

**ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA E
PROCESSOS EROSIVOS ACELERADOS
NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO
TIBIRI, ILHA DO MARANHÃO**



Luciano Aranha Andrade  

Mestrando em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade
Estadual do Maranhão
Contato: lucianoandrade1@aluno.uema.br

José Fernando Rodrigues Bezerra  

Doutor em Geografia, Professor Adjunto, Universidade Estadual do
Maranhão
Contato: fernangeo@yahoo.com.br

Marly Silva de Moraes  

Doutoranda em Geografia, Universidade Estadual de Campinas
Contato: marlymoraes22@hotmail.com

Gilberlene Serra Lisboa  

Doutoranda em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro
Contato: gilberlene_serra@yahoo.com.br

Emerson Jorge Guedes Pinto  

Licenciado em Geografia, Universidade Estadual do Maranhão
Contato: emerson.jorge110@gmail.com

Marcos Vinícius Carvalho Matos  

Licenciado em Geografia, Universidade Estadual do Maranhão
Contato: carvalhom721@gmail.com

Como citar: ANDRADE, L. A.; BEZERRA, J. F. R.;
MORAIS, M. S.; LISBOA, G. S.; PINTO, E. J. G.;
MATOS, M. V. C. Análise geomorfológica e processos
erosivos acelerados na bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha
do Maranhão. *Revista Formação (Online)*, v. 29, n. 54, p.
593-618, 2022.

Recebido: 20/10/2020

Aceito: 31/10/2022

Data de publicação: 20/12/2022

Resumo

A Geomorfologia tem como finalidade analisar as formas de relevo e os processos ocorrentes, sendo uma ciência fundamental para auxiliar a gestão e o planejamento urbano e ambiental, já que a ocupação inadequada de ambientes urbanos tem aumentado progressivamente. Assim, o objetivo desta pesquisa é analisar os fatores geoambientais, com ênfase à geomorfologia, em relação aos processos erosivos acelerados na bacia do rio Tibiri, localizada na Ilha do Maranhão, a partir da elaboração de mapeamento geomorfológico subsidiado na classificação taxonômica de Ross (1992). As formas de relevo encontradas na bacia são equivalentes ao terceiro até o sexto táxon, sendo o último correspondente às formas erosivas, que recebem influência dos táxons antecessores e suas morfologias. Por meio do levantamento bibliográfico e cartográfico, trabalhos de campo e de gabinete, foram analisados processos erosivos em alto estágio de evolução, como as voçorocas Vila Santana, Matadouro, Cemitério e Cemitério II, além do processo de urbanização com a fixação de residências em localidades frágeis do ponto de vista ambiental. Portanto, percebe-se a necessidade de planejar a ocupação da área, considerando a intensidade dos processos morfodinâmicos e a premência de técnicas para a prevenção e conservação.

Palavras-chave: Mapeamento. Planejamento ambiental. Tibiri.

GEOMORPHOLOGIC ANALYSIS AND RAPID EROSION PROCESSES IN THE TIBIRI RIVER HYDROGRAPHIC BASIN ON THE ISLAND OF MARANHÃO

Abstract

The purpose of Geomorphology is to analyze the landforms and the processes involved as a fundamental science to assist urban and environmental management and planning, since inappropriate occupation of urban environments has progressively increased. Thus, the objective of this research is to analyse geo-environmental factors, focusing on geomorphology regarding the accelerated erosive processes in the Tibiri river basin located on the Island of Maranhão, based on the elaboration of a subsidized geomorphological mapping in Ross's (1992) taxonomic classification. The landforms of this basin are third to sixth taxon equivalents, the latter corresponding to erosive forms, which are influenced by the predecessor taxa and morphologies. An analysis of erosive processes in a high stage of evolution. Through a bibliographic and cartographic survey, field and office work, such as the gullies in Vila Santana, Slaughtering House, Cemetery and Cemetery II, as well as the urbanization process with the establishment of residences in fragile locations from an environmental perspective. It is therefore necessary to plan the area's occupation by considering the intensity of the morphodynamic processes and the urgent need for techniques for prevention and preservation.

Keywords: Mapping. Environmental planning. Tibiri.

ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO Y PROCESOS EROSIVOS ACELERADOS EN LA CUENCA HIDROGRÁFICA DE RÍO TIBIRI, ILHA DO MARANHÃO

Resumen

La geomorfología tiene como objetivo analizar las formas de relieve y los procesos que se producen, siendo una ciencia fundamental para ayudar a la gestión y planificación urbana y ambiental, ya que la ocupación inadecuada de los entornos urbanos ha aumentado progresivamente. Así, el objetivo de esta investigación es analizar los factores geoambientales, con énfasis en la geomorfología, en relación a los procesos erosivos acelerados en la cuenca del río Tibiri, ubicada en la Ilha do Maranhão, a partir de la elaboración de un mapeo geomorfológico subsidiado en la clasificación taxonómica de Ross (1992). Los accidentes geográficos encontrados en la cuenca son equivalentes al tercero al sexto taxón, correspondiendo el último a las formas erosivas, las cuales están influenciadas por los taxones predecesores y sus morfologías. A través del levantamiento bibliográfico y cartográfico, trabajo de campo y de oficina, se analizaron procesos erosivos en un alto estadio de evolución, como los barrancos de Vila Santana, Matadouro, Cemitério y Cemitério II, además del proceso de urbanización con el emplazamiento de residencias en lugares ambientalmente frágiles. Por lo tanto, es necesario planificar la ocupación del área, considerando la intensidad de los procesos morfodinámicos del relieve y la urgencia de técnicas de prevención y conservación.

Palabras clave: Mapeo. Planeación ambiental. Tibiri.

INTRODUÇÃO

A expansão urbana é uma das características da sociedade contemporânea, que foi adquirida com a difusão do modo de produção capitalista, onde cidades ampliaram suas zonas a ponto onde áreas impróprias começaram a ser ocupadas (NASCIMENTO, 2011; GUERRA; MARÇAL, 2012).

As instalações urbanas sempre provocaram impactos negativos no ambiente. A construção civil e as atividades agropastoris vêm crescendo e alcançando graus de desenvolvimento tecnológico que, muitas vezes, não são acompanhados de uma eficiente organização e planejamento a fim de estar em equilíbrio com a sustentabilidade da natureza (SILVA; TRAVASSOS, 2008; GUERRA; MARÇAL, 2012).

A apropriação não planejada do espaço pode degradá-lo, principalmente se as características naturais destes espaços forem vulneráveis às manifestações erosivas, principalmente lineares (FUSHIMI, 2012).

Assim, conhecer a dinâmica natural do espaço é fundamental para se pensar e planejar a sua apropriação de forma que possíveis desequilíbrios sejam reduzidos, apresentando condições para alcançar outro estado de “equilíbrio” (FRANÇA; SOUZA, 2013).

Por isso, o conhecimento geomorfológico tem sido cada vez mais importante quando se trata de aspectos relacionados à questão ambiental, e a Geomorfologia se coloca como uma ciência que une os aspectos sociais e ambientais, significativos aos estudos destinados às ações de intervenção (GUERRA; MARÇAL, 2012).

Dependendo das características do relevo, elas favorecem ou dificultam o seu uso e ocupação, podendo ser um obstáculo e atrapalhar a construção de obras de engenharia. Por outro lado, esses aspectos podem servir de limites fronteiros, exploração em turismo, situações militares etc (MEDEIROS, 2016).

Hoje, há uma diversidade de técnicas e aparelhos que possibilitam estudar as formas de relevo e os processos geomorfológicos, combinando modelos de previsão, observações de campo, experimentos em laboratório e dados de sensoriamento remoto.

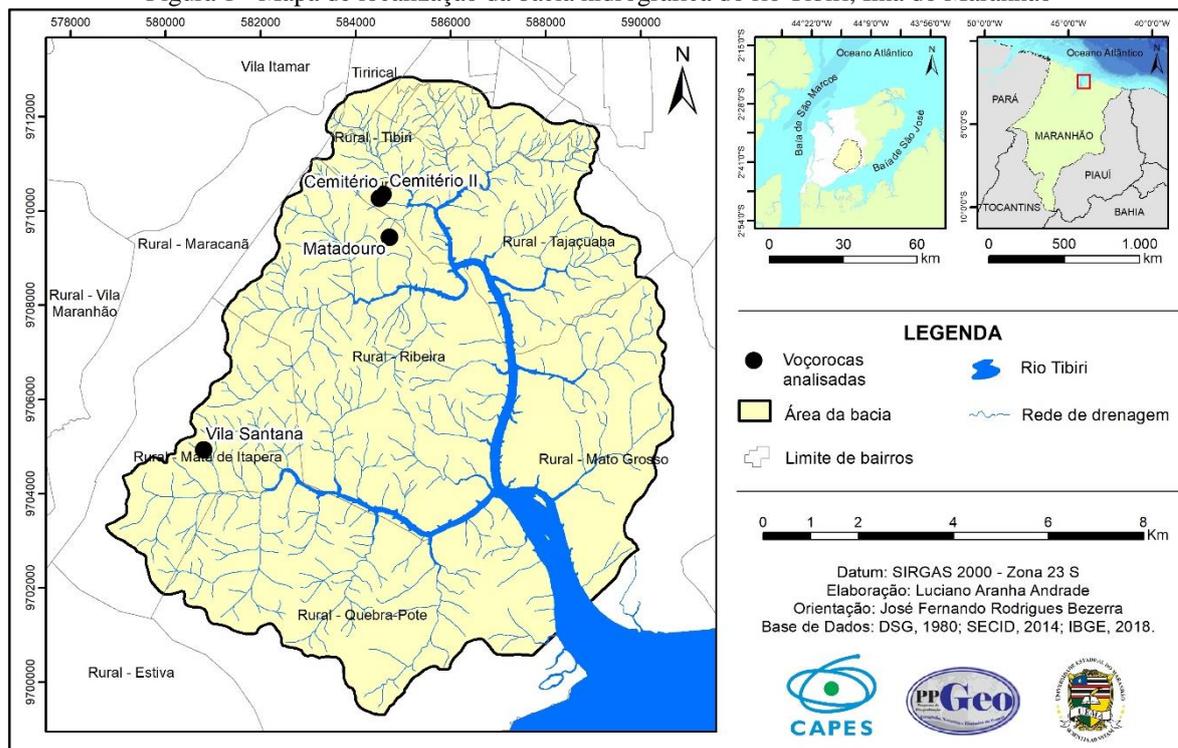
O uso dos conhecimentos geomorfológicos nos estudos ambientais é direcionado à compreensão das formas de relevo, buscando estabelecer a explicação genética e as interligações com outros componentes da natureza. Tem-se, por exemplo, a erosão dos solos como possível moduladora das formas. A erosão dos solos é um problema que afeta tanto áreas urbanas como as rurais. Por conseguinte, esses problemas resultam em fortes impactos

ambientais e socioeconômicos. Em vista disso, o mapeamento geomorfológico é indispensável para realizar a caracterização geoambiental (GUERRA, 2016).

O uso de técnicas como geoprocessamento nos mais variados *hardwares* e *softwares* e os diferentes usos e o emprego de Sistemas de Informação Geográfica-SIG são hoje os principais apoios à elaboração dos mapas temáticos. Assim, percebe-se a importância da Geomorfologia como subsídio ao planejamento ambiental (GUERRA; CUNHA, 2013).

Sendo assim, faz-se nesta pesquisa a análise de processos erosivos na bacia hidrográfica do rio Tibiri na Ilha do Maranhão (Figura 1), onde se observaram erosões de grande expressividade, com o intuito de correlacioná-las com as formas de relevo e demais fatores influenciadores, como a geologia, a tipologia de solos, o clima e as atividades humanas através do uso e ocupação.

Figura 1 - Mapa de localização da bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2020).

BACIA HIDROGRÁFICA E PROCESSOS EROSIVOS

Os estudos sobre as bacias hidrográficas são de grande importância na recuperação de áreas degradadas, já que grande parte dos danos ambientais que ocorrem na superfície terrestre são situados nelas. Assim, é necessário conhecer a sua formação, constituição e dinâmica, para serem feitas as manutenções cabíveis (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2014).

Conforme Bastos, Maia e Cordeiro (2015), uma bacia hidrográfica é uma área delimitada da superfície terrestre, drenada por um rio principal e seus afluentes. A água da chuva é captada e transportada para o exutório, assim como os sedimentos ao longo dos canais.

Acerca dos processos erosivos, se iniciam com sulcos, podendo evoluir para ravinas até chegar ao último estágio, que corresponde às voçorocas. As formas e os variados tamanhos são definidos e diferenciados através de estudos, comprovando que não ocorrem repentinamente, pois há uma sequência de eventos. Começam a partir do desprendimento das partículas, seguido do transporte efetuado pelos agentes erosivos. Quando não há energia suficiente para a transportação, o material fica depositado (GUERRA; CUNHA, 2013).

A erosão dos solos é um processo geomorfológico que ocorre nas encostas por meio do escoamento superficial e pelo *splash*. Além da erosão, os sedimentos transportados pela água causam fluxos de lama, que podem causar danos em áreas residenciais e agrícolas. Há diferentes classificações que dependem da região de ocorrência e seu regime pluviométrico, além do tipo, propriedade, uso e manejo. Apesar das três feições erosivas causarem degradação, a voçoroca é a mais preocupante porque causa considerável perda de solo e produz grande quantidade de sedimentos, já que elas tendem a atingir os horizontes B e C e até mesmo a rocha matriz (GUERRA, 2016).

As bacias não contam apenas com os processos que ocorrem no leito dos rios, pois grande parte dos sedimentos transportados é originária de encostas.

À vista disso, qualquer dano que aconteça numa bacia hidrográfica, haverá consequências diretas nos canais fluviais. Os processos de erosão dos solos e movimentos de massa farão com que o escoamento superficial transporte os sedimentos para algum rio que drena a bacia, causando assoreamento (ARAÚJO; ALMEIDA; GUERRA, 2014).

Nas áreas de clima tropical, onde os índices pluviométricos são mais elevados que em outras regiões do planeta, os processos erosivos causados pela água das chuvas ocorrem com grande intensidade, principalmente porque as chuvas tendem a se concentrar numa só época do ano, no qual a força e intensidade momentânea ocasionarão ainda mais danos ao solo. O processo tende a ser acelerado com o desmatamento, que deixa o solo exposto e vulnerável (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009).

A ação do *splash* é o estágio inicial do processo erosivo, pois faz com que a partícula do solo se torne de fácil transporte pelo escoamento superficial. Essa ação se dá pela ruptura dos agregados, deixando-os em tamanhos menores e também pela própria ação transportadora que o salpicamento provoca (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009).

A erosividade, sendo a capacidade da chuva de causar erosão, varia conforme a intensidade da energia cinética que contém, além de outros parâmetros como o total de precipitação, a força e o momento. O baixo teor de matéria orgânica do solo também constitui papel na ruptura dos agregados, juntamente com outras propriedades, como a textura, densidade do solo, porosidade, estrutura e parâmetros relacionados às características das encostas, tais como a cobertura vegetal, uso e manejo do solo. Entretanto, também devem ser considerados os elementos sociais relacionados à área (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009; GUERRA; CUNHA, 2013).

O transporte e a deposição de sedimentos são processos transformadores da modelagem do relevo. Contudo, mesmo a erosão sendo um processo natural, a dinâmica acelerada através das formas de uso e ocupação consegue provocar alterações na paisagem.

Na bacia hidrográfica do rio Tibiri, por ser parcialmente urbanizada, ocorrem variados processos de transformação associados à evolução do relevo, influenciando diretamente em suas formas.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a execução desta pesquisa realizaram-se as etapas descritas a seguir para alcançar os resultados: levantamentos cartográfico e bibliográfico; atividades de campo com obtenção de coordenadas e registro fotográfico; e trabalho de gabinete com organização dos dados obtidos, processamento e elaboração de mapas temáticos utilizando o *software* ArcGIS 10.2, marca registrada pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), licença EFL999703439.

As referências que serviram como base teórico-metodológica para o desenvolvimento da pesquisa foram obtidas através dos acervos da Biblioteca Central da Universidade Estadual do Maranhão e da Biblioteca Central da Universidade Federal do Maranhão, além de livros obtidos em acervos privados. Também foram utilizadas teses, dissertações, monografias, relatórios e artigos adquiridos do Catálogo de Teses e Dissertações e Portal de Periódicos, ambos da CAPES, e nas principais revistas sobre os temas abordados, principalmente sobre mapeamento e processos erosivos.

As atividades empíricas tiveram como objetivo a observação *in loco* da influência da ação antrópica sobre a paisagem e suas respectivas formas de relevo, onde foram coletadas coordenadas geográficas com o uso do GPS portátil, fotografias por câmera digital manual e

drone modelo *Phantom 4 Pro*, além de reconhecimento da área de estudo. O *drone* foi utilizado para reconhecimento da área em maior amplitude visual e obtenção de fotografias aéreas, a altitudes entre 200 e 500 m.

Para a produção de todos os mapas temáticos foram utilizados *shapefiles* das curvas de nível de cartas topográficas da Diretoria do Serviço Geográfico do Exército-DSG na escala de 1:10:000 e com equidistância entre as curvas de 5 m, que foram processadas no *software* ArcGIS 10.2, através da extensão *3D Analyst*, resultando numa Rede Irregular Triangular-TIN, que é um Modelo Digital de Elevação-MDE. Além dos *shapes* de divisão político-territorial do Brasil, Maranhão e São Luís, adquiridos no banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE.

Para a produção dos mapas de geologia, pedologia e uso e ocupação da terra, foram utilizados também *shapes* de geodiversidade do Serviço Geológico do Brasil-CPRM (2018) na escala de 1:50.000 e IBGE (2015, 2018) para constatação dos resultados através da comparação dos mapeamentos pré-existentes.

Para a elaboração dos mapas de hipsometria e declividade, por meio das curvas de nível da área, utilizaram-se as ferramentas *Create Tin* e *Symbology* do *software* supracitado, resultando em um MDE.

Para o mapa de geomorfologia, desenvolvido com base nas curvas de nível, além da pesquisa bibliográfica e trabalhos de campo, aplicou-se a classificação taxonômica de Ross (1992) para a definição das formas de relevo resultantes, no qual constatou-se a predominância dos padrões de colinas, referentes ao 3º táxon.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Geodiversidade da área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Tibiri localiza-se no município São Luís-MA, na parte Sudeste da Ilha do Maranhão e possui uma área de 101,1 km². Limita-se a Leste com a bacia do rio Tijupá e a bacia do rio Jeniparana, a Oeste com a bacia do rio dos Cachorros, ao Norte com a bacia do rio Bacanga e ao Sul com a baía de São José (*vide* Figura 1).

A área de estudo apresenta aspectos geoambientais característicos de ambiente estuarino, já que está inserida no Golfão Maranhense, onde existem vários sistemas de drenagem como o próprio rio Tibiri, que tem sua desembocadura na baía de São José. Assim, a

geologia, a geomorfologia, a pedologia, a climatologia, a hidrografia e o uso e ocupação da terra fazem parte indissociável deste sistema.

Sua geomorfologia é contemplada por formas tabulares, colinas esparsas e planícies fluviais e marinhas. Aliada às formações sedimentares com alto grau de friabilidade, os elevados índices pluviométricos da região e o uso inadequado do solo influenciam o desenvolvimento de processos erosivos acelerados, sobretudo nas bordas dos tabuleiros, cuja declividade acentuada tende a favorecer tais processos. Desta forma, foram identificadas as seguintes voçorocas na área de estudo: Cemitério, Cemitério II, Vila Santana e Matadouro, conforme as Figuras 2 a 5.

Figura 2 - Voçoroca Cemitério na bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2019).

Figura 3 - Voçoroca Cemitério II na bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2019).

Figura 4 - Voçoroca Vila Santana na bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2019).

Figura 5 - Voçoroca Matadouro na bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2019).

Geologia

A área de estudo está inserida na Bacia Sedimentar de São Luís, que compreende parte do Noroeste do Maranhão e Nordeste do Pará, possuindo área aproximada de 18.000 km². Limita-se ao Norte pela plataforma continental, ao Sul pelos Altos Estruturais Arco Ferrer-Urbano Santos, a Leste pelo Horst de Rosário e a Oeste pelo Arco do Tocantins (PEREIRA, 2006; BANDEIRA, 2013).

Rodrigues *et al.* (1994) supõem que 4.5 km de sedimentos foram acumulados, sendo que destes, 2.5 km são do Mesozóico (Cretáceo) e do Cenozóico; assim, predominantemente rochas sedimentares afloram nessa bacia.

A formação da estrutura geológica sedimentar da Ilha do Maranhão está intimamente ligada aos depósitos da bacia intracratônica do Meio Norte (Maranhão/Piauí), com a combinação de transgressões e regressões marinhas, favorecendo o acúmulo de sedimentos, resultando na configuração atual da estrutura geológica (GEPLAN, 2002).

Os ciclos de deposição sucederam para a formação de várias camadas, resultando em uma topografia tabular. Nesse sentido, o Grupo Itapecuru e os sedimentos Pós-Barreiras fazem parte das litoestratigrafias da Ilha do Maranhão. Além desses, também se encontra na bacia

hidrográfica do rio Tibiri a Formação Açuí nas planícies de maré (FREIRE; DIAS, 2006; BARROS; BANDEIRA, 2020).

Originado no período Cretáceo, o Grupo Itapecuru¹ representa a maior abrangência espacial na bacia hidrográfica do rio Tibiri. É fracionado em duas partes, sendo uma a sequência basal (Albiano) constituída por aproximadamente 600-800 metros de argilitos e arenitos, e a outra a Formação Alcântara (Cenomaniano). No fim do Cretáceo e início do Terciário foi depositada a Formação Cujupe, que ocorre na borda Norte da bacia de São Luís (KLEIN; SOUSA, 2012; BARROS; BANDEIRA, 2020; CAPUTO; IANNUZZI; FONSECA, 2005 *apud* SOARES, 2021).

É composto por arenitos, argilitos, siltitos e conglomerados, oriundos de deposição em diversos ambientes, como fluviais, deltaicos e lagunar, que variam de um local para outro. Possui intercalações de sedimentos arenosos siltico-argilosos e folhelhos (KLEIN; SOUSA, 2012; BARROS; BANDEIRA, 2020; SOARES, 2021).

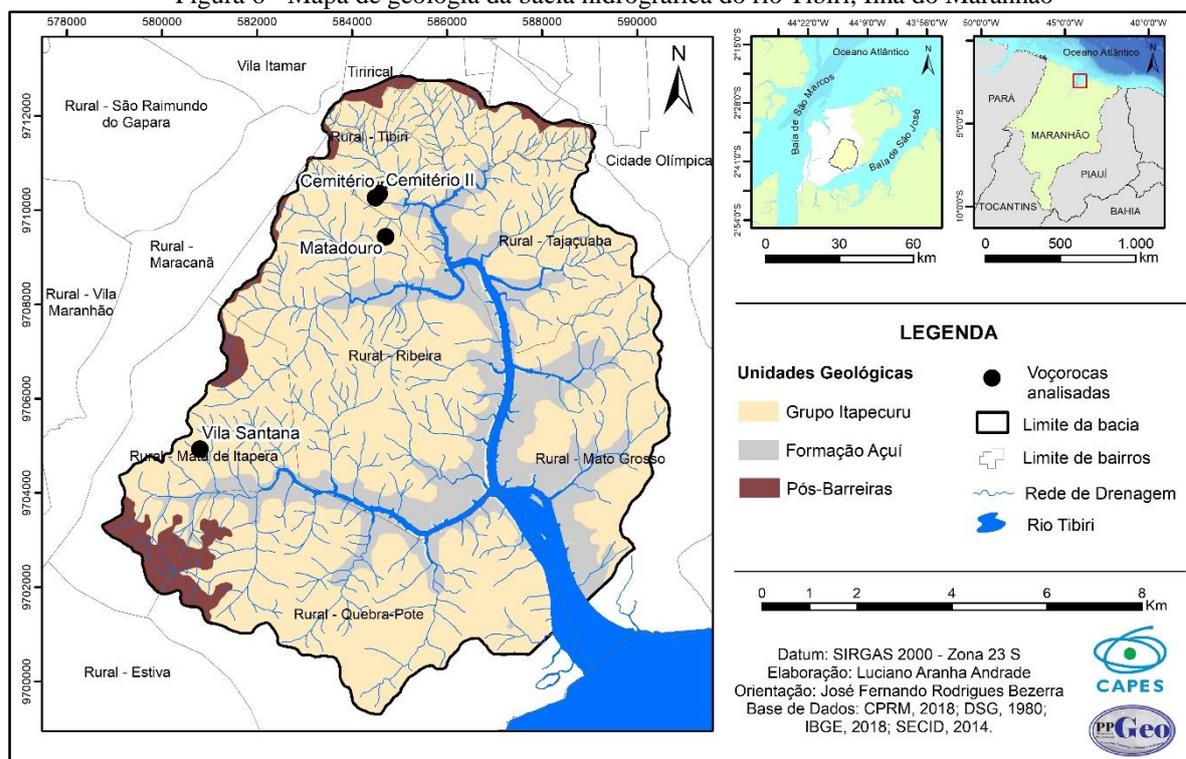
Os Sedimentos Pós-Barreiras (Neógeno) são depósitos que recobrem discordantemente o Grupo Barreiras e horizontes de perfis das Coberturas Lateríticas Imaturas. Sua deposição no litoral se deu em duas ocasiões diferentes de sedimentação. No primeiro, (Pós-Barreiras I), sedimentos foram depositados sobre erosões nos depósitos miocênicos. Medindo até 10 m de espessura, esse conjunto é composto principalmente por areias vermelho-claras a alaranjadas, friáveis a endurecidas, de granulometria fina a média e localmente grossas a conglomeráticas. Está recoberto, em discordância erosiva, pelos depósitos Pós-Barreiras II, compostos por areias amareladas e marrons, de espessuras médias, apresentando, entretanto, estruturas de dissipação de dunas eólicas (KLEIN; SOUSA, 2012; BARROS; BANDEIRA, 2020).

A Formação Açuí (Quaternário), apresenta sedimentos inconsolidados argiloarenosos ricos em matéria orgânica, sais e enxofre, depositados em áreas de planícies, ambientes fluviais, marinhos e fluviomarinhos, apresentando coloração cinza (CASTRO *et al.*, 2014).

Frente às análises, a bacia hidrográfica do rio Tibiri é contemplada por todas estas unidades (Figura 6) e sua estrutura apresenta alta friabilidade, que em caso de retirada da cobertura vegetal e uso desregrado da terra, resultará na ocorrência de problemas socioambientais, como as erosões.

¹ Segundo Klein e Sousa (2012, p. 71-72), a partir da descrição detalhada de depósitos do Cretáceo e Paleógeno localizados nas regiões de Alcântara-MA e Bacia de São Luís, a Formação Itapecuru foi elevada à categoria de Grupo, entretanto, ainda hoje há divergências em publicações de estudos, que tendem usar as duas nomenclaturas. Devido a utilização da categoria “Grupo” por Barros e Bandeira (2020) que organizaram um trabalho conjunto entre pesquisadores do Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos-IMESC, UEMA, UFMA, além do próprio CPRM, optou-se por manter a categoria como Grupo Itapecuru.

Figura 6 - Mapa de geologia da bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2020).

Solos

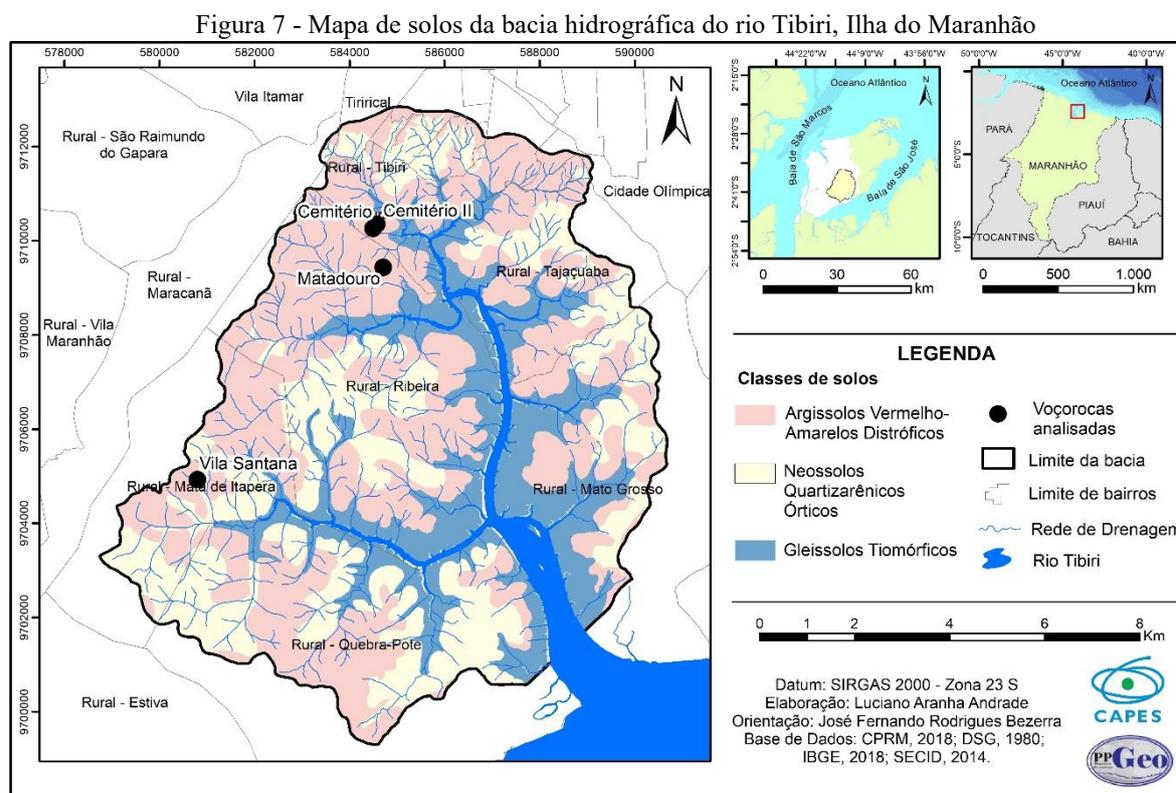
Tendo em vista a classificação de solos realizada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA (SANTOS *et al.*, 2018) e dados de geodiversidade elaborados pelo CPRM (BARROS; BANDEIRA, 2020), na área de estudo são encontrados os seguintes tipos de solos: Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos e Gleissolos Tiomórficos.

Os Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos apresentam horizonte de acumulação de argila, B textural (Bt), com cores vermelho-amareladas devido à presença da mistura dos óxidos de ferro hematita e goethita. Apresentam baixa a muito baixa fertilidade natural e susceptibilidade à erosão (SANTOS *et al.*, 2018; BARROS; BANDEIRA, 2020).

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos ocorrem em relevos suavizados, entretanto, por apresentarem baixa coesão, sua susceptibilidade à erosão é elevada. Esta condição, em associação com sua elevada permeabilidade e muito baixa retenção de água e nutrientes, confere elevada fragilidade, fazendo-os necessitarem de práticas conservacionistas (SANTOS *et al.*, 2018; BARROS; BANDEIRA, 2020).

Os Gleissolos Tiomórficos (solos de mangue) são solos com materiais sulfídricos em um ou mais horizontes ou camadas. São formados em áreas de manguezal e são pouco desenvolvidos, lamacentos e possuem alto teor de sais, com presença de sedimentos flúviomarinhos (SANTOS *et al.*, 2018; BARROS; BANDEIRA, 2020).

Através do mapa de solos (Figura 7) observa-se a ocorrência das voçorocas analisadas nos Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, que possui vulnerabilidade à erosão conforme supramencionado.



Fonte: Os autores (2020).

A distribuição espacial dos solos está da seguinte forma (Tabela 1), com a predominância dos Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos.

Tabela 1 - Tipos de solos e área de ocupação na bacia hidrográfica do rio Tibiri

Tipos de solos	Área	
	Valor relativo (%)	Valor absoluto (km ²)
Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos	47	47,5
Neossolos Quartzarênicos Órticos	28,2	28,5
Gleissolos Tiomórficos	24,8	25,1
Total	100	101,1

Fonte: Os autores (2020).

Uso e Ocupação

A interferência antrópica contribui negativamente para as alterações ambientais, pois geralmente não há planejamento, fato que ocorre na área de estudo. Com isso, a necessidade de buscar conhecer espacialmente as formas de relevo, assim como as formas de ocupação do espaço, posto que estes possuem uma ligação.

O município São Luís teve seu processo de ocupação especialmente iniciado na porção Noroeste da Ilha, entre os rios Anil e Bacanga. Devido a esse processo, a morfodinâmica foi alterada, assim como seus sistemas físico-naturais devido à retirada da cobertura vegetal para a fixação de residências (PEREIRA; ALCÂNTARA JÚNIOR, 2017).

Na área de estudo, por se caracterizar como zona rural, parte da vegetação foi retirada para dar lugar à agricultura familiar e a empresas voltadas para a pecuária (caso observado próximo à voçoroca Matadouro). Também se observaram áreas de mineração de pequeno porte para a extração de barro (silte e argila), que causam impactos ambientais como modificação da paisagem, retirada da cobertura vegetal nativa, além de aumento da fragilidade na área que é predisposta à ocorrência de erosões.

Ao longo dos anos, a vegetação vem sendo retirada de maneira que não consegue se recuperar, resultando em áreas de solo exposto, contribuindo para o aumento de voçorocas na bacia. Assim, percebe-se a ocupação residencial mal planejada, por estar próxima a processos erosivos em alto estágio de evolução, colocando em risco a estrutura das casas, rede elétrica e a população residente. Na Figura 8 encontram-se destacadas, em vermelho, as bordas dos processos, e em amarelo, as casas e postes com possibilidade de danos, considerando a proximidade das feições erosivas.

Figura 8 - Residências e rede elétrica próximas a processos erosivos



Fonte: Os autores (2019).

Também foi notado, durante o trabalho de campo, que moradores usam as voçorocas como depósito de resíduos (Figura 9).

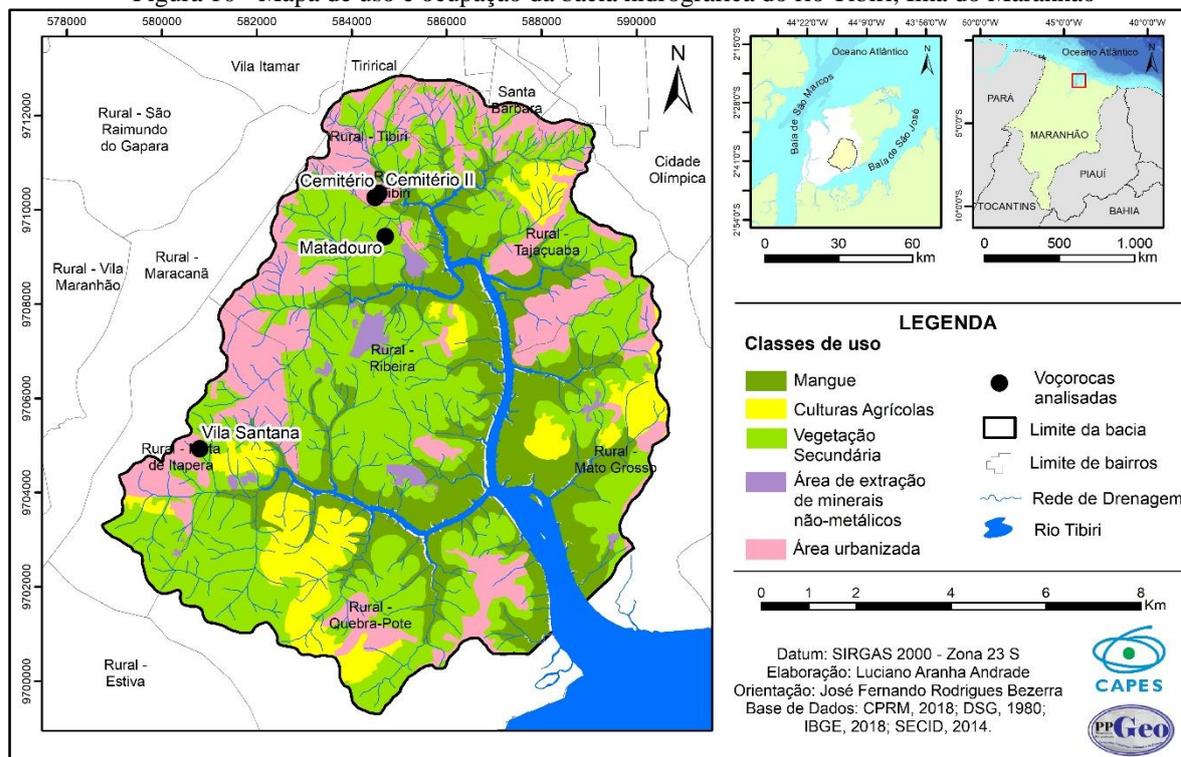
Figura 9 - Morador descartando resíduos em voçoroca na bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2019).

O mapa de uso e ocupação da terra (Figura 10) demonstra que os processos analisados estão ocorrendo no limite entre as áreas de vegetação secundária (Matadouro) e no limite com a área urbanizada (Vila Santana, Cemitério e Cemitério II).

Figura 10 - Mapa de uso e ocupação da bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2020).

Hidrografia

O rio Tibiri é um dos cursos d'água mais comprometidos da Ilha do Maranhão dada a proximidade com o Distrito Industrial de São Luís, principalmente no alto curso, ao Norte da bacia. Suas margens são dominadas por manguezais, assim como os igarapés contíguos ao mesmo. Seu canal principal é perene, com drenagem exorréica. Está inserido no grupo de bacias hidrográficas do Golfão Maranhense, e corresponde a uma área drenada mediante numerosos canais (afluentes e subafluentes) que colaboram para a formação do canal principal, recebendo sedimentos e materiais dissolvidos (REIS, 2005).

Conforme os mapas exibidos, as nascentes encontram-se na parte central da Ilha do Maranhão, com altitudes entre 50 e 60 metros. Sua drenagem possui padrão dendrítico, se assemelhando a uma árvore, onde o canal principal seria o tronco e os canais menores os ramos e as folhas (CHRISTOFOLETTI, 1980).

Na foz do tipo estuário, o canal o principal chega a aproximadamente 1,1 km de largura, tendo como comprimento total o valor de 11,79 km. De modo geral, os canais passam por grande incursão da maré, atribuindo alto grau de salinidade e concentração de manguezais. Tendo em vista a quantidade de canais e ao potencial à pesca (Figura 11), o crescente surgimento de processos erosivos acelerados causa graves danos geoambientais que

comprometem o equilíbrio hídrico da bacia.

Figura 11 - Embarcações utilizadas para a pesca na bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



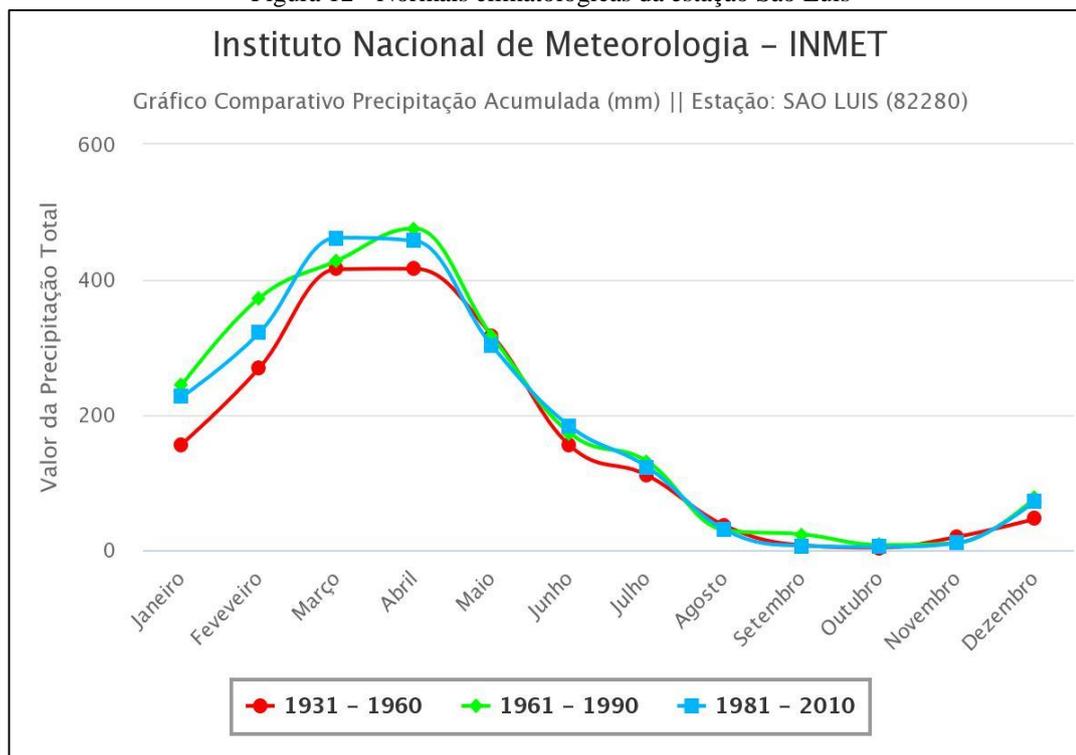
Fonte: Os autores (2019).

Clima

Dentro da classificação climática de Köppen-Geiger, a área de estudo está inserida na região caracterizada com o clima do tipo Aw, isto é, possui dois períodos distintos: um chuvoso (janeiro a junho) e outro de estiagem (julho a dezembro), conforme os índices pluviométricos disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia-INMET (Figura 12). A média anual fica em torno de 2.000 mm e a temperatura média oscila em torno de 28° C (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

O processo morfogenético pluvial concentrado no primeiro semestre do ano atua nas vertentes através da ação mecânica das gotas de chuva (efeito *splash*) e do escoamento pluvial, transportando os sedimentos já intemperizados, em direção aos fundos de vale (CHRISTOFOLETTI, 1980; GUERRA, 2016).

Figura 12 - Normais climatológicas da estação São Luís



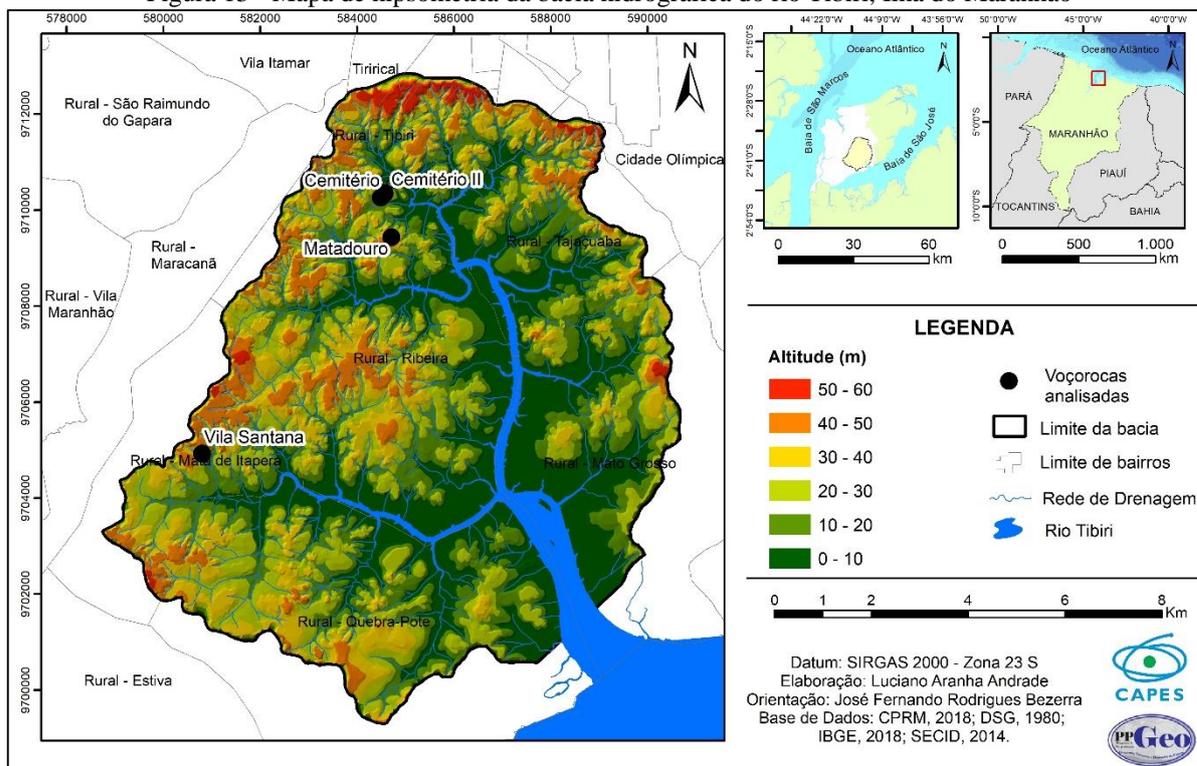
Fonte: INMET (2021).

Influência do relevo sobre os processos erosivos acelerados

O litoral maranhense enquadra-se num relevo de planícies e tabuleiros litorâneos. As planícies correspondem às áreas planas geradas por deposição de sedimentos recentes, de origem marinha, lacustre ou fluvial, onde predominam os processos agradacionais. Tais planícies estão associadas a depósitos recentes do Quaternário. As superfícies tabulares podem ser estruturais (controladas pelo acamamento dos estratos sedimentares) ou, por vezes, erosivas, truncadas por distintas fases de aplainamento (ROSS, 2011).

A bacia hidrográfica do rio Tibiri apresenta a sua foz próxima à linha da costa e sua nascente no tabuleiro central, apresentando índices hipsométricos dos mais baixos aos mais elevados da Ilha do Maranhão. Sendo assim, é possível observar desde as planícies de maré até os tabuleiros com 60 m (Figura 13).

Figura 13 - Mapa de hipsometria da bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão



Fonte: Os autores (2020).

Sobre a distribuição das classes hipsométricas, constataram-se as seguintes áreas de ocupação (Tabela 2):

Tabela 2 - Classes hipsométricas da bacia hidrográfica do rio Tibiri

Classes	Área	
	Valor relativo (%)	Valor absoluto (km ²)
50 – 60	2,69	2,72
40 – 50	11,10	11,23
30 – 40	17,92	18,12
20 – 30	21,19	21,43
10 – 20	15,01	15,18
0 – 10	32,09	32,45
Total	100	101,1

Fonte: Os autores (2020).

As maiores predominâncias referem-se as planícies de maré com 32,45% (0 e 10 m) e as colinas com 39,55% (entre 20 e 40 m), que intercalam também as formas tabulares onde se concentram as voçorocas avaliadas.

Em relação à classificação de Ross (1992), destacam-se quatro níveis taxonômicos.

O primeiro nível observado refere-se ao 3º táxon, onde são encontrados os padrões de formas semelhantes, como as formas tabulares. Segundo o IBGE (2009), essa unidade geomorfológica é referência para analisar as relações entre os ambientes climáticos atuais e do passado, com base na litologia. No geral, os tabuleiros apresentam altitudes relativamente baixas e são constituídos por rochas sedimentares, logo, a erosão acontecerá de forma mais acelerada, devido à natureza das rochas. Somando isso ao fato de que a cobertura vegetal na área da bacia está sendo retirada, a tendência é um aumento na ocorrência de erosões.

O segundo nível enquadra-se ao 4º táxon, referindo-se aos tipos de formas de relevo, como as colinas esparsas pela bacia. Maranhão (1998) também as define como formas subtabulares, e Pereira (2006) afirma que elas são partes do tabuleiro que se dissecaram ao longo do tempo geológico, mas ainda preservam as características originais, como os topos relativamente aplanados. Considerando a pluviosidade concentrada e a alta erodibilidade dos solos, estão sujeitas aos processos erosivos acelerados.

Já no terceiro nível, destaca-se o 5º táxon, que apresenta os tipos de vertentes côncava, convexa, retilínea e plana. Por último, nas definições do 6º táxon, onde as formas estruturais, erosivas e de acumulação estão presentes de forma intensa modelando a superfície e compondo a paisagem, observaram-se as Voçorocas Matadouro, Vila Santana, Cemitério e Cemitério II.

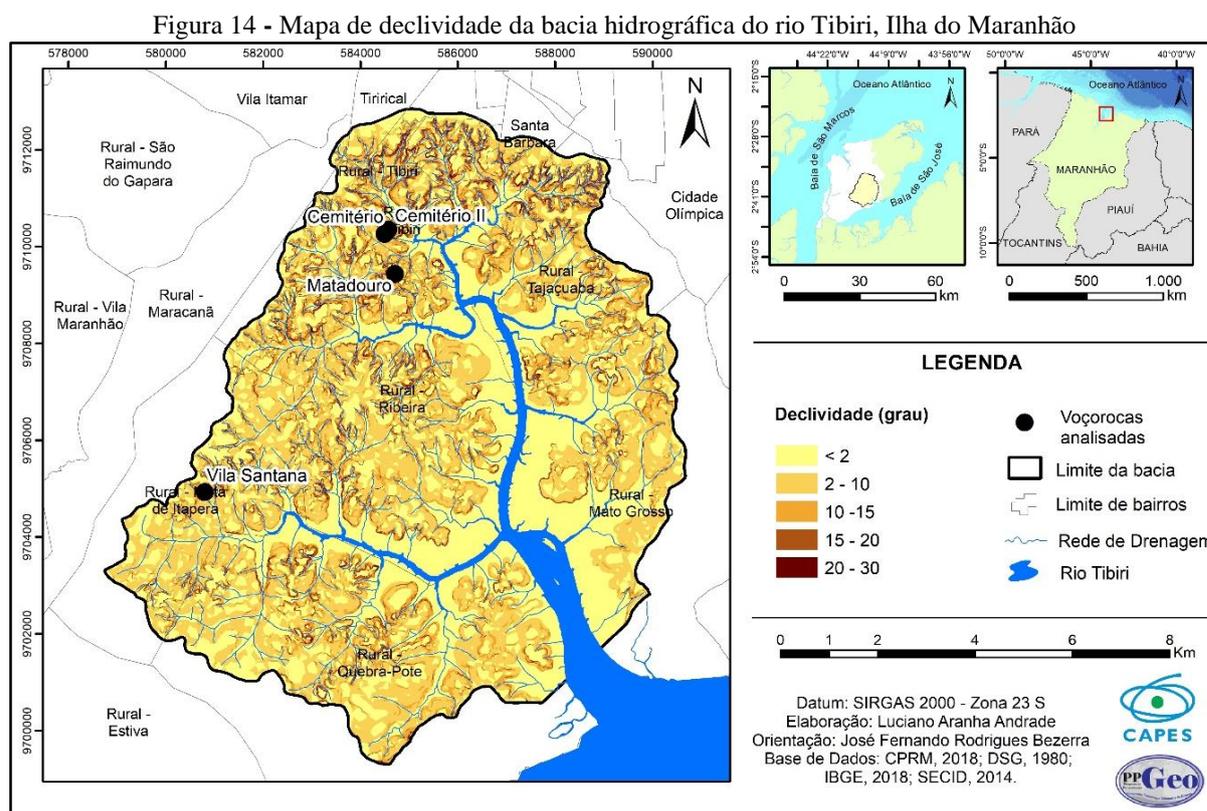
Os parâmetros morfométricos, como declividade, hipsometria e curvatura do relevo, são capazes de influenciar e determinar a organização e o planejamento ambiental e urbano. Por estar relacionada a processos de escoamento e erosão, a declividade do terreno é um indicador importante para procedimentos relacionados ao planejamento territorial. Ainda, influencia diretamente na velocidade do escoamento, sendo mais vulneráveis as áreas com maior inclinação.

Cassetti (2005) associa a três fatores a perda de solo pela erosão laminar, a saber: natureza do solo; morfologia do terreno (declividade) e clima (quantidade de precipitação). Na bacia hidrográfica do rio Tibiri, nota-se que todos os fatores caracterizados pelo autor supracitado influenciam na ocorrência dos processos erosivos. Ademais, também há influência da ação antrópica, manifestada no uso da terra com a supressão vegetal.

Tricart (1965) afirma que a morfogênese das vertentes é influenciada principalmente pelo grau de declividade, a natureza da rocha e o clima da região, enfatizando que, quanto maior a inclinação, maiores também a velocidade do escoamento e a intensidade da erosão laminar.

A intensidade do escoamento é proporcional ao declive e ao comprimento de rampa,

assim, observa-se na Figura 14 a alta possibilidade de ocorrer escoamento superficial, tendo em vista a frequência em que aparecem inclinações acima de 20°, que mesmo sendo poucas em área, são bem distribuídas e situadas nas proximidades das cabeceiras de drenagem em interflúvios pequenos, o que potencializa a erosão nesses ambientes.

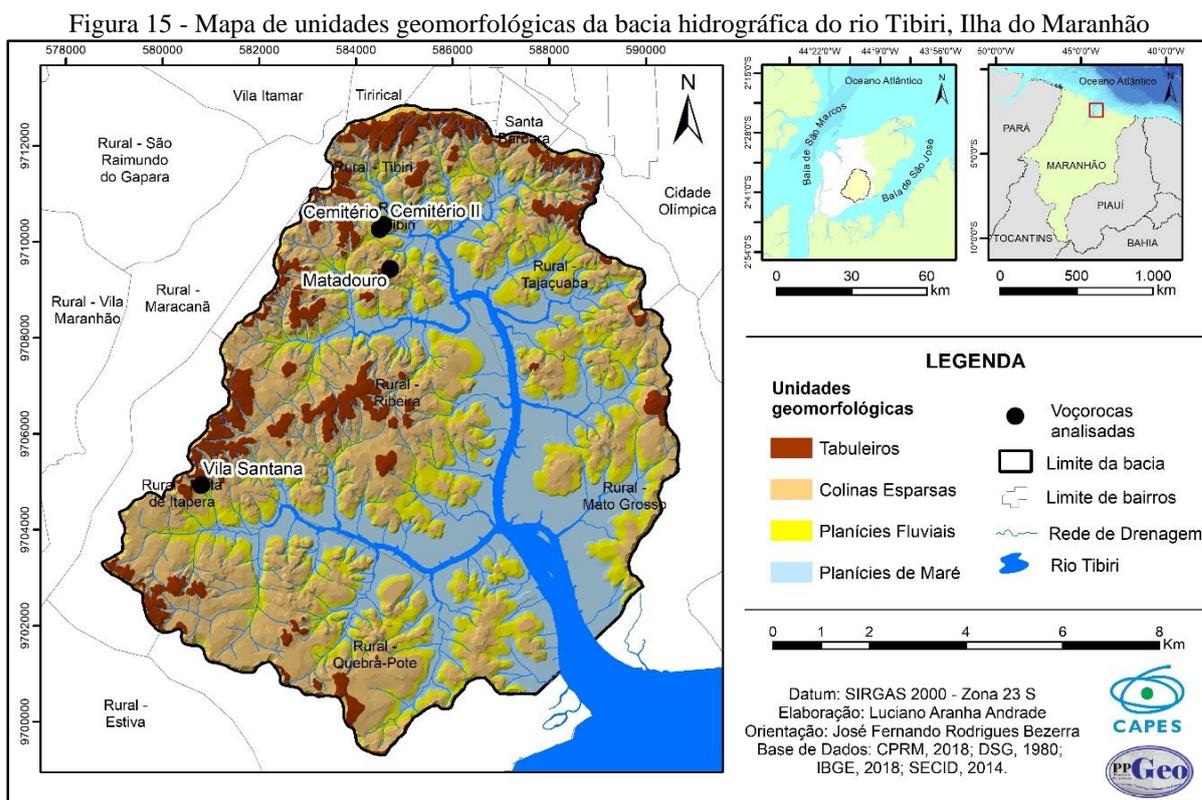


Fonte: Os autores (2020).

Todas as alterações antrópicas ocorridas na paisagem, junto a suas características naturais, foram observadas como fatores geradores para a ocorrência das voçorocas analisadas no estudo (Vila Santana, Matadouro, Cemitério e Cemitério II).

As feições geomorfológicas encontradas na bacia hidrográfica do rio Tibiri foram tabuleiros, colinas esparsas, planícies fluviais e planícies de maré, e os processos erosivos acelerados são vistos, sobretudo, nas bordas dos tabuleiros, onde a declividade acentuada tende a favorecer a ocorrência de tais processos.

Assim, a partir das análises e interpretações dos mapas de hipsometria e declividade, o mapa de unidades geomorfológicas foi gerado (Figura 15), considerando a taxonomia proposta por Ross (1992).



Fonte: Os autores (2020).

O predomínio das colinas esparsas (Tabela 3) também é um fator que pode acarretar o surgimento de novas formas erosivas, caso a supressão vegetal continue ocorrendo pelo uso desregrado da terra. Deste modo, o transporte de sedimentos das voçorocas para as áreas mais baixas, como as planícies fluviais, resultará também em assoreamento.

Tabela 3 – Unidades geomorfológicas da bacia hidrográfica do rio Tibiri, Ilha do Maranhão

Unidades geomorfológicas	Área	
	Valor relativo (%)	Valor absoluto (km ²)
Tabuleiros	6,50	6,58
Colinas Esparsas	37,54	37,95
Planícies Fluviais	20,39	20,62
Planícies de Maré	35,57	35,97
Total	100	101,1

Fonte: Os autores (2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Ilha do Maranhão apresenta paisagens morfológicas associadas ao ambiente costeiro, cujas modificações têm ocorrido ao longo do tempo por meio dos agentes endógenos e

exógenos. Por se tratar de uma área costeira, diversas transformações são repentinas e intensas em razão da morfodinâmica, com resultados influenciados também pela atuação humana.

Na bacia hidrográfica do rio Tibiri se observam as erosões agindo com alta expressividade no período chuvoso, no qual uma grande quantidade de precipitação se concentra no primeiro semestre do ano, como relatado. Além disso, o desmatamento, a ocupação residencial e industrial sem planejamento adequado, que também gera o lançamento de esgoto e resíduos sólidos são fatores que causam a degradação de bacias hidrográficas.

A mineração de pequeno porte, observada no mapa de uso e ocupação, também é um fator que influencia na degradação da bacia, já que o solo fica exposto numa área rica em canais fluviais e com uma predisposição à ocorrência de escoamento superficial, que ocasionará erosões e assoreamento com facilidade.

Através das fotografias de *drone* é possível observar que a área é ocupada de forma irregular, sobretudo, por pessoas de baixa renda, que não podem arcar com custos de moradia em áreas mais assistidas pelo governo municipal de São Luís ou também a região central, onde historicamente se iniciou o processo de ocupação da Ilha e hoje concentra o maior fluxo econômico.

A partir das técnicas de geoprocessamento adotadas, foi possível analisar a espacialização da área, assim como a presença de diferentes formas de relevo por meio da classificação taxonômica utilizada. Considerando o modelo proposto por Ross (1992) e as referências adotadas, foram notadas formas estruturais, erosivas e de acumulação que se enquadraram no perfil desta pesquisa, pois há ocorrência de processos erosivos acelerados, como, por exemplo, as voçorocas analisadas: Cemitério, Cemitério II, Vila Santana e Matadouro.

Conclui-se que a ação antrópica, somada aos fatores naturais, tem contribuído para o surgimento das feições erosivas, e os resultados desta pesquisa poderão ser norteadores ao planejamento municipal de São Luís, considerando a fragilidade social (uso e ocupação) e dos aspectos físicos da bacia hidrográfica do rio Tibiri.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Maranhão pela bolsa de mestrado. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelas bolsas de

iniciação científica e de produtividade em pesquisa. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelas bolsas de doutorado. Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão (PPGEO/UEMA) e aos integrantes do Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP/UEMA).

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014.
- BANDEIRA, I. C. N (org.). **Geodiversidade do estado do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2013.
- BARROS, S.; BANDEIRA, I. C. N (orgs.). **Geodiversidade da Ilha do Maranhão**. Teresina: CPRM, 2020.
- BASTOS, F. H.; MAIA, R. P.; CORDEIRO, A. M. N. **Geomorfologia**. Fortaleza: EdUECE, 2015.
- CASSETI, V. Geomorfologia. [S.I.]. 2005. Disponível em: <www.funape.org.br/geomorfologia>. Acesso em: 2018-2020.
- CASTRO, E. et al. Zoneamento Geomorfológico da Ilha do Medo-MA. **Revista Geonorte**, v. 5, n. 15, p. 150-155, 17 dez. 2014.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Hucitec, 1980.
- FRANÇA, L. G.; SOUZA, C. J. O. O conhecimento geomorfológico para o planejamento municipal: estudo de caso do Município de Juatuba-MG. **Caderno de Geografia**, v. 23, n. 40. 2013.
- FREIRE, M. P.; DIAS, L. J. B. Caracterização geológico-geomorfológica e pedológica do bairro Cohatrac e área de entorno imediato (São Luís-MA): subsídios para estudos em geomorfologia ambiental. *In*: Simpósio Nacional de Geomorfologia /Regional Conference on Geomorphology, 5. 2006, Goiânia. **Anais [...]**.Goiânia, 2006.
- FUSHIMI, M. **Vulnerabilidade ambiental aos processos erosivos lineares nas áreas rurais do município de Presidente Prudente-SP**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2012.
- GERÊNCIA DE PLANEJAMENTO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO-GEPLAN. **Atlas do Maranhão**. São Luís: Laboratório de Geoprocessamento, Universidade Estadual do

Maranhão, 2002.

GUERRA, A. J. T. **Erosão dos solos e movimentos de massa: abordagens geográficas.** Curitiba: CRV, 2016.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental.** 5. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. =

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA-IBGE. **Manual Técnico de Geomorfologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.

KLEIN, E. L.; SOUSA, C. S. (orgs). **Geologia e recursos minerais do estado do Maranhão.** CPRM: Belém, 2012.

MARANHÃO. **Estudo de Geologia.** Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microrregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís: SEMA/MMA/PNMA, 1998.

MEDEIROS, P. C. **Geomorfologia: fundamentos e métodos para o estudo do relevo.** Curitiba: InterSaberes, 2016.

NASCIMENTO, J. A. A. **Uma breve análise do processo de urbanização do Distrito de São José da Mata, Campina Grande – PB.** 2011. 23 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2011.

NÚCLEO GEOAMBIENTAL-NUGEO. **Bacias hidrográficas e climatologia no Maranhão.** São Luís/MA: Universidade Estadual do Maranhão, 2016.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; e MCMAHON, T.A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, n. 11, p. 1633–1644, 2007.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e aquífero do reservatório Batatã - São Luís (MA).** 2006. 141 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, 2006.

PEREIRA, M. R. C.; ALCÂNTARA JÚNIOR, J. O. A mobilidade e a expansão territorial na cidade de São Luís, MA: um novo paradigma social na ocupação do espaço urbano. **Caderno Metropolitano**, São Paulo, v. 19, n. 40, p. 977-998, set./dez. 2017.

REIS, R. J. **Costa sudeste do município de São Luís-MA: Análise e proposta para gestão ambiental.** 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

RODRIGUES, T. L. das N. et al. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Carta Geológica de Bacabal. Folha SB.23-X-A. Estado do Maranhão. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM, 1994.

ROSS, J. Relevo brasileiro: uma nova proposta de classificação. **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, v. 4, p. 25-39, 2011.

ROSS, J. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. São Paulo: **Revista do Departamento de Geografia da USP**, São Paulo, v. 6, p. 17-29, 1992.

SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília/DF: Embrapa, 2018.

SILVA, L. S.; TRAVASSOS, L. Problemas ambientais urbanos: desafios para a elaboração de políticas públicas integradas. **Cadernos metrópole**, v. 19, p. 27-47, 2008.

SOARES, I. G. **Análise da vulnerabilidade ambiental ao processo erosivo como subsídio ao planejamento e à gestão ambiental na bacia hidrográfica do Rio Preto - MA**. 2021. 224 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço) - Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2021.

TRICART, J. **Principes et méthodes de géomorphologie**. Paris: Masson, 1965.