas; admitindo que quanto mais alta a declividade, maiores serão as perdas naturais de solo. A partir destes fatores iniciais a bacia do rio Capim passa a ter um zoneamento natural nesta relação entre o escoamento superficial e as demandas de manejo do solo para práticas agrícolas.

Tabela 3 - Fator LS e Declividade. Variação: Máximo-Mínimo (Mm°); Média (Md); e Desvio Padrão (Dp).

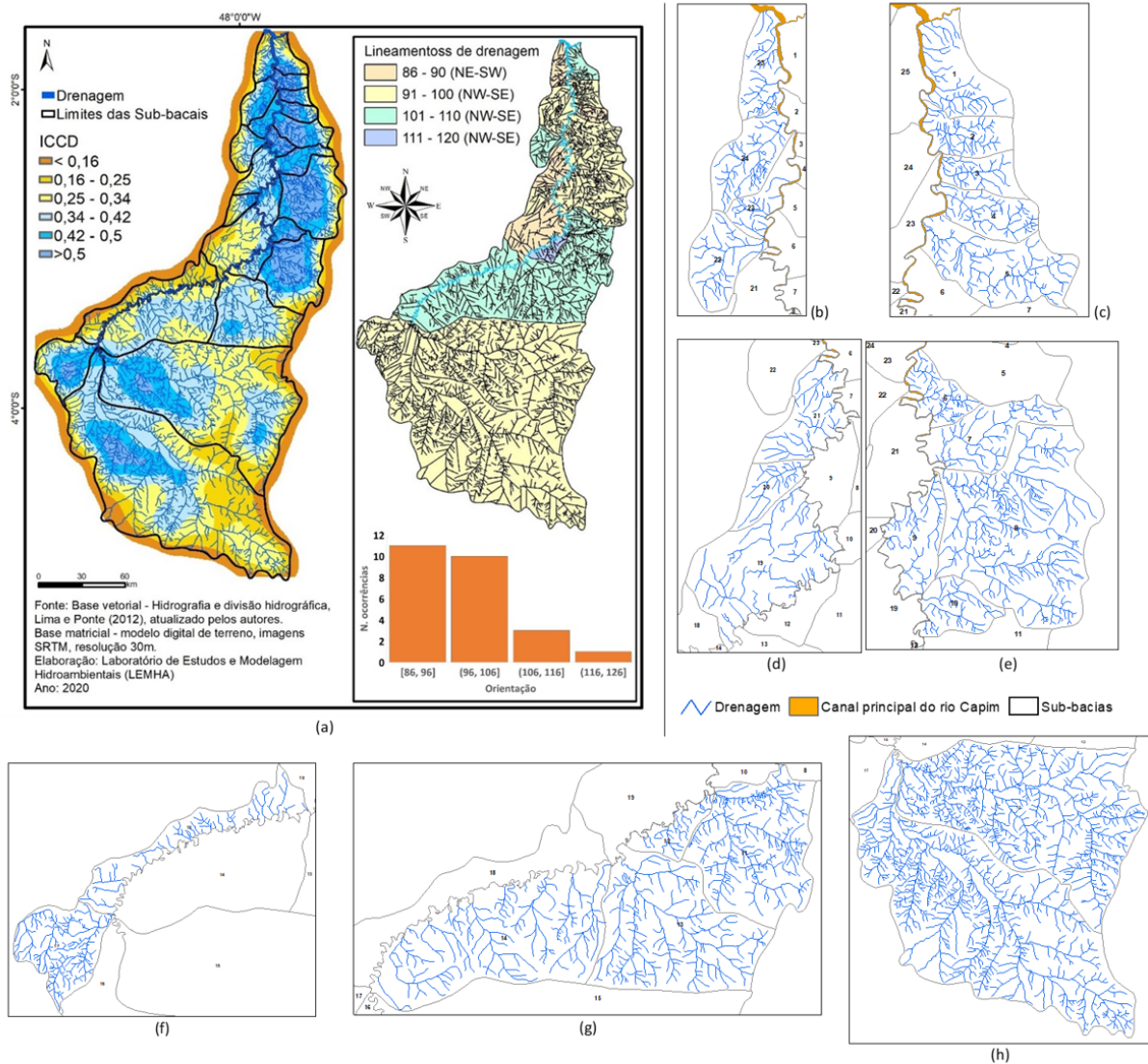
Sub-bacias		Área (km ²)	Maior Ordem	Declividade			Fator LS		
				(Mm°)	Md	Dp	(Mm°)	Md	Dp
1	Ig. Palheta	404,42	3	62,837	5,840	56,997	52,120	2,929	3,033
2	Ig. Jarí	248,25	4	56,970	5,299	51,671	44,398	2,554	2,332
3	Ig. Juruará	197,38	3	61,993	5,684	56,310	51,392	2,788	2,822
4	Ig. Caratateuá	280,30	4	61,741	6,254	55,487	72,726	3,185	3,359
5	Ig. Jabuti Maior	630,33	4	60,242	6,427	53,815	86,133	3,289	2,954
6	Ig. Cipoteuá	235,00	3	63,429	6,523	56,906	50,885	3,426	3,228
7	Rio Candirú-Miri	475,66	4	64,715	6,298	58,417	91,931	3,216	2,910
8	Rio Candiru-Açu	1870,55	5	51,572	6,498	45,075	67,169	3,403	2,836
9	Ig. Tracajá	399,04	3	58,719	6,413	52,306	103,727	3,356	3,214
10	Ig. Carrapatinho	285,40	3	56,191	6,579	49,612	47,859	3,369	2,869
11	Rio Potirita	1834,25	5	58,171	6,356	51,815	70,014	3,356	3,106
12	Ig. Caetano	298,40	3	65,474	6,137	59,337	92,073	3,184	3,092
13	Rio Jamaxim	2263,35	5	66,910	6,625	60,285	148,746	3,644	3,765
14	Ig. Itaquiteua Grande	2689,54	3	73,423	5,616	67,807	131,186	2,982	4,248
15	Rio Surubijú	8426,34	5	67,650	6,292	61,358	131,361	3,415	3,621
16	Rio Ararandeuá	10742,62	5	64,508	7,218	57,291	155,610	4,213	4,025
17	Ig. Jotuba	1178,05	5	67,036	5,465	61,571	63,545	2,812	2,707
18	Bacias primárias	1215,88	3	64,264	4,616	59,648	105,180	2,356	3,808
19	Ig. Caratauá-Açu	1332,59	4	76,763	6,175	70,588	131,197	3,389	5,667
20	Ig. da Fz. Vargem Alegre	286,47	3	68,039	5,359	62,681	158,814	2,849	4,712
21	Ig. Cajueiro	564,95	3	65,534	6,933	58,600	121,915	3,903	5,142
22	Ig. Maracaxi	475,43	3	62,874	4,584	58,290	89,434	2,355	3,040
23	Ig. São Mateus	281,43	4	63,333	5,589	57,744	48,223	2,862	3,227
24	Ig. Pirajoara	498,53	4	68,860	4,929	63,930	56,048	2,523	3,487
25	Ig. do Porto Seguro	371,60	3	69,987	5,041	64,946	66,424	2,530	3,086
Geral da bacia					5,950			3,115	

Fonte: Produto da pesquisa.

Observando a geometria resultante da rede de drenagem no terreno (lineamentos de drenagem, incluindo também os cursos d'água perenes e intermitentes), passa-se a análise segundo arranjo espacial e morfometria, seguindo os conceitos apresentados em Argialas et al. (1988) e Wang et al. (2016). A disposição espacial da rede de drenagem denota que a bacia, apesar da relativa uniformidade geológica, tem um forte controle da rede, que pode ser indicado pela presença de diversos padrões (Figura 5). A distribuição dos lineamentos da rede de

drenagem indica um comportamento médio NW-SE seguido de NE-SW.

Figura 5 - Arranjo geoespacial da rede de drenagem: (a) Índice de Concentração de Canais de Drenagem (ICCD) e orientação da rede; (b) - (c) sub-bacias próximas a foz; (d) - (e) sub-bacias médio-baixo curso; (f) - (g) sub-bacias médio-alto curso; (h) sub-bacias de alto curso.



Fonte: Elaborada pelos autores.

As sub-bacias próximas a foz (1 a 5 e 22 a 25) apresentam área menor que 700 km², sendo caracterizadas por unidades de 3^a e 4^a Ordem, agrupando vários canais de 1^a e 2^a que drenam em direção ao rio Capim. Nestas identificam-se formas angulares, paralelas e localmente sem ordenamento (dendrítica). Em direção ao médio curso, as sub-bacias do lado direito (6 a 10) diferenciam-se do lado esquerdo (19 a 21); este último mantém o comportamento anterior com bacias de 3^a Ordem, porém os arranjos angulares e treliça ficam mais evidentes; as demais, já migram até a 5^a Ordem, mesclando diversos padrões, incluindo angular, treliça, retangular, paralelo e localmente dendrítico. Até este segmento, o rio Capim (canal principal) é meandrante, com orientação N-S e no geral predominam unidades menores que 700 km² em área.

O médio-alto curso tem dois contextos, marcados pela forte inclinação para sudoeste do rio Capim, que se torna uma sequência de meandros. A borda oriental é mais densa, com uma heterogeneidade muito grande de padrões (angular, treliça, retangular, paralelo, localmente dendrítico e circular) e as sub-bacias atingem no máximo a 3^a e 4^a Ordem; a borda ocidental

corresponde a uma faixa estreita com sub-bacias atingem no máximo a 3ª Ordem, com comportamento de maior destaque, angular e dendrítico. E por fim as duas sub-bacias (15 e 16) que formam as cabeceiras da bacia, correspondem a unidades de 5ª Ordem, sendo marcante a orientação dos canais, denotando os padrões angular e treliça; neste momento a bacia sofre uma nova curvatura, para direção sudeste; predominando unidades maiores que 1000 km² em área. O Índice de Concentração de Canais de Drenagem (ICCD) também exemplifica estas relações demonstrando a maior densidade ($> 0,4 \text{ km}^{-1}$) na margem direta do médio-baixo curso, e localmente nas sub-bacias formadoras de cabeceira.

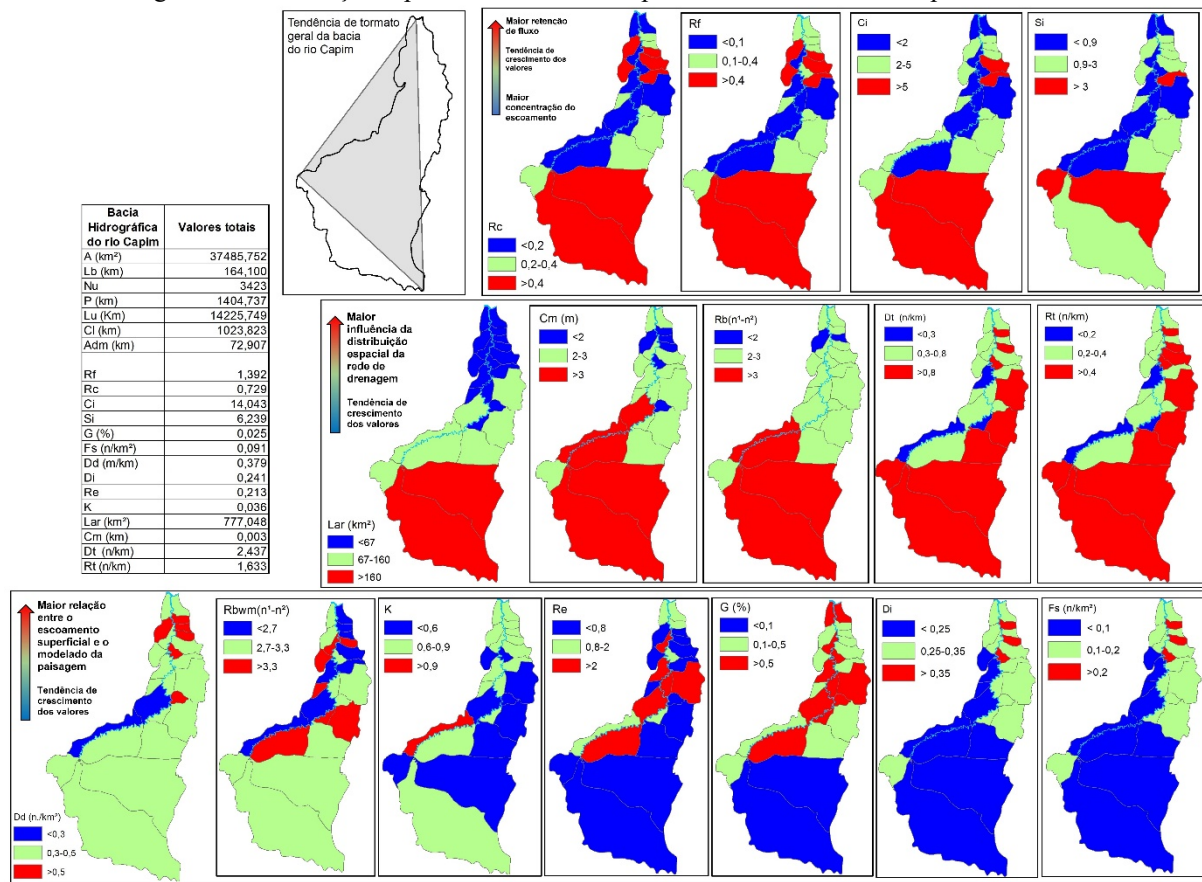
Associando as informações geoespaciais da rede de drenagem, com as obtidas pela análise altimétrica, já se observa o reflexo da concentração do escoamento superficial, e que existe uma orientação potencial que intensifica os processos erosivos, sendo necessário nos locais de maior vulnerabilidade a manutenção da vegetação ripária para contenção da remoção das partículas do solo, e ao mesmo tempo apoiar o seu manejo com a manutenção de faixas úmidas durante o período menos chuvoso, conforme discutido por Acuña et al. (2017) e González et al. (2017), que argumentam o papel que a vegetação ripária desenvolve para manutenção dinâmica do sistema fluvial, principalmente nas áreas de formação de planícies de inundação, como ocorre próximo a foz do rio Capim.

Na Figura 6 o agrupamento preliminar é reiterado. Existe a tendência de escoamento mais intenso ao longo do eixo do canal principal, denotada pelos parâmetros condicionados pela relação entre área, perímetro, eixo principal da bacia e comprimento do canal principal; seguindo do padrão geral observado para a bacia, que se aproxima do triangular (ARGIALAS et al., 1988; ALTAF et al., 2013). A distribuição espacial da rede de drenagem foi mais atuante nas duas sub-bacias de maior área, que também acompanharam o comportamento geral; nesta, o que mais influenciou foram os parâmetros condicionados pela expressão do número de canais pela área das sub-bacias. Quando se verificou a relação com o modelado da paisagem, a geometria da área da sub-bacia e sua dimensão interferiram (principalmente pela agregação dos parâmetros confrontarem número/comprimento dos canais com sua expressão em área e relação altimétrica), resultando em uma variação entre as mesmas, onde as bacias de cabeceiras gradaram para os valores medianos a menores.

De forma geral as sub-bacias com área menor que 700 km² foram as mais sensíveis as variações, pois conforme Teodoro et al. (2007) quanto menor for a unidade areal da bacia, mais o escoamento superficial interfere como modelador de suas características, assim, as menores variações serão percebidas, principalmente se influenciadas pelas variações altimétricas. Apesar dos parâmetros morfométricos não considerarem as componentes geologia, cobertura de solos e uso da terra, verifica-se que estes são capazes de agregar elementos descritivos importantes, que diferenciam unidades com comportamentos semelhantes, permitindo uma análise mais integrada (WANG et al., 2016).

Como produto para o manejo do solo voltado para práticas agrícolas, apresenta-se o agrupamento de bacias da Figura 7, este é resultante da análise integrada dos fatores morfométricos apresentados na Figura 6. O resultado coincidiu com a classificação segundo a carta de potencial de retenção, elaborada empregando a ferramenta de detecção de vales a partir do modelo digital de elevação (CONRAD et al., 2015). Neste, as sub-bacias de menor ordem vinculadas ao canal principal são as que mais respondem ao escoamento. Para as variações identificadas, Bem et al. (2015) descrevem que as classes à medida que se agrupam, se tornam aglomerados cada vez maiores, contendo elementos mais diferenciados, onde cada *nó* (onde um novo *cluster* é formado) corresponde a distância do critério chave responsável pelo *cluster*. Por este motivo as sub-bacias 4 (Ig. Caratateuá), 8 (Rio Candiru-Açu), 18 (Bacias primárias) e 6 (Ig. Cipoteuá), que ficaram distanciadas, foram agrupadas segundo sua maior aderência de comportamento.

Figura 6 - Distribuição espacial das classes dos parâmetros morfométricos por sub-bacia.



Onde: Área (A), Comprimento do eixo da bacia (Lb), Número de canais (Nu), Perímetro (P), Comprimento total dos canais (Lu), Comprimento do canal principal (Cl), Distância areal mínima (Adm).

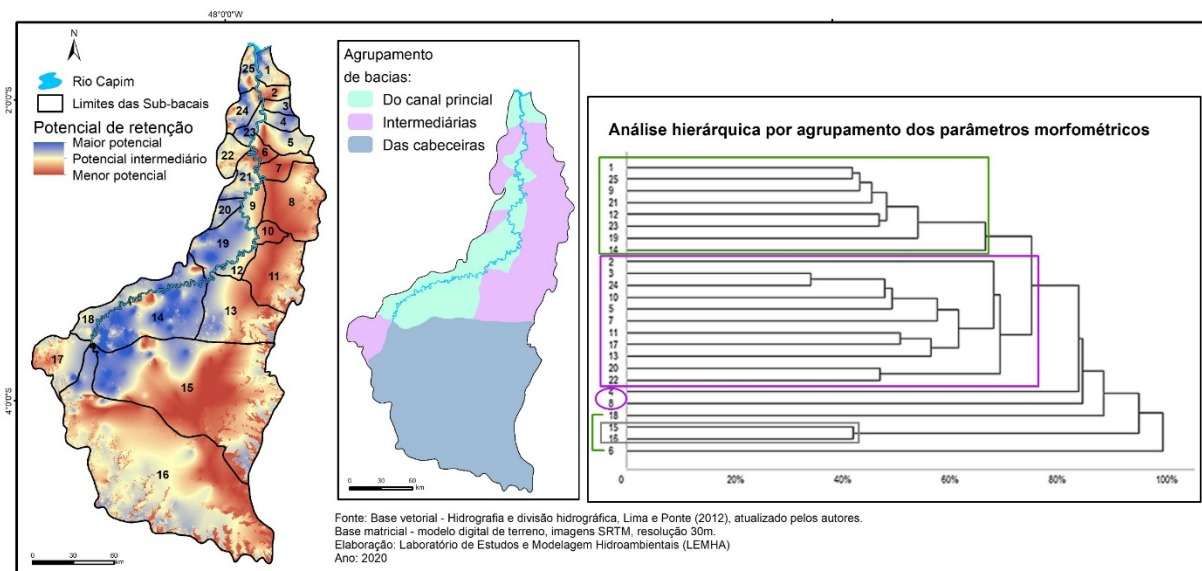
Razão de comprimento (Rc), Fator de forma (Rf), Índice de canal (Ci), Índice de sinuosidade (Si).

Relação areal (Lar), Coeficiente de manutenção (Cm), Relação de bifurcação (Rb), Textura de drenagem (Dt), Razão de textura de drenagem (Rt).

Densidade de drenagem (Dd), Comprimento médio da razão de bifurcação (Rbwm), Índice de forma (K), Relação de alongação (Re), Gradiente dos canais (G%), Intensidade de drenagem (Di), Frequência dos canais (Fs).

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 7 - Agrupamento aplicado a bacia do rio Capim e potencial de retenção nos vales. E análise hierárquica por agrupamento dos parâmetros morfométricos.

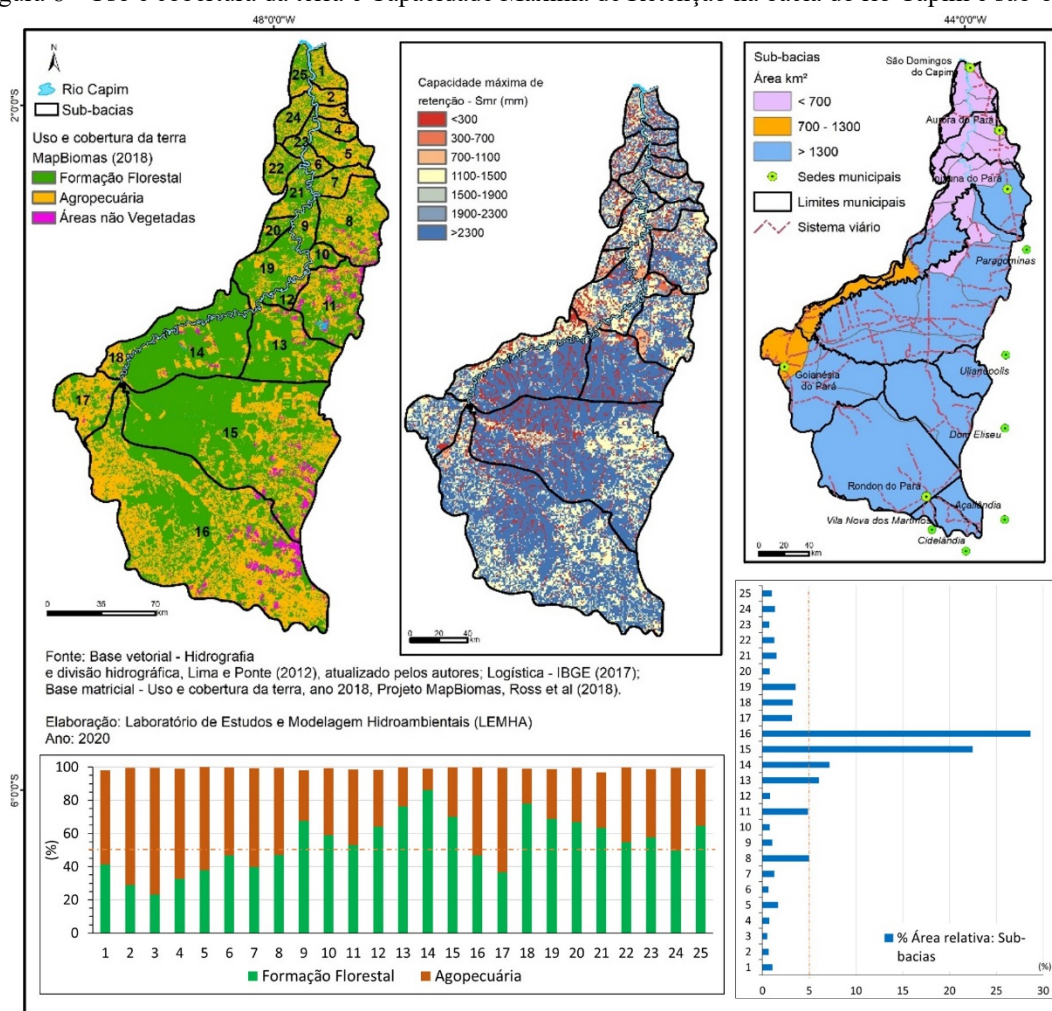


Fonte: Base vetorial - Hidrografia e divisão hidrográfica, Lima e Ponte (2012), atualizado pelos autores.
 Base matricial - modelo digital de terreno, imagens SRTM, resolução 30m.
 Elaboração: Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais (LEMHA)
 Ano: 2020

Fonte: Elaborada pelos autores.

O conhecimento sobre as diferentes formas do uso da terra é fundamental na detecção de áreas com vulnerabilidade ambiental potencializadas por fatores antrópicos, a fim de amenizar os impactos negativos significativos no equilíbrio do meio ambiente (PEREZ ORTEGA et al., 2018). Na Figura 8 verifica-se que as áreas destinadas as práticas agropecuárias correspondem as identificadas como bacias intermediárias e de cabeceiras, estando a maior parte das sub-bacias vinculadas ao canal principal com alguma forma de cobertura vegetal. A releitura da carta de uso e cobertura da terra em função do parâmetro Curva Número (CN), gerou o potencial de capacidade máxima de retenção para as sub-bacias, contemplando desta forma a influência dos tipos de solos e das formas de uso da terra, que antes, apenas pela morfometria não estavam diretamente inseridas na avaliação.

Figura 8 - Uso e cobertura da terra e Capacidade Máxima de Retenção na bacia do rio Capim e sub-bacias.

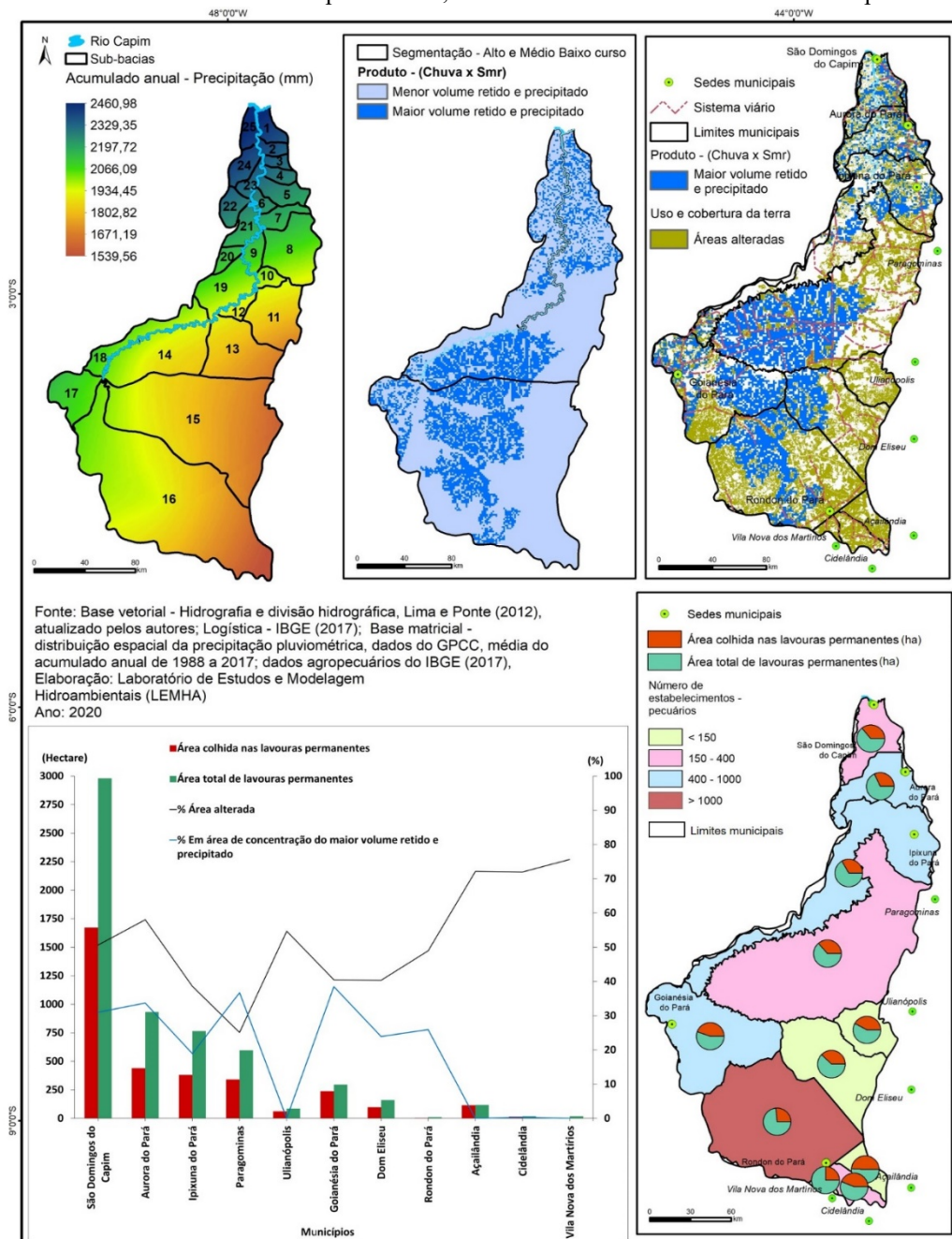


Fonte: Elaborada pelos autores.

Apesar deste ser o padrão mais recomendado, por evitar o desmatamento intensivo nas áreas de mais drenadas, as sub-bacias de 1 a 7 (margem direita, próximo a foz), com áreas menores que 700 km², possuem mais de 50% do seu território com áreas alteradas. As sub-bacias dos rios Candiru-Açu (8), Ararandeua (16) e do Ig. Jotuba (17), com áreas superiores a 1000 km², também se encontram com o mesmo percentual. A sub-bacia do rio Surubijú (15) tem a menor faixa alterada, mas concentrada em suas bordas, em micro-bacias (< 100 km²) de menor ordem. Tal situação compromete alguns municípios da bacia, como São Domingos do Capim e Aurora do Pará, onde dominam as bacias de menor área. As sub-bacias de área maior que 1300 km² formam mais que 50% do total da área da bacia do rio Capim, influenciando

diretamente assim seu comportamento; quanto maior a área de contribuição, maior é a importância do afluente para a bacia hidrográfica (BIERKENS et al., 2015; CAMINO et al., 2018). Em seus estudos, Carvalho et al. (2019) discutem o desmatamento no estado do Pará apontando áreas agropastoris próximas as observadas (Figura 8), destacando que a retirada da vegetação secundárias associada ao abandono da terra (sem práticas conservacionistas do solo) em regiões de topografia íngreme acarreta na degradação do solo, onde em casos de chuvas intensas podem agravar o cenário ambiental e gerando sérios prejuízos econômicos para a gestão agrícola. O cruzamento por álgebra de mapas (produto) entre *Smr* e a distribuição da precipitação pluviométrica, separou as áreas de maior e menor relação entre o volume retido e precipitado (Figura 9).

Figura 10 - Carta de Distribuição da Precipitação Pluviométrica. Carta resultante do produto entre a precipitação pluviométrica e capacidade máxima de retenção; e representação espacial, com as áreas alteradas resultantes do mapeamento do uso da terra e os limites municipais contidos na bacia. Distribuição da produção agropecuária: área total e colhida de lavoura permanente, número de estabelecimento associados a pecuária.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Destacando-se novamente as sub-bacias de menor ordem associadas ao canal principal (identificadas na Figura 7) e o aumento da complexidade das sub-bacias de cabeceiras. Havendo similaridade de comportamento com o índice de concentração de canais de drenagem (ICCD), que respondeu da mesma forma em termos de distribuição geral na bacia.

O clima da região amazônica é regido pela combinação de mecanismos climáticos oriundos do acoplamento oceano-atmosfera que influencia nos sistemas sinótico e de mesoescala indutores de chuvas (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; BAKKER; PRANGE, 2018). Yoon e Zeng (2009) complementam que tais forçantes climáticas apresentam grande relação com a pluviosidade na Amazônia oriental. A precipitação pluviométrica da bacia do rio Capim, discutida em Gomes et al. (2018), apresenta uma tendência de aumento de SE-NW, mantendo os valores mais elevados próximos a foz. Esta distribuição contribuiu para o incremento da concentração de volume destinado ao escoamento a norte e intensificou o efeito já caracterizado pelo *Smr* na faixa mais a oeste e sudoeste da bacia.

A associação deste produto com as manchas de áreas alteradas (destinadas a agropecuária e classificadas como áreas não vegetadas), permite entender que existem dois contextos marcantes: o Alto Capim - formado pelos municípios paraenses de Ulianópolis, Dom Eliseu, Rondon do Pará, Goianésia do Pará e pelos municípios maranhenses de Açailândia, Cidelândia e Vila Nova dos Martírios, apresentando uma área superior a 30% de alteração e a concentração do escoamento basicamente na área de 3 municípios (Dom Eliseu, Rondon do Pará e Goianésia do Pará); e o Baixo-Médio Capim, onde Paragominas tem a maior representação em área, o menor percentual de alteração e o maior retenção de água. Na foz, São Domingos do Capim e Aurora do Pará, são formados por bacias menores que 700 km² em área, e junto com Ipixuna do Pará apresentam um percentual de alteração acumulada superior a 50%. Este cenário deve ser associado, como apresenta a Figura 9, com o maior quantitativo em área destinada a agricultura e uma faixa até 1000 estabelecimentos agropecuários, em São Domingos do Capim, Aurora do Pará e Ipixuna do Pará. Predominando um comportamento misto entre os municípios da bacia, que mesclam as atividades de pecuária e agricultura.

Esta distribuição torna a dinâmica dos municípios de Paragominas, Dom Eliseu, Rondon do Pará e Goianésia do Pará essenciais para a manutenção hídrica da bacia do rio Capim; e as proximidades de sua foz com o rio Guamá, em São Domingos do Capim e Aurora do Pará, como áreas vulneráveis pela heterogeneidade de resposta quanto a capacidade máxima de retenção e percentual de áreas alteradas, com o acréscimo desta região ser influenciada pela ação das marés e onde o rio Capim apresenta sua maior área de planície de inundação. Em termos percentuais São Domingos do Capim representa 3,81% do total da área da bacia do rio Capim, Aurora do Pará - 4,81%, Ipixuna do Pará - 13,94%, Paragominas - 27,81%, Ulianópolis - 3,28%, Goianésia do Pará - 12,20%; Dom Eliseu - 9,18%, Rondon do Pará - 19,45% e os municípios maranhenses - 3,88% (1,64% restantes são compostos por municípios limítrofes as bordas da bacia). Esta configuração torna os municípios de Rondon do Pará, Goianésia do Pará e Paragominas responsáveis por 59,5% da resposta da dinâmica da paisagem da bacia.

O reflexo para o escoamento superficial e suas consequências para o manejo agrícola, deve ser avaliado na perspectiva de onde estas frentes de expansão do setor estão produzindo maiores efeitos conservacionistas para as sub-bacias componentes. As manchas associadas a cobertura vegetal não estão (necessariamente) coordenadas segundo a faixa de vegetação ripária, que assume um relevante papel na contenção de sedimentos e manutenção de margens (GONZALEZ et al., 2017). A geometria geral da bacia e sua configuração altimétrica não delineiam condições de menor impacto às áreas destinadas ao setor produtivo, cidades e vias de acesso, pois estas são sendo concordantes com a direção preferencial do escoamento superficial em diversas sub-bacias, acarretando assim na disseminação de problemas, tais como focos de erosão e incrementos do efeito das cheias sazonais (ZEBALLOS et al., 2014).

O potencial para a atividade agrícola e pecuária na região pode ser avaliado considerando o uso das áreas já desmatadas e a proposição de crescimento, a partir de práticas de manejo do

solo sustentáveis e planejadas, segundo sua oferta. Na bacia do rio Capim ocorrem áreas consideradas propícias para o dendê, onde há o aproveitamento de áreas já desmatadas, mantendo o Nordeste Paraense ainda como uma região de avanço desta cultura; da mesma forma verifica-se o uso destas áreas para a produção da soja, que se expande graças a incentivos fiscais e a presença de vias de circulação intermodal, com a articulação de rodovias, ferrovias e portos; em ambas as situações tem-se a migração populacional para a região, com a construção de infraestruturas que viabilizam o armazenamento, a circulação e a comercialização da produção envolvida (MIRANDA; SILVA, 2016). Sousa et al. (2017) indicam que na região de Paragominas-Ulianópolis as áreas destinadas ao pasto estão sendo convertidas vegetação secundária, ressaltando que parte destas se desenvolveram sobre regiões recentemente desflorestadas; e que a utilização para agricultura ocorreu sobre áreas de pastagem degradadas, concordando com os resultados da moratória da soja que atua nestes municípios, os quais indicam uma expansão desta sobre áreas desflorestadas anteriores a 2006.

O quadro geral descrito em Pará (2017) aponta que: Ulianópolis detém cerca de 9,7 % do total da produção paraense; ressaltando a participação em soja de Paragominas (25,84% da safra total) e Dom Eliseu (17,71%); Dom Eliseu reaparece como o principal produtor de milho (11,20%), seguido de Paragominas (10,64%), onde o processo de cultivo acompanha as condições produtivas e logística praticados na soja. Os dados fornecidos pelo IBGE, censo agropecuário de 2017, indicam para São Domingos do Capim, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará e Rondon do Pará (que apresentam o maior percentual da área do município contido na área da bacia, > 80%) uma área total destinada a prática de lavoura permanente de cerca de 4691 hectares e 2970 estabelecimentos agropecuários destinados à pecuária. Os municípios de Paragominas, Goianésia do Pará e Dom Eliseu por conterem de 50 a 65% da sua área total inserida na bacia, de forma percentual foi associada uma distribuição relativa indicando um possível aproveitamento em torno de 1000 hectares para agricultura e 1200 estabelecimentos de pecuária. Os demais, por sua menor representatividade em área, impactam menos na dinâmica hídrica da bacia (Figura 9).

A tendência de crescimento das áreas produtivas se aproxima a um padrão centrífugo, o que força práticas de manejo associadas ao incremento topográfico (se direciona para as bordas da bacia) e também que priorizem a não potencialização de efeitos erosivos por escoamento concentrado, pois a distribuição da capacidade máxima de retenção favoreceu estas áreas, além da maior variabilidade entre o máximo e o mínimo da precipitação, indicando locais de ocorrência de chuvas concentradas durante o ano. O planejamento da utilização de terras na bacia deve promover o maior ordenamento no Alto Capim, porém no Baixo-Médio a presença de Ipixuna do Pará e Paragominas, que correspondem a uma faixa de bacia com elevada variabilidade de comportamento e relevância econômica regional (MIRANDA; SILVA, 2016), merecem o destaque na gestão, pois são responsáveis pelas principais unidades hídricas que alimentam a bacia, depois daquelas que constituem o Alto Capim (Surubijú-Ararandeuá-Jotuba).

Segundo o proposto por Quadros e Rebollar (2009) e Carvalho e Curi (2015) podem ser usados como indicadores de boas práticas de manejo aplicadas a bacia do rio Capim: (a) Recuperação das Áreas de Preservação Permanente (APP) e Regeneração de Áreas Degradadas e de Potencial de Erosão: prioridade cursos d'água do Alto-Capim, nas áreas de maior variação topográfica; (b) monitoramento da qualidade e quantidade das águas: conforme observado em Gomes et al. (2018) o existente não permite quantificar o efeito dos canais afluentes nem da maré; (c) acompanhamento dos indicadores das atividades desenvolvidas: de forma a disponibilizar informações para planejamento ambiental e dos recursos hídricos, este processo deve ser aplicado a todos os municípios da bacia, pois as vulnerabilidades são diferenciais, porém ocorrem em todos estes; (d) construção de um projeto de monitoramento ambiental participativo com a comunidade local, envolvendo principalmente as sedes municipais e as comunidades produtoras, de forma a implantar medidas de manejo para minimização dos

impactos gerados na bacia, promovendo o diálogo também com os municípios do estado do Maranhão, que mesmo com menor participação, são responsáveis pela federalização da bacia.

CONCLUSÃO

A análise das componentes geoespaciais da bacia do rio Capim com o objetivo de definir zonas prioritárias para o ordenamento agrícola da região, demonstrou que as sub-bacias mais relevantes são as que já se encontram mais afetadas pelas formas de uso da terra, destinadas principalmente para o aproveitamento agropecuário. O maior potencial de retenção do escoamento superficial encontra-se nas sub-bacias de menor ordem e nas de menor área de contribuição, o que torna o manejo nestas regiões prioritário para evitar perdas de solo por erosão ou problemas relacionados a enchentes e enxurradas.

A utilização da caracterização morfométrica associada a análise dos efeitos de uso e cobertura da terra, pode ser uma alternativa para regiões sem monitoramento fluviométrico numericamente representativo da bacia hidrográfica. O comportamento do escoamento superficial pode ser modelado a partir da componente altimétrica e do parâmetro Curva Número, em associação com a distribuição da precipitação pluviométrica. O resultado permite definir zonas de maior acumulação, onde o escoamento pode produzir efeitos negativos sobre as áreas de plantio, nestas devem ocorrer práticas conservacionistas para minimizar os impactos ambientais decorrentes das atividades, principalmente nas faixas de área de preservação permanente, reduzindo o risco de ocorrência de deposição de sedimentos e assoreamento dos cursos d'água.

A bacia já se encontra zoneada quanto ao potencial agropecuário, com os municípios de São Domingos do Capim, Aurora do Pará e Ipixuna do Pará, que marcam o médio-baixo curso, apresentando uma forte diferença de Dom Eliseu, Rondon do Pará e Goianésia do Pará que definem em área o médio-alto curso. O que fortalece a necessidade de políticas que associem a gestão hídrica a expansão do setor agropecuário de forma a garantir o qualitativo e o quantitativo de água para a manutenção do setor produtivo local e o atendimento das demandas municipais.

REFERÊNCIAS

ACUÑA, V.; HUNTER, M.; RUHÍ, A. Managing temporary streams and rivers as unique rather than second-class ecosystems. **Biological Conservation**, v. 211, p. 12-19, 2017.

<http://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.12.025>

ALTAF, F.; MERAJ, G.; ROMSHOO, S. A. Morphometric Analysis to Infer Hydrological Behaviour of Lidder Watershed, Western Himalaya, India. **Geography Journal**, v. 2013, id 178021, p. 1-14, 2013. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/178021>

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 04, p. 423-434, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862012000400006>

ARGIALAS, D. P.; LYON, J. G.; MINTZER, O. W. Quantitative Description and Classification of Drainage Patterns. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 4, p. 505-509, 1988.

BAKKER, P.; PRANGE, M. Response of the intertropical converge zone Antarctic ice sheet melt. **Journal Geophysical Research Letters**, v. 45, p. 8673-8680, 2018.

<https://doi.org/10.1029/2018GL078659>

BECKER, A.; FINGER, P.; MEYER-CHRISTOFFER, A.; RUDOLF, B.; SCHAMM, K.; SCHNEIDER, U.; ZIESE, M. A description of the global land-surface precipitation data products of the Global Precipitation Climatology Centre with sample applications including centennial (trend) analysis from 1901 - present. **Earth System Science Data Discussions**, v. 5, p. 921-998, 2012. <http://doi.org/10.5194/essdd-5-921-2012>

BEM, J. S.; GIACOMINI, N. M. R.; WAISMANN, M. Utilização da técnica da análise de clusters ao emprego da indústria criativa entre 2000 e 2010: estudo da Região do Consinos, RS. **Interações**, v. 16, n. 1, p. 27-41. <http://doi.org/10.1590/151870122015102>.

BIERKENS, M. F. P.; BELL, V. A.; BUREK, P.; CHANEY, N.; CONDON, L. E.; DAVID, C. H.; ROO, A.; DÖLL, P.; DROST, N.; FAMIGLIETTI, J. S.; FLÖRKE, M.; GOCHIS, D. J.; HOUSER, P.; HUT, R.; KEUNE, J.; KOLLET, S.; MAXWELL, R. M.; REAGER, J. T.; SAMANIEGO, L.; SUDICKY, E.; SUTANUDJAJA, E. H.; VAN DE GIESEN, N.; WINSEMIUS, H.; WOOD, E. F. Hyper-resolution global hydrological modelling: what is next?, **Hydrological Processes**, v. 29, p. 310-320, 2015. <http://doi.org/10.1002/hyp.10391>.

CAMINO, M. A.; BÓ, M. J.; CIONCHI, L.; LÓPEZ DE ARMENTIA, A.; DEL RÍO, J. L.; MARCO, S. G. Estudio morfométrico de las cuencas de drenaje de la vertiente sur del sudeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). **Revista Universitaria de Geografía**, v. 27, n. 1, p. 73-97, 2018.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F. Indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: uma proposta metodológica de construção e análise. **E & G Economia e Gestão**, v. 15, n. 38, p. 1-25, 2015.

CARVALHO, R.; ADAMI, M.; AMARAL, S.; BEZERRA, F. G.; AGUIAR, A. P. D. Changes in secondary vegetation dynamics in a context of decreasing deforestation rates in Pará, Brazilian Amazon. **Applied Geography**, v. 106, p. 40-499, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2019.03.001>

CHOUDHARI, P. P.; NIGAM, G. K.; SINGH, S. K.; THAKUR, S. Morphometric based prioritization of watershed for groundwater potential of Mula river basin, Maharashtra, India. **Geology, Ecology and Landscapes**, v. 2, n. 4, p. 256-267, 2018. <http://doi.org/10.1080/24749508.2018.1452482>

CONRAD, O.; BECHTEL, B.; BOCK, M.; DIETRICH, H.; FISCHER, E.; GERLITZ, L.; WEHBERG, J.; WICHMANN, V.; BÖHNER, J. System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4. **Geoscientific Model Development**, v. 8, p. 1991-2007, 2015. <http://doi.org/10.5194/gmd-8-1991-2015>.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **GeoTextos**, v. 6, n. 2, p. 187-208, 2010.

GOERL, R. F.; KOBAYAMA, M.; SANTOS, I. Hydrogeomorphology: principles, concepts, processes and applications. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 103-111, 2012.

GOMES, D.; LIMA, A.; JUNIOR, J.; SERRÃO, E. Impactos das mudanças de uso da terra e dos eventos climáticos extremos em sistemas hidrológicos da Amazônia Oriental - Bacia do rio Capim (PA-MA). **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 12, n. 2, p. 153 - 172, 2018.

GONZÁLEZ, E.; FELIPE-LUCIA, M. R.; BOURGEOIS, B.; BOZ, B.; NILSSON, C.; PALMER, G.; SHER, A. A. Integrative conservation of riparian zones. **Biological Conservation**, v. 211, p. 20-29, 2017. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.035>

GONZÁLEZ-FERRERAS, A. M.; BARQUÍN, J. Mapping the temporary and perennial character of whole river networks. **Water Resources Research**, v. 53, p. 6709-6724, 2017. <http://doi.org/10.1002/2017wr020390>.

HARSHA, J.; RAVIKUMAR, A. S.; SHIVAKUMAR, B. L. Evaluation of morphometric parameters and hypsometric curve of Arkavathy river basin using RS and GIS techniques. **Applied Water Science**, v. 10, n. 86, 2020. <http://doi.org/10.1007/s13201-020-1164-9>

HRABALÍKOVÁ, M.; JANEČEK, M. Comparison of Different Approaches to LS Factor Calculations Based on a Measured Soil Loss under Simulated Rainfall. **Soil and Water Research**, v. 12, n. 2, p. 69-77, 2017. <http://dx.doi.org/10.17221/222/2015-SWR>

KOWALIK, T.; WALEGA, A. Estimation of CN parameter for small agricultural watersheds using asymptotic functions. **Water**, v. 7, p. 939-955, 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/w7030939>.

LENSE, G. H. E.; PARREIRAS, T. C.; MOREIRA, R. S.; AVANZI, J. C.; MINCATO, R. L. Estimates of soil losses by the erosion potential method in tropical latosols. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 43, e012719, 2019. <http://doi.org/10.1590/1413-7054201943012719>.

LIMA, A. M. M.; PONTE, M. X. Dinâmica da Paisagem da Bacia do Rio Capim-PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, p. 127-142, 2012.

LIMA, A. O.; LIMA-FILHO, F. P.; DIAS, N. S.; SOUSA, A. M.; SILVA, M. R. F. Morphometry and longitudinal profile of the river Cobras sub-basin in planning the location of underground dams. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 4, p. 562-570, 2019. <http://doi.org/10.5935/1806-6690.20190066>

LIMA, J. B.; SILVA, J. M. P. Dinâmicas econômicas e ordenamentos territoriais dos grandes projetos de mineração no estado do Pará (2009-2014): o caso de Paragominas. **Geosaberes**, v. 6, n. 3, p. 402-416, 2016.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento superficial da água da chuva em um fragmento florestal de mata atlântica, Viçosa-MG. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 5, n. 1, p. 50-58, 2015. <http://doi.org/10.21206/rbas.v5i1.316>

MEIRA, R. T.; SABONARO, D. Z.; SILVA, D. C. C. Elaboração de Carta de Adequabilidade Ambiental de uma pequena propriedade rural no município de São Miguel Arcanjo, São Paulo, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 1, p. 77-84, 2016. <http://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100133687>.

MIRANDA, R. R.; SILVA, M. A. P. Das agroestratégias aos eixos territoriais do agronegócio no estado do Pará. **Boletim DATALUTA**, n. 99, p. 1-29, 2016.

MONTIEL GONZAGA, R.; PRADO HERNÁNDEZ, J. V.; VÁZQUEZ PEÑA, M. A.; IBÁÑEZ CASTILLO, L. A.; PASCUAL RAMÍREZ, F. Evaluación del escurrimiento superficial de los modelos de Curva Numérica y Green-Ampt en la cuenca río Chapingo, México. **Terra Latinoamericana**, v. 37, n. 3, p. 291-301, 2019.
<http://dx.doi.org/10.28940/terra.v37i3.484>

MOULATLET, G. M.; RENNÓ, C. D.; COSTA, F. R. C.; EMILIO, T.; SCHIETTI, J. Mapping hydrological environments in central Amazonia: ground validation and surface model based on SRTM DEM data corrected for deforestation. **Earth System Science Data**, v. 7, p. 29-34, 2015. <http://doi.org/10.5194/essd-7-29-2015>.

NEVES, M. C. R.; CASTRO, L. S.; FREITAS, C. O. O impacto das cooperativas na produção agropecuária brasileira: uma análise econométrica espacial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, n. 4, p. 559-576, 2019. <http://doi.org/10.1590/1806-9479.2019.187145>.

PANAGOS, P.; BORRELLI, P.; MEUSBURGER, K. A New European Slope Length and Steepness Factor (LS-Factor) for Modeling Soil Erosion by Water. **Geosciences**, v. 5, p. 117-126, 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/geosciences5020117>

PARÁ. **Boletim Agropecuário do Pará**. Belém: Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas do Pará - FAPESPA, Governo do Estado do Pará, 2017, 92p.

PEREZ ORTEGA, D. J.; SEGOVIA ORTEGA, J. A.; CABRERA MONCAYO, P. C.; DELGADO VARGAS, I. A.; MARTINS POMPÊO, M. L. Uso del suelo y su influencia en la presión y degradación de los recursos hídricos en cuencas hidrográficas. **Revista de Investigación Agraria Y Ambiental**, v. 9, n. 01, p. 41-57, 2018.
<https://doi.org/10.22490/21456453.2089>

PINTO, V. G.; LIMA, R. N. S.; SANTOS, R. C. P.; RIBEIRO, C. B. M. Influência do número de classes de vulnerabilidade na determinação da suscetibilidade morfométrica à inundação. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, n. 3, p. 637-649, 2016.
<http://doi.org/10.4136/ambi-agua.1842>

QUADROS, C.; REBOLLAR, P. M. Avaliação ambiental de atividades agrícolas em bacias hidrográficas no município de Paulo Lopes – SC. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 11, n. 2, p. 6-18, 2009.

ROSS, C. W.; PRIHODKO, L.; ANCHANG, J.; KUMAR, S.; JI, W.; HANAN, N. P. HYSOGs250m, global gridded hydrologic soil groups for curve-number-based runoff modeling. **Scientific Data**, v. 5, n. 180091, 2018. <http://doi.org/10.1038/sdata.2018.91>

ROSS, J. L. S. Registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992.
<http://doi.org/10.7154/RDG.1992.0006.0002>

SOUSA, L. M.; ADAMI, M.; LIMA, A. M. M.; RAMOS, W. F. Avaliação do uso e cobertura da terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do Projeto TERRACLASS. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 3, p. 421-431, 2017.

SOUZA Jr, C. M. **MapBiomass General "Handbook"**. Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima - SEEG/OC, 2017, 15p.

SOUZA, J. M. F.; REIS, E. F.; MARTINS, A. S.; SANTOS, A. L. F. Avaliação dos conflitos no uso da terra na bacia hidrográfica do ribeirão Lamarão, Distrito Federal. **Ciência Florestal**, v. 29, n. 2, p. 950-964, 2019. <http://doi.org/10.5902/198050984784>.

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**, n. 20, P. 136-156, 2007.

TRICART, J. O campo na dialética da geografia. **Geosp**, v. 21, n. 1, p. 305-314, 2017.

USDA. **Urban hydrology for small watersheds**. Technical Release 55, Washington, DC: Soil Conservation Service. US Department of Agriculture, 1986, 164p.

VALERIANO, M. M.; Rossetti, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. **Applied Geography**, v. 32, p. 300-309, 2012. <http://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.05.004>.

VASQUEZ M. L.; ROSA-COSTA L. T. **Geologia e recursos minerais do estado do Pará. SIG: texto explicativo dos mapas geológico e tectônico e de recursos minerais do estado do Pará**. Belém: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 329p, 2008.

VOLKMER, S.; CAMOLEZI, B. A.; RIBEIRO, M. A. G. Geomorfologia da quadrícula de Ponta Grossa, PR - uma ênfase aos recursos geotecnológicos utilizados. **Boletim de Geografia**, v. 28, n. 2, p. 29-40, 2010. <http://doi.org/10.4025/bolgeogr.v28i2.10614>

WANG, D.; LAFFAN S. W.; LIU Y.; WU L. Morphometric characterisation of landform from DEMs. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 24, n. 2, p. 305-326, 2010. <http://dx.doi.org/10.1080/13658810802467969>

YOON, J. H.; ZENG, N. An Atlantic influence on Amazon rainfall. **Climate Dynamics**, v. 34, n. 02, p. 249-264, 2009.

YU, S.; DO, H. X.; VAN DIJK, A. I. J. M.; BOND, N. R.; LIN, P.; KENNARD, P. Evaluating a landscape-scale daily water balance model to support spatially continuous representation of flow intermittency throughout stream networks. **Hydrology and Earth System Sciences**, 2020. <http://doi.org/10.5194/hess-2020-10>

ZEBALLOS, G.; SORUCO, Á.; CUSICANQUI, D.; JOFFRÉ, R.; RABATEL, A. Uso de imágenes satelitales, modelos digitales de elevación y sistemas de información geográfica para caracterizar la dinámica espacial de glaciares y humedales de alta montaña en Bolivia. **Ecología en Bolivia**, v. 49, n. 3, p. 14-26, 2014.

AGRADECIMENTOS

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