

Spatial analysis of a small hydrographic basin in the Amazon

Layse R. F. Lima^{*}, Rodrigo F. Moraes^{**}, Rodrigo S. S. Rodrigues^{***}

^{*}Discente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Pará, Brasil. E-mail: layserafaele@live.com

^{**}Discente do curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Pará, Brasil. E-mail: rfernandesmoraes2015@gmail.com

^{***}Professor Substituto da Faculdade de Eng. Sanitária e Ambiental, Universidade Federal do Pará – UFPA, Belém, Pará, Brasil. E-mail: rcsr@ufpa.br

Received 11 April 2020; accepted 29 July 2020

Abstract

The study of hydrographic basins is of paramount importance for the conscious and sustainable use of natural resources, so the analysis of a basin is of great scientific value, as it is a starting point for understanding the hydrological network and all the dynamics connected to it. The present work aims to study the morphometric characteristics, the use and cover of the soil and the runoff indexes of the areas included in the hydrographic basin of the Arienga River, located between the municipalities of Barcarena and Abaetetuba, in the state of Pará. processing techniques were used in the ArcMap 10.5 application, with the help of TerraClass and images from the Sentinel-2 satellite. In the morphometric analysis, parameters such as area, perimeter and relief characteristics were verified. Using the TerraClass classification, land use and cover for the years 2004 and 2014 were analyzed and, for the year 2017, this analysis was verified with the aid of Sentinel-2 images. Then, the runoff coefficient was measured for the three years under study, 2004, 2014 and 2017. Thus, the spatial analysis proved to be advantageous in understanding the use and anthropic interferences acting in the hydrographic basin.

Keywords: Hydrology. Water resource management. Geoprocessing. Amazon.

Análise espacial de uma pequena bacia hidrográfica na Amazônia

Resumo

O estudo das bacias hidrográficas é de suma importância para o uso consciente e sustentável dos recursos naturais, assim a análise de uma bacia é de grande valor científico, por ser um ponto de partida para entender a rede hidrológica e toda a dinâmica ligada a ela. O presente trabalho tem por objetivo estudar as características morfométricas, o uso e cobertura do solo e os índices de escoamento superficial das áreas compreendidas na bacia hidrográfica do rio Arienga, localizado entre os municípios de Barcarena e Abaetetuba, no estado do Pará. Para isso, foram utilizadas técnicas de processamento no aplicativo ArcMap 10.5, com auxílio do TerraClass e imagens do satélite Sentinel-2. Na análise morfométrica, foram verificados parâmetros como área, perímetro e características de relevo. Utilizando a classificação do TerraClass, foram analisados o uso e cobertura do solo para os anos de 2004 e 2014 e, para o ano de 2017, essa análise foi verificada com auxílio de imagens do Sentinel-2. Em seguida, foi aferido o coeficiente de escoamento para os três anos em estudo, 2004, 2014 e 2017. Dessa forma, a análise espacial mostrou-se vantajosa no entendimento do uso e das interferências antrópicas atuantes na bacia hidrográfica.

Palavras-chave: Hidrologia. Gestão de recursos hídricos. Geoprocessamento. Amazônia.

1. Introdução

As bacias hidrográficas podem ser definidas como áreas de drenagem dos rios principais e seus afluentes, formando-se regiões de captação da água precipitada, que em contato com águas subterrâneas, converge para um único ponto de saída, o exutório (Vendruscolo et al., 2020). Ademais, Vieira et al. (2018) as define como unidades naturais de análise da superfície terrestre, sendo possível estudar e estabelecer relações entre os elementos da paisagem e processos que atuam na sua formação.

Com isso, o estudo das bacias hidrográficas é de suma importância para o uso consciente e sustentável dos recursos naturais, visto que, com o processo de ocupação desordenado e o crescente desmatamento da vegetação nativa, sofre grandes impactos ambientais na dinâmica natural dos ecossistemas (Silva e Duarte, 2020). Além disso, a ação antrópica que ocupa e expande áreas tem se intensificado, entre elas a devastação florestal e poluição, que comprometem a qualidade e quantidade dos recursos para futuras gerações, sendo

fundamental conhecer e controlar os diversos fatores que os influenciam (Gonçalves et al., 2019).

Nesse sentido, a análise de uma bacia é de grande valor científico, por ser um ponto de partida para entender a rede hidrológica e toda a dinâmica ligada a ela, desde seu processamento morfométrico até o monitoramento temporal do uso e ocupação do solo (Neto et al., 2019). Ferramentas de processamento no programa ArcMap 10.5, permitem avaliar diversas variáveis ambientais que ajudam no monitoramento e planejamento de áreas ambientais, assim como a integração de diversos dados afim de gerar mapeamentos derivados (Costa et al., 2020).

Nesse contexto, o presente estudo busca caracterizar a bacia hidrográfica do rio Arienga,

através de técnicas de processamento no programa ArcMap 10.5, com auxílio do TerraClass e imagens do satélite Sentinel-2.

2. Material e métodos

Área de estudo

A pesquisa foi realizada na bacia hidrográfica do rio Arienga ou Uruenga, área rural localizada entre os municípios de Barcarena e Abaetetuba no Estado do Pará, situada entre as coordenadas de 48°42'47" W de longitude e latitude de 1°38'15" S, como exibido na Figura 1. Sua bacia possui, aproximadamente, 103 km² de área, correspondendo em sua maioria a floresta e vegetação.

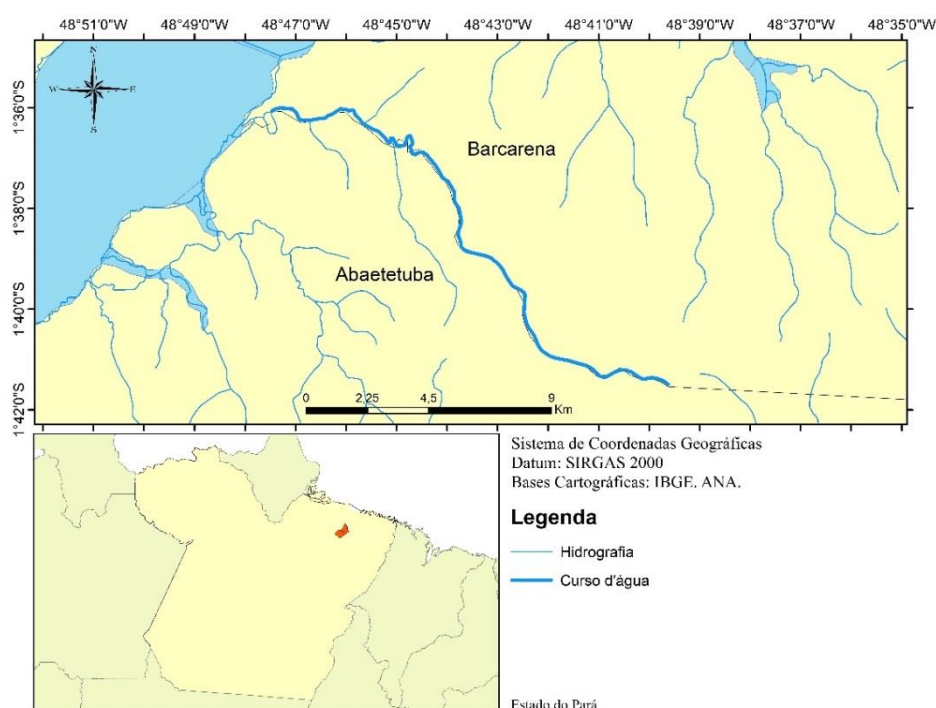


Figura 1 – Mapa da localização do rio Arienga e dos municípios de Abaetetuba e Barcarena, Pará.

Os municípios estão inclusos na região geográfica intermediária de Belém e imediatas de Abaetetuba e Belém, possuindo, juntos, uma área correspondente à 2.921 km² e uma densidade populacional de 282.378 pessoas. Barcarena e Abaetetuba possuem, respectivamente, um PIB per capita de 39.732,60 e 8.718,18 anual (IBGE, 2017a; IBGE, 2017b).

Ademais, no que tange a economia dos municípios, tanto em Barcarena como em Abaetetuba a base econômica é em volta da agricultura tradicional, além de possuírem polos industriais voltados para o beneficiamento de matérias primas (CODEC, 2018). Dessa forma, com o desenvolvimento das cidades, foi perdida a boa parte da cobertura vegetal original, com isso, atualmente, há uma predominância de floresta secundárias,

intercalada com cultivos agrícolas (Governo do Pará, 2011a; Governo do Pará, 2011b).

Segundo classificação Köppen-Geiger, o clima das regiões é quente equatorial úmido, com verão quente e curto. A temperatura varia anualmente entre 24 a 33 °C. Além disso, a sensação é de clima extremamente úmido o ano inteiro, sendo essa umidade em torno de 100%. A estação de maior precipitação é em torno de seis meses, indo de janeiro a junho, com acumulação total média de chuva de 372 mm nos meses em questão. Além disso, as cidades em questão apresentam níveis topográficos pouco elevados, sendo basicamente plana, com mudança máxima para Abaetetuba e Barcarena de 27 e 28 metros, respectivamente. Nesse sentido, a geologia dos municípios é constituída por sedimentos dos períodos Terciário e Quaternário, sendo esses

presentes em áreas de várzeas, terraços e tabuleiros (Governo do Pará, 2011a; Governo do Pará, 2011b).

Geoprocessamento

Na presente pesquisa, foram utilizados Modelos Digitais de Elevação (MDE) da Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), disponibilizados na base de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2020) na plataforma Earth Explorer, com resolução espacial de 30 m.

Após a obtenção dos MDE, foi realizado o pré-processamento dos dados digitais de elevação e drenagem:

- a) Anexado os shapes dos municípios paraenses, massa d'água com os principais rios e o shape de hidrografia, com rios menores e igarapés;
- b) Verificação do raster 01S495ZN na projeção GCS_WGS1984;
- c) Seleção do rio Arienga, enquadramento e corte da área desejada através da ferramenta "CLIP";
- d) Conversão do arquivo criado para Unsigned Integer 16 bits em "COPY RASTER";
- e) Reprojeção do DEM com referência projetada para Sirgas 2000 UTM Zone 22 S em "PROJECT RASTER";
- f) Projeção do arquivo para "FILL", com o objetivo de preencher imperfeições e buracos;
- g) Gerar um novo "FLOW DIRECTION" com o arquivo FILL gerado, visando gerar um raster contendo todas as direções de fluxo;
- h) Criação do "FLOW ACUMULATION", a partir do FLOW DIRECTION criado anteriormente, determinando acumulação de fluxo do raster;
- i) Classificação da drenagem, foi utilizada a ferramenta "STREAM ORDER", demonstrando a hierarquização de rios e córregos;

- j) Condicionamento dos rios até a ordem desejada, usando a ferramenta "CON"
- k) Transformação do raster em vetor, utilizando "STREAM TO FEATURE"
- l) Delimitação das principais bacias com o comando "BASIN";
- m) Criação do ponto de referência da foz do rio Arienga
- n) Definição do ponto onde se localiza a foz do rio em "CREAT FEATURES";
- o) Delimitação da bacia hidrográfica estudada na ferramenta "WATERSHED";
- p) Transformação da área delimitada para polígono, transformando o arquivo raster em arquivo shapefile no comando "RASTER TO POLYGON";

- Análise morfométrica

A caracterização morfométrica de uma bacia é amplamente aplicada em diversas análises ambientais, sendo considerada uma captação natural da água de precipitação fazendo todo escoamento ser direcionado a um mesmo local (Lacerda et al., 2019). Nesse contexto, Pereira e Mendes (2018) afirmam que o estudo desses parâmetros tem grande importância nos estudos ambientais, pois conseguem caracterizar e analisar a pré-disposição de eventos como enchentes e inundações, assim como o resultado de ações humanas no uso e ocupação do solo.

Após a delimitação da área de estudo, foram verificadas suas propriedades geométricas, como: área, perímetro, comprimento axial da bacia, largura, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, índice de alongamento e fator de forma. Na Tabela 1 é possível verificar os parâmetros morfométricos utilizados na pesquisa e suas respectivas formulações.

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos, fórmulas e referências.

Parâmetro Morfométrico	Fórmula	Referência
Área (A)	Definido pelo software GIS	Schumm (1956)
Comprimento axial da bacia (LB)	Definido pelo software GIS	Schumm (1956)
Perímetro (P)	Definido pelo software GIS	Schumm (1956)
Largura (La)	$La=A/LB$	Horton (1932)
Coeficiente de compacidade (Kc)	$Kc=0,28*(P/\sqrt{A})$	Lima (1969)
Índice de circularidade (Ic)	$Rc=4\Pi A/P^2$	Miller (1953)
Índice de alongamento (Ia)	$Ia=2\sqrt{(A/\pi P)}$	Schumm (1956)
Fator de forma (Fa)	$Fa=A/LB^2$	Horton (1932)

Segundo Cury et al. (2019), a área da bacia corresponde a toda extensão drenada pelo conjunto do sistema fluvial, sendo circunscrita pela linha do divisor de água que delimita a microbacia. Além disso, o perímetro corresponde ao comprimento da linha do divisor de águas que circunda a bacia e o comprimento axial da bacia representa o

comprimento total do rio, desde sua nascente até a sua foz. Na presente pesquisa esses dados foram adquiridos diretamente pela ferramenta de cálculo no ArcMap, com as referências geográficas em SIRGAS UTM ZONE 2000. A largura vem ser a relação entre a área da bacia e o comprimento axial.

Conforme apresentado por Dias et al. (2019), o coeficiente de compacidade relaciona a forma da bacia com um círculo e constitui a relação entre o perímetro e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Silva e Duarte (2020) informam que, simultaneamente ao coeficiente de compacidade, o índice de circularidade tende a umidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui ao passo que se aproxima da forma alongada.

O índice de alongamento de uma bacia corresponde a relação entre diâmetro do círculo com

área igual à da bacia e o comprimento da bacia ao longo do canal principal. Já o fator de forma é definido pelo tempo de concentração da água na bacia hidrográfica após uma precipitação, sendo que quanto maior a concentração, menor a chance de vazão de enchente (Pereira et al., 2019). Na Tabela 2 são observados os parâmetros morfométricos de coeficiente de compacidade, índice de circularidade e fator de forma, assim como seus limites e classificações.

Tabela 2 – Classificação dos parâmetros morfométricos.

Parâmetro	Limite	Classe
Fator de forma (F)	<0,50	Não sujeito a enchentes
	0,50 - 0,75	Tendência média a enchentes
	0,76 - 1,00	Sujeito a enchentes
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,00 - 1,25	Alta propensão a enchentes
	1,26 - 1,50	Tendência média a enchentes
	>1,50	Não sujeito a enchentes
Índice de circularidade (Ic)	0,36 - 0,50	Forma alongada
	0,51 - 0,75	Forma intermediária
	0,76 - 1,00	Forma circular

Fonte: Adaptado de Horton (1932), Lima (1969) e Miller (1953).

- Características do relevo

Medeiros et al. (2019) definem o relevo como algo de grande diversidade, formas e tipos, possuindo dinâmicas diferenciadas, provocando ao meio natural uma série de manifestações que aumentam ou diminuem possíveis impactos ambientais. Dessa forma, algumas informações a respeito do relevo foram extraídas do processamento no ArcMap, como as elevações (média, mínima e máxima), declividade (média, mínima e máxima), curvas de nível e orientação da bacia em relação a exposição aos raios solares. A altitude foi adquirida através do processamento corrigido. Enquanto a declividade foi processada utilizando a base de dados sugeridos pela EMBRAPA (1979), reclassificando os dados em 4 intervalos distintos, que são Relevo Plano (0 a 3%), Relevo Suavemente Ondulado (3 a 8%), Relevo Ondulado (8 a 20%) e Relevo Fortemente Ondulado (20 a 45%). Ainda segundo Medeiros et al. (2019), a importância da declividade está na possibilidade de análise de áreas críticas à erosão, auxílio no planejamento ambiental e manejo de terras. A declividade pode ser conhecida através da ferramenta: ArcToolBox → Spatial Analyst Tools → Surface → Slope.

Além disso, foi possível obter as curvas de nível ao longo da área de estudo e, com isso, foi verificada a orientação da bacia hidrográfica correspondente à sua exposição aos raios solares, tendo como referência os pontos cardeais. A ferramenta utilizada para o processamento foi:

ArcToolBox → Spatial Analyst Tools → Surface → Aspect. Esta ferramenta é a direção angular à qual uma seção da superfície está apontando, identificando a orientação ou direção de encosta, onde os valores de célula em uma grade de aspecto são direções angulares variando de 0 a 360, em que o Norte é 0 e em uma direção horária, 90 é leste, 180 é sul, e 270 é oeste, bem como as células de grade de entrada que tem declividade 0 (áreas planas) é atribuído o valor -1.

- Uso e cobertura do solo (TerraClass)

Para analisar o uso e cobertura do solo na presente bacia, foram utilizados os dados do TerraClass (INPE/EMBRAPA) dos anos de 2004 e 2014. Projeto esse responsável por qualificar o desflorestamento da Amazônia Legal, servindo para melhorar o entendimento quanto ao uso e cobertura do solo, usando a base de dados do projeto PRODES, Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite, esse que faz o mapeamento das áreas desmatadas com técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento (INPE, 2019). Autores como Nascimento e Fernandes (2017) e Santos et al. (2019) fizeram uso da base de dados TerraClass também com objetivo de observar as diferentes dinâmicas de ocupação do território e suas influências.

Os dados digitais resultantes do mapeamento encontram-se disponíveis para download, divididos em suas respectivas órbitas-ponto do satélite Landsat 5 (sensor TM), no Sistema de Projeção Lat/Long e

Sistema Geodésico de Referência SAD 69 (Nascimento e Fernandes, 2017). Para a área da bacia hidrográfica do rio Arienga foram utilizadas as órbitas-ponto 223/61 e 224/61. As áreas de cada classe de uso do solo foram somadas e verificadas

suas respectivas porcentagens em relação a área total da bacia. No Quadro 1 são apresentadas as classes e suas descrições segundo o programa TerraClass observadas na bacia em questão.

Quadro 1 – Descrição da classificação do uso e cobertura do solo.

Classe do Solo	Descrição
Área não observada	Áreas não mapeadas em função da presença de nuvens, sombra de nuvens ou queimadas nas imagens de satélite utilizadas.
Área urbana	Áreas urbanas ou de influência urbana, como lugarejos, vilas, cidades ou regiões metropolitanas, apresentando arruamentos e infraestruturas residencial e industrial.
Corpos d'água	Corpos d'água naturais ou artificiais, como rios, lagos, açudes e represas.
Desflorestamento	Áreas cuja cobertura vegetal natural foi suprimida durante o ano de referência do mapeamento.
Floresta	Formação vegetal natural caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas que não tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.
Mineração	Áreas de extração mineral caracterizadas pela presença de solo exposto e alterações da paisagem local.
Mosaico de ocupações	Áreas representadas por uma associação de diversas modalidades de uso da terra. Nesta classe, a agricultura familiar é realizada de forma conjugada ao subsistema de pastagens para criação tradicional de gado.
Outros	Áreas que não se enquadram nas demais classes temáticas, tais como afloramentos rochosos, praias fluviais, banco de areia, entre outras.
Pasto com solo exposto	Áreas que apresentam uma cobertura de pelo menos 50% do solo exposto
Pasto limpo	Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio de vegetação herbácea, e cobertura de espécies de gramíneas entre 90% e 100%.
Pasto sujo	Áreas de pastagem em processo produtivo com predomínio da vegetação herbácea e cobertura de espécies de gramíneas entre 50% e 80%, associado à presença de vegetação arbustiva esparsa com cobertura entre 20% e 50%.
Regeneração com pasto	Áreas que, após o corte raso da vegetação natural e o desenvolvimento de alguma atividade agropastoril, encontram-se no início do processo de regeneração da vegetação nativa, apresentando dominância de espécies arbustivas e pioneiras arbóreas.
Vegetação secundária	Formação de vegetal natural em processo de regeneração, caracterizada pelo adensamento de espécies arbóreas, que já tenham sofrido supressão total da vegetação original, desde o início do monitoramento do desflorestamento da Amazônia.

Fonte: Adaptado TerraClass (2018).

Para análise do uso e cobertura da bacia do rio Arienga, foram utilizadas as técnicas de processamento abaixo:

- Foi anexado o shapefile da área de estudo, obtido durante a delimitação da bacia;
- Utilizando o TerraClass, foi baixado as grades 223/61 e 224/61, encobrendo toda bacia;
- Todos os shapefiles foram projetados no sistema de coordenadas SIRGAS UTM ZONE 2000;
- Foi feito o corte dos shapefiles do TerraClass, utilizando o shapefile da área de estudo;
- Depois foram unificados os shapefiles cortados. (Geoprocessing → Union).
- Para o cálculo das áreas, foi necessário projetar o shapefile em UTM,

g) Criada planilha no Excel em ‘TABLE TO EXCEL’;

h) Criada uma tabela com as classificações de uso do solo, suas áreas e respectivas porcentagens em relação a área total da bacia.

- Uso e cobertura do solo (imagens de satélite)

O Sentinel-2 foi uma missão imageadora multiespectral do programa GMES (Global Monitoring for Environment and Security), conjuntamente administrada pela Comunidade Europeia, para observação da Terra, lançado em 23 de junho de 2015 em uma altitude de 786 km e faixa imageada de 290 km (Oliveira et al., 2019).

Nesse sentido, foi realizado download do sensor Sentinel-2, diretamente do serviço geológico Americano (USGS, 2020) de forma gratuita. As bandas espectrais do azul (B02), verde (B03) e vermelho (B04) apresentam resolução espacial de 10 metros e 16 dias. Para análise foi realizado o geoprocessamento, utilizando arquivo do ano de 2017, sem interferência de nuvens, com intuito de fazer comparação com o uso e cobertura do TerraClass de 2004 e 2014. Abaixo é listado o passo-a-passo para o processo de processamento:

- Foram obtidas as imagens de satélite na plataforma USGS;
- Foram analisadas as bandas B02, B03 e B04, no ano de 2017;
- Realizar a união das três camadas baixadas em “COMPOSITE BANDS”;
- Fazer o recorte na área de estudo usando o Clip;
- Fazer a classificação em “IMAGE CLASSIFICATION”;
- Criar assinatura do arquivo de referência para similaridade de pixels “CREATE A SIGNATURE FILE”;

g) Na aba “CLASSIFICATION”, clicar na opção “MAXIMUM LIKELIHOOD CLASSIFICATION”;

h) Criação de mosaico para grandes áreas utilizando a ferramenta “BLEND”.

- Índice de vegetação com diferença normalizada (NDVI)

Segundo Silva (2020), o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é uma medida radiométrica adimensional, indicando a abundância relativa e a atividade de vegetação verde, contribuindo na composição de perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparação desses perfis.

Em conformidade com Quesada et al. (2017), a presente pesquisa realizou o processamento digital de imagens de satélite, baseadas na diferenças de refletâncias que a cobertura vegetal emite a diferentes radiações solares, para obter o NDVI. Afim de analisar a vegetação presente na bacia hidrográfica do rio Arienga, foram utilizados os seguintes intervalos de NDVI, apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Intervalos de NDVI e suas classificações.

Classificação	Intervalos NDVI
Corpos d'água	-1 a -0,18
Áreas sem vegetação	-0,18 a -0,04
Vegetação decídua menos densa	-0,04 a 0,03
Vegetação decídua mais densa	0,03 a 0,14
Vegetação semidecídua	0,14 a 0,29
Vegetação perenifólia	0,29 a 0,69
Floresta	0,69 a 1

Fonte: Adaptado de Barbosa et al. (2017).

Nesse contexto, foram obtidas as bandas espectrais do vermelho (B04) e infravermelho (B08), com resolução espacial de 10 metros e 16 dias, do satélite Sentinel-2, baixado gratuitamente pelo site do Serviço Geológico Americano (USGS, 2020). Assim, foi realizado o geoprocessamento seguindo as etapas a baixo:

- Abrir os shapefiles B04 e B08, obtidos na plataforma USGS;
- Fazer a união dos dois shapefiles (Windows → Image Analysis → Selecionar as bandas na ordem → Processing → Composite bands → Cria um arquivo temporário que precisa ser salvo em Data → Export data.);
- Usar a calculadora do ArcMap e colocar a expressão matemática: =Float (B08-B04)/Float (B08+B04), através da ferramenta “Raster Calculator”;
- Verificar se o intervalo do arquivo criado está entre -1 e 1, sendo que os que se aproximam de

um correspondem as áreas de densa vegetação, áreas de solo exposto apresentam valores que se aproximam de zero e áreas de completa ausência de vegetação (água) apresentam valores negativa.

e) Fazer um “Reclassify” para o cálculo das áreas de cada intervalo, com a expressão: ={count}*10*10*10⁻⁶

f) Fazer um shapefile da bacia hidrográfica e um clip do mesmo;

g) Fazer “Reclass” e cálculo das áreas;

h) Habilitar editor, selecionar e classificar as sete classes correspondentes;

Estimativa de escoamento superficial

O escoamento superficial é definido como a precipitação da água que não se infiltra no solo e flui na superfície até atingir o menor ponto de topografia de uma região, ocorrendo pela interação de fatores como o uso e cobertura do solo, declividade e forma da bacia hidrográfica (Castro et al., 2020).

Para a bacia hidrográfica do rio Arienga, foi utilizado o método NRCS para cálculo da vazão de escoamento, onde o mesmo utiliza como base uma equação local de chuvas intensas e valores de números de curva (CN) para a discriminação das áreas no ano de 2004 e 2014 com os dados obtidos no TerraClass e do ano de 2017 com os dados obtidos pelas imagens do satélite Sentinel-2.

- Serviço de conservação de recursos naturais (NRCS)

Através do método do Serviço de Conservação dos Recursos Naturais (NRCS, 1997), com auxílio dos cálculos de tempo de concentração da bacia e dados alcançados na equação de chuvas intensas na área, foram estimados os valores para o coeficiente de escoamento superficial (C). Com a finalidade de se calcular o valor do escoamento máximo, foi adotado o tempo de precipitação máxima igual ao tempo de concentração (TC). Foi

adotado o valor de 899 minutos, obtidos através da equação de Kirpich Modificado, conforme adotado na análise espacial realizada por Rodrigues et al. (2016) para a bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, no nordeste do Estado do Pará.

Pelo método NRCS, são obtidos os valores de precipitação efetiva (Pe), calculada pelo método do número de curva (CN), que depende do uso e tipo de solo da bacia. Os valores de CN variam de 0 a 100 conforme o método NRCS (1997) e dividem o solo em 4 grupos hidrológicos (A, B, C e D). No caso da bacia do rio Arienga, o grupo hidrológico predominante foi o C, apresentando teor de argila médio.

Com os valores de CN já obtidos, foi possível calcular a infiltração potencial em mm (S), intensidade da precipitação (I), a precipitação máxima em mm (P), precipitação efetiva em mm (Pe) e o coeficiente de escoamento, utilizando as fórmulas presentes na Tabela 4.

Tabela 4 – Formulário para cálculo do escoamento superficial.

Parâmetros	Fórmulas
Infiltração potencial	$S=(25400/CN)-254$
Intensidade da precipitação	$I=(1264,6709*(T_r^{0.10} 12))/((t+9,7852)^{0.7} 2^4 2)$
Precipitação máxima	$P=t*(I/60)$
Precipitação efetiva	$Pe=((P-0,2*S)^2)/(P+0,8*S)$
Coeficiente de escoamento	$C=Pe/P$

Fonte: Adaptado de NRCS (1997).

3. Resultados e discussão

Através do processamento, foi realizada a delimitação da bacia hidrográfica do rio Arienga, apresentando uma área de 118,397 km² e um perímetro de 72,784 km. De acordo com os resultados alcançados, pode-se afirmar que a bacia em questão não se mostrou suscetível a enchentes e inundações em condições normais de precipitação, uma vez que necessita de mais tempo para acumular água pluvial. Corroborando com os resultados de Silva e Duarte (2020) que definem o coeficiente de compacidade como parâmetro de determinação da tendência de enchentes, sendo os valores mais próximos da unidade os mais predispostos.

A área de estudo apresentou dimensões semelhantes a Gerber et al. (2018), que também realizou caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica, exibindo valores próximos a bacia em estudo, chegando a mesma conclusão da baixa propensão de enchentes na região. Ribeiro (2018) identificou classificações semelhantes a bacia do rio Arienga, com índice de circularidade menor que 0,5, identificando a bacia como forma alongada. Silva e Duarte (2020) definem bacias alongadas com pouca interferência na concentração de águas pluviais e,

com isso, menores possibilidades de enchentes. Nesse sentido, são apresentadas as características geométricas da bacia hidrográfica do rio Arienga na Tabela 5.

Coliado et al. (2020) define as características do relevo como fundamentais para o entendimento do comportamento da bacia, interferindo em vários aspectos como velocidade de escoamento, infiltração, intensidade de erosão e o transporte de materiais. Dessa maneira, após a delimitação e análise geométrica da bacia, foi verificada as características do relevo na região. Analisando a Figura 2, vemos que a bacia hidrográfica do rio Arienga apresenta uma altitude máxima de 50 metros, nas proximidades da nascente do rio, enquanto que sua altitude mínima com cerca de 4 metros, sendo essa predominante nas redondezas da sua foz.

Além disso, apresentou declividade máxima em tomo de 23% e a mínima de 0%, ademais, conforme classificação EMBRAPA (1979), a predominância do relevo ficou dentro do intervalo de plano e suavemente ondulado, como exposto também na Figura 2a e b. Resultado semelhante ao estudo de Cruz et al. (2017), que caracterizou os relevos da região de Tabuleiros Costeiros, classificando esse como relevo suavemente plano, também utilizando o

processamento no ArcMap, retificando a ideia de que essas regiões, assim como a estudada, não possuem

grandes limitações no seu uso e ocupação.

Tabela 5 – Característica geométricas da bacia hidrográfica do rio Arienga.

Características geométricas	Resultados
Área (A)	118,397
Perímetro (P)	72,784
Comprimento Axial (LB)	20,987
Largura (La)	5,641
Coefficiente de compactidade (Kc)	1,873
Índice de alongamento (Ia)	2,681
Índice de circularidade (Ic)	0,281
Fator de forma (Fa)	0,267

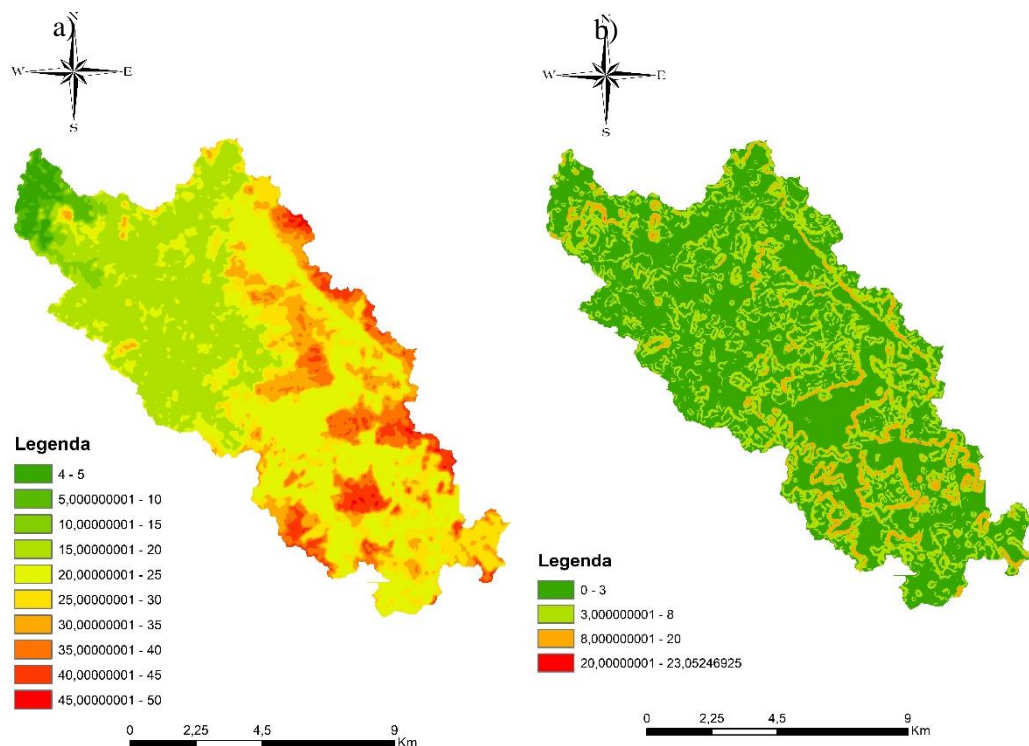


Figura 2 – Mapas de altitudes (a) e declividades (b) da bacia hidrográfica do rio Arienga.

Para análise de uso e cobertura do solo, foram realizados os processamentos com auxílio do TerraClass para os anos de 2004 e 2014. Na Figura 3 apresentam-se a distribuição e classificação do TerraClass para os respectivos anos.

Pode-se notar a preponderância da classe Floresta na paisagem em 2004 (33,4%), com 13% a mais de área frente ao Mosaico de Ocupações (20,8%), enquanto que em 2014, as áreas correspondentes a Floresta apresentaram uma diminuição próxima de 6% em relação a 2004, ademais, em 2014 a segunda classe mais

predominante foi a Vegetação Secundária, com aumento de 19%. Estudos como de Bezerra e Sousa (2019) retificam as técnicas de processamento para os dois anos em questão, expondo dados de redução de 2% na porcentagem da classe Floresta para a bacia do rio Indua em Capitão Poço no estado do Pará. Santos et al. (2019) em sua pesquisa na bacia do rio Marapanim no Pará também exibiu dados de redução na classe Floresta de 4,70% e aumento nas classes de pasto sujo e vegetação secundária, corroborando com a ideia do descaso e desflorestamento em muitas áreas da Amazônia Legal.

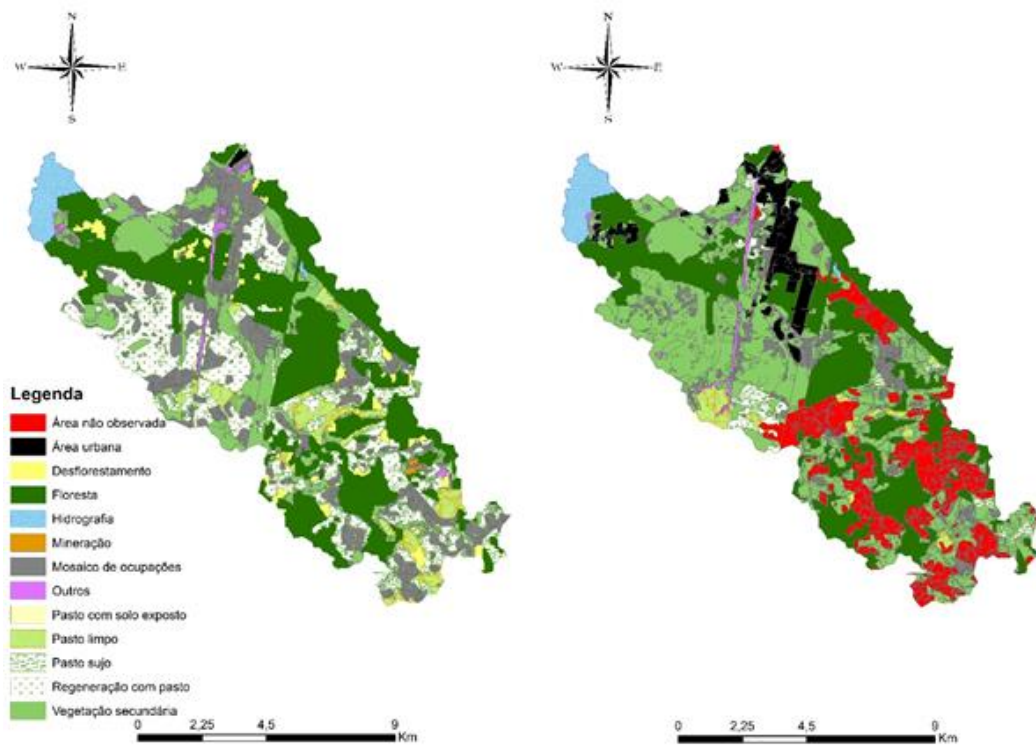


Figura 3 – Mapa de uso e cobertura do solo dos anos de 2004 e 2014, respectivamente, utilizando o TerraClass.

Ainda analisando o uso e cobertura do solo, com auxílio de imagens do satélite Sentinel-2, verificou-se os dados referentes ao ano de 2017, com

classificações semelhantes ao determinado pelo TerraClass. A Figura 4 apresenta a bacia hidrográfica com suas classificações.

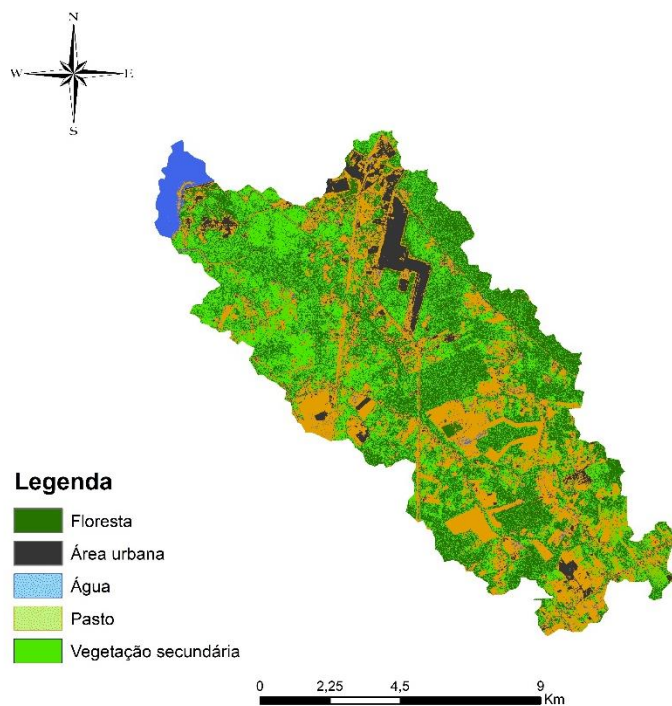


Figura 4 – Mapa de uso e cobertura do solo do ano de 2017, com uso do SENTINEL-2.

A partir da realização supervisionada das imagens de NDVI, foi confeccionado o mapa de cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio

Arienga, no ano de 2017. Para os mapas foram estabelecidas sete classes observadas na Figura 5.

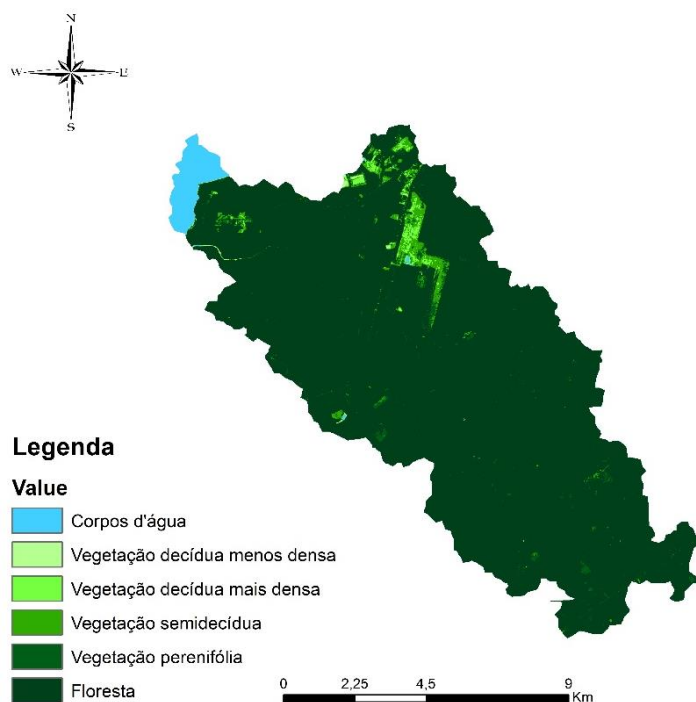


Figura 5 – Mapa com uso do NDVI na bacia hidrográfica do rio Arienga.

As informações contidas no mapa demonstram uma notável predominância da classe Floresta e ausência de áreas sem vegetação, enquanto que as regiões com vegetação somaram um total de 5,37% da área total da bacia. Observou-se que nas áreas urbanas houve domínio de vegetação decídua, indicativo de pouca cobertura vegetal. Barbosa et al. (2017) em seus estudos sobre cobertura vegetal definiram a classe Floresta como áreas de maior atividade fotossintéticas, com vegetação mais densa

que a semidecídua e perenifólia, ratificando a relação direta do NDVI com a atividade fotossintética e biomassa vegetal da bacia.

Através do método NRCS, foram calculados os valores de C para diferentes períodos de retorno em diferentes anos, utilizando S iguais a 66,09; 69,22 e 72,88; dos anos de 2004, 2014 e 2017, respectivamente, e Tc igual a 899 minutos. Obtendo os seguintes resultados apresentados nas Tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6 – Valores de C estimados de acordo com a precipitação pluviométrica e o uso e cobertura na bacia do rio Arienga do ano de 2004, associados ao método NRCS.

Tr (anos)	I (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)	C
1	9,11	136,50	80,25	0,59
2	9,77	146,42	89,03	0,61
5	10,72	160,64	101,79	0,63
10	11,50	172,31	112,40	0,65
15	11,98	179,53	119,02	0,66
20	12,33	184,84	123,90	0,67
25	12,61	189,06	127,80	0,68
50	13,53	202,80	140,57	0,69
75	14,10	211,29	148,52	0,70
100	14,51	217,53	154,38	0,71
150	15,12	226,64	162,96	0,72
200	15,57	233,34	169,29	0,73

Tabela 7 – Valores de C estimados de acordo com a precipitação pluviométrica e o uso e cobertura na bacia do rio Arienga do ano de 2014, associados ao método NRCS.

Tr (anos)	I (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)	C
1	9,11	136,50	78,41	0,57
2	9,77	146,42	87,10	0,59
5	10,72	160,64	99,76	0,62
10	11,50	172,31	110,30	0,64
15	11,98	179,53	116,87	0,65
20	12,33	184,84	121,72	0,66
25	12,61	189,06	125,60	0,66
50	13,53	202,80	138,29	0,68
75	14,10	211,29	146,20	0,69
100	14,51	217,53	152,03	0,70
150	15,12	226,64	160,57	0,71
200	15,57	233,34	166,87	0,72

Tabela 8 – Valores de C estimados de acordo com a precipitação pluviométrica e o uso e cobertura na bacia do rio Arienga do ano de 2017, associados ao método NRCS.

Tr (anos)	I (mm/h)	P (mm)	Pe (mm)	C
1	9,11	136,50	76,31	0,56
2	9,77	146,42	84,91	0,58
5	10,72	160,64	97,45	0,61
10	11,50	172,31	107,89	0,63
15	11,98	179,53	114,41	0,64
20	12,33	184,84	119,23	0,65
25	12,61	189,06	123,08	0,65
50	13,53	202,80	135,68	0,67
75	14,10	211,29	143,54	0,68
100	14,51	217,53	149,33	0,69
150	15,12	226,64	157,83	0,70
200	15,57	233,34	164,10	0,70

Conforme os resultados apresentados, é observável para a bacia do rio Arienga que o coeficiente de escoamento (C) varia de acordo com intensidade da precipitação (P) para cada tempo de retorno (Tr), independente do ano em questão, em conformidade com Rodrigues et al. (2017), que afirma a ocorrência do aumento do escoamento superficial à medida que o solo fica saturado.

Além disso, considerando as equações apresentadas e analisando os efeitos verificados do uso e cobertura do solo relacionados com os resultados de C para os anos em questão, é verificado que a diminuição do coeficiente de escoamento superficial está associado ao aumento da área urbana, essa que aumentou de 0,19 Km² em 2004 para 7,18 Km² em 2014, levando a diminuição do potencial de infiltração do solo, o que acarreta no aumento da precipitação efetiva, essa que está diretamente ligada ao C (Castro et al., 2020).

4. Conclusão

Com base nos resultados da pesquisa auxiliada por técnicas de geoprocessamento, utilizando o software ArcGIS, executadas para a bacia hidrográfica do rio Arienga, localizada entre os municípios de Abaetetuba e Barcarena no estado do Pará, fica evidenciado através da análise morfométrica que a bacia desse rio apresenta uma forma alongada, não sendo suscetível a enchentes, sendo isso comprovado pelo coeficiente de compacidade, fator de forma e índice de circularidade. Quanto as características da declividade, essas indicaram um relevo predominantemente plano e suavemente ondulado, o que não implica em maiores restrições no uso e ocupação do solo.

No que tange ao uso e cobertura do solo da região entre os anos de 2004 a 2017, foi retratado a ocorrência um elevado crescimento urbano, principalmente na parte da bacia que fica localizada na cidade de Barcarena, além de um aumento na área de pastagem, condizendo com o PIB dessa região, dependendo principalmente da agricultura. Ademais,

mesmo com essa expansão, houve a preservação da floresta as margens do rio Arienga, estando de acordo com o código florestal que estabelece essas áreas como de preservação permanente (APPs), protegendo assim a água, o solo e as matas ciliares (Senado Federal, 2011).

Além disso, a partir da análise dos resultados obtidos da classificação do NDVI, é comprovada a grande presença de atividade fotossintética advinda das florestas, corroborando com os dados obtidos do uso e cobertura do solo, assim como para o estudo da bacia em questão.

Nesse contexto, com o cálculo do escoamento superficial pelo método de NRCS, foi apurado a ocorrência da diminuição de C nos anos de 2014 e 2017 em relação ao ano de 2004, isso exibe o impacto do avanço populacional, esse que levou ao aumento de áreas urbanas, tornando os solos menos impermeáveis e mais suscetíveis ao escoamento superficial.

Dessa forma, torna-se evidente que ferramentas computacionais de geoprocessamento, como o ArcGIS, colaboram para a melhor compreensão de elementos fundamentais para o meio ambiente, como os rios e florestas, possibilitando um crescimento urbano adequado, evitando o desmatamento das APPs e zelando as bacias hidrográficas, como a do rio Arienga.

Referências

- Barbosa, A.H.S., Carvalho, R.G., Camacho, R.G.V., 2017. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na região serrana de Martins e Portalegre- Estado do Rio Grande do Norte. *Revista do Departamento de Geografia* 33, 128-143.
- Bezerra G.D.C., Sousa M.S., 2019. Classificação do uso e cobertura da terra na sub-bacia do rio Índua-Capitão Poço- PA. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Capitão Poço, UFRA.
- Castro, D.C.C., Rodrigues, R.S.S., Filho, D.F.F., 2020. Escoamento superficial na área convergente aos lagos Bolonha e Água Preta em Belém e Ananindeua, Pará. *Research, Society and Development* 9, 1-30.
- Coliado, P.H.S., Simonetti, V.C., Silva, D.C.C., 2020. Avaliação das características físicas da bacia hidrográfica do Rio Pariquera-Açu no baixo Ribeira de Igarapé (SP). *Holos Environment* 20, 320-334.
- CODEC. Companhia de Desenvolvimento Econômico do Pará, 2018. Governo do Estado do Pará. Invest Pará, Barcarena.
- Costa, H.F., Sacramento, B.H., Sousa, J.A.P., Lourenço, R.W., 2020. Conflitos ambientais em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Paiol, Ibiúna, SP. *Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental* 9, 403-418.
- Cruz, M.A.S., Rocha, R.O.F., Silva, A.A.G., Amorim, J.R.A., Aragão, R., 2017. GeoTab: Clima, recursos hídricos e bacias hidrográficas na região de atuação da Embrapa Tabuleiros Costeiros. *Scientia Plena* 13, 1-11.
- Cury, L.D., Lima, A.A., Barros, A.C., Souza, T.L., Campos, S., 2019. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica Córrego Água do Brejão-Anhembi-SP. *Energia na Agricultura Botucatu* 34, 113-123.
- Dias, N.O., Machado, V.S., Junior, J.M., Osco, L.P., Ramos A.P.M., 2019. Análise morfométrica de bacia hidrográfica utilizando dados de diferentes modelos digitais de superfície. *Colloquium Exactarum* 11, 23-35.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro.
- Gerber D., Pertille, C.T., Vieira, F.S., Correa, B.J.S., Souza, C.F., 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Itajaí- Santa Catarina. *ACTA- Biológica Catarinense* 72-83.
- Gonçalves, A.K., Barros, Z.X., Silveira, G.R.P., Garcia, Y.M., 2019. Avaliação morfométrica e do uso e ocupação da terra da bacia hidrográfica do Córrego Santo Antônio- São Francisco Xavier (SP). *Energia na Agricultura* 34, 105-112.
- Governo do Estado do Pará, 2011a. Estatística Municipal - Abaetetuba: Orçamento e Finanças, Documento Municipal. Pará.
- Governo do Estado do Pará, 2011b. Estatística Municipal - Barcarena: Orçamento e Finanças, Documento Municipal. Pará
- Horton, R.E., 1932. Drainage basin characteristics. *Transactions American Geophysical Union* 13, 350-361.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017a. Produto interno bruto dos municípios, Barcarena. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/barcarena/panorama>.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017b. Produto interno bruto dos municípios, Abaetetuba. Disponível: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/abaetetuba/panorama>.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2019. Projetos e Pesquisa- TerraClass, Pará. Disponível: http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php.
- Lacerda, G.L.B., Firmino, L.Q., Sá, A.C.N., Neto, O.N., Silva, V.F., 2019. Caracterização

- morfométrica: estudo de caso da bacia hidrográfica do Riacho dos Grossos, Paraíba, Brasil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais* 10, 362-376.
- Lima, W.deP., 1969. Manejo de Bacias Hidrográficas. ESALQ, Piracicaba.
- Medeiros, R.B., Berezuk, A.G., Pinto, A.L., 2019. Análise morfométrica do relevo da bacia hidrográfica do rio Mimoso, Mato Grosso do Sul/Brasil. *ACTA Geográfica* 13, 113-135.
- Miller, V.C.A., 1953. Quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Project NR, Technical Report 3. Columbia Univ., New York.
- Nascimento, T.V., Fernandes, L.T., 2017. Mapeamento de uso e ocupação do solo em uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. *Ciência e Natura* 29, 169-177.
- Neto, J.B.S., Oliveira, G.F., Souza, L.R., Silva, M.R., Conceição, I.M., Panta, D.L.S., 2019. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ipanema-PE/AL. *Cadernos de Ciência e Tecnologia* 1, 257-269.
- NRCS. Serviço de Conservação dos Recursos Naturais, 1997. Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Soil Survey Staff. *National Soil Survey Handbook*, title 430-VI. Washington.
- Oliveira, W.N., Miziara, F., Ferreira, N.C., 2019. Mapeamento do uso e cobertura do solo de Moçambique utilizando a plataforma Google Earth Engine. *Anuário do Instituto de Geociências* 42, 336-345.
- Pereira, L.C.F., Brito, G.H.M., Vespucci, I.L., Rocha, I.J.F., 2019. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do rio Patos, GO. *Ipê Agronomic Journal* 3, 5-13.
- Pereira, P.S.P.M.L., Mendes, L.D., 2018. Morfometria de bacia hidrográfica urbanizada: Uma análise do rio Iguaçu-Sarapuí, na baixada fluminense (RJ), para avaliação de parâmetros de suscetibilidade à ocorrência de enchente e inundação. *Revista Continentes* 13, 1-15.
- Quesada, H.B., Redondo, G., Vernasqui, L.G., Magnoni, P.H.J., Arantes, E.J., 2017. Análise da vegetação ripária em bacia hidrográfica utilizando índice de vegetação normalizada (NDVI) no município de Maringá-PR. *GEO UERJ* 31, 439-455.
- Ribeiro, M.F., 2018. Caracterização morfométrica das bacias hidrográficas da Apa Lago de Palmas, município de Porto Nacional – TO. Monografia (Especialização). Fortaleza, IFCE.
- Rodrigues, R.S.S., Bittencourt, G.M., Fernandes, L.L., 2017. Escoamento Superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural da Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia* 70, 605-628.
- Rodrigues, R.S.S., Fernandes, L.L., Crispim, D.L., Vieira, A.S.A., Pessoa, F.C.L., 2016. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Igarapé da Prata, Capitão Poço-Pará-Brasil. *Revista Verde* 11, 143-150.
- Santos, L.B., Coelho, A.S., Barros, M.N.R., Fenzl, N., Canto, O., Vieira, I.C.G., Adami, M., 2019. Usos da terra e conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica do rio Marapanim, Pará. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 929-943.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage system and slope in badlands of Perth Amboy. *Geological Society of America Bulletin* 67, 597-46.
- Senado Federal, 2011. Áreas de preservação permanente. Brasília. Disponível: <https://www.senado.gov.br/noticias/Jornal/emdiscussao/codigo-florestal/areas-de-preservacao-permanente.aspx>.
- Silva, L.A., 2020. Uma revisão de literatura sobre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) no monitoramento de áreas degradadas por empreendimentos minerários. *Holos Environment* 20, 198-213.
- Silva, J.B.A., Duarte, S.M.A., 2020. Caracterização morfométrica da sub-bacia do rio Espinharas no estado da Paraíba-PB. *Revista Tecno-Lógica* 24, 112-116.
- TerraClass, 2018. Organização, acesso e transparência: Classes climáticas. Pará. Disponível: <https://www.terraclass.gov.br/>.
- USGS. Serviço Geológico dos Estados Unidos, 2020. New York. Disponível: <http://www.usgs.gov/>.
- Vendruscolo, J., Pacheco, F.M.P., Rodrigues, A.A.M., Ramos, H.F., Rosa, D.M., Cavalheiro, W.C.S., 2020. Características morfométricas da microbacia do Médio Rio Escondido, Amazônia Ocidental, Brasil. *Brazilian Journal of Development* 6, 565-585.
- Vieira, D.M.S., Torres, J.L.R., Barreto, A.C., 2018. Avaliação morfométrica e vazão da microbacia do Córrego do Inhame, em Uberaba-MG. *Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação* 3, 105-114.