



VOLUME I

GEOINFORMAÇÃO E ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS

Christian Nunes da Silva

Daniel Sombra

Adolfo da Costa Oliveira Neto

Organizadores

GAPTA/UFPA
BELÉM
2023



GEOINFORMAÇÃO E ANÁLISES SOCIOAMBIENTAIS

Christian Nunes da Silva
Daniel Sombra
Adolfo da Costa Oliveira Neto

Organizadores

Volume I

GAPTA/UFPA
Belém
2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
GRUPO ACADÊMICO PRODUÇÃO DO TERRITÓRIO E
MEIO AMBIENTE NA AMAZÔNIA

Reitor da UFPA: Prof. Dr. Emmanuel Zagury Tourinho
Líder do GAPTA: Prof. Dr. João Marcio Palheta
Editor de Publicações do GAPTA: Prof. Dr. Christian Nunes da Silva
Revisão Textual: Gustavo Saldívar
Arte Gráfica da Capa: Beatriz Aviz

Comissão Editorial GAPTA

Prof. Dr. Christian Nunes da Silva
Prof. Dr. João Marcio Palheta da Silva
Prof. Dr. Adolfo Oliveira Neto

Conselho Editorial GAPTA

Prof. Dr. André Cutrim Carvalho
Prof. Dr. Ricardo Ângelo Pereira de Lima
Prof. Dr. Ricardo José Batista Nogueira

Conselho Consultivo GAPTA

Prof. Dr. Afonso do Ó – Universidade do Algarve
Prof. Dr. Clay Anderson Chagas – UFPA
Profa. Dra. Cynthia Simmons – Florida University
Prof. Dr. David Gibbs McGrath – UFOPA
Prof. Dr. Eduardo Shiavone Cardoso – UFSM
Prof. Dr. Flávio Rodrigues do Nascimento – UFC
Prof. Dr. Gilberto Rocha – UFPA
Prof. Dr. José Sobreiro Filho – UFPA
Profa. Dra. Judite Nascimento – Univ. Cabo Verde/UniCV
Profa. Dra. Lisandra Pereira Lamoso – UFGD
Profa. Dra. Maria Célia Nunes Coelho – UFRJ
Profa. Dra. Maria de Fátima Nunes Carvalho - IPBEJA
Prof. Dr. Robert Walker – Florida University
Prof. Dr. Wanderley Messias da Costa – USP
Prof. Dr. Otávio Jose Lemos Costa – UECE

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Geoinformação e análises socioambientais [livro eletrônico] : volume 1 / organização Christian Nunes da Silva, Daniel Sombra, Adolfo Costa Oliveira Neto. -- 1. ed. -- Belém, PA : Grupo Acadêmico Produção do Território e Meio Ambiente na Amazônia – GAPTA/UFPA, 2023.

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-87842-12-7

1. Gerenciamento socioambiental 2. Geotecnologia ambiental 3. Gestão ambiental 4. Levantamentos socioambientais 5. Monitoramento ambiental 6. Pesquisas 7. Sustentabilidade ambiental I. Silva, Christian Nunes da. II. Sombra, Daniel. III. Neto, Adolfo Costa Oliveira.

23-143886

CDD-553.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Monitoramento ambiental : Análises socioambientais 553.7

Aline Grazielle Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129

Os conceitos, declarações e opiniões emitidos nos manuscritos são de responsabilidade exclusiva do (s) autor (es).

Todos os direitos reservados Ed. GAPTA/UFPA

Impresso no Brasil

SUMÁRIO

PREFÁCIO	9
EVIDÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS E DINÂMICA SOCIOESACIAL: A EXPANSÃO HUMANA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA	15
<i>Franciney Carvalho da PONTE; Cláudio Fábio SZLAFSZTEIN</i>	
A DINÂMICA DAS ÁGUAS NA BACIA DO PIRY, EM BELÉM (PA)	43
<i>Marcus Vinicius Silva da SILVA; Ana Paula Silva FERNANDES</i>	
USO E OCUPAÇÃO DA TERRA EM PEQUENAS BACIAS E ALTERAÇÕES NO CICLO HIDROLÓGICO LOCAL	71
<i>Evanice Pinheiro GOMES; Patrícia da Silva HOLANDA; Maria Ludetana ARAÚJO; Josias da Silva CRUZ</i>	
ARQUEOLOGIA EM SISTEMAS FLUVIAIS E OCEÂNICOS: ANÁLISE DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS E GEOAMBIENTAIS NA DEFINIÇÃO DE POTENCIAIS ARQUEOLÓGICOS SUBAQUÁTICOS	99
<i>Jardel Stenio de Aranjó BARBOSA; Paula Rocha Marino de ARAUJO</i>	

**MAPEAMENTO E MONITORAMENTO DE
ÁREAS DE DESCARTE IRREGULAR DE
RESÍDUOS SÓLIDOS, UTILIZANDO
GEOPROCESSAMENTO, NO BAIRRO
PEDREIRA, EM BELÉM (PA)** **123**

Hugo de Souza FERREIRA

**ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA DE
SUPERFÍCIE DA RESERVA AGROEXTRATISTA
DO CURUMUCURI, EM JURUTI (PA)** **145**

*Marcos Antônio Correa Matos do AMARAL; Wendy Vieira
MEDEIROS*

**ANÁLISE DO IMPACTO DA INSTRUÇÃO DA
NORMATIVA Nº 9 NA EXTENSÃO
TERRITORIAL INDÍGENA BRASILEIRA** **169**

Sueny Pinhel MIRANDA

**ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO ESTADO
DE RORAIMA: CENÁRIO DA DÉCADA 2000-2010** **197**

*Marcos Vinicio Vieira VITA; Pablo Francisco Benitez
BARATTO; Renata Silva de OLIVEIRA; Yanne Alves
MENDES*

**UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DA
QUALIDADE AMBIENTAL EM
ASSENTAMENTO URBANO IRREGULAR, NA
PERIFERIA DE CASTANHAL (PA)** **217**

*Francisco Hélder Fernandes do AMARAL; Claudio Santos da
SILVA FILHO; Christian Nunes da SILVA; Welson de Sousa
CARDOSO*

PREFÁCIO

Em tempos céleres, em que praticamente todos nós estamos conectados a uma multiplicidade de redes, territorialidades e espacialidades distintas, com temporalidades diversas, convidar para ler um livro pode ser algo inexequível. Não obstante, os problemas do nosso tempo continuam exigindo da parte da ciência, soluções para a sua mediação, resolução ou mitigação. A identificação dos problemas e das ferramentas para a sua mediação perpassam pela dimensão fundamental da localização e da extensão de cada objeto, de cada fenômeno, de cada evento.

Historicamente, a Cartografia é uma área dedicada a trabalhar com a questão da localização dos fenômenos e da sistematização de suas relações. Com o desenvolvimento dos sistemas técnicos, a Cartografia se converteu em um grande conjunto sistêmico que envolvem agentes mapeadores, sistemas de sensores remotos, aparelhos de captação de posicionamento em tempo real, e, principalmente, os sistemas de informação geográfica. A informação geográfica, ou Geoinformação diz respeito ao conjunto de técnicas, conhecimentos e tecnologias utilizadas nos processos de coleta, processamento, análise e organização de qualquer informação que tenha referência geográfica.

Este livro traz uma imersão sobre esse importante campo transdisciplinar e interdisciplinar. Excetuando o primeiro capítulo, de autoria dos professores Franciney Carvalho da Ponte e Claudio Fabian Szlafsztein, que são docentes da Universidade Federal do Pará e foram convidados para abrirem a obra, todos os demais textos são oriundos da seleção de alguns dos trabalhos de conclusão dos discentes da primeira turma do Curso de Especialização em Geoprocessamento e Análise Ambiental. Este é um curso realizado pelo Núcleo de Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará (NUMA/UFPA), por meio do seu Programa de Formação Interdisciplinar em Meio ambiente (PROFIMA).

O PROFIMA possui 31 anos de existência, e, nesse intervalo, já formou mais de mil especialistas em diversos cursos, tais como Gestão Ambiental, Educação Ambiental, Ecoturismo, Direito Ambiental, Gestão em Sistemas de Saneamento, Gestão Sustentável de Municípios, Ordenamento Territorial Urbano e Gestão Sustentável de cidades etc.

O curso de Especialização em Geoprocessamento e Análise Ambiental, não obstante, foi o primeiro curso ofertado em uma plataforma de Educação à Distância (EAD). A importância do tema, o peso e o respeito que o NUMA, bem como a Universidade Federal do Pará como um todo possuem, e a oportunidade de fazê-lo a partir de seu computador em casa, possibilitou amplo interesse da comunidade envolvida com estudos cartográficos e ambientais em escala nacional. Foram 480 inscritos, entre os quais candidatos de 22 das 27 unidades da Federação Brasileira.

Ao final, entre os alunos selecionados para as 150 vagas, a primeira turma foi constituída de discentes que são residentes de São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Distrito Federal, Goiás, Mato Grosso, Bahia, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí, Maranhão, Tocantins e Amapá, além dos alunos do estado do Pará. Certamente, esta modalidade de curso de especialização auxilia no processo de ampliação da projeção nacional da Universidade Federal do Pará.

Entre os discentes selecionados, a turma apresentou um perfil diversificado, constituído de funcionários públicos, professores que atuam no campo e na cidade, profissionais de formação diversificada como: engenheiros ambientais, engenheiros florestais, engenheiros sanitários, engenheiros de produção, licenciados em geografia, bacharéis em geografia, geólogos, biólogos, agrônomos, bacharéis em direito, arquitetos e urbanistas. Assim, a inserção e a participação dos mesmos em todas as atividades do curso representam um fator de sucesso da qualidade de ensino, qualificação da produção do conhecimento. É importante citar o nível de aproveitamento geral do curso, 89,33% de alunos concluintes. Os números indicam que o curso

obteve sucesso e pode servir de modelo para outras iniciativas que forem realizadas no formato EAD.

O curso de Especialização em Geoprocessamento e Análise Ambiental desempenhou uma importante oportunidade de qualificação profissional para todos os discentes que participaram, sem distinção quanto ao nível de conhecimento em geotecnologias ou oriundos de instituições públicas, empresas privadas ou membros de movimentos sociais. O aprendizado construído durante o curso possibilitou aos discentes um conhecimento teórico-conceitual sobre diversos temas em debate atualmente, além de que, os conhecimentos técnicos, com o manuseio de programas de geoprocessamento e outros, possibilitaram que os participantes produzam conteúdo textual e cartográfico, com excelência, de forma a contribuir muito mais com suas comunidades e a sociedade, do que antes da entrada no curso.

Os docentes também tiveram a oportunidade de conhecerem as realidades discentes por meio dos eventos online, muitas vezes diferentes do que as disciplinas em turmas regulares mostram. O debate com os discentes por meio de *chats* ou o fórum da plataforma utilizada para a promoção do curso contribuiu também para a otimização e o debate com qualidade dos conteúdos abordados em ambiente de sala de aula virtual. Nesse sentido, dos 150 alunos ingressantes, o curso foi finalizado com 134 concluintes, sendo 44 bolsistas de demanda social, isto é 32,84%, não-pagantes, e 90 discentes pagantes, isto é 67,16% do total, que defenderam suas monografias e aguardam a emissão do certificado.

A presente obra, portanto, deriva desse exitoso projeto e pretende apresentar uma amostra dos estudos produzidos ao final da especialização. Os textos apresentados remetem à questão dos recursos hídricos e resíduos sólidos, em um primeiro eixo; da gestão de áreas protegidas, em um segundo eixo; e do ordenamento territorial urbano-regional, em um terceiro eixo. Todos partindo da contribuição do uso da Geoinformação para a análise ambiental.

O primeiro artigo, que dá início aos debates do livro, escrito por docentes convidados e intitulado “Evidências

antropogênicas e dinâmica socio espacial: a expansão humana na Amazônia brasileira”, utiliza instrumentos cartográficos para realizar uma retrospectiva da dinâmica socioespacial de grupos humanos nos Domínios Naturais da Amazônia Brasileira (DNAB), a partir de indicadores antropogênicos introduzidos na estrutura do tecido fisiográfico, com vistas a analisar e a mapear sua expansão ao longo do Holoceno, contribuindo, assim, para o debate sobre o Antropoceno.

O segundo artigo, “A dinâmica das águas na Bacia do Piry, em Belém (PA)”, apresenta a delimitação da bacia a partir de fatores físicos que compõem o ciclo dinâmico das águas na região (precipitação, geomorfologia, variação do nível das marés e alterações climáticas). Isso permitiu aos autores identificar as manchas de inundação, resultantes deste ciclo hidrodinâmico, bem como os riscos ligados à ocorrência de eventos extremos, consequentes das alterações climáticas.

O terceiro artigo, “Uso e ocupação da terra em pequenas bacias e alterações no ciclo hidrológico local”, analisa as mudanças temporal e espacial na cobertura da Bacia Hidrográfica do Rio Uraim (entre Paragominas-PA e Nova Esperança do Piriá-PA) e associá-las às ocorrências das vazões de referência indicadas no texto. Os resultados são associados à forma de ocupação e uso da terra que tem se dado nesta bacia, sobretudo, pelo uso indiscriminado dos recursos naturais, tão importantes à preservação do bioma amazônico.

O quarto artigo, “Arqueologia em sistemas fluviais e oceânicos: análise de variáveis hidrológicas e geoambientais na definição de potenciais arqueológicos subaquáticos”, objetiva expor a importância da análise ambiental, através dos aspectos hidrológicos e da geomorfologia fluvial, para a definição de áreas ou regiões com padrões locais de identificação de sítios arqueológicos em contextos submersos, em especial em áreas de estuários, chamados ambientes transicionais de contexto fluviomarinho ou sistemas fluviais-oceânicos. Para tal, os autores escolheram uma área em Tutoia (MA) para aplicar sua análise através de técnicas de geoprocessamento.

O quinto artigo, “Mapeamento e monitoramento de áreas de descarte irregular de resíduos sólidos, utilizando geoprocessamento, no Bairro da Pedreira, em Belém (PA)”, objetiva mapear os pontos de descarte irregular de resíduos sólidos no bairro Pedreira, utilizando receptores de Sistema de Posicionamento Global e registros fotográficos de terra e de ar, adquiridos em sobrevoos com *drone* sobre áreas com maior representatividade de acúmulo de resíduos, monitorando e obtendo informações que possam ajudar a entender a sazonalidade de uso das áreas para o descarte irregular de materiais.

O sexto artigo, “Análise temporal da temperatura de superfície no PEAEX Curumucuri, em Juruti (PA)”, objetiva avaliar a dinâmica da temperatura da superfície do Assentamento de Curumucuri, em Juruti (PA), através de dados retirados de imagens do sensor MODIS, que se encontra nos satélites Terra e Aqua, do Programa Earth Observing System (EOS), e de mapeamento e de monitoramento da cobertura vegetal e do uso da terra.

O sétimo artigo, “Análise do impacto da Instrução da normativa nº 9 na extensão territorial indígena brasileira”, objetiva apresentar quantitativos e localizações de áreas de imóveis privados, certificados e registrados no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), ligado ao governo federal, as quais foram subtraídas de terras indígenas ainda em processo de demarcação no Brasil, a partir da entrada em vigor da Instrução Normativa nº 9, promulgada em 16 de abril de 2020, pela Fundação Nacional do Índio (Funai).

O oitavo artigo, “Aspectos geomorfológicos do estado de Roraima: cenário da década 2000-2010”, objetiva propor a criação de um atlas de caracterização destas mesorregiões de Roraima, através do emprego de visões complementar e integrada da descrição geológica, bem como das atividades de extração mineral nos espaços em foco, pela utilização de mapas, compondo um pequeno atlas.

E, por fim, o nono artigo, “Uma proposta de avaliação da qualidade ambiental em assentamento urbano irregular na periferia de Castanhal (PA)”, objetiva produzir um índice, através de

ferramentas de geoprocessamento aplicadas a um sistema de informação geográfica para aferir a qualidade ambiental em assentamentos urbanos irregulares, utilizando a periferia de Castanhal como estudo de caso.

Todos os estudos, portanto, apresentam soluções, inovações, habilidades e práticas através do uso Geoinformação para lidar com problemas concretos que dizem respeito à sociedade brasileira. Esperamos que a leitura possa vislumbrar um pouco do estado da arte do uso da Geoinformação para pensar, mitigar e produzir mecanismos para a análise ambiental em diferentes escalas. E, por fim, que a leitura também incentive os pesquisadores a ampliarem as redes e os espaços de formação de ensino à distância, pois é papel da Universidade pública possibilitar que este mecanismo seja ofertado em forma de política pública e não fique à mercê exclusiva da iniciativa privada.

Assim, os organizadores do livro desejam boa leitura.

Belém do Pará, 29 de janeiro de 2023.

Os organizadores
Universidade Federal do Pará

EVIDÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS E DINÂMICA SOCIOESPACIAL: A EXPANSÃO HUMANA NA AMAZÔNIA BRASILEIRA¹

Franciney Carvalho da PONTE²

Claudio Fabian SZLAFSZTEIN³

INTRODUÇÃO

A Amazônia é um mosaico complexo de sistemas humano-naturais acoplados, típico de biomas antropogênicos, ocorridos antes da conquista europeia (CLEMENT et al., 2015), os quais, associados às evidências antropogênicas mais contemporâneas, sinalizam um grande potencial de “humanização” de seus domínios naturais. Essas evidências dão à Região uma importância ímpar nos estudos geográficos, pois aglutinam um conjunto de indicadores ambientais que apontam uma alta pressão antropogênica, que pode ser melhor compreendida através do resgate de eventos socioespaciais e da análise de processos de ocupação.

1 Artigo publicado originalmente com a referência: PONTE, F. C.; SZLAFSZTEIN, C. F. Indicadores antropogênicos e cartografia de eventos socioespaciais: subsídio à retrospectiva humana na Amazônia brasileira. *Geosp*, v. 26, n. 3, e-190107, dez. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geosp.2022.190107>.

2 Geógrafo, Doutor em Geografia, Professor da Faculdade de Geografia e Cartografia da Universidade Federal do Pará (FGC/UFPA). Pesquisador do Grupo Geomorfologia Ambiental da Amazônia (GPGA/UFPA). E-mail: fcponte@ufpa.br.

3 Geólogo, Doutor em Ciências Naturais, Professor Titular do Núcleo de Altos Estudos Amazônicos (NAEA/UFPA). Líder do Grupo de Estudos e Pesquisas em Riscos Naturais na Amazonia (CNPQ). Membro da International Society for Development and Sustainability (Japão). E-mail: ioselesz@gmail.com.

A dinâmica dos processos de ocupação na Amazônia é tema de muitas pesquisas e controvérsias, já que estudos arqueológicos (NEVES, 2006), pedológicos (MCMICHAEL et al., 2014) e botânicos (Levis et al., 2017), entre outros, têm revelado que a antropogenização na região remonta ao início da época Holoceno (tempo geológico pertencente à era Cenozoica, Período Quaternário).

As evidências antropogênicas são resultado de ações do ser humano na natureza, constituindo-se em indicadores na análise das causas de transformações ambientais de caráter físico-natural e/ou humano-social, forjando, mutuamente, sistemas naturais humanizados. Para Cavalcanti e Rodriguez (1997), os sistemas humanizados são caracterizados pelas formas como o ser humano se organiza em sociedade e como administra os “sistemas naturais” nos quais as dinâmicas socioespaciais reincidentem e voltam a influir, condicionando tais relações.

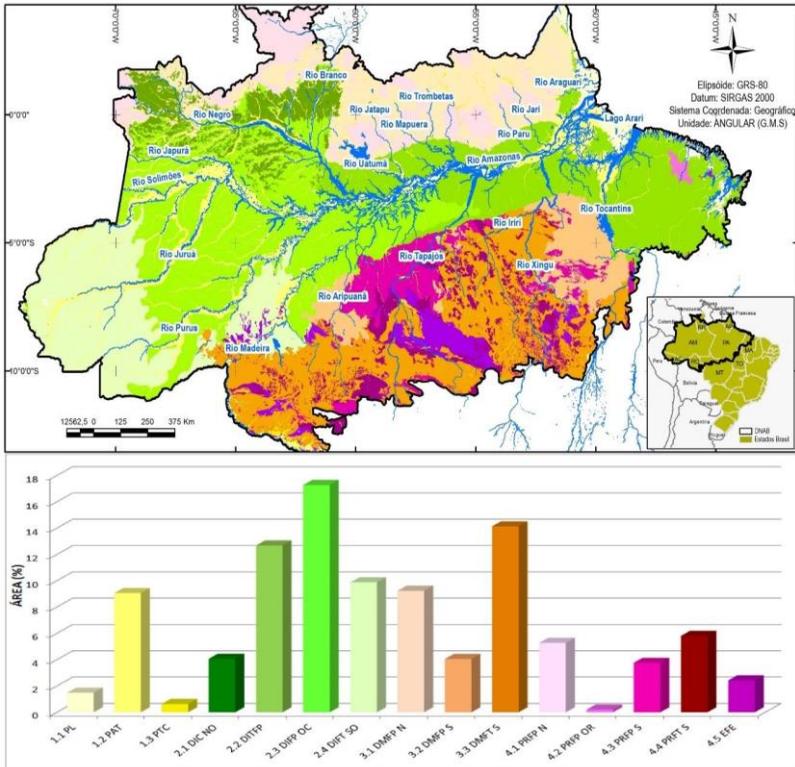
O objetivo do presente trabalho é fazer uma retrospectiva da dinâmica socioespacial de grupos humanos nos Domínios Naturais da Amazônia Brasileira⁴ (DNAB) a partir de indicadores antropogênicos introduzidos na estrutura do tecido fisiográfico, com vistas a analisar e a mapear sua expansão ao longo do Holoceno.

Os DNAB, com cerca de 3,7 milhões de km² (44% do território nacional). No contexto das particularidades regionais, sistemas naturais (subdomínios) foram definidos a partir do desdobramento dos DNAB, considerando, para tanto, aspectos fitopedológicos (tipologias vegetacionais e solos dominantes), para auxiliar a análise das dinâmicas de uso/ocupação. Os DNAB e os sistemas naturais estão sintetizados na Figura 1 e Quadro 1.

⁴ Os domínios naturais da Amazônia brasileira (DNAB) foram forjados pela integração de aspectos biofísicos (morfoestrutura, morfoescultura, solos, vegetação), segundo conceitos morfoclimáticos e fitogeográficos (AB'SABER, 1967).

Geoinformação e Análises Socioambientais

Figura 1 – Domínios naturais da Amazônia brasileira



Fontes: IBGE (2017b, 2017c, 2017d, 2017e), com dados cartográficos agrupados em folhas de recorte milionésimo compactados e disponibilizados em formato *shapefile* (extensão de arquivo vetorial que armazena atributos geoespaciais em plataforma de Sistemas de Informações Geográficas – SIG). Organização: Os autores. Nota: O eixo X do gráfico representa os domínios e sistemas naturais (Quadro 1).

Quadro 1. Domínios, sistemas naturais e seus respectivos acrônimos

Domínios	Descrição	Sistemas Naturais	Acrônimos
Planícies Amazônicas	Formações recentes (Quaternário), caracterizadas por sedimentos inconsolidados	Planície litorânea	PL
		Planície alúvio-terracial	PAT
		Planície em terreno cristalino	PTC
Depressões Interplanálticas	Bacias e coberturas sedimentares, modeladas por antigos processos de deposição, associadas às Eras Mesozoico e Cenozoico Superior ⁵	Depressão interplanáltica das campinaranas noroeste	DIC NO
		Depressão interplanáltica dos tabuleiros fitoplúviais	DITFP
		Depressão interplanáltica fitoplúvial ocidental	DIFP OC
		Depressão interplanáltica fitotransicional sudoeste	DIFT SO
Depressões Cristalinas	Coberturas sedimentares, consolidadas e dispostas sobre estruturas cristalinas, modeladas por processos erosivos e de pediplanação	Depressão marginal fitoplúvial norte	DMFP N
		Depressão marginal fitoplúvial sul	DMFP S
		Depressão marginal fitotransicional sul	DMFT S
Planaltos e Relevos Montanos	Formações consolidadas muito antigas (Cráton- Neoproterozoico), representado por planaltos residuais dissecados	Planalto residual fitoplúvial norte	PRFP N
		Planalto residual fitoplúvial oriental	PRFP OR
		Planalto residual fitoplúvial sul	PRFP S
		Planalto residual fitotransicional sul	PRFT S
		Encrave fitoecológico	EFE

Elaboração: Os autores.

⁵ Ao longo dos sedimentos do Fanerozoico, existe uma variabilidade geocronológica, que acompanha toda a depressão das bacias desse domínio, como formações, associadas ao Mesozoico, como por exemplo, patamares e planaltos do Tapajós, e, ao Cenozoico, como tabuleiros paraenses e depressões do Solimões.

A reprodução cartográfica de eventos socioespaciais se apoiou na investigação das dinâmicas e dos processos de mudança de uso e ocupação do solo, vivenciados pelas sociedades amazônicas ao longo do Holoceno, mediante a adoção das seguintes etapas: a) Levantamento de vestígios antropogênicos – identificação e agrupamento de evidências arqueológicas têmporo-espacialmente correlatas; b) Periodização – definição de períodos, épocas e fases socioprodutivas em consonância com as evidências e os processos de ocupação prevalentes; c) Cartografiação – fatiamento temporal e espacialização de indicadores da ação humana mediante as tipologias de uso dos recursos naturais, associadas a eventos socioespaciais específicos; e, d) Estimativa antropogênica – análise da dinâmica ocupacional, considerando as semelhanças socioespaciais e o incremento antropogênico dos sistemas naturais.

EVIDÊNCIAS ANTROPOGÊNICAS NA AMAZÔNIA PRÉ-HISTÓRICA BRASILEIRA

Dados arqueológicos demonstram que a colonização humana na Amazônia resultou na formação de padrões ecológicos na floresta tropical, relacionados a grupos humanos pré-históricos, os quais forjaram sociedades agricultoras posteriores (MAGALHÃES, 2016). Para Neves (2006), a Amazônia é ocupada há mais de 10 mil anos, em alguns casos, por milhões de pessoas, pressupondo que a floresta atual tenha, além de uma história natural, uma história cultural.

Evidências fortes da ação humana na Amazônia são as chamadas Florestas Culturais, Antropogênicas ou Domesticadas. Estas florestas constituem indicadores da ação humana e sugerem um elevado grau de domesticação. Levis et al. (2017) citam, como exemplos, florestas com altas concentrações de Castanha-do-Pará, de Ingá, de Abiu e de Cacau, situadas nos interflúvios dos rios Purus e Madeira, na Serra de Carajás, e no médio e no baixo rio

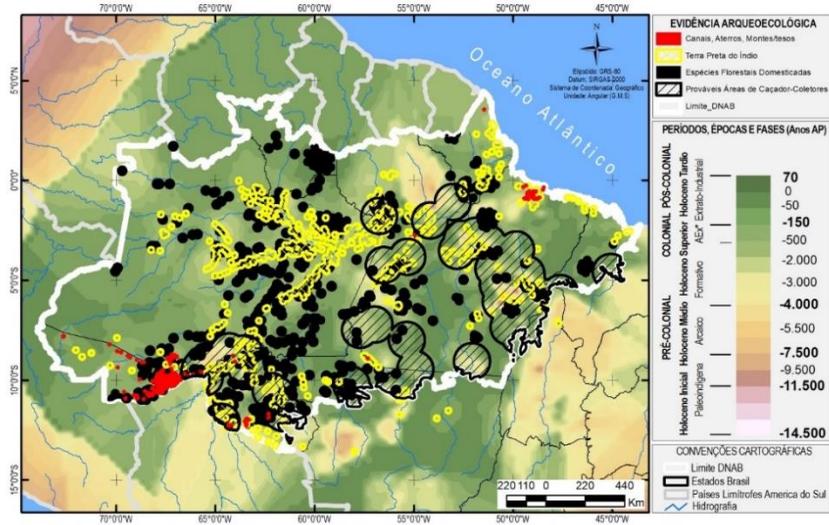
Amazonas. Neste mesmo sentido, e com base em evidências arqueobotânicas na caverna Pedra Pintada (Monte Alegre no Pará), Roosevelt et al. (1996) afirmam que a floresta amazônica era uma formação antrópica dinâmica, onde os primeiros impactos humanos foram alterações na composição de espécies florestais pela dispersão de plantas úteis.

Outras transformações antrópicas estão registradas nas Terras Pretas do Índio (TPI), extensos solos antropogênicos formados por sociedades pré-históricas (COSTA et al., 2009). A TPI resulta de depósitos de lixo e de práticas de campo e de manejo florestal, configurando-se como solo cultural e rico em nutrientes (ROOSEVELT, 2013). Para Clement et al. (2015), quase 1% do solo amazônico é composto por TPI, onde crescem aproximadamente 83 espécies nativas com algum grau de domesticação.

Outros indícios têm sido utilizados como evidências antrópicas - a ocorrência de grandes assentamentos, a construção de montículos e de estruturas de terra em formato geométrico – os Geoglifos. Os montículos representam relevos antropogênicos, construídos para elevar superfícies para fins residenciais, defensivos ou agrícolas. No Arquipélago do Marajó (PA), mais de 400 montículos, majoritariamente datados de 400 a 1300 anos d.C., foram identificados, bem como, na porção ocidental dos DNAB, desde o Acre até as proximidades da fronteira com a Bolívia, bem como nas planícies fluviais do rio Amazonas e tributários (SCHAAN, 2007). Os Geoglifos foram difundidos, principalmente, no sudoeste da Amazônia brasileira (norte do Acre), entre 400 anos e 100 anos a.C. (ERIKSEN, 2011).

A Figura 2 apresenta um conjunto de evidências antropogênicas sobre os subdomínios (sistemas) naturais da Amazônia brasileira, na qual percebe-se uma diversidade de tipologias de estruturas ecológicas humanizadas e uma grande amplitude espacial de suas ocorrências, materializadas no contexto pré-histórico.

Figura 2 – Evidências antropogênicas/arqueoecológicas no contexto pré-histórico dos DNAB



Fontes: Schaan (2007), Costa et al. (2009), McMichael et al. (2014), Clement et al. (2015), Levis et al. (2017), Iphan ([s.d.]) e IBGE (2017b, 2017c, 2017d, 2017e). Elaboração: Os autores.

Outras ocupações revelam evidências antropogênicas precoces de produção ceramista e da intervenção humana intensa nos ecossistemas amazônicos, como por exemplo, os sambaquis da Taperinha no baixo Amazonas (7,5 mil e 4 mil anos AP), do rio Xingu (5 mil e 3 mil anos AP) (SCHAAN, 2009) e do litoral do Pará (5 mil anos AP) (ROOSEVELT et al., 1996).

EVENTOS SOCIOESPACIAIS E PERIODIZAÇÃO DA EXPANSÃO HUMANA NA AMAZÔNIA

Com base em evidências arqueológicas, foram estabelecidas cinco fases socioprodutivas (*Paleoindígena*, *Arcaica*, *Formativa*, *Descomplexificação* e *Diversificação*) e três períodos históricos (*Pré-Colonial*, *Colonial* e *Pós-Colonial*) na Amazônia brasileira (Quadro 2).

Quadro 2 – Período, época, fase e eventos socioespaciais na Amazônia holocênica

Período	Época (anos AP)	Fase/ Produção	Grupo(s) Social(is)	Evento Socioespacial	Local/Região
Pré-Colonial	Holoceno Inicial (11.500-7.500)	Paleoindígena: extrativismo (pré-ceramista)	Paleoíndio caçador-coletor	chegada do ser humano e dispersão inicial na Amazônia, tecnologia lítica	Alto Rio Madeira, Alto Rio Teles Pires (Planalto Parecis), patamar do Xingu
	Holoceno Médio (7.500-4.000)	Arcaica: extrativismo (pré-agrícola)	Caçador-coletor-pescador	Início da produção cerâmica, diversidade de grupos humanos e horticultura	Litoral paraense, Baixo-Médio Amazonas, serra de Carajás
	Holoceno Superior (4.000-150)	Formativa: extrativo-agrícola	Coletor-pescador-agricultor	Expansão da população, sociedades cerâmico-agrícolas, sedentarismo	Litoral amazônico, calha do rio Amazonas e dos tributários (Tocantins, Tapajós)
Colonial		Descomplexificação: extrativismo comercial e cultivo rústico	Coletor, pescador, missionário/colono	Redução da população, expropriação, simplificação	Litoral amazônico, calha do rio Amazonas e foz de tributários
Pós-Colonial	Holoceno Tardio (>= 150)	Diversificação técnico-científico, agroindústria	Indústrias, financeiros	Aumento da população, urbanização, degradação	Litoral amazônico, Amazônia oriental, planícies e tabuleiros, planaltos norte e sul

Fontes: Roosevelt et al. (1996), Lui e Molina (2009) e Costa et al. (2009). Organização: Os autores.

O *Período Pré-Colonial* emerge com a chegada dos primeiros grupos de caçadores-coletores à região amazônica, e se estende até a chegada dos colonizadores europeus. Esses grupos de caçadores-coletores tiveram um papel fundamental no estabelecimento de rotas, facilitando os processos migratórios e a relação com ecossistemas amazônicos, cada vez mais conhecidos – *fase Paleoindígena*. Evidências associadas a esses grupos são palmeiras e castanheiras no sítio Caverna da Pedra Pintada em Monte Alegre (PA) (ROOSEVELT et al., 1996), partículas de carvão na lagoa Curuçá no litoral paraense (~10 mil anos AP), pontas líticas no sítio Dona Stela (AM) (9 mil anos AP) (NEVES, 2006) e vegetais fossilizados na serra de Carajás (PA) (9 mil anos AP) (MAGALHÃES, 2016).

O processo de povoamento da Amazônia pode ter sido favorecido pela facilidade de movimentação pelos vales dos grandes rios, desencadeando rápidos deslocamentos de caçadores-coletores. Segundo Magalhães (2016), a partir de 7 mil anos AP, o ser humano já havia se espalhado por diferentes partes da bacia amazônica, inaugurando um novo contexto socioprodutivo – a fase Arcaica. Esta fase é caracterizada pelo início da produção cerâmica. Os vestígios cerâmicos mais antigos do continente americano foram encontrados no Baixo e Médio Amazonas (8 mil anos AP), na costa paraense, na Serra dos Carajás (PA), na bacia do rio Jamari (RO) e no Baixo Negro (AM) (Roosevelt et al., 1991). A fase Arcaica constituiu uma entropia na organização social das culturas dos caçadores-coletores pioneiros, o que intensificou o manejo de plantas selecionadas (ex. castanha-do-pará, mandioca), quando por volta de 5 mil anos AP, alguns moradores passam a priorizar a horticultura florestal (MAGALHÃES, 2016; ROOSEVELT, 2013), iniciando a fase Formativa.

A *fase Formativa* corresponde aproximadamente aos quatro milênios anteriores à colonização europeia e se caracteriza pela consolidação do sedentarismo, pelo adensamento populacional da calha do rio Amazonas, pela revolução sociotecnológica e pela expansão agrícola. Todos estes fenômenos intensificaram a transformação de paisagens, tal como evidenciado pelas formações

Terras Pretas do Índio (TPI) e Sambaquis. Ao longo do rio Amazonas e de seus afluentes, uma concentração elevada de solos TPI evidencia a ocupação por sociedades pré-coloniais, como por exemplo, nas planícies no Arquipélago do Marajó e nos terraços no médio e no baixo rio Amazonas (PROUS, 2006), bem como, nas cabeceiras dos tributários rios Madeira, Tapajós e Xingu, estas, associadas a aproximadamente 2 mil anos AP (Clement et al. 2015). Os Sambaquis estão distribuídos descontinuamente no espaço, desde a ilha de São Luís (MA) até o vale do rio Guaporé (RO), assim como no nordeste paraense, no Arquipélago do Marajó, no litoral amapaense, no Baixo Xingu, na desembocadura do rio Tapajós e na cidade de Itapiranga (AM) (NEVES, 2006; SCHAAN, 2009).

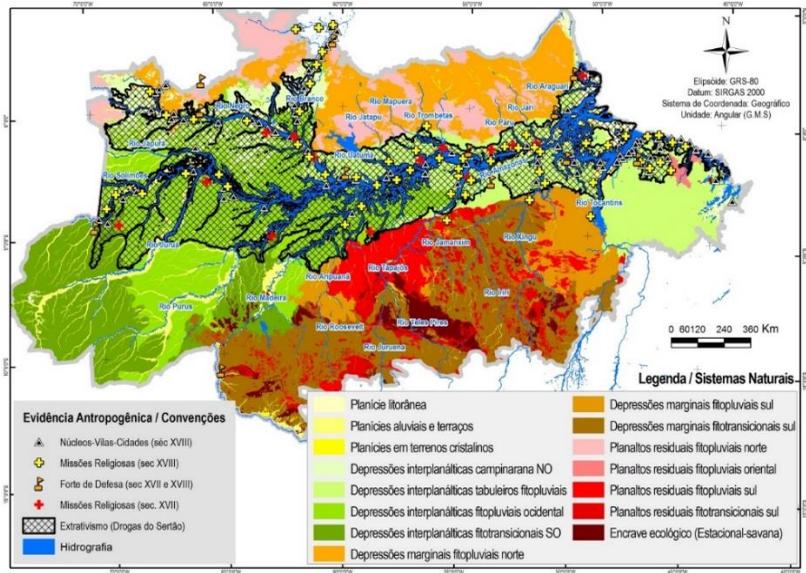
No Arquipélago do Marajó, a origem da cultura ceramista está atrelada à aglutinação de pequenas aldeias de diferentes etnias, entre 3.500 anos e 500 anos AP (Magalhães, 2016), espalhando-se ao longo do rio Amazonas e de seus principais afluentes (Neves, 2006). No início da Era Cristã, aterros artificiais foram levantados em ambientes inundáveis do Arquipélago para permitir a permanência humana durante épocas de cheia. Por volta de 500 d.C., esses montes se multiplicam ao longo dos rios principais e ao redor do grande lago Arari, associados as TPI (PROUS, 2006; SCHAAN, 2009). Entretanto, cerâmicas datadas entre 2.000 e 2.600 anos AP demonstram que o ser humano já dominava a agricultura, pois tais ocupações coincidem com a dos castanhais na região (NICOLI et al., 2001, p. 6616 apud Costa et al., 2009, p. 24). A Figura 2 apresenta a espacialização de evidências antropogênicas associadas ao período Pré-Colonial.

O *Período Colonial* surge com a chegada do colonizador à região (século XV), quando a bacia amazônica já era densamente ocupada por diferentes povos indígenas. Aproximadamente cinco

⁶ NICOLI, I. G. et al. Estudo de sítios arqueológicos com estruturas de terra circular situadas na Bacia Amazônica – Brasil por meio de métodos geoquímicos: caracterização de cerâmicas. In: Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, 6.; Semana De Geoquímica, 12. 9-12 abr. 2001, Faro: Universidade do Algarve. Actas... Faro, 2001.

milhões de pessoas ocupavam a bacia amazônica em 1492 (DENEVAN, 2003). Relatos sobre o contato de europeus com sociedades indígenas amazônicas descrevem aglomerações populacionais de mil a dez mil pessoas no Alto Xingu, na foz do rio Tapajós e nas savanas do Marajó (CLEMENT et al., 2015). De acordo com Neves (2006), os povos indígenas viviam em assentamentos, muitos dos quais conseguiram evoluir para povoados/vilas e cidades (ex. Santarém (PA), Manaus (AM) e Tefé (AM)) (Figura 3).

Figura 3 – Evidências antropogênicas na Amazônia brasileira do período Colonial.



Fontes: Pfafstetter (1989), Arruda (1991), Araújo (2004), Chaves e Pena (2013) e IBGE (2017b, 2017c, 2017d, 2017e). Elaboração: Os autores.

O contato com os europeus afetou a organização sociocultural vigente e o número de habitantes, pela imposição de um modo de vida diferente e a exposição a doenças (ROOSEVELT, 2013). A população sofreu uma redução expressiva de cerca de 90% até 1650, sendo que em 1750, a soma

de índios, europeus e escravos, representava apenas 30% dos habitantes do número de pessoas que houvera em 1492 (DENEVAN, 2003).

O povoamento da região acompanhou os interesses do mercantilismo europeu por meio dos núcleos de extração vegetal ligados à economia exportadora, baseada predominantemente na coleta de especiarias (Drogas do Sertão), inaugurando um momento produtivo menos diverso e centrado na calha amazônica – a *fase da Descomplexificação*. Nessa fase de interiorização, impulsionada também por missões jesuíticas, várias cidades foram fundadas às margens dos cursos baixo e médio do rio Amazonas, como Gurupá (PA) (1639), Santarém (PA) (1661), São Gabriel da Cachoeira (AM) (1690), Manaus (AM) (1699) e Tefé (AM) (1709) (MIRANDA, 2007) (Figura 3). Além das ocupações missionárias, a Coroa Portuguesa também decidiu combater as incursões francesas na região norte da Amazônia, resultando na conquista dos rios Negro, Branco e Solimões (GUZMÁN, 2008).

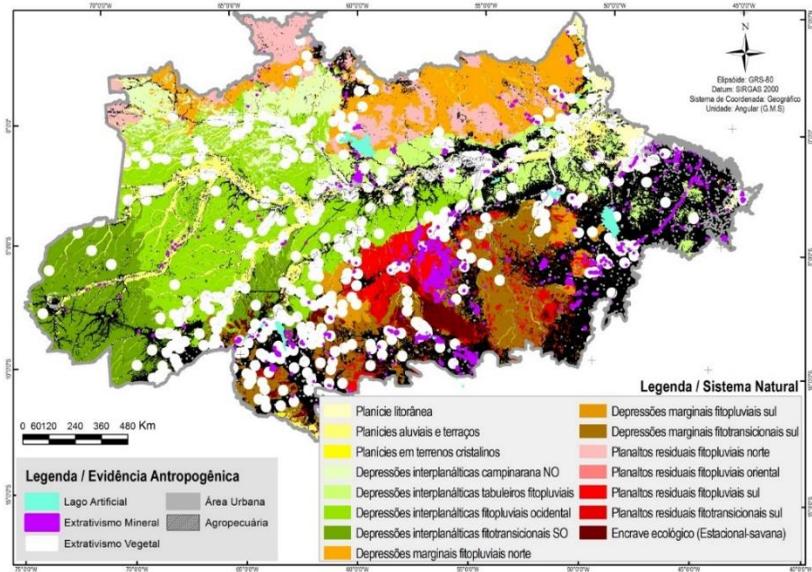
O *Período Pós-Colonial* pode ser dividido em dois ciclos: entre as décadas de 1850 e 1950 e de 1950 até o presente. No primeiro, há uma intensificação da atividade extrativa, herdada do período anterior. O segundo se caracteriza pela atividade agroindustrial, com destaque para a extração mineral e para a expansão de estruturas urbanas de infraestrutura e agropecuária. Ambos os ciclos intensificaram a intervenção antrópica nos recursos naturais da região, forjando a fase da Diversificação.

O extrativismo da seringueira, para a produção da borracha, impulsionou a ocupação das várzeas nas cabeceiras de rios (ex. Acre), chegando a ser o terceiro produto das exportações brasileiras. Como consequência dessa atividade, o porto de Manaus (1907) para apoiar a coleta e a exportação de borracha e as estradas de ferro Belém-Bragança (1883-1908), Madeira-Mamoré (1907-1912) e Tucuruí (1905-1944) são construídos (HOMMA, 2001). Com o término da produção intensiva de borracha e com o aumento populacional na primeira metade do século XX, um cenário de declínio econômico emergiu na região (Lui; Molina, 2009).

O declínio da extração do látex resultou na busca de novas estratégias produtivas, como por exemplo, a extração da juta nas várzeas amazônicas, inicialmente no estado do Amazonas e depois no nordeste paraense. A imigração japonesa estabelece esta cultura, favorecida pela disponibilidade de mão de obra, oriunda dos seringais decadentes. No nordeste paraense, essa atividade foi quase simultânea à expansão do cultivo da malva e da pimenta-do-reino, impulsionando a agricultura na região (HOMMA, 2001), bem como a extração, em terra firme, do pau-rosa e da castanha-do-pará (LEITE et al., 1999).

A partir da segunda metade do século XX, a Amazônia viveu um conjunto de políticas públicas que redirecionam a produção da região, como a criação da Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (Castro e Campos, 2015). Tais políticas representaram uma mudança de paradigma nos DNAB, estabelecendo uma “nova” dinâmica socioespacial entre as planícies e as depressões, rumo ao interior da floresta. Na década de 1970, o Estado brasileiro atribuiu uma nova concepção político-ideológica à Amazônia, partindo do discurso de que havia na região um extenso vazio demográfico que deveria ser ocupado. Para tanto, o governo federal foi responsável pela implantação de grandes projetos de (re)colonização e de “desenvolvimento” na região, como o Programa de Integração Nacional (PIN) (1970), o Programa Polos Agropecuários e Agrominerais da Amazônia (Polamazônia) (1974) e o Projeto Grande Carajás (PGC) (1980). A Amazônia passou a ser cobiçada por mercados nacionais e internacionais, com impacto negativo no ambiente em função da fragmentação e supressão de paisagens. Na Figura 4 destacam-se a calha do rio Amazonas e os eixos norte-sul da Amazônia oriental, Leste-Oeste da Amazônia meridional, centro-sul da Amazônia central, conectando Santarém ao norte do Mato Grosso, e nortesul da Amazônia ocidental, interligando os estados de Roraima, Amazonas e Rondônia.

Figura 4 – Evidências antropogênicas na Amazônia brasileira Pós-Colonial



Fontes: MapBiomias (1985, 2019), Leite et al. (1999), Thomas et al. (2014), Homma (2014), Latrubesse et al. (2017), Inpe (2018), ANA (2019) e IBGE (2017b, 2017c, 2017d, 2017e). Elaboração: Os autores.

A abertura de rodovias extensas e de estradas vicinais, como a Cuiabá-Porto Velho (BR-364) (em 1968), a Transamazônica (BR-230) (em 1972) ou a Cuiabá-Santarém (BR-163) (em 1973), resultou na criação de dois polos de ocupação: projetos pecuários da Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM (sudeste do Pará e norte do Mato Grosso) e assentamentos do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA (Rondônia e Transamazônica) (CASTRO et al., 2014). No sul do Pará, a rodovia PA-150 passou a funcionar como via de transporte de madeireiros e de pecuaristas (HOMMA, 2001).

Entre 1960 e 2000, grandes projetos de extrativismo e de infraestrutura consolidaram o papel da Amazônia nos contextos nacional e internacional, bem como as dinâmicas socioeconômicas, principalmente no entorno de projetos de mineração - Icomi em

Serra do Navio (AP), Vale em Parauapebas (PA), Mineração Rio do Norte em Oriximiná (PA), Albrás-Alunorte em Barcarena (PA) e Alcoa em Juruti (PA).

A partir do conjunto de evidências antropogênicas, propõe-se uma periodização do processo de ocupação da Amazônia (Quadro 2).

PROCESSOS DE OCUPAÇÃO E INCREMENTO ANTROPOGÊNICO, NO ÂMBITO DOS SISTEMAS NATURAIS

Evidências antrópicas, associadas à *fase Paleoindígena* do *período Pré-Colonial*, podem ser encontrados no Alto Madeira (Planalto Ji-Paraná-Aripuanã), no Alto Teles Pires (Planaltos dos Parecis e Uatumã-Jari), no patamar dissecado do Xingu, entre outros. Essa fase apresenta uma área antropogênica estimada em 760 mil km², o equivalente a 20% da área de estudo.

No domínio Depressões Sedimentares, os sistemas naturais destacados são a Depressão Interplanáltica dos Tabuleiros Fitopluviais e a Depressão Interplanáltica Fitotransicional Sudoeste, com incremento antropogênico de 36% e 11%, respectivamente. Aqui observam-se as primeiras ocupações de interflúvios da Depressão Interplanáltica dos Tabuleiros Fitopluviais em Monte Alegre (ex. Caverna da Pedra Pintada), no Baixo Xingu (ex. sítio Cachoeira Jericoá) e no Baixo Tapajós (ex. sítio N. Sra. de Lourdes). Na Depressão Interplanáltica Fitotransicional Sudoeste (ex. Alto Madeira), identificou-se uma moderada ocupação, onde a área de ocorrência antropogênica pode chegar a cerca de 15%. O domínio Depressões Cristalinas apresenta vestígios humanos significativos. O sistema natural Depressão Marginal Fitopluvial Sul apresenta evidências antropogênicas em interflúvios orientais (ex. rios Tocantins e Xingu), bem como na Depressão Marginal Fitotransicional Sul, que tem indícios de ocupação em interflúvios centrais (ex.: entre os rios Iriri e Tapajós) e no Sudoeste (ex. Alto Madeira). Na

Depressão Marginal Fitopluvial Norte são ausentes as ocupações humanas, provavelmente em razão da floresta densa e dos relevos acidentados. O domínio Depressões Cristalinas apresenta evidências moderadas (33%), destacando-se a Depressão Marginal Fitopluvial Sul (67%) e a Depressão Marginal Fitotransicional Sul (43%). O domínio Planaltos e Relevos Montanos apresenta discreta ocorrência de evidências antropogênicas, com destaque para os sistemas naturais Planalto Residual Fitopluvial Sul (ex.: serra de Carajás) e Planalto Residual Fitotransicional Sul (ex.: Chapadas do Cachimbo), ambos com um incremento antropogênico de aproximadamente 34% (Figura 5).

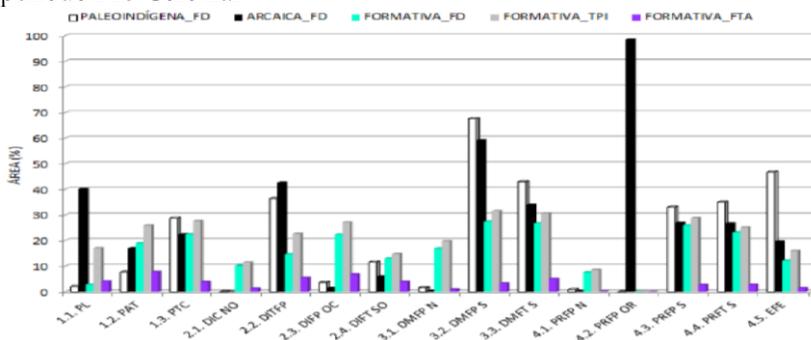
Na fase *Arcaica*, concomitante ao advento da horticultura, inicia-se a produção cerâmica, considerada uma técnica produtiva embrionária das sociedades agrícolas, particularmente no litoral paraense (sambaquis Guará e Viseu), no baixo e médio Amazonas (sítios Paituna e Taperinha), no rio Jamari (Pedra Pintada), no rio Negro (Irاندuba), no Alto Madeira e na Serra dos Carajás (Rio Verde). As evidências da fase Arcaica estão numa área de 700 mil km², equivalendo a 19% dos DNAB, distribuídas predominantemente sobre a Planície Litorânea, a Depressão Interplanáltica dos Tabuleiros, a Depressão Marginal Fitopluvial Sul, a Depressão Marginal Fitotransicional Sul e o Planalto Residual Oriental (Figura 5). O incremento antropogênico denuncia uma significativa diversidade espacial, principalmente na porção sudoeste (Rondônia e Acre) e na Amazônia oriental (Baixo Tocantins, periferia norte dos domínios cratônicos sul, litoral paraense e Baixo Amazonas), provavelmente em razão da evolução sócio-organizacional e da maior adaptabilidade às condições ecológicas.

As evidências antropogênicas, associadas à fase Formativa perpassam vários domínios naturais, destacando-se as espécies florestais domesticadas e as TPI. A sua dinâmica socioespacial é marcada por processos ocupacionais expressivos como o das Planícies Amazônicas e o das Depressões Sedimentares, destacando o rio Pindaré e afluentes no Maranhão, o Baixo-Médio Amazonas e tributários (rios Xingu, Tapajós, Madeira e Negro) e

o extremo sudoeste dos DNAB (Alto Rio Madeira). A ocorrência de evidências antropogênicas, com estimativa em torno de 45% dos DNAB, ressalta os sistemas naturais Planície Alúvio-terracial, Depressão Interplanáltica dos Tabuleiros Fitopluviais, Depressão Interplanáltica Fitopluvial Ocidental, Depressão Marginal Fitopluvial Sul e Depressão Marginal Fitotransicional Sul. Nesse contexto, evidências são retratadas por formações e/ou por alterações morfológicas do relevo como canais e aterros/montes sobre a Depressão Interplanáltica Fitotransicional Sudoeste (Acre) e as planícies da Ilha de Marajó, totalizando em torno de 38 mil km², o equivalente a 1% dos DNAB.

A distribuição espacial de espécies florestais domesticadas e a ocorrência de TPI demonstram uma relação de causa e efeito, sugerindo que a base socioprodutiva dessas sociedades se pautava no cultivo agrícola e no manejo florestal. A diversidade espacial dessas evidências demonstra uma elevada variabilidade geográfica, dispersa por vários sistemas naturais, constituindo indícios que corroboram as hipóteses da significativa ocupação da Amazônia anterior à chegada dos europeus.

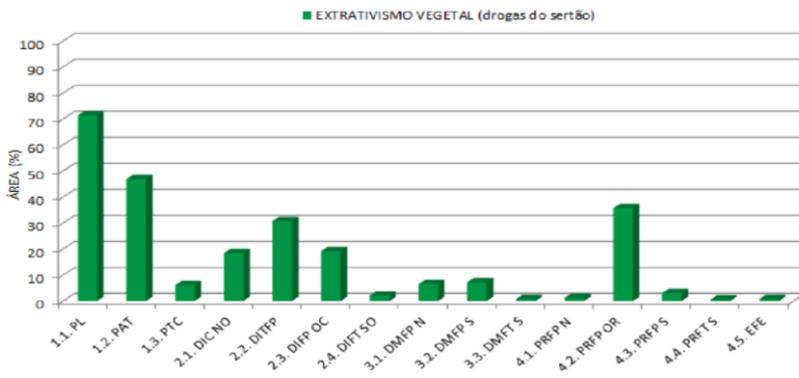
Figura 5 – Incremento antropogênico dos sistemas naturais das fases do período Pré-Colonial



Elaboração: Os autores. Nota: O eixo X do gráfico representa os sistemas naturais descritos na Figura 1 e Quadro 1. Evidências antropogênicas: floresta domesticada (FD), Terra Preta do Índio (TPI), floresta doméstica + Terra Preta do Índio + aterro (FTA).

Na fase *Descomplexificação* do período *Colonial*, a dinâmica socioespacial ocorreu primeiramente nas planícies do rio Amazonas, lugar das primeiras missões religiosas. As suas evidências antropogênicas apresentam um incremento predominante nos domínios das Planícies e das Depressões Sedimentares (Figura 6), compreendidas entre o litoral amazônico e a calha do rio Amazonas (baixo e médio cursos) e vários tributários. A Figura 6 mostra que, além das planícies amazônicas, a atividade extrativa se deu, parcialmente, sobre as depressões sedimentares, circundantes da calha amazônica, onde o percentual de incremento antropogênico ocorreu mais sensivelmente nos sistemas naturais das planícies Litorânea e Alúvio-Terracial e nas depressões interplanálticas dos Tabuleiros Fitopluviais e Fitopluvial Ocidental. O período *Colonial* foi marcado pelo retrocesso de processos ocupacionais anteriores e por tímidas expansões de novas ocupações, desacelerando-se a dinâmica espacial, simplificando-se as organizações socioculturais (evangelização) e produtivas (coleta de produtos florestais), incorporando-se novos agentes produtores (missionários e colonos) e desterritorializando-se sociedades indígenas.

Figura 6 – Incremento antropogênico dos sistemas naturais no período Colonial



Elaboração: Os autores. Nota: O eixo X do gráfico representa sistemas naturais descritos na Figura 1 e Quadro 1.

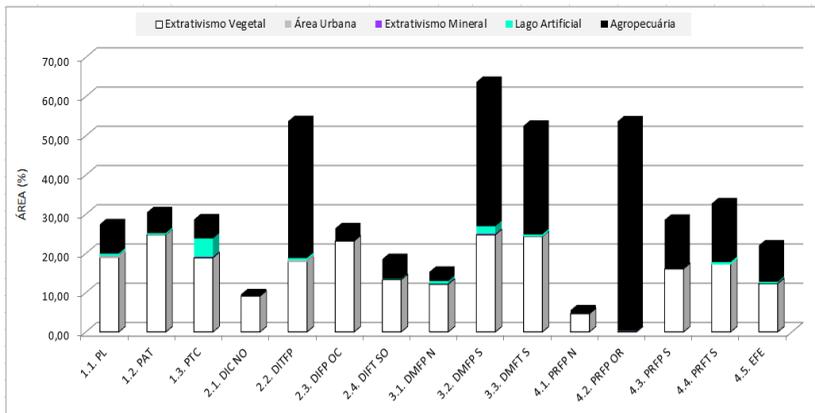
Na fase *Diversificação* do período *Pós-Colonial*, a Amazônia evidenciou profundas mudanças ambientais, marcadas pela herança da atividade extrativa e pelo advento de novos fatores socioprodutivos. A partir da segunda metade do século XX, a economia amazônica apresentou um novo ciclo produtivo, pautado no extrativismo mineral e na pecuária, conduzido inicialmente pela iniciativa governamental e seguida por interesses privados. Isto desencadeou um conjunto complexo e variado de eventos socioespaciais, forjando diversos níveis de antropogenização. Os projetos implantados na Amazônia a partir da década de 1960, como a colonização por meio de assentamentos agrícolas, os empreendimentos agropecuários, os polos mineralógicos e, mais recentemente, a monocultura do dendê e o cultivo mecanizado de grãos, concorreram para a diversificação ambiental. As evidências antropogênicas do período *Pós-Colonial* apresentam uma amplitude espacial, que perpassa todos os DNAB, concentrando-se na porção oriental, ao longo da calha do rio Amazonas e de seus principais tributários e nos eixos centro-sul. A dinâmica socioespacial do período *Pós-Colonial* tem sido marcada por processos ocupacionais intensos, com destaque para o domínio Planícies Amazônicas, especificamente, os sistemas naturais Planície Litorânea, Planície Alúvio-Terracial e Planície em Terreno Cristalino, este compreendendo boa parte dos afluentes dos tributários do rio Amazonas e altas elevações de planícies sobre os Crátons norte e sul (Figura 7).

A fase *Diversificação* assiste a uma forte presença de atores (ex. índios, quilombolas, comunidades tradicionais) e atividades pouco desenvolvidas (ex. agricultura rudimentar, extrativismo), herdadas de seus antepassados. Esses aspectos imprimem na Amazônia um cenário socioprodutivo fragmentado, onde atores e atividades divergentes vêm ocorrendo concomitantemente no tempo e no espaço, com sérios impactos ambientais.

No domínio Depressões Sedimentares, detectou-se uma expansão exponencial e generalizada da ocupação na Depressão Interplanáltica dos Tabuleiros Fitoplúviais e uma expansão significativa e contínua na Depressão Interplanáltica Fitoplúvial

Ocidental e na Depressão Interplanáltica Fitotransicional Sudoeste (Acre). No domínio Depressões Cristalinas, uma forte ocupação foi observada nas depressões marginais sul, com a expansão de atividades agropecuárias e extrativismo mineral, e pouco expressivas espacialmente, estruturas urbana, extrativismo mineral e lagos artificiais. Por outro lado, a ocupação lenta e gradativa do domínio Planaltos e Relevos Montanos decorre principalmente do extrativismo mineral. As áreas urbanizadas se destacam na porção oriental da Depressão Interplanáltica dos Tabuleiros Fitopluviais e ao longo das planícies Litorânea e Alúvio-Terracial, enquanto a extração mineral ocorre predominantemente nas depressões e nos planaltos cristalinos, principalmente no domínio sul-amazônico. Os lagos artificiais constituem reservatórios para geração de energia elétrica e açudes para subsidiar atividades agropecuárias, situados predominante em zonas de transição entre as depressões Cristalinas e Sedimentares, destacando-se as das porções meridional (ex. rios Tocantins, Araguaia, Xingu, Madeira) e oriental (ex. rios Capim, Gurupi, Pindaré).

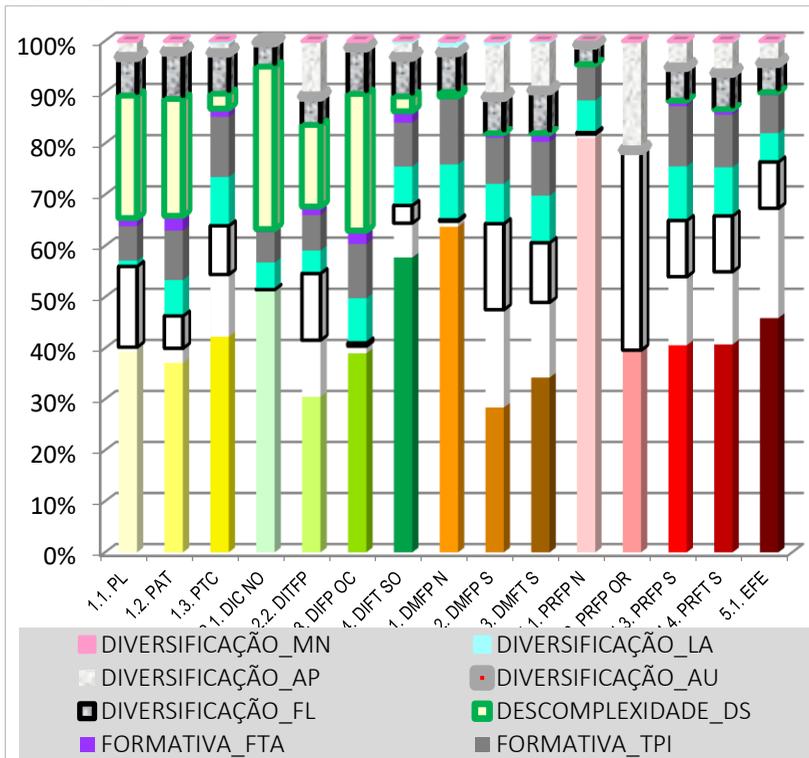
Figura 7 – Incremento antropogênico dos sistemas naturais no período Pós-Colonial



Elaboração: Os autores. Nota: O eixo X do gráfico representa sistemas naturais descritos na Figura 1 e Quadro 1.

O incremento antropogênico demonstra que a dinâmica de uso de recursos naturais, através de atividades como extrativismo vegetal e agropecuário, perpassa todos os sistemas naturais, particularmente o extrativismo vegetal. Esse panorama demonstra o grande potencial extrativista da região, principalmente de planícies e de algumas depressões sedimentares (Figura 8).

Figura 8 – Evidências antropogênicas totais na Amazônia brasileira holocênica



Elaboração: Os autores. Nota: As cores na base de cada coluna representam os sistemas naturais, descritos na Figura 1 e no Quadro 1. Evidências antropogênicas: floresta domesticada (FD), Terra Preta do Índio (TPI), floresta doméstica + Terra Preta do Índio + aterro (FTA), drogas do sertão (DS), Floresta extrativa (FL), Área urbanizada (AU), Mineração (MN), Lagos artificiais (LA), Agropecuária (AP).

A agropecuária é uma atividade recente na região, no entanto percebe-se um incremento acelerado e de ampla ocorrência espacial, estando presente em todos os sistemas naturais, particularmente nas Depressões Interplanálticas dos Tabuleiros Fitopluviais e Marginais do sul da Amazônia.

As perspectivas holísticas das ações humanas nos sistemas naturais permitiram uma percepção evolutiva da pressão antrópica, sobre os quais fora possível estimar que a maioria desses sistemas apresentara um incremento antropogênico acima de 50%. Entre os sistemas naturais mais antropogenizados, destacam-se a Depressão Interplanáltica dos Tabuleiros Fitopluviais, com uma carga antrópica em torno de 70%, a Depressão Marginal Fitopluvial Sul, com aproximadamente 75%, e a Depressão Marginal Fitotransicional Sul, com percentual em torno de 70% (Figura 8), no entanto, se considerarmos o incremento acumulativo ao longo das fases produtivas, esses valores aumentam para 206%, 259% e 192%, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As evidências antropogênicas apresentaram uma estreita relação com as condicionantes do meio que as circunda, no entanto, elas acabam se retroalimentando, seja pela evolução natural da biodiversidade, seja pela diversificação de paisagens antropogênicas, impulsionada pela forma como o ser humano vem manejando esses recursos naturais.

Pressupõe-se que, com o passar do tempo, esses grupos foram se familiarizando com as particularidades naturais da região e compreendendo melhor a dinâmica de seus ecossistemas, selecionando, conseqüentemente, espécies e ecossistemas com maior potencial utilitário.

A análise da dinâmica de eventos socioespaciais demonstrou que o ser humano sempre estabeleceu relações com a natureza mediante suas capacidades organizacional e produtiva, condicionada, esta, pela tecnologia disponível. As evidências

demonstram a ampla variedade têmporo-espacial e a evolução das relações do ser humano com os recursos naturais.

A dinâmica dos processos de ocupação da Amazônia brasileira implicou na região uma diversidade de macrosistemas humanos, herdados e processados recentemente, que coexistem e sugerem que seus domínios naturais apresentam um nível significativo de antropogenização, com uma extensão territorial em torno de 64%. Entretanto, se considerarmos a acumulação dessas evidências, esse percentual sobe para 150%, ou seja, extrapola a área de estudo em 50%, o que sinaliza reiteradas ocupações e amplo manejo de paisagens.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas no Brasil. **Orientação**, n. 3, p. 45-48, 1967.
- ANA. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Sistema Nacional de informações sobre Recursos Hídricos. Disponibilidade hídrica superficial. Massas d'Água. 2019. Disponível em: https://metadados.snirh.gov.br/files/7d054e5a-8cc9-403c-9f1a-085fd933610c/geoft_bho_massa_dagua_v2019.zip. Acesso em: 20 out. 2022.
- ARAÚJO, A. A variabilidade cultural no período paleoíndio no Brasil (11.000 - 8.000 AP): algumas hipóteses. **Revista do Cepa**, Santa Cruz do Sul, RS, v. 28, n. 39, p. 111-130, 2004.
- ARRUDA, J. **Atlas Histórico Escolar**. São Paulo: Ática, 1991.
- CASTRO, E.; CAMPOS, I. Formação socioeconômica da Amazônia. In: CASTRO, E.; CAMPOS, I. (Org.). **Formação Socioeconômica da Amazônia**. Belém: NAEA, 2015. p. 15-36.
- CASTRO, E.; RODRIGUES, J.; HAZEU, M.; ALONSO, S. Mega projetos e novos territórios do capital: infraestrutura de transporte e portuária na Amazônia. In: CASTRO, E.; FIGUEIREDO, S. (Org.). **Sociedade, campo social e espaço público**. Belém: NAEA, 2014. p. 14-42.

- CAVALCANTI, A.; RODRIGUEZ, J. O meio ambiente: histórico e contextualização. In: CAVALCANTI, A. (Org.). **Desenvolvimento sustentável e planejamento: bases teóricas e conceituais**. Fortaleza: UFC, 1997. p. 9-26.
- CHAVES, M.; PENA, H. O processo de ocupação política e econômica da Amazônia Brasileira no período colonial. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Málaga, n. 192, 1-12, 2013.
- CLEMENT, C.; DENEVAN, W.; HECKENBERGER, M.; JUNQUEIRA, A.; NEVES, E.; TEIXEIRA, W.; WOODS, W. The domestication of Amazonia before European conquest. **Proceedings of the Royal Society**, v. 282, n. 1812, 2015.
- COSTA, M.; BEHLING, H.; SUGUIO, K.; KÄMPF, N.; KERN, D. Paisagens amazônicas sob a ocupação do homem pré-histórico: uma visão geológica. In: TEIXEIRA, W.; KERN, D.; MADARI, B.; LIMA, H.; WOODS, W. (Org.). **As Terras Pretas de Índio: sua caracterização e o uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. 38. ed. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 15-38.
- DENEVAN, W. The Native Population of Amazonian 1492 Reconsidered. **Revista de Índias**, v. 63, n. 227, p. 175-188, 2003.
- ERIKSEN, L. **Nature and culture in Prehistoric Amazonia: using GIS to reconstruct ancient ethnogenetic processes from archaeology, linguistics, geography, and ethnohistory**. [S.l.]: Lund University. 2011.
- GUZMÁN, D. A colonização nas Amazônia: guerras, comércio e escravidão nos séculos XVII e XVIII. **Revista Estudos Amazônicos**, v. 3, n. 2, p. 103-139, 2008.
- HOMMA, A. **Extrativismo vegetal na Amazônia: história, ecologia, economia e domesticação**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.
- HOMMA, A. Evolução histórica dos macro-sistemas de produção na Amazônia. Encontro da Sociedade Brasileira de Sistemas de Produção, 4., 2002, Belém: SBSP/UFGA. **Anais...** Belém: 2001.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Coordenação de Cartografia (CCAR). **Base cartográfica contínua do Brasil ao milionésimo – BCIM**

versão 2017. Rio de Janeiro, 2017a. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/cartas_e_mapas/bases_cartograficas_continuas/bc250/versao2017/shapefile/. Acesso em: 19 maio 2018.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais: Pedologia** (Folhas: NA-19, NA-20, NA-21, NA-22, SA-19, SA-20, SA-21, SA-22, SA-23, SB-18, SB-19, SB-20, SB-21, SB-22, SB-23, SC-18, SC-19, SC-20, SC-21, SC-22, SD-20). Rio de Janeiro, 2017b. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/versao_2017/recorte_milionesimo/. Acesso em: 19 maio 2018.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais: Geomorfologia** (Folhas: NA-19, NA-20, NA-21, NA-22, SA-19, SA-20, SA-21, SA-22, SA-23, SB-18, SB-19, SB-20, SB-21, SB-22, SB-23, SC-18, SC-19, SC-20, SC-21, SC-22, SD-20). Rio de Janeiro, 2017c. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/vetores/escala_250_mil/versao_2017/recorte_milionesimo/. Acesso em: 19 maio 2018.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais: Vegetação** (Folhas: NA-19, NA-20, NA-21, NA-22, SA-19, SA-20, SA-21, SA-22, SA-23, SB-18, SB-19, SB-20, SB-21, SB-22, SB-23, SC-18, SC-19, SC-20, SC-21, SC-22, SD-20). Rio de Janeiro, 2017d. Disponível em: https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/vegetacao/vetores/escala_250_mil/versao_2017/recorte_milionesimo/. Acesso em: 19 maio 2018.

_____. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Sistematização das Informações sobre Recursos Naturais: Geologia** (Folhas: NA-19, NA-20, NA-21, NA-22, SA-19, SA-20, SA-21, SA-22, SA-23, SB-18, SB-19, SB-20, SB-21, SB-22, SB-23, SC-18, SC-19, SC-20, SC-21, SC-22, SD-20). Rio de

Janeiro, 2017e. Disponível em:
https://geofpt.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geologia/levantamento_geologico/vetores/escala_250_mil/verso_2017/recorte_milionesimo/. Acesso em: 19 maio 2018.

INPE. INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Centro Regional da Amazônia. **Projeto TerraClass 2014**. São José dos Campos, SP: Inpe, 2018. Disponível em:
http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass2014.php. Acesso em: 20 out. 2022.

IPHAN. INSTITUTO DO PATRIMÔNIO HISTÓRICO E ARTÍSTICO NACIONAL. **Bancos de Dados**. Patrimônio Arqueológico: Sítios Arqueológicos Georreferenciados (arquivos shapefile). Disponível em:
<http://portal.iphan.gov.br/geoserver/SICG/ows?service=WFS&version=1.0.0&request=GetFeature&typeName=SICG:sitios&maxFeatures=50000&outputFormat=SHAPE-ZIP>. Acesso em: 20 out. 2022.

LATRUBESSE, E.; ARIMA, E.; DUNNE, T.; PARK, E.; BAKER, V.; D'HORTA, F.; WIGHT, C.; WITTMANN, F.; ZUANON, J.; BAKER, P.; RIBAS, C.; NORGAARD, R.; FILIZOLA, N.; ANSAR, A.; FLYVBJERG, B.; STEVAUX, J. Damming the rivers of the Amazon basin. **Nature**, n. 546, p. 363-369, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature22333>.

LEITE, A.; SAMPAIO, P.; BARBOSA, A.; QUISEN, R. C. **Diretrizes para o resgate e conservação da variabilidade genética de espécies Amazônicas I – pau-rosa**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 1999.

LEVIS, C.; COSTA, F.; BONGERS, F.; PEÑA-CLAROS, M.; CLEMENT, C. [...] TER STEEGE, H. Persistent effects of pre-Columbian plant domestication on Amazonian Forest composition. **Science**, v. 355, n. 6328, p. 925-931, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.aal0157>.

LUI, G.; MOLINA, S. Ocupação humana e transformação das paisagens na Amazônia brasileira. **Amazônica**, v. 1, n. 1, p. 200-228, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/amazonica.v1i1.156>.

MAGALHÃES, M. A arqueologia da Amazônia pela perspectiva inter-relativa. In: MAGALHÃES, M. (Org.). **Amazônia Antropogênica**. Belém: MPEG, 2016. p. 95-117.

MAPBIOMAS. Amazônia, 2019. (Coleção MapBiomas 5). Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil_coverage_2019.tif. Acesso em: 22 out. 2022.

_____. **Amazônia**, 1985. (Coleção MapBiomas 5). Disponível em: https://storage.googleapis.com/mapbiomas-public/brasil/collection-6/lclu/coverage/brasil_coverage_1985.tif. Acesso em: 22 out. 2022.

McMICHAEL, C.; PALACE, M.; BUSH, M.; BRASWELL, B.; HAGEN, S.; NEVES, E. G.; SIMAN, M.; TAMANAHA, E.; CZARNECKI, C. Predicting pre-Columbian anthropogenic soils in Amazonia. **Proceedings of the Royal Society**, v. 281, n. 1777, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2475>.

MIRANDA, E. **Quando o Amazonas corria para o Pacífico: uma história desconhecida da Amazônia**. Petrópolis, RJ: Vozes, 2007.

NEVES, E. **Arqueologia da Amazônia**. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

PFARSTETTER, O. **Classificação de Bacias Hidrográficas: Metodologia de Codificação**. Rio de Janeiro: DNOS, 1989. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/>. Acesso em: 22 out. 2022.

PROUS, A. **O Brasil antes dos brasileiros: a pré-história do nosso país**. Rio de Janeiro: Zahar, 2006.

ROOSEVELT, A. The Amazon and the Anthropocene: 13,000 years of human influence in a tropical rainforest. **Anthropocene**, v. 4, p. 69-87, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2014.05.001>.

ROOSEVELT, A.; LIMA DA COSTA, M.; LOPES MACHADO, C.; MICHAB, M.; MERCIER, N. [...] SCHICK, K. Paleoinian cave dwellers in the Amazon: the peopling of the Americas.

Science, v. 272, n. 5260, p. 373-384, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.272.5260.373>.

ROOSEVELT, A.; HOUSLEY, R.; IMAZIO DA SILVEIRA, M.; MARANCA, S.; JOHNSON, R. Eighth millennium pottery from a prehistoric shell midden in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 254, n. 5038, p. 1621-1624, 1991. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.254.5038.1621>.

SANTOS, J. Geotectônica dos Escudos das Guianas e Brasil-Central. In: BIZZI, L.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.; GONÇALVES, J. (eds.). **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília: CPRM, 2003.

SCHAAN, D. A Amazônia em 1491. **Especiaria – Cadernos de Ciências Humanas**, v. 11-12, n. 20-21, p. 55-82, 2009.

SCHAAN, D. Uma janela para a história pré-colonial da Amazônia: olhando além – e apesar – das fases e tradições. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi de Ciências Humanas**, v. 2, n. 1, p. 77-89, 2007.

THOMAS, E.; CAICEDO, C.; LOO, J.; KINDT, R. Distribuição da castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa*) através do tempo: desde a contração no refúgio glacial, sua expansão mediada pelos humanos, até a mudança climática antropogênica. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi de Ciências Humanas**, v. 9, n. 2, p. 267-291, 2014.

A DINÂMICA DAS ÁGUAS NA BACIA DO PIRY, EM BELÉM (PA)

Marcus Vinicius Silva da Silva¹

Ana Paula Silva Fernandes²

INTRODUÇÃO

A população amazônica sempre estabeleceu fortes laços com os cursos d'água que cortam a região, o que pode ser observado dos primórdios de sua ocupação aos dias atuais, uma vez que a abundante rede hidrográfica local é utilizada como fonte de recursos, como via de circulação, como espaços de lazer e de sociabilidades, etc. (SILVA; ROCHA, 2019).

Com o desencadeamento da colonização amazônica, ocorrido a partir de século XVII, apenas em meados do século XX (década de 1960), estimulada pela mineração e pelo avanço da agropecuária, essa região veio a ser interligada ao restante do país, por meio de rodovias e de estradas (IMAZON, 2015; SATHER; MONTE-MÓR; CARVALHO, 2009). Nesse contexto, o vínculo com as águas pode ser facilmente explicado, visto que, durante aproximadamente 350 anos, contemplou-se a formação e a consolidação de numerosas cidades ribeirinhas e portuárias, envolvidas em intensos fluxos comerciais e migratórios na Bacia

¹ Graduado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), mestre em Ciências Ambientais, pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), da Universidade Federal do Pará (UFPA), cursando, atualmente, a Especialização de Geoprocessamento e Análise Ambiental (PROFIMA), da Universidade Federal do Pará (UFPA). Contato: silva.v.marcus@gmail.com.

² Tecnóloga em Gestão Ambiental, pela Escola Superior da Amazônia (ESMAZ), técnica em Geodésia e Cartografia, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA), cursando, atualmente, a Especialização de Geoprocessamento e Análise Ambiental (PROFIMA), da Universidade Federal do Pará (UFPA). Contato: anapga4@gmail.com.

Amazônica. Não à toa, grandes cidades amazônicas se desenvolveram no eixo do rio Amazonas (PONTE, 2015; SATHER; MONTE-MÓR; CARVALHO, 2009).

Durante muito tempo, Belém teve seu desenvolvimento voltado para as águas, ademais, segundo Silva e Lima (2021), desde o início da implantação do pequeno núcleo urbano (em 1616), aqueles que ali viviam e que ali chegavam tinham que conviver com a dinâmica das águas da região, pois, além da elevada precipitação, característica amazônica, havia um alagado — que, em algumas literaturas, é descrito como pântano —, o qual, por muitos anos, limitou a expansão do, até então, povoado.

Essa região era denominada Alagado do Piry de Jussara (nomenclatura de origem indígena), de acordo com o artigo *Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-Pa: evolução e impacto na urbanização*, de Silva e Lima (2021), que reconstituiu a área do alagado e promoveu sua ocupação urbana. Esse espaço era composto por uma área inundada de aproximadamente 61 hectares e por dois braços de deságue, que acabavam por isolar uma pequena, e inacessível, porção de terra.

Tais características geográficas foram de suma importância para a fundação de Belém, uma vez que a falta de acesso terrestre a esta área não alagável foi vista como uma excelente estratégia de defesa militar, pelos portugueses, com isso o território, que mais tarde viria se a expandir e a formar a cidade de Belém, naquele momento, propiciava o comércio, a exploração e a defesa da colônia (ARAUJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012; PENTEADO, 1968; PONTE, 2015; SILVA; LIMA, 2021).

Entretanto, com o passar dos anos e com o aumento populacional, a área baixa e alagada, vista como uma vantagem para os colonizadores, tornou-se um obstáculo à expansão urbana do núcleo, dessa forma os séculos subsequentes (XVIII e XIX) foram marcados por grandes obras de drenagem, de dessecamento e de aterramento do Alagado do Piry, causando grandes alterações ao sítio natural da região, seguidas da ocupação urbana do espaço (ARAUJO JUNIOR; AZEVEDO, 2012; PENTEADO, 1968; PONTE, 2015; SILVA; LIMA, 2021).

Nesse sentido, a relação entre a urbanização e as águas foi fundamental para a atual configuração da ocupação do território belenense, pois, motivado pelo expansionismo urbano, a fórmula utilizada para lidar com o Alagado do Piry foi a mesma aplicada a outros cursos d'água, à medida que a cidade se expandia. Conforme o espaço urbano é irradiado, as populações mais vulneráveis tendem a ocupar áreas, então, inabitadas, e as regiões que eram consideradas periféricas sofrem um processo de elitização, caso do Alagado do Piry de Jussara, que foi aterrado e drenado e, hoje, abriga um canal de drenagem, em conjunto com uma importante avenida do centro da cidade de Belém (JACOBI, 2000; SILVA; ROCHA, 2019).

Por estarem situadas em uma planície inundada de baixa cota altimétrica, circundada pelo rio Guamá e pela Baía do Guajará, à medida que Belém se expandiu, os igarapés e as áreas de várzea sofreram processos de aterramento ou foram convertidos em canais de drenagem (SILVA; LIMA, 2021; TAVARES, 2008).

Aliadas à ocupação irregular de áreas sensíveis, deve-se ressaltar a geomorfologia da cidade, a elevada precipitação pluviométrica (principalmente, no período conhecido como “inverno amazônico”), a variação do nível da maré e a ineficiência dos sistemas de drenagem e de escoamento pluvial da cidade como variáveis influenciadoras na ocorrência de enchentes e de alagamentos (AMANAJÁS; BRAGA, 2012; TAVARES, 2008).

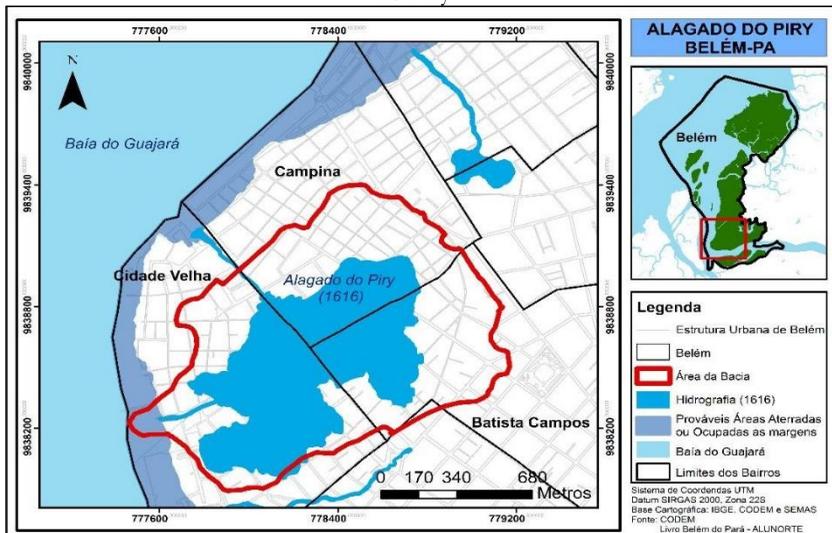
Em vista disto, o presente estudo tem o objetivo principal de delimitar a Bacia do Alagado do Piry, que, vale citar, difere da geometria do Alagado do Piry, pois a bacia leva em conta toda a área que contribui hidrológicamente para a formação do Alagado. Isso posto, com a delimitação da bacia, serão observados os fatores físicos que compõem o complexo ciclo dinâmico das águas na região (precipitação, geomorfologia, variação do nível das marés e alterações climáticas), permitindo identificar as manchas de inundação, resultantes deste ciclo hidrodinâmico, bem como discorrer a respeito da ocupação sobre os cursos d'água e os riscos futuros, ligados à ocorrência de eventos extremos, consequentes das alterações climáticas.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ÁREA DE ESTUDO

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Alagado do Piry de Jussara, assim denominada no século XVII (Período Colonial), encontra-se na região central do município de Belém, no estado do Pará, como evidencia o mapa exposto na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização do Alagado do Piry de Jussara e da microbacia do Piry



Fonte: elaborado pelos autores

Atualmente, a antiga região ocupada pelo Alagado do Piry de Jussara se situa no canal da avenida Almirante Tamandaré, de grande fluxo diário de pessoas, de serviços e de transportes e de intenso comércio. Essa área sofre com frequentes alagamentos e enchentes, seja periódica, seja sazonalmente, em especial, no

período chuvoso na região, em que ocorrem os maiores níveis de precipitações pluviométricas e os aumentos das marés.

Belém apresenta parte expressiva de seu território com altitudes inferiores a dez metros, conforme demonstrado por Pontes *et al.* (2017), o que classifica toda a zona de desenvolvimento histórico da cidade como um ambiente de várzea, explicando a adequação topográfica do Alagado do Piry de Jussara. A interação entre as drenagens superficiais de Belém e a movimentação das marés acaba por resultar na transformação dos corpos d'água superficiais em barragens hídricas naturais, a partir do momento que o nível das águas se eleva. De forma complementar, destaca-se a influência da precipitação pluviométrica, que contribui para a recarga hídrica, no período chuvoso, e para o reabastecimento, a partir do sistema subterrâneo, no período menos chuvoso.

MATERIAIS E MÉTODOS

Aquisição de dados

Utilizando a plataforma SIG e as técnicas de geoprocessamento como principais ferramentas, a metodologia do presente artigo exigiu a manipulação de informações de diversos fatores físicos, uma vez que os objetivos do trabalho eram de representar, de mapear e de compreender a dinâmica das águas na área de estudo. Por conta disso, houve a necessidade de trabalhar com diversas bases de dados, com fontes, com formatos e com escalas distintas. Dessa forma, o Quadro 1 traz os dados empregados na metodologia deste trabalho, bem como as suas fontes.

Geoinformação e Análises Socioambientais

Quadro 1 – Bases de dados utilizadas no presente trabalho

Dado	Formato	Fonte
Modelo digital de terreno	<i>.tin</i>	Silva; Lima (2021)
Área do Alagado do Piry de Jussara	<i>Shapefile</i>	Silva; Lima (2021)
Modelo digital de elevação	<i>Raster</i>	Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM)
Precipitação	<i>Raster</i>	Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station (CHIRPS)
Drenagem	<i>Shapefile</i>	Modificado de Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM)
Nível das marés	Texto	Centro de Previsões de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC-INPE)
Limites municipais	<i>Shapefile</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Limites estaduais	<i>Shapefile</i>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)
Hidrografia	<i>Shapefile</i>	Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Estado do Pará (SEMAS)

Fonte: elaborado pelos autores

Com base neste quadro, deve-se ressaltar que o dado do modelo digital de terreno (MDE) foi recortado no formato de 16 cartas (*geotiff*), na escala 1:100, as quais abrangiam a área de estudo, e é resultado do levantamento realizado em 2014, pela Prefeitura de Belém. Esse dado foi obtido por submissão de ofício ao referido órgão, uma vez que não se faz disponível em plataformas digitais.

Após a aquisição dos materiais, todos os elementos foram reprojatados para o Datum SIRGAS 2000 Sistema de Coordenadas UTM zona 22 S, ocorrendo o mesmo com todos os

materiais que viriam a ser produzidos, adotando esta projeção para todo o projeto.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO

Para espacializar a variação da maré e seus impactos na área de estudo, foi empregado o MDT no formato .tin. Desse modo, optou-se por utilizar as variações de maré ocorridas no ano de 2020, assim foram levantadas as informações disponíveis na página do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), referentes a enchentes e a vazantes, constatando que o maior nível identificado no ano de 2020 foi de 3,7 metros.

Além disso, com base na literatura de Gregório (2008) e buscando simular cenários que retratassem a influência da elevação do NMM em Belém, optou-se por gerar modelos de até 4 metros de cota.

Com isto, no ambiente SIG, delimitou-se a área de um polígono no formato *shapefile* e se atribuíram, a este vetor, as constantes Z, referentes às cotas altimétricas que representariam as variações de nível do rio — 2 metros, 2,5 metros, 3 metros, 3,5 metros, 3,7 metros e 4 metros. Por conseguinte, através da manipulação e da aplicação de técnicas de geoprocessamento ao campo hidrológico, foi possível simular a elevação deste vetor no MDT, de acordo com os valores Z a este atribuídos.

Vale salientar que os cenários apresentados não condizem fielmente com a realidade, pois, pela falta de dados, não foi possível avaliar os sistemas de drenagem e de escoamento da cidade.

A BACIA DO PIRY E A DINÂMICA DAS ÁGUAS

A segunda etapa do estudo também é a mais complexa, pois, através do MDE, fez-se a delimitação e o mapeamento da Microbacia Hidrografia do Piry e, posteriormente, obteve-se a sua dinâmica hidrográfica, abordando a geomorfologia, a precipitação pluviométrica (em termos de vazão e de escoamento superficial), a variação das marés, durante o dia, e o volume acumulado de chuvas na bacia, durante o dia.

Para isto, foram realizados o processamento e as correções das 16 cartas no formato *geotiff*, que viriam a compor o MDE. Após o tratamento destas, gerou-se o mosaico, com resolução espacial de 60 cm. Isso posto, o próximo passo consistiu na delimitação da Bacia do Piry, por meio do uso da aplicação TauDEM.

Constituído de um conjunto de ferramentas de construção de análises hidrológicas, com base em modelos digitais de elevação, o *Terrain Analysis Using Digital Elevation Models* (TauDEM) é considerado um dos principais algoritmos de delimitação de bacias e de sub-bacias hidrográficas, além de também estar inserido no ambiente SIG.

Dessa forma, aplicando o algoritmo TauDEM sobre o MDE resultante da mosaicagem, o programa solicita que seja identificado, através de um ponto georreferenciado, o exutório da bacia que se pretende demarcar. Logo, foi possível calcular o fluxo de direção e a declividade da bacia, bem como identificar a área de contribuição, a bacia hidrográfica e a rede de drenagem.

Após a marcação da geometria da Bacia do Piry, foi realizado o recorte do MDT para o limite da bacia, objetivando identificar e analisar sua geomorfologia. Sucedendo à delimitação da área da bacia, a próxima variável abordada foi a precipitação pluviométrica. Utilizando a plataforma do *Google Earth Engine* (GEE), foi possível ter acesso ao conjunto de dados do sensor CHIRPS, cujas informações sobre

precipitação são disponibilizadas diariamente (em mm/dia), com atualização *in situ* e com resolução espacial de 0,05° (5 km).

Portanto, através da implementação do código na plataforma do GEE, foi realizado o somatório dos dados das precipitações diárias para todo o ano de 2020, obtendo-se o acúmulo anual da precipitação. A seguir, foi realizado o *download* destes dados no formato *raster*, resultando na extração de pontos no formato *shapefile*, permitindo a interpolação dos dados, a construção do mapeamento e a confecção da análise das áreas com maior pluviometria em Belém. Em vista disto, identificou-se que, na área ocupada pela Bacia do Piry, a média diária de precipitação foi de 8,497 mm/dia, durante o ano de 2020.

Buscando identificar um segundo cenário extremo de precipitação, que contrastasse com a média diária anual de 2020, ainda no ambiente do GEE, foi consultada e listada a precipitação diária para cada dia do ano de 2020 apenas para a região de estudo, em que se notou a ocorrência de uma maior precipitação no dia 15 de março (Figura 2).

Figura 2 – Gráfico da precipitação diária na área do Alagado do Piry de Jussara, durante o ano de 2020 (em mm/dia)



Fonte: *Google Earth Engine* (2021)

Com base na Figura 2, observa-se que a precipitação ocorrida no dia 15 de março de 2020 foi de 60,914 mm. A partir deste resultado, foram simulados dois cenários, referentes aos efeitos da precipitação na bacia. Para determinar a vazão do

escoamento resultante da precipitação para cada cenário, adotou-se o método racional modificado (TUCCI, 2006), que é indicado para áreas entre 80 ha e 200 ha, pois tal procedimento estima a vazão máxima de escoamento de uma determinada área, sujeita a uma intensidade X de precipitação, com base no tempo de concentração (equações 1 e 2).

$$Q = \frac{C.I.A}{360} \cdot D \quad (\text{Equação 1})$$

$$D = 1 - 0,009 \cdot \frac{L}{2} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

Q é a vazão máxima de escoamento (em m³/s)

C é o coeficiente de *runoff*

I é a intensidade média máxima de precipitação (em mm/h)

A é a área de contribuição da bacia (em ha)

D é o coeficiente redutor

Na Equação 2, L é o comprimento axial da bacia (em km).

O primeiro cenário, com precipitação diária de 8,497 mm/dia, apresentou uma vazão (Q) de 0,1195 m³/s, enquanto o segundo cenário, caracterizado pela precipitação de 60,914 mm/dia, resultou em uma vazão (Q) de 0,8665 m³/s.

A última variável a ser conhecida na análise hidrodinâmica da Bacia do Piry foi a da variação das marés. Nesse contexto, a fim de representar o cenário mais preciso possível, decidiu-se por empregar a variação ocorrida no dia 15 de março de 2020, o que possibilitaria comparar dois cenários com hidrodinâmicas bem distintas, nos quais o primeiro cenário irá espacializar uma precipitação mais branda e o segundo modelo, o pico do período chuvoso na região.

Através de consulta à página do CPTEC, foi observado que, no dia supracitado, a maré variou entre 0,7 e 3,2 metros (Quadro 2).

Quadro 2 – Variação da maré no dia 15 de março de 2020

Hora	Cota do rio (em metros)
03:34	3,2
10:09	0,8
15:45	3,1
23:23	0,7

Fonte: adaptado de CPTEC (2020)

A partir das cotas expostas no Quadro 2, e através do MDT, foi possível calcular o volume de água que invade a bacia, de acordo com os horários. Ademais, desconsiderando fatores, como drenagem urbana e evaporação das águas, através das vazões calculadas para os cenários 1 e 2, foi possível somar os volumes acumulados, em conjunto com os volumes da dinâmica das marés.

REVISÃO LITERÁRIA

OCUPAÇÃO URBANA SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Os eventos extremos de natureza climática são os que mais repercutem nas atividades humanas, em nosso país. Contudo, embora tais fenômenos sejam naturais, a recorrente ação antrópica tem contribuído para a expansão destes, conferindo-lhes maiores frequência e intensidade. Pode-se afirmar que tais eventos estão diretamente relacionados às mudanças climáticas, que apresentam cenários catastróficos para as futuras gerações (SANTOS; ROCHA, 2013; SOUZA; IGNÁCIO; CARVALHO, 2019).

Com o avanço do processo de urbanização, ocorrido principalmente nos últimos 50 anos, as alterações climáticas e o

grau de vulnerabilidade das cidades estão cada vez mais vinculados a ele, reforçando que, se, por um lado, tal processo tende a trazer avanços econômicos e industriais, por outro, o crescimento desordenado gera inúmeros impactos socioambientais (SOUZA; IGNÁCIO; CARVALHO, 2019).

Com base nisto, Tucci (2006) expõe que, no início do século XX, os contingentes urbanos compunham apenas 15% de toda a população mundial. No Brasil, o processo de urbanização foi impulsionado, a partir dos anos 1960, com o avanço da industrialização, com a abertura de novas rodovias, com a mecanização da produção agrícola, entre outros fatores, que estimularam intensos processos de êxodo rural, incentivando a procura pelas cidades grandes e médias e a ocupação de áreas com infraestruturas precárias e inadequadas. Atualmente, o IBGE estima que 84,72% da população brasileira resida em áreas urbanas, corroborando o acelerado processo de urbanização que ainda ocorre no país, porém em percentuais menores do que os do século XX (IBGE, 2015; TUCCI, 2006).

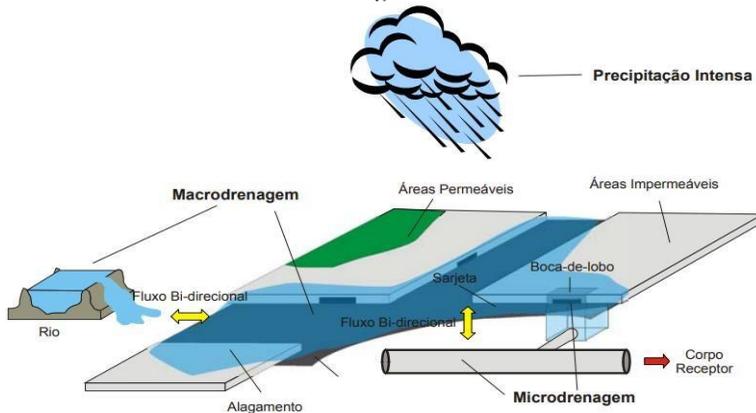
Decorrente da expansão das cidades, a implantação de infraestrutura urbana acaba por impactar diretamente o ciclo de águas de determinada região ou cidade. Nesse cenário, Luz e Rodrigues (2020) e Tucci (2006) chamam a atenção para a relação predatória entre a expansão urbana e as intervenções antrópicas nas formas fluviais, uma vez que ações, como construção de orlas e diques artificiais, deposição de aterros sobre planícies de inundação e apropriação generalizada de terrenos originalmente ocupados por inundações, ocasionam a obstrução e a redução do escoamento de cursos d'água, reforçando as consequências das enchentes.

Também consequência do crescimento das cidades, há o aumento da impermeabilização do solo, reduzindo as taxas de infiltração, a recarga do lençol freático e o escoamento básico. Tais fatores vão influenciar diretamente a elevação do escoamento superficial e a velocidade, a frequência e a magnitude dos picos de cheias, ampliando os cenários de enchentes. Ressalta-se, ainda, que os sistemas de drenagem têm um papel significativo neste

processo, uma vez que contribuem para a expansão da velocidade de escoamento, propiciando o aporte simultâneo de grandes volumes de água aos corpos hídricos e intensificando as inundações na área urbana (SILVA *et al.*, 2016).

Ou seja, se considerarmos uma “planície fluvial”, caracterizada por cotas altimétricas baixas, impactada diretamente pela ação antrópica, através da obstrução e da canalização de cursos d’água e da impermeabilização do solo nas áreas circundantes, como exposto na Figura 3, a eminência de alagamentos, de enchentes e/ou de inundações será constante, a depender da precipitação e da cota do rio.

Figura 3 – Ilustração do ciclo hidrodinâmico em uma área urbana, próxima a um curso d’água canalizado



Fonte: Meller (2004)

Nessa conjuntura, chama-se a atenção para as classes menos favorecidas, que, por conta da baixa disponibilidade de recursos financeiros, ocupam áreas de menor valor imobiliário, situadas em locais com baixa inserção de infraestrutura e de serviços, sujeitos a inundações. Em contrapartida, são poucos os municípios no Brasil que possuem legislações (planos diretores) que determinem as áreas inundáveis e as que podem ser ocupadas; quando as têm, adotam apenas medidas estruturais pontuais em áreas já habitadas, para tentar reduzir os efeitos das cheias (SILVA

et al., 2016). Entre estas ações, a canalização de cursos d'água tem sido uma das mais aplicadas em centros urbanos do Brasil, como forma de transportar água entre diferentes pontos de bacias hidrográficas, porém, sem que sejam avaliados os efeitos ou os reais benefícios destas obras.

Frise-se que situações como esta se agravam ainda mais, quando se soma o aumento na produção de sedimentos, que reduzem as capacidades de despejo de efluentes domésticos dos condutos e dos canais retificados (TARGA *et al.*, 2012; TUCCI, 2006).

A DINÂMICA DAS ÁGUAS NAS CIDADES

O processo hidrológico de enchente/inundação se configura como um evento dinâmico, ou seja, ao longo de um curso d'água, é possível observar ambas as situações (enchentes e inundações). Nesse sentido, além das ações antrópicas, os condicionantes naturais determinantes na ocorrência, na frequência, na tipologia e na dinâmica do escoamento superficial são as características climáticas e geomorfológicas (pluviometria, relevo, gradiente hidráulico do rio, tamanho e forma da bacia) de um determinado local (BRASIL, 2007).

Outros elementos relevantes de análise são os fatores geomorfológicos, pois o crescimento urbano tende a impactar diretamente estes, com aterramentos e ocupações de áreas sazonalmente alagadas (planícies de inundação), com implantação de habitações em áreas de encosta, que incluem modificações da declividade local, com construção de obras de infraestrutura viária com ajustes topográficos, para integração e redução de custos, e com criação de espaços novos e formação de ambientes então inexistentes, como lagoas, praias, canais e assim por diante.

Atente-se, aqui, para a questão ambiental urbana, uma vez que os grandes centros manifestam os mais diversos impactos ambientais, resultantes das intervenções antropogênicas no equilíbrio dinâmico da natureza, as quais acabam por afetar

diretamente os processos geomorfológicos, com distintas implicações, no que se refere a danos naturais e sociais no ambiente urbano (PEDRO, 2011).

Como exemplos de interferências humanas, pode-se citar a degradação dos solos (por meio da erosão humana) e dos recursos hídricos (assoreamento), o represamento ou a correção de cursos de rios, a abertura de túneis entre vales e montanhas, a formação de novos estratos de terra (aterramentos), a canalização de rios, além da concentração populacional em locais ambientalmente inadequados, como topos de morro e fundos de vale, inclusive naqueles identificados como áreas de preservação permanente (APP) (BROWN, 1971; PEDRO, 2011).

O FENÔMENO DAS MARÉS E O AUMENTO DO NÍVEL DO MAR

Banhando as costas norte e noroeste da capital paraense, e correspondendo a um estuário primário de domínio fluvial, e do tipo “rio com maré”, a Baía do Guajará consiste em um sistema fluvial, que recebe enormes contribuições dos rios Guamá e Acará e, secundariamente, do Pará (GREGÓRIO, 2008).

Em virtude disto, a influência da salinidade oceânica na baía não ultrapassa o grau um no período de menor precipitação do ano, sendo praticamente nula no período mais chuvoso na região, época que apresenta a máxima descarga fluvial dos rios. Ademais, o local de estudo apresenta uma maré semidiurna, com variação de 2,3 metros (quadratura) a 3,8 metros (sizígia) no período conhecido como “águas de março” (equinócio), quando a elevação do nível do rio facilmente alcança a cota de 4 metros e inunda parte da cidade de Belém por, pelo menos, três ciclos semidiurnais de maré (GREGÓRIO, 2008).

Segundo Gregório (2008), o movimento de subida do nível da maré dura cinco horas, distinguindo-se da vazante (movimento de seca), que leva oito horas para finalizar totalmente seu ciclo. Tal cenário é resultado direto do efeito dinâmico das marés, que

tendem a represar o escoamento em direção ao mar, durante a vazante.

Em vista disto, a crescente expansão urbana desordenada, resultante do aumento populacional, atenua tal processo, pois promove mudanças e intensificações no uso da terra e exerce mais pressões sobre os ambientes costeiros, causando alterações no microclima e podendo acentuar os efeitos dos eventos extremos, em especial os relacionados ao ciclo hidrodinâmico (enchentes e alagamentos, inundações costeiras e movimentos de massa) (PBMC, 2016).

Assim, o relatório desenvolvido pelo PBMC (2016) examinou as alterações no NMM, em conjunto com as variações dos níveis de marés, das ressacas e dos eventos extremos, para diferentes séries históricas, em inúmeras cidades do país. A capital do estado Pará apresentou uma taxa de variação de 3,4 mm/ano no NMM, no período de 1950 a 1970. Além disso, o resultado do estudo ainda apontou que a ocorrência do evento conhecido como *El Niño* afeta positivamente o NMM.

No que diz respeito à cidade de Belém, a investigação destaca que diversas áreas costeiras do país apresentam alta ou muito alta vulnerabilidade à ocorrência de eventos extremos, estando entre elas a Região Metropolitana de Belém, as capitais dos estados do Nordeste, o Rio de Janeiro e as cidades de Santos e de Itajaí. Além do mais, por estarem em um país em desenvolvimento, lidar com este cenário é um obstáculo maior para estas cidades, em relação às localizadas em nações desenvolvidas (PBMC, 2016).

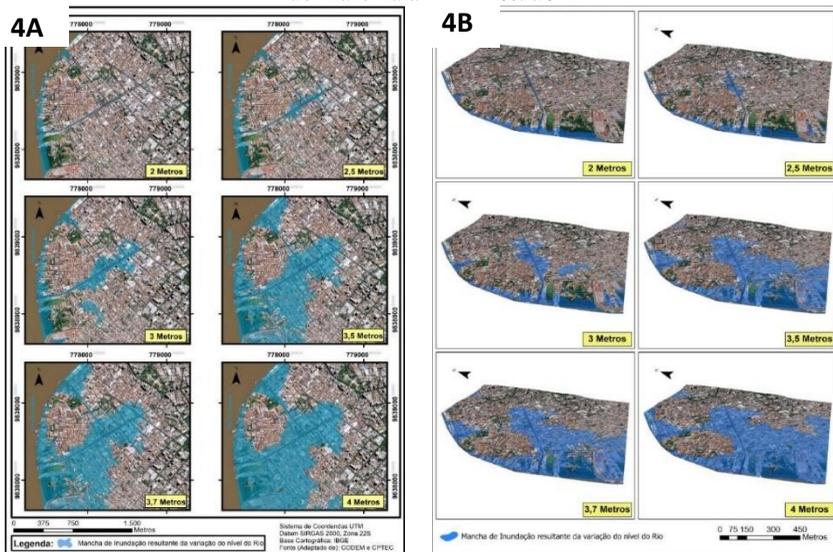
RESULTADOS E DISCUSSÕES

CHEIA E VAZANTE: A VARIAÇÃO DO NÍVEL DO RIO COMO FATOR DE ENCHENTES NA ÁREA DE ESTUDO

As regiões que mais sofrem com inundações e com alagamentos em Belém são as próximas de redes de drenagem. Tal cenário retrata uma das ideias colocadas por Tucci (2006) e por Luz

e Rodrigues (2020), que apontam a relação predatória entre expansão urbana e intervenções antrópicas sobre os cursos d'água, como principal causadora da obstrução e da redução dos escoamentos destes fluxos de d'água, influenciando a ocorrência de enchentes, resultantes do transbordo de canais de drenagem. Nesse contexto, as figuras 4A e 4B reproduzem as ocorrências dos movimentos de cheia do rio.

Figuras 4A e 4B – Mapas bidimensional e tridimensional de variação do nível de maré na área do estudo



Fonte: elaboradas pelos autores

Essas figuras refletem as temáticas abordadas na literatura do estudo, referentes às intervenções antrópicas sobre cursos d'água, pois é possível observar que o crescente aumento do nível da maré segue a geometria do canal da avenida Almirante Tamandaré; tal reflexão fica mais evidente, a partir do momento em que o nível do rio ultrapassa dois metros e ocorre o transbordo do limite do canal de drenagem.

Dessa forma, à medida que o rio aumenta, novas áreas vão sendo atingidas pela água. É interessante frisar a ligação entre os

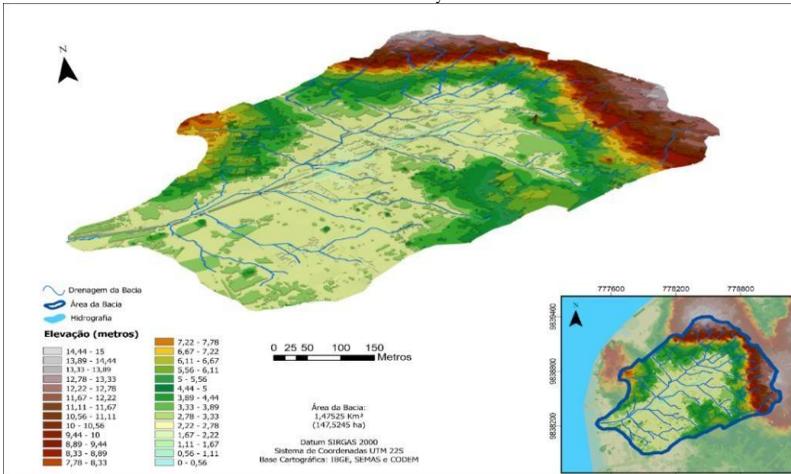
transbordos que ocorrem na região da avenida Almirante Tamandaré e nas proximidades do mercado Ver-o-Peso, visto que, a partir da cota de 3,5 metros, já é possível observar a formação da geometria do Alagado do Piry, bem como as das áreas marginais, que outrora já foram alagadas ou submersas.

Ademais, o cenário reproduzido nas figuras confirma as previsões do relatório do PBMC (2016), pois, apesar das transformações antrópicas na área de estudo, nos últimos 400 anos, a elevação do nível do rio é suficiente para reconstituir (mesmo que minimamente) parte da geometria da área historicamente ocupada pelo Alagado do Piry, ou seja, com o crescente aumento do NMM, mais pessoas serão atingidas pelos movimentos de cheia do rio.

A DINÂMICA DAS ÁGUAS NA BACIA DO PIRY

Delimitar e identificar uma bacia hidrográfica é o primeiro passo para que se possa estudar os fatores de constituição deste acidente geográfico. Vale ressaltar que a geometria do Alagado do Piry não deve ser confundida com a geometria da Bacia do Piry (Figura 5), pois o conceito de bacia hidrográfica diz respeito a um conjunto de superfícies com cotas altimétricas distintas entre si, cujas áreas funcionam como receptores naturais de precipitação (UFSCAR, 2010). Além do mais, todo o volume de água captado que não sofre infiltração é automaticamente escoado pela rede de drenagem natural da bacia, que parte do seu ponto de maior cota para o de menor, fazendo com que a água se concentre em um único espaço, formando o curso d'água principal daquela bacia (UFSCAR, 2010).

Figura 5 – Mapa da delimitação e da espacialização tridimensional da Bacia do Piry



Fonte: elaborado pelos autores

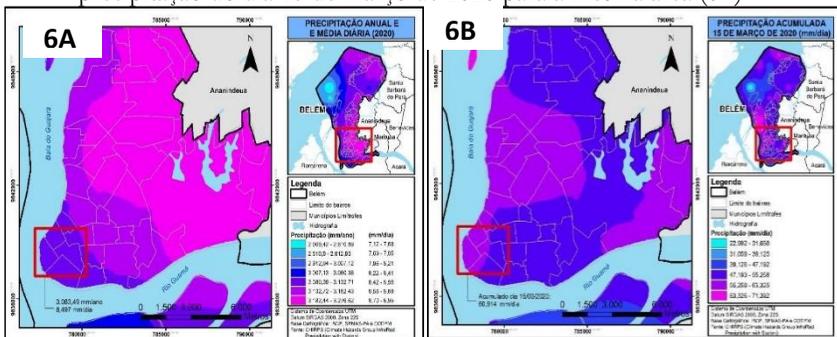
No referente à Figura 5, a rede de drenagem gerada deve ser observada, com base nas seguintes considerações: (1) o modelo digital de elevação e o processamento gerado responderam às mudanças impostas pelos sucessivos aterramentos que a região sofreu; e (2) o comportamento linear indicado não reflete um comportamento geológico-geomorfológico e, sim, uma resposta à leitura do modelo das áreas de escoamento geradas. Assim, entende-se que a rede de drenagem da região, por apresentar uma topografia suave, típica de planície de inundação, equivaleria a uma forma menos “controlada”, tendendo a padrões mais alongados, típicos deste ambiente. Essa interpretação advém da leitura do planejamento, associada às práticas de saneamento básico, uma vez que os sistemas de drenagem atuais foram canalizados.

Com uma área de 147 hectares, a Microbacia do Piry é composta por cotas altimétricas que variam de 0 a 15 metros, a partir da rede de drenagem extraída da bacia. Nela, nota-se que o principal eixo da drenagem segue o traçado do canal da avenida Tamandaré, sendo este o principal destino das águas resultantes do escoamento superficial urbano da bacia. Ademais, é possível inferir

que o exutório da bacia consiste no ponto de deságue do canal da Tamandaré na Baía do Guajará.

Dessa forma, após a delimitação da área da bacia do Alagado do Piry de Jussara, foram aplicados os dois modelos de cenário produzidos para o espaço, a fim de analisar seu ciclo hidrodinâmico. Através dos dados do sensor CHIRPS, disponibilizados na plataforma *Google Earth Engine*, foi possível obter informações sobre a precipitação acumulada em todo o ano de 2020, bem como a média diária de chuvas para o mesmo ano. Além disso, também foram adquiridos dados sobre a precipitação do 15 de março de 2020. Através de técnicas de processamento, tais dados foram interpolados e plotados nas figuras 6A e 6B.

Figuras 6A e 6B – Mapa do acúmulo da precipitação anual e da média diária para o município de Belém (PA) no ano de 2020 (6A); e mapa da precipitação do dia 15 de março de 2020 para a mesma área (6B)



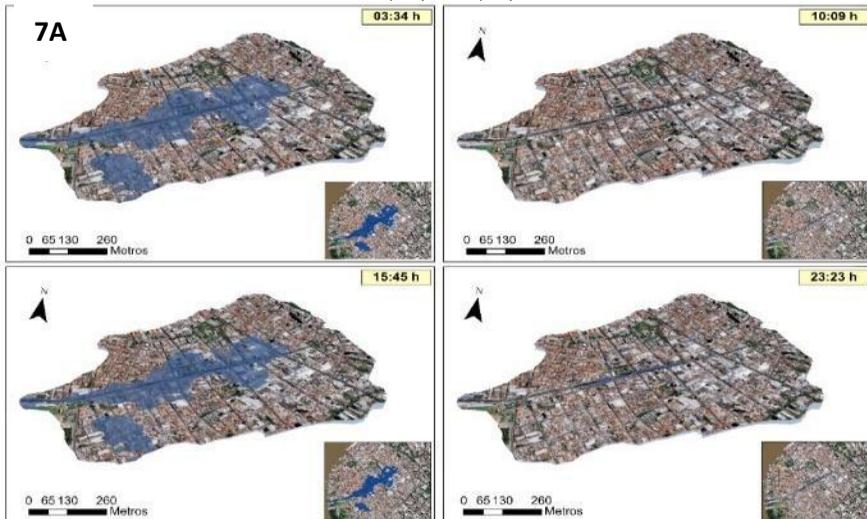
Fonte: elaborado pelos autores

Percebe-se que, pelo menos no ano de 2020, a precipitação no município de Belém não foi homogênea, variando, no acumulado total anual, mais de 500 mm de um ponto a outro da capital. Nesse sentido, com base nos mapas de precipitação das figuras 6A e 6B, é informado que, na região da Bacia do Piry, o acúmulo da precipitação foi de 3.083,49 mm em 2020, enquanto a média diária para a região da bacia foi de 8,497 mm/dia. Já no dia 15 de março de 2020, a precipitação total foi de 60,914 mm.

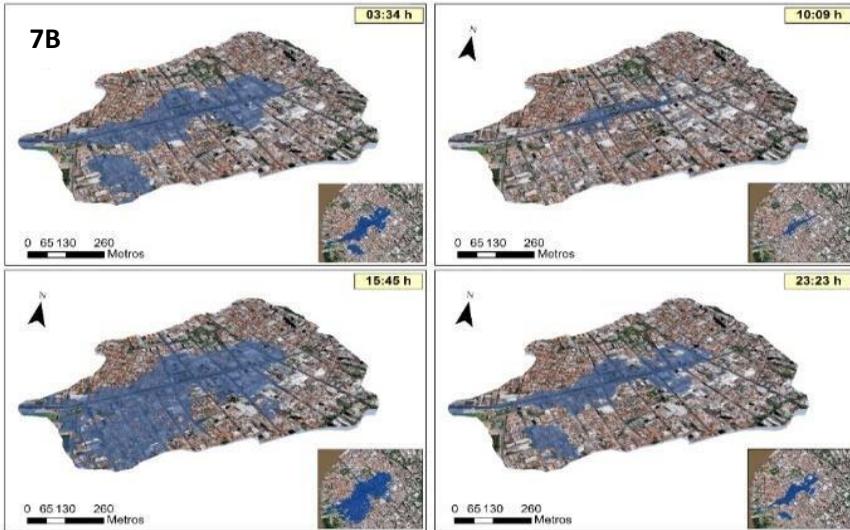
Assim, através da equação do método racional modificado, foram determinadas as vazões da bacia para os dois cenários. Com base na média da precipitação diária, foi obtido uma vazão de $0,1195 \text{ m}^3/\text{s}$, e, para a precipitação ocorrida no dia 15 de março, a vazão calculada foi de $0,8665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Por conseguinte, simulou-se a variação da maré, com os dados obtidos para o dia 15 de março de 2020 no CPTEC, nos horários de 03h34min, de 10h09min, de 15h45min e de 23h23min, correspondendo, respectivamente, a cotas de 3,2 metros, de 0,8 metros, de 3,1 metros e de 0,7 metros. Com isso, utilizando o MDT da Bacia do Piry, foram plotadas as duas variáveis (vazão e cota altimétrica do rio), de acordo com cada cenário que seria representado, resultando nos mapas expostos nas figuras 7A e 7B.

Figuras 7A e 7B – Mapas da dinâmica hídrica na Bacia do Piry para os cenários 1 (7A) e 2 (7B)



Cenário 1: Precipitação: 8,4248 mm/dia; Vazão: $0,1195 \text{ m}^3/\text{s}$; Nível da maré (15/03/2020): 03:34h: 3,2m, 10:09h: 0,8m, 15:45h: 3,1m e 23:23h: 0,7m.



Cenário 2: Precipitação: 60,914 mm/dia; Vazão: 0,8666 m³/s; Nível da maré (15/03/2020): 03:34h: 3,2m, 10:09h: 0,8m, 15:46h: 3,1m e 23:23h: 0,7m.

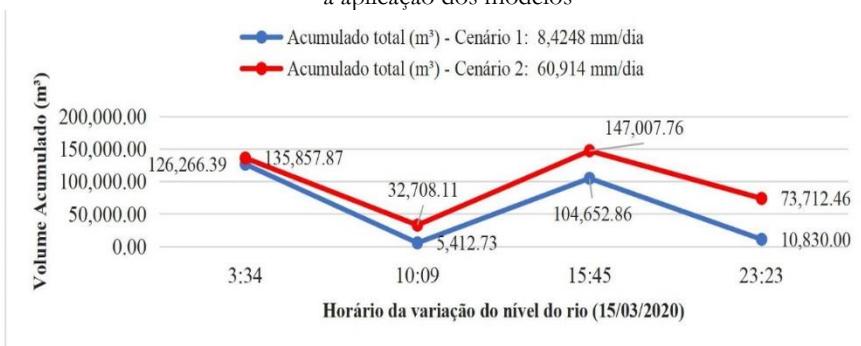
Fonte: elaborado pelos autores

Nessas simulações da dinâmica das águas na Bacia do Piry, ao analisar as figuras 7A e 7B, referentes aos cenários 1 e 2, respectivamente, observa-se que, no instante da primeira cheia, às 03h34min, os cenários apresentam a mesma geometria de inundação, o que se deve ao fato de que, ainda com vazões distintas, o acumulado da precipitação deste horário não apresenta um volume hidrológico considerável nos dois modelos, logo o volume de inundação corresponde, quase em sua totalidade, à maré de 3,2 metros.

Ao fim do dia, às 23h23min, o rio atinge a cota de 0,7 metros, retornando para o valor próximo do nível regular (40 centímetros). Com isto, no cenário 1, nota-se um pequeno transbordo do canal da Tamandaré, que corresponde ao ponto mais baixo da bacia, resultante do acumulado do escoamento superficial até este horário; já no cenário 2, a área ainda apresenta uma mancha de inundação elevada, porém não superior à das 03h34min e à das 15h45min.

O gráfico da Figura 8 apresenta a variação do volume acumulado na Bacia do Piry, durante o dia do experimento (15/03/2020), contribuindo para um entendimento mais sucinto e completo da dinâmica das águas na bacia.

Figura 8 – Gráfico da variação do volume acumulado na Bacia do Piry, durante a aplicação dos modelos



Fonte: elaborados pelos autores

Como resultado da análise hidrodinâmica da Bacia do Piry, por haver pouco tempo para o acúmulo do volume de vazão, às 03h34min o volume acumulado total é bom próximo em ambos os cenários, sendo composto, em sua quase totalidade, pelo volume do efeito da maré de 3,2 metros.

Isso posto, conclui-se que, no caso da Bacia do Piry, o principal agente causador dos impactos socioambientais, referentes às ocorrências de alagamentos e de inundações, é a elevação do nível do rio, não descartando a influência da precipitação como agravante, entretanto foi possível constatar que o movimento de cheia do rio representa riscos no curto prazo, com maior poder de impacto no âmbito social.

Por si só, a precipitação virá a causar transtornos socioambientais apenas a partir de um determinado ponto T no dia de chuva, dependendo do quantitativo e do tempo de precipitação. Se o volume acarretado pelas marés fosse retirado do cenário 1, os efeitos de transbordo no canal da Tamandaré só seriam

perceptíveis com mais de 23 horas de chuvas constantes. Contudo, chama-se a atenção para o cenário 2 — que, nesse contexto, representaria um dia do período chuvoso conhecido como “inverno amazônico” —, em que, após aproximadamente 12 horas de chuvas constantes, os efeitos do volume acumulado apenas pelo escoamento da precipitação já seriam prejudiciais a quem reside em pontos próximos aos espaços de cotas mais baixas da bacia.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao classificar a hidrodinâmica da Bacia do Piry como complexa, no que se refere ao seu entendimento, ao fim deste trabalho, foi possível apontar o efeito das marés como principal agente causador dos eventos de alagamento e de transbordo do canal na Bacia do Piry.

Nesse sentido, a partir dos alertas apontados pelo Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas, referentes ao aumento do nível médio do mar ainda neste século, o risco de acentuação dos impactos socioambientais, inerentes à variação do nível do rio, só tende a aumentar, atingindo mais pessoas e agravando a situação daquelas que já são impactadas no cenário atual.

Persistindo nos apontamentos do PBMC, como impacto direto da elevação do NMM, a população que reside nas áreas baixas da cidade (com cotas até cinco metros) e que, até então, não eram atingidas pelo movimento de cheia do rio, poderão passar a ter que lidar com este transtorno no período mais chuvoso da região, mesmo que periodicamente, enquanto a população que já é comumente atingida passará a conviver com eventos cada vez mais frequentes desta natureza, e, não, apenas no período de maior precipitação da região.

Outro ponto bastante pertinente do resultado deste trabalho é a geometria formada pela ligação entre os transbordos da região da avenida Almirante Tamandaré e das proximidades do Ver-o-Peso, à medida que as águas da maré adentram no território

de Belém, ratificando e reconstituindo o cenário descrito por Castelo Branco, ao chegar em Belém, no ano de 1616.

Isso posto, deve-se ressaltar a importância das geotecnologias na presente pesquisa, uma vez que as técnicas de geoprocessamento se fizeram presentes em todas as etapas metodológicas deste artigo, subsidiando o ferramental necessário para a produção dos mapas e dos produtos do estudo. O presente trabalho ratifica ainda mais a importância das geotecnologias no âmbito das diversas relações entre o meio e o ser humano, uma vez que, como pôde ser observado nos resultados, a dinâmica que envolve os fatores físicos naturais e antropológicos tende a ser bastante complexa.

REFERÊNCIAS

- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**. São Paulo, v. 27, n. 4, p. 423-434, dez. 2012.
- ARAÚJO JUNIOR, A. C. R.; AZEVEDO, A. K. A. Formação da cidade de Belém (PA): área central e seu papel histórico e geográfico. **Revista Espaço Aberto**, v. 2, n. 2, p. 151-168, 2012.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. Brasília: Ministério das Cidades - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2007. 176 p.
- CARDOSO, A. C. D.; LIMA, J. J. F.; PONTE, J. P. X.; VENTURA NETO, R. S.;
- RODRIGUES, R. M. Morfologia urbana das cidades amazônicas: a experiência do Grupo de Pesquisa Cidades na Amazônia da Universidade Federal do Pará. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, p. 1-18, 2020.
- CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC). **Tabuas de**

Marés de 03/2020: Porto de Belém-PA. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/~rondas/mares/index.php?cod=10520&mes=03&ano=20>. Acesso em: 1º abr. 2021.

GOSHIME, D. W.; ABSI, R.; LEDÉSER, B. Evaluation and bias correction of CHIRP rainfall estimate for rainfall-runoff simulation over Lake Ziway watershed, Ethiopia. **Hydrology**, v. 6, n. 3, p. 68, 2019.

GREGÓRIO, A. M. S. **Contribuição à gestão ambiental da baía de Guajará (Belém-Pará- Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico**. 2008. 128f. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Dicionário cartográfico**. Rio de Janeiro: [IBGE], 1980. 451 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Manuais técnicos em geociências. Acesso e uso de dados geoespaciais**. Vol. 14. Rio de Janeiro: [IBGE], 2019. 147 p.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). **A floresta habitada: história da ocupação humana na Amazônia**. 2015. Disponível em:

<https://imazon.org.br/A-FLORESTA-HABITADA-HISTORIA-DA-OCUPACAO-HUMANA-NA-AMAZONIA/>. Acesso em: 15 fev. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Fortes chuvas atingem Belém-PA**. Brasília, 10 mar. 2020. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/noticias/fortes-chuvas-atingem-bel%C3%A9m-pa>. Acesso em: 14 jul. 2021.

JACOBI, P. Do centro à periferia – meio ambiente e cotidiano na cidade de São Paulo.

Ambiente & Sociedade. v. 3, n. 6-7, p. 145-162, 2000.

LUZ, R. A.; RODRIGUES, C. O processo histórico de ocupação e de ocorrência de enchentes na planície fluvial do rio Pinheiros de 1930 até os dias atuais. **Geosp – Espaço e Tempo [On-line]**, v. 24, n. 2, p. 340-360, ago. 2020. ISSN 2179-0892.

MELLER, A. **Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem de Santa Maria – RS**. 2004. 152f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, 2004.

MILANESI, M. A.; ALVES, R. R.; GALVANI, E. Comparativo entre instrumentos pluviométricos experimentais e automáticos. **Em Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, UNICAMP, v. 1, p. 2251-2261, 2017. <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2453>.

NASCIMENTO, A. Recife, uma cidade construída sobre aterros. **Diário de Pernambuco**. Recife, 06 jun. 2016. Disponível em: <https://www.diariodepernambuco.com.br/noticia/vidaurbana/2016/06/recife-uma-cidade-construida-sobre-aterros.html>. Acesso em: 10 jan. 2020.

PEDRO, L. C. Geomorfologia urbana: impactos no ambiente urbano decorrente da forma de apropriação, ocupação do relevo. **Revista Geografia em Questão**, v. 4, n. 1, p. 153-172, 2011.

PEDROSA, A. S. A geomorfologia perante a ciência geográfica: algumas reflexões. **Soc. & Nat.**, v. 26, n. 3, p. 409-417, 2014.

PENTEADO, A. R. **Belém - estudo de geografia urbana**. Vol. 1. Belém: UFPA, 1968. 183 p.

PONTE, J. P. X. Belém do Pará: Cidade e Água. **Caderno Metropolitano**, São Paulo, v. 17, n. 33, p. 41-60, maio 2015.

PONTES, M. L. C.; LIMA, A. M. M.; SILVA JÚNIOR, J. A.; SADECK, C. C. A. Dinâmica das áreas de várzea do município de Belém/PA e a influência da precipitação pluviométrica na formação de pontos alagamentos. **Caderno de Geografia**, v. 27, n. 49, p. 285-303, 2017.

SANTOS, F. A. A.; ROCHA, E. J. P. Alagamento e inundação em áreas urbanas. estudo de caso: cidade de Belém. **Revista GeoAmazônia**, Belém, v. 2, n. 2, p. 33-55, 2013.

SATHLER, D.; MONTE-MOR, R. L.; CARVALHO, J. A. M. As redes para além dos rios: urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira. **Revista Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 19, n. 1, p. 11-39, abril 2009.

SILVA, M. V. S. da; LIMA, A. M. M. de. Reconstituição espaço-temporal do Alagado do Piry de Jussara, Belém-PA: evolução e impacto na urbanização. **Revista Cerrados**, [s. l.], v. 19, n. 1, p. 113-139, 2021.

SOUZA, F. F. Bacias hidrográficas. **Aprender**. 2010. Disponível em: <http://www.ufscar.br/aprender/aprender/2010/06/bacias-hidrograficas/>. Acesso em: 15 abr. 2021.

SOUZA, S. B.; IGNÁCIO, C. F.; CARVALHO, C. G. C. Áreas de Riscos: Pontos de inundações e impactos no processo de urbanização em Campinas/SP. *In*: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM PLANEJAMENTO URBANO REGIONAL-ENANPUR, 18, 2019, Natal. **Anais [...]**, Natal, 2019, p. 01-20.

TARGA, M. S.; BATISTA, G. T.; DINIZ, H. D.; DIAS, N. W.; MATOS, F. C. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil.

Revista Ambiente & Água, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

TAVARES, J. P. N. Enchentes repentinas na cidade de Belém-PA: condições climáticas associadas e impactos sociais no ano de 1987.

Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 9, n. 28, p. 1-6, dez. 2008.

TUCCI, C. E. M. Água no meio urbano. *In*: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G.

Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. Cap. 12, p. 399-433.

USO E OCUPAÇÃO DA TERRA EM PEQUENAS BACIAS E ALTERAÇÕES NO CICLO HIDROLÓGICO LOCAL

Evanice Pinheiro Gomes¹

Patrícia da Silva Holanda²

Maria Ludetana Araújo³

Josias da Silva Cruz⁴

INTRODUÇÃO

A utilização de recursos naturais, pela sociedade, para atendimento de suas atividades básicas de alimentação, de moradia, de energia, de transporte, entre outras, tem se intensificado, e este aumento impulsionou processos de substituição da vegetação natural por outros usos. Essas modificações na paisagem podem gerar impactos significativos sobre diversas variáveis ambientais, como na hidrologia local ou, ainda, na regional.

Segundo Bayer (2014), os efeitos de tais alterações no regime hidrológico têm gerado preocupações, os quais vêm sendo discutidos por especialistas há muito tempo, que têm buscado medir os impactos da retirada da vegetação sobre o escoamento e sobre a disponibilidade de recursos hídricos, por exemplo, em bacias hidrográficas. Nesse sentido, a avaliação das mudanças na vegetação e dos possíveis impactos gerados no ciclo hidrológico, como a diminuição de vazões em cursos d'água, é uma técnica que

¹ Professora dra. Substituta do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará (ITEC-UFPA). Contato: gomesevanice@ufpa.br.

² Doutora em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia e docente externa no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil (PPGEC-UFPA). Contato: pholanda@ufpa.br.

³ Doutorando no Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Pará (PPGEC-UFPA). Contato: josias.cruz@gmail.com.

⁴ Professora doutora do Instituto de Educação da Universidade Federal do Pará (ICED-UFPA). Contato: ludetana@ufpa.br.

pode ser utilizada na verificação das quantidades disponíveis de água e, assim, auxiliar no gerenciamento do uso e ocupação das bacias hidrográficas.

Estudos mostram que há uma grande relação entre as alterações na cobertura da terra e o regime de vazões de rios, associando alguns dos processos que são intensificados nos cursos d'água, em virtude da mudança na cobertura natural, tais como erosões, impermeabilizações do solo, inundações, assoreamentos, entre outros, destacados por Costa Pereira *et al.* (2020), por Da Silva Cruz *et al.* (2022), por De Araújo e Ponte (2016), por Duarte *et al.* (2021) e por Pereira *et al.* (2018).

As vazões de um curso d'água estão entre as mais importantes variáveis hidrológicas na quantificação do balanço hídrico, pois elas representam o volume gerado da precipitação e do escoamento de base (oriunda dos aquíferos que circulam na bacia hidrográfica) (COLLISCHONN, 2013). Elas também servem como indicadores hídricos para a determinação das vazões mínimas de referência, como a Q90%, a Q95% e a Q7,10.

As vazões mínimas de referência, também conhecidas como vazões ecológicas, são definidas como a quantidade de água que deve permanecer no leito de um curso d'água, para garantir o atendimento às demandas do ecossistema aquático e para preservar a flora e a fauna (CRUZ, 2005; DA COSTA MEDEIROS *et al.*, 2011).

No Brasil, de acordo com a Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/1997), cabe aos estados e ao Distrito Federal definirem as vazões de referência, que servirão para a concessão de outorga de recursos hídricos, bem como para a definição de demandas disponíveis de água em bacias hidrográficas.

Assim, uma forma sustentável de garantir o uso e ocupação de uma bacia hidrográfica e, conseqüentemente, de garantir as demandas de água adequadas aos usuários desta bacia, é através da ordenação, do controle e do monitoramento das atividades, que transformam a cobertura da bacia, e da quantificação das variáveis hidrológicas. Isso pode ser alcançado pelo uso combinado entre a

obtenção da série histórica de dados hidrológicos e o geoprocessamento.

Segundo Bacani e Luchiari (2014), o geoprocessamento é uma ferramenta que permite coletar, tratar e disponibilizar informações com referências geográficas, sendo capaz de gerar produtos gráficos com informações valiosas e necessárias sobre as modificações que ocorrem nas superfícies de bacias hidrográficas, tanto em sua evolução temporal quanto espacial.

Em face da necessidade de avaliar a cobertura da bacia e as suas consequências no regime hidrológico, o presente estudo tem, como objetivo, analisar as mudanças temporal e espacial na cobertura da Bacia Hidrográfica do Rio Uraim e associá-las às ocorrências das vazões de referência Q90% e Q95%. Essa bacia vem sofrendo impactos diretos e indiretos, seja pela forma desordenada de ocupação e uso da terra, seja pelo uso indiscriminado dos recursos naturais, tão importantes à preservação do bioma amazônico.

OS PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E A ÁREA DE ESTUDO

A metodologia adotada no presente trabalho consiste na análise temporal do uso e ocupação da bacia, a partir das mudanças hidrológicas ocorridas no regime de vazões de referência do curso d'água principal, assim se realizaram as seguintes etapas: a) obtenção dos dados hidrológicos; b) geração das curvas de permanência e das vazões de referência Q90% e Q95% do rio Uraim; c) elaboração das imagens de uso e ocupação da terra na área de estudo; d) análises temporal e espacial dos mapas de uso e cobertura da terra; e e) identificação e exame das possíveis alterações das vazões de referência, que foram geradas pelo uso e ocupação da bacia estudada (Figura 1).

Figura 1 – Esquema da metodologia adotada



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

ÁREA DE ESTUDO

A Bacia Hidrográfica do Rio Uraim (Figura 2) se localiza na Mesorregião do Sudeste Paraense, entre os limites dos municípios de Paragominas (115.838 habitantes) e de Nova Esperança do Piriá (21.519 habitantes), possui uma área de 5.076,4 km² e o comprimento de seu curso d'água principal, da nascente até a foz, é de 145 km (IBGE, 2021).

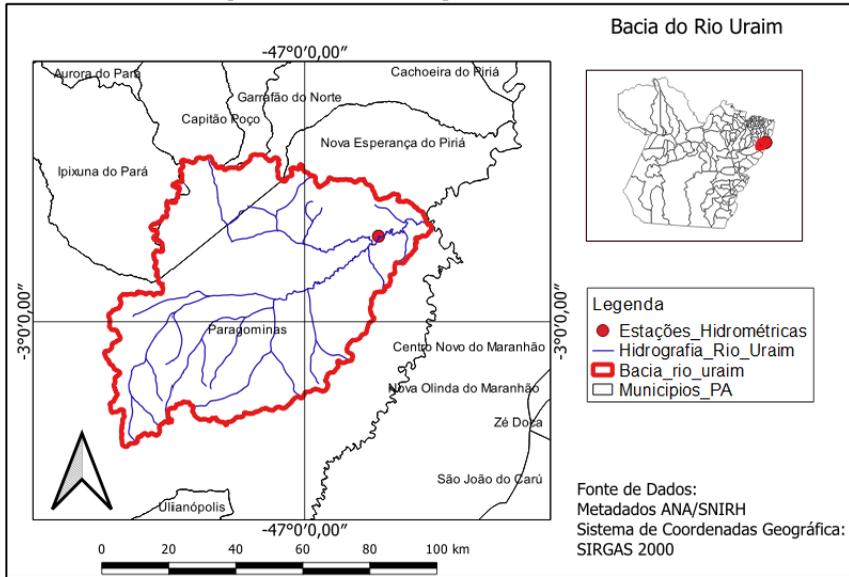
Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Aw (quente e úmido, com estação seca bem definida) e, pela classificação de Thornthwaite, é BlwA'a' (tropical úmido, com déficit hídrico). As temperaturas médias do ar variam de 25,6°C a 27,8°C, e as temperaturas médias são elevadas, durante todo o ano (EMBRAPA, 2005).

Na bacia do Uraim, o solo predominante é do tipo Latossolo Amarelo, desenvolvido no topo e no declive superiores dos terraços, durante o Terciário e o Quaternário. Outros tipos, como Argilosos Amarelos, Plintossolos, Gleissolos e Neossolos, são encontrados em menor proporção (EMBRAPA, 2003).

O rio Uraim é utilizado para vários fins, como captação de água, abastecimento público, lançamento de efluentes domésticos tratados em estações de tratamento, entre outros (SANEPAR, 2022). Com isso, faz-se necessário que o município adote ações preventivas, por meio de políticas públicas eficientes, com os intuítos de preservar o corpo hídrico e de reduzir possíveis danos causados, buscando a promoção do desenvolvimento sustentável e considerando os aspectos ambiental, econômico e social, a partir

do planejamento e do manejo adequados da bacia hidrográfica em questão.

Figura 2 – Bacia Hidrográfica do Rio Uraim



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

BASE DE DADOS

Os dados hidrológicos pluviométrico e fluviométrico foram obtidos no site Hidroweb (disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb>), os quais são consistidos pela Agência Nacional de Águas (ANA), que prioriza o grau de homogeneidade dos dados, corrigindo possíveis erros.

As estações fluviométrica e pluviométrica adotadas foram as dos códigos 32550000 e 00247005, instaladas na Fazenda Ipacará e monitoradas pela Agência Nacional de Águas e Saneamento (BRASIL, 2022), as quais possuem registros de 34 anos (1985 a 2019), período adotado neste estudo para quantificar

as vazões de referência e para correlacioná-las ao uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica.

Os dados de uso e ocupação da terra adotados foram os da Coleção 6 do Mapbiomas, os quais reconstroem informações anuais de uso e cobertura da terra, com base na floresta aleatória aplicada ao arquivo Landsat, usando o *Google Earth Engine*. Os usos são organizados em cinco classes principais: floresta; formação natural não florestal; agricultura; área não vegetada; e água. Tais classes são subdivididas, detalhando de forma mais abrangente as ocupações da terra, em resolução de 30 m por pixel (SOUZA *et al.*, 2020).

Para avaliar a evolução temporal do uso e ocupação da bacia, interferindo nas condições hidrológicas, dividiu-se a série histórica total de vazões e os dados de uso e ocupação da terra em períodos de cinco anos, com o intuito de medir estas mudanças e seus reflexos nas vazões de referência. Assim, definiram-se primeiramente as curvas de permanência e, em seguida, as respectivas vazões de referência Q90% e Q95% para cada intervalo de cinco anos. O uso destas vazões se justifica pelo fato delas serem adotadas nas legislações ambientais de outorga da maioria dos estados brasileiros, inclusive nas do estado do Pará.

A divisão em cinco anos foi adotada por considerar que, nesse espaço de tempo, é possível identificar mudanças no comportamento hidrológico de uma bacia, decorrentes de alguma interferência antrópica, conforme observado por Da Silva Cruz *et al.* (2022).

A COBERTURA DA BACIA HIDROGRÁFICA E O CICLO HIDROLÓGICO

As vazões de um curso d'água resultam da complexa interação entre os diversos processos de armazenamento e de transporte do ciclo hidrológico, os quais têm elevada relação com a cobertura da bacia.

O escoamento superficial, consequência da chamada precipitação efetiva sobre a bacia, é o de maior velocidade de transporte entre os elementos que compõem as vazões dos cursos d'água; os demais componentes, os escoamentos subsuperficial e subterrâneo (ou de base), têm resposta relativamente muito mais lenta. O escoamento subsuperficial corresponde à parcela da água que, infiltrada, escoar pela zona não saturada do solo. O escoamento pelo meio poroso, constituinte dos horizontes mais superficiais do subsolo, apresenta maior resistência hidráulica, em relação à que ocorre no escoamento superficial. Pelas mesmas razões, porém de modo ainda mais intenso, o escoamento de base, correspondente à água de recarga do armazenamento subterrâneo, apresenta as menores velocidades entre os componentes das vazões de um curso d'água (VON SPERLING, 2014).

Assim, os escoamentos superficial, subsuperficial e de base, cada qual com volume e cronologia típicos, combinam-se dinamicamente nas áreas de descarga, formando as vazões de um curso d'água. Portanto, a vazão $Q(t)$, em um instante t , medida na seção transversal de um certo rio, compõe-se da drenagem do volume de água que precipitou sobre uma bacia em tempos anteriores.

De acordo com a quantidade de água presente em seu leito, ao longo do tempo, os cursos d'água podem ser classificados como perenes, intermitentes e efêmeros. Os perenes são aqueles em que há líquido fluindo na calha do rio, durante todo o tempo, mesmo no período de estiagem, quando este é alimentado pelo lençol subterrâneo, que nunca desce abaixo do leito do curso d'água, garantindo a alimentação da calha, mesmo em épocas de ausência de precipitação (TUCCI, 2012). Os rios intermitentes são aqueles situados em regiões áridas ou semiáridas, que, durante o período de seca, permanecem secos, não aportando capacidade de diluição de despejos, e cujos lençóis freáticos se encontram abaixo do nível inferior do do leito do rio, com vazões ocorrendo apenas no período chuvoso. Os cursos d'água efêmeros existem apenas durante ou imediatamente após períodos de precipitação e só fazem o escoamento superficial. O lençol freático se encontra

sempre em nível inferior ao do leito fluvial, não havendo alimentação subterrânea (VON SPERLING, 2014).

Os processos de armazenamento e de transporte do ciclo hidrológico podem sofrer alterações, provocadas pela forma de ocupação da bacia hidrográfica, causando mudanças nas vazões dos cursos d'água. A retirada da vegetação, por exemplo, deixa o solo descoberto, o qual é carregado para os mananciais, provocando aumentos do escoamento superficial e cheias do rio. Além disso, a redução na infiltração da água, provocada pela impermeabilização do solo, pode diminuir a recarga dos aquíferos.

Para Mota (2016), os impactos sobre o regime hidrológico, causados pelo desmatamento, pelas alterações no relevo e na topografia, pela impermeabilização do solo, bem como por atividades de barramentos, por transposições de bacias e por alterações no trajeto dos rios, são os principais responsáveis pelas modificações nas vazões dos rios, resultando em despejos mínimos cada vez menores.

As vazões mínimas são importantes, em virtude de estarem menos disponíveis nos períodos secos, quando há uma maior demanda. Assim, é necessário garantir uma vazão mínima adequada, para permitir o suprimento de usos doméstico e industrial, para manter o padrão de qualidade da água de rios, considerando os lançamentos de efluentes, para proteger habitats aquáticos e para garantir a recreação e a navegação (ZHAO *et al.*, 2012).

Assim, qualquer mexida na cobertura da bacia — por atividades de desmatamento, de pecuária, de agricultura, de urbanização, etc. —, pode impactar as vazões dos cursos d'água, as quais são essenciais para garantir as demandas de uso na bacia hidrográfica, como mencionado. Daí vem a necessidade de identificar as alterações ocorridas na bacia do Uraim, para auxiliar na tomada de decisão, quanto a sua forma mais adequada de uso e ocupação.

Nesse contexto, vários estudos buscam informações sobre o regime hidrológico das bacias hidrográficas, com o intuito de avaliar as ações antrópicas ocasionadas neste meio físico, aliando a

modelagem hidrológica às mudanças de uso e ocupação da terra na previsão de cenários futuros (DA LUZ *et al.*, 2022; GORI *et al.*, 2019; HE; JAMES, 2021; MARTINHAGO *et al.*, 2021; YANG *et al.*, 2021).

CURVA DE PERMANÊNCIA

A curva de permanência é uma função hidrológica que caracteriza a frequência das vazões e a disponibilidade hídrica de um curso d'água, em relação à vazão mínima (DA SILVA *et al.*, 2021; DE CARVALHO *et al.*, 2019; PAIVA *et al.*, 2019; SILVA; MAZIONE, 2020). É utilizada, pela administração pública, para a correta gestão e o melhor planejamento de uso de bacias hidrográficas, servindo como instrumento de outorga de direito de uso da água. Também é empregada para fins de quantificação de demandas de vazão, destinadas ao abastecimento público, à irrigação, à navegabilidade, aos estudos hidrelétricos, bem como à análise de frequência de vazões ecológicas, como Q90%, Q95% e Q7,10.

A curva de permanência é obtida, a partir da frequência de dados hidrológicos, através dos quais se estabelece um percentual, em que uma variável hidrológica pode ser maior do que um dado valor. Isso é chamado frequência de excedência, que é obtida diretamente de uma série histórica de dados. Contudo, pode-se trabalhar com a frequência de não excedência, ou seja, aquela em que o percentual da variável pode ser menor ou igual a um dado valor (MELO; SILVA, 2013).

Para a definição da frequência de excedência, quanto à obtenção da curva de permanência, pode-se adotar a Equação 1 (WEIBULL, 1951):

$$f_{obs} = \frac{i}{N + 1}$$

Nessa equação, f_{obs} é a frequência observada de excedência, i é posição ou ordem que o dado ocupa, após a ordenação da série histórica, e N é o tamanho da série histórica.

As vazões de referência Q90% e Q95% são extraídas da curva de permanência das vazões locais de uma referida bacia. Elas podem ser entendidas como a porcentagem do tempo, em que a vazão indicada foi igualada ou superada, ao longo do período de registros. A Q90% e a Q95% correspondem às vazões de 90% e de 95% da curva de permanência, respectivamente. Pela sua forma, podem ser feitas inferências sobre as características da bacia hidrográfica e sobre o correspondente regime hidrológico.

Uma curva de permanência mais plana indica pequena variabilidade das vazões, com condições de ser mais permeável, recebendo alimentação do lençol freático. Nas curvas de elevada inclinação, ocorre um rápido regime de escoamento, com grande variabilidade das vazões diárias. Quando a curva de permanência apresenta valor zero na maior parte do tempo, não há vazão escoando pela calha do rio, caracterizando um rio intermitente e, nesse caso, as vazões de referência são iguais a zero (VILLELA; MATTOS, 1975).

Pela curva de permanência, também é possível verificar a variabilidade da vazão, ao longo do tempo, que depende das características de regularização natural do rio. Os extremos (partes superior e inferior) da curva apresentam inflexões marcantes, que tratam os comportamentos da vazão máxima e das estiagens, enquanto o trecho médio representa a faixa dominante de vazões do rio (TUCCI, 2012).

Assim, a curva de permanência é considerada uma variável hidrológica, capaz de representar o comportamento das vazões de um curso d'água, ao longo do tempo, possuindo uma interação direta com as condições da bacia hidrográfica, de maneira que qualquer alteração exercida nos elementos do ciclo hidrológico, e

que contribui para a sua formação, causará efeito direto na sua ocorrência.

GEOPROCESSAMENTO

Segundo Da Silva *et al.* (2021), as geotecnologias, associadas a sensores remotos, a Sistemas Globais de Navegação por Satélite (GNSS), a Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e a Geoprocessamento, apresentam-se como importantes ferramentas na geração e na manipulação de informações espacializadas em meio digital, sendo úteis à elaboração de produtos cartográficos, que ajudam na gestão do território e no manejo de bacias.

Para se obter sucesso no tratamento de bacias hidrográficas, é necessário compreender o comportamento físico dos solos, associado à cobertura vegetal. Segundo Mello e Silva (2013), isso ocorre, porque a participação do solo e do seu uso no ciclo hidrológico da bacia define a dinâmica da água em seus compartimentos, destacando-se, por exemplo, a recarga de aquíferos.

Desse modo, os estudos que norteiam o manejo das bacias hidrográficas necessitam de ferramentas, que estão diretamente ligadas à evolução tecnológica, como as do geoprocessamento. O geoprocessamento constitui um conjunto de procedimentos, de técnicas e de produtos destinados à coleta, ao tratamento e à divulgação de informações sobre a superfície do planeta, com referências geográficas, utilizando-se de processamento de informações em ambiente computacional (BACANI; LUCHIARI, 2014). O uso do geoprocessamento garante, com boa exatidão, as distribuições espaciais e temporal do uso do solo, bem como permite a localização de possíveis desmatamentos e queimadas, confrontando tais informações com a capacidade de uso ou aptidão da bacia em desenvolver certas atividades. Além disso, a aplicação de ferramentas, como a geoestatística e os Sistemas de Informação Geográfica, na geração de mapas permite que sejam

feitas análises com bom nível de precisão. Assim, essas ferramentas serão adotadas neste estudo, para auxiliar no exame de uso e ocupação da terra da bacia estudada.

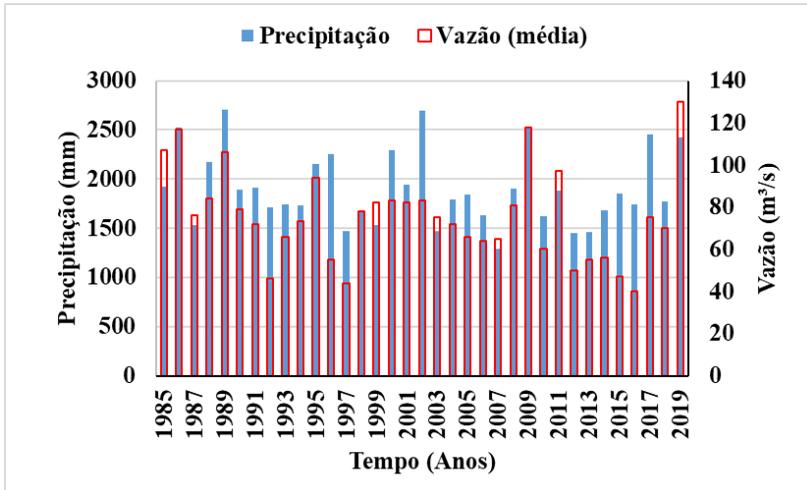
Como mencionado, Sensoriamento Remoto e SIG são utilizados como ferramentas de auxílio no planejamento ambiental, bem como na tomada de decisões, pois permitem investigações espaciais e temporais, admitindo a implementação de práticas conservacionistas em solos de bacias hidrográficas, assim várias pesquisas têm sido realizadas com o auxílio do geoprocessamento, como Barão *et al.* (2021), Betancourt-Suárez *et al.* (2021), De Mesquita Gomes *et al.* (2021), De Souza *et al.* (2021), Do Nascimento *et al.* (2021), Moura *et al.* (2021), Nunes *et al.* (2021), entre outras.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados de precipitação e de vazão, obteve-se os valores acumulados de chuva e a média de vazão anuais no período avaliado (1985-2019), os quais estão apresentados na Figura 3. De toda a série histórica, o ano de 1989 foi o que teve o maior acumulado de chuvas, com 2.705 mm, enquanto choveu menos no ano de 2007, com 1.286 mm. Pode-se observar que a precipitação variou bastante, com média de 1.904 mm/ano e com desvio-padrão de 377 mm/ano.

A região de inserção da bacia do rio Uraim possui índices pluviométricos maiores do que 1.000 mm/ano, o que é característico do bioma Amazônia. De dezembro a maio, os índices pluviométricos são maiores e, entre junho e novembro, o volume de chuvas apresentado na região é menor, o que condiz com os números relatados por De Souza *et al.* (2016) para a Amazônia brasileira.

Figura 3 – Comportamentos das variáveis precipitação e vazão nos anos de 1985 a 2019

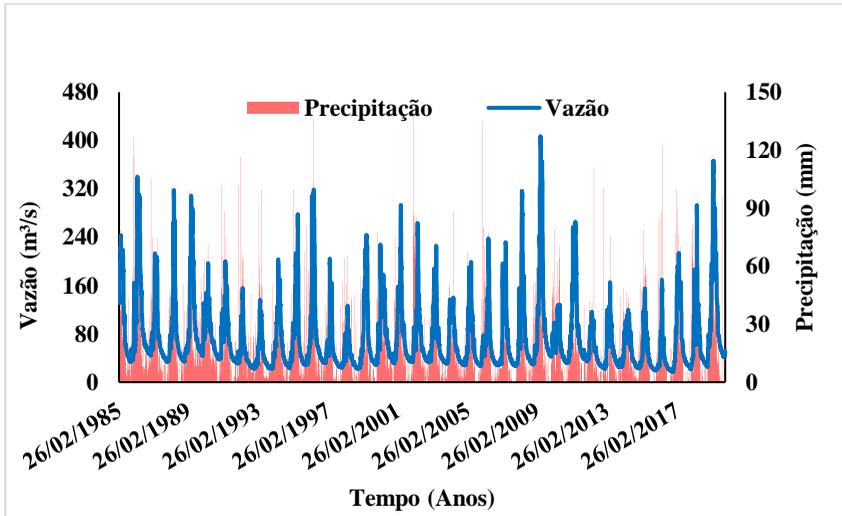


Fonte: elaborado pelos autores (2022)

A vazão média anual foi maior no ano de 2019, com 130 m³/s, e expressivamente menor no ano de 2016, com 40 m³/s. Observa-se uma grande variação da vazão média no curso d'água em toda a série histórica, de 76 m³/s, e um desvio-padrão de 22 m³/s. As ocorrências de vazões na bacia têm forte relação com outras variáveis do ciclo hidrológico e com a forma de ocupação desta.

No hidrograma da Figura 4, é possível observar o comportamento diário das variáveis vazão e precipitação em toda a série histórica, representando os períodos de estiagens e de cheias da bacia. Nem toda a precipitação que cai sobre uma bacia é transformada em vazão, o que fica bem evidente, principalmente nos picos de chuvas, em que a vazão não se eleva. Isso pode ser explicado pelo fato de que nem toda chuva irá se transformar em vazão, por conta dos caminhos que o escoamento superficial pode percorrer e pela forma de infiltração da água no solo, pois pode demorar semanas ou meses para as águas de uma precipitação contribuírem para a vazão de um rio ou afluírem em seu leito.

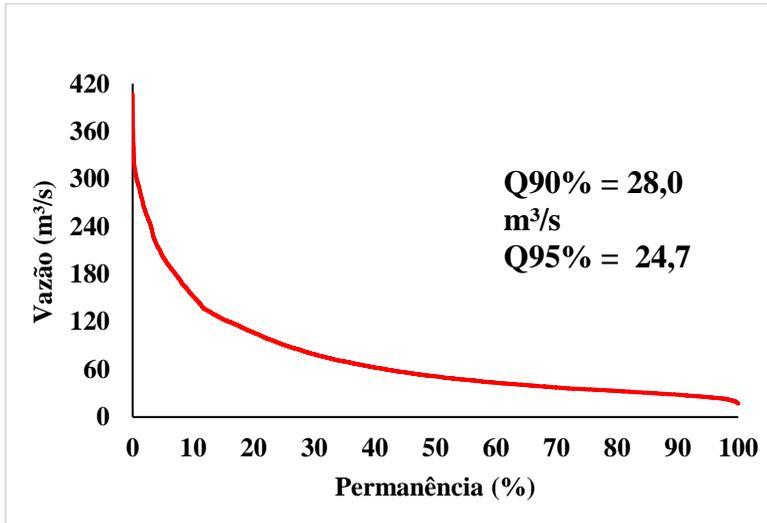
Figura 4 – Hidrograma de vazão e de precipitação da bacia do rio Uraim no período 1985-2019, com dados obtidos da Estação Cafezal – Código ANA 32550000



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

A partir dos dados sobre as vazões, construiu-se a curva de permanência diária de toda a série histórica (1985-2019) (Figura 5). Pelo desenho da curva, é possível identificar que se trata de uma bacia com características de rio perene, pois há vazão disponível em todo o momento, mesmo nos períodos de estiagem, o que pode ser observado no hidrograma e na curva de permanência (figuras 4 e 5). Além disso, como a curva de permanência apresenta pequena variabilidade nas vazões na maior parte do tempo, entende-se que a bacia é permeável e possivelmente alimentada por lençol freático.

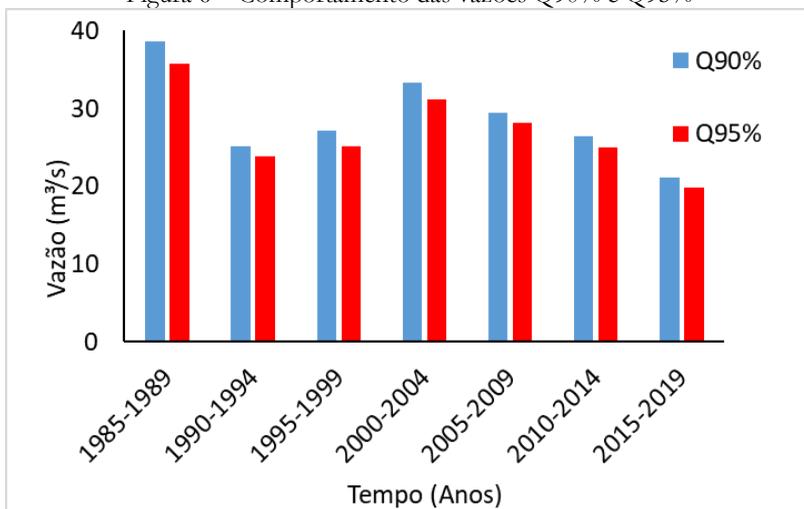
Figura 5 – Curva de permanência diária da bacia do rio Uraim no período 1985-2019



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Pelo levantamento das vazões mínimas de referência, ocorreu diminuição em tais vazões, ao longo dos anos (Figura 6). Entre 1985 e 1989, a Q90% era de 38,6 m³/s e a Q95% era de 35,7 m³/s. Entre 1990 e 1994, as vazões se reduziram para 25,2 m³/s e para 23,8 m³/s, respectivamente. Nos anos de 1995 a 1999 e nos anos de 2000 a 2004, ocorreu um pequeno aumento nas vazões mínimas, resultando em Q90% de 27,2 m³/s e Q95% de 25,2 m³/s e em Q90% de 33,4 m³/s e Q95% de 31,2 m³/s, dentro dos respectivos períodos citados. Nos anos posteriores (2005 a 2014 e 2015 a 2019), observou-se uma redução nas vazões mínimas de aproximadamente 55%, tanto para a Q90% quanto para a Q95%, em comparação à variação encontrada do primeiro período observado (1985-1989). Os resultados podem ser observados na Tabela 1.

Figura 6 – Comportamento das vazões Q90% e Q95%



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Tabela 1 – Vazões de referência e percentual de redução das vazões

Período	Q90%	Q95%	Redução Q90%	Redução (%)	Redução Q95%	Redução (%)
1985-1989	38,6	35,7	-	-	-	-
1990-1994	25,2	23,8	13,4	65	11,9	67
1995-1999	27,2	25,2	11,4	70	10,5	71
2000-2004	33,4	31,2	5,2	87	4,5	87
2005-2009	29,5	28,2	9,1	76	7,5	79
2010-2014	26,4	25,0	12,2	68	10,7	70
2015-2019	21,2	19,8	17,4	55	15,9	55

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Essas expressivas diminuições das vazões mínimas foram comparadas aos resultados obtidos pelo Mapbiomas, que mostram as mudanças no uso e ocupação da terra, na bacia do rio Uraim (Figura 7).

No início da ocupação da bacia, em que prevaleciam as características de cobertura com grandes áreas de vegetação, pode-se inferir o favorecimento a processos de infiltração da água no

solo, alimentando os aquíferos e, conseqüentemente, a base dos cursos d'água. A precipitação contribuía bem nas épocas chuvosas, favorecendo a formação de vazões nos cursos d'água da bacia do rio, com maiores vazões de referência e cobertura mais natural para a bacia (Figura 7A).

As figuras 7B e 7C atestam a diminuição das vazões de referência, que culminam com o processo de ocupação da bacia. Entre 1994 e 1995, ocorrem as instalações da monocultura de árvores e da produção de grãos em grande escala, que passam a demandar aberturas de extensas áreas, para o desenvolvimento de atividades econômicas de grande porte na região (FERNANDES, 2011).

De 2000 a 2004 (Figura 7D), foram registrados picos de precipitação, com a ocorrência do segundo maior registro da toda a série histórica em 2002 (2.690 mm). Esse aumento na precipitação pode explicar o acréscimo nas vazões mínimas de referência, face à diminuição que estava ocorrendo em anos anteriores.

No período de 2005 a 2019, o município de Paragominas, em que se localiza grande parte da bacia do Uraim, desenvolveu atividades exploradoras de recursos naturais, como agricultura, desenvolvida por colonos, passando pela pecuária, pela exploração madeireira, pela agricultura, pela urbanização, pelo desmatamento, etc. Essas transformações foram acompanhadas pela conseqüente diminuição das vazões mínimas de referência Q90% e Q95% (figuras 7E-7G).

Segundo Souza *et al.* (2020), que apresentaram as características dos dados gerados pelo Mapbiomas, a classe agrícola se expandiu entre 1985 e 2017, o que foi detectado principalmente no bioma Amazônia (4,6% ao ano). A classe florestal diminuiu 0,34% ($\pm 2,76$) entre 1985 e 2017, em nível nacional. A taxa anual de redução florestal mais rápida ocorreu no bioma Cerrado (-0,6%, $\pm 0,56$), contudo, em termos absolutos, a Região Amazônica perdeu muito mais área florestal do que os outros biomas do Brasil. A maior parte das perdas de vegetação, que inclui formações florestais e não florestais, ocorreu no bioma Amazônia (41,8%).

No estudo de Costa Pereira *et al.* (2020), que utilizou imagem do sensor OLI, do satélite Landsat 8, observam-se, também, mudanças relevantes na quantificação de uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Uraim, em que 27,50% eram floresta primária, 21,46% correspondiam à vegetação secundária e 17,68%, a áreas de agricultura. As áreas de floresta degradada contabilizaram 9,89%, a classe pastagem representou 9,50% e a solo exposto, 4,92%. As classes água, reflorestamento e área urbana apresentaram percentuais mais reduzidos (1,27%, 0,57% e 0,27%, respectivamente).

Segundo Pirovani (2010), a agropecuária se destaca na bacia do rio Uraim, em que representa 27,18% da área em uso, o que praticamente se iguala ao quantitativo de floresta primária (27,50%). As áreas de vegetação secundária também se destacam, com percentual próximo aos de floresta primária e de agropecuária (21,46%). Essas áreas de vegetação secundária são encontradas em diferentes estágios de desenvolvimento, muitas vezes, associadas à atividade agrossilvipastoril, utilizada após um período de pousio.

O município de Paragominas, em que está inserida a bacia estudada, obteve destaque na produção de grãos, a partir do ano 2000, especialmente nas agriculturas de arroz, de milho e de soja, aproveitando a abundância de áreas abertas e planas e o regime pluviométrico bem definido. Contudo, estudos socioambientais conduzidos por Figueiredo (2009) e por Figueiredo *et al.* (2006) demonstraram impactos negativos da introdução das atividades agropecuárias em áreas de floresta primária, bem os impactos destas atividades nas condições hidrológicas das microbacias da Amazônia.

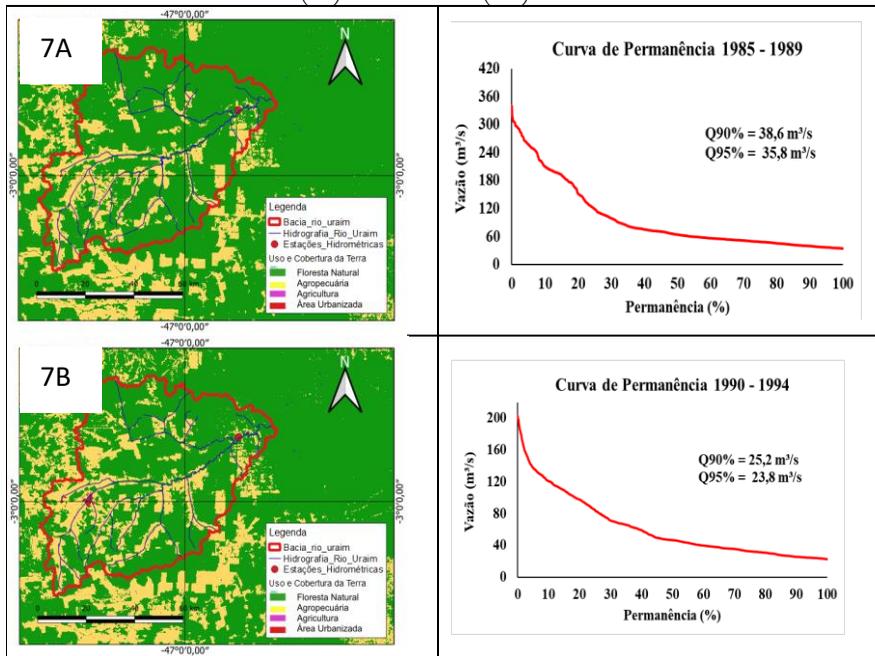
Assim, podemos observar que estão ocorrendo diversas alterações na cobertura da bacia, ao mesmo tempo que as formas de ocupação da bacia estão produzindo impactos no regime hídrico, possivelmente. A diminuição das áreas de recarga, por exemplo, pode dificultar o processo de infiltração da água no solo e, conseqüentemente, alterar a formação das vazões nos rios. Além disso, a retirada da floresta, para dar espaço a atividades de monoculturas, poderá afetar o ciclo hidrológico, uma vez que

diminuirá o processo de evapotranspiração e fará com que o solo perca parte da sua capacidade de infiltração, influenciando as alimentações do lençol freático e do abastecimento de base.

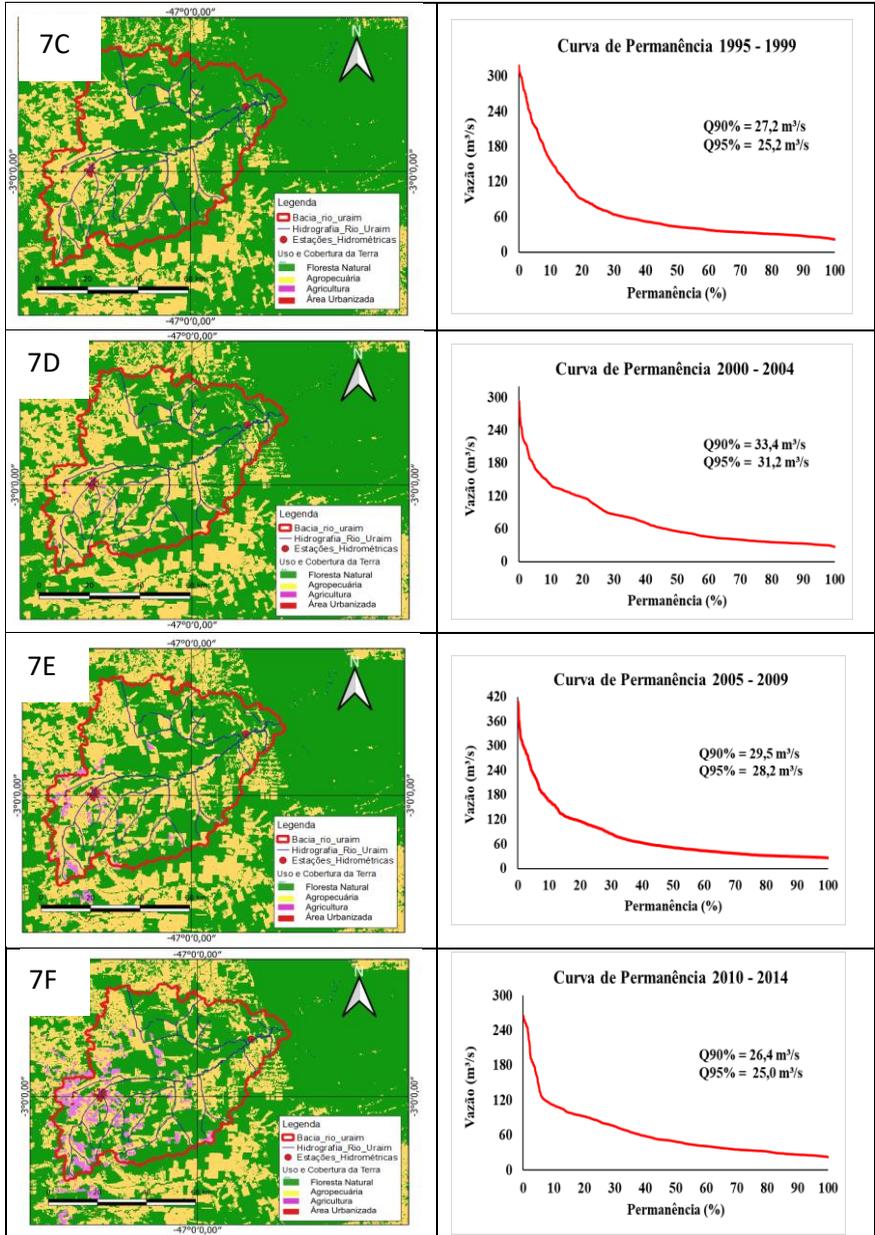
Portanto, é possível que a diminuição das vazões mínimas de referência, ao longo dos anos, as quais foram observadas neste estudo, esteja sendo influenciada pela ocupação da bacia com atividades de exploração madeireira, de agricultura, de pecuária e de urbanização na região da bacia do rio Uraim, processos que têm se intensificado nos últimos anos.

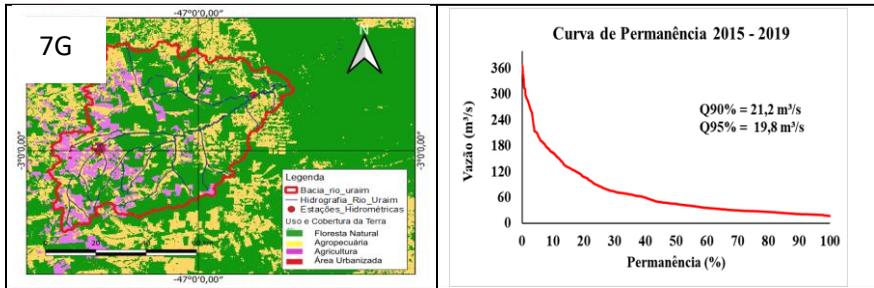
É importante destacar que a diminuição das vazões mínimas de referência na referida bacia também pode estar relacionada a outros fatores, como variações climáticas, por exemplo, os quais não foram abordadas neste estudo.

Figuras 7A, 7B, 7C, 7D, 7E, 7F e 7G – Mapas de uso e ocupação da terra na Bacia do Rio Uraim e curvas de permanência para os períodos 1985-1989 (7A), 1990-1994 (7B), 1995-1999 (7C), 2000-2004 (7D), 2005-2009 (7E), 2010-2014 (7F) e 2015-2019 (7G)



Geoinformação e Análises Socioambientais





Fonte: elaborado pelos autores (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir das informações de cobertura e uso da terra da Bacia do Rio Uraim, geradas pelo Mapbiomas, identificou-se que a atividade agricultura e a que redução da área de floresta natural têm avançado e modificado o espaço da região, desde 1985 até 2019. Tais mudanças têm se refletido na ocorrência de vazões mínimas, na bacia, as quais têm se reduzido a valores que podem comprometer certos usos da água, tais como o abastecimento público, a irrigação, a navegação, a diluição de efluentes, etc.

O uso integrado do geoprocessamento com outras técnicas de análise ambiental representa excelente instrumento para gerar respostas mais precisas sobre a cobertura espacial de uma bacia, contribuindo para as tomadas de decisões e para o melhor planejamento do emprego dos recursos naturais.

Pelas evidências apresentadas, quanto à forma de ocupação de uma bacia, percebe-se que tal condição afeta o ciclo hidrológico local, logo é preciso que mudanças sejam aplicadas na gestão e no gerenciamento de bens hídricos, visando principalmente um melhor controle do uso e cobertura da terra das bacias hidrográficas da Região Amazônica.

REFERÊNCIAS

- BACANI, Vitor Matheus; LUCHIARI, Ailton. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da bacia do alto rio Coxim-MS. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 18, n. 1, p. 184-197, abr. 2014.
- BARÃO, W. N. *et al.* Técnicas de geoprocessamento aplicadas ao estudo do conflito de uso do solo em microbacias do município de Senador Amaral–MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1, p. 439-454, abr. 2021.
- BAYER, Débora Missio. **Efeitos das mudanças de uso da terra no regime hidrológico de bacias de grande escala**. 2014. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.
- BETANCOURT-SUÁREZ, Valentina; GARCÍA-BOTELLA, Estela; RAMON-MORTE, Alfredo. Flood mapping proposal in small watersheds: A case study of the rebollos and miranda ephemeral streams (Cartagena, Spain). **Water**, v. 13, n. 1, p. 102, jan. 2021.
- BRASIL. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 15 jun. 2022.
- COLLISCHONN, Walter; DORNELLES, Fernando. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. v. 1, 336 p.
- COSTA PEREIRA, L.; SILVA DE ALMEIDA, A.; MONTEIRO FERREIRA, B.; DE MIRANDA LAMEIRA, W. J.; PEREIRA DE ASSUNÇÃO, S. Mapeamento de uso e cobertura da terra e análise da estrutura da paisagem na bacia do rio Uraim. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 75, p. 225-239, maio 2020.
- CRUZ, R. C. **Prescrição de vazão ecológica: aspectos conceituais e técnicos para bacias com carência de dados**. 2005. 135f. Tese (Doutorado em Ecologia) – Instituto de

Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

DA COSTA MEDEIROS, Paulo; DE SOUSA, Francisco de Assis Salviano; RIBEIRO, Márcia Maria Rios. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 1, p. 131-147, 2011.

DA CRUZ, Denis Conrado *et al.* Priority areas for restoration in permanent preservation areas of rural properties in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**, v. 115, p. 106030, abr. 2022.

DA LUZ, Gabrielly Gregorio; GALVINCIO, Josiclêda Domiciano. Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPER. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 2, p. 1094-1107, abr. 2021.

DA SILVA CRUZ, Josias; BLANCO, Claudio José Cavalcante; DE OLIVEIRA JÚNIOR, José Francisco. Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. **Science of The Total Environment**, v. 811, p. 152348, mar. 2022.

DA SILVA, Gabriela Rousi Abdon *et al.* Análise de tendências nas séries históricas de precipitação e curva de permanência de vazão no município Cachoeira do Piriá, Pará. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, p. e38210615850, jun. 2021.

DE ARAUJO, Rodrigo da Cruz; PONTE, Marcos Ximenes. Efeitos do desmatamento em larga-escala na hidrologia da bacia do Uraim, Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 7, p. 2390-2404, set. 2016.

DE CARVALHO, Wallisson Moreira; COSTA, Denis Duda; JUNIOR, Carlos Ruberto Fragoso. Avaliação de diferentes fontes de dados de precipitação e seus impactos na simulação dos processos hidrológicos. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIII, Foz do Iguaçu – Paraná. **Anais [...] [recurso eletrônico]**. Porto Alegre: ABRH, 2019, p 1-10.

DE MESQUITA GOMES, Maria Raiane; CARVALHO, Bruna Lima; SOBRINHO, José Falcão. Geoprocessamento aplicado a análise das tecnologias sociais em ambientes geomorfológicos

distintos na sub-bacia Jaíbaras–Ceará. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 94820-94835, set. 2021.

DE SOUZA, Everaldo Barreiros *et al.* Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo REGCM4 (Seasonal precipitation over the Brazilian Legal Amazon: climate current and future projections using REGCM4 model). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, jan. 2016.

DE SOUZA, José Carlos; NUNES, Nelton Nattan Amaral; HERCULANO, Rosana Márcia da Costa Silva. Unidades de paisagem e dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do Rio das Pedras, Goiás, Brasil. **Cerrados**, v. 19, n. 1, p. 3-22, jan. 2021.

DO NASCIMENTO, Francisco Ivan Castro *et al.* Fisiografia fluvial da bacia hidrográfica do Rio Redenção no município de Rio Branco, Acre. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 10, p. 614-624, out. 2021.

DUARTE, Juliana Maia; BLANCO, Claudio José Cavalcante; SANTANA, Laila Rover. Estimativa de vazão máxima para projetos de barragem na bacia hidrográfica do rio Uraim em Paragominas/Pa. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 262-281, maio 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. **Caracterização e avaliação da potencialidade dos solos do Município de Paragominas-Estado do Pará**. Belém: [EMBRAPA], 2003.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental. **Características Agroclimáticas do Município de Paragominas-Estado do Pará**. Belém: [EMBRAPA], 2005.

FERNANDES, R. A. B. Discursos de sustentabilidade: o caso Paragominas. 2011. 94f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Informação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

- FIGUEIREDO, R. de O. Processos hidrológicos e biogeoquímicos em bacias hidrográficas sob usos agrícola e agroflorestal na Amazônia Brasileira. **Alternativa Agroflorestal na Amazônia em Transformação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. p. 477-500.
- FIGUEIREDO, R. de O. *et al.* Effects of land use change on stream water chemistry in three meso-scale catchments in Eastern Amazonia. *In: LBAECO SCIENCE TEAM MEETING*, 10., 2006, Brasília. **Anais [...]**. Manaus: LBA-ECO, 2006. p. 10-11.
- GORI, Avantika *et al.* Characterizing urbanization impacts on floodplain through integrated land use, hydrologic, and hydraulic modeling. **Journal of hydrology**, v. 568, p. 82-95, 2019.
- HE, Chansheng; JAMES, L. Allan. Watershed science: Linking hydrological science with sustainable management of river basins. **Science China Earth Sciences**, v. 64, n. 5, p. 677-690, abr. 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Cidades@**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/paragominas/panorama>. Acesso em: 22 maio 2022.
- LANGAT, Philip Kibet *et al.* Hydro-morphological characteristics using flow duration curve, historical data and remote sensing: effects of land use and climate. **Water**, v. 11, n. 2, p. 309, fev. 2019.
- MARTINHAGO, Denise *et al.* Balanço hídrico de uma bacia hidrográfica localizada no oeste do estado do Paraná. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, p. 965-970, 2021.
- MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, 2013.
- MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2016.
- MOURA, Maíra M. *et al.* Influence of different relief information sources on the geomorphological characterization of small watersheds. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 93, 2021.
- NUNES, Elizon Dias *et al.* Geoprocessing Applied in the Estimate of Infiltration and Surface Runoff in HPP's Contribution

Watershed. **Journal of Geographic Information System**, v. 13, n. 6, p. 643-659, dez. 2021.

AGÊNCIA DE SANEAMENTO DE PARAGOMINAS (SANEPAR). **Bacia do Uraim**. 2022. Disponível em: https://saneparagominas.com.br/servicos_agua/. Acesso em: 23 maio 2022.

SILVA, C. N. da; SILVA, E. K. L. R. da. **Fundamentos do geoprocessamento com o uso do QGIS. [Recurso eletrônico]**. Vol. I. Belém: GAPTA-UFGA, 2021.

SILVA, César de Oliveira Ferreira; MANZIONE, Rodrigo Lilla. Revisitando a regionalização de vazões na região do Médio Paranapanema no Estado de São Paulo: utilização de curvas de permanência em microbacias hidrográficas. **Revista do Instituto Geológico**, v. 41, n. 2, p. 1-13, 2020.

SOUZA JR., Carlos M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, p. 2735, ago. 2020.

PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de *et al.* Avaliação de vazões de referência estimadas a partir de modelagem hidrológica continental. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXIII, 2019, Foz do Iguaçu - Paraná. **Anais [...]**. Porto Alegre: ABRH, 2019, p 1-10.

PEREIRA, Lucimar Costa *et al.* Análise de uso e cobertura da terra na microbacia do rio Uraim, Paragominas-Pa. *In*: SIMPÓSIO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS NA AMAZÔNIA, VII, 2018, Belém – PA. **Anais [...]**. Belém, 2018, p 1-9.

PIROVANI, D. B. Estudo da fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.

TUCCI, Carlos E. M. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: Ed. UFRGS; ABRH, 2012.

VILLELA, Swami Marcondes; MATTOS, Arthur. **Hidrologia aplicada**. [S. l.]: McGraw-Hill do Brasil, 1975.

VON SPERLING, Marcos. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2. ed. Belo Horizonte: Ed. UFMG, 2014.

YANG, Dawen; YANG, Yuting; XIA, Jun. Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. **Geography and Sustainability**, v. 2, n. 2, p. 115-122, maio 2021.

WEIBULL, W. A Statistical Distribution Function of Wide Applicability. **Journal of Applied Mechanics**, v. 18, p. 293-297, 1951.

ZHAO, Fangfang; XU, Zongxue; ZHANG, Lu. Changes in streamflow regime following vegetation changes from paired catchments. **Hydrological processes**, v. 26, n. 10, p. 1561-1573, maio 2012.

ARQUEOLOGIA EM SISTEMAS FLUVIAIS E OCEÂNICOS: ANÁLISE DE VARIÁVEIS HIDROLÓGICAS E GEOAMBIENTAIS NA DEFINIÇÃO DE POTENCIAIS ARQUEOLÓGICOS SUBAQUÁTICOS

Jardel Stenio de Araujo Barbosa¹

Paula Rocha Marino de Araujo²

INTRODUÇÃO

Os seres humanos e as civilizações do passado sempre viveram, de alguma maneira, ligados aos corpos hídricos, pois obviamente dependiam destes recursos para a sua sobrevivência, o que permitiu a sua fixação em zonas costeiras, em estuários e em rios e oceanos, deixando marcas nestas paisagens. Tais marcas são conhecidas como sítios arqueológicos, ou seja, locais em que são encontrados vestígios de antigas culturas materiais humanos, deixados em determinado espaço ou ambiente (FUNARI, 2007).

Geograficamente, os sítios arqueológicos podem ser encontrados em regiões de montanhas, em praias, em estuários, em planícies, etc. e em diferentes contextos climáticos, ou seja, em todos os lugares, pelos quais o ser humano passou e nos quais produziu alterações, incluindo o meio subaquático.

¹ Mestrando em Ciências Marinhas, com ênfase em Oceanografia (UNEATLÂNTICO-ESP), bacharel em Arqueologia e especialista em Arqueologia Náutica e Subaquática (IPT-PT), com pós-graduação em Análise de Ambientes Aquáticos e Continentais (UNIARA), e coordenador da empresa Arqueologista – Consultoria Arqueológica. Contato: jardelstenio@gmail.com.

² Bacharel em Arquitetura e Urbanismo (UEM), pós-graduada em Arqueologia (Claretiano), e gestora da empresa Arqueologista – Consultoria Arqueológica. Contato: paulamarino.arq@gmail.com.

A Arqueologia Subaquática tem o foco em estudar as evidências materiais humanas, que estão em contextos ou ligados a ambiente aquáticos, seja em rios, seja em lagos, seja em estuários, seja em oceanos, seja em mares. Os espaços com tais vestígios são denominados sítios arqueológicos subaquáticos e estes restos podem incluir materiais de naufrágios, artefatos líticos e cerâmicos, estruturas portuárias submersas, fragmentos de utensílios de pesca e até grandes ruínas.

Nesse âmbito, o enfoque deste trabalho é no ambiente costeiro, especificamente nos estuários, que são os rios que têm contato direto com o meio ambiente marinho, sendo lugares de transição fluviomarina ainda são pouco explorados, em termos de Arqueologia Subaquática.

Assim, o presente estudo visa expor a importância da análise ambiental, através dos aspectos hidrológicos e da geomorfologia fluvial, para a definição de áreas ou regiões com padrões locais de identificação de sítios arqueológicos em contextos submersos, em especial em áreas de estuários, chamados ambientes transitórios de contexto fluviomarinho ou sistemas fluviais-oceânicos (ROSSETTI, 2008).

Os avanços das geotecnologias nas últimas décadas têm contribuído de forma significativa para as pesquisas de prospecção arqueológica subaquática. Recursos, como o geoprocessamento, a análise e processamento de imagens de satélites, a acústica submarina, entre outros, tem sido cada vez mais necessária às pesquisas arqueológicas, contribuindo de forma significativa para a redução do tempo dos trabalhos de campo e para o refinamento dos processamentos de dados, trazendo, conseqüentemente, uma melhor interpretação destes.

Nesse contexto, será demonstrada, nesse trabalho, através de um aporte teórico-metodológico, a aplicabilidade de algumas destas ferramentas na Arqueologia Subaquática. Nesse sentido, foi selecionada uma região do município de Tutóia (MA), situada no espaço do Delta do Rio Parnaíba, entre os estados do Piauí e do Maranhão, no Nordeste brasileiro, em que é possível determinar

áreas com potenciais de existência de sítios arqueológicos em contexto submerso.

É fundamental entender os sistemas estuarinos e oceânicos destes ambientes de transição, pois estas condicionantes afetam diretamente a disposição dos espaços arqueológicos, bem como sua preservação ou deterioração no leito de rios ou fundo de oceanos, pois estão em contato direto com efeitos físicos, químicos e biológicos da natureza. É neste aspecto que a multidisciplinaridade dos aportes teóricos e metodológicos irão contribuir para as pesquisas arqueológicas subaquáticas.

Como metodologia, serão analisadas imagens de satélites, através do *software Google Earth*, tendo, como base, a contribuição teórica das geociências, como a Oceanografia e as Geomorfologias Costeira e Fluvial, que comumente servem a Arqueologia Subaquática na definição de áreas potenciais de sítios arqueológicos de naufrágios e de estruturas portuárias antigas. Por fim, como produto, será gerada uma Carta de Potencial Arqueológico de Sítios Subaquáticos para a região selecionada do Delta do Parnaíba.

Portanto, esse trabalho contribui com a formatação de uma carta de sensibilidade arqueológica do espaço do Delta do Parnaíba, em um contexto de condicionantes fluviais e oceanográficas de transição, o que torna esta região muito particular, permitindo, ainda, a continuidade e o desenvolvimento de pesquisas de campo de diversos outros pesquisadores, que desejam estudar esta área-alvo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ÁREA DE ESTUDO

Nessa metodologia, a presente pesquisa se desenvolve, através de uma revisão bibliográfica especializada, com apoio da análise de materiais cartográficos do contexto geoambiental da área de estudo.

Nesse trabalho, o contexto geoambiental significa a junção de aspectos da Geomorfologia Fluvial e da Hidrologia e de características principais de bacias hidrográficas. Tais atributos contribuem diretamente para determinar áreas com maiores potenciais de identificação de sítios arqueológicos subaquáticos em zonas de transição costeiro-oceânica. A partir destes dados, pretende-se estruturar uma tabela, com variáveis geoambientais importantes para a Arqueologia Subaquática, e produzir um mapa, revelando o potencial arqueológico da área de estudo.

AQUISIÇÃO DE DADOS CARTOGRÁFICOS E GEOFÍSICOS E DE IMAGENS DE SATÉLITES

Para formatar este conjunto de variáveis geoambientais, foi analisado e processado um conjunto de dados, como arquivos em formatos *shapefile* e vetor, no *software* QGIS, que indica características da geomorfologia regional, da geologia marinha e da hidrografia da rede fluvial. Nesse sentido, foram utilizados, como parâmetros, os dados batimétricos e oceanográficos do regime de ondas (intensidade, altura e clima) e os dados das oscilações de marés, disponíveis em diferentes plataformas governamentais e não governamentais (Tabela 1).

Tabela 1 – Plataformas e tipos de dados utilizados na pesquisa

Plataforma Utilizada	Tipo de dados adquiridos
https://www.snirh.gov.br/hidroweb/mapa	Dados hidrográficos e hidrológicos
https://geosgb.cprm.gov.br/	Dados geofísicos e batimétricos
https://geoportal.cprm.gov.br/geosgb	Dados geológicos e geomorfológicos
https://earth.nullschool.net/	Dados meteorológicos e oceanográficos

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Por fim, o geoprocessamento deste conjunto de dados e as análises de imagens de satélite do *Google Earth*, a partir do *software* QGIS, foram as principais ferramentas empregadas na geração dos mapas presentes neste artigo.

ÁREA DE ESTUDO: CARACTERÍSTICAS GEOAMBIENTAIS DA REGIÃO DO MUNICÍPIO DE TUTÓIA (MA)

A região de estudo abrange o sistema estuarino do município de Tutóia, no estado do Maranhão, localizado no Norte do Brasil, fazendo parte da Área de Preservação Ambiental do Delta do Parnaíba. O município está sob as coordenadas centrais UTM 23 M 803558 E 9694763 S, possuindo uma área total de 1.651,6 km² (IBGE, 2010).

O espaço da cidade pode ser caracterizado pela presença de campos dunares, de lagoas pluviais, de diversos rios, que desaguam no oceano, e de grandes feições geomorfológicas, como ilhas e baías. Nessas, prevalecem sedimentos detriticos, expostos à intensa aceleração de processos de erosão, de transporte e de deposição, dando origem a diversas ilhas na região (BRASIL, 2001). A Figura 1 apresenta a localização da região e seus conjuntos de ilhas.

Figura 1 – Localização das Ilhas Holocênicas no município de Tutóia (MA)



Fonte: elaborado pelos autores (2022), a partir de *Google Earth*

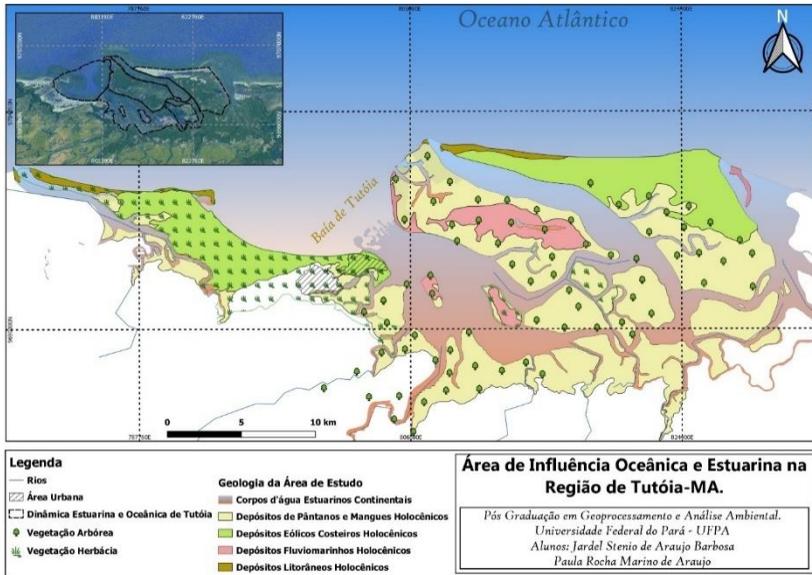
A Norte e a Nordeste do município, localizam-se duas das maiores ilhas da região de Tutóia, popularmente conhecidas como Ilha Grande do Paulino e Ilha da Melancieira.

Em um primeiro momento, a partir da análise de imagens de satélite, nota-se que a Ilha Grande do Paulino funciona como uma barreira, que causa a diminuição e a limitação dos efeitos da dinâmica oceânica (ondas e marés) na linha de costa da área urbana do município. No entanto, os resultados da dinâmica estuarina se tornam mais intensos, devido à grande carga de sedimentos fluviais, havendo um sistema deltaico-estuarino complexo na região, atualmente (SILVA, 2018).

O mapa da Figura 2 foi confeccionado com o *software* QGIS, a partir de dados geomorfológicos, hidrográficos, geológicos e oceanográficos em formato *shapefile*, disponíveis nas plataformas Hidroweb, da ANA³, e GEOSBG, do CPRM. A compilação destes dados permitiu a geração de um mapa ilustrativo da dinâmica geoambiental da área de estudo.

³ O Portal HidroWeb é uma ferramenta do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos, que detém um banco de dados com todas as informações coletadas pela Rede Hidrometeorológica Nacional (RHN) (disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/apresentacao>, com acesso em: 5 jul. 2022).

Figura 2 – Mapa da área de influências oceânica e estuarina na região em estudo



Fonte: elaborado pelos autores (2022), a partir de CPRM

Esse mapa é importante para demonstrar visualmente a dinâmica de vários elementos da natureza, englobando os meios físicos, biótico e antrópico. Em termos antrópicos, percebe-se que a área urbana de Tutóia tem avançado sobre as margens da linha de costa, com infraestruturas de casas e de lazer, que podem intensificar os impactos humanos nos sítios arqueológicos. Além disso, atividades de agricultura, de pecuária e de carcinicultura são dominantes na região e representam fatores que também podem contribuir para a mudança da paisagem local⁴ (SILVA, 2018).

Ainda de acordo com o mapa gerado, são facilmente identificadas, nas imagens de satélite, as feições geomorfológicas das ilhas, das barras e das baías da região, assim como a grande interação entre os sistemas fluvial e marinho, que dá origem ao

⁴ A paisagem, nesse caso, a natural, pode ser entendida como o conjunto de componentes da natureza, como praias, rios, lagos, montanhas, etc. podendo estar mais ou menos modificada pela ação humana.

Delta do Parnaíba. A grande variedade de ilhas e de barras de Tutóia é formada por sedimentações fluviais de diversos rios, que deságuam no oceano, e por movimentos de recuo e de avanço do mar, durante o Quaternário (Pleistoceno e Holoceno), dinâmica comumente associada à formação de estuários em ambientes tropicais (PRITCHARD, 1955; SILVA, 2018).

QUADRO CONCEITUAL-TEÓRICO

ARQUEOLOGIA E HIDROLOGIA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS E DOS SISTEMAS FLÚVIO- OCEÂNICOS LOCAIS

É consenso que ambientes de interação entre rios e oceanos (estuários) são espaços ecossistêmicos, que despertam o interesse dos seres humanos, desde a pré-História, sendo atrativos para atividades, tais como pesca, coleta, caça, obtenção de matérias-primas, deslocamento, navegação, etc.

Nessa grande área de interação costeiro-oceânica, os grupos humanos antigos têm deixado marcas na paisagem, que funcionam como geoindicadores de suas presenças. Tais locais são conhecidos como sítios arqueológicos e estão localizados, tanto em ambientes terrestres quanto aquáticos, sendo que os estudos dos sítios submersos são feitos pela Arqueologia Subaquática, interagindo com ambientes físicos de oceanos, de mares, de lagos, de estuários e de pântanos (RAMBELLI, 2002). Sob a perspectiva hidrológica-fluvial-oceânica, a Arqueologia exige, do pesquisador, uma série de conhecimentos específicos, de técnicas e de métodos de análises de outras ciências, como os da Oceanografia, para a investigação de elementos em águas rasas e profundas de oceanos, os das geomorfologias Costeira e Fluvial, os da Geografia da Paisagem, os da Hidrodinâmica, os da Geologia, os da Hidrografia, etc.

Um conceito recente afirma que a Arqueologia de Sistemas Fluviais compreende a interação entre o estudo arqueológico e o ambiente físico-fluvial, utilizando-se dos conhecimentos das Ciências da Terra, especialmente da Geologia (Sedimentologia, Estratigrafia) e da Geomorfologia Fluvial (RUBIN *et al.*, 2017). Esse autor também afirma que a maioria dos sítios arqueológicos está próxima de algum corpo hídrico. É evidente que sim, afinal os grupos humanos pré-históricos necessitavam dos recursos hídricos para a sua subsistência. Nesse sentido, os principais estudos arqueológicos definem que qualquer margem ou leito de rio pode ser considerada área de potencial arqueológico, ou seja, possui chances de conter sítios arqueológicos (BICHO, 2006).

Renomados autores da ciência arqueológica, como Nuno Bicho (2006), indicam que, em contextos fluviais, a volta sinuosa de um rio se configura como um local de potencialidade arqueológica, devido ao fato de a dinâmica fluvial ali existente se caracterizar pela existência de águas mais calmas e de ser bom reduto para pesca e para lascamento de ferramentas líticas. Segundo Bicho (2006), as áreas de curvas dos rios podem ser entendidas como locais de observação da dinâmica de deposição de sedimentos, uma vez que partículas mais leves, como argilas e siltes, são transportadas por cima do rio, e outras, maiores, são levadas por correntezas mais fortes do fundo. Além disso, esses locais podem conter elementos arqueológicos oriundo de outras regiões do rio.

Kashimoto (1997) destaca alguns integrantes de variáveis ambientais, que indicam áreas de alto potencial de presença de sítios arqueológicos. Entre eles, a autora destaca locais de topografia elevada, pouco afetados pelas inundações, tangenciados por corpos d'água e com afloramentos litológicos, como:

[...] área de foz afluente; ilhas; margens de corredeiras, favoráveis à captação de animais aquáticos e matéria-prima lítica; elevações topográficas em áreas de várzea (paleoilhas); terraço ou média vertente de declividade suave; colos, ou seja, depressões que se destacam na linha

de crista de serras, possíveis locais de passagem; áreas de afloramento de matéria-prima, como cascalheiras ou do substrato possuidor de rochas aptas ao lascamento, como o arenito silicificado. (KASHIMOTO, 1997, p. 57)

Em contexto hidrológico fluvial, os terraços fluviais e as zonas deltaicas também se mostram importantes geoindicadores de sítios arqueológicos, tanto em ambientes terrestres quanto em espaços subaquáticos, pois estes locais apresentam terrenos relativamente planos e próximos a importantes canais fluviais, que se conectam a oceanos, ou seja, grandes populações antigas viveram sobre estas terras e navegaram sobre estas águas, para sair ou para entrar no continente.

No que se refere à classificação de escalas de corpos hídricos, ainda existem muitas denominações regionais. As mais utilizadas dizem respeito ao porte e à escala de vazão hídrica, que podem ser associadas a estudos arqueológicos, são rios, igarapés, córregos, ribeirões e riachos.

Para Guerra (1987, p. 372, inserção nossa): “rio [é uma] corrente líquida resultante da concentração do lençol de água em um vale. Um curso de água pode, em toda sua extensão, ser dividido em três partes: 1– curso superior; 2– curso médio; e 3– curso inferior”. O córrego pode ser configurado como um curso de água corrente de pequeno porte, ocorrente em todas as regiões brasileiras. Os igarapés, denominação comum nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, segundo o dicionário Houaiss (2006), são canais naturais estreitos e navegáveis, por pequenas embarcações, que se formam entre duas ilhas fluviais ou entre uma ilha fluvial e a terra firme. Os riachos conformam um curso ou corrente de água, que flui ou desemboca no oceano, num lago ou noutra curso de água (GUERRA, 1987). Essas são as quatro escalas hidrológicas, que serão trabalhadas como fatores hidrológicos geoambientais.

No que concerne à definição de bacias hidrográficas, muitos trabalhos acadêmicos trazem acepções semelhantes, mas, nessa tarefa, foi usada a significação dos autores Pires, Santos e Prette (2002): um conjunto de vertentes, constituídas pela

superfície do solo, e de uma rede de drenagem, formada pelos cursos d'água que confluem, até chegar a um leito único no ponto de saída.

Os autores ainda abordam a importância dos estudos das Bacias Hidrográficas nas diversas áreas do conhecimento.

O conceito de Bacia Hidrográfica (BH) tem sido cada vez mais expandido e utilizado como unidade de gestão da paisagem na área de planejamento ambiental. Na perspectiva de um estudo hidrológico, o conceito de BH envolve explicitamente o conjunto de terras drenadas por um corpo d'água principal e seus afluentes e representa a unidade mais apropriada para o estudo qualitativo e quantitativo do recurso água e dos fluxos de sedimentos e nutrientes. (PIRES; SANTOS; PRETTE, 2002, p. 17)

Nesse sentido, conforme o conceito de bacia hidrográfica e dada a sua importância, o seu exame tem se ampliado para além dos estudos ambientais, envolvendo também o conhecimento arqueológico, pois muitas pesquisas agrupam sítios arqueológicos aos limites espaciais de bacias. Nesse sentido, vários autores, no âmbito do conhecimento arqueológico, utilizam as bacias hidrográficas como parâmetros para o gerenciamento de espaços arqueológicos, bem como para a interpretação dos sítios inseridos nos contextos das paisagens geográficas (CHAGAS, 2017; LINO, 2007; SILVA; AMORIM, 2018).

O sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica possui algumas feições, que podem ser relacionadas à Arqueologia. Entre elas, destacam-se os rios principal, os tributários e o exutório.

Segundo a Agência Nacional das Águas (ANA), a expressão rio principal, em Hidrologia, define o curso de água principal em determinada bacia hidrográfica, para a qual todas as correntes afluentes correm. Em termos de ordem, o rio principal é o que tem o maior valor entre as ramificações do sistema (PEDRAZZI, 1999).

Afluentes ou tributários são rios e cursos de água menores, que desaguam em rios principais e que não fluem diretamente para um oceano, para um mar ou para um lago. Os afluentes e o rio principal servem para drenar determinada bacia hidrográfica. Ao ponto de junção entre um rio e um afluente é dado o nome de confluência (PEDRAZZI, 1999).

Segundo Poletto (2014), exutório ou foz é o ponto de um curso d'água, em que se dá todo o escoamento superficial gerado no interior da bacia hidrográfica banhada por este curso. Diante deste arcabouço, percebe-se que esta não é uma pesquisa simples e demanda sempre uma equipe multidisciplinar, para contribuir com a análise do contexto ambiental de inserção do sítio arqueológico e da sua condição de preservação, assim como para estudar de que modo o artefato está se deteriorando no meio ambiente.

Nesse contexto, mesmo que as áreas de maior potencial sejam elencadas como espaços dotados de dinâmicas fluviais terrestres, por algum motivo natural ou antrópico, essas poderão vir a ficar em contato com a água e serem temas de investigação, por parte da Arqueologia Subaquática.

ARQUEOLOGIAS SUBAQUÁTICA E OCEANOGRÁFICA

A Arqueologia Subaquática tem, por objetivo, estudar a cultura material produzida pelos seres humanos no passado, que, hoje, encontra-se em contato direto com corpos d'água, de forma submersa ou semi-submersa, seja por águas interiores (rios, lagos, pântanos, lagoas), seja por águas oceânicas e estuarinas (BASS, 1979).

Nesse sentido, os sítios arqueológicos subaquáticos, produtos desta cultura material, englobam restos de naufrágios e partes que o compõem, artefatos que estavam em terra, mas que, por algum motivo tectônico ou de enchente, ficaram submersos, elementos que foram deslocados até algum corpo d'água, como rios, lagos e oceanos, ruínas submersas, etc. Ou seja, basta o sítio

arqueológico estar em contato com um corpo hídrico, que poderá ser alvo de uma pesquisa arqueológica subaquática.

Em Arqueologia Subaquática, tem-se uma divisão, em termos de metodologia aplicada, muito devido às condições oceanográficas que se impõem à pesquisa, cujo desenvolvimento poderá ser realizado em águas rasas ou profundas. O conceito teórico da Arqueologia Subaquática sempre será o mesmo, porém os métodos e as técnicas serão adaptados a cada contexto (ALVES; MANTAS, 2015).

Por muito tempo, a Arqueologia Subaquática foi tida apenas como um método da Arqueologia convencional, quando, na verdade, essa ciência é uma adaptação da pesquisa de campo arqueológica ao meio aquático, assim como também são adaptadas as técnicas e as metodologias de aquisição, de processamento e de interpretação de dados da ciência original, uma vez que, nessa prática arqueológica, há contato direto com técnicas de mergulho e com obstáculos que as condicionantes ambientais podem impor ao pesquisador (BASS, 1979).

Existem diversos sítios arqueológicos subaquáticos passíveis de investigações, no entanto os naufrágios estão entre os testemunhos da cultura material do passado mais estudados pelos arqueólogos subaquáticos, pois podem contribuir com informações relevantes sobre a história da cultura marítima ou fluvial de uma sociedade (RAMBELLI, 2002).

Pesquisas arqueológicas em ambientes fluviais também possuem suas particularidades: a visibilidade do corpo hídrico é uma das condições que se impõe ao pesquisador neste ambiente; e o curso fluvial possui correntes, que obstruem a verificação *in loco* do arqueólogo. Eis porque as técnicas geofísicas e de sonografia acústica contribuem para a determinação de alvos potenciais de investigação (BASS, 1979).

Segundo Feitosa (1989), as condições oceanográficas na natureza correspondem aos aspectos físicos, químicos e geológicos da água do mar, que são dinâmicos, de acordo com a localização geográfica. Em termos de morfologia, os principais fatores oceanográficos estudados são as ondas, as correntes e as marés,

que mudam com a localização geográfica da área em foco, dependendo, também, de outras condições, como temperatura, estrutura geológica, relevo, amplitude de marés, etc. (CHRISTOFOLETTI, 1981).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

QUADRO DE DIAGNÓSTICOS HIDROGEOAMBIENTAIS PARA A ARQUEOLOGIA SUBAQUÁTICA

A partir da análise da dinâmica ambiental e do exame e processamento dos dados espaciais adquiridos, foram definidas as principais variáveis geoambientais, que podem auxiliar na identificação de sítios arqueológicos subaquáticos e que podem ser aplicadas à área de estudo. Associado a isto, foram determinadas algumas regiões do Delta do Parnaíba, que fazem limites com o município de Tutóia.

A partir do arcabouço teórico já discutido e das metodologias de aquisição e de análise espacial (revisão de mapas, de imagens de satélites e de dados levantados) apresentadas na pesquisa, foi confeccionado um quadro das variáveis geoambientais consideradas as mais importantes na definição do potencial de existência de sítios arqueológicos subaquáticos.

Quadro 2 – Relação entre as variáveis geoambientais e o potencial arqueológico subaquático

Variável	Feições	Grau de potencial
Geomorfologia fluvial	Ilhas fluviais	Alto
	Baías	Alto
	Meandros (curvas de rios)	Alto
	Barras arenosas	Alto
Hidrologia	Rios	Alto
	Córregos	Médio
	Igarapés	Médio
	Nascentes	Baixo
Bacia hidrográfica	Rio principal	Alto
	Rios tributários	Alto
	Exutório	Médio

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

No quadro, foram determinadas as principais feições geomorfológicas e hidrológicas, no que concerne ao porte da escala hídrica das partes que compõem as bacias hidrográficas, em associação com seus potenciais arqueológicos subaquáticos, definidos entre alto, médio e baixo. Essas condicionantes geoambientais foram elencadas, a partir da contribuição da experiência em trabalhos de campo e das pesquisas acadêmicas dos autores de referência desta investigação, que poderão ser aplicadas na área de estudo.

A classificação do porte dos recursos hídricos, como rios, córregos, ribeirões, igarapés, riachos, etc., muito contribui para a associação com áreas de potencial arqueológico, pois quanto maior é o volume de água, maior será a probabilidade de o corpo hídrico conter nutrientes e vida aquática, e, portanto, de possuir recursos para atrair grupos humanos do passado.

Nesse sentido, conforme o quadro anterior, no fator geoambiental, a hidrologia abrange rios, córregos e igarapés, que se apresentam como áreas de alto potencial. Já as nascentes, apesar de terem uma classificação hídrica importante, são consideradas de

baixo potencial arqueológico, devido a sua escala menor e à baixa densidade de ocupação de suas áreas de influência, uma vez que se apresentam em áreas geralmente montanhosas e com topografia íngreme, sendo desfavoráveis a ocupações pretéritas. Como discutido, quanto maior é a escala do corpo hídrico, maior a chance de ele conter locais arqueológicos.

No fator geomorfológico fluvial, entende-se que ilhas, baías, meandros e barras arenosas possuem alto potencial arqueológico, sendo consideradas alvos de pesquisa direta em trabalhos de campo. São feições atrativas a grupos humanos antigos por possuírem muitos recursos de subsistências, e estes podem ter deixado vestígios faunísticos, alimentares, de caça, etc. nestes locais. As margens das feições ainda podem ter áreas de afloramento rochosos, que serviriam de matéria-prima para a fabricação de ferramentas líticas lascadas e polidas, de estruturas portuárias, etc.

Além disso, estudos específicos sobre as curvaturas de meandros apontam que estes podem ser de origem natural, decorrentes da própria dinâmica do sistema fluvial ou da ação antrópica antiga, indicando a presença de sítios arqueológicos.

Os fatores geomorfológicos fluviais podem facilitar a identificação de locais arqueológicos, assim como de atividades realizadas em tais ambientes, uma vez que são naturais e seguem padronizações, que podem ser usadas como modelos preditivos (RUBIN *et al.*, 2017).

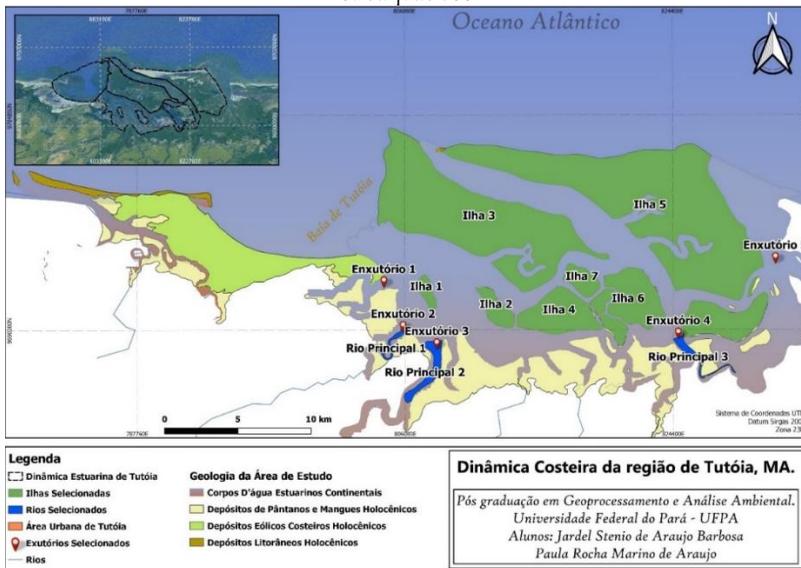
Da mesma forma, os sistemas fluviais de transição marinha, como estuários, são feições ambientais de alto potencial arqueológico, tendo sido historicamente ocupadas por povos contemporâneos e pré-históricos, com culturas diferentes, deixando suas marcas nestas paisagens.

Indiscutivelmente, esses locais são fontes de informações para a Arqueologia. Nesse sentido, os “mapeamentos” hídrico e geomorfológico de espaços de interação estuário-oceano, áreas de potencial arqueológico, fazem-se importantes em exames arqueológicos nestes ambientes.

ANÁLISE E MAPA DE SENSIBILIDADE ARQUEOLÓGICA SUBAQUÁTICA PARA A REGIÃO DE TUTÓIA

O mapa de sensibilidade arqueológica para sítios subaquáticos é importante para demonstrar espacialmente a alocação de fatores geoambientais e para colocar em prática o aporte teórico discutido neste estudo, a partir da investigação de um sistema dinâmico flúvio-oceânico economicamente importante para a região nos aspectos físico, biológico e antrópico. Assim, o mapa que segue é produto desta pesquisa e foi confeccionado, através do *software* QGIS, trazendo algumas destas variáveis, que podem indicar a presença de vestígios arqueológicos.

Figura 3 – Mapa de sensibilidade arqueológica para sítios arqueológicos subaquáticos



Fonte: elaborado pelos autores (2022), a partir de CPRM

De acordo com o mapa, e considerando os aspectos da geomorfologia fluvial, a partir de imagens de satélite e do uso do *software* *Google Earth*, foi selecionado um conjunto de cinco ilhas, as

quais foram denominadas, no mapa, como “Ilha”, recebendo uma numeração em ordem crescente, cujas margens podem concentrar resquícios em meios submerso e terrestre. Vários canais, conhecidos como igarapés, são identificáveis nestas ilhas, os quais podem ter servido de rotas de navegações entre as porções de terra, possibilitando a ocorrências de naufrágios na área.

No que concerne aos aspectos hidrológicos e às partes que compõem uma bacia hidrográfica, foram selecionados os três rios principais da área de estudo, que apresentam alto potencial arqueológico, os quais foram denominados, no mapa, “Rio Principal”, também recebendo uma numeração em ordem crescente.

Do mesmo modo, foram indicados, no mapa da área de estudo, cinco locais denominados “Exutório”, que também receberam numeração em ordem crescente. Em uma análise mais simplista da grande extensão examinada, esses três constituintes foram considerados os mais importantes na definição da potencialidade arqueológica da área.

Essa representatividade se torna importante na Cartografia, pois auxilia na visualização espacial de áreas consideradas de grande potencial arqueológico. Além disso, o espaço em foco possui uma extensa área de drenagem e apresenta rios de grande porte, que desaguam no mar, o que também facilita a entrada de embarcações no continente, aumentando a probabilidade de ocorrência de vestígios arqueológicos.

Historicamente, a região foi alvo de muitas navegações, tanto comerciais quanto de turismo. Mas a atividade de navegação ocorre, desde a pré-História, possivelmente quando populações indígenas ribeirinhas dominavam e exploravam a região, através de canoas monóxilas, as quais estão entre os principais restos arqueológicos subaquáticos de naufrágios do contexto pré-colonial brasileiro e podem estar nos leitos dos rios e do mar locais.

A partir desta análise geoambiental, balizada pelo aporte teórico discutido, podemos indicar que toda a área de estudo pode apresentar alto valor arqueológico, considerando a grande possibilidade de conter vestígios submersos. Os resultados deste

estudo podem ser encarados como uma tentativa de desenvolvimento de modelos preditivos para sítios subaquáticos, em que se busca prever a ocorrência de estruturas arqueológicas, baseado em padrões ou tendências de existência de fatores geoambientais.

Renato Kipnis (1997) faz uma consideração importante sobre modelos preditivos em estudos arqueológicos, sustentando que, quando um pesquisador descobre um padrão de sítio arqueológico disposto no meio ambiente, tal possibilita desenvolver hipóteses para explicar o modelo observado, para prever a ocorrência de outros sítios e para delimitar uma área com potencial para estudos interventivos em campo. Essa estratégia é comum em projetos estadunidenses de arqueologia, em que se segue uma tática estatística inferencial, com o intuito de reduzir áreas de prospecção, a partir das variáveis ambientais presentes no local de investigação.

O uso do SIG é muito importante nestes trabalhos de definição de áreas de potenciais arqueológicos e pode melhorar o conhecimento sobre a distribuição dos padrões destes sítios, com relação ao uso da terra e à interação entre populações pré-históricas e meio ambiente. Além disso, para a Arqueologia, o SIG tem se tornado importante para gerar dados secundários, a fim de produzir e armazenar informações de interesse, como topografia, relevo, bacias hidrográficas, declividades, etc. O conjunto de dados dispostos em um SIG poderá gerar modelos preditivos eficientes para os estudos arqueológicos.

DISCUSSÃO FINAL

A área-alvo de estudo foi considerada de alto potencial de ocorrência de vestígios arqueológicos em contextos submersos, podendo ser, por exemplo, ferramentais de pedras lascadas, confeccionadas nas bordas das ilhas e que, por algum motivo, tiveram contato com a água; e marcas de gravuras rupestres, que se localizam em afloramentos rochosos e, com a dinâmica fluvial,

podem ficar submersas ou semi-submersas. Como mencionado, o espaço em exame possui uma grande rede fluvial, que desagua no mar, possibilitando navegações de pequeno a grande porte, o que aumenta a possibilidade de ocorrências de naufrágios na região.

Nesse artigo, também ficou evidente a importância das ferramentas de geotecnologia nos estudos arqueológicos em ambientes fluviais e marinhos (oceânicos), como, por exemplo, o uso de imagens de satélites, de sistemas de informações geográficas, de *software* de geoprocessamento, etc. Essas ferramentas possibilitaram a montagem de uma análise espacial da área de estudo, sem uma ida a campo, permitindo avaliar e analisar a dinâmica dos ambientes e possibilitando melhores compreensões dos espaços, das dinâmicas e das possíveis relações entre os sítios arqueológicos potencialmente presentes no espaço.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse trabalho teve o objetivo de expor a aplicabilidade das ciências ambientais, a partir de algumas características físicas do meio ambiente, que interferem e que indicam a possibilidade da presença de espaços arqueológicos em sistemas fluviais costeiro-oceânicos. Foi possível perceber, durante a pesquisa, que o conhecimento de diferentes campos de estudo das geociências possibilita muitos ganhos científicos para a Arqueologia, considerando os diferentes objetivos de pesquisa.

O estudo possibilita concluir que o uso da análise ambiental vai além de apenas contribuir e remediar a conservação dos recursos naturais; essa deve ser usada de forma multidisciplinar e interdisciplinar em estudos arqueológicos, principalmente para o desenvolvimento de modelos preditivos para sítios subaquáticos em ambientes de interação costeiro-oceânica.

As análises interdisciplinares e a definição de fatores geoambientais utilizados na pesquisa possibilitaram a identificação de feições geomorfológicas/hidrológicas mais propícias à presença de locais arqueológicos subaquáticos. O mapeamento realizado

também possibilitou um melhor reconhecimento da dinâmica costeira da região, tendo sido identificados diferentes conjuntos de ilhas, de rios principais e de áreas consideradas como exutórios.

Além disso, o estudo permitiu a organização de diferentes variáveis geoambientais, as quais são importantes para a Arqueologia Subaquática, como os aspectos hidrológicos, com relação à escala de porte hídrico (rios, córregos e igarapés) correlacionando-os à probabilidade de ocorrência de vestígios de utilização humana do recurso hídrico. A geomorfologia fluvial também se destacou nesta investigação, correlacionando ilhas, baías, meandros e barras arenosas, ao passo que as bacias hidrográficas, já utilizadas em muitas pesquisas arqueológicas como parâmetros de classificação e de gestão de sítios arqueológicos, foram empregadas, neste trabalho, como balizadoras de potencial de análise de rios principais, de rios tributários e de exutórios.

Igualmente, a pesquisa demonstra, mesmo não sendo o seu foco principal, que a utilização das geotecnologias e dos sistemas de informação geográfica (SIG) foi essencial na análise ambiental da área de estudo e, nesse sentido, consideramos que a junção destas ferramentas pode possibilitar uma análise integrada do meio ambiente, com relação aos sítios arqueológicos, tanto em contexto subaquático quanto terrestre.

Por fim, as atividades humanas em regiões de transição flúvio-costeira são milenares, e a região de estudo foi dominada por populações indígenas Tremembé, que se utilizavam dos recursos marinhos deste estuário.

REFERÊNCIAS

- ALVES, F. J. Arqueologia subaquática em Portugal. **Memórias da Academia de Marinha**, Lisboa, v. 19, p. 5-18, 1990.
- ALVES, T.; MANTAS, V. Arqueologia Marítima, Naval, Náutica e Subaquática – uma proposta conceitual. **Revista Al-Madan**, v. 20, p. 50-55, 2015.

- BASS, George Fletcher. **Arqueologia Subaquática**. Lisboa: Editorial Verbo, 1971. (Coleção História Mundi, v. 13)
- BICHO, Nuno Ferreira. **Manual de Arqueologia Pré-Histórica**. Lisboa: [s. n.], 2006.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Zoneamento Ecológico-Econômico Do Baixo Rio Parnaíba**. Brasília: [MMA], 2001.
- CHAGAS, Junior. **Arqueologia espacial no Seridó Potiguar: análise e interpretação arqueológica do território na bacia hidrográfica do rio Carnaúba**. 2017. Dissertação (Mestrado em Arqueologia) – UFPE, Recife, 2017.
- CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980.
- FEITOSA, A. C. **Evolução morfogenética do litoral Norte da Ilha do Maranhão**. 1989. Dissertação (Mestrado) – UNESP, Rio Claro, 1989.
- FUNARI, P. P. A. **Arqueologia e Patrimônio**. Erechim: Habilis, 2007.
- HOUAISS, Antônio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Carta do Brasil. **Folha Ministério do Meio Ambiente**, v. 1, p. 475, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- KASHIMO, O, E. M. O uso de variáveis ambientais na detecção e resgate de bens pré-históricos em áreas arqueologicamente pouco conhecidas. *In*: SIMPÓSIO POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE E PATRIMÔNIO CULTURAL, 1º, 1996, Goiânia. **Atas [...]**. Goiânia: Universidade Católica de Goiás; Instituto Goiano de Pré-História e Antropologia, 1997.
- KIPNIS, Renato. O Uso de Modelos Preditivos para Diagnosticar Recursos Arqueológicos em Áreas a serem afetadas por empreendimentos de Impacto Ambiental. *In*: SIMPÓSIO POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE E

- PATRIMÔNIO CULTURAL, 1º, 1996, Goiânia. **Atas [...]**. Goiânia: Universidade Católica de Goiás; Instituto Goiano de Pré-História e Antropologia, 1997, p. 34-40.
- LINO, Jaisson. **Arqueologia guarani na bacia hidrográfica do Rio Araranguá, Santa Catarina**. [S. l.]: Ed. UFRGS, 2007.
- MUEHE, Dieter. Geomorfologia costeira. *In*: GUERRA, J. T.; CUNHA, S. B. da. (org.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.
- PEDRAZZI, J. A. **Hidrologia Aplicada**. Palmas: [s. n.], 1999.
- PIRES, J. S. R.; SANTOS, José Eduardo dos; PRETTE, Marcos Estevan Del. A Utilização do Conceito de Bacia Hidrográfica para a Conservação dos Recursos Naturais. *In*: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Org.). **Conceito de Bacia Hidrográfica: Teoria e Aplicações**. 1. ed. Ilhéus: Editus; UESC, 2002. p. 17-35.
- POLETO, C. **Bacias Hidrográficas e Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2014.
- PRITCHARD, D. W. Estuarine circulation patterns. **Proceedings of the American Society of Civil Engineers**, v. 81, n. 717, p. 1-11, 1955.
- RAMBELLI, Gilson. **Arqueologia Até Debaixo D'água**. São Paulo: Maranta, 2002.
- RICHIERI, S. M. M. **Estudo do impacto das mudanças climáticas globais nos mangues tropicais**. 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Escola de Engenharia Mauá, São Caetano do Sul, 2006.
- ROSSETTI, Dilce de Fátima. Ambientes costeiros. *In*: FLOREZANO, T. G. (org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: [s. n.], 2008.
- RUBIN, Julio; SILVA, Marco; SILVA, Rosicler. Teoria e Prática no Ensino de Geoarqueologia na PUC Goiás. **Revista de Arqueologia**, [s. l.]: [s. n.], 2017.
- SILVA, Kaique; AMORIM, Raul. Representação de Geossistemas em Estudos de Arqueologia da Paisagem: Ambientes Ancestrais em Ilhéus, Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 36, p. 91-103.

MAPEAMENTO E MONITORAMENTO DE ÁREAS DE DESCARTE IRREGULAR DE RESÍDUOS SÓLIDOS, UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO, NO BAIRRO PEDREIRA, EM BELÉM (PA)

Hugo de Souza Ferreira¹

INTRODUÇÃO

O modelo de desenvolvimento em que vivemos vem causando alterações constantes no meio ambiente. Tais mudanças estão relacionadas principalmente ao aumento da população, ao incentivo e elevação do consumo, à globalização e às inovações tecnológicas (SILVA, 2013).

Dentro desta realidade, a problemática do descarte irregular de resíduos sólidos é um fator determinante para a degradação do meio ambiente, com impactos diversos: poluição do solo e do ar; sequelas à saúde da população, por conta da atração de vetores que causam doenças infecciosas; e efeitos paisagísticos, que acabam limitando a utilização de determinados espaços.

Com o intuito de regulamentar o manejo de resíduos sólidos, tanto pelo setor público quanto pelo privado, surge, em 2010, a Política Nacional de Resíduos sólidos (PNRS) (Lei nº 12.305), regulamentada pelo Decreto nº 7.404/2010, que versa, entre outros assuntos, sobre a reciclagem e sobre a destinação ambientalmente adequada destes resíduos.

Segundo a Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública (Abrelpe), cerca de 8% do lixo produzido no Brasil (6,3

¹ Gestor Ambiental (FACI), esp. em Geoprocessamento a Análise Ambiental (UFPA) e em Perícia e Auditoria Ambiental (FAFIRE). Atualmente, é professor da Faculdade IESAM – Estácio, de Belém, e técnico em Cartografia do Serviço Geológico do Brasil (SGB-CPRM). Contato: hugo.ferreira@cprm.gov.br.

milhões de toneladas) não é sequer coletado, e 40% do lixo coletado é descarregado em lixões ou aterros, que não contam com medidas necessárias para garantir a integridade ambiental dos locais.

De acordo com a Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos (Abren), a região metropolitana de Belém gera cerca de 803 mil toneladas de lixo urbano, anualmente — cerca de 2,2 mil toneladas por dia. Belém ainda é uma das cidades que menos recicla, dentre as capitais do Brasil (0,45% a menos do que a média nacional, que é de 3%).

O bairro Pedreira, em Belém, carinhosamente apelidado de “bairro do samba e do amor”, pela poetisa Eneida de Moraes, representa bem a situação discrepante do tratamento dado aos resíduos sólidos: em alguns pontos, o bairro conta com coleta seletiva, enquanto, em outros, é possível ver resíduos amontoados, junto a vias públicas, colocando em risco a saúde da população e a circulação de transeuntes.

Diante deste cenário, as geotecnologias se apresentam como uma ferramenta poderosa, que permite a promoção de uma resposta rápida a determinado problema. Sistemas de Posicionamento Global, imagens de satélites e fotografias coletadas de drones são alguns dos insumos que fazem parte do arcabouço tecnológico que as geotecnologias dispõem, aos seus usuários, para o entendimento de fenômenos cotidianos. As geotecnologias são um conjunto de tecnologias de coleta, de processamento, de análise e de oferta de informações, com referência geográfica (LAMPARELLI, 2006).

Nesse contexto, torna-se urgente a aplicação da lei de resíduos sólidos, sobretudo na destinação correta e eficaz dos rejeitos em plena Amazônia brasileira, mais especificamente na cidade de Belém, cujos índices de reaproveitamento ou reciclagem, e, também, de saneamento básico, estão bem abaixo dos da média nacional.

A utilização de RPA, também conhecidos como drones, potencializa o exame das áreas em questão, uma vez que, diferentemente dos satélites orbitais, estes não necessitam de um

elevado período de espera para obter imagens da superfície terrestre, podendo executar uma missão de sobrevoo somente com boas condições climáticas e com a autorização do órgão competente.

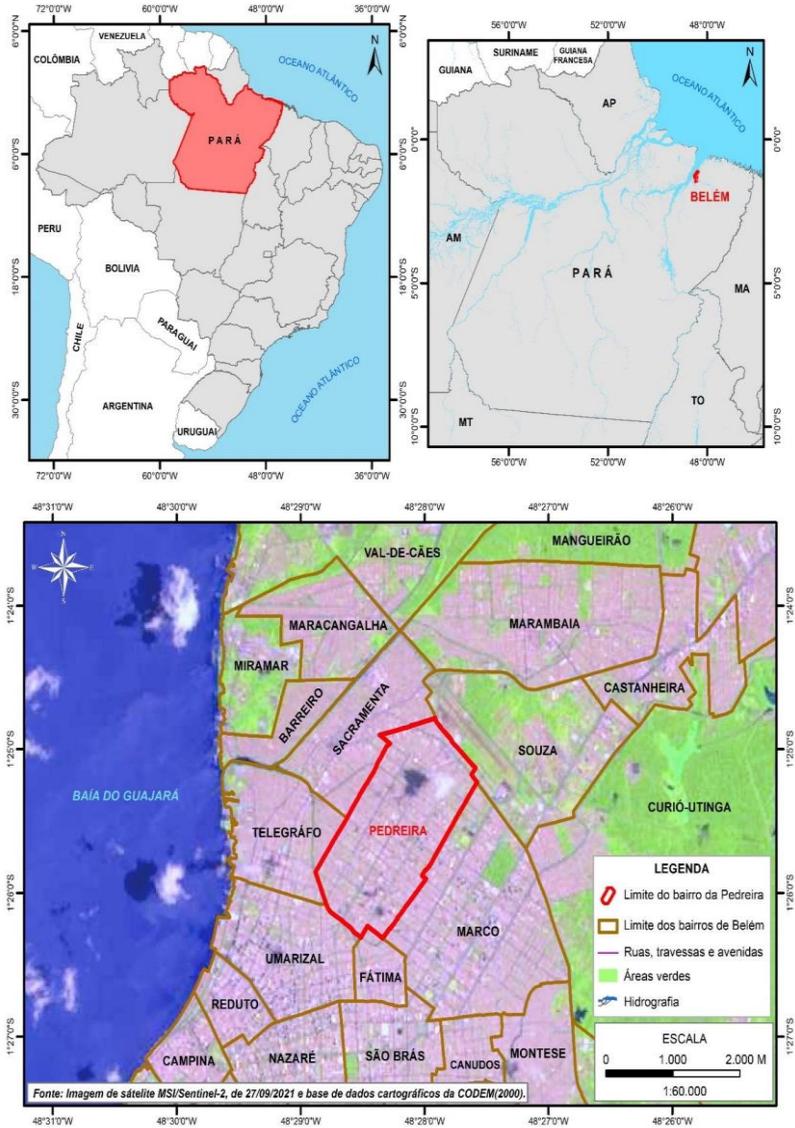
Pode-se definir uma Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely Piloted Aircrafts* – RPA) como uma aeronave motorizada, não tripulada, que pode ser autônoma, semiautônoma, controlada remotamente ou a combinação destas (ROSALEN, 2019).

O objetivo deste trabalho é de mapear os pontos de descarte irregular de resíduos sólidos no bairro Pedreira, utilizando receptores de Sistema de Posicionamento Global e registros fotográficos de terra e de ar, adquiridos em sobrevoos com drone sobre áreas com maior representatividade de acúmulo de resíduos, monitorando e obtendo informações que possam ajudar a entender a sazonalidade de uso das áreas para o descarte irregular de materiais.

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O bairro Pedreira tem uma área de cerca de 350 hectares e uma população estimada em 70 mil pessoas, segundo o IBGE (2010), e seu nome está supostamente ligado às pedras, que existiam em suas imediações. O bairro foi planejado, pelo intendente Antônio Lemos, no início do séc. XX, como uma área de expansão, apresentando vias largas e arborização intensa. Hoje em dia, assim como ocorreu em outros bairros, antes considerados periféricos, houve uma mistura dos perfis socioeconômicos da população, principalmente devido ao processo de verticalização da cidade.

Figura 1 – Localização da área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Figura 2 – Vista aérea do canteiro central da avenida Marquês de Herval



Fonte: acervo do autor (2022)

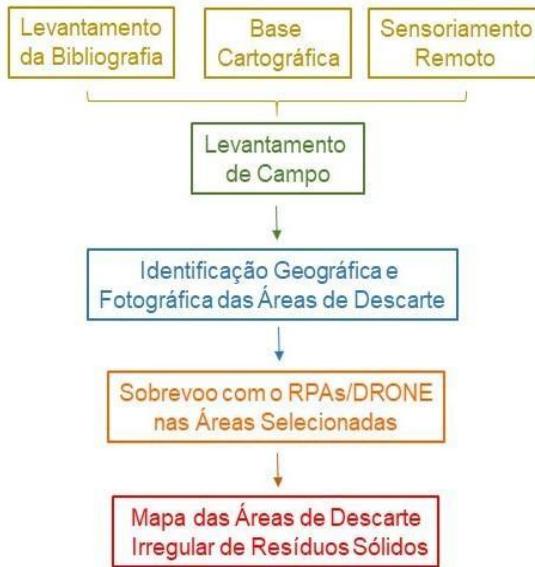
A partir de 1940, é possível observar o avanço de áreas comerciais e de serviços, tendo, como destaques, o mercado municipal da Pedreira, as principais vias do bairro, as avenidas Visconde de Inhaúma, Marquês de Herval, Pedro Miranda e Antônio Everdosa, e as suas muitas transversais, que levam nomes de eventos, de personalidades ou de batalhas da Guerra do Paraguai, como as travessas Chaco, Perebebuí, Humaitá, Vileta, Barão do Triunfo, Lomas Valentina, Angustura, entre outras.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos seguiram o fluxograma de trabalho da Figura 3. A primeira etapa foi concentrada no levantamento da bibliografia, das bases cartográficas e das imagens de satélite, que pudessem servir de apoio inicial à pesquisa. De posse destas informações preliminares, foi possível obter informações sobre o Pedreira, com o apoio de um mapa-base do bairro, de um receptor GNSS e de uma câmera fotográfica. Nessa etapa, houve a coleta das coordenadas geográficas das áreas de

descarte irregular de resíduos, além do registro fotográfico destes espaços.

Figura 3 – Fluxograma metodológico



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Do universo de áreas pesquisadas, foram selecionadas, para monitoramento, as que apresentavam relevante acúmulo de restos sólidos, via levantamento aéreo, a partir de RPA/Drones. Como produtos finais desta pesquisa, temos o mapa do bairro Pedreira, com a distribuição espacial dos pontos irregulares de descarte de resíduos, e o monitoramento de áreas de descarte consideradas mais relevantes.

As informações cartográficas foram obtidas em formato digital *shapefile* (.shp), compatível com diversos Sistemas de Informações Geográficas. Além disso, foi utilizada uma imagem do satélite MSI/*Sentinel-2*, para auxiliar no levantamento de campo sobre os pontos de descarte irregular de resíduos sólidos, assim

como um receptor GNSS e uma aeronave remotamente pilotada. Eis a descrição dos recursos empregados na pesquisa:

- Base cartográfica em meio digital, elaborada pela Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém (CODEM);
- Base cartográfica em meio digital, elaborada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- Imagem do MSI/Sentinel-2 de 27/09/2021, adquirida no sítio do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS) (disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>);
- Receptor Garmin/Etrex20, compatível com a recepção dos sinais do GPS NAVSTAR e do GLONASS;
- Aeronave RPA/Drone DJI Mavic Mini, com câmera de 2,7K de resolução.
- Programa ArcGIS versão 10, para tratamento das informações espaciais;
- Programa Excel, da Microsoft, para tratamento dos dados numéricos;
- Programa GPS *TrackMaker*, para tratamento dos dados coletados em campo.

A POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A gestão ineficiente dos resíduos sólidos obrigou sociedade e governo a desencadear um grande esforço, no sentido de equacionar esta problemática. Com o crescimento desordenado das grandes cidades e com a cobertura precária de saneamento básico, esse processo se fazia mais do que necessário, uma vez que tal questão impacta diretamente a qualidade de vida da população, aumentando a demanda por serviços de saúde e causando mudanças em aspectos socioeconômicos, relacionados às pessoas que sobrevivem dos serviços de reciclagem.

Figura 4 – Imagem do acúmulo de resíduos na calçada do cruzamento da travessa Angustura com a avenida Marquês de Herval



Fonte: acervo do autor (2022)

De acordo com Passos *et al.* (2021), a Lei nº 12.305/2010, sobre a gestão dos resíduos, deve priorizar: a não geração, a redução, a reutilização e a reciclagem de resíduos sólidos, além da disposição final ambientalmente adequada destes rejeitos. Infelizmente, essa não é a realidade observada na maioria dos municípios do Brasil, que ainda carecem de sistemas de saneamento e de coleta de resíduos adequados às necessidades da população.

Segundo Reis (2017), com a inclusão dos conceitos de redução reutilização e de reciclagem na lei, pretende-se diminuir o uso de matérias-primas e retardar a disposição dos rejeitos, que é a última etapa da gestão sustentável dos resíduos sólidos, conforme prescrito no Título I, Cap. II, art. 3º, XV, da referida lei.

Doze anos após a promulgação da norma, o cenário de algumas regiões do Brasil ainda não mudou muito, infelizmente, principalmente nas médias e nas grandes cidades, que necessitam de sistemas de gestão mais eficientes e de políticas de educação

ambiental mais agressivas, no que diz respeito ao descarte e à disposição dos resíduos gerados.

Figura 5 – Imagens do acúmulo de resíduos no meio-fio da avenida Marquês de Herval, em frente à travessa Perebebuí



Fonte: acervo do autor (2022)

A Gestão Integrada de Resíduos Sólidos pode ser entendida como uma maneira de “[...] conceber, implementar e administrar sistemas de manejo de resíduos sólidos urbanos, considerando uma ampla participação dos setores da sociedade e

tendo como perspectiva o desenvolvimento sustentável” (IBAM, 2001). Talvez, o grande desafio dos atores envolvidos na implementação efetiva da política de resíduos sólidos seja tornar prático todo o arcabouço teórico, provando que é possível fazer uma gestão eficiente dos resíduos sólidos nas grandes cidades do país.

Segundo Pimentel e Oliveira (2021), Belém produz cerca de 1.000 toneladas de lixo por dia e tem cerca de 100 pontos críticos de descarte irregular. Para a publicação, no começo da atual gestão da Prefeitura de Belém, havia 200 pontos críticos espalhados pela cidade, mas percebemos, no decorrer deste estudo, uma sazonalidade no uso destas áreas de descarte. Seja por ações efetivas de educação ambiental, seja por intervenção do próprio poder público, seja por outros motivos, os resíduos que deixam de ser descartados em determinada área acabam sendo dispostos em outra. Ou seja, o que não muda é o tratamento irregular dos dejetos. Essa sazonalidade de emprego de vias públicas como locais de deposição de rejeitos acaba dificultando bastante o trabalho de fiscalização, por parte do poder público.

Figura 6 – Travessa Perebebuí, ponto de descarte de resíduos domésticos e de construção civil





Fonte: acervo do autor (2022)

Segundo Silva *et al.* (2019), ao longo das vias da cidade de Belém (PA), é possível observar várias pilhas de resíduos sólidos urbanos espalhados, que são formadas diariamente na cidade — de modo inadequado, é claro —, ocasionando várias preocupações à população, que acabam somadas à falta de estrutura de saneamento básico e às ocupações inapropriadas do solo. Além disso, durante o levantamento de informações de campo, foi possível observar algo mais preocupante: em alguns pontos do bairro Pedreira, os resíduos domésticos se misturavam a resíduos de construção civil e a outros materiais, o que, na prática, interfere na coleta e na destinação apropriadas de todos os elementos.

GEOPROCESSAMENTO E ANÁLISE GEOGRÁFICA

Segundo Silva (2010), a visão globalizada das questões ambientais tem contribuído para uma crescente demanda por informações cartográficas, que necessitam de um meio de ordenação, a fim de transformar dados em informações relevantes para a tomada de decisões.

O geoprocessamento pode ser definido como um conjunto de tecnologias, voltadas à coleta e ao tratamento de informações espaciais, visando um objetivo específico (SILVA, 2010). Essa ferramenta congrega diversos insumos de outras ciências, como o Sensoriamento Remoto, tecnologias de Sistemas de Posicionamento Global, fotografias de RPA/Drones, entre outros. Sempre com o intuito de responder com eficiência e com eficácia às mais complexas perguntas, o geoprocessamento também serve para planejamento, para execução e para monitoramento de diversas aplicações.

Figura 7 – Imagem do RPA/Drone DJI Mavic Mini



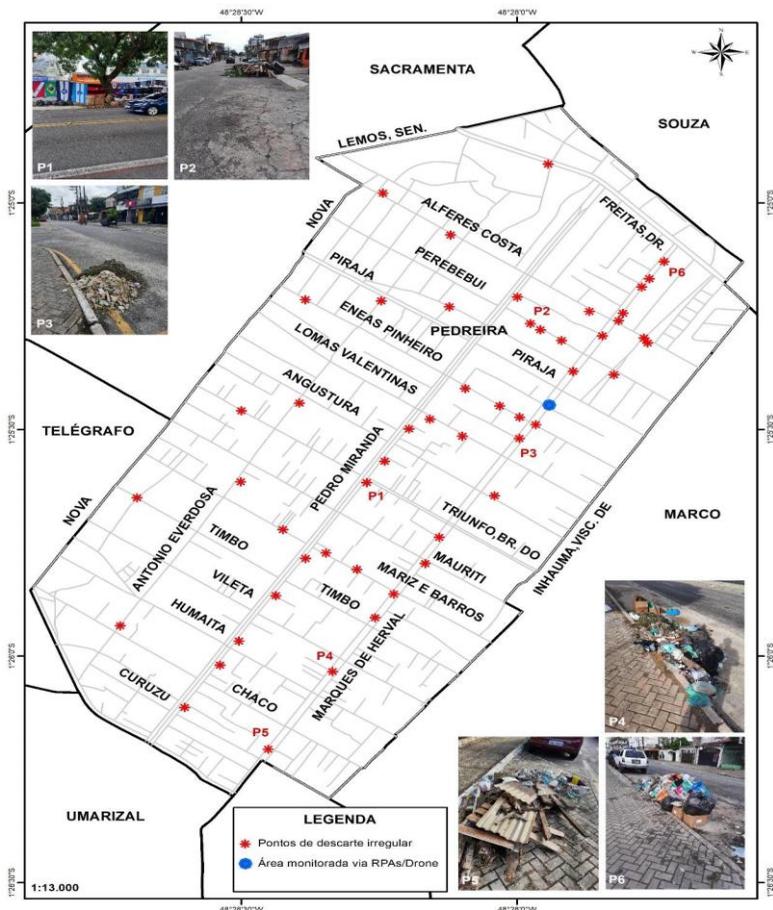
Fonte: acervo do autor (2022)

Dentro das múltiplas áreas, em que podemos encontrar aplicações com geoprocessamento, podemos destacar a aplicação de RPA/Drones na obtenção de imagens da superfície da terra. Entre as principais vantagens da aplicação desta ferramenta, em detrimento dos levantamentos aéreos com aviões de médio e de grande portes e das imagens de satélite de alta resolução, estão o seu baixo custo de operação e a sua resolução temporal, uma vez que bastam condições meteorológicas favoráveis e permissões do órgão de controle aéreo para que o operador possa executar um

levantamento fotográfico com dispositivos deste tipo. Os dados levantados por RPA/Drones configuram uma ferramenta de potencial enorme para o mapeamento, para o monitoramento e para a gestão de áreas de descarte irregular de resíduos em qualquer cidade do país.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Figura 8 – Mapa dos pontos de descarte irregular de resíduos sólidos no bairro Pedreira



Fonte: CODEM (2000) e acervo de imagens do autor (2022)

Geoinformação e Análises Socioambientais

A primeira fase do trabalho foi constituída pela pesquisa dos pontos de descarte irregular de resíduos no bairro Pedreira. Nessa fase, foi utilizado um mapa-base do bairro, um receptor GNSS, para demarcação geográfica dos pontos, e uma câmera fotográfica, para registro das imagens.

Na etapa, as principais vias de circulação do bairro, Visconde de Inhaúma, Marquês de Herval, Pedro Miranda, Antônio Everdosa e Rua Nova, foram visitadas. Na segunda etapa, foram visitadas as vias transversais, indo da travessa Alferes Costa, até a travessa Curuzu, recobrando a totalidade das ruas do bairro.

O resultado foi a identificação de 52 pontos de descarte irregular, que continham resíduos domésticos, de construção civil e, por vezes, uma mistura dos dois tipos, conforme mapa e registros fotográficos anteriores. O Quadro 1 traz as coordenadas geográficas dos pontos de descarte irregular dos resíduos sólidos no bairro.

Quadro 1 – Coordenadas geográficas dos pontos de descarte irregular no bairro de investigação

Ponto	Latitude	Longitude
1	-1,41882	-48,46222
2	-1,41945	-48,46267
3	-1,41975	-48,46290
4	-1,42072	-48,46346
5	-1,42099	-48,46360
6	-1,42155	-48,46409
7	-1,42286	-48,46497
8	-1,42409	-48,46573
9	-1,42532	-48,46660
10	-1,42896	-48,46902
11	-1,43105	-48,47039
12	-1,43192	-48,47096
13	-1,43390	-48,47224
14	-1,43676	-48,47419
15	-1,43522	-48,47671
16	-1,43366	-48,47564
17	-1,43278	-48,47507
18	-1,43111	-48,47396

Geoinformação e Análises Socioambientais

19	-1,42974	-48,47306
20	-1,42695	-48,47121
21	-1,42616	-48,47067
22	-1,42497	-48,46993
23	-1,42462	-48,46930
24	-1,42524	-48,46832
25	-1,42482	-48,46610
26	-1,42298	-48,46374
27	-1,42181	-48,46272
28	-1,42163	-48,46283
29	-1,42065	-48,46448
30	-1,42012	-48,46666
31	-1,42110	-48,46626
32	-1,42133	-48,46596
33	-1,42172	-48,46532
34	-1,42454	-48,46659
35	-1,42413	-48,46719
36	-1,42349	-48,46823
37	-1,42692	-48,47502
38	-1,42868	-48,47374
39	-1,42954	-48,47244
40	-1,43014	-48,47151
41	-1,42993	-48,46944
42	-1,42743	-48,46735
43	-1,42047	-48,46871
44	-1,43221	-48,47866
45	-1,41783	-48,46867
46	-1,41523	-48,46572
47	-1,41629	-48,47072
48	-1,42022	-48,47306
49	-1,42430	-48,47499
50	-1,42750	-48,47815
51	-1,42026	-48,47076
52	-1,42402	-48,47324

Fonte: elaborado pelo autor (2022)

A segunda fase consistiu no monitoramento de um destes pontos de descarte. Para isto, foi utilizado o RPA/Drone Mavic Mini, tendo sido efetuados três sobrevoos, dentro de um intervalo

temporal de algumas semanas, durante os meses de abril e de maio de 2022.

A escolha do ponto foi efetuada, com base na maior representatividade de acúmulo de resíduos sólidos no local, bem como na heterogeneidade dos materiais descartados. O ponto de monitoramento se encontra no canteiro da avenida Marquês de Herval, em frente à Passagem Isabel. Eis as imagens dos sobrevoos efetuados sobre a pilha de resíduos nesta área do bairro.

Figura 9 – Imagem aérea da área monitorada por RPA/Drone, às 11h10min do dia 1º/04/2022



Imagem aérea da área monitorada por RPA/Drone, às 9h11min do dia 09/04/2022



Imagem aérea da área monitorada por RPA/Drone, às 8h23min do dia
1º/05/2022



Fonte: acervo do autor (2022)

Por meio do rastreamento via RPA/Drone, foi possível demonstrar a sazonalidade da ocupação da área do canteiro central da avenida Marques de Herval, em frente à Passagem Isabel, para o descarte de resíduos sólidos: durante alguns dias, os resíduos ficam amontoados, até que a prefeitura passe no local e faça o devido recolhimento. Também foi possível verificar a heterogeneidade dos tipos de materiais descartados, que incluía resíduos domésticos e de construção civil.

A Figura 10 traz uma modelagem tridimensional, que demonstra a mistura de materiais descartados.

Figura 10 – Ilustração da modelagem tridimensional dos resíduos descartados às 15h30min do dia 15/04/2022



Fonte: elaborado pelo autor (2022)

Infelizmente, não foi incomum encontrar descartes deste tipo, contendo material doméstico e de construção civil, ao longo do bairro Pedreira. Inclusive, resíduos hospitalares foram encontrados em algumas das vias, porém em pequenas proporções.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da aplicação das ferramentas de geoprocessamento se mostraram eficientes para mapear e para monitorar a dinâmica de descarte irregular de resíduos sólidos no bairro Pedreira.

Foi observado que algumas das áreas de descarte têm características sazonais, ou seja, a população descarta os resíduos por algum tempo no espaço e, diante da intervenção do poder público, o ponto deixa de ser utilizado como área de descarte por certo tempo.

Alguns dos pontos de deposição realmente deixam de existir, quando a população se envolve diretamente na gestão de resíduos. Também chamou a atenção o descarte de resíduos domésticos, em conjunto com restos de construção civil, o que, pela Lei nº 12.305/2010, é expressamente proibido; inclusive, a própria legislação instrui sobre a gestão destes tipos de resíduos.

Um fator negativo na pesquisa foi a época do levantamento: o inverno amazônico, pois foi preciso aproveitar as janelas meteorológicas para poder sobrevoar as áreas de interesse da pesquisa. Outro ponto que chamou a atenção foi a insegurança, do ponto de vista da manutenção da integridade do pesquisador, o que, de certa forma, dificultou a entrada em algumas áreas, uma vez que certos moradores não gostaram de ter seus restos catalogados, questionando constantemente se a pesquisa estava endereçada a para algum órgão do governo. Igualmente, empreender missões de sobrevoos em áreas urbanas também é um desafio que exige certa perícia do controlador do aparato, pois existem pontos de interferência na radiofrequência e obstáculos a serem levados em conta.

Os pontos positivos foram a rapidez e o baixo custo, com que a pesquisa foi realizada, podendo ser aplicada por qualquer gestor municipal no monitoramento e na gestão de áreas de descarte de resíduos.

A educação ambiental deve ser uma das ferramentas (talvez, a mais importante) no processo de conscientização da população sobre o descarte consciente de resíduos sólidos. A gestão municipal pode até eliminar temporariamente uma área de descarte, mas, se a população não tiver consciência ambiental, o ponto só será realocado para outra região.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA (Abrelpe). **Os descaminhos do lixo, 2019**. Disponível

em: <https://abrelpe.org.br/brasil-produz-mais-lixo-mas-nao-avanca-em-coleta-seletiva/>. Acesso em: 16 mar. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS (Abren). **Lixo urbano pode gerar energia em Belém/PA (O Liberal)**. 2021. Disponível em: <https://abren.org.br/2021/05/11/lixo-urbano-pode-gerar-energia-em-belem-o-liberal/>. Acesso em: 16 mar. 2022.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2010]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 mar. 2022.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO E ADMINISTRAÇÃO DA ÁREA METROPOLITANA DE BELÉM (CODEM). **Base cartográfica do município de Belém 2000**. Belém: [Prefeitura Municipal de Belém], [2000].

INSTITUTO BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO MUNICIPAL (IBAM). **Manual de gerenciamento integrado de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: [IBAM], 2001. 204 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2010**. Disponível em: <https://censo2010.ibge.gov.br/>. Acesso em: 19 fev. 2022.

LAMPARELLI, R. A. C. Transformações radiométricas dos dados dos sensores do satélite CBERS-2. *In*: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 2006, Campo Grande. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2006. p. 912-921.

PASSOS, J. S.; MESQUITA, V. V.; NOTISSO, P. F.; NOGUEIRA R, A. Levantamento dos riscos de impactos ambientais pelo despejo de resíduos sólidos na bacia do rio vermelho em goiás com apoio de drones. **Sociedade e Território**, Natal, UFRN, v. 33, n. 2, p. 162-188, maio-ago. 2021.

PIMENTEL, Dilson; OLIVEIRA, Caio. **Belém produz mil toneladas de lixo por dia e tem 100 pontos críticos de descarte ilegal**. 2021. Disponível em: <https://www.oliberal.com/belem/belem-produz-mil-toneladas->

de-lixo-por-dia-e-tem-100-pontos-criticos-de-descarte-ilegal-1.438270. Acesso em: 06 abr. 2022.

REIS, D.; FRIEDE, R.; LOPES, F. H. P. Política nacional de resíduos sólidos (Lei nº 12.305/2010) e educação ambiental. **Revista Interdisciplinar de Direito**, Valença, UNIFAA, v. 14, n. 1, p. 99-111, jan.-jun. 2017.

ROSALEN, D. L.; AMAZONAS, D. M. Mapeamento com Aeronave Remotamente Pilotada de navegação precisa em tempo real. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 19., 2019, Santos. **Anais [...]**. São José dos Campos: INPE, 2019. p. 2623-2626. ISBN 978-85-17-00097-3. Disponível em: <http://urlib.net/ibi/8JMKD3MGP6W34M/3UB384B>. Acesso em: 14 fev. 2021.

SHENZHEN DJI SCIENCES AND TECHNOLOGIES. **Manual do usuário V1**. Disponível em: <https://www.dji.com/br/mini-se/downloads>. Acesso em: 20 fev. 2022.

SILVA, C. O.; SANTOS, G. M.; SILVA, L. M. A degradação ambiental causada pelo descarte inadequado das embalagens plásticas: estudo de caso. **Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas - UFSM**, Santa Maria, v. 13, n. 13, p. 2683-2689, ago. 2013.

SILVA, R. M. **Introdução ao Geoprocessamento, Conceitos, técnicas e aplicações**. Novo Hamburgo: Ed. Feevale, 2010.

SILVA, V. P.; HIANES, A. C.; HIANES, A. C.; COSTA, M. M. C.; MOURA, A. G. A. F.; DUARTE, L. C.; CATETE, C. P. Mapeamento de pontos de disposição irregular de resíduos sólidos na avenida Bernardo Sayão, em Belém – Pará. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 31137-31146, dez. 2019.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **[Imagem MSI/Sentinel 2 de 27/09/2021]**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 19 fev. 2022.

ANÁLISE TEMPORAL DA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DO PEAEX CURUMUCURI, EM JURUTI (PA)

Marcos Antônio Correa Matos do Amaral¹
Wendy Vieira Medeiros²

INTRODUÇÃO

Vários problemas de regularização fundiária foram causados pelo Programa de Integração Nacional (PIN), que promoveu a “reforma agrária do Nordeste na Amazônia” como um modo de ofertar mão de obra aos projetos agrominerais e agropecuários implantados pela “Operação Amazônia”. Dessa forma, a criação de assentamentos, na década de 1960, vem no sentido de garantir atividades economicamente viáveis e ambientalmente sustentáveis, para mitigar estes problemas (MAIA, 2011; SILVA, 2019).

Em função da expansão do capital, o movimento de organizações locais e regionais vem mudando a configuração do oeste amazônico, e os assentamentos da reforma agrária têm ocupado lugar de destaque no cenário das políticas de regularizações fundiária e ambiental dos territórios na Amazônia e no restante do Brasil (ASSIS, 2012; SAUER, 2005).

Como resultado deste panorama, foi incorporado, pela Portaria nº 268 do INCRA, de 23 de outubro de 1996, o Projeto de Assentamento Agroextrativista (PAE), que é destinado às populações tradicionais, que têm, na exploração de riquezas extrativas (atividade economicamente viável e ecologicamente

¹ Engenheiro agrônomo e doutor em Engenharia de Sistemas Agrícolas, pela Universidade Federal do Oeste do Pará - Campus Regional de Juruti. Contato: marcos.amaral@ufopa.edu.br.

² Engenheiro agrônomo e mestre em Produção Vegetal, pela Universidade Federal Rural da Amazônia. Contato: wendy.medeiros@hotmail.com.

sustentável), seu principal meio de vida e seu modo de produção, além de garantir os processos de distribuição de terras e de reforma agrária (ALENCAR *et al.*, 2016, p. 31).

No estado do Pará, de acordo com o Instituto de Terras do Estado do Pará (ITERPA) (2010, p. 1), foi implementada a modalidade Projeto Estadual de Assentamento Agroextrativista (PEAEX), que se destina a populações que ocupam áreas dotadas de riquezas extrativas e que praticam prioritariamente a exploração sustentável dos recursos naturais, voltada à subsistência. Tais áreas são consideradas de domínio público, com usos concedidos a estas populações extrativistas (LIMA, 2019).

A partir destes projetos, no município de Juruti (PA), a comunidade organizada de Curumucuri obteve a publicação do Decreto nº 1.401, de 24 de setembro de 2015, que ratifica o Decreto nº 2.347, de 21 de junho de 2010, e que homologa a criação do Projeto Estadual de Assentamento Agroextrativista Curumucuri.

No ano de 2008, o governo do estado do Pará, através do ITERPA, lançou o Decreto nº 1.149, de 17 de julho de 2008, estabelecendo a Área de Limitação Administrativa Provisória Mamuru-Arapiuns nas áreas das glebas Nova Olinda, Nova Olinda II, Curumucuri e Mamuru, com foco na proteção das comunidades tradicionais, na constituição de áreas de interesse ecológico e no planejamento de longo prazo para a utilização de áreas com potencial para exploração comercial de recursos naturais (LIMA, 2019, p. 25).

O assentamento de Curumucuri surgiu de movimentos sociais e de organizações comunitárias, movidas pelas pressões e pelos conflitos que apareceram e que foram catalisadores de suas mobilizações políticas. A ameaça representada pela expansão das frentes de acumulação capitalista, expressas na atuação de mineradoras, de sojicultores, de pecuaristas e de madeireiros, resultou na pressão das comunidades sobre órgãos fundiários, que constituíram os assentamentos em questão (ASSIS, 2013, p. 212).

Uma das formas de entender as mudanças espaciais é pelo uso de geotecnologias, que vêm sendo utilizadas como ferramentas

de análise e de compreensão da dinâmica espacial das variáveis que compõem o clima de regiões de assentamentos. A temperatura de superfície terrestre (TST) é importante parâmetro nos estudos termais do ambiente urbano e de suas dinâmicas (WENG, 2009). Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi de avaliar a dinâmica da temperatura da superfície do Assentamento de Curumucuri, no oeste paraense.

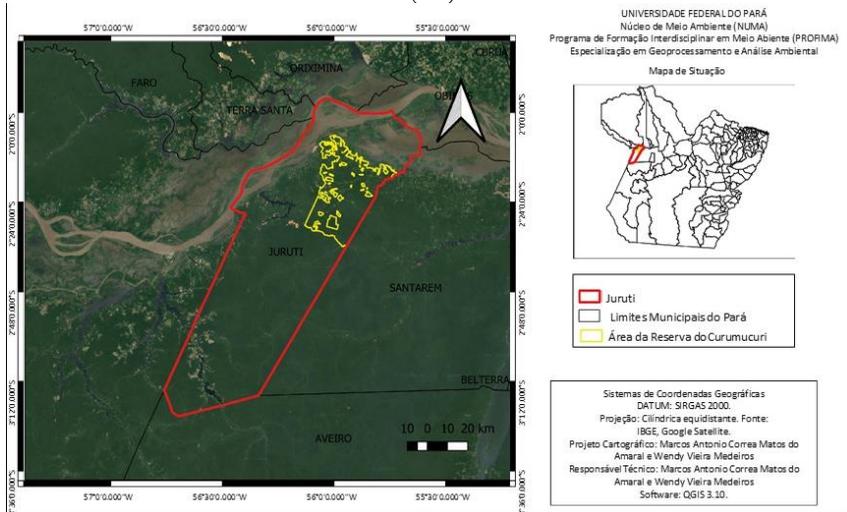
METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

O Curumucuri é um projeto de assentamento agroextrativista, criado pelo Decreto nº 1.401, de 24 de setembro de 2015, que ratifica o Decreto nº 2.347, de 21 de junho de 2010, o qual homologa a criação do dito projeto. O PEAEX Curumucuri se localiza no município de Juruti, no oeste paraense, e conta com uma área de 122.749,98 ha, englobando 42 comunidades situadas entre o rio Aruã, ao sul, e o PAE Salé, ao norte (LIMA, 2019, p. 51) (Figura 1).

O município de Juruti tem extensão aproximada de 8.304 km² e seu clima é do tipo Am (tropical úmido ou subsumido), apresentando uma estação seca de pequena duração, que é compensada por elevados totais de precipitação. A vegetação das terras firmes é representada pela floresta densa dos baixos platôs e dos terraços, além de campos cerrados. Suas coordenadas geográficas são: 2°09'07" S (latitude) e 56°05'31" O (longitude), e a variação altimétrica do município é moderada, indo de 130 m a 150 m (BASTOS, 1982; FARO, 2022).

Figura 2 – Mapa de localização da PEAEX Curumucuri no município de Juruti (PA)



Fonte: Amaral (2022)

DADOS UTILIZADOS

Os dados utilizados na análise da temperatura de superfície terrestre foram retirados de imagens do sensor MODIS, que se encontra nos satélites Terra e Aqua, do Programa *Earth Observing System* (EOS), de mapeamento e de monitoramento da cobertura vegetal e do uso da terra (INPE, 2022). Os dados deste sensor são produzidos em uma série de nove produtos da versão 6 do MODIS LST: MOD11_L2; MOD11A1; MOD11B1; MOD11B2; MOD11B3; MOD11A2; MOD11C1; MOD11C2; e MOD11C3 (WAN, 2013, p. 7).

Tal versão do MODIS LST fornece médias de temperaturas mensais e/ou horárias da superfície terrestre (a cada oito horas ou a cada dia), dependendo do produto, e sua resolução espacial é de 1 km (WAN, 2013, p. 7).

A plataforma selecionada para os processamentos dos dados e das informações de satélite foi o ambiente *Google Earth*

Engine (GEE) (disponível em: <https://explorer.earthengine.google.com>), um sistema de análise geoespacial baseado na nuvem e de nova geração, que dá acesso a um vasto catálogo de imagens de satélite, bem como proporciona recursos de análise em escala global, permitindo investigações geoespaciais otimizadas e empregando a linguagem de programação *JavaScript* na criação de algoritmos de tratamento de imagens de satélites (KUMAR; MUTANGA, 2018).

Por meio da ferramenta *Code Editor* (presente em <https://code.earthengine.google.com/>), foi possível programar e executar uma rotina, a qual permitisse avaliar a temperatura da superfície da área de interesse.

A altitude da área foi estimada com os dados da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com 30 m de resolução espacial (GAO; ZHANG, 2009), a partir da qual foi feita a correlação entre altitude e temperatura para a área de estudo. Com base em uma série histórica de dados de 17 anos, foram gerados os gráficos com as temperaturas médias mensais da área.

FUNDAMENTO CONCEITUAL-TEÓRICO

O ASSENTAMENTO AGROEXTRATIVISTA

Vários projetos de assentamentos clássicos foram criados no Brasil, nas fases da reforma agrária: a primeira fase foi a da colonização, com implementação dos Projetos Integrados de Colonização (PIC) na década de 1970; a segunda fase, a da criação dos Projetos de Assentamentos (PAS); e a terceira fase, a da criação dos Projetos de Assentamentos Diferenciados (ALENCAR *et al.*, 2016, p. 217).

Os Projetos de Assentamentos Diferenciados são destinados principalmente às comunidades tradicionais, que baseiam sua subsistência no extrativismo. São quatro, as

modalidades de assentamentos ambientalmente diferenciados: Projeto de Assentamento (PA); Projeto Agroextrativista (PAE); Projeto de Assentamento Agroflorestal (PAF); e Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) — dessas modalidades, as últimas três ocorrem na Amazônia, somente. Tais projetos foram criados com os intuitos de regulamentar a posse da terra e de fomentar a participação da coletividade das comunidades no manejo dos recursos naturais (GIRARDI; FERNANDES, 2008; SILVA; VIEIRA, 2016).

O PAE é uma modalidade especial de assentamento, cujas atividades estão baseadas na extração de recursos naturais e na sustentabilidade. Com ele, inaugurou-se um espaço político, concebido para possibilitar negociações entre as comunidades possuidoras de estreita relação com a floresta, com a natureza, e o poder público e os demais atores sociais (ALMEIDA, 2021; INCRA, 1996; THOMAS *et al.*, 2014).

O Projeto de Assentamento Agroextrativista criado pelo INCRA, para uso com populações tradicionais, é semelhante ao de Reserva Extrativista, criado pelo IBAMA. A proposta do PAE prevê que um conselho eleito pela comunidade faça a administração do assentamento. De acordo com o modelo de uso do solo, o título de propriedade pertence ao Estado e a comunidade recebe uma “concessão de uso real”, que lhe garante a posse da área. Tanto os direitos individuais de propriedade quanto os coletivos são reconhecidos (BENATTI, 2004; THOMAS, 2016).

De modo geral, os principais problemas dos assentamentos na região amazônica se relacionam a disputas de apropriação de recursos e à precariedade de acesso a créditos, a insumos e a assistência técnica, para promover a produção sustentável, além da falta de regularizações ambiental e fundiária, o que impossibilita a boa governança (VIEIRA *et al.*, 2014, p. 202).

O PAE pode ser criado legalmente nas terras da União (em nível federal), sendo responsabilidade da União, por meio do INCRA, como gestor fundiário, promover a obtenção da terra, a sua criação e a seleção dos beneficiários. Do mesmo modo, o PAE

pode ser criado em terras estaduais. No Pará, a concepção e a gestão destes projetos são realizadas pelo ITERPA, e os espaços já concedidos receberam a denominação Projeto Estadual de Assentamento Agroextrativista (PEAEX), atendendo apenas a populações tradicionais (SILVA, 2019).

O PROJETO ESTADUAL DE ASSENTAMENTO AGROEXTRATIVISTA (PEAEX)

Os assentamentos rurais se tornaram um dos principais instrumentos de ordenamento territorial e de regularização fundiária na Amazônia brasileira, representando quase um terço das terras usadas e quase 74% dos estabelecimentos rurais. O estado do Pará concentra o maior número de famílias assentadas do país, tendo mais de 30% de sua área coberta por assentamentos (CALANDINO *et al.*, 2012; LE TOURNEAU; BURSZTEIN, 2010).

Com o objetivo de resolver os conflitos entre os diversos grupos de interesse presentes na Amazônia, o Estado procurou ordenar a regulamentação da terra como parte de suas novas políticas agrícola e ambiental (THOMAS *et al.*, 2016).

Nesse sentido, o estado do Pará propôs dez modalidades de assentamentos: Projeto de Assentamento Federal (PA); Projeto de Assentamento Agroextrativista (PAE); Reserva Extrativista (RESEX); Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) (nas modalidades Projeto de Assentamento Conjunto (PAC), Projeto Casulo de Assentamento (PCA), Projeto de Assentamento Estadual (PAE), Projeto Estadual de Assentamento Agroextrativista (PEAEX) e Projeto Estadual de Assentamento Sustentável (PEAS)); Projeto Integrado de Colonização (PIC); Floresta Nacional (FLONA); e Reserva de Desenvolvimento Sustentável (RDS), criadas a partir de especificidades locais (INCRA, 2022).

Ainda, existem assentamentos sob competência do estado do Pará, ou seja, de responsabilidade do Instituto de Terras do

Estado do Pará. Para regulamentar estes assentamentos e a posse da terra e para fomentar a participação comunitária no manejo dos recursos naturais, o Instituto criou a Instrução Normativa nº 3, de 9 de junho de 2010, que fundamentou o Projeto Estadual de Assentamento Agroextrativista, uma das modalidades de assentamento do estado.

De acordo com ITERPA (2010), são instituídas as seguintes modalidades de projetos de assentamento: Projeto Estadual de Assentamento Sustentável (PEAS); Projeto Estadual de Assentamento Agroextrativista (PEAEX); e Território Estadual Quilombola (TEQ).

Entre estas, as PEAEX são de extrema importância para a organização territorial e para o desenvolvimento socioeconômico da região. Nos Projetos Estaduais de Assentamento Sustentável (PEAS) e Agroextrativista (PEAEX), são assinados contratos de concessão de direito real de uso, com cláusulas de inalterabilidade da destinação do imóvel, tal como declarado no ato normativo de criação, cujo desrespeito implica a reversão do imóvel ao patrimônio do estado, independentemente de notificação judicial ou extrajudicial, sem qualquer direito à indenização em favor dos descumpridores (ITERPA, 2010)

O Projeto de Assentamento Estadual Agroextrativista se destina a populações que ocupem áreas com riquezas extrativas e que pratiquem prioritariamente a exploração sustentável de recursos naturais, voltada à subsistência, e que, complementarmente, dediquem-se à agricultura familiar, a atividades de baixo impacto ambiental e à criação de animais de pequeno porte (ITERPA, 2010).

O PROJETO ESTADUAL DE ASSENTAMENTO AGROEXTRATIVISTA CURUMUCURI, EM JURUTI (PA)

Como resultado das ameaças de expropriação representadas pelas presenças de grileiros, de madeireiros, de sojicultores e de mineradoras, surgem conflitos de ordem

socioambiental na região do oeste paraense, e no interior das comunidades ali residentes, no início da década de 2000, os quais resultaram em processos de organização política, ou seja, na constituição de formas de resistência às novas dinâmicas de ocupação. Essa resistência objetivou manter a continuidade de formas específicas de uso e de apropriação dos recursos naturais, que passaram a ser explorados ilegalmente ou de maneira eticamente questionável (ASSIS, 2012; ASSIS, 2013).

A partir de então, organizações, como o Sindicato dos Trabalhadores e Trabalhadoras Rurais de Santarém (STTR), o Conselho Indígena do Tapajós (CITA), a Comissão Pastoral da Terra (CPT), o Projeto Saúde & Alegria (PSA), a Federação das Associações de Moradores e Comunidades do Assentamento Agroextrativista da Gleba Lago Grande (FEAGLE), o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e as associações comunitárias, tais como a Associação das Comunidades da Região de Juruti Velho (Acorjuve) e a Associação Comunitária da Gleba do Curumucuri (Acoglec), passam a demandar, do estado, a regularização fundiária das terras de assentamentos (ASSIS, 2012; LIMA, 2019).

No ano de 2008, o governo do estado do Pará, através do ITERPA, lançou o Decreto nº 1.149, de 17 de julho de 2008, estabelecendo a Área de Limitação Administrativa Provisória Mamuru-Arapiuns nas glebas Nova Olinda, Nova Olinda II, Curumucuri e Mamuru, com focos na proteção das comunidades tradicionais, na criação de áreas de interesse ecológico e no planejamento de longo prazo do uso de áreas com potencial para exploração comercial de recursos naturais (LIMA, 2019).

Ao longo do ano de 2010, as organizações sociais e territoriais conseguiram colher os primeiros resultados de suas reivindicações, com a implantação de duas modalidades estaduais de ordenamento fundiário já mencionadas: o PEAS e o PEAEX (ASSIS, 2012; HENRIQUES, 2015; INSTITUTO..., 2022).

Somadas, as terras arrecadadas pelo estado do Pará, que hoje compõem as glebas Mamurú, Nova Olinda I, Nova Olinda II

e Curumucuri, compreendem uma área de cerca de 1,3 milhão de hectares, sendo delimitadas, ao sul, pelo Parque Nacional da Amazônia; ao leste, pela RESEX Tapajós-Arapiuns; e, a oeste, pela Terra Indígena Andira-Marau, com poucas vias de acesso e, em sua maior parte, ainda com alto grau de preservação (LIMA, 2019).

A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE TERRESTRE (TST)

Os dados de infravermelho térmico de sensoriamento remoto têm sido amplamente usados para analisar a temperatura da superfície terrestre, tornando-se um importante parâmetro nos estudos termais de ambientes urbanos e de suas dinâmicas. Como apoios a estas apurações, inúmeros satélites foram desenvolvidos e coletam dados de infravermelho térmico da superfície terrestre, como HCMM, *Landsat* TM/ETM+, AVHRR, MODIS, ASTER e TIM. (QUATTROCHI; LUVAL, 1999; WENG, 2009; WENG *et al.*, 2004).

Os dados de sensoriamento remoto são particularmente úteis para entender melhor a terra e o balanço de calor da superfície, bem como os fluxos e as redistribuições de materiais entre os elementos da paisagem de diferentes planos, com resoluções e com precisões variadas. Ou seja, esses dados são usados em climas urbanos e em estudos ambientais, principalmente para avaliar padrões TST e a relação destes com características da superfície (QUATTROCHI; LUVALL, 1999).

Os sensores de satélite medem a radiância do topo da atmosfera, a qual inclui as temperaturas de brilho, também conhecidas como temperaturas do corpo negro, que podem ser derivadas, usando a Lei de Planck (DASH *et al.*, 2002). Essas temperaturas de brilho devem ser corrigidas com valores de emissividade espectral, antes do cálculo da TST, para levar em conta as propriedades de rugosidade da superfície da terra, a quantidade e natureza da cobertura vegetal e as propriedades e teores de umidade do solo (FRIEDL, 2002).

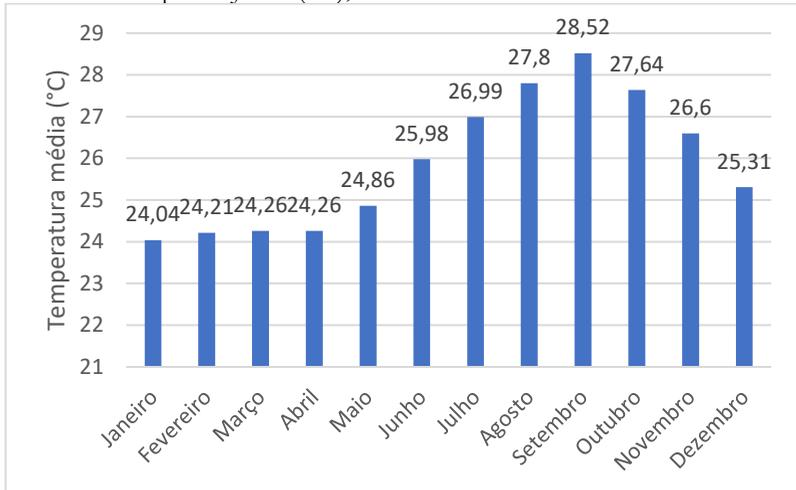
Áreas de reserva são regiões sensíveis a ações antrópicas, dado que mudanças na cobertura da superfície geram impactos na temperatura local. O monitoramento da temperatura de superfície se torna eficaz na compreensão do funcionamento destes territórios, especialmente em estudos de impacto das mudanças climáticas e de equilíbrio dos ecossistemas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observou-se que a temperatura de superfície na região de estudo comumente apresenta aumento, a partir do mês de maio, sendo setembro o mês mais quente, e decréscimo no mês de outubro. A média de temperatura da superfície mensal foi de 26,07°C nos anos de 2000 a 2016, sendo 24,04°C, no mês de janeiro, e 28,52°C, no mês de setembro, as médias das temperaturas mínimas e máximas, respectivamente (Figura 2). Valores similares de temperatura foram encontrados por Andrade *et al.* (2013, p. 1133) no município de Santarém (PA), vizinho a Juruti, em que as temperaturas de superfície estimadas foram 24,6°C (mínima) e 35,8°C (máxima), com média de 27,8°C.

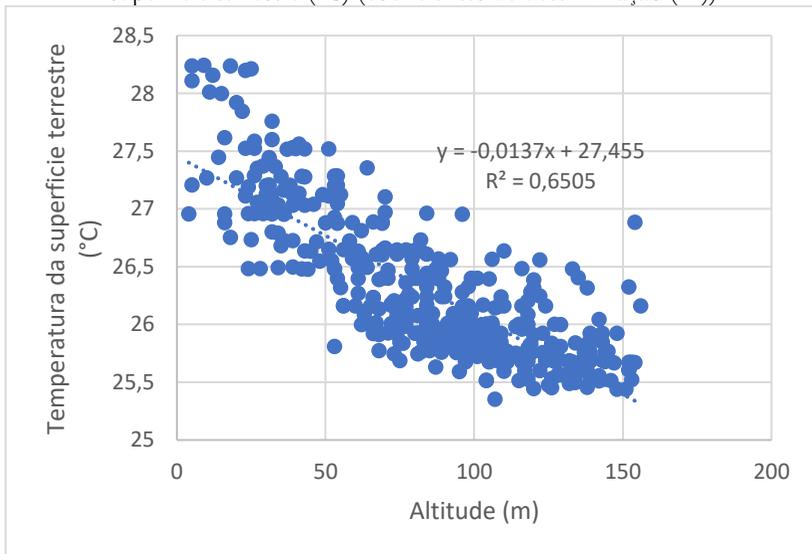
Na Figura 3, observa-se que a altitude apresenta correlação positiva moderada com as variáveis de temperatura de superfície, que apresentam coeficiente de determinação $R^2 = 0,65$. Isso implica dizer que o ar fica cada vez mais rarefeito, com o aumento na altitude, o que leva a uma perda de pressão. A temperatura é diretamente proporcional à pressão atmosférica do ambiente, portanto, quanto menor a pressão, menor a temperatura, ou seja, quanto maior a altitude, menor a temperatura do ar. De acordo com Fritzsons, Mantovani e Wrege (2016), em estudos que relacionam temperatura e altitude, observa-se que o aumento da altitude se reflete na redução da temperatura em aproximadamente 0,5°C a cada 100 metros.

Figura 3 – Temperatura média mensal da superfície da PEAEX Curumucuri, no município de Juruti (PA), com base na série histórica 2000-2016



Fonte: Amaral (2022) e Medeiros (2022)

Figura 4 – Diagrama de dispersão de altitude (m) e da temperatura da superfície terrestre (°C) (coeficientes de determinação (R²))



Fonte: Amaral (2022) e Medeiros (2022)

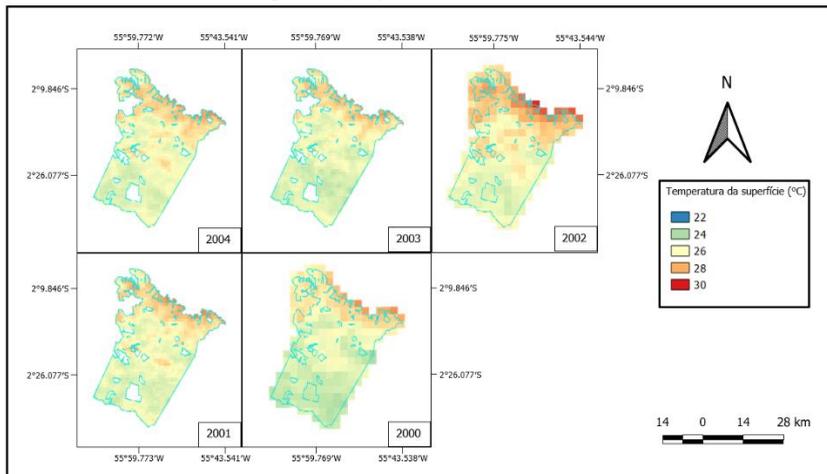
No intervalo de 2000 a 2002, é possível observar uma evolução positiva nas temperaturas de superfície, com destaque para o ano de 2002, que apresentou os maiores números (entre 28°C e 30°C), sendo o ano mais crítico do período. Nos anos posteriores, 2003 e 2004, a temperatura de superfície se reduziu (Figura 4).

De acordo com Alencar *et al.* (2016, p. 44), houve contribuição dos assentamentos para o desmatamento da Amazônia, fator que concorreu de forma progressiva, saindo de uma média de 18%, entre 2003 e 2005, para uma média de 30%, entre 2010 e 2014 (período de altas taxas de desmatamento na Amazônia).

Essa influência dos assentamentos no desmatamento pode ter reduzido a temperatura de superfície no período. Lima (2020, p. 50) observou que menores valores de temperatura são encontrados em áreas com presença de vegetação, com plantio de agricultura e com água. Igualmente, a redução na vegetação nativa causa degradação e alteração na temperatura.

Ainda em 2002, é possível observar regiões mais quentes, próximas a rios e a lagos, em que a temperatura de superfície chega a 30°C (Figura 4). Esse fenômeno é perceptível, uma vez que existe um processo de antropização na área de estudo, ocasionado pelo uso, muitas vezes indevido, dos corpos d'água. De acordo com Acselrad (2010), na Amazônia, e especificamente em Juruti, é possível observar o uso comunal de lagos, de rios, de igarapés, de florestas e de várzeas, pelas comunidades tradicionais.

Figura 5 – Média anual da temperatura da superfície terrestre no município de Juruti (PA) de 2000 a 2004



Fonte: Amaral (2022) e Medeiros (2022)

No ano de 2005, observa-se um aumento na temperatura de superfície, com relação ao ano anterior (Figura 5). Esse acréscimo pode estar relacionado à obtenção das licenças Prévia e de Instalação, pela *Aluminum Company of America* (Alcoa), em 2005, a qual começou a fechar áreas para a construção da base da lavra, da estrada e da ferrovia no território de Juruti Velho (GAVIRIA, 2013, p. 249). Essa mudança no espaço provavelmente forçou a redistribuição das comunidades e a abertura de novas áreas, o que se refletiu na reflectância da energia solar e na temperatura superficial local. Nesse caminho, segundo Bias *et al.* (2003), materiais empregados na construção civil, como concreto, asfalto, telhas, apresentam baixo grau de refletividade, logo grande parte da energia incidida nestas superfícies acaba ficando acumulada, gerando o aumento de temperatura.

Em 2006, é possível notar valores elevados de temperatura (Figura 5), reflexo da implantação de empreendimentos de exploração mineral, por parte da multinacional Alcoa, em Juruti, inaugurada em 2006, ocasionando uma corrida por terras públicas

e por recursos naturais, que trouxe muitos empresários, de várias regiões do país, para estas glebas (LIMA, 2019, p. 46).

De maneira geral, de 2005 a 2010, é possível observar a predominância de temperaturas de superfície entre 24°C e 26°C. No entanto, existe um destaque para o ano de 2009, que apresentou temperaturas elevadas, que variaram de 28°C a 30°C (Figura 5). Essa elevação de temperatura pode ser explicada por um aumento no nível de desmatamento da Amazônia Legal, passando de 18%, em 2008, para 31%, em 2009. A causa deste desmatamento é desconhecida, mas se sugere que pode ter sido ocasionado por ações depredatórias de médios e de grandes proprietários de terra, como estratégia de fuga da fiscalização (ALENCAR *et al.*, 2016, p. 42).

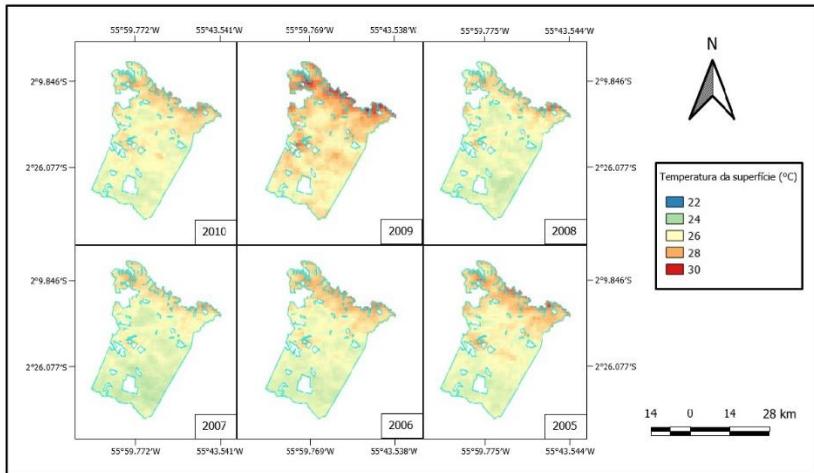
A temperatura elevada no ano de 2009 pode estar atrelada, também, à empresa Alcoa, que começou a operar uma mina de bauxita no município de Juruti, em 2008, processo que pode ser notado no aumento da temperatura de superfície, no ano posterior, uma vez que os impactos da mineração nos ecossistemas locais afetam de diversas formas as condições das reproduções material e cultural (GAVIRIA, 2013, p. 237).

Ainda em 2009, o INCRA concedeu o primeiro título coletivo de posse de terra a uma comunidade tradicional da Amazônia (em Juruti), e o governo estadual decidiu sobre a Limitação Administrativa Provisória do complexo Mamuru-Arapiuns nas áreas das glebas Nova Olinda, Nova Olinda II, Curumucuri e Mamuru. Ao longo do ano de 2010, foram criadas duas modalidades estaduais de ordenamento fundiário: os Projetos Estaduais de Assentamento Sustentável (PEAS); e os Projetos Estaduais de Assentamento Agroextrativista (PEAEX) (INSTITUTO..., 2022; GAVIRIA, 2013, p. 238).

Esse marco histórico foi fundamental na redução da temperatura de superfície observada entre 2009 e 2010 (Figura 5), uma vez que a criação e a permanência dos assentamentos têm, por finalidades, manter o controle dos recursos naturais e planejar atividades baseadas na extração de recursos e na sustentabilidade (SILVA *et al.*, 2016). Com a criação do PEAEX Curumucuri, é

possível promover a manutenção dos recursos e dos demais sistemas presentes em sua extensão, o que se reproduz na redução da temperatura de superfície no período.

Figura 6 – Média anual da temperatura da superfície terrestre no município de Juruti (PA) de 2005 a 2010



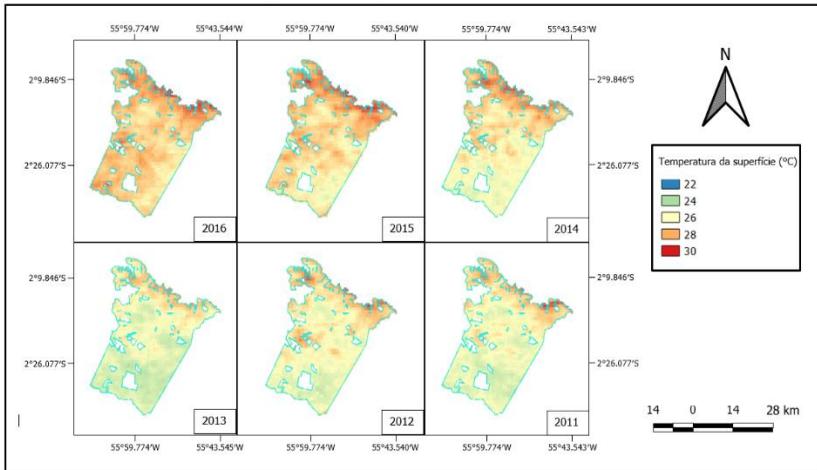
Fonte: Amaral (2022) e Medeiros (2022)

Nos anos de 2011 a 2016, é possível notar evoluções nas temperaturas das superfícies locais. Em 2012, houve aumento na temperatura de alguns pontos do assentamento (Figura 6), o que pode ser explicado pelo elevado grau de desmatamento ali observado no ano. Em junho do mesmo ano, foi realizada uma fiscalização, na qual se desmantelaram vários postos de extração ilegal de madeira no território de Juruti Velho, com apoio de pessoal das comunidades vizinhas de Curumucuri (GAVIRIA, 2013, p. 248); essa atitude pode ter redundado na redução da temperatura de superfície, no ano seguinte.

De 2014 a 2016, houve aumento na temperatura de superfície (entre 28°C e 30°C), pois, de acordo com Gaviria (2013, p. 248), os assentados causaram 30% dos desmatamentos ocorridos na Amazônia, em 2014. Tal situação tem colocado os assentamentos e o INCRA como alguns dos principais

responsáveis pelo processo de conversão florestal na região. No entanto, vale ressaltar que as ações de desmatamento nos assentamentos seguem a tendência de desmatamento da região.

Figura 7 – Média anual de temperatura da superfície terrestre no município de Juruti (PA) de 2011 a 2016



Fonte: Amaral (2022) e Medeiros (2022)

Segundo o Cadastro Nacional de Florestas Públicas (2019), houve uma redução da área total de florestas públicas correspondente a aproximadamente 311,6 no ano de 2017, valor que equivale a 36,6% do território brasileiro e que representa uma redução de 0,13%, em relação a 2016.

As principais causas para o avanço do desflorestamento nos projetos de assentamentos são a falta de planejamento; as áreas escolhidas para realizar os assentamentos, que não são selecionadas por suas características agrônômicas; e o pouco conhecimento dos assentados sobre a legislação ambiental, promovendo, assim, a ocorrência do desflorestamento ilegal (SOARES, 2008). Essas podem ser as causas do processo de desmatamento ocorrido no período de 2004 a 2016, forçando a elevação das temperaturas no período.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A temperatura de superfície terrestre se mostrou uma importante ferramenta na avaliação dos problemas socioambientais observados em assentamentos, uma vez que existe uma relação direta entre a TST e as questões antrópicas desenvolvidas pelos habitantes destes territórios. Com análises como esta, é possível planejar políticas públicas eficiente no controle do desmatamento e no uso inadequado dos recursos naturais.

A abertura de novas áreas de cultivo é outro dos fatores que contribuiu para o aumento da temperatura da superfície em situações pontuais, uma vez que regiões próximas aos corpos d'água são mais sensíveis ao aumento da temperatura, seja por suas características físicas intrínsecas, seja pela ocupação das margens destes, pela população local.

A criação de assentamentos agroextrativistas é uma alternativa viável para o uso adequado de um território. Para tanto, é importante o monitoramento dos impactos das atividades desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H. Mapeamentos, identidades e território. *In*: ACSELRAD, H. (Org.). **Cartografia Social e Dinâmicas Territoriais: marcos para o debate**. Rio de Janeiro: IPPUR-UFRJ, 2010. p. 9-46.
- ALENCAR, A. PEREIRA, C. CASTRO, I. CARDOSO, A. SOUZA, L. COSTA, R. BENTES, A. J. STELLA, O. AZEVEDO, A. GOMES, J. NOVAES, R. **Desmatamento nos assentamentos da Amazônia: Histórico, Tendências e Oportunidades**. Brasília: IPAM, 2016.
- ALMEIDA, M. G. Agroextrativistas e as controvérsias nas políticas sociais e ambientais no assentamento de Maracá, no estado do Amapá. **NERA**, v. 24, n. 58, p. 100-124, 2021.

ANDRADE, S. C.; VIEIRA, V. R.; MORAIS, H. F.; ALBUQUERQUE, E. M.; SANTOS, C. A. C. Estimativa de albedo, NDVI e Temperatura de Superfície no município de Santarém-PA. *In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, 2013. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu, 2013. p. 1129-1135.

ASSIS, W. F. T. Conflitos territoriais e disputas cartográficas: tramas sociopolíticas no ordenamento territorial do Oeste do Pará. *In: ACSELRAD, H. (Org). Cartografia social e dinâmicas territoriais*. Rio de Janeiro: IPPUR-UFRJ, 2012.

ASSIS, W. F. T. No princípio era a terra: a territorialização das lutas agrárias no contexto de expansão capitalista na Amazônia. *In: ACSELRAD, H. (Org). Cartografia social, terra e território*. Rio de Janeiro: IPPUR-UFRJ, 2013.

BASTOS, T. X. **O clima da Amazônia Brasileira segundo Köppen**. Belém: EMBRAPA, 1982. 4 p.

BENATTI, J. H. A titularidade da propriedade coletiva e o manejo florestal comunitário na Amazônia brasileira. *In: 12th BIENNIAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR THE STUDY OF COMMON PROPERTY (IASCP)*, Oaxaca, México, 2004. **Anais [...]**. Oaxaca, 2004. p. 9-13.

BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. *In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 11., 2003, Belo Horizonte/MG. **Anais [...]**. Belo Horizonte, 2003. p. 1741-1748.

BRASIL. Instituto de Terras do Pará (ITERPA). Instrução Normativa nº 3, de 9 de junho de 2010. **Diário Oficial da União**, Brasília, 9 jun. 2010.

BRASIL. Instituto de Terras do Pará (ITERPA). Decreto nº 1.401, de 24 de setembro de 2015. **Diário Oficial da União**, Brasília, 24 set. 2015.

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Portaria nº 268, de 23 de outubro de 1996. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 out. 1996.

BRASIL. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). **Criação e modalidades de assentamentos**. Disponível em: <https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/reforma-agraria/assentamentos>. Acesso em: 1º jul. 2022.

BRASIL. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Satélites Aqua e Terra e o sensor MODIS**. 2022. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/modis.html#:~:text=O%20sensor%20MODIS%2C%20se%20encontra,vegetal%20e%20uso%20da%20terra>. Acesso em: 4 jul. 2022.

BRASIL. Serviço Florestal Brasileiro. **Cadastro Nacional de Florestas Públicas**. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br/cadastro-nacional-de-florestas-publicas/127-informacoes-florestais/cadastro-nacional-de-florestas-publicas-cnfp/1413-cadastro-nacionalde-florestas-publicas-atualizacao-2017>. Acesso em: 25 jul. 2022.

CALANDINO, D.; WEHRMANN, M.; KOBLITZ, R. Contribuição dos assentamentos rurais no desmatamento da Amazônia: um olhar sobre o Estado do Pará. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 26, p. 161-170, 2012.

DASH, P.; GOTTSCHKE, F. M.; OLESEN, F. S.; FISCHER, H. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice current trends. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n. 13, p. 2563-2594, 2002.

FARO, A. **Juruti**. 2022. Disponível em: <https://www.tapajosmeuestado.com.br/p/juruti.html#:~:text=T+opografia%20A%20varia%C3%A7%C3%A3o%20altim%C3%A9trica%20do%20Munic%C3%ADpio%20%C3%A9%20moderada%2C,que%20alcan%C3%A7am%20de%20130%20metros%20a%20150%20metros>. Acesso em: 1º jun. 2022.

FRIEDL, M. A. Forward and inverse modeling of land surface energy balance using surface temperature measurements. **Remote Sensing of Environment**, v. 79, n. 2-3, p. 344-354, 2002.

FRITZSONS, E.; MANTOVANI, L. E.; WREGE, M. S. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento

climático no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 80-92, 2016.

GAO, Y.; ZHANG, W. LULC Classification and Topographic Correction of Landsat-7 ETM + Imagery in the Yangjia River Watershed: The Influence of DEM Resolution. **Sensors**, v. 30, n. 9, p. 2259-2275, 2009.

GAVIRIA, E. M. Mineração e regulação social na Amazônia: o caso da mineradora Alcoa e as comunidades de Juruti Velho, Pará. *In*: ACSELRAD, H. (Org). **Cartografia social, terra e território**. Rio de Janeiro: IPPUR-UFRJ, 2013.

GIRARDI, E. P.; FERNANDES, B. M. A luta pela terra e a política de assentamentos rurais no Brasil: a reforma agrária conservadora. **Agrária (Online)**, São Paulo, n. 8, p. 73-98, 2008.

HENRIQUES, G. Projeto Saúde e Alegria - PSA. Almanaque da reserva extrativista Tapajós-Arapiuns: prazer em conhecer. *In*: PENA, F. (Org). **Projeto Saúde e Alegria**. Santarém: CEAPS, 2015.

INSTITUTO de Terras do Pará resolve impasse fundiário histórico. Agência Pará, 21 de novembro de 2006. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/noticia/43381>. Acesso em: 16 maio 2022.

KUMAR, L.; MUTANGA, O. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. **Remote Sensing, MPDI**, v. 10, n. 1.509, p. 15, 2018.

LE TOURNEAU, F. M.; BURSZTYN, M. Assentamentos rurais na Amazônia: contradições entre a política agrária e a política ambiental. **Ambiente & Sociedade**, v. 8, n. 1, p. 111-130, 2010.

LIMA, Á. A. X. **Análise espaço-temporal dos impactos do desmatamento no município de Águas Vermelhas -MG**. 2020. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2020.

LIMA, P. H. **Tensões e conflitos na gestão e acesso a recursos naturais na Amazônia: Cachoeira do Aruã – PA e Lago Grande**. Orientador: Maurício Torres; Coorientador: James Angus Fraser. 2019. 119f. Dissertação (Mestrado em Recursos Naturais

da Amazônia) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.

MAIA, R. O. M. **A política de regularização fundiária e reforma agrária: o PAE nas ilhas do Pará.** 2011. 194f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

QUATTROCHI, D. A.; LUVALL, J. C. Thermal Infrared Remote Sensing for Analysis of Landscape Ecological Processes: Methods and Applications. **Landscape Ecology**, v. 14, p. 577-598, 1999.

SAUER, S. O significado dos assentamentos de reforma agrária no Brasil. *In*: FRANÇA, C. G.; SPAROVEK, G. (Org.). **Assentamentos em debate.** Brasília: NEAD, 2005.

SILVA, V, A. **Projeto de assentamento agroextrativista Eixo Forte em Santarém-PA: cenários dinâmicos de um assentamento diferenciado.** Orientador: Alanna do Socorro Lima da Silva. 2019. 149f. Dissertação (Mestrado em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida) – Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Ambiente e Qualidade de Vida, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2019.

SILVA, V. C. S.; VIEIRA I. C. G. Barômetro da Sustentabilidade aplicado a assentamentos rurais do leste do Estado do Pará, Brasil. **Desenvolvimento e Meio ambiente**, v. 36, p. 201-221, 2016.

SOARES, J. L. N. A organização territorial de assentamentos rurais para atender a legislação ambiental na Amazônia. **Campo-Território: Revista de Geografia Agrária (Uberlândia)**, v. 3, n. 6, p. 143-155, 2008. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/campoterritorio/article/view/11886>. Acesso em: 24 jul. 2022.

THOMAS, S. *et al.* Regulamentação fundiária na Amazônia e projetos agroextrativistas na várzea do baixo amazonas. *In*: BAHIA, M. C.; NASCIMENTO, D. M. (Org.). **Estado, sistemas produtivos e populações tradicionais.** Belém: NAEA, 2014.

THOMAS, S.; ALMEIDA, O.; PINHEIRO, E. S. Implication of the Agro-extractive Settlement Project (PAE) in the participatory governance of common natural resources in Amazon floodplain. **Revista de Ciências Agrárias Amazonian (Journal of Agricultural and Environmental Sciences)**, v. 59, n. 4, p. 320-325, 2016.

WAN, Z. **Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide**. Santa Barbara: University of California, 2013. 33 p.

WENG, Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 335-344, maio 2009.

WENG, Q.; LU, D.; SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 467-483, 2004.

ANÁLISE DO IMPACTO DA INSTRUÇÃO DA NORMATIVA Nº 9 NA EXTENSÃO TERRITORIAL INDÍGENA BRASILEIRA

Sueny Pinhel Miranda¹

INTRODUÇÃO

O Brasil é um território marcado pela violência no processo de ocupação de territórios das comunidades tradicionais e dos povos indígenas. Para garantir os direitos das nações indígenas à posse permanente das terras tradicionalmente ocupadas por elas, foi necessário incluir, na Constituição Federal de 1988, normas que os regulamentassem.

A análise ambiental das terras indígenas em território brasileiro exige um olhar amplo, que englobe questões, ligadas à organização social e aos costumes, às línguas, às crenças e às tradições destes povos. A relação com a terra é a base da tradição cultura indígena, e a perda de territórios para atividades de cunho econômico afeta diretamente a raiz cultural destes povos e, no longo prazo, suas próprias identidade e existência.

É direito dos índios fazerem o usufruto exclusivo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos nos seus territórios demarcados, além de ser uma estratégia sustentável para o Brasil manter a florestas de pé, respeitando os direitos de todos os cidadãos da nação.

A atual pesquisa foi estabelecida no período entre 16 de abril de 2020 e 12 de abril de 2022 e seu público-alvo foi a

¹ Engenheira Agrícola (UFRRJ), mestra em Agricultura Orgânica (UFRRJ) e estudante de MBA em Gestão de Projetos (USP/Esalq). Contato: geoprecisagri@gmail.com.

comunidade dos povos indígenas, tendo todo o território brasileiro como área de estudo.

O objetivo desta pesquisa é de apresentar quantitativos e localizações de áreas de imóveis privados, certificados e registrados no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), ligado ao governo federal, as quais foram subtraídas de terras indígenas ainda em processo de demarcação no Brasil, a partir da entrada em vigor da Instrução Normativa nº 9, promulgada em 16 de abril de 2020, pela Fundação Nacional do Índio (Funai).

Nesse sentido, relembra-se de que, em 2018, foi feita uma promessa, pelo atual presidente da República, Jair Bolsonaro, de que não haveria nem mais um centímetro de terras demarcadas para reserva indígenas ou quilombolas. Ações como esta vêm estimulando a disputa e a invasão dos territórios de ambas as populações, tornando o diálogo entre índios e quilombolas e grupos de ruralistas interessados em suas terras cada vez mais difícil.

Após a publicação da Instrução Normativa nº 9, houve uma enxurrada de certificações de imóveis privados em terras indígenas (TI) ainda não demarcadas. Hoje, existem mais de 100 territórios, cujas homologações estão esperando pela assinatura do Presidente, mas, enquanto tal ato não ocorre, parte destas terras está sendo comercializada e registrada como propriedade privada.

Desde 2019, a Funai vem sendo sucateada, tendo baixo investimento para as manutenções do seu quadro de funcionários e da sua estrutura física, além de estar sofrendo alterações no perfil de parte considerável de seus coordenadores regionais. Tendo em vista que os papéis da Funai são os de proteger as populações indígenas e de orientar os processos de demarcação de suas terras, a redução de funcionários no órgão vem gerando o aumento da incidência de violências física e psicológica sobre os índios brasileiros, ao longo dos anos.

Vale ressaltar que os funcionários da Funai não podem viajar para territórios em processo de demarcação, etapa fundamental para fiscalização de áreas e para dar andamento a

processos de homologação de territórios indígenas. Esse fato vem facilitando e estimulando ações de invasão destas terras.

Além da presente introdução, a próxima seção desta pesquisa traz descritos os procedimentos metodológicos utilizados na análise da área de estudo, a seção seguinte apresenta-se a discussão teórico-conceitual geral sobre o tema e a próxima seção trata dos resultados da discussão produzida, ao passo que o presente trabalho é encerrado na seção de últimas considerações.

Nessa pesquisa, o leitor poderá obter respostas para as seguintes perguntas:

- Quais reservas indígenas foram afetadas pela IN nº 9?
- Quais foram os meses mais críticos de registro?
- Quais estados brasileiros foram afetados pela IN nº 9?
- Qual é o tamanho das áreas indígenas privatizadas?

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ÁREA DE ESTUDO

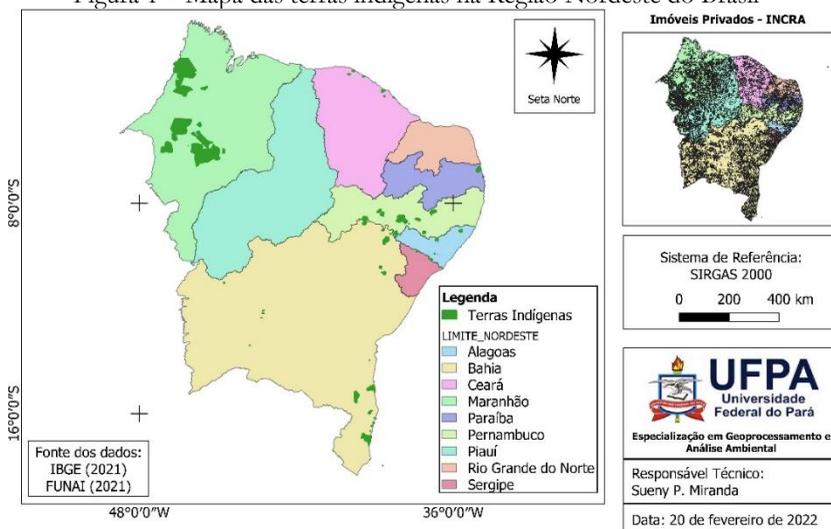
Nesse trabalho, foram utilizados, como base, dados sobre o acervo fundiário brasileiro, mantidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e disponibilizado no Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), e dados sobre os limites das terras indígenas brasileiras, apresentados pela Fundação Nacional do Índio (Funai) e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

A pesquisa abrange os cerca de 8.510.345 km² do território brasileiro (IBGE, 2021), com suas cinco regiões bem definidas: Norte, Nordeste, Centro-Oeste, Sul e Sudeste, cuja divisão de território congrega 26 estados — Acre (AC), Alagoas (AL), Amapá (AP), Amazonas (AM), Bahia (BA), Ceará (CE), Espírito Santo (ES), Goiás (GO), Maranhão (MA), Mato Grosso (MT), Mato Grosso do Sul (MS), Minas Gerais (MG), Pará (PA), Paraíba (PB), Paraná (PR), Pernambuco (PE), Piauí (PI), Rio de Janeiro (RJ), Rio Grande do Norte (RN), Rio Grande do Sul (RS), Rondônia (RO),

Roraima (RR), Santa Catarina (SC), São Paulo (SP), Sergipe (SE) e Tocantins (TO) — e o Distrito Federal (DF), que sedia a capital do país.

A Região Nordeste do Brasil, com seus aproximadamente 155 milhões de hectares, possui mais de três milhões de hectares de terras indígenas, cuja maior parte se concentra no estado do Maranhão. Essa região do país tem mais de um milhão de hectares de terras cadastrados no INCRA (Figura 1).

Figura 1 – Mapa das terras indígenas na Região Nordeste do Brasil

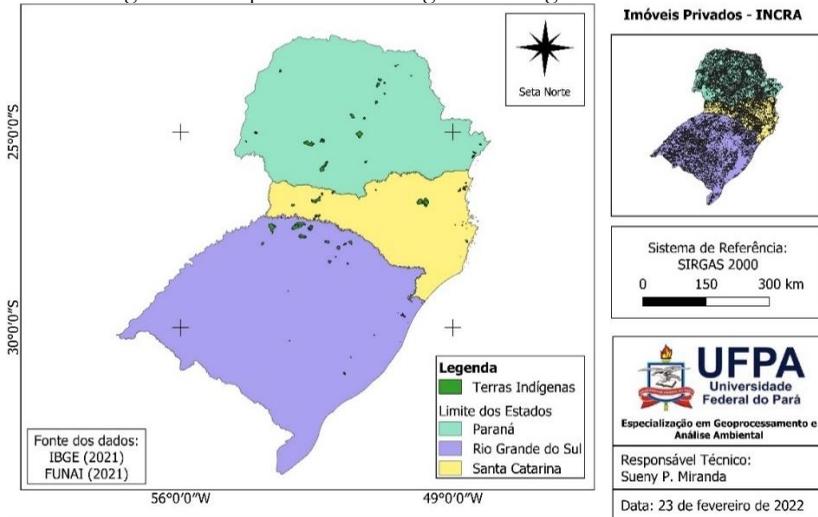


Fonte: elaborado pela autora (2022)

Vale destacar, na região analisada, que os estados de Piauí e de Rio Grande do Norte ainda não possuem terras indígenas reconhecidas, de acordo com os dados disponibilizados pela Funai.

A Região Sul do Brasil, que tem aproximadamente 58 milhões de hectares, tem mais de 300 mil hectares de terras indígenas (Figura 2).

Figura 2 – Mapa das terras indígenas na Região Sul do Brasil



Fonte: elaborado pela autora (2022)

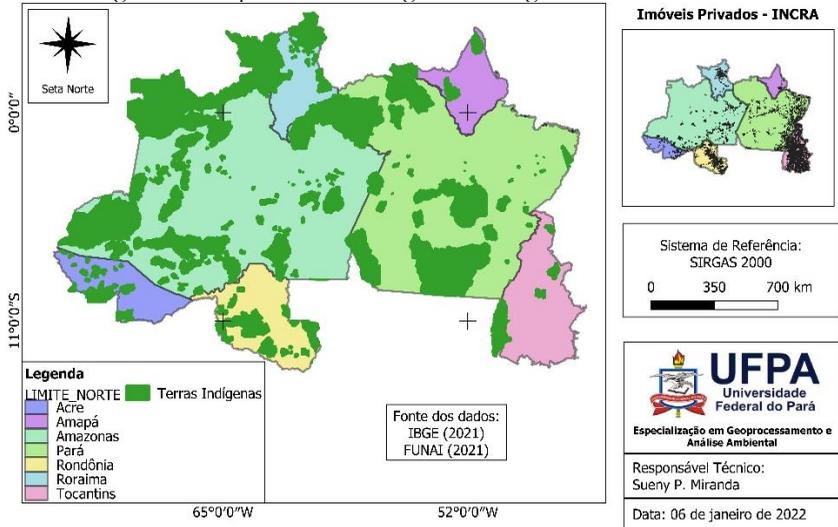
Como pode ser observado no mapa, todos os estados da Região Sul do Brasil possuem terras indígenas.

A Região Norte do Brasil possui aproximadamente 385 milhões de hectares de extensão territorial, dos quais quase 100 milhões de hectares são terras indígenas (Figura 3).

A Região Norte possui quase dez milhões de hectares registrados como imóveis privados no INCRA, com a maior parte no estado de Tocantins.

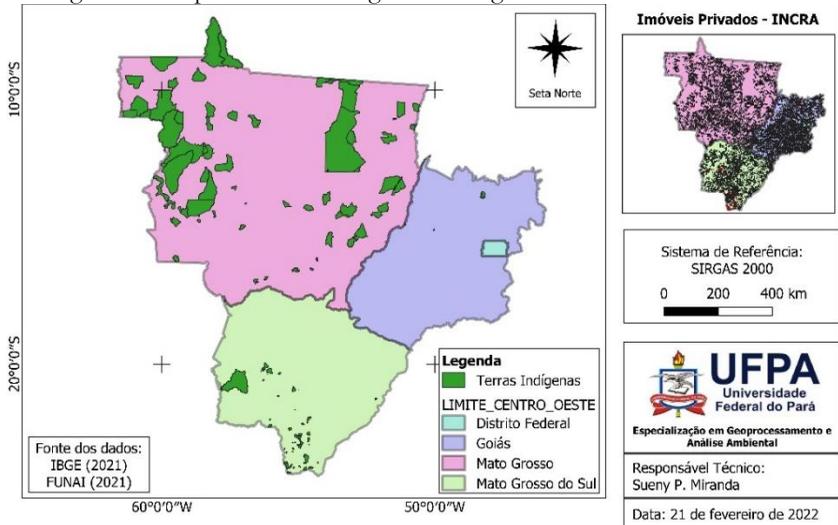
A Região Centro-Oeste do país tem um pouco mais do que 160 milhões de hectares de extensão territorial, dos quais mais de 15 milhões são terras indígenas (Figura 4).

Figura 3 – Mapa de terras indígenas na Região Norte do Brasil



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Figura 4 – Mapa das terras indígenas na Região Centro-Oeste do Brasil

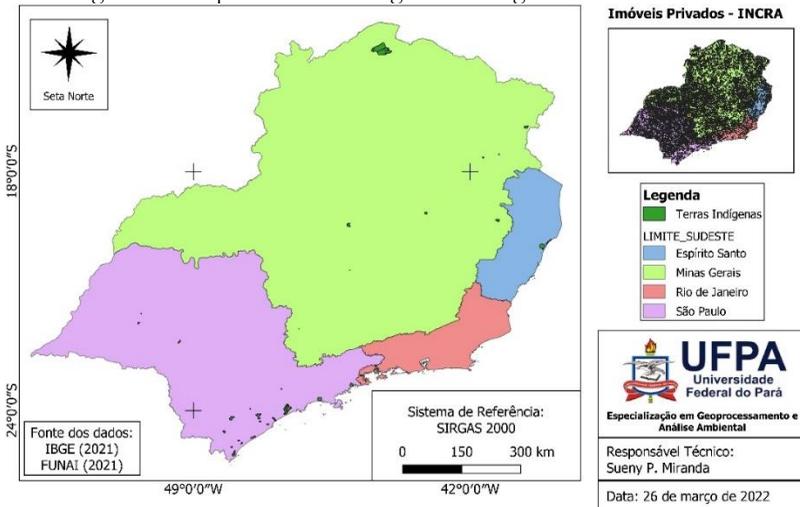


Fonte: elaborado pela autora (2022)

Foi verificado que não há terras indígenas reconhecidas pela federação no Distrito Federal.

A Região Sudeste do país, com seus aproximadamente 92 milhões de hectares de extensão territorial, tem mais de 200 mil hectares de terras indígenas em sua delimitação, mas quase oito milhões de hectares desta região são registrados como imóveis privados (Figura 5).

Figura 5 – Mapa das terras indígenas na Região Sudeste do Brasil



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Os dados foram analisados em um ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), em que pode se identificar as áreas de imóveis privados certificados pelo INCRA, cujos perímetros estão sobrepostos aos das áreas das terras indígenas. Foi feito um recorte de tais áreas sobrepostas, para que, posteriormente, fosse examinado a que região e a quais estados brasileiros elas eram pertencentes.

Como marco temporal da análise, foi feita uma seleção das áreas cadastradas no intervalo do dia 16 de abril de 2020 ao dia 12 de abril de 2022, sendo eliminadas as áreas cadastradas fora do

período citado. Para se destacar as áreas sobrepostas, estas foram aumentadas e coloridas com a cor vermelha.

As áreas sobrepostas foram separadas por zona UTM, para que pudesse ser utilizada a calculadora de campo na identificação da extensão de cada área privada cadastrada em terras indígenas. Posteriormente ao cálculo das áreas, utilizou-se a ferramenta de união, para separar as áreas por estados brasileiros. Para a apreciação dos dados e para a produção dos mapas temáticos, utilizou-se o *software* QGIS, versão 3.10.12, da fabricante *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo).

CONCEITUAL-TEÓRICO

A Constituição Federal de 1988 possibilitou o reconhecimento do direito das nações indígenas às terras tradicionalmente ocupadas por elas, em troca estabeleceu que estas terras só poderiam ser usadas para outro fim nos casos de relevante interesse público, que seriam definidos em lei complementar (BRASIL, 1988).

Ao considerar a Constituição Federal, foi feita uma avaliação dos artigos de cada capítulo da Carta Magna vinculado ao tema dos direitos dos povos indígenas (Quadro 1).

Geoinformação e Análises Socioambientais

Quadro 1 – Artigos direcionados aos povos indígenas na Constituição Federal de 1988

TÍTULO III - DA ORGANIZAÇÃO DO ESTADO	CAPÍTULO II DA UNIÃO	<p>- Art. 20. Inciso XI: são bens da União as terras tradicionalmente ocupadas pelos índios;</p> <p>- Art. 22. Inciso XIV: Compete privativamente à União legislar sobre populações indígenas;</p>
TÍTULO IV DA ORGANIZAÇÃO DOS PODERES	CAPÍTULO I DO PODER LEGISLATIVO	<p>SEÇÃO II DAS ATRIBUIÇÕES DO CONGRESSO NACIONAL</p> <p>- Art. 49. Inciso XVI: É da competência exclusiva do Congresso Nacional autorizar, em terras indígenas, a exploração e o aproveitamento de recursos hídricos e a pesquisa e lavra de riquezas minerais,</p>
	CAPÍTULO III DO PODER JUDICIÁRIO	<p>SEÇÃO IV DOS TRIBUNAIS REGIONAIS FEDERAIS E DOS JUÍZES FEDERAIS</p> <p>- Art. 109. Inciso XI: Compete aos juízes federais processar e julgar a disputa sobre direitos indígenas;</p>
	CAPÍTULO IV DAS FUNÇÕES ESSENCIAIS À JUSTIÇA	<p>SEÇÃO I DO MINISTÉRIO PÚBLICO</p> <p>- Art. 129. Inciso V: São funções institucionais do Ministério Público defender judicialmente os direitos e interesses das populações indígenas;</p>

Fonte: Brasil (1988)

Feita a análise das citações sobre as terras indígenas, até o Título IV da Constituição Federal de 1988, temos o título VIII, que inclui o capítulo VIII, que trata especificamente sobre os direitos dos índios (Quadro 2).

Geoinformação e Análises Socioambientais

Quadro 2 – Artigos direcionados aos povos indígenas na Constituição Federal de 1988

TÍTULO VIII DA ORDEM SOCIAL	CAPÍTULO VIII DOS ÍNDIOS	<p>- Art. 231. São reconhecidos aos índios sua organização social, costumes, línguas, crenças e tradições, e os direitos originários sobre as terras que tradicionalmente ocupam, competindo à União demarcá-las, proteger e fazer respeitar todos os seus bens.</p> <p>§ 1º São terras tradicionalmente ocupadas pelos índios as por eles habitadas em caráter permanente, as utilizadas para suas atividades produtivas, as imprescindíveis à preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar e as necessárias a sua reprodução física e cultural, segundo seus usos, costumes e tradições.</p> <p>§ 2º As terras tradicionalmente ocupadas pelos índios destinam-se a sua posse permanente, cabendo-lhes o usufruto exclusivo das riquezas do solo, dos rios e dos lagos nelas existentes.</p> <p>§ 3º O aproveitamento dos recursos hídricos, incluídos os potenciais energéticos, a pesquisa e a lavra das riquezas minerais em terras indígenas, só pode ser efetivado com autorização do Congresso Nacional, ouvidas as comunidades afetadas, ficando-lhes assegurada participação nos resultados da lavra, na forma da lei.</p> <p>§ 4º As terras de que trata este artigo são inalienáveis e indisponíveis, e os direitos sobre elas, imprescritíveis.</p> <p>§ 5º É vedada a remoção dos grupos indígenas de suas terras, salvo, ad referendum do Congresso Nacional, em caso de catástrofe ou epidemia que ponha em risco sua população, ou no interesse da soberania do País, após deliberação do Congresso Nacional, garantido, em qualquer hipótese, o retorno imediato logo que cesse o risco.</p> <p>§ 6º São nulos e extintos, não produzindo efeitos jurídicos, os atos que tenham por objeto a ocupação, o domínio e a posse das terras a que se refere este artigo, ou a exploração das riquezas naturais do solo, dos rios e dos lagos nelas existentes, ressalvado relevante interesse público da União, segundo o que dispuser lei complementar, não gerando a nulidade e a extinção direito a indenização ou a ações contra a União, salvo, na forma da lei, quanto às benfeitorias derivadas da ocupação de boa-fé.</p> <p>Art. 232. Os índios, suas comunidades e organizações são partes legítimas para ingressar em juízo em defesa de seus direitos e interesses, intervindo o Ministério Público em todos os atos do processo.</p>
--------------------------------	-----------------------------	--

Fonte: Brasil (1988)

Segundo Barros (2007), cabe ao Poder Público reconhecer a organização social dos povos indígenas, bem como demarcar e proteger as áreas ocupadas pelos nativos do Estado brasileiro.

Foi durante o avanço da epidemia de Coronavírus por terras indígenas, que, em parceria com a Secretaria Especial de Assuntos Fundiários, do Ministério da Agricultura, a Funai abriu as possibilidades de ocupação e de venda de áreas em terras indígenas ainda não homologadas ao capital privado (GIRARDI, 2020).

Foram incluídas, no Sistema de Gestão Fundiária do governo federal (o SIGEF), as TI homologadas e regularizadas, enquanto as TI ainda em estudo, com limites aprovados pela Funai ou já declarados, mas não homologados pela Presidência da República, ficariam de fora daquele sistema (INA, 2020).

Segundo o INCRA (2021), o requerimento de certificação é processado de forma totalmente automática, enquanto os processos de registro, de desmembramento, de remembramento, de retificação, de cancelamento e de sobreposição são parcialmente automatizados, pois necessitam de exame.

De acordo com a Instrução Normativa nº 9, não cabe à Funai produzir documentos que restrinjam a posse de imóveis privados, em face de estudos de identificação e de delimitação de terras indígenas (ou quilombolas) ou constituição de reservas indígenas (ou quilombolas) (BRASIL, 2020). Afirmou Monteiro (2020) que a IN nº 9 é de grande valia para a extinção do abusivo ato perpetrado pelo INCRA, já que o SIGEF trazia, ao produtor rural, imensas instabilidade e insegurança, facilitando o caminho para a realização de certificações dos imóveis rurais e de transações negociais.

O governo federal, por meio da IN nº 9/2020, afirma que a Funai tem acumulado avanços na área de gestão territorial e permitido solucionar conflitos fundiários, que garantem maiores segurança jurídica e agilidade aos seus trabalhos (SILVA, 2021). Um discurso contrário é verificado na Nota Técnica dos Indigenistas Associados (INA), que é uma associação de servidores da Funai, que afirma que a IN nº 9/2020 transforma a Funai em

instância de certificação de imóveis para posseiros, para grileiros e para loteadores de terras indígenas (INA, 2020).

Afirma Leitão (2020) que não foram levados em consideração os territórios indígenas ainda sob estudo e que esta mudança nas regras de emissão de atestados para imóveis privados é uma medida que ameaça os povos isolados, tornando cada vez mais instável o clima no território.

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) permitem que se realize o tratamento computacional de dados geográficos representados numa projeção cartográfica, e este fator possibilita a análise territorial remota de uma localidade (CÂMARA, 2004). De acordo com Schneider e Tartaruga (2004), as técnicas de geoprocessamento são de fundamental relevância para se compreender o dinamismo do uso e ocupação de terras e para se executar uma análise espacial territorial.

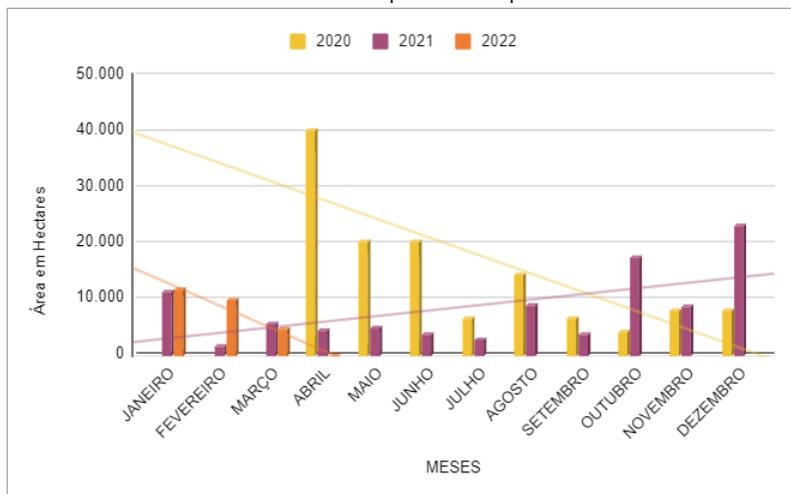
No que tange ao entendimento sobre a análise territorial de um determinado espaço geográfico, segundo Melo (2010), a combinação de diferentes metodologias de pesquisa auxilia no processo de avaliação de áreas em estudo. De acordo com Welch, Brondizio e Coimbra Jr. (2022), até para se fazer a análise espacial remota do regime indígena de queimadas, deve-se apoiar no embasamento etnográfico, para se obter a compreensão das questões de sustentabilidade dos povos tradicionais.

Para Oliveira Jr. (2008), as técnicas de geoprocessamento permitem o desenvolvimento de metodologias de integração de informações, o que auxilia a obter respostas sobre estudos de problemas ambientais existentes no Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, foi analisado o progresso temporal dos registros de imóveis privados em terras indígenas. Antes da metade do primeiro mês de vigor da IN nº 9 (abril de 2020), o Brasil teve um número impressionante de certificações de imóveis privados, abrangendo uma área de mais de 40 mil hectares (Gráfico 1).

Gráfico 1 – Análise temporal do impacto da IN n° 9



Fonte: elaborado pela autora (2022)

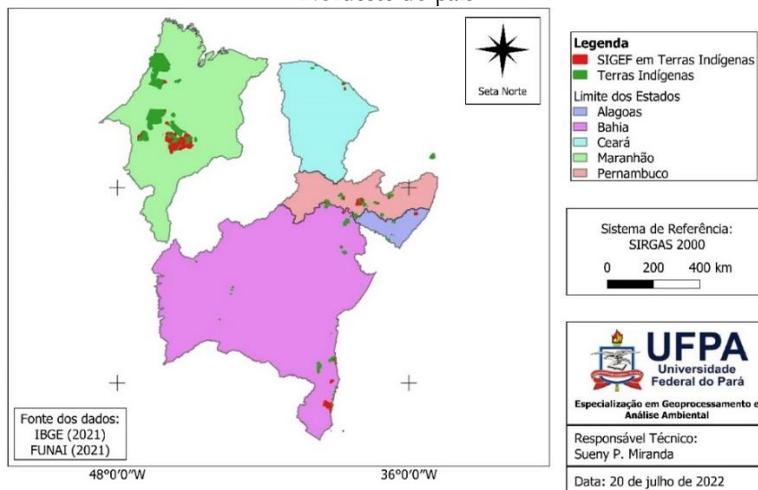
Como pode ser observado no gráfico, os três primeiros meses de validade da norma em questão (abril, maio e junho de 2020) foram aqueles, nos quais se produziram mais cadastros. No segundo ano analisado (2021), houve picos de registros de imóveis privados em terras indígenas entre os meses de outubro e dezembro.

Foram analisadas as cinco regiões brasileiras, tendo sido identificado que a Região Nordeste teve a maior concentração de imóveis privados registrados em terras indígenas, após a IN n° 9, seguida das regiões Centro-Oeste, Sudeste, Sul e Norte do país.

REGIÃO NORDESTE

No Nordeste do Brasil, foram verificados registros de 167.615,011 hectares de imóveis privados em 21 terras indígenas, localizadas em cinco estados da região, o que equivale a 66,57% do total de imóveis privados registrados em terras indígenas, após a publicação da Instrução Normativa n° 9 (Figura 6).

Figura 6 – Imóveis privados registrados em territórios indígenas na Região Nordeste do país



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Vale ressaltar que Paraíba e Sergipe, que têm, respectivamente, 33.955,063 hectares e 3.809,42 hectares de terras indígenas, não tiveram imóveis privados registrados em seus territórios indígenas no período analisado. Das terras indígenas afetadas, a nomeada Porquinhos dos Canela-Apãnjekra, localizada no Maranhão, foi a que mais perdeu área (Quadro 3).

Quadro 3 – Região Nordeste do país

Estado	Terra indígena	Área (ha)
Alagoas	Wassu-Cocal Reestudo	1.459,516
Bahia	Barra Velha	33,466
	Barra Velha do Monte Pascoal	8.409,268
	Comexatibá	2.985,261
	Tumbalalá	131,362
	Tupinambá de Belmonte	1.673,014
	Tupinambá de Olivença	360,319
	Tuxá	251,724
Ceará	Pitaguary	236,249

Geoinformação e Análises Socioambientais

	Tapeba	5,588
Maranhão	Arariboia	17,08
	Bacurizinho	22.945,348
	Caru	31,02
	Kanela Memortumré	53.518,928
	Krikati	28,254
	Porquinhos dos Canela-Apãnjekra	69.301,506
	Urucu/Juruá	32,861
Pernambuco	Kapinawá	0
	Pankará da Serra do Arapuá	567,6
	Pipipã	5.613,158
	Xukuru de Cimbres	13,489

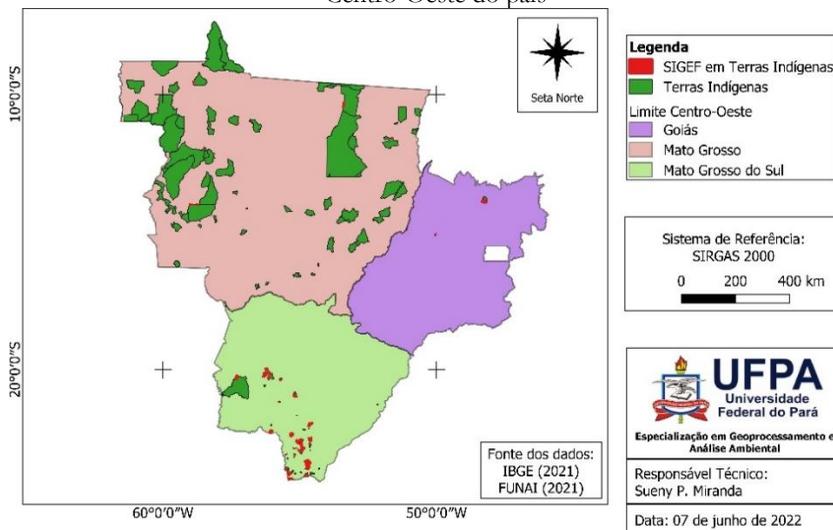
Fonte: elaborado pela autora (2022)

Em todo o território brasileiro, o estado do Maranhão foi o mais afetado, tendo 145.874,997 hectares de terras indígenas registrados como áreas privadas. O segundo estado mais afetado na região foi a Bahia, com 13.844,414 hectares tomados de áreas indígenas, seguido de Pernambuco (6.194,247 hectares), de Alagoas (1.459,516 hectares) e de Ceará (241,837 hectares).

REGIÃO CENTRO-OESTE

A Região Centro-Oeste foi a segunda região do país em perda de terras indígenas para a esfera particular, tendo 60.613,177 hectares de terras indígenas registrados como áreas de imóveis privados. Vale destacar que o Distrito Federal não possui terras indígenas reconhecidas (Figura 7).

Figura 7 – Imóveis privados registrados em territórios indígenas na Região Centro-Oeste do país



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Na Região Centro-Oeste, 31 terras indígenas foram afetadas pela IN n° 9, o equivalente a mais de 24% do total de áreas privatizadas em territórios indígenas. A terra indígena nomeada Iguatempigua I foi a que teve mais perda de território na região (Quadro 4).

Quadro 4 – Região Centro-Oeste do país

Estado	Terra indígena	Área (ha)
Goiás	Avá-Canoeiro	1.761,485
	Carretão II	1,947
Mato Grosso	Apiaka/Kayabi	18,066
	Capoto/Jarina	76,285
	Enawenê-Nawê	4,765
	Escondido	3,853
	Maraiwatsede	0
	Parsi	4,647
Mato Grosso do Sul	Aldeia Limão Verde	0,013

Geoinformação e Análises Socioambientais

Amambai	0,008
Arroio-Korá	228,317
Buriti	1.000,766
Cachoeirinha	6.733,176
Dourados-Amambaieguá I	12.037,361
Guaimbé	0,483
Guasuti	2,36
Guyraroká	976,604
Iguatemipegua I	12.322,399
Jatayvari	4.410,299
Kadiwéu	5.362,369
Limão Verde	29,821
Ñande Ru Marangatu	6.760,98
Nioaque	0
Panambi - Lagoa Rica	1.550,047
Pirajuí	0,001
Potrero Guaçu	1.501,293
Rancho Jacaré	0
Sombrerito	1.555,945
Taquara	0,002
Taunay/Ipegue	1.311,215
Ypoi/Triunfo	2.958,67
Total da Região Centro-Oeste	60.613,177

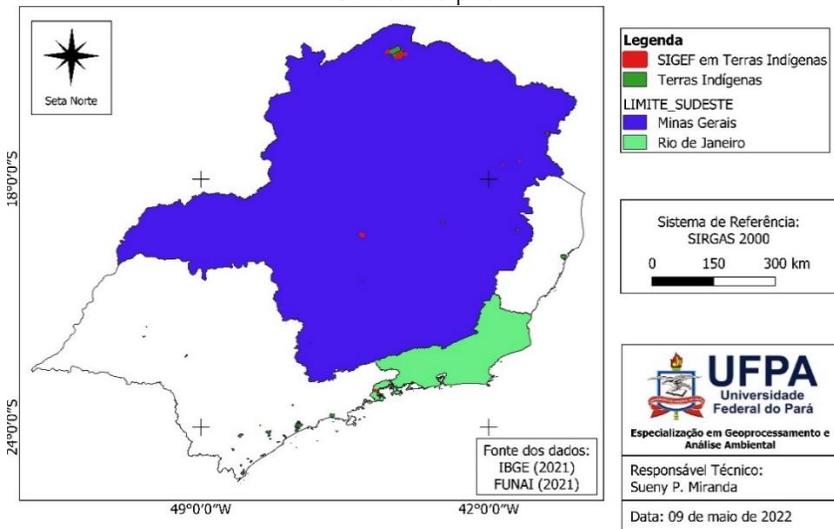
Fonte: elaborado pela autora (2022)

O estado de Mato Grosso do Sul foi o mais atingido, com 58.742,129 hectares de terras indígenas sendo registradas como imóveis privados no INCRA, seguido de Goiás (1.763,432 hectares) e de Mato Grosso (107,616 hectares).

REGIÃO SUDESTE

A Região Sudeste do país foi a terceira mais afetada pela IN nº 9, tendo um total de 13.830,243 hectares de terras indígenas registrados como áreas privadas (Figura 8).

Figura 8 – Imóveis privados registrados em territórios indígenas na Região Sudeste do país



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Das sete aldeias indígenas afetadas na região, seis pertencem ao estado de Minas Gerais, que detém a maior área de terras indígenas reconhecidas na região. Os estados de São Paulo, o segundo em extensão territorial indígena reconhecida na região, com cerca de 78 mil hectares, e de Espírito Santo, o terceiro, com aproximadamente 18 mil hectares, não apresentaram registros de territórios indígenas privatizados no período analisado (Quadro 5).

Quadro 5 – Região Sudeste do país

Estado	Terra indígena	Área (ha)
Minas Gerais	Caxixó	2.199,362
	Hãm Yixux	3,594
	Krenak	0,216
	Maxacali	4,355
	Mundo Verde/Cachoeirinha	9,603
	Xacriabá	10.532,027
Rio de Janeiro	Tekoha Jevy (Rio Pequeno)	1.081,086
Total da Região Sudeste		13.830,243

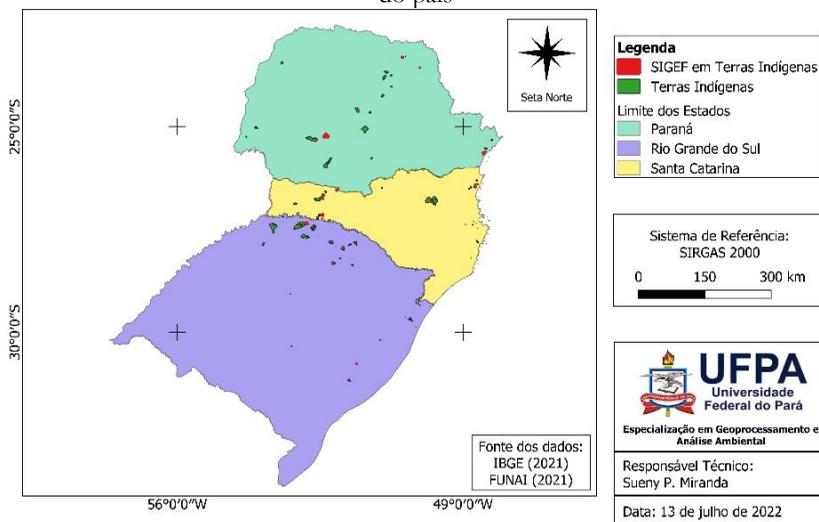
Fonte: elaborado pela autora (2022)

O estado de Minas Gerais, com extensão territorial de aproximadamente 587 mil hectares, teve 12.749,157 hectares de terras de territórios indígenas registrados como área privada, o equivalente a pouco mais do que 5% do total de área de imóveis privados registrados em território indígena em todo o país, após a IN nº 9.

REGIÃO SUL

A Região Sul do país foi a quarta mais afetada pela IN nº 9, com 2,11% do total de área dos territórios indígenas registrado como espaço privado, ou 5.315,048 hectares (Figura 9).

Figura 9 – Imóveis privados registrados em territórios indígenas na Região Sul do país



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Todos os estados desta região tiveram imóveis privados registrados em territórios indígenas, perfazendo um total de 20 terras indígenas impactadas pela IN n° 9 (Quadro 6).

Quadro 6 – Região Sul do país

Estado	Terra Indígena	Área (ha)
Paraná	Boa Vista – PR	3.312,28
	Ivai	1,621
	Palmas	1,627
	Pinhalzinho	1,545
	Rio das Cobras	0,097
	Sambaqui	1.172,691
	Yvyporã Laranjinha	99,738
Rio Grande do Sul	Cacique Doble	0,054
	Guarani de Águas Brancas	6,167
	Ligeiro	0,444
	Mato Castelhana	2,583

Geoinformação e Análises Socioambientais

	Nonoai	42,408
	Pacheca	0,093
Santa Catarina	Ibirama-La Klãnô	216,989
	Palmas	2,371
	Pindoty	248,476
	Pinhal	2,464
	Toldo Pinhal	50,353
	Xaçepó	6,025
	Xaçepó (Pinhalzinho-Canhadão)	147,022
Total da Região Sul		5.315,048

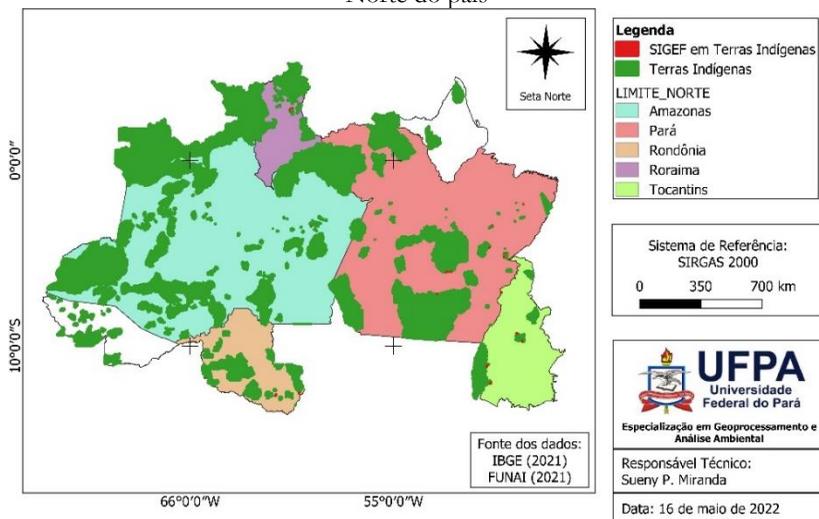
Fonte: elaborado pela autora (2022)

As terras indígenas de todos os estados da Região Sul do país sofreram consequências derivadas da IN nº 9. O estado do Paraná foi o mais impactado, com redução de 4.589,599 hectares nas áreas indígenas, convertidas em propriedades privadas, seguido de Santa Catarina (673,7 hectares) e de Rio Grande do Sul (51,749 hectares).

REGIÃO NORTE

A Região Norte do país teve 18 terras indígenas afetadas pela IN nº 9, as quais perderam 4.431,294 hectares para a iniciativa privada. Tais áreas estão localizados em cinco estados da região (Figura 10).

Figura 10 – Imóveis privados registrados em territórios indígenas na Região Norte do país



Fonte: elaborado pela autora (2022)

Somente Acre e Amapá, que possuem, respectivamente, 3.262.165,727 hectares e 4.193.973,766 hectares de terras indígenas reconhecidas, não tiveram imóveis privados registradas nos seus territórios, ao longo do período analisado. Na região, a terra indígena Taego Æwa foi a que perdeu mais área (Quadro 7).

Quadro 7 – Região Norte do país

Estado	Terra indígena	Área (ha)
Amazonas	Sissaíma	2,3
Pará	Apyterewa	34,979
	Kayapó	3,058
	Mãe Maria	18,535
	Maracaxi	6,562
	Parakanã	0,612
	Trocará	18,445
Rondônia	Parque do Aripuanã	179,461
	Tanaru (restrição de uso)	1.419,783

Geoinformação e Análises Socioambientais

Roraima	Canauanim	26,48
	Mangueira	0
	Tabalascada	3,028
Tocantins	Apinayé	2,716
	Inawebohona	25,139
	Krahó-Kanela	16,242
	Taego Āwa	2.524,848
	Xambioá	72,009
	Xerente	77,097

Fonte: elaborado pela autora (2022)

Os estados que tiveram maiores extensões de terras indígenas registradas como imóveis privados foram Tocantins (2.718,051 hectares) e Rondônia (1.599,244 hectares), seguidos de Pará (82,191 hectares), de Roraima (29,508 hectares) e de Amazonas (2,3 hectares).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa realizada foi de extrema importância para a minha formação, pois contribuiu para as ampliações da minha visão sobre o Brasil e da minha percepção sobre como o país trata das terras indígenas. Em princípio, eu tinha interesse em falar somente sobre a Região Norte do Brasil, pois acreditei que esta seria a mais afetada pela nova norma, todavia os resultados provaram que a Região Nordeste teve um impacto muito maior do que a Norte.

Esse trabalho é um alerta para os povos indígenas, pois apresenta a localização e a dimensão das áreas que estão sendo tomadas, ano a ano, após a institucionalização da IN nº 9.

Em 2022, teremos novas eleições presidenciais e esta normativa tem chance de ser anulada, ficando aberta a questão sobre a forma de abordagem do processo de revogação dos

registros dos imóveis privados em territórios indígenas, o que também representa uma forma de vontade pessoal: seria possível anular estes registros? Outras questões importantes são: em caso de não anulação da normativa em foco, quantos hectares de terras indígenas ainda serão perdidos pelos nativos do Brasil? Quais eram os usos dos solos das áreas registradas como privadas (e quais está sendo as destinações das áreas privatizadas, tomadas dos territórios indígenas? Quem são os atuais proprietários dos antigos espaços indígenas?

Ainda são diversas as perguntas a serem respondidas, uma vez que esta instrução normativa foi divulgada como forma de apoio aos povos indígenas no processo de homologação das terras, mas acabou redundando na privatização de parte dos territórios dos índios brasileiros.

Graças ao trabalho de dados em ambiente SIG, foi possível analisar um território tão grande como o do Brasil e expor, para a sociedade, as consequências das políticas públicas executadas, ao longo deste mandato presidencial.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer à oportunidade de passar pela Universidade Federal do Pará, por esta me oferecer uma bolsa de estudos no curso de Geoprocessamento e Análise Ambiental, que me possibilitou conhecer professores excelentes no tema, além de ter oportunizado a ampliação de minha rede de parceiros na área de geotecnologia.

Agradeço aos índios brasileiros, pela resistência e pelo respeito a sua cultura, o que me serve como exemplo de vida e me inspira, ao longo da estrada da vida.

Gostaria de agradecer a instituições públicas brasileiras, como o INCRA, a Funai e o IBGE, por fazerem pesquisas e divulgações de dados de alta qualidade, os quais podem ser analisados pela população interessada.

REFERÊNCIAS

BARROS, Antonio. Proposta regulamenta a ocupação de terras indígenas. **Agência Câmara**, 09 jan. 2007. Disponível em <https://www.camara.leg.br/noticias/93893-proposta-regulamenta-a-ocupacao-de-terras-indigenas/>. Acesso em: 20 jun. 2022.

BRASIL. **Constituição Federal de 1988**. 1988. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/consti/1988/constituicao-1988-5-outubro-1988-322142-publicacaooriginal-1-pl.html>.

Acesso em: 02 mar. 2022.

BRASIL. Instrução Normativa nº 9, de 16 de abril de 2020. **Diário Oficial da União**, Brasília, 22 abr. 2020, ed. 76, seção 1, p. 32 Disponível em: Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/instrucao-normativa-n-9-de-16-de-abril-de-2020-253343033>. Acesso em: 29 jun. 2022.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M.; DRUCK, S.; CARVALHO, M. S. **Análise espacial e geoprocessamento**. [S. l.]: Embrapa, 2004. Disponível em:

<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/analise/cap1.pdf>.

Acesso em: 15 de junho de 2022.

GIRARDI, Giovana. Funai passa a considerar apenas terra indígena homologada para fins de conflito de terra. **O Estado de São Paulo**, 26 abr. 2020. Disponível em: <https://sustentabilidade.estadao.com.br/blogs/ambiente-se/funai-passa-a-considerar-apenas-terra-indigena-homologada-para-fins-de-conflito-de-terra/>. Acesso em: 11 maio 2022.

INDIGENISTAS ASSOCIADOS (INA). **Nota Técnica**: a Instrução Normativa da Funai nº 09/2020 e a gestão de interesses em torno da posse de terras públicas. 2020. Disponível em: <https://indigenistasassociadosorg.files.wordpress.com/2020/04/2020-04-27-nota-tc3a9cnica-in-09.pdf>. Acesso em: 11 maio 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Áreas territoriais**. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do->

territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html.

Acesso em: 19 abr. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA). **Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF)**. 2021. Disponível em:

<https://sigef.incra.gov.br/documentos/manual/#h.69kro5ec40it>.

Acesso em: 13 maio 2022.

LEITÃO, Matheus. Nova norma da Funai diminui proteção a terras indígenas não homologadas. **Veja**, 22 abr. 2020. Disponível em: <https://veja.abril.com.br/coluna/matheus-leitao/nova-norma-da-funai-diminui-protecao-a-terras-indigenas-nao-homologadas/>. Acesso em: 11 maio 2022.

MELO, Valdinar Ferreira; FRANCELINO, Marcio Rocha; UCHÔA, Sandra C. Pereira; Salamene, Samara; SANTOS, Célida S. Vieira dos. Solos da área indígena Yanomami no médio Rio Catrimani, Roraima. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, v. 34, n. 2, abr. 2010.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000200022>. Acesso em: 19 maio 2022.

MONTEIRO, Daniel Masello. **Sobreposições de terras: Alterações promovidas pelo advento da instrução normativa 9 de 16 de abril de 2020**. Disponível em: <https://www.migalhas.com.br/depeso/327210/sobreposicoes-de-terras--alteracoes-promovidas-pelo-advento-da-instrucao-normativa-9-de-16-de-abril-de-2020>. Acesso em: 02 maio 2022.

OLIVEIRA JR., Marco Antônio Rodrigues de. **Geoprocessamento como ferramenta de análise integrada de riscos de acidentes industriais**. 2008. 119f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-10102008-103054/publico/MarcoAntonio.pdf>. Acesso em: 09 abr. 2022.

SCHNEIDER, Sergio; TARTARUGA, Iván G. P. Território e abordagem territorial: das referências aos aportes aplicados em análise dos processos sociais. **Raízes - Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 23, n. 1, p. 99-116, jan. 2004.

Disponível em: <https://mpira.ub.uni-muenchen.de/76485/>. Acesso em: 29 jun. 2022.

SILVA, Marcelo Augusto Xavier da. **Relatório anual de gestão 2020**. Brasília: Funai, jan. 2021. Disponível em: https://www.gov.br/funai/pt-br/aceso-a-informacao/gestao-estrategica/relatorio_gestao_2020.pdf. Acesso em: 29 jun. 2022.

WELCH, James R.; BRONDIZIO, Eduardo S.; COIMBRA JR., Carlos E. A. **Análise espacial remota sem embasamento etnográfico descaracteriza a sustentabilidade do regime de queimada indígena**. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/bn/a/nBtGZ3YmzNpMcvDKVDDQwdv/?lang=en>. Acesso em: 29 jun. 2022.

ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS DO ESTADO DE RORAIMA: CENÁRIO DA DÉCADA 2000-2010

Marcos Vinicio Vieira Vita¹
Pablo Francisco Benitez Baratto²
Renata Silva de Oliveira³
Yanne Alves Mendes⁴

INTRODUÇÃO

O Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um conjunto de ferramentas, de equipamentos e de meios tecnológicos, com utilização de *software* e de *hardware* especializados em adquirir, em armazenar, em recuperar, em transformar e em emitir informações espaciais, ou seja, em representar inúmeras informações sobre o espaço geográfico (BURROUGH, 1986). O SIG resulta da associação entre três tecnologias distintas, pelo menos: sensoriamento remoto; sistema de posicionamento global (GPS); e geoprocessamento. Entre estes, destacamos o geoprocessamento, que atua no tratamento e na análise de informações obtidas por sensoriamento remoto e por GPS (RODRIGUES, 1990), utilizando *software* altamente especializados, como o QGIS.

As geotecnologias compreendem um conjunto de tecnologias de coleta, de processamento e de análise de informações geográficas, e têm assumido importante espaço na sociedade (ANDRADE *et al.*, 2013). Nesse conjunto, vários instrumentos podem ser disponibilizados, tais como Sistemas de

¹ Engenheiro agrimensor e cartógrafo. Contato: marcosvieiravita@gmail.com.

² Engenheiro agrimensor. Contato: pablo.baratto@edu.udesc.br.

³ Licenciada em Ciências Naturais. Contato: renataoliveira58@yahoo.com.br.

⁴ Licenciada em Ciências Biológicas. Contato: yannemendes@gmail.com.

Informação Geográfica (SIG), sensoriamento remoto e sistemas de posicionamento global (GPS). Tais artifícios são ferramentas essenciais, que auxiliam em diversos estudos, que incluem questões ambientais (ENCIMA *et al.*, 2018; PORANGABA; AMORIM, 2019); questões educacionais (LUZ *et al.*, 2013; MARTINELLI, 2001; MARTINELLI; MACHADO-HESS, 2014); questões geográficas (BOCHICCHIO, 2003; FERREIRA, 2003); questões geomorfológicas (RADEMAN; TRETIN, 2020), entre outras.

Um ramo bastante difundido e de suma importância nas geotecnologias é a Cartografia, que se constitui na ciência da representação gráfica da superfície terrestre, área de estudo que se preocupa em produzir, em analisar e em interpretar as diversas formas de representar estas superfícies em mapas, em cartas e em plantas (BURDA; MARTINELLI, 2014; LUZ *et al.*, 2013). De modo geral, podemos dizer que a Cartografia atua como ciência exata e objetiva na confecção de mapas. Em se tratando de mapas, vale ressaltar que estes podem ser definidos como uma representação plana, em diferentes escalas (geralmente pequenas), destinada aos mais variados usos: temáticos, culturais, ilustrativos (IBGE, 1998). Nesse contexto, uma reunião de mapas constitui um atlas, o qual apresenta informações geográficas, cartográficas ou astronômicas e que pode ser em formato de livro ou digital.

De fato, desde o primeiro atlas, sugerido por Mercator, em 1585, o *Atlas sive cosmographicae meditationes de fabrica mundi et fabricati figura*, houve um interesse crescente pelo uso deste tipo de publicação em estudos. Segundo o IBGE, um atlas é um conjunto de mapas ou cartas topográficas, termos que também podem ser aplicados a um conjunto de dados sistematicamente organizados sobre determinado assunto, servindo de referência para a construção de informações, de acordo com a necessidade do usuário.

Entre as inúmeras aplicações dos atlas, ressaltamos a importância da ferramenta na caracterização de determinados aspectos de regiões do Brasil, como, por exemplo, o atlas climatológico do estado de Santa Catarina, que aborda aspectos, como temperatura do ar, evapotranspiração, precipitação e

insolação (PANDOLFO *et al.*, 2002), o atlas sobre pressões e ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira (FILHO; SOUZA, 2009) e o atlas do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) sobre a violência no campo, no Brasil, destacando seus condicionantes socioeconômicos e territoriais (CERQUEIRA *et al.*, 2020). Dessa forma, percebemos como o atlas é uma ferramenta indispensável para aprender sobre a produção do espaço na sociedade (MARTINELLI, 2007). Todavia, notamos que ainda existem lacunas, em relação à caracterização de diversas regiões do Brasil e do mundo, principalmente em se tratando de atividades de mineração.

Uma destas regiões é o estado de Roraima (RR), que recentemente foi contemplado com um atlas escolar, contendo diversos de seus aspectos (SILVA *et al.*, 2020), em que os autores abordaram características, como: símbolos estaduais; território; fisiografia; demografia; desenvolvimento social; economia; agropecuária; e infraestrutura, porém não elencaram informações sobre a atividade de mineração na região. O estado de Roraima foi criado em 1988, fica situado no extremo Norte do Brasil e possui uma extensão de aproximadamente 224.273,831 km², o que representa 2,64% do território nacional (IBGE, 2020). Trata-se uma região pouco povoada, em que se estima uma população de 652.713 habitantes. O estado é organizado em duas mesorregiões: Norte e Sul (SILVA *et al.*, 2020).

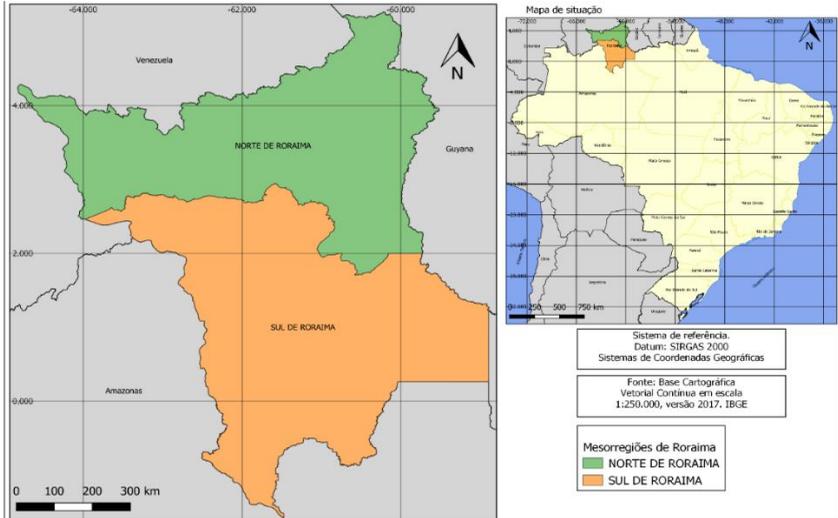
Tendo por base as informações apresentadas, o presente trabalho teve o objetivo de propor a criação de um atlas de caracterização destas mesorregiões de Roraima, através do emprego de visões complementar e integrada da descrição geológica, bem como das atividades de extração mineral nos espaços em foco, pela utilização de mapas, compondo um pequeno atlas, pois acreditamos que os mapas representam uma excelente ferramenta de estudo, que serve para elucidar questionamentos sobre a Geografia e sobre os sentidos dos lugares.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ÁREA DE ESTUDO

Para a confecção dos mapas, é necessária a criação de uma base de dados computacional — sendo previamente estabelecido de onde serão retiradas as suas informações —, a ser armazenada em um dispositivo, pois esta base conterá todos os elementos necessários ao bom andamento do trabalho de elaboração de mapas. Abaixo, detalhamos os três passos seguidos na elaboração dos mapas que constituirão tal base:

- 1º passo: crie uma pasta em um diretório específico “C” ou “D”, que possa ser encontrada no caminho: menu “Iniciar”, “Meu computador” e buscar o diretório (dependendo da configuração do computador do usuário). No disco local, crie uma nova pasta e a renomeie, por exemplo, como “Base de dados” (essa pasta será a base do trabalho, em que serão salvos todos os arquivos do projeto — crie subpastas neste diretório, em caso de necessidade.
- 2º passo: determine a área de estudo — nesse caso, as mesorregiões do estado de Roraima, uma das 27 Unidades Federativas do Brasil. Situado na Região Norte do país, é o estado mais setentrional da Federação, possuindo limites internacionais com Venezuela e com Guiana e divisa estadual com Amazonas, uma área aproximada de 224.273,831 km² e sendo o estado com a menor população do país (aproximadamente, 652.713 habitantes). Um dos pontos de destaque em Roraima são seus extensos terrenos cristalinos, que são pouco conhecidos, cuja geodiversidade concorre para a ocorrência de depósitos de rochas ornamentais, além de rochas de origens vulcânica e plutônica, de gnaisses (de origem magmática), de sedimentos arenosos (do Pleistoceno) e de sequências sedimentares, cujas formações datam das eras geológicas do Arqueano, do Paleoproterozoico, do Mesoproterozoico e do Cenozoico (Figura 1).

Figura 1 – Estado de Roraima (RR), com destaque para as mesorregiões Norte e Sul, salientadas neste estudo

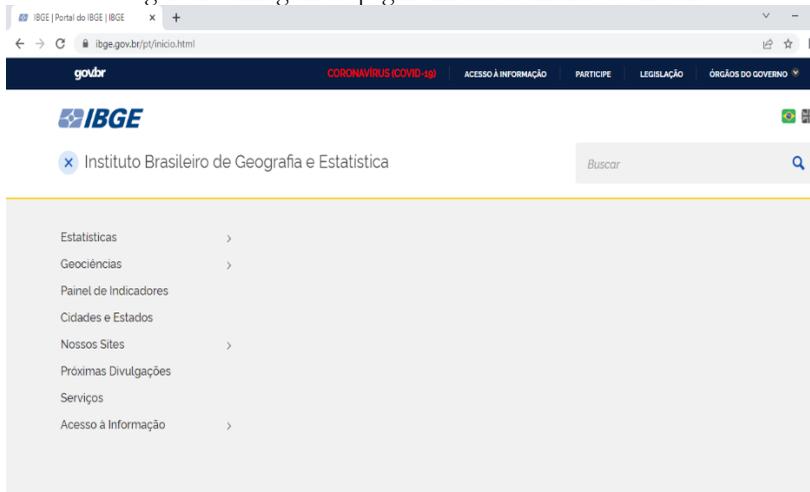


Fonte: Vita (2022)

- 3º passo: identificar a base de dados a ser utilizada no trabalho — nesse caso, a Base Cartográfica Vetorial Contínua do IBGE (versão 2017, em escala 1:250.000) proverá as principais informações espaciais. Na página inicial do IBGE (disponível em: <http://www.ibge.gov.br>), existe um *link* para o *download* de informações, sendo permitido, ao usuário, escolher entre informações estatísticas ou de geociências (o passo-a-passo é descrito nas próximas figuras).

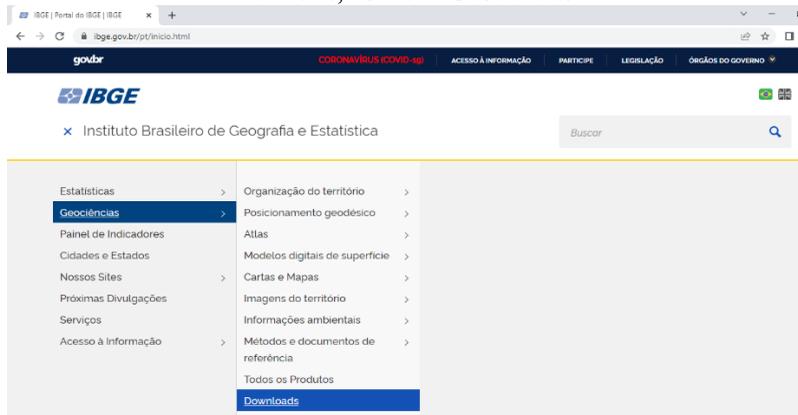
Geoinformação e Análises Socioambientais

Figura 2 – Imagem da página inicial de menus do IBGE



Fonte: IBGE (2022) (disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>)

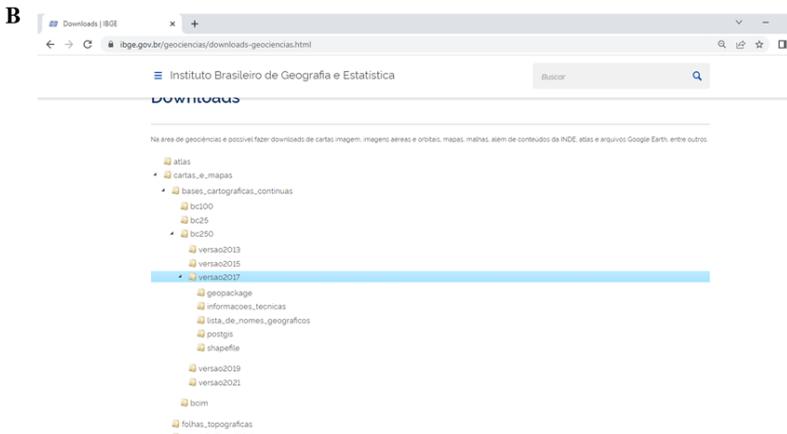
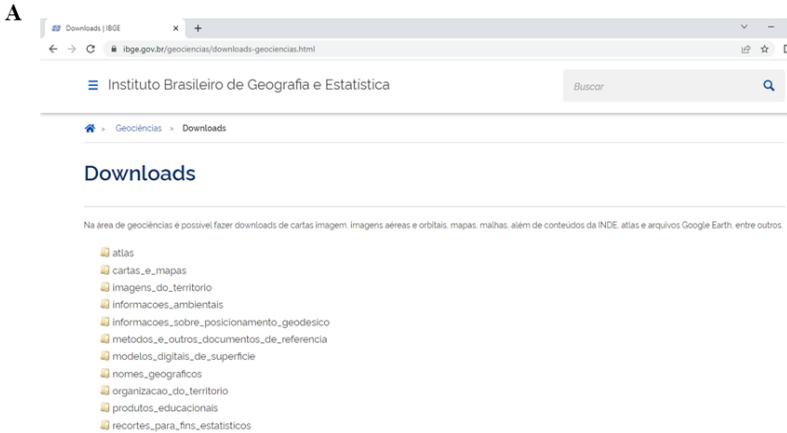
Figura 3 – Detalhe do *layout* da página do IBGE, com destaque para o atalho *Downloads*, do menu *Geociências*



Fonte: IBGE (2022) (disponível em: <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>)

Geoinformação e Análises Socioambientais

Figuras 4B e 4B – Detalhe do *layout* da página *Download*, do IBGE, com destaque para as pastas de conteúdos (4A) e para a pasta *versão 2017*, dentro da pasta *Atlas* (4B)

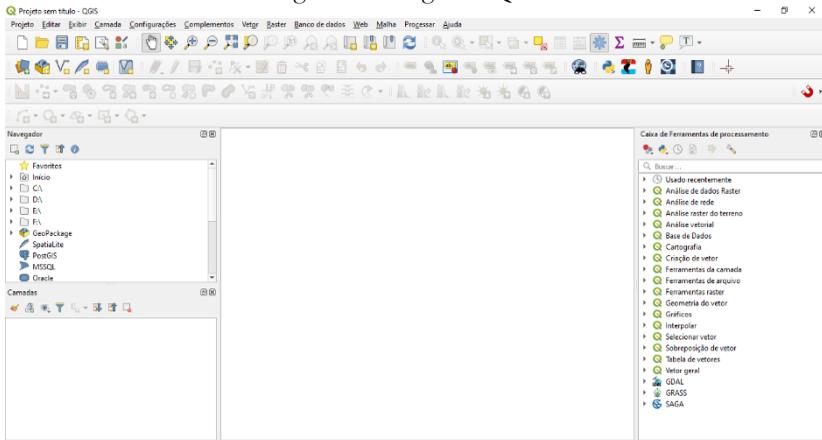


Fonte: IBGE (2022) (disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>)

Depois do posicionamento das informações da base de dados do IBGE no diretório criado na primeira etapa, foi feita a escolha do *software* de tratamento das informações geográficas. Nesse artigo, foi escolhido o programa Quantum GIS (QGIS), um SIG gratuito, que possui código aberto para os usuários, desenvolvido pela *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo),

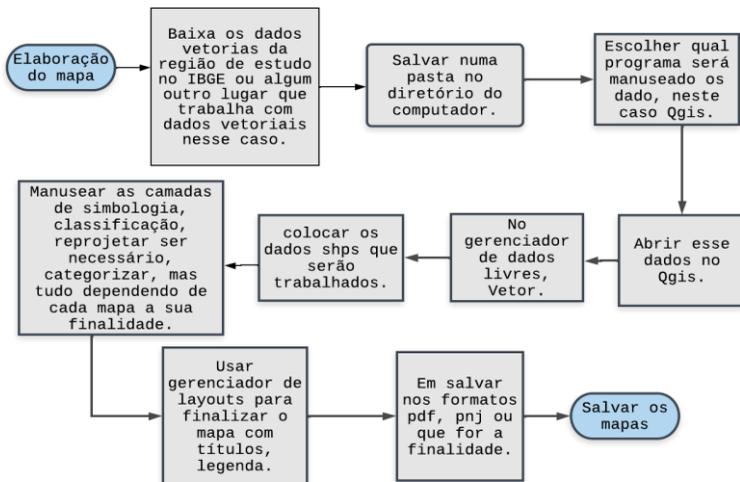
fundada em 2006. O QGIS possui versões para Linux, para Unix, para Mac OSX, para Windows e para Android e suporta inúmeros formatos de imagens vetoriais e matriciais (*raster*) e bancos de dados (Figura 5).

Figura 5 – Programa QGIS



Fonte: Vita (2022)

Figura 6 – Fluxograma de trabalho para produção de mapas



Fonte: Vita (2022)

CAPÍTULO CONCEITUAL-TEÓRICO

Como mencionado, o SIG é uma tecnologia, que dispõe de *software* e de *hardware* especializados em tratar informações espaciais, ou seja, em representar inúmeras informações sobre o espaço geográfico (BURROUGH, 1986). O SIG foi utilizado pela primeira vez em 1854, quando um médico britânico, interessado em elucidar questões sobre um surto de doença em Londres, resolveu mapear a enfermidade na cidade, estabelecendo um sistema de informação geográfica.

Os sistemas de informação geográfica representam uma demanda crescente no Brasil e no mundo, dadas as preocupações em disponibilizar informações de diferentes naturezas, fontes e recortes territoriais (escalas). Como exemplos destes sistemas, há o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), o Sistema Nacional de Indicadores Urbanos (SNIU), o Instituto Nacional do Câncer (INCA), o Sistema de Informação para Tomada de Decisão, o Sistema de Recuperação de Informações Georreferenciadas, do IBGE, entre outros.

Levando em consideração o conceito de SIG e sua disponibilidade de informações, é nítido que este pode ser utilizado em diversos estudos, como em estudos de meio ambiente e recursos naturais (COSTA *et al.*, 2006; VETTORAZZI; FERRAZ, 1998), na pesquisa da previsão de determinados fenômenos ou no apoio a decisões de planejamento (PESSOA *et al.*, 2018), na segurança pública, na agricultura, em *business*, entre outros. O SIG resulta da associação entre, pelo menos, três tecnologias distintas: sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global (GPS) e geoprocessamento. Desses, destacamos o geoprocessamento, que atua no tratamento e na análise de informações, obtidas através do sensoriamento remoto e do uso de GPS (RODRIGUES, 1990), utilizando *softwares* altamente especializados, como o QGIS.

Em se tratando de geoprocessamento, a visualização de padrões, de informações e de ilustrações é fundamental para a análise dos dados, além de facilitar o entendimento. Dessa forma, uma das áreas de estudo mais difundidas é a Cartografia, ciência

exata e objetiva de representação gráfica da superfície terrestre, que reúne Astronomia, Geodésia e Matemática, auxiliando na elaboração, na análise e na interpretação de mapas, de cartas, de plantas e de maquetes e na produção de atlas geográficos (BURDA; MARTINELLI, 2014).

Tendo em vista que o espaço geográfico possui diferentes escalas espaciais (local, estadual, regional, nacional e mundial), o mapa pode ser definido como uma representação plana, em diferentes escalas, mas geralmente pequenas, destinada aos mais variáveis usos: aspectos geográficos, naturais, temáticos, culturais ou ilustrativos, que são utilizados para a compreensão de dados e, conseqüentemente, para a tomada de decisões. Assim, existem diferentes tipos de mapas, com diferentes finalidades, os quais são amplamente utilizados em sistemas de informações geográficas.

Uma coleção de mapas comumente publicada em uma mesma linguagem, com as mesmas convenções e projeções, mas não necessariamente na mesma escala, é chamada de atlas. Os atlas geográficos representam um material indispensável para apreender a produção do espaço, por parte da sociedade, e podem ser entendidos como um conjunto de mapas ou cartas geográficas, embora o termo também se aplique a um conjunto de dados sistematicamente organizados sobre determinado assunto, servindo de referência para a construção de informações, de acordo com a necessidade dos usuários. O atlas apresenta diferentes escalas de representação geográfica, pois engloba mapas mundiais, regionais, nacionais, locais ou, ainda, temáticos, que incluem inúmeros temas ou fenômenos geográficos, como mapas de clima, de vegetação, de população, etc.

Em virtude de suas inúmeras aplicações, o atlas vem sendo utilizado em estudos em Geografia, em Letras, em História, em Matemática, em Política, em Educação, entre outros (DEBROUX *et al.*, 2020; ISHAK, 2019; OLIVEIRA *et al.*, 2018). Pandolfo *et al.* (2002) reuniram, em formato de atlas, informações sobre aspectos climatológicos do estado de Santa Catarina, Filho e Souza (2009) propuseram um atlas, abordando o cenário de pressões e de ameaças às terras indígenas na Amazônia brasileira, Cerqueira *et al.*

(2020) publicaram um atlas sobre a violência no campo, no Brasil, destacando os condicionantes socioeconômicos e territoriais da questão, entre outros.

Em destaque, chamamos a atenção para a utilização de atlas na descrição e na caracterização de aspectos da fisiografia de países e de cidades. A fisiografia é uma descrição da Geografia Física, ou seja, que detalha aspectos ou produtos naturais. Quanto a aspectos naturais, a Geologia e a Geomorfologia são estudadas por alguns autores, pois são imprescindíveis para entender a história natural dos locais de investigação e, a partir deste conhecimento, avaliar como atividades econômicas, a exemplo da extração mineral, podem impactar áreas de exploração.

Recentemente, o estado de Roraima protagonizou um atlas escolar, contendo características como: símbolos estaduais; território; fisiografia; demografia; desenvolvimento social; economia; agropecuária; e infraestrutura. Considerando somente a fisiografia, notamos que há lacunas de conhecimento, em relação às informações sobre extração mineral no estado.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

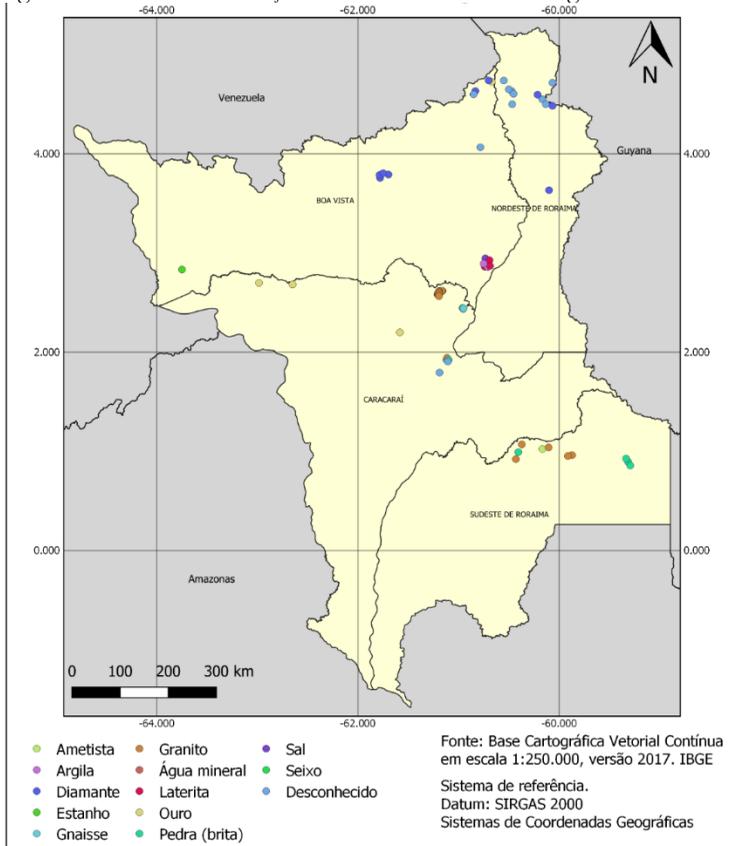
No presente estudo, foram caracterizados aspectos geomorfológicos de duas mesorregiões de Roraima, com destaque para os seguintes pontos: extração mineral; eras geológicas; descrição geológica; cobertura vegetal; e usos da terra. A geomorfologia representa uma excelente forma de conhecer a história natural de qualquer lugar e, por isso, vem sendo avaliada em diferentes estudos, como o do *Atlas Geomorfológico do Paraná* (SANTOS *et al.*, 2006) e o de extração mineral em Minas Gerais (BOITRAGO; ALMEIDA, 2021).

Para a elaboração do primeiro mapa da proposta do atlas da extração mineral das Mesorregiões de Roraima (Figura 7), foi feita a separação das microrregiões do estado em subáreas. Obtidos os dados do IBGE e feito o manuseio das informações no Quantum GIS (QGIS), adicionaram-se as camadas vetoriais

desejadas e se promoveu a composição de impressão de cada mapa, procedendo à adoção do método de representação qualitativa para manifestação em ponto, com o intuito de localizar os locais de extração de minerais.

Na mesma figura, podemos observar os pontos de extração de 12 diferentes tipos de minerais — entre os quais, destacamos as extrações de diamante e de ouro —, além de alguns locais de retirada de materiais desconhecidos, dispostos em quatro cidades do estado.

Figura 7 – Pontos de extração de minerais nas microrregiões de Roraima

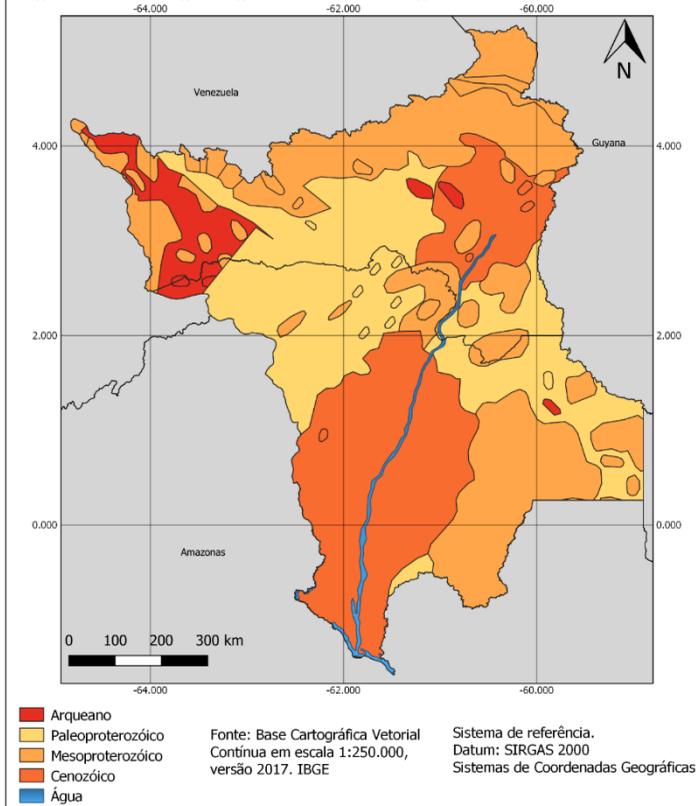


Fonte: Vita (2022)

O segundo mapa corresponde à caracterização das eras geológicas, apresentando a descrição geológica detalhada da área de estudo, cuja representação de dados adotou o método de distinção das eras geológicas de origem na área de estudo, no intuito de classificar seus períodos, observando sua ordem de manifestação em área (Figura 8).

Foram descritas quatro eras geológicas distintas: Arqueano, Paleoproterozoico, Mesoproterozoico e Cenozoico. Observamos que a ocorrência de solos com diferentes idades geológicas é comum no Brasil, como também relatado por Luz *et al.* (2013), em seu estudo no estado do Pará.

Figura 8 – Eras geológicas das mesorregiões do estado de Roraima

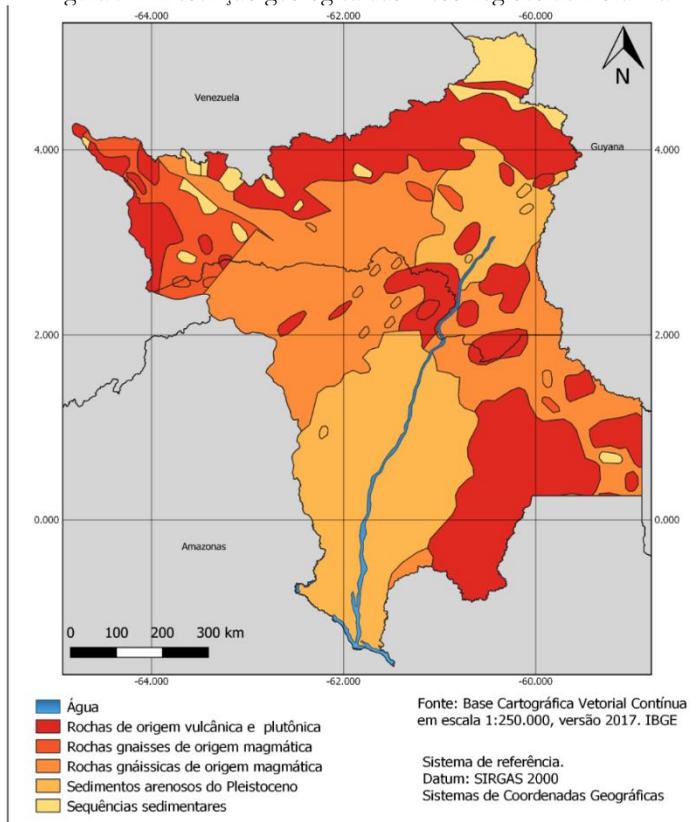


Fonte: Vita (2022)

A era do Arqueano representou uma pequena porção do mapa. Segundo Luz *et al.* (2013) essa era é conhecida justamente pela ausência de registros, dado que varia entre 4.500 e 2.500 bilhões de anos.

No terceiro mapa, foi feita a descrição geológica das áreas em estudo, cuja representação de dados considerou o método de representação qualitativa na manifestação em área (Figura 9).

Figura 9 – Descrição geológica das mesorregiões de Roraima



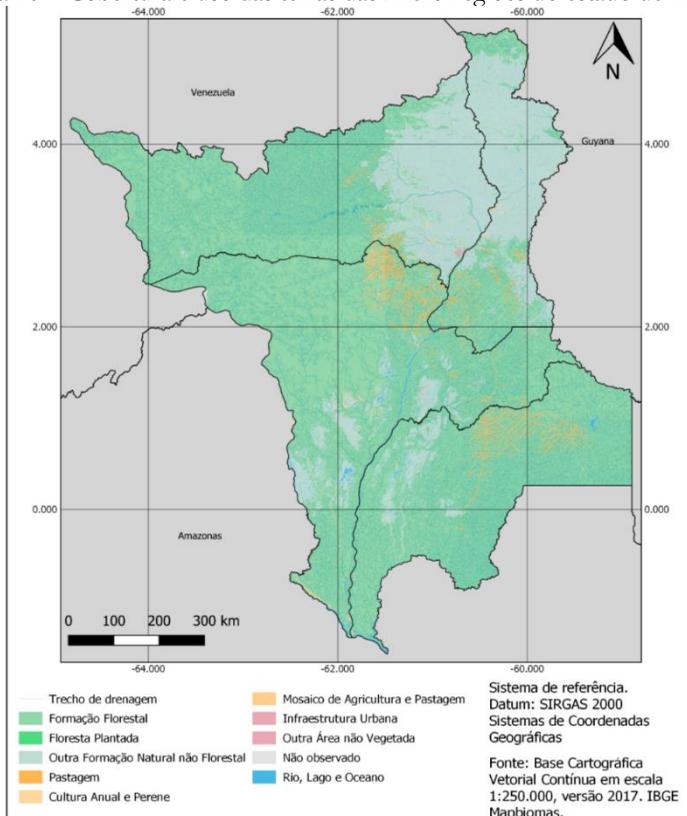
Fonte: Vita (2022)

Foram ressaltadas formações rochosas com diferentes origens: rochas de origem vulcânica, plutônica e magmática,

sedimentos arenosos do Pleistoceno e seqüências sedimentares. O estado de Roraima apresenta um mosaico de formações rochosas distintas, quando consideramos a composição e a idade geológica, que inclui formações que vão do Paleoproterozoico ao Fanerozoico (SILVA *et al.*, 2020).

O quarto mapa denota a cobertura e uso das terras nas mesorregiões de Roraima. Os métodos de representação aplicados foram os de análise e de síntese, pelos quais é possível obter um melhor entendimento dos usos de terras (Figura 10). Observamos grandes formações de florestas e de florestas plantadas.

Figura 10 – Cobertura e uso das terras das microrregiões do estado de Roraima



Fonte: Vita (2022)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho, foi possível verificar a evolução das ferramentas cartográficas, em termos de qualidade, de eficiência e de rapidez, em relação a tempos anteriores. Atualmente, a criação e a disponibilização de bancos de dados *online* permitiram o rápido acesso a informações georreferenciadas.

Uma das facilidades em obter estes dados para a elaboração de mapas reside no fato de que a maioria dos dados, como os do IBGE, por exemplo, é pública e disponível a qualquer pessoa. Outro aspecto positivo é a chance de poder manusear estas informações, por meio do emprego de *software* gratuitos, como o QGIS, que pode ser utilizado por qualquer pessoa que tenha conhecimentos em computação, em geoprocessamento, em Cartografia, em Geografia ou em algum ramo que utiliza estas informações. No entanto, o ponto negativo é que, muitas vezes, bancos de dados demoram para ser atualizados, enquanto algumas bases de dados, dependendo do assunto, podem ser pagas.

Os mapas são uma forma de comunicação, um modo de unir diferentes tipos de informações e, assim, partilhá-las com a sociedade, contribuindo para o seu desenvolvimento, desde o econômico ao da aprendizagem escolar. Para o presente estudo, ressaltamos que os mapas se constituíram como ferramenta fundamental na proposta de caracterização geomorfológica do estado de Roraima, permitindo fazer análises prática, didática e detalhada de sua história natural.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, R. G.; RODRIGUES, C. A. G.; SANCHES, I. D. A.; TORRESAN, F. E.; QUARTAROLI, C. F. Uso de técnicas de sensoriamento remoto na detecção de processos de degradação de pastagens. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 234-243, 2013.

- BOCHICCHIO, V. R. **Atlas mundo atual**. São Paulo: Atual, 2003.
- BOITRAGO, W. E. A.; ALMEIDA, M. I. S. Mudanças ambientais em decorrência da extração mineral na região Serra Velha/município de Montes Claros-MG. *In*: XIV ENCONTRO DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM GEOGRAFIA, 2021. **Anais** [...]. Disponível em: https://editorarealize.com.br/editora/anais/enanpege/2021/TRABALHO_COMPLETO_EV154_MD1_SA124_ID110922092021142934.pdf. Acesso em: 19 nov. 2021.
- BURDA, N. A.; MARTINELLI, M. Cartografia do Turismo: a elaboração de roteiros turísticos do patrimônio cultural da Lapa (PR). **Geografias: artigos científicos**, v. 10, n. 1, 2014.
- BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford: Clarendon, 1986.
- CERQUEIRA, D.; MELLO, J.; ALVES, P. P.; ANDRADE, P. G.; REIS, M.; PEREIRA, A. C.; ARMSTRONG, K. C.; FIGUEIREDO, T. S. **Atlas da violência no Brasil: Condicionantes socioeconômicos e territoriais**. [S. n.]: IPEA, 2020.
- COSTA, F. H. S.; PETTA, R. A.; LIMA, R. F. S.; MEDEIROS, C. N. Determinação da vulnerabilidade ambiental na bacia Potiguar, região de Macau (RN), utilizando sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 58, n. 2, 2006.
- DEBROUX, N.; BONARDI, F.; FORBES, A.; GUVADER, C. L.; ROMANCHIKOVA, M.; SCHÖNLIEB, C. A Variational Model Dedicated to Joint Segmentation, Registration and Atlas Generation for Shape Analysis. Society for industrial and Applied Mathematics (SIAM). **Journal on Imaging Sciences**, v. 13, 2020.
- ENCINA, C. C. C.; MARQUES, M. R.; DIODATO, M.; PEREIRA, L. E.; ALBREZ, E. A.; OLIVEIRA, A. P. G.; MIOTO, C. L.; MIRANDA, V. R.; MIRANDA, L. M.; COELHO, L. S.; DALMAS, F. B.; FILHO, A. C. P. Geotecnologias Aplicadas à Análise Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Olho d'Água,

- Município de Jardim, Mato Grosso do Sul – Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ**, v. 41, n. 2, p. 577-584, 2018.
- FERREIRA, G. M. L. **Atlas geográfico: espaço mundial**. São Paulo: Moderna, 2003.
- FILHO, A. C.; SOUZA, O. B. **Atlas de Pressões e Ameaças às Terras Indígenas na Amazônia Brasileira**. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2009. (Série Cartô Brasil Socioambiental)
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades, 2019**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/rr/panorama>. Acesso em: 14 jul. 2022.
- ISHAK, B. The atlas of mars: mapping its geography and geology. **Contemporary Physics**, v. 60, n. 4, p. 315-317, 2019.
- LUZ, L. M.; RODRIGUES, F. E. C.; PONTE, F. C.; SILVA, C. N. **Atlas Geográfico Escolar do Estado do Pará**. Belém: GAPTA/UFPA, 2013.
- MARTINELLI, M. A cartografia escolar na abordagem temática da geografia. **Boletim de Geografia**, v. 19, n. 2, p. 7-17, 2001.
- MARTINELLI, M. A sistematização da cartografia temática. *In*: ALMEIDA, R. D. (org.). **Cartografia escolar**. São Paulo: Contexto, 2007.
- MARTINELLI, M.; MACHADO-HESS, E. S. Mapas estáticos e dinâmicos, tanto analíticos como de síntese, nos atlas geográficos escolares: a viabilidade metodológica. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 4, p. 899-920, 2014.
- OLIVEIRA, J. M.; PAIM, M. M. T.; RIBEIRO, S. S. C. A importância do Atlas linguístico do Brasil para o ensino de português. **Revista Tabuleiro de Letras - PPGEL**, Salvador, v. 12, n. 3, 2018.
- PANDOLFO, C.; BRAGA, H. J.; SILVA JR, V. P.; MASSIGNAM, A. M., PEREIRA, E. S.; THOMÉ, V. M. R.; VALCI, F. V. **Atlas climatológico do Estado de Santa Catarina**. Florianópolis: Epagri, 2002.
- PESSOA, C. R. M.; JAMIL, G. L.; SILVA, A. M.; MARQUES, M. E. A Gestão da Informação na Gestão da Inovação. **Prisma.com**,

n. 46, p. 80-96, 2021. DOI:
<https://doi.org/10.21747/16463153/46a5>.

PORANGABA, G. F. O.; AMORIM, M. C. C. T. Geotecnologias Aplicadas à Análise de Ilhas de Calor de Superfície em Cidades do Interior do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 6, p. 2041-2050, 2019.

RADEMAN, L. K.; TRETIN, R. Novas geotecnologias aplicadas ao estudo geomorfológico: exemplo de morfometria da Voçoroca do Areal, Cacequi-RS. **GeoTextos**, v. 16, n. 1, p. 209-230, 2020.

SANTOS, L. J.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 2, p. 3-12, 2006.

SILVA, G. F. N.; SCARABOSSE, H.; OLIVEIRA, I. J.; BEZERRA, J. B.; MUSSATO, O. B. **Atlas Escolar Geográfico de Roraima**. Boa Vista: UERR, 2020.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B. Uso de sistemas de informações geográficas aplicados à prevenção e combate a incêndios em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, n. 32, p. 111-115, 1998.

UMA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL EM ASSENTAMENTO URBANO IRREGULAR, NA PERIFERIA DE CASTANHAL (PA)

Francisco Hélder Fernandes do Amaral¹

Claudio Santos da Silva Filho²

Christian Nunes da Silva³

Welson de Sousa Cardoso⁴

INTRODUÇÃO

Os problemas da qualidade ambiental em um contexto socioestrutural são evidentes e expressivos, quando há um rápido crescimento populacional, demandando áreas habitacionais. Devido ao pouco tempo para resposta, muitos loteamentos surgem, sejam nas áreas centrais, comumente verticalizados, sejam nas áreas marginais, comumente horizontais, desordenados, com baixo valor de aquisição e em condições perigosas (em encostas, com alta declividade, em locais rebaixados, com pouca declividade,

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Geografia, da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), pós-graduando em *Data Science* e *Analytics* (ESALQ-USP) e pós-graduando em Geoprocessamento e Análise Ambiental (PROFIMA/NUMA-UFPA). Contato: helter.frnandes@unesp.br.

² Graduado em Engenharia Ambiental e Energias Renováveis (UFRA), mestrando em Gestão de Riscos e Desastres Naturais na Amazônia (PPGGRD/IG/UFPA) e pós-graduando em Geoprocessamento e Análise Ambiental (PROFIMA/NUMA-UFPA). Contato: claudio-gg@hotmail.com

³ Pós-Doutor em Desenvolvimento Regional. Docente do Núcleo de Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará. E-mail: cnsgeo@yahoo.com.br.

⁴ Doutor em Ciências Socioambientais. Professor Adjunto da Faculdade de Serviço Social e Professor do Programa de Pós-Graduação em Serviço Social da Universidade Federal do Pará – UFPA. E-mail: cardoso@ufpa.br.

na proximidade de canais de drenagem fluvial ou em planícies de inundação e, muitas vezes, em Áreas de Preservação Permanente (APP), os quais recebem as populações mais vulneráveis, tendencialmente. A consequência desta desordem na espacialização territorial, entre outras, consiste na alteração da qualidade ambiental (FURLAN; SPINELLI, 2020).

Devido à inexistência de planejamento físico-territorial, a urbanização acelerada e desordenada avança sobre áreas indevidas para habitação, suprimindo áreas verdes (APP) e margens de recursos hídricos, potencializando a ocorrência de enchentes, de inundações, de processos erosivos, de assoreamentos e de poluição dos rios (AGATON; SETIAWAN; EFFENDI, 2016; FENGLER *et al.*, 2015; SILVA; MEDEIROS, 2018). Além disso, precariedades de saneamento básico tornam os recursos naturais alvos aos lançamentos inadequados de efluentes e de resíduos domésticos, que podem causar depreciação da qualidade ambiental e, conseqüentemente, desenvolvimento de doenças de veiculação hídrica, por exemplo (PAUNGARTTEN; BORDALO; LIMA, 2015).

Ainda neste contexto, de acordo com a Organização Pan-Americana da Saúde, da Organização Mundial de Saúde, a ingestão de águas microbiologicamente contaminadas pode transmitir doenças, as quais podem causar amebíase e diarreias agudas; o contato destas com pele ou olhos pode causar escabiose e conjuntivite bacteriana; e a infestação de insetos com ciclos de vida na água pode causar dengue, entre outras doenças (OPAS-OMS, 2001).

Nesse cenário, a cidade de Castanhal não é exceção, pois, desde os anos 1980, o crescimento expressivo de sua população vem modificando a paisagem do espaço urbano em suas dimensões horizontal e vertical, na busca por atender à progressiva demanda por novos espaços de residência. Esse processo se mostra mais intenso nos últimos 30 anos, com a expansão horizontal da cidade, estimulada pela implementação de novos condomínios horizontais, voltados a acolher uma população de menor faixa de renda, embora as populações com volumes de capital próximos ao

mínimo permaneçam carentes de assistência, resultando no crescimento de ocupações irregulares.

Os primeiros registros de ocupações irregulares em Castanhal são datados do início da década de 1990, segundo dados da Secretaria Municipal de Habitação de Castanhal (SEHAB). Embora o quadro de ocupação irregular esteja se tornando menos presente, devido à atividade de novos agentes reguladores da dinâmica imobiliária municipal, os espaços de assentamentos irregulares ainda se manifestam, sendo marcados pelo crescente adensamento populacional de seu interior e pela disseminação de problemas socioambientais. Decorrente disto, o presente estudo busca averiguar a potencialidade de uma proposta metodológica, adaptada dos trabalhos de Borja (1998) e de Silva *et al.* (2017), visando estimar um Índice de Qualidade Ambiental Urbana (IQUA) para cada domicílio de um espaço de assentamento irregular, localizado em uma cidade de influência média da Amazônia Oriental brasileira.

Nesse sentido, foram realizadas mudanças no modelo de coleta de dados e na estruturação dos indicadores das informações de *input* da estrutura do IQUA, a partir de subsídios qualitativos e quantitativos, relacionados à condição socioeconômica dos moradores e aos aspectos físico-estruturais do ambiente. As modificações na estrutura original, proposta por Borja (1998) e já modificada por Silva *et al.* (2017), serviram de base para a compreensão dos contextos socioambientais dinâmico e sistêmico, tal qual o apresentado nos estudos de Mendonça (2004) e de Mendonça (2009), tendo a finalidade de apresentar informações coerentes e relevantes e capazes de auxiliar na tomada de decisões, por parte dos gestores político-administrativos locais.

Saliente-se que a presente pesquisa parte de um princípio colaborativo entre instituições de ensino, de pesquisa e de desenvolvimento e o projeto de regularização fundiária de interesse social do assento Pedreirinha, localizado em Castanhal, no estado do Pará.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E ÁREA DE ESTUDO

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE INTERESSE

A área de ocupação Pedreirinha ou Pedreira é uma das 32 extensões irregulares de Castanhal, estando localizada no loteamento Imperador II, bairro periférico da cidade (Figura 1), o qual surgiu na segunda metade da década 1990, impulsionado pelo progressivo adensamento populacional. Crescente na cidade de Castanhal, desde os anos 1980, a área original da ocupação abarcava um espaço de aproximadamente 126.550 m² de uma propriedade particular, em que outrora se fazia presente uma fazenda, que se encontrava desativada, desde o início dos anos 1990.

Durante o processo de ocupação da área, a vegetação do entorno do curso hídrico do local, que já havia sido originalmente modificada, experimentou certo grau de restauração, mas vem sofrendo nova perda de cobertura, atualmente, em função do crescimento populacional na área.

Os processos de apropriação e de loteamento dos terrenos da área se deram de forma desorganizada, a partir de dois agentes, com finalidades distintas: um, caracterizado por famílias desabrigadas e em situação de vulnerabilidade, e com baixo nível de escolaridade, cuja fonte de renda provinha de subempregos informais, auferindo valores inferiores ao mínimo necessário à existência, o que as impossibilitava de arcar com os custos da aquisição de um imóvel; e outro, composto por personagens que dispunham de recursos para adquirir os imóveis, mas visavam suas rápidas revendas, buscando se apropriar dos lotes, sem intenção de neles residir ou permanecer, nutrindo um ciclo acelerado do sistema de compra e de venda das propriedades em questão.

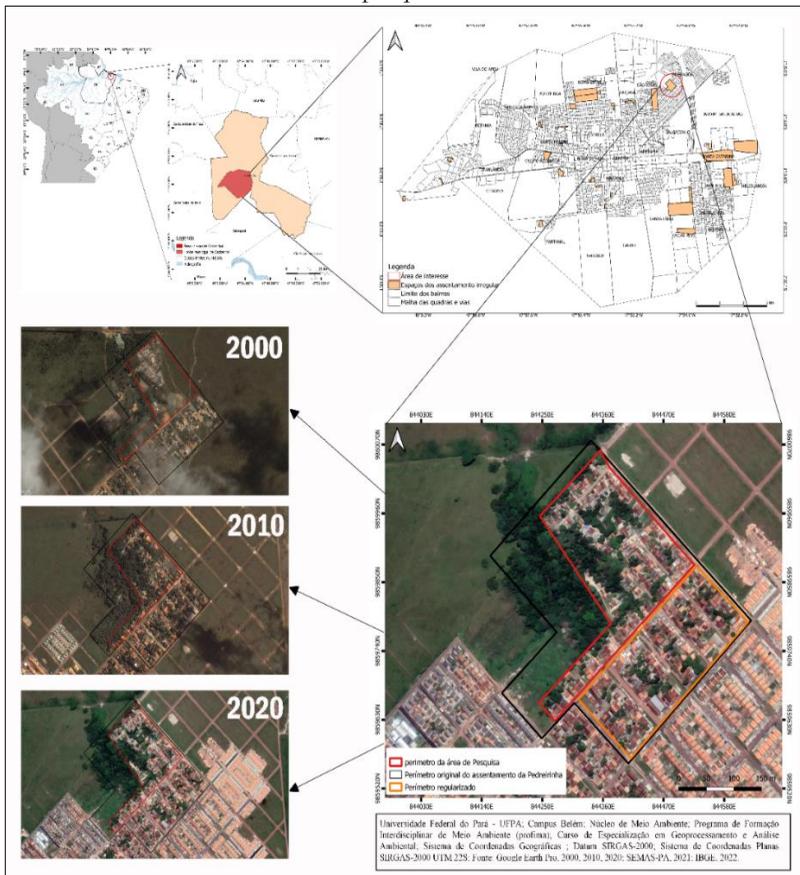
Durante as entrevistas de campo, ficou evidente a substituição dos proprietários originais dos imóveis, pois poucos dos que participaram da ocupação inicial ainda se encontram

Geoinformação e Análises Socioambientais

residindo no local. Ou seja, uma parcela significativa dos moradores é recente, estando assentada no local há menos de dez anos.

Uma das principais causas do processo migratório destes moradores para este assentamento foi o baixo custo financeiro envolvido na negociação dos imóveis ou terrenos, tendo sido relatado, ainda, que grande parte das casas originais passou por reformas estruturais, quando trocaram de proprietários.

Figura 1 – Mapa de localização e de caracterização temporal da área de pesquisa



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Estima-se que, até o ano de 2020, existia um total de aproximadamente 250 famílias na área original do assentamento da pedreirinha, vivendo em diferentes contextos socioeconômicos. Cabe salientar que, como aparece na Figura 1, essa pesquisa abrange apenas uma parcela da área original do assentamento, pois, em 2019, a prefeitura municipal de Castanhal, em comunhão com a junta técnica da Secretaria Municipal de Habitação, deu início ao projeto de regularização fundiária de parte da área da Pedreirinha, atendendo a 128 famílias de baixa renda, que receberam gratuitamente os registros de seus imóveis. Esse espaço, já regulamentado, em nível fundiário, foi desconsiderado para as finalidades deste estudo. Contudo, ressalta-se que o projeto de regularização de parte do assentamento Pedreirinha foi o primeiro implementado na área urbana do município, sendo ponto de partida para que se iniciassem processos de levantamento técnico para a posterior regularização fundiária de outros assentos irregulares.

FLUXOGRAMA DO PROCESSO METODOLÓGICO DE PESQUISA

A fim de simplificar o processo de pesquisa, as etapas foram agrupadas em quatro fases principais de análise, as quais são apresentadas a seguir.

Fase um - Revisão do estado da arte

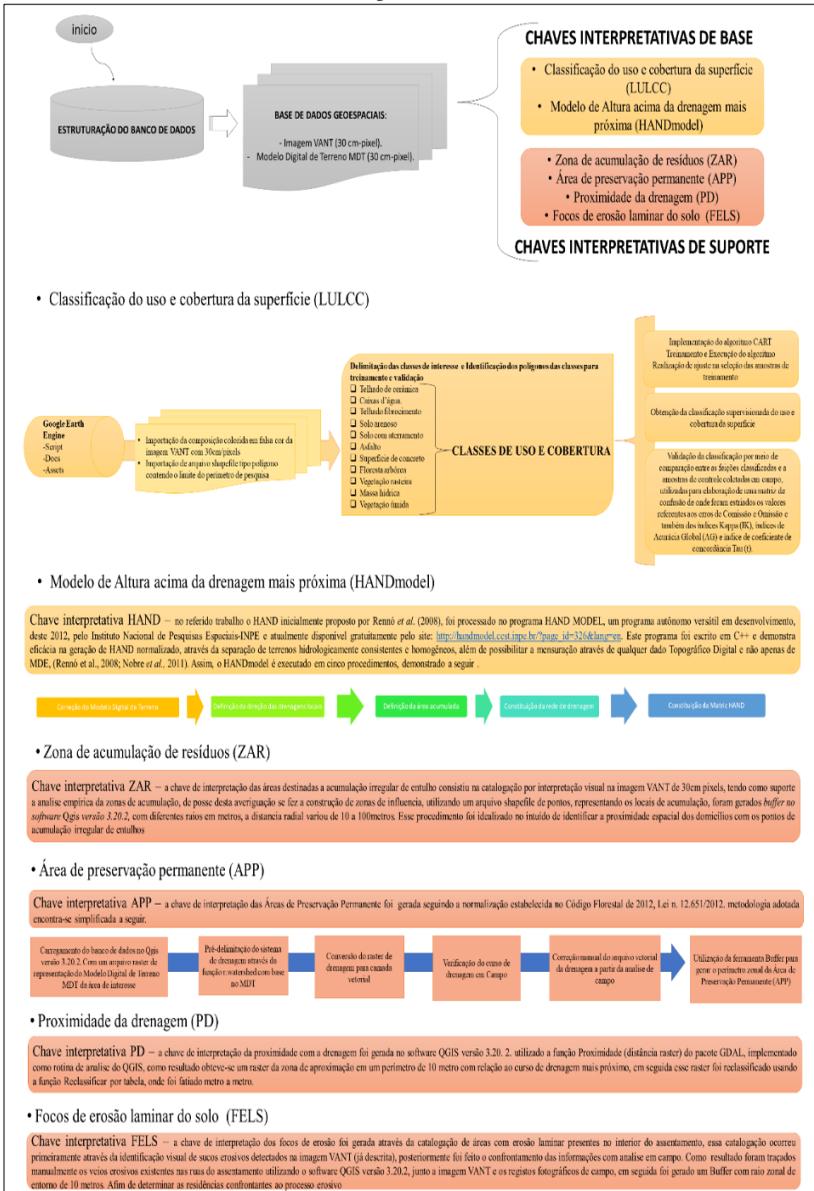
Foram realizados levantamentos e revisões na literatura publicada nos últimos dez anos, relacionados às técnicas, às ferramentas e aos métodos de investigação e de avaliação de informações, segundo a temática de interesse. A finalidade desta etapa foi de identificar pesquisas semelhantes, com potenciais para auxiliar o desenvolvimento da problemática e para delimitar o escopo deste estudo em prismas holístico e concêntrico, considerando as dinâmicas de fluxo de matéria e de energia

variantes entre as conjunturas naturais e sociais, que caracterizam a área de interesse e que a fazem convergir em sistemas de maiores escalas.

Fase dois – Construção dos indicadores físico-ambientais

As variáveis físico-ambientais da área de interesse foram resultantes de diagnósticos de campo, subsidiados por modelos, denominados “chaves interpretativas”, gerados com tecnologia de geoprocessamento, atrelada a técnicas de processamento de Sensoriamento Remoto e de *machine learning*, para a análise de imagens com resolução espacial submétrica em ambiente de servidor em nuvem. Os processamentos resultaram em vários mapas temáticos, que indicam a presença e a espacialização de situações de interesse. Posteriormente, esses dados derivaram na construção dos indicadores, que, mais tarde, auxiliariam na determinação dos valores das variáveis. A síntese descritiva de produção das “chaves interpretativas”, ou “mapeamento preliminar”, encontra-se na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma metodológico empregado na produção das “chaves interpretativas”



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

Fase três – Construção dos indicadores socioestruturantes

A construção dos apontadores socioestruturais parte da premissa da geração de variáveis, que retratem a qualidade de vivência no ambiente urbano. Nesse sentido, o levantamento dos dados ocorreu em três momentos.

Primeiramente, foram levantadas informações secundárias, a respeito da condição socioeconômica de vulnerabilidade social dos assentados e do processo de ocupação, tanto da área de interesse quanto da sua zona de entorno. Para tanto, foram verificados os sistemas eletrônicos de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Ministério do Meio Ambiente (MMA). De forma complementar, ainda foram consultados os órgãos de gestão local: Prefeitura Municipal de Castanhal (PMC); Secretaria de Obras e Planejamento Urbano de Castanhal (SEPLANG); Secretaria de Habitação de Castanhal (SEHAB); Superintendência Executiva de Mobilidade Urbana de Castanhal (SEMOB); e Secretaria Municipal de Assistência Social de Castanhal (SEMAS).

No segundo momento, ocorreu a coleta dos dados primários, realizada em acordo com Silva *et al.* (2017) e tendo, por base, a realização de entrevistas, junto a informantes qualificados da gestão pública, como assistentes sociais, engenheiros e funcionários da SEHAB. Também, foi feita a aplicação de questionários e de entrevistas à população do assentamento e as suas lideranças. A coleta de dados primários na área de interesse se deu em cinco visitas técnicas (nos dias 06/04/2022, 07/04/2022, 08/04/2022, 04/05/2022 e 06/05/2022), sendo, as últimas duas, destinadas à confrontação dos dados levantados nas primeiras visitas e daqueles, obtidos na revisão bibliográfica.

No terceiro e último momento, os dados primários e secundários correspondentes foram estruturados, de forma a compor as variáveis de avaliação da qualidade ambiental, compondo o *input* do sistema avaliativo. Tais informações foram carregadas em planilhas eletrônicas do *software* Excel™, da

Geoinformação e Análises Socioambientais

Microsoft, em que foram realizados os cálculos necessários. Assim, seguiu-se com o estabelecimento dos pesos, referentes a cada variável (Quadro 1).

Quadro 1 – Categorias de análise, com suas variáveis, e Indicadores de Qualidade Ambiental Urbana e respectivos percentuais e pesos

C A	Variável	Indicadores QAU	Método de determinação	Peso
Moradia	Situação do domicílio	Imóvel próprio = 100%; imóvel alugado = 50%; imóvel invadido = 10%	Análise em campo	3
	Tipologia construtiva	Alvenaria com revestimento em cimento = 100%; alvenaria sem revestimento = 90%; madeira bem conservada = 50%; madeira mal conservada 20%; outros materiais = 10%	Análise em campo	4
	Material da cobertura	Telha cerâmica = 100%; telha de fibrocimento = 60; telha metálica = 40%; mista de telhas de cerâmica e outras, com predomínio da cerâmica = 70%; mista de telhas e outras, com predomínio de outras = 50%	Interpretação de imagem de VANT e análise em campo	2
	Estado da cobertura	Bem conservada = 100%; mal conservada = 40%; em deterioração = 10%; completamente deteriorada = 0%	Análise em campo	2,5
Saneamento	Acesso à água	Domicílios atendidos pela rede pública municipal = 100%; domicílios com poço artesiano (caixa d'água) = 70%; domicílio com poço artesiano (poço boca larga) = 40%; domicílio sem abastecimento direto de água = 0%	Análise em campo	2
	Esgotamento sanitário	Domicílios com rede de fossa séptica = 100%; domicílios sem rede de fossa séptica = 0%	Análise em campo	5

Geoinformação e Análises Socioambientais

C A	Variável	Indicadores QAU	Método de determinação	Peso
	Material e estado de conservação do esgotamento sanitário	Fossa séptica de alvenaria, revestida com cimento, em bom estado de conservação = 80%; fossa séptica de alvenaria, não revestida, em bom estado de conservação = 50%; fossa séptica de alvenaria revestida, em mau estado de conservação = 40%; fossa séptica de alvenaria não revestida, em mau estado de conservação = 10%; ausência de fossa séptica = 0%	Análise em campo	5
	Drenagem urbana	Existência de mecanismo de drenagem pluvial na via, atendendo ao domicílio = 100%; inexistência de mecanismo de drenagem pluvial = 0%	Análise em campo	1
	Estado da rede de drenagem urbana	Ótimo = 100%; bom = 75%; regular = 50%; péssimo = 25%; inexistente = 0%	Análise em campo	1,5
	Limpeza urbana	Ocorrência de práticas de limpeza urbana = 100%; inexistência de práticas de limpeza urbana = 0	Consulta aos dados da prefeitura e análise em campo	4
	Tipo de coleta	Coleta de lixo na rua do domicílio = 100%; coleta de lixo à 100 metros do domicílio = 50%; coleta de lixo à 200 metros ou mais do domicílio = 10%	Consulta aos dados da prefeitura e análise em campo	3,5
	Frequência da coleta	Coleta diária = 100%; coleta duas vezes por semana = 75%; coleta uma vez por semana = 50%; coleta esporádica = 10%	Consulta aos dados da prefeitura e análise em campo	4
Infraestrutura	Energia elétrica (cobertura)	Domicílios com acesso à energia elétrica = 100%; domicílios com ligação clandestina de energia elétrica = 25%; domicílios sem acesso à energia elétrica = 0%	Consulta à empresa fornecedora de energia e análise em campo	4,5

Geoinformação e Análises Socioambientais

C A	Variável	Indicadores QAU	Método de determinação	Peso
	Iluminação pública	Existência de iluminação pública na via, atendendo diretamente a todos os domicílios = 100%; existência de iluminação pública em parte da via, atendendo ao domicílio = 75%; existência de iluminação pública em parte da via, mas não atende ao domicílio = 25%; inexistência de iluminação pública em todo o perímetro da via = 0%	Consulta junto a empresa fornecedora de energia e análise em campo	3
	Pavimentação asfáltica das vias	Existente na via e atendendo diretamente a todos os domicílio = 100%; existente em parte da via e atendendo ao domicílio = 75%; existente em parte da via, mas sem atender ao domicílio = 25%; inexistente em todo o perímetro da via = 0%	Consulta aos dados da CEPLANG e análise em campo	4
	Calçadas	Existência de calçada, atendendo à totalidade das vias do loteamento, com calçadas de paralelepípedo, de placas de concreto, de grama ou de asfalto = 100%; inexistência de calçada = 0%	Consulta aos dados da CEPLANG e análise em campo	3
Serviços urbanos	Abastecimento comercial	Existência, em um raio de proximidade de 3 km, de: mercado; farmácia; panificadora; loja de roupas; loja de materiais de construção; papelaria; gás (7 itens = 100%; 6 itens = 85,7%; 5 itens = 71,4%; 4 itens = 57,1%; 3 itens = 42,86%; 2 itens = 28,58%; 1 item = 14,28%; 0 item = 0%)	Análise em campo	4
	Abastecimento de serviço	Existência, em um raio de proximidade de 2 km, de: banco; instituição religiosa; lotérica; chaveiro (4 itens = 100%; 3 itens = 75%; 2 itens = 50%; 1 item = 25%; 0 item = 0%)	Análise em campo	3,5
Socioec	Saúde	Existência de pessoas com patologia ou em situação de fragilidade de saúde no domicílio = 0%; inexistência = 100%	Análise em campo	4

Geoinformação e Análises Socioambientais

C A	Variável	Indicadores QAU	Método de determinação	Peso
	Educação	Nível de escolaridade do chefe familiar, independentemente do sexo (analfabeto = 0%; ensino primário incompleto = 10%; ensino primário completo = 20%; ensino fundamental incompleto = 30%; ensino fundamental completo = 40%; ensino médio incompleto = 60; ensino médio completo 80%; ensino superior ou acima = 100%)	Análise em campo	3,5
	Situação trabalhista	Situação trabalhista do chefe da família ou principal responsável por manter o domicílio, independentemente do sexo (em caso de mais de um responsável, foi realizada a média aritmética da quantidade) (empregado com carteira assinada = 100%; emprego informal = 60%; beneficiário social = 30%; desempregado = 0%)	Análise em campo	1
Conforto do ambiente	Despejo de resíduos sólidos em rio	Domicílio com lançamento direto de resíduos sólidos (lixo) em curso hídrico = 0%; domicílio sem lançamento direto de resíduos sólidos (lixo) em curso hídrico = 100%	Interpretação de imagem de VANT e análise em campo	4,5
	Despejo de resíduos químicos em rio	Domicílio com lançamento direto de efluentes e de resíduos químicos em corpos hídricos = 0%; Domicílio sem lançamento direto de efluentes e de resíduos químicos em corpos hídricos = 100%; Domicílio com lançamento indireto de efluentes e de resíduos químicos em corpos hídricos = 50%	Interpretação de imagem de VANT e análise em campo	3,5
Paisagem	Arborização	Presença de arborização no lote = 100%; inexistente de arborização no lote = 50%; lote completamente impermeabilizado = 0%	Interpretação da classificação supervisionada e análise em campo	5

Geoinformação e Análises Socioambientais

C A	Variável	Indicadores QAU	Método de determinação	Peso
	Sinalização	Existências de sinalização nas vias = 100%; inexistência de sinalização nas vias = 0%	Análise de campo	4,5
Cidadania	Segurança pública	Acesso à informação e capacidade de solicitação de ajuda, com base na presença de aparelhos e de recursos de veiculação de informação e apoio (acesso à <i>internet</i> em rede fixa 100%; acesso à <i>internet</i> em rede móvel = 80% Acesso a aparelhos eletrônicos de comunicação (celulares, <i>tablets</i> , computadores, etc.) = 100%; acesso à informação somente via telecomunicação = 70%; acesso à informação por outros veículos (rádio, jornal impresso, etc.) = 50%	Análise de campo	5
		Estado de seguridade, por relato do morador: se sente seguro = 100%; se sente pouco seguro = 50%; não se sente seguro = 0%; (esse dado foi complementado pela análise da taxa de homicídios no assentamento e em sua proximidade, nos últimos três anos)	Análise de campo	5
	Organização popular	Existência de grupos organizados = 100%; inexistência de grupos organizados = 0%	Análise de campo	4
Ecologia	Despejo irregular de entulho	Distância zonal entre o domicílio e a área com acúmulo irregular de entulho (domicílio localizado à 100 metros = 100%; domicílio localizado à 60 metros 80%; domicílio localizado à 30 metros = 40%; domicílio localizado à dez metros = 0%	Interpretação de imagem de VANT e de mapa de despejo irregular e análise em campo	5
	Degradação em Área de Preservação Permanente (APP)	Domicílios inseridos em perímetro de APP = 0%; domicílios não inseridos em perímetro de APP = 100%	Interpretação da classificação supervisionada, mapa de	5

Geoinformação e Análises Socioambientais

C A	Variável	Indicadores QAU	Método de determinação	Peso
			APP e análise em campo	
Hazards	Presença de erosão laminar	Distância do domicílio de zona de influência de ocorrência de erosão maior do que dez metros = 100%; menor ou igual à dez metros = 0%	Interpretação da classificação supervisionada e análise em campo	4,5
	Perigo de inundação	Domicílio não assentado em cota altimétrica inferior a 0,5 metros, em relação ao rio mais próximo = 100%; domicílio assentado em cota altimétrica inferior a 0,5 metros, em relação ao rio mais próximo = 0%	Interpretação da classificação supervisionada e do mapa HAND e análise em campo	5
		Domicílio assentado a mais de dez metros de curso hídrico = 100%; Domicílio assentado a menos de dez metros de curso hídrico = 0%; para ausência.	Interpretação do mapa de proximidade da rede de drenagem e análise em campo	4

Fonte: adaptado de Borja (1998) e de Silva *et al.* (2017)

Síntese da metodologia de coleta e análise dos indicadores físico-ambientais e socioestruturantes

Nessa pesquisa, foram consideradas dez categorias na composição do quadro avaliativo da qualidade ambiental urbana, sendo, cada uma delas, reflexo de um conjunto de variáveis, determinadas, por sua vez, pelo agrupamento de indicadores, representados em porcentagem, os quais, particularmente, contêm

um peso relacionado pré-estabelecido, de acordo com a proposta de Borja (1998). A análise estatística seguiu algumas premissas, adaptadas de Silva *et al.* (2017), partindo da ponderação e da agregação dos pesos parciais e gerando uma estimativa parcial por categoria. Em seguida, aplicou-se a análise ponderada, para a estruturação da avaliação final, o que é detalhado a seguir.

Assim como em Silva *et al.* (2017), os indicadores da qualidade apresentados na tabela anterior visam possibilitar uma análise concisa e coerente da realidade *in loco*, através da parametrização em escala percentual, variante entre os extremos 0 e 100, que equivalem a 0% e a 100% nos indicadores, para apontar, conceitualmente, a manifestação ou não de situações ou estados de degradação da qualidade socioambiental no assentamento. Nesses indicadores, 0% representa a ocorrência de situação com nível máximo de degradação ou decaimento da qualidade ambiental, enquanto 100% corresponderia à presença de fatores que elevam a qualidade ou indicam a ausência de elementos degradantes no ambiente. Para a estruturação de algumas variáveis, foi necessária a adoção de valores percentuais intermediários, a fim de calcular corretamente as condições físico-ambientais e socioestruturais locais, como pôde ser observado na Tabela 1.

Ressalta-se que a principal distinção da análise dos indicadores, das variáveis e das categorias mensurados nesta pesquisa, em relação aos trabalhos de Borja (1998) e de Silva *et al.* (2017), recai sobre a adaptação daquelas propostas, que se utilizaram de cenários totalitários, a uma abordagem de panoramas particulares, utilizando a estrutura domiciliar. Ou seja, Borja (1998) e Silva *et al.* (2017) fazem a catalogação de indicadores, a partir da totalidade quantitativa das informações registradas no ambiente — como, por exemplo, na utilização do indicador “% de ocupantes de imóveis próprios” (SILVA *et al.*, 2017, p. 352), sendo analisada a totalidade em percentual dos domicílios caracterizados como “próprios”.

Na presente pesquisa, alguns indicadores necessitaram ser rearranjados, para analisar somente as estruturas de ausência ou presença, sendo adotados os extremos percentuais de 0 e de 100

para indicar tal situação, ao passo que outros foram conceitualmente orientados, de acordo com as situações de degradação, como no caso da variável “despejo de resíduos químicos em rio”, estipulada individualmente para cada domicílio e para a qual foram utilizados os extremos percentuais de 0%, para indicar se a residência despeja “resíduo químico” diretamente no rio local, e de 100%, para indicar a negativa da situação em questão, retratando um cenário de não degradação, por parte daquele domicílio em particular, sendo considerada, ainda, a situação de contribuição indireta, em que se levou em consideração a situação de descarga de produtos químicos em sarjetas, que poderiam ser drenados, por escoamento gravitacional, em direção aos rios, acarretando, para estes domicílios, a atribuição do peso intermediário de 50%.

Também foram utilizados os valores dos “pesos parciais”, para definir o nível de importância de cada variável e suas médias ponderadas (Equação 1). Tais dados foram utilizados na determinação dos valores de normalização das categorias, ajustando-as para a aplicação do método AHP, de modo a obter um avaliativo final da qualidade ambiental urbana dos loteamentos, que compõem o assentamento Pedreirinha.

$$IQAU \text{ parcial/categoria} = \left[\frac{(v_1 \times pv_1) + (v_2 \times pv_2) + \dots + (v_n \times pv_n)}{pv_1 + pv_2 + \dots + pv_n} \right]$$

Nessa equação:

- IQAU parcial parte da agregação do total das variáveis de uma categoria aos seus respectivos pesos pré-estabelecidos, de acordo com as propostas de Borja (1998) e de Silva *et al.* (2017).
- V_n é a variável analisada.
- Pv_n é o peso da variável correspondente.

Ou seja, o cálculo da síntese avaliativa das variáveis se deu, mediante aplicação de média ponderada dos indicadores e dos “pesos parciais”. Salienta-se que, para aquelas variáveis não incluídas na metodologia de Borja (1998), a atribuição dos pesos seguiu a revisão bibliográfica.

Fase quatro – Construção do modelo avaliativo

Ameen e Mourshed (2018) sustentam que, nas etapas de classificação e de ponderação dos fatores para uma determinada finalidade, deve-se buscar a geração de estruturas de mensuração e de identificação das ponderações adequadas, frente aos indicadores, que, para a presente pesquisa, são direcionados ao urbano, através do uso dos conceitos de relevância e de importância na escala local (AMEEN, 2015). Assim, o método AHP foi empregado, para que se obtivessem a organização e a ordenação das variáveis e para desenvolver o sistema de ponderação do IQAU final, enquanto que IQAU parcial foi adaptado das propostas de Borja (1998) e de Silva *et al.* (2017).

Construção da hierarquia do modelo AHP

De posse dos valores das dez categorias de avaliação da qualidade ambiental urbana do assentamento (moradia, saneamento, infraestrutura urbana, serviços urbanos, socioeconomia, conforto do ambiente, paisagem urbana, cidadania, ecologia e *hazards*) para cada domicílio analisado, visando a obtenção do índice final de qualidade ambiental, foi necessário realizar a normalização destas categorias (o estabelecimento de critérios), para, em seguida, combiná-los.

Assim, foi efetivada a normalização da escala de variação dos valores das categorias para cada domicílio em dez mapas de critérios, de modo que estes fossem representados em uma escala de 0 a 100, obedecendo aos pesos percentuais dos indicadores de cada categoria, ou seja, ao IQAU parcial de cada domicílio.

Ressalta-se que os critérios possuem fatores de análise qualitativos. Nesse sentido, dentro da escala de variação dos indicadores, zero representou a mais negativa influência sobre a qualidade ambiental da área avaliada, enquanto 100 representou a mais forte influência positiva, como já detalhado.

De posse dos critérios normalizados em uma mesma escala, seguiu-se à ponderação das categorias, isto é, à atribuição de pesos a cada uma destas, em relação à contribuição para a qualidade ambiental da área de estudo. Para tanto, aplicou-se o Processo de Análise Hierárquica (*Analytic Hierarchy Process* – AHP), indicado para os casos, em que há a necessidade de expressar o fator prioritário entre um conjunto de critérios (FALCÃO, 2013; SAATY, 1994).

Como já citado, o método AHP, proposto por Saaty (1990), consiste na comparação em pares entre os critérios, podendo-se utilizar uma matriz quadrada, de modo a se definir a importância de cada um sobre os demais. Para o preenchimento da matriz, foi utilizada a escala de critérios proposta por Falcão (2013), apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Valores e definições de peso ou importância dos critérios

Valor do peso ou da importância	Definição do peso ou da importância	Recíproco (decimal)
1	Igual	1 (1.000)
2	Um pouco melhor	1/2 (0.500)
3	Algo melhor	1/3 (0.333)
4	Moderadamente melhor	1/4 (0.250)
5	Melhor	1/5 (0.200)
6	Bem melhor	1/6 (0.167)
7	Muito melhor	1/7 (0.143)
8	Criticamente melhor	1/8 (0.125)
9	Absolutamente melhor	1/9 (0.111)

Fonte: Saaty (1994) e Falcão (2013)

Para a continuação da ponderação dos critérios, seguindo o método de Saaty (1994) e algumas adaptações de Colin (2007),

foi feita a construção de uma matriz, dentro da área de trabalho do programa Microsoft Excel™ (Quadro 3).

Quadro 3 – Matriz quadrada de comparação de pares, gerada através do programa Microsoft Excel™

Categoria	Abr.	Categoria									
		MO	AS	IU	SU	SO	CA	PU	CI	EC	HA
Moradia	MO	1	0,333	2	4	0,333	3	6	2	2	2
Saneamento	AS	3	1	3	6	1	3	8	2	2	3
Infraestrutura urbana	IU	0,500	0,333	1	4	0,333	3	5	3	2	2
Serviços urbanos	SU	0,250	0,167	0,250	1	0,250	0,333	1	0,333	0,333	0,333
Socioeconomia	SO	3	1	3	4	1	6	7	1	2	2
Conforto do ambiente	CA	0,333	0,333	0,333	3	0,167	1	3	0,500	0,333	0,500
Paisagem urbana	PU	0,167	0,125	0,200	1	0,143	0,333	1	0,200	0,333	0,500
Cidadania	CI	0,500	0,500	0,333	3	1	2	5	1	2	0,333
Ecologia	EC	0,500	0,500	0,500	3	0,500	3	3	0,500	1	5
Hazard	HA	0,500	0,333	0,500	3	0,500	2	2	3	0,200	1

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

De posse da matriz quadrada, seguiu-se com a soma das linhas de cada critério e com a posterior normalização das somas. Para tal normalização (cálculo do autovetor), foi executada a razão da soma de cada linha de critério pelo total das somas. Tal procedimento foi seguido pelo cálculo do produto vetorial (entre a soma das linhas e o autovetor) em cada linha. No momento posterior, efetuou-se o cálculo do “*lambda*” para cada categoria, refletindo a razão do produto vetorial pelo autovalor. Em ação posterior, estimou-se o “*lambda* máximo”, por meio da média dos “*lambda*” obtidos na etapa anterior.

Ainda na interface do Microsoft Excel™, calculou-se a Razão de Consistência (RC), a qual indica a validade da ponderação (se < 0,1) ou a necessidade se seu reajuste (se > 0,1), através da modificação dos pesos inicialmente atribuídos. A RC foi calculada, a partir da razão entre o Índice de Consistência (IC) e o Índice Randômico (IR). O IC é obtido, a partir da razão do “*lambda*

máximo” pelo número de critérios, subtraído de 1. Já o IR, também conhecido como Índice de Consistência Aleatória (ICA), é descrito na Tabela 1. O processo de ponderação finaliza com o valor de RC sendo inferior a 1. Verificada a consistência, os valores utilizados como pesos para cada critério foram os obtidos na etapa de cálculo do autovetor.

Tabela 1 – ICA, em função da ordem da matriz

Ordem da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ICA	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49

Fonte: Colin (2007)

Realizada esta etapa metodológica e obtidos os pesos para cada critério, foi aplicado o procedimento de Combinação Linear Ponderada (CLP) no interior do ambiente SIG, utilizando-se da calculadora *raster*, passo que consistiu na combinação de critérios, por meio de uma média ponderada. Utilizando a calculadora *raster* para cada mapa de critério, foram multiplicados os valores dos *pixels* pelo respectivo coeficiente (peso/autovetor). Feito isto, as importâncias resultantes nos *pixels* de mesma localização nos mapas foram somadas, obtendo-se valores contínuos na escala de 0 a 100, em intervalos correspondentes aos percentuais de 0% e de 100%, referentes à distribuição espacial dos níveis de avaliação da qualidade ambiental na área de estudo. Nesse sentido, a combinação entre os mapas de critérios gera o produto cartográfico com os níveis de qualidade, em que, a partir das faixas de valores obtidos pela combinação, foi realizada a reclassificação, permitindo um melhor entendimento do assentamento (Quadro 4).

Quadro 4 – Reclassificação do mapa de combinação dos critérios analisados

Classe	Valores
Péssima	0 a 20
Ruim	20 a 40
Razoável	40 a 60
Boa	60 a 80
Excelente	80 a 100

Fonte: elaborado pelos autores (2022)

DISCUSSÃO CONCEITUAL-TEÓRICA

Segundo Rolnik (2006), os espaços irregulares de ocupação são geralmente caracterizados por situações de exposição a riscos socioambientais diversos, intensificados por conjunturas de vulnerabilidade social e por baixa capacidade de resiliência, devido às precárias circunstâncias de habitabilidade das moradias, não sendo rara a implantação destas estruturas em espaços ambientalmente frágeis, como Áreas de Preservação Permanente (APP). Atrelado a isto, encontra-se, ainda, a desassistência destes espaços, por parte do setor público-administrativo, resultando em espaços desprovidos de planejamento urbano e com pouca ou nenhuma presença de infraestrutura urbana básica.

Assim como em outras situações, as ocupações irregulares costumam se inserir em sítios urbanos desprovidos de interesse, por parte dos gerentes imobiliários e do próprio poder político-administrativo do município, logo os espaços de vulnerabilidade ambiental são tidos como mais comuns no desenvolvimento deste perfil de loteamento. Nesse contexto, as Áreas de Preservação Permanente (APP) são alvos constantes, promovendo a remoção da cobertura vegetal natural e implementando o processo de impermeabilização do solo, com ausência de planejamento prévio, ocasionando processos de degradação ambiental, entre os quais estão: erosão; desconforto térmico; alagamentos; enchentes e inundações; além da potencialização de reprodução de diferentes

vetores de doenças, como leptospirose, dengue, chicungunha e Zika vírus.

Como apresentado por Silva *et al.* (2017), existe uma lacuna na construção de indicadores potencialmente capazes de auxiliar o processo de planejamento do ambiente urbano na escala de detalhe. Decorrente disto, os autores buscam contribuir para o aprimoramento técnico-metodológico do campo do planejamento urbano, a partir de uma proposta avaliativa da Qualidade Ambiental Urbana, pautada no tripé das condições sociais, econômicas e ambientais (CAVALCANTI *et al.*, 2017).

De acordo com Ameen e Mourshed (2018), as avaliações baseadas em classificação demonstram ser adequadas, quando se necessita utilizar uma abordagem de base consensual, em especial, quando há a necessidade da realização de análises multidimensionais (WONG; ABE, 2014), como é o caso da avaliação da qualidade ambiental urbana. Nesse sentido, o processo hierárquico de análise (AHP) tem se destacado, enquanto método construído para auxiliar na estimativa de padrões criteriosos de decisão em cenários complexos, por sua adequabilidade para gerar sistemas de ponderações hierárquicas, que ranqueiam a prioridade de fatores relevantes sobre a lógica de uma estrutura de avaliação (DING, 2008; SAATY, 1990).

O AHP tem demonstrado enorme aplicabilidade nos mais diversos campos, como saúde, educação, análise ambiental, serviços públicos, análises socioeconômicas (ZHENG *et al.*, 2009). Levando em consideração a aplicabilidade bem-sucedida do método, a referida pesquisa o emprega para identificar ponderações contextualmente adequadas aos fatores que determinaram a avaliação da Qualidade Ambiental Urbana na área de moradia irregular de Castanhal (PA) aqui em foco.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A análise dos resultados alcançados, através da estrutura metodológica proposta para avaliar a Qualidade Ambiental Urbana

(IQUAU) de cada domicílio do assentamento, encontra-se descrita a seguir. A interpretação dos dados se deu, considerando o exame particular de cada uma das dez categorias formuladas (moradia, saneamento, infraestrutura urbana, serviços urbanos, socioeconomia, conforto do ambiente, paisagem urbana, ecologia e *hazards*). A estas, foram atribuídos os valores parciais de qualidade ambiental (IQUAU parcial), similar à proposta de Silva *et al.* (2017), enquanto o IQUAU final foi ranqueado, seguindo os critérios de qualidade da Tabela 5.

MORADIA

Na variável situação do domicílio, foi observado que 94,02% das 117 residências analisadas são de domínio próprio, enquanto 5,13% são alugadas e 0,85% se encontram em situação de apropriação indevida, ou seja, em condição de invasão. Em tipologia construtiva, 77,78% dos domicílios foram edificados em alvenaria e revestidos por cimento, possuindo bom estado de acabamento; outros 13,68% dos domicílios também foram construídos em alvenaria, mas ainda não se encontravam revestidos por cimento, embora mantivessem boa situação estrutural; outros 7,69% dos domicílios se encontravam estruturados em madeira, os quais foram tipificados em outros dois segmentos: domicílio estruturado em madeira, com sinais de estabilidade da arquitetura e com boas condições de vivência (5,13% dos domicílios); e domicílios edificados em madeira, que demonstram sinais de instabilidade, com deteriorações materiais em sua estrutura (2,56% dos domicílios); e 0,85% dos domicílios foram construídos com materiais diferentes de alvenaria e de madeira.

Sobre as variáveis material utilizado na cobertura dos imóveis e situação de preservação dos telhados, foram encontrados os seguintes valores: em material da cobertura, 55,56% dos domicílios possuem telhado de cerâmica; 19,66% são recobertos por uma mistura entre telhas de cerâmica (predominantes) e de outros materiais (fibrocimento ou metal); 12,82% eram recobertos por fibrocimento; 8,55% eram recobertos por telhas mistas, sem o

predomínio das telhas de cerâmica; e 3,42% dos domicílios mantém coberturas em telhas metálicas.

SANEAMENTO

A análise de campo possibilitou a avaliação da situação do acesso das residências à água na área de interesse, sendo constatado que 59,82% dos domicílios possuem cisternas particulares de poços artesianos, alimentadas por bombas de sucção; 11,11% possuem poços artesianos rudimentares, do tipo ‘boca larga’; 2,57% possuem acesso à água, a partir da rede municipal de abastecimento — contudo, durante as visitas técnicas, não foi constatada a presença de hidrômetros nas residências, não ficando esclarecida a situação de legalidade do acesso à água nestas residências —; e os outros 26,49% dos domicílios não possuem acesso à água, dependendo de rede de apoio comunitária, formada entre os moradores.

Quanto ao esgotamento sanitário, assim como descrito no Plano Municipal de Saneamento Básico de Castanhais, publicado em 2019, a cidade não conta com unidades de coleta e de tratamento de resíduos sépticos, sendo o armazenamento realizado pelos próprios moradores. A solução mais comum observada em campo foi a construção de fossas sépticas artesanais no interior dos lotes, edificadas em alvenaria de tijolos e revestida por concreto ou cimento. Constatou-se a presença deste artifício em 95,72% das casas do assentamento, embora tenha se notado variações na qualidade e no nível de conservação das estruturas, pois 56,41% dos domicílios contava com fossas sépticas artesanais, feitas de alvenaria e revestidas por concreto ou cimento, que tinham um bom estado de conservação; ao passo que 9,40% das casas mantinham fossas de mesmas características construtivas, porém com sinais de desgastes, como trincas ou rachaduras, na estrutura externa; e outros 30,76% dos domicílios edificaram fossas sépticas apenas com material de alvenaria, não revestindo as estruturas, que já apresentavam sinais de desgaste, sendo um fator de risco, devido

à elevada probabilidade de ruptura da armação, levando a contaminações do solo e do lençol freático; em outros 3,41% dos loteamentos não foram observadas fossas sépticas.

Referente às variáveis limpeza das vias e perfil e frequência da coleta de lixo, tem-se a presença de atividades esporádicas de limpeza, ocorrendo em apenas uma das ruas do assentamento, situação de cerca de 18,80% do total de loteamentos, sendo recorrentes a disposição e o acúmulo de resíduos em locais inadequados. Quanto à coleta do lixo, essa é realizada por caminhão compactador, de porta a porta, para apenas 39,31% dos domicílios, enquanto 55,55% dos domicílios tem ponto de coleta em um raio de 100 metros e outros 5,12%, em um raio de 200 metros. A frequência da coleta é de uma a duas vezes por semana, sendo feita esporadicamente em alguns trechos da via. Esse fato decorre da dificuldade de acesso do caminhão compactador ao interior do assentamento, devido à pouca largura das ruas ou as precárias condições de conservação destas.

INFRAESTRUTURA URBANA

Na categoria infraestrutura urbana, foi observado que o serviço de fornecimento de energia elétrica alcança 100% dos domicílios da comunidade, os quais contam com medidores próprios, não havendo casos de ligações clandestinas, obtidas de terceiros ou diretamente dos postes. No caso da disponibilidade e do acesso à iluminação pública, 65,81% dos loteamentos contam com iluminação direta em 100% da via, enquanto a iluminação se faz presente somente em parte da via para 34,17% dos lotes, não alcançando uma parcela de 14,52% dos domicílios. No que diz respeito às variáveis presença de pavimentação e calçamento nas vias, percebeu-se a completa ausência desta última, enquanto apenas 24,78% dos domicílios são atendidos com pavimentação na via.

SERVIÇOS URBANOS

A categoria de análise serviços urbanos, conforme Silva *et al.* (2017), foi composta por duas variáveis: abastecimento por comércios e por serviços. Na exploração de campo, foi identificada, em um raio de três quilômetros do assentamento, a presença das seguintes modalidades comerciais: mercado; farmácia; panificadora; loja de roupas; e loja de materiais de construção. Quanto aos indicadores de perfis de serviços ofertados, foi identificada apenas a presença de instituições religiosas no mesmo perímetro de três quilômetros.

SOCIOECONOMIA

A categoria socioeconomia foi estruturada sob três indicadores: qualidade de salubridade na família por domicílio; escolaridade do chefe da família; e situação laboral do chefe da família.

A variável saúde compreendeu a presença de membros da família em situação de saúde físico-psicológica que inspire cuidados, sendo considerados em situação de fragilidade os domicílios, cujos familiares residentes possuem alguma comorbidade (valor de 0%). Frise-se que estes indivíduos estariam em situação de risco, haja vista as dificuldades de acesso ao interior do assentamento na ocorrência de fatalidades, por parte de serviços de pronto atendimento. O levantamento *in loco* permitiu identificar que 33,33% dos loteamentos apresentam pessoas com saúde que inspira cuidados, não sendo observada tal característica em 66,66% dos lotes.

A escolaridade foi calculada por oito indicadores, que ranquearam o nível de instrução do chefe da família. Nessa variável, foi observado que, em 7,69% dos domicílios, o grau de escolaridade do chefe da família é “analfabeto”; em 11,96%, o grau é ensino primário incompleto; em 9,40%, o grau é ensino primário completo; em 18,80%, o grau é ensino fundamental incompleto;

em 12,82%, o grau é ensino fundamental completo; em 21,39%, o grau é ensino médio incompleto; em 13,67%, o grau é ensino médio completo; e, em 4,27% das casas, os chefes da família possuem ou estão cursando o ensino superior.

Na variável situação laboral do chefe da família, foi observado que, em 25,64% dos loteamentos, o chefe da família se encontra empregado e em situação de estabilidade (com carteira assinada); 45,30% estão inseridos no mercado informal; 20,51% declararam rendas provenientes de benefícios sociais; e os 8,54% restantes se declararam em situação de desemprego.

CIDADANIA

A categoria cidadania foi construída, segundo o desempenho das variáveis seguridade civil e organização popular, compreendidas, por Silva *et al.* (2017), como mecanismos importantes no ordenamento territorial e na estruturação do ambiente de vivência, haja vista que a condição de seguridade, atrelada a uma conjuntura de organização popular, promove a melhor articulação entre a micro e a macroescala político-administrativas municipais, auxiliando na identificação e na resolução de demandas locais.

A variável seguridade civil foi estimada, com base em indicadores diretos e de suporte, os quais compreendem, respectivamente, os levantamentos por questionário e por entrevistas, visando estimar o estado emocional dos moradores, quanto à temática, e os agrupando em três situações: seguridade, inseguridade parcial e inseguridade total, conforme detalhado na Tabela 1. Já os indicadores indiretos foram a relação entre a taxas de ocorrência criminal, referente aos casos de homicídios ocorridos nos últimos três anos (2018-2020), no interior do assentamento e em um raio de um quilometro de seu entorno, com relação à taxa observada no mesmo período, referente ao total de ocorrências no perímetro urbano da cidade. De forma complementar, ainda foi considerado o acesso à comunicação,

medido pelo nível de acesso da população à *internet* e a aparelhos eletrônicos de comunicação, como celulares, *tablets*, computadores, televisores e rádios.

Referente à taxa de criminalidade arrolada, percebe-se a ausência de homicídios no interior do assentamento e em seu entorno, enquanto a mesma taxa vem decrescendo no município, desde 2016, conforme demonstrado no Anuário Estatístico do Pará, referente a 2021, em que a taxa homicídios por 100.000 habitantes retraiu de 63,35, em 2016, para 22,14, em 2020. Contudo, durante as entrevistas, somente 24,79% dos proprietários de lotes declararam que se sentem seguros, enquanto outros 47,86% informaram que se sentem pouco seguros e 27,35% relataram completa falta de segurança. Segundo observado em entrevista, essa sensação de insegurança emocional foi conectada à baixa presença de policiamento e ao grande número de ocorrências de pequenos furtos na vizinhança. Também foi notada a presença de uma boa rede de comunicação, subsidiada pelo acesso à *internet* em formatos fixo e móvel, por cerca de 73,10% dos moradores; enquanto 100% deles possui algum meio de obtenção de informações externas, através de veículos de comunicação, como radio, redes sociais, televisão.

CONFORTO AMBIENTAL

A análise do conforto ambiental, assim como em Silva *et al.* (2017), foi estabelecida, segundo a qualidade visual dos cursos hídricos e das suas nascentes, sendo utilizado a média entre os valores percentuais, atribuídos à presença ou ausência de domicílios que realizam despejo de resíduos sólidos (com a ausência equivalendo a 100% e a presença, a 0%).

No cenário observado, durante as visitas técnicas, ficou constatado que os domicílios que despejam resíduos químicos diretamente no curso hídrico local também são responsáveis pelo descarte de resíduos sólidos no mesmo. E também foi verificado que 100% dos domicílios analisados contribuem, de forma direta

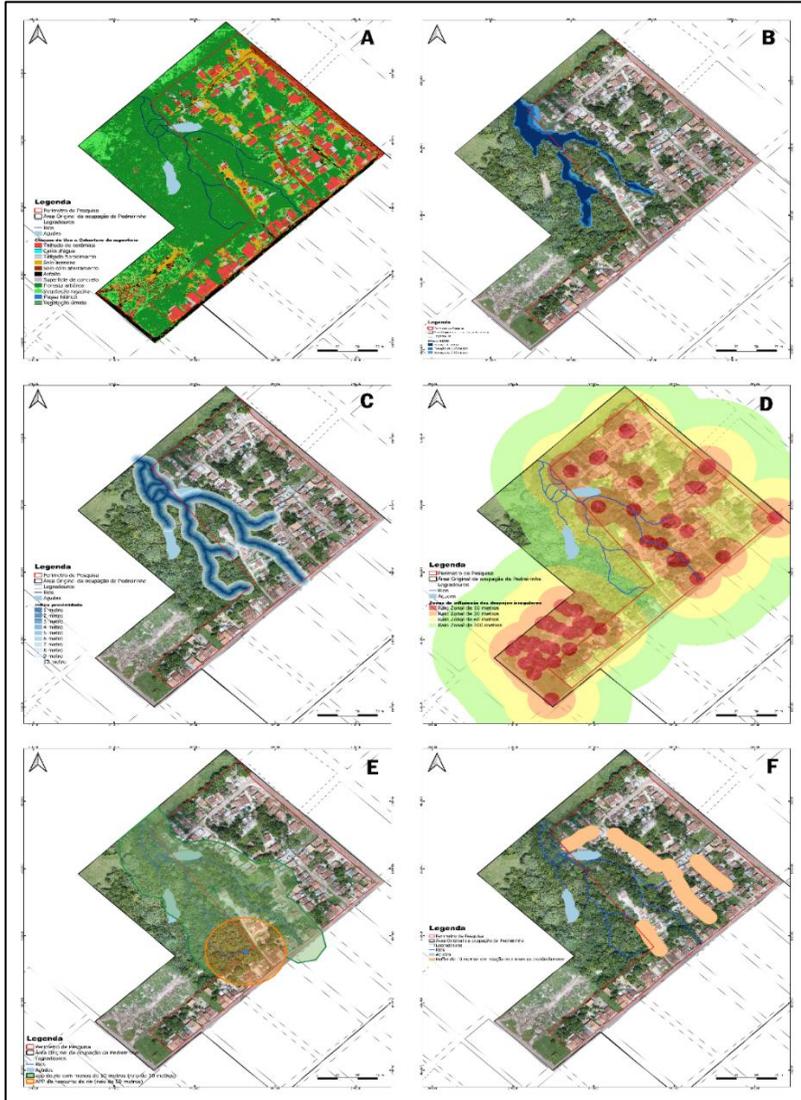
ou indireta, para a ocorrência de poluição por despejo de rejeitos, sejam os químicos, provenientes das atividades domésticas, sejam os sólidos. A inadequada destinação final dos efluentes diretamente sobre os cursos de drenagem foi identificada em 20,51% dos domicílios. Ressalta-se, por outro lado, que todos os domicílios do assentamento contribuem indiretamente para a poluição local, por meio do despejo de químicos domésticos em sarjetas improvisadas (CANHOLI, 2005).

PAISAGEM URBANA

A categoria paisagem urbana, composta pelas variáveis arborização em vias, sinalização e superfícies verdes, apresentou os seguintes resultados: completa ausência de arborização nas vias e existência de sinalização em uma das vias do assentamento, apenas, atendendo a 23,93% dos loteamentos. Quanto à variável presença de superfícies verdes em lotes, foi identificado que 87,17% dos lotes dispõe de alguma composição arbórea, logo tais feições arbustivas estão completamente ausentes em 12,82% dos lotes, sendo que 9,40% dos lotes se encontram completamente impermeabilizados, o que eleva o escoamento superficial, intensificando processos de erosão e de alagamento (TUCCI, 2005) (Figura 3A).

Geoinformação e Análises Socioambientais

Figura 3 – Mapas das chaves interpretativas: classificação de uso e cobertura da superfície (3A); Altura Acima da Drenagem mais Próxima (HAND) (3B); proximidade da drenagem (3C); zona de acumulação de resíduos (3D); Área de Preservação Permanente (APP) (3E); e focos de erosão laminar do solo (3F)



Fonte: elaborado pelos autores (2022)

ECOLOGIA

A categoria ecologia foi determinada pelas variáveis distancia zonal dos domicílios, em relação aos focos de concentração de entulhos, e inserção de domicílios em Área de Preservação Permanente.

Quanto aos focos de despejo irregular de entulho, durante as visitas técnicas, ficou evidente o grande volume de entulhos acumulados nos loteamentos abandonados, nos terrenos vazios e nas vias, sendo este um problema crônico no assentamento (Figura 4). Com base na análise da imagem do VANT, combinada ao levantamento em campo, determinou-se que uma parcela de 14,52% dos domicílios se encontrava à distância inferior ou igual a 10 metros de alguma zona de descarte irregular; 50,47% se encontravam inseridos em um raio de 30 metros de alguma zona de descarte; outros 32,47% dos domicílios se encontram a uma distância radial de 60 metros; e apenas 2,56% se encontram à 100 metros de alguma zona de descarte irregular de entulhos (Figura 3D).

Figura 4 – Registros de pontos de despejo irregular de entulho e de presença de lixo nas vias



Fonte: acervo dos autores (2022)

Quanto à apropriação de terrenos em área de APP, foi detectada, através de análises de geoprocessamento e de álgebra em mapas validados em campo, a incorporação de 35,04% do total dos domicílios no interior de Área de Preservação Permanente, de

nascente de curso hídrico e de rio com largura inferior a 10 metros, como se observa no mapa da Figura 3E.

HAZARDS

A categoria perigos foi definida pela proximidade dos loteamentos, em relação a zonas de influência hidrológica e de perda de solo (erosão) na área de estudo. Com base em avaliação de campo, na aplicação do modelo hidrológico de normalização da drenagem (HAND) (Figura 3B) e na observação visual de uma imagem de VANT com 30 cm-*pixel*, foi determinado que 4,27% do total de domicílios analisados se encontram assentados em uma altura de 0,5 m, em relação ao curso hídrico, possibilitando que sejam atingidos por processos de inundação. Além disso, estimou-se a proximidade horizontal dos terrenos, em relação aos cursos hídricos (Figura 3C), permitindo contabilizar que 12,82% dos domicílios se encontra a menos de dez metros de cursos hídricos, proximidade que, no longo prazo, pode provocar danos à estrutura das moradias, além de contaminação ao lençol freático, devido à presença de fossas sépticas rudimentares no local. Nessa pesquisa de caso, a manifestação de processos erosivos foi considerada um indicador de interferência na qualidade ambiental local do assentamento (Figura 3F), logo foram construídos *buffers* de dez metros, afim de determinar os loteamentos confrontantes a este processo, sendo identificado que 35,04% do total de domicílios se encontra em situação de risco de ocorrência de erosão nas vias (Figura 5).

Figura 5 – Registro do processo de erosão do solo na área de estudo



Fonte: acervo dos autores (2022)

ÍNDICE AVALIATIVO DA QUALIDADE AMBIENTAL URBANA (IQUAU)

A empregabilidade da proposta metodológica resultou na geração de um Indicador Avaliativo da Qualidade Ambiental Urbana para cada um dos domicílio da área de interesse da pesquisa, possibilitando a realização de uma análise em nível de loteamento e promovendo um maior detalhamento descritivo da realidade do assentamento.

No presente estudo, as adaptações consistiram no adicionamento de duas novas categorias avaliativas (Ecologia e *Hazards*) e de cinco novas variáveis, em comparação às apresentadas em Silva *et al.* (2017). Ao todo, foram avaliadas dez categorias e 31 variáveis, para as quais foram aplicados 32 indicadores, dos quais oito foram adequados da proposta original de Borja (1998), 17, da proposta de Silva *et al.* (2017) e os demais foram determinados pelos autores, segundo avaliação extensiva em revisão bibliográfica.

No IQUAU parcial, em que cada categoria foi analisada, segundo os intervalos dos critérios de qualidade (Tabela 5), pode-se perceber que, para a categoria Infraestrutura urbana, a média aritmética do IQUAU de todos os domicílios ficou em 54,80; para a categoria Moradia, a média foi de 89,40; em Saneamento, foi de

59,48; para a Socioeconomia, a média foi de 55,96; em Conforto ambiental, foi de 79,31; para Paisagem urbana, o valor foi de 61,76; em Cidadania, foi de 73,08; para Ecologia, a média ficou em 49,76; e, em *Hazards*, o valor foi de 73,28.

De acordo com os resultados obtidos no IQAU final, foi observado que 12% dos 117 loteamentos que compuseram a pesquisa receberam a classificação ‘Excelente’, segundo a Tabela 5, referente aos intervalos de qualidade ambiental; outros 44% dos domicílios foram enquadrados na classe ‘Bom’; 26% receberam a classificação ‘Razoável’, e 5% e 1% receberam a atribuição ‘Péssimo’.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foram feitas adaptações dos modelos avaliativos propostos originalmente por Borja (1998) e por Silva *et al.* (2017), que se baseiam em indicadores socioestruturais e físico-ambientais, para produzir um índice de mensuração da Qualidade Ambiental Urbana (IQAU), que, nesse estudo de caso, foi estruturado de forma particularizada, em relação a cada situação domiciliar, ou seja, foi gerado um IQAU para cada domicílio, diferenciando das abordagens de Borja (1998) e de Silva *et al.* (2017), cujos índices estatísticos finais abrangeram uma escala espacial mais ampla.

A análise situacional do assentamento irregular Pedreirinha permitiu a averiguação de uma proposta metodológica, que se orientou pela obtenção de indicadores, utilizando, no primeiro momento, dados secundários, provenientes de diferentes fontes documentais, e arquivos geoespaciais de altíssima resolução, analisados em ambiente de processamento em nuvem e em Sistemas de Informação Geográfica. No segundo momento, a estrutura metodológica passou a coletar dados por análise empírica da realidade do assentamento, valendo-se de visita *in loco*, tanto para levantamento quanto para validação dos dados secundários.

Essa postura metodológica foi adotada, visando realizar as corretas adaptações nos indicadores e no modelo de processamento, após o rearranjo das variáveis, para compor as categorias. Tal procedimento possibilitou avaliar a potencialidade de se adotar duas camadas de índices avaliativos: os índices parciais e o índice final, pois aqueles permitem uma leitura estatística das diferentes categorias e de suas respectivas variáveis, quanto à estrutura espacial fragmentada da escala domiciliar, enquanto este abarca a mesma escala espacial, porém produz um único índice avaliativo.

Em suma, as adoções de uma estrutura de análise espacialmente fragmentada e de uma escala pouco abordada, a domiciliar, permitiram uma apreensão mais perfeita da realidade local, facilitando a avaliação do cenário socioambiental em questão, o que resulta em melhoria na escolha do modelo de intervenção mais adequado e viável para a situação econômico-administrativa do município.

REFERÊNCIAS

- AGATON, M.; SETIAWAN, Y.; EFFENDI, H. Land use/land cover change detection in an urban watershed: a case study of upper Citarum Watershed, West Java Province, Indonesia. **Procedia Environmental Sciences**, v. 33, p. 654-660, 2016.
- AMEEN, R. F. M.; MOURSHED, M, Urban sustainability assessment framework development: The ranking and weighting of Iraqi indicators using analytic hierarchy process (AHP), **Sustainable Cities and Society**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.10.020>
- AMEEN, R. F. M. *et al.* A critical review of environmental assessment tools for sustainable urban design. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 55, p. 110-125, 2015.
- BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. 2012b. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 19 jan. 2022.

- BORJA, P. C. Metodologia para Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana em nível local. *In*: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - AIDIS. Lima, Peru, 1998. **Anais [...]**. Lima, 1998.
- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- CAVALCANTI, C. de O.; LIMONT, M.; DZIEDZICB, M.; FERNANDES, V. Sustainability assessment methodology of urban mobility projects. **Land Use Policy**, v. 60, p. 334-342, 2017.
- CERQUEIRA, Daniel. **Atlas da Violência 2021**. São Paulo: FBSP, 2021.
- COLIN, E. C. **Pesquisa Operacional**: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- DING, G. K. Sustainable construction- The role of environmental assessment tools. **Journal of Environmental Management**, v. 86, n. 3, p. 451-464, 2008.
- FALCÃO, E. C. **Degradação Ambiental Utilizando Avaliação Multicritério Espacial, no Município de Boa Vista-PB**. 2013. 126f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2013.
- FENGLER, F. H. *et al.* Qualidade ambiental dos fragmentos florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Jundiá-Mirim entre 1972 e 2013. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 19, n. 4, p. 402-408, 2015.
- FURLAN, A. R.; SPINELLI, J. Perigo de inundação e vulnerabilidade socioeconômica na área urbana de Erechim, RS (Brasil). **Estudos Geográficos: Revista Eletrônica de Geografia**, v. 18, n. 2, p. 198-220, 2020.
- MENDONÇA, Francisco. Riscos, vulnerabilidade e abordagem socioambiental urbana: uma reflexão a partir da RMC e de Curitiba. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, UFPR, n. 10, p. 139-148, 2004.
- MENDONÇA, Francisco. Geografia, Geografia Física e meio ambiente: uma reflexão a partir da problemática socioambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 5, p. 123-134, 2009.

NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; HODNETT, M.; RENNÓ, C. D.; RODRIGUES, G.; SILVEIRA, A.; WATERLOO, M.; SALESKA, S. Height above the Nearest Drainage, a hydrologically relevant new terrain model. **Journal of Hydrology**, v. 404, n. 1-2, p. 13-29, 2011. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.03.051.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE - ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OPAS-OMS). **Água e Saúde**. 2001. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_docman&view=download&alias=203-agua-e-saude-3&category_slug=saude-e-ambiente-707&Itemid=965. Acesso em: 18 maio 2022.

PAUNGARTTEN, S. P. L.; BORDALO, C. A. L.; LIMA, A. M. M. Saneamento e condições socioeconômicas de bacias hidrográficas: um estudo de caso na região metropolitana de Belém-PA. **Revista GeoAmazônia**, v. 3, n. 6, p. 83-95, 2015.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. HAND, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, Nova Iorque, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

ROLNIK, R. A construção de uma política fundiária e de planejamento urbano para o país – avanços e desafios. **Políticas Sociais**, v. 12, p. 197, 2006. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/4507>. Acesso em: 24 nov. 2021.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990.

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **Interfaces**, v. 24, n. 6, p. 19-43, 1994.

SILVA, G. V.; VAN KAICK, T. S.; CRUZ BEZERRA, S. M. Avaliação da Qualidade Ambiental Urbana (QAU) aplicada antes e depois do processo de regularização fundiária: estudo de caso

Vila Terra Santa – Curitiba/PR. **Desenvolv. Meio Ambiente**, v. 42, p. 345-369, dez. 2017.

SILVA, C. O. F.; MEDEIROS, G. A. Avaliação ambiental e morfométrica da bacia do rio Jundiá-Mirim: diagnósticos e subsídios para gestão ambiental. **Boletim Campineiro de Geografia**, v. 7, n. 2, p. 441-454, 2018.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades; Global Water Partnership; World Bank; UNESCO, 2005.

WONG, S. C.; ABE, N. Stakeholders' perspectives of a building environmental assessment method: The case of CASBEE. **Building and Environment**, v. 82, p. 502-516, 2014.

ZHENG, G. *et al.* Application of life cycle assessment (LCA) and extenics theory for building energy conservation assessment. **Energy**, v. 34, n. 11, p. 1870-1879, 2009.

**Todos os direitos reservados
GAPTA UFPA**

Contatos: cnsgeo@yahoo.com.br

A presente obra deriva dos resultados alcançados durante o curso de especialização em Geoprocessamento e Análise Ambiental, do Núcleo de Meio Ambiente da Universidade Federal do Pará e pretende apresentar uma amostra dos estudos produzidos ao final da especialização. Os textos apresentados remetem à questão dos recursos hídricos e resíduos sólidos, em um primeiro eixo; da gestão de áreas protegidas, em um segundo eixo; e do ordenamento territorial urbano-regional, em um terceiro eixo. Todos os textos partem da contribuição do uso da Geoinformação para a análise ambiental, portanto, apresentam soluções, inovações, habilidades e práticas por meio do uso de ferramentas e conceitos de Geoinformação, para lidar com problemas concretos que dizem respeito à sociedade brasileira. Esperamos que a leitura possa vislumbrar um pouco do estado da arte do uso das tecnologias de Geoinformação para pensar, mitigar e produzir mecanismos para a análise ambiental em diferentes escalas. E, por fim, que a leitura também incentive os pesquisadores a ampliarem as redes e os espaços de formação de ensino à distância, pois é papel da Universidade pública possibilitar que este mecanismo seja ofertado em forma de política pública e não fique à mercê exclusiva da iniciativa privada.

ORGANIZAÇÃO



APOIO

