

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS À IDENTIFICAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO RELEVO COMO SUBSÍDIO À GESTÃO TERRITORIAL

Ricardo Gonçalves Santana

Doutorando pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço
da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

São Luís, Maranhão, Brasil

ricardogsantana1919@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-6611-0451>

Quésia Duarte da Silva

Professora do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da
Universidade Estadual do Maranhão

São Luís, Maranhão, Brasil

quesiasilva@professor.uema.br

<https://orcid.org/0000-0003-4496-3426>

Dayana Serra Maciel

Mestranda pelo Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço
da Universidade Estadual do Maranhão - UEMA

São Luís, Maranhão, Brasil

dayana_serra@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7581-5111>

Recebido:06/2025

Avaliado:09/25

Publicado:10/25

RESUMO

O modelado terrestre é um componente do meio natural que apresenta uma diversidade enorme de tipos e formas, onde suas características podem facilitar ou impossibilitar a apropriação e ocupação dos diferentes compartimentos geomorfológicos. É sobre o relevo que a sociedade fixa estruturas residenciais ou de serviços, sem considerar um planejamento territorial adequado, uma vez que, essa gestão subsidia e orienta à ocupação, considerando a fragilidade/vulnerabilidade dos compartimentos. Neste sentido, a pesquisa objetiva aplicar as geotecnologias na identificação das características do relevo, com o propósito de fornecer subsídios técnicos e espaciais que contribuam para a gestão territorial. Para o alcance do objetivo proposto foram desenvolvidos os seguintes procedimentos metodológicos: levantamento bibliográfico e cartográfico; análise e interpretação de imagens de satélite, mapeamento temático (geologia, hipsometria, declividade, formas do terreno e unidades de relevo) e por fim os trabalhos de campo. A partir do uso da bacia hidrográfica como unidade de análise, identificou-se as principais características do relevo, considerando suas particularidades e as ações antrópicas sobre estes e seus efeitos. Conclui-se que a aplicação das geotecnologias na identificação das características do relevo fornece subsídios técnicos e científicos para o uso adequado dos recursos naturais, assim como a ocupação congruente do espaço geográfico.

Palavras-chave: Bacia hidrográfica; Compartimentos geomorfológicos; Formas do terreno; Escala de detalhe

GEOTECHNOLOGIES APPLIED TO THE IDENTIFICATION OF RELIEF CHARACTERISTICS AS A SUBSIDY TO TERRITORIAL MANAGEMENT

ABSTRACT

The terrestrial model is a component of the natural environment that presents an enormous diversity of types and forms, where its characteristics can facilitate or impede the appropriation and occupation of the different geomorphological compartments. It is on the relief that society establishes residential or service structures, without considering adequate territorial planning, since this management subsidizes and guides the occupation, considering the fragility/vulnerability of the compartments. In

this sense, the research aims to apply geotechnologies in the identification of the characteristics of the relief, with the purpose of providing technical and spatial subsidies that contribute to territorial management. To achieve the proposed objective, the following methodological procedures were developed: bibliographic and cartographic survey; analysis and interpretation of satellite images; thematic mapping (geology, hypsometry, slope, terrain forms and relief units); and finally, fieldwork. Using the hydrographic basin as the unit of analysis, the main characteristics of the relief were identified, considering its particularities and the anthropic actions on them and their effects. It is concluded that the application of geotechnologies in the identification of relief characteristics provides technical and scientific subsidies for the adequate use of natural resources, as well as the congruent occupation of geographic space.

Keywords: Hydrographic basin; Geomorphological compartments; Landforms; Scale of detail

GEOTECNOLOGÍAS APLICADAS A LA IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS DEL RELIEVE COMO SUBSIDIO A LA GESTIÓN TERRITORIAL

RESUMEN

El terreno terrestre es un componente del entorno natural que presenta una enorme diversidad de tipos y formas, cuyas características pueden facilitar o dificultar la apropiación y ocupación de diferentes compartimentos geomorfológicos. La sociedad construye estructuras residenciales o de servicios sobre el terreno, sin considerar una planificación territorial adecuada, ya que esta gestión subsidia y orienta la ocupación, considerando la fragilidad/vulnerabilidad de los compartimentos. Por lo tanto, la investigación busca aplicar geotecnologías para identificar las características del terreno, con el fin de brindar apoyo técnico y espacial que contribuya a la gestión territorial. Para lograr el objetivo propuesto, se desarrollaron los siguientes procedimientos metodológicos: levantamiento bibliográfico y cartográfico; análisis e interpretación de imágenes satelitales; cartografía temática (geología, hipsometría, pendiente, formas del terreno y unidades de relieve); y, finalmente, trabajo de campo. Utilizando la cuenca hidrográfica como unidad de análisis, se identificaron las principales características del terreno, considerando sus particularidades y las acciones antropogénicas sobre ellas y sus efectos. Se concluye que la aplicación de las geotecnologías en la identificación de las características del relieve proporciona subsidios técnicos y científicos para el adecuado uso de los recursos naturales, así como la ocupación congruente del espacio geográfico.

Palabras Clave: Cuenca hidrográfica; Compartimentos geomorfológicos; Formas del terreno; Escala de detalle.

GÉOTECHNOLOGIES APPLIQUÉES À L'IDENTIFICATION DES CARACTÉRISTIQUES DU RELIEF COMME AIDE À LA GESTION TERRITORIALE

RÉSUMÉ

Le terrain terrestre est une composante de l'environnement naturel qui présente une grande diversité de types et de formes, dont les caractéristiques peuvent faciliter ou entraver l'appropriation et l'occupation de différents compartiments géomorphologiques. La société construit des structures résidentielles ou de services sur le terrain, sans tenir compte d'une planification territoriale adéquate, car cette gestion subventionne et oriente l'occupation, compte tenu de la fragilité et de la vulnérabilité des compartiments. Par conséquent, la recherche vise à appliquer les géotechnologies à l'identification des caractéristiques du terrain, afin d'apporter un soutien technique et spatial contribuant à la gestion territoriale. Pour atteindre l'objectif proposé, les procédures méthodologiques suivantes ont été développées : relevé bibliographique et cartographique ; analyse et interprétation d'images satellite ; cartographie thématique (géologie, hypsométrie, pente, relief et unités de relief) ; et, enfin, travail de terrain. En utilisant le bassin versant comme unité d'analyse, les principales caractéristiques du terrain ont été identifiées, en tenant compte de leurs particularités, des actions anthropiques sur celles-ci et de leurs effets. On conclut que l'application des géotechnologies dans l'identification des caractéristiques du relief fournit des subventions techniques et scientifiques pour l'utilisation adéquate des ressources naturelles, ainsi que pour l'occupation congruente de l'espace géographique.

Mots-clés: Bassin hydrographique; Compartiments géomorphologiques; Formes du terrain; Échelle de détail.

INTRODUÇÃO

A análise do relevo é um fator indissociável às ações humanas sobre a superfície terrestre, pois as suas características facilitam ou impossibilitam a apropriação e ocupação dos diferentes compartimentos geomorfológicos pelos seres humanos. Florenzano (2008) corrobora que o relevo é o resultado das inter-relações entra a litosfera, atmosfera, hidrosfera e biosfera, ou seja, dos processos endógenos e exógenos que se desenvolvem nesse campo de interação. O modelado terrestre é um componente do meio natural, onde apresenta uma diversidade enorme de tipos e formas, que se estruturaram em um período específico, seja pela ótica de um tempo

que escoia (geológico – prevalece a morfogênese) ou um tempo que faz (predomina a morfodinâmica, com destaque a ação antrópica), sendo, portanto, o local em que os seres humanos desenvolvem suas atividades e estabelecem seus territórios (ROSS, 2000; SUERTEGARAY & NUNES, 2001; SUERTEGARAY, 2009; SUERTEGARAY, 2018).

Santana (2021) complementa que, é sobre o relevo que a sociedade fixa estruturas residenciais ou de serviços, sem considerar um planejamento territorial adequado, uma vez que, essa gestão subsidia e orienta à ocupação, considerando a fragilidade/vulnerabilidade dos compartimentos. Entre as diversas áreas de conhecimento que podem estudar o relevo, tem-se a geomorfologia, responsável pelo estudo das “formas de relevo, sua gênese, composição (materiais) e os processos que nelas atuam”, segundo Florenzano (2008, p. 11).

Com base na autora supracitada, o relevo pode ser analisado a partir das seguintes variáveis: morfologia (morfografia – aspectos qualitativos e morfometria – análise quantitativa); morfogênese (refere-se a origem e desenvolvimento das formas de relevo); morfodinâmica (estudo dos processos atuais - ativos, endógenos e exógenos que geram e esculturam o modelado); e a morfocronologia (trata da idade absoluta e relativa, das formas de relevo, e aos processos a elas relacionadas). Sendo assim, o relevo passa, portanto, pela compreensão de algo maior que é a paisagem (ROSS, 2000).

Logo, o entendimento dos aspectos do relevo a partir do emprego das geotecnologias, representa um importante auxílio à gestão territorial, uma vez que, o avanço tecnológico tem ampliado significativamente a capacidade de identificar, representar e analisar as feições do relevo com maior precisão e agilidade. Para Rosa (2005, p. 81), as geotecnologias “são o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica”. Segundo a perspectiva de Perez Filho, Lammle e Moreira (2020, p. 146), o termo em questão diz respeito ao “conjunto de técnicas utilizadas para obtenção de dados de determinado local geográfico, com o objetivo de processar e analisá-los em função de uma hipótese proposta”.

Por conseguinte, as geotecnologias correspondem às tecnologias modernas associadas às geociências e áreas afins, que promoveram avanços importantes no desenvolvimento de pesquisas, no planejamento, na gestão, no manejo e em diversos outros aspectos ligados à organização do espaço geográfico (FITZ, 2008). Entre as geotecnologias que podem analisar o espaço geográfico, destacam-se os Sistemas de Informação Geográfica - SIG, Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global e Topografia (ROSA, 2005). As conexões entre esses segmentos constituem o geoprocessamento, o qual está relacionado a utilização de técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, constituindo poderosas ferramentas para tomada de decisão (CÂMARA, DAVIS & MONTEIRO, 2001).

Com o avanço tecnológico, diferentes áreas do conhecimento aplicaram as geotecnologias em diversas pesquisas para o tratamento, mapeamento e modelagem de dados vetoriais, matriciais e alfanuméricos. Na geografia e em específico na geomorfologia, as geotecnologias, assim como o geoprocessamento tem sido utilizado para análise das dinâmicas sociais e ambientais e/ou socioambientais, com destaque ao estudo do relevo, pois é sobre ele que os seres humanos fixam moradias, estabelecem relações e delimitam seus territórios.

À vista disso, a compreensão das características do relevo constitui-se como um elemento de fundamental importância para o planejamento e à gestão territorial, pois exercem influência direta nos processos naturais e antrópicos que se estruturam no espaço geográfico. Neste sentido, a presente pesquisa tem como objetivo aplicar as geotecnologias na identificação das características do relevo, com o propósito de fornecer subsídios técnicos e espaciais que contribuam para a gestão territorial. Para construção de um mapeamento com riqueza de

detalhes, utilizou-se a microbacia hidrográfica do riacho do Angelim. A bacia hidrográfica é constituída por um canal principal (curso d'água de maior extensão) e seus afluentes, que por sua vez pode ser subdividida em sub-bacias e microbacia, “as quais são unidades de estudo e planejamento, definidas operacionalmente em função das aplicações a que se destinam” (NOVO, 2008, p. 220).

MATODOLOGIA

Área de Estudo

Para o levantamento das características do relevo, adotou-se como unidade de análise a bacia hidrográfica, em específico a microbacia do Riacho do Angelim. A área objeto de estudo situa-se no médio curso da bacia hidrográfica do Rio Anil, que por sua vez localiza-se inteiramente na área municipal de São Luís, Ilha do Maranhão (Figura 01).

262

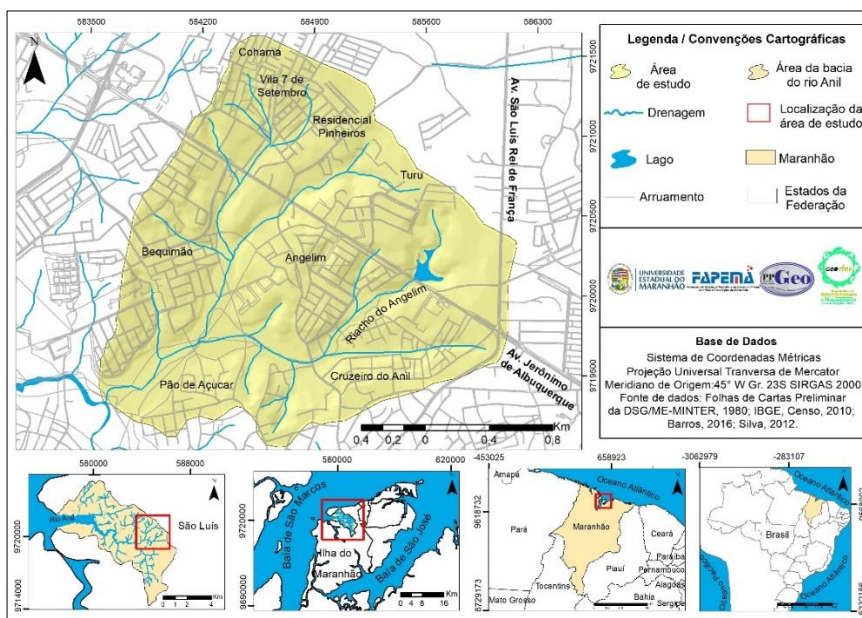


Figura 1: Localização da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA.
Fonte: Autoria própria.

Em virtude do crescimento populacional, e como consequência, da expansão urbana sobre o relevo, diversas morfologias do terreno foram ocupadas sem considerar as dinâmicas naturais que ali se desenvolviam. Por esta razão, diferentes aspectos da bacia foram alterados, áreas de preservação permanente foram ocupadas de forma inadequadas, residências construídas as margens do leito fluvial e da planície de maré, assim como em áreas de encostas, o que configura setores de risco. Essa é uma dinâmica que se replica em território nacional, com destaque aos grandes centros urbanos, por esta razão espera-se que os procedimentos realizados, assim como os resultados alcançados possam nortear o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à gestão territorial.

Etapas da pesquisa

A pesquisa em questão possui uma abordagem sistêmica e integrativa, com perspectiva geomorfológica fundamentada nos princípios de Ab'Saber (1969), Tricart (1965; 1977) e Florenzano (2008). Considerando o objetivo proposto, foram desenvolvidos alguns procedimentos metodológicos, a saber: levantamento bibliográfico e cartográfico; análise e interpretação de imagens de satélite; mapeamento temático (geologia, hipsometria, declividade, formas do terreno e unidades de relevo) e por fim os trabalhos de campo.

a) Levantamento bibliográfico e cartográfico

A revisão bibliográfica considerou a literatura especializada, desde autores pretéritos a contemporâneos, com pesquisa relacionada aos seguintes temas: geomorfologia, apropriação do relevo, geotecnologias, geoprocessamento aplicado e bacia hidrográficas. Neste sentido, foram realizadas pesquisas no acervo físico da Biblioteca Central da Universidade Estadual do Maranhão, além de livros, dissertações, teses e periódicos nacionais e internacionais que abordassem a temática em análise.

Em relação ao levantamento cartográfico, utilizou-se as Cartas Planialtimétricas do Diretório do Serviço Geográfico do Exército – Ministério do Exército / Ministério do Interior - DSG/MINTER (1980), curvas de nível com equidistância de cinco metros com escala de 1:10.000, sendo as folhas 14,15, 23 e 24 referentes a microbacia do Riacho do Angelim. Foi consultado o banco de dados da bacia hidrográfica do Rio Anil por meio dos relatórios de pesquisa do grupo Geomorfologia e Mapeamento – GEOMAP, vinculado aos cursos de graduação, mestrado e doutorado em geografia da Universidade Estadual do Maranhão – UEMA.

b) Análise e interpretação de imagens de satélites

Para análise do relevo, Florenzano (2008) enfatiza que os mapas das unidades de relevo do 1º ao 3º táxon deve ser elaborado a partir de dados de sensores remotos disponíveis. Desse modo, foi utilizado as imagens de satélites disponíveis no software Google Earth Pro, relacionado ao mosaico de cenas dos satélites Landsat e Copernicus.

c) Mapeamento temático

O mapeamento foi realizado a partir da criação de um banco de dados, para manipulação e tratamento dos elementos vetoriais e matriciais, no ambiente de Sistema de Informação Geográfica – SIG, especificamente, no software *ArcGis® for Desktop Advanced*, versão 10.5, de licença estudantil, na sua extensão ArcMap. Para representação das unidades de relevo e visualização 3D da área de estudo, com base nos dados de altitude, utilizou-se a extensão ArcScene do programa supramencionado. Sendo assim, foram espacializado os seguintes aspectos:

Geologia

As informações litoestratigráficas da microbacia do Riacho do Angelim foram extraídas e adaptadas do mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão de Silva (2012). Para espacialização das unidades geológicas a autora em questão fundamentou-se nos seguintes documentos: mapa de geologia, escala de 1:100.000, produzido por Maranhão (1998); Cartas Geológicas do Serviço Geológico do Brasil - CPRM, em escala de 1:250.000, elaborada por Rodrigues et al (1994); e em escala 1:500.000, folha SA.23-X/Z São Luís NE/SE, elaborada por Veiga Júnior (2000).

Hipsometria

A altitude da área foi espacializada a partir das Cartas Planialtimétricas, na escala de 1:10.000 e curvas de nível com equidistância de 5 metros. Com posse dessas informações, foi gerado um Modelo Digital de Elevação – MDE, no software *ArcGis®*, em sua extensão ArcMap. Essa informação foi elaborada a partir do seguinte caminho: *ArcToolbox – Data*

Management – TIN – Creat Tin. Em seguida, foi realizada a categorização em 10 classes através da ferramenta *Symbolology*.

Para análise hipsométrica detalhada, gerou-se a partir do MDE dois perfis topográficos morfodinâmicos nos sentidos A → B e C → D, da seguinte forma: *customize – Toolbars – 3D Analyst – Interpolate line* – logo depois traçou-se os perfis A-B e C-D, após estas etapas foram gerados os gráficos na ferramenta *Profile Graph* do *3D Analyst*. Com os perfis gerados, inter-relacionou-se com as informações geológicas, geomorfológicas e os aspectos identificados em trabalhos de campo.

Declividade

A inclinação das encostas foi gerada a partir da cópia do MDE, o qual foi convertido em *raster* por meio da ferramenta *Tin to raster* do *3D Analyst Tools* do ArcGis/ArcMap. Após esta etapa, foi realizada a extração da declividade do *raster* na operação do *3D Analyst Tools – Raster Surface – Slope*. A individualização da declividade foi realizada com base na literatura especializada (Tabela 1), com adaptações realizadas a partir dos seguintes autores: Ross (1994), Santos e Ross (2012), Ross (2012), Silveira (2013), Mendes (2015) e Bernardelli (2019).

Tabela 1: Intervalo de classes da declividade da microbacia do Riacho do Angelim – São Luís/MA

Classes de Declividade	Parâmetros de Análise
0 3%	Áreas inundáveis (uso urbano restrito) / Áreas planas (tabuleiros)
3,1 5%	Uso urbano com baixa restrição em relação às áreas inundáveis
5,1 10%	Uso urbano sem restrição, considerando as características locais
10,1 20%	Uso urbano com restrição, e de acordo com Mendes (2015), o traçado urbano deve seguir as curvas de nível e os arruamentos devem ser descontínuos
≥ 25	

Fonte: Elaborado a partir de Ross (1994), Santos e Ross (2012), Ross (2012), Silveira (2013), Mendes (2015), Bernardelli (2019), com adaptações.

Formas do terreno

As formas do terreno (Figura 2) são uma combinação das classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e curvaturas verticais (côncavo, retilíneo ou convexo), conforme aponta Valeriano (2008). Essas informações foram espacializadas a partir de uma cópia do MDE gerado no mapa de hipsometria, pelas seguintes etapas: *Arctoolbox – 3D Analyst Tools – Conversions – From tin*. Na opção *Samplig distance* selecionou-se a opção *CELLSIZE 10*, pois este representa a resolução da área, ou seja, quanto menor o valor do *cellsize* maior será a resolução. Após gerar esse arquivo, torna-se necessário a sua transformação em um formato estatístico, considerando as etapas: *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Neighborhood – Focal statistics*. Na opção *neighborhood* marcou-se a alternativa *circle* e em *radius* coloca-se o número 5. O nome do arquivo deve ser *CIR5ELEV* que representa a forma, o número do *radius* e a elevação. Em seguida, criou-se a curvatura em perfil e em plano, conforme descrito a seguir: *Arctoolbox – Spatial Analyst Tools – Surface – Curvature*. Santana (2021) fundamentado em Valeriano (2008) sinaliza que este procedimento gera duas informações, a curvatura em plano e curvatura em perfil. Por conseguinte, realizou-se uma álgebra de mapas, dos dois últimos arquivos gerado (curvatura em perfil e plano), pelas seguintes ferramentas: *Arctoolbox – Spatial Analyst tools – Map Algebra – Raster Calculator*. No produto gerado após esse processamento, foi adicionado uma coluna na tabela de atributos, relacionando-se aos tipos de vertentes que representam as curvaturas horizontal e vertical do terreno associadas, com nove classes.

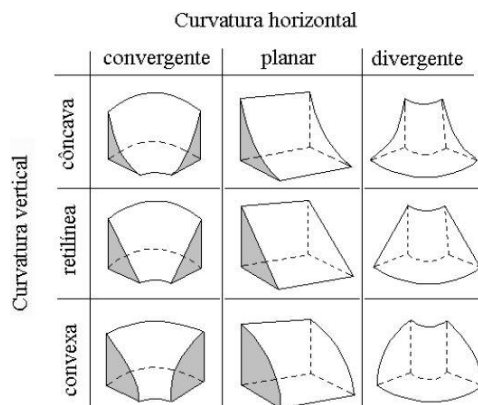


Figura 2: Formas do terreno a partir das curvaturas horizontais e verticais das vertentes
 Fonte: Valeriano (2008) fundamentado em Dikau (1990).

Unidades de relevo

Para a espacialização das unidades de relevo, utilizou-se como base o mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão, realizado por Silva (2012), na escala de 1:60.000, com as adaptações e atualizações necessárias, conforme a escala de trabalho adotada no presente trabalho. A autora em questão realizou a espacialização das formas de relevo até o 4 nível taxonômico, fundamentando-se nas proposições de Ross (1992), o qual alicerçou-se nas definições de Morfoestrutura e Morfoescultura propostos pelos russos Guerasimov (1946) e Mecerjakov (1968) e estabeleceu o mapeamento do modelado por meio dos níveis taxonômicos (Figura 3).

Os níveis taxonômicos 5 (que se referem aos tipos de vertentes, ou seja, as formas do terreno – curvatura horizontal e vertical das vertentes) e 6 (se relacionam as formas de processos atuais (ravinas, voçorocas e cicatrizes de deslizamentos) foram mapeados na presente pesquisa. O quinto nível foi identificado a partir das cartas planialtimétricas na escala de 1:10:000, curvas de nível com equidistância de cinco metros e informações das classes de formas do terreno, fundamentado em Valeriano (2008). No que se refere ao sexto nível, foi caracterizado a partir da análise das cartas topográficas citadas anteriormente, com o auxílio dos trabalhos de campo para identificação da morfodinâmica da área objeto de estudo e foi empregado a simbologia linear proposta pelos seguintes autores Vestappen & Zuidam (1975), utilizado por Cunha, Mendes e Sanchez (2003); Machado e Cunha (2013); e Zanatta, Lupinacci e Boin (2017). Ressalta-se que foi inserido no mapa de unidades de relevo, dois processos geomorfológicos específicos, relacionando-se as áreas de inundações e alagamentos, assim como a identificação da área com presença de terreno tecnogênico (área destinada a disposição de materiais provenientes das atividades humanas – entulhos e resíduos da construção civil – sinalizando a intensa e predatória relação entre os seres humanos e a natureza).

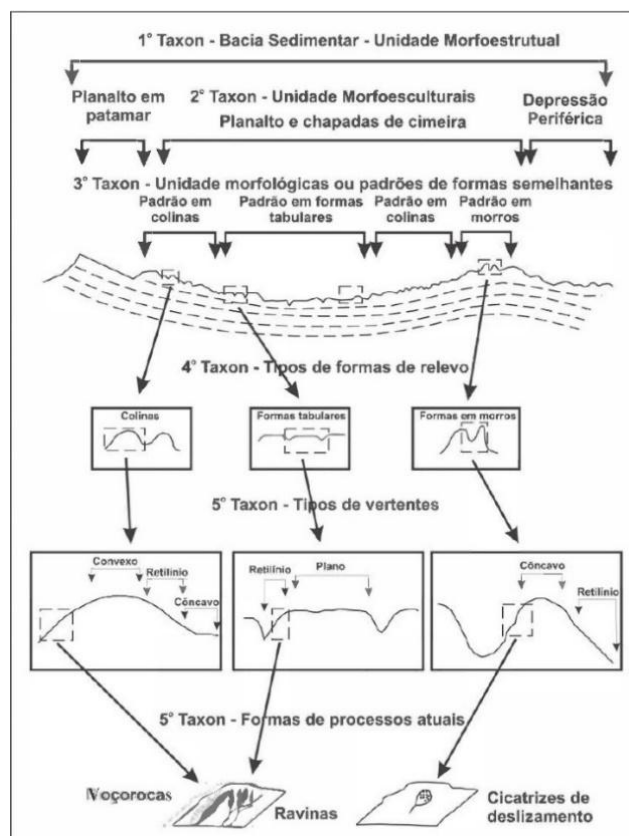


Figura 3: Níveis taxonômicos das unidades de relevo
 Fonte: Ross (1992).

d) Trabalhos de campo

As idas à campo foram realizadas com o intuito de validar as informações levantadas em gabinete, no que se refere ao mapeamento das variáveis utilizadas para análise do relevo (geologia, geomorfologia, hipsometria, declividade e formas de terreno). Nos trabalhos de campo foi possível correlacionar as características identificadas com a dinâmica atual dos seres humanos sobre o modelado, assim como a verificação das áreas com ocorrências de processos geomorfológicos específicos, como os sulcos, inundações e alagamentos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relevo de uma determinada bacia hidrográfica está correlacionado a uma dinâmica climática pretérita e atual, assim como ao contexto geológico da região em que se localiza, visto que, essas duas variáveis são primordiais para os eventos que geram (tectonismo, vulcanismo e abalos sísmicos) e esculturam (intemperismo, erosão e sedimentação) o modelado. Nesta perspectiva, as características climáticas da microbacia do riacho do Angelim se inter-relacionam aos aspectos do município em que se encontra, assim às particularidades da Ilha do Maranhão. Deste modo, o clima da região em que se localiza a área objeto de estudo é classificado como Tropical típico Aw', a partir da proposta de Koppen (Pinheiro, 2018).

Em relação ao contexto litoestratigráfico, o relevo da microbacia em estudo situa-se sobre a camada sedimentar do Grupo Barreiras e dos Sedimentos Pós Barreiras que configuram a Formação Açuí, constituindo-se dos depósitos de mangue, aluvionares e coluvionares (Figura 4). A literatura geológica ressalta que o Grupo Barreiras se caracteriza por areias finas a médias e concentrações ferruginosas, com intercalações argilosas caulínicas. Sobrejacente a essa unidade geológica tem-se a Formação Açuí, formada por areias finas a média, com

estratificação cruzada e argila arenosa maciça (Tabela 2); se relaciona aos depósitos de mangues (ambiente fluviomarinho/planície de maré), aluvionares e coluvionares (ambiente fluvial/planície fluvial), estruturando ambientes de sedimentação quaternárias. As características geológicas, através da sua composição química e física determinam a sua resistência a erosão e ao intemperismo, o que pode dificultar ou maximizar a esculturação das rochas.

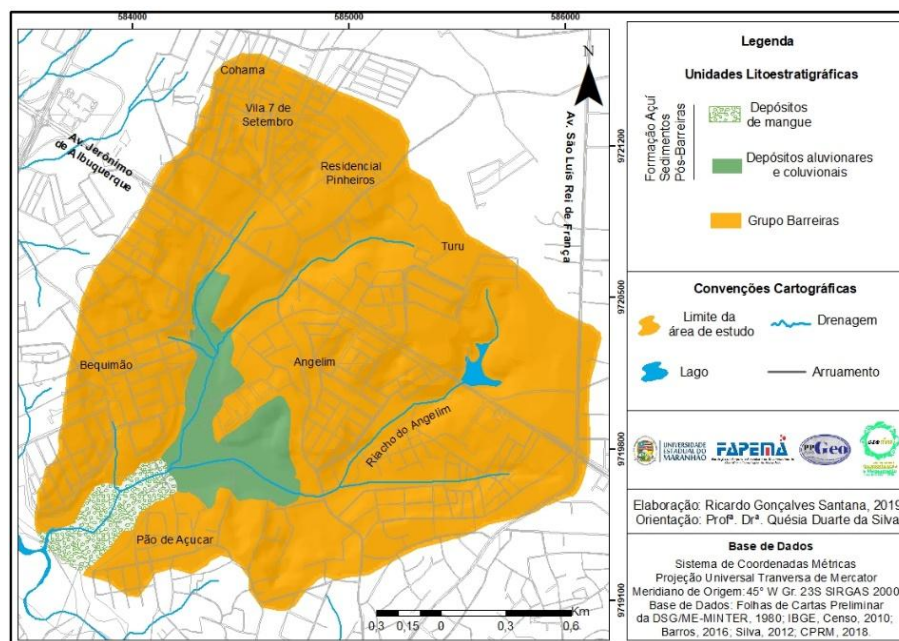


Figura 4: Aspectos geológicos da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA
 Fonte: Elaborado a partir dos dados de Silva (2012).

Tabela 2: Arranjo litoestratigráfico da microbacia do Riacho do Angelim – São Luís/MA

Éon	Era	Período	Época	Unidades Litoestratigráficas	Formações Superficiais	Litologia
Fanerozoico	Cenozóico	Quaternário	Holoceno	Formação Açuí	QHa-Depósitos aluvionares e coluvionares	Areias, pelitos e cascalhos de depósitos fluviais recentes.
					QHm-Depósitos de Mangue	Siltes e argilas não adensados, maciços e bioturbados.
		Neógeno	Meso-Mioceno	Grupo Barreiras	ENb – Grupo Barreiras	Arenitos, arenitos ferruginosos, cascalhos, sedimentos areno-argilosos de ambiente continental a transicional, depositados em sistemas fluviais, canais de maré e planícies de inundação.

Fonte: Elaborado a partir dos dados de Rodrigues et al. (1994); Pereira (2006); Silva (2012); Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2012) com adaptações.

Entre os elementos que caracterizam o relevo, tem-se a hipsometria, declividade e as formas de terreno (curvatura vertical e horizontal das vertentes), que fornecem informações quantitativas e qualitativas a respeito das morfologias, possibilitando uma análise detalhada dos processos morfogenéticos e da dinâmica da paisagem. Neste sentido, a altimetria determina-se

pela disposição do relevo e suas cotas hipsométricas em relação ao nível do mar. A microbacia em análise, está inserida no intervalo de 20 a 35 m, com baixas elevações e suaves ondulações (Figura 3). As menores curvas altimétricas encontram-se entre 5 e 15 m e se inter-relaciona aos ambientes sobre influência fluvial e fluviomarinha, que por sua vez são considerado áreas frágeis à ocupação e são caracterizadas como Áreas de Preservação Permanente – APPs, protegidas pelo Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012.

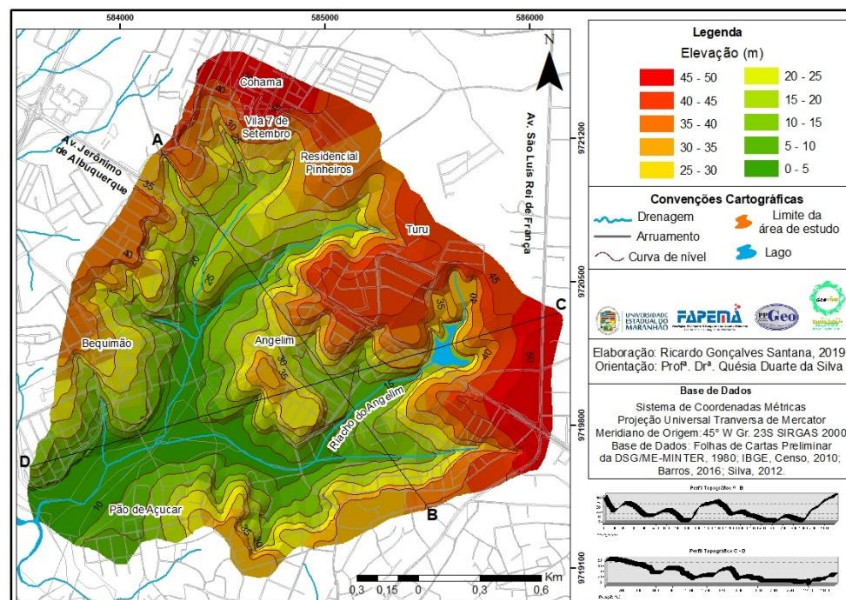


Figura 3: Hipsometria da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA
Fonte: Autoria própria.

A hipsometria possibilita análise do relevo de forma detalhada através da criação dos perfis topográficos morfodinâmicos, sendo assim o traçado A → B detém aproximadamente 2.200 metros de comprimento com variação altimétrica de 15 a 40 metros, transcorrendo quatro cursos d'água, os quais encontram-se inteiramente alterados das atividades humanas, com alterações nos seus cursos e construção de moradias a poucos metros do canal (Figura 4). A área desse segmento situa-se em áreas densamente urbanizadas, com áreas impermeáveis e com ocorrência de alagamentos e canais fluviais de tipologia mista (abertos/fechados).

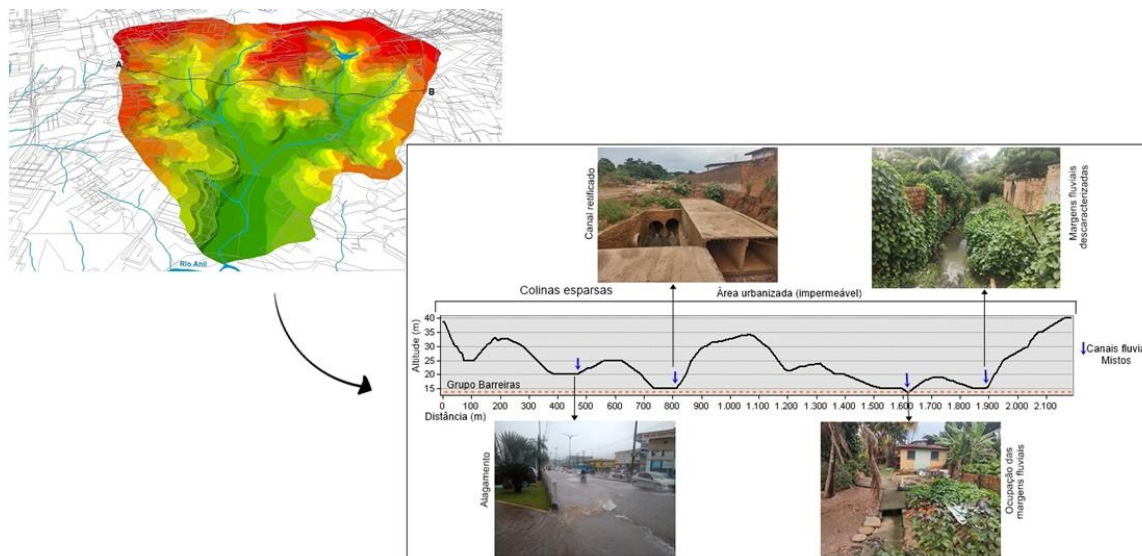


Figura 4: Perfil topográfico morfodinâmico A → B da microbacia do Riacho do Angelim – São Luís/MA
 Fonte: Autoria própria.

No que se refere ao segmento C → D, possui variações altimétricas entre 5 e 45 m, percorrendo áreas de tabuleiros, colinas esparsas, planícies fluviais e de maré. Entre os tabuleiros e as colinas situa-se um lago, o qual a expansão urbana impermeabilizou as áreas a montante (tabuleiros), considerados áreas de recarga de aquífero, o que ocasionou a redução da infiltração das águas pluviais e deflagrou o rebaixamento do lençol freático, determinando que a lâmina d'água apareça apenas no período chuvoso (Figura 5).

Os canais presentes encontram-se assoreados, com planície fluvial reduzida e com o esgotamento sanitário direcionado para estas áreas. Logo, a análise altimétrica do relevo auxilia a gestão territorial por meio da identificação das áreas frágeis, com dinâmicas específicas que ao serem ocupadas sem um planejamento adequado, tornam-se áreas de risco. A declividade trata da inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal, exercendo influencia na dinâmica erosiva, estabilidade das encostas e escoamento superficial.

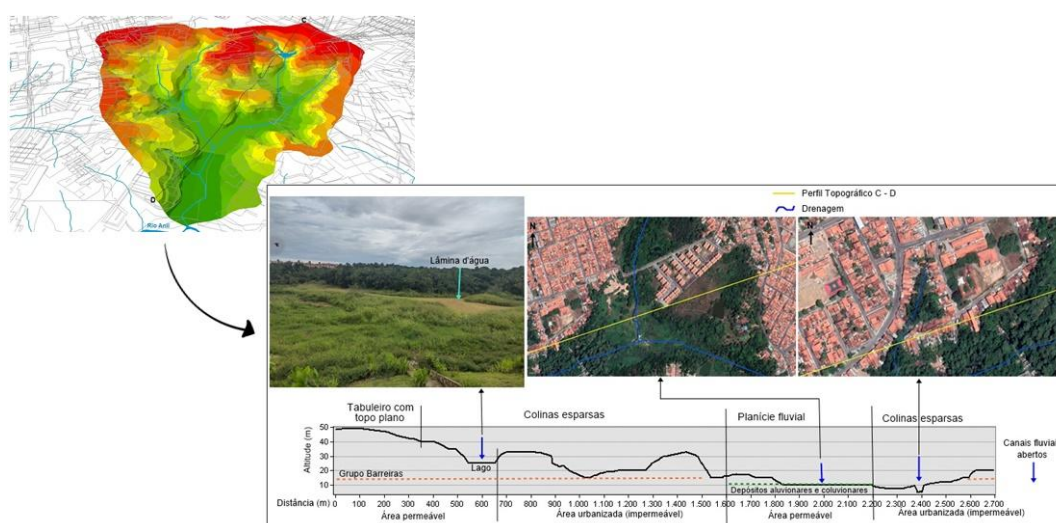


Figura 5: Perfil topográfico morfodinâmico C → D da microbacia do Riacho do Angelim – São Luís/MA
 Fonte: Autoria própria.

Desta forma, a microbacia do riacho do Angelim apresenta classes de declividade entre 0 e $\geq 25\%$, com o predomínio do intervalo de 0 $\mid$ 5% (Figura 6), prevalecendo áreas planas, relacionadas aos tabuleiros (com baixa restrição ao uso urbano) e áreas de fundo de vale, com incisão fluvial, sendo sujeitas a inundação (uso urbano restrito). Mendes (2015) enfatiza que as classes entre 10,1 $\mid$ $\geq 25\%$ apresentam uso urbano com restrição, onde o traçado urbano deveria seguir as curvas de nível, com arruamentos descontínuos, sendo primordial para a gestão, planejamento e reordenamento territorial, pois as localidades com alta declividade indicam suscetibilidade a processos erosivos laminares e deslizamento de encostas; enquanto os setores com baixa declividade favorecem a deposição de sedimentos e maior infiltração da água no solo.

270

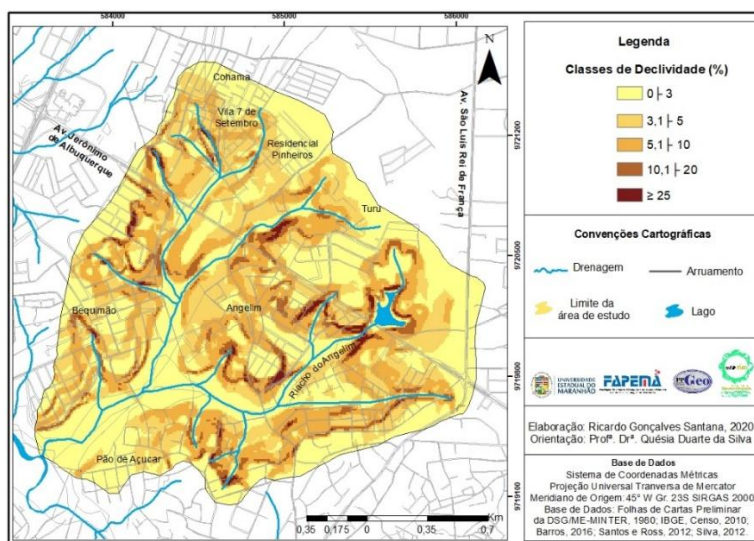


Figura 6: Declividade da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA
Fonte: Autoria própria.

As formas de terreno englobam as curvaturas vertical e horizontal das vertentes, sendo responsáveis pela definição geométrica da superfície terrestre, em escala de detalhe, indicando a concavidade ou convexidade do terreno em plano vertical (exercem influência sobre o escoamento superficial), assim como viabiliza o entendimento dos padrões de erosão e deposição no decorrer da encosta mediante a forma da vertente na horizontal. Correlacionado a essa dinâmica a curvatura do terreno se inter-relaciona ao comportamento hidrológico da superfície, controlando o fluxo hídrico. Na área objeto de estudo mapeou-se oito classes de formas de terreno: planar côncava, convergente côncava, divergente côncava, planar retilínea, divergente retilínea, convergente retilínea, planar convexa e convergente convexa (Figura 7).

A classe planar retilínea possui a maior representação espacial, a qual está relacionada ao fluxo intermediário ou de transição quanto a dispersão e acumulação do escoamento superficial. Já a planar côncava, associa-se as áreas planas com suaves concavidades com fluxo de transição dominante e fluxo resultante do tipo mesoconcentrador. Em relação a classe convergente côncava, situa-se nas proximidades dos canais e possui um fluxo dominante do tipo de concentração, resultando em um acúmulo do tipo hiperconcentrador. Com fluxo dominante dispersor e resultante do tipo hipodispersor, caracteriza-se a classe divergente concâva. As formas do terreno do tipo divergente retilínea associam-se às áreas dispersantes, com fluxo resultante do tipo mesodispersor (Quadro 1).

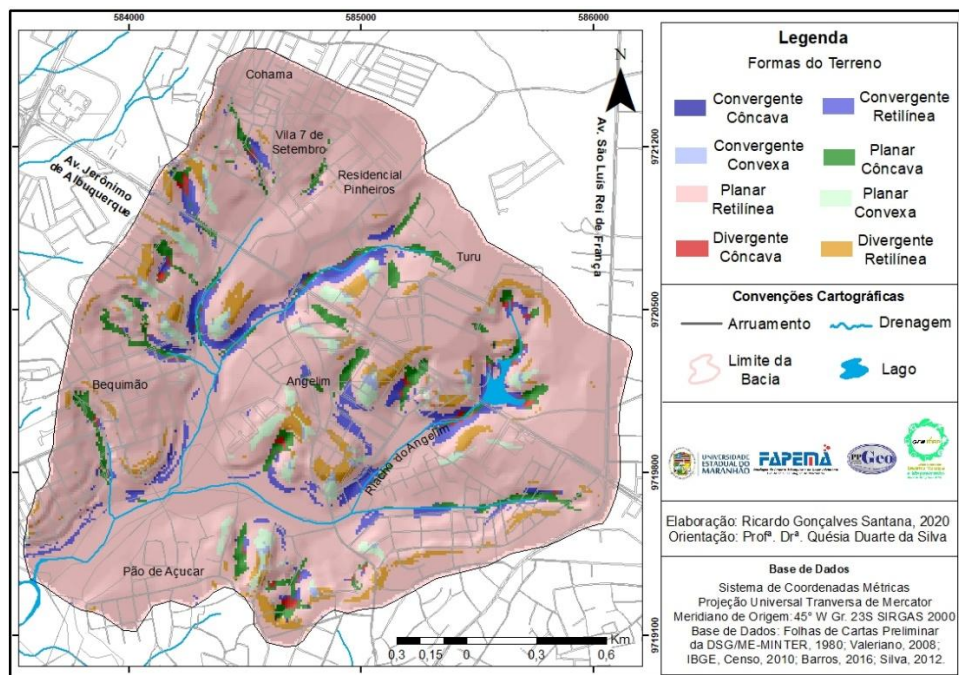


Figura 7: Formas do terreno da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA
Fonte: Autoria própria.

Em áreas de fundo de vale, espacializaram-se a classe convergente retilínea, facilitando a convergência dos fluxos, com escoamento dominante do tipo concentrador, resultando em um fluxo mesoconcentrador. Contudo, a classe planar convexa se relaciona aos ambientes de transição, do mesmo modo que seu fluxo dominante, o que configura um escoamento mesodispersor. Por fim, tem-se a classe convergente convexa de fluxo dominante concentrador e hipocentrador, como resultante.

Quadro 1: Dinâmica hidrológica na superfície do terreno da microbacia do Riacho do Angelim – São Luís/MA

Curvatura do Terreno		Comportamento hidrológico na superfície do terreno	
Horizontal	Vertical	Fluxo dominante	Fluxo resultante
Convergente	Côncava	Concentração	Hiperconcentrador
	Retilínea		Mesoconcentrador
	Convexa		Hipoconcentrador
Planar	Côncava	Transição	Mesoconcentrador
	Retilínea		Transição
	Convexa		Mesodispersor
Divergente	Côncava	Dispersão	Hipodispersor
	Retilínea		Mesodispersor

Fonte: Elaborado a partir de Colangelo (1996) e Guirra (2017) com adaptações.

A partir das concepções de Silva (2012) e das inter-relações entre geologia, hipsometria, declividade e formas de terreno, tornou-se possível a caracterização geomorfológica da microbacia do Riacho do Angelim. As morfologias presentes na área em análise subdividem-se em denudacionais (tabuleiros com topos planos e colinas esparsas) e agradacionais (planícies de mare e fluvial). Santana (2021) complementa que as formas agradacionais são aquelas que predominantemente passam pelo processo de acumulação ou sedimentação. Já as formas denudacionais são modeladas predominantemente pelo processo de desgaste ou erosão (Figura 8).

Em virtude de uma ocupação não direcionada, sem um planejamento territorial prévio, os compartimentos de relevo da área foram apropriados, ocupados e descaracterizados de forma inadequada, sem considerar suas fragilidades e os processos geomorfológicos específicos (erosões, enchentes, inundações, etc.). Cada morfologia exerce um papel de fundamental importância na paisagem, promovendo assim um equilíbrio dinâmico no ambiente, no entanto, com a inserção das atividades humanas, há uma ruptura nessa estrutura, o que promove a intensificação dos fenômenos, resultando na constituição das áreas de risco que por sua vez está atrelada a vulnerabilidade social e ambiental.

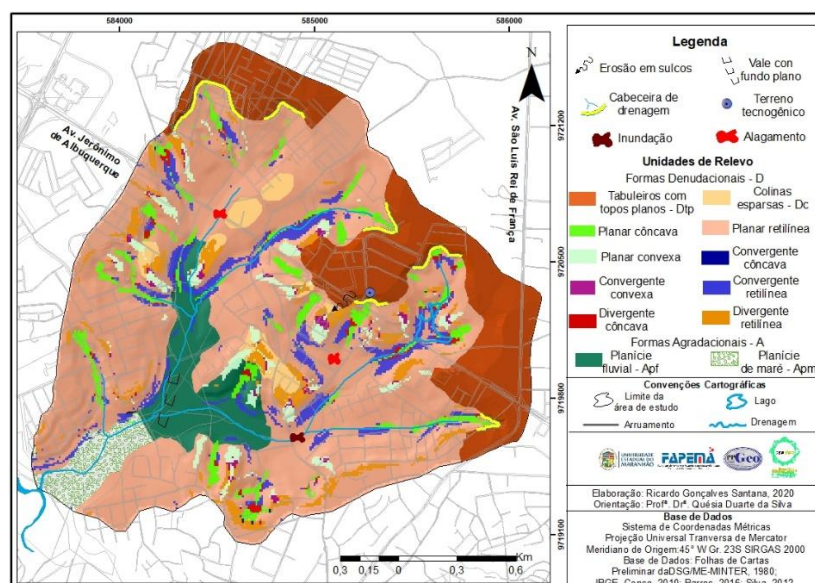


Figura 8: Unidades de relevo da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA
Fonte: Autoria própria.

Ao tratar sobre o relevo da área, Santana (2021) enfatiza que as unidades de relevo da microbacia do riacho do Angelim são ocupadas por distintos agentes sociais, o que resulta diferentes usos, com características urbanas e estruturais específicas. Deste modo, as áreas dos tabuleiros com topos planos foram apropriadas/ocupadas por residentes de significativo poder aquisitivo, em função dos seus aspectos genéticos, predominantemente planos (0 ‡ 3% de declividade), de forma tabular, o que favorece a ocupação e implantação de infraestrutura.

Em relação as colinas esparsas, encontram-se densamente urbanizadas, apesar da sua característica subtabular com declives suaves (3,1% ‡ 10% de inclinação das vertentes) topos arredondados a quase planos (Figura 9). As planícies fluviais vinculam-se aos vales das drenagens principais, constituídas de sedimentos quaternários, sujeita a inundações periódicas. No que concerne a planície de maré, configuram-se como morfologias deposicionais (ambientes de acumulação) marcadas pelo ciclo da maré e da dinâmica fluvial, sem ocorrência de ondas, com presença da vegetação de mangue.

A expansão desordenada que ocorrera na microbacia do riacho do Angelim deflagrou a ocupação inadequada das diferentes morfologias presentes, sendo, portanto, reflexo da falta de uma gestão territorial adequada que condicionaria o uso sustentável do relevo a partir das suas características naturais pré-existentes. Em geral, as unidades de relevo da microbacia objeto de estudo estão sob constante pressão antrópica, com diversas alterações impostas em virtude do interesse social e econômico dos seres humanos, como exemplo, tem-se as a impermeabilização dos tabuleiros (forma de terreno planar retilínea), o que favorece o aumento do escoamento superficial - 1; residências construídas as margens dos cursos d'água (a menos de 8 metros do canal) - 2; fundo de vale (sujeito a ocorrência de inundações) ocupado pela população em vulnerabilidade social - 3; aterramento da planície de maré para ocupação pelos residentes de baixo poder aquisitivo (Figura 10).

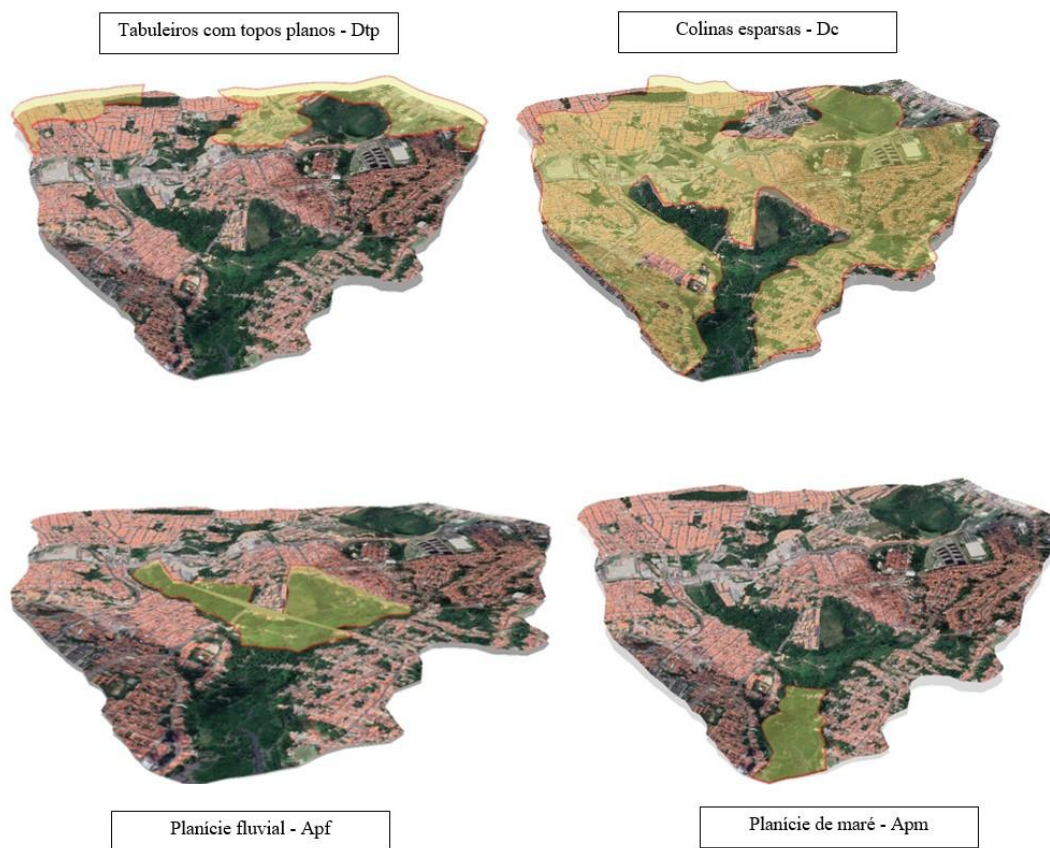


Figura 9: Localização das unidades de relevo da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA
Fonte: Autoria própria.

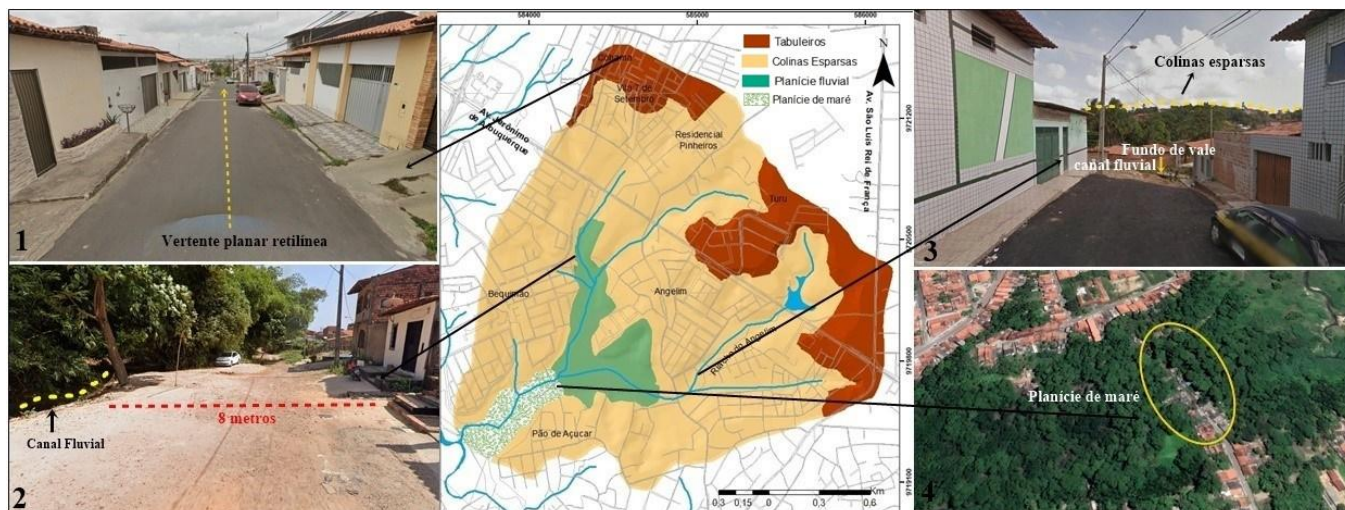


Figura 10: Situação das unidades de relevo da microbacia hidrográfica do Riacho do Angelim – São Luís/MA
Fonte: Autoria própria.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O avanço técnico científico possibilitou a inserção das geotecnologias na análise do relevo, com vistas a cartografia geomorfológica, possibilitando uma análise precisa, rápida e integrada das morfologias da superfície terrestre. Neste sentido, a aplicação das geotecnologias na identificação das características do relevo fornece subsídios técnicos e científicos para o uso adequado dos recursos naturais, assim como a ocupação congruente do espaço geográfico. Logo, os Sistemas de Informações Geográficas – SIGs empregados ao estudo do relevo representam um importante subsídio à gestão territorial, contribuindo para diagnósticos mais detalhados para o planejamento de ações mitigadoras de impactos ambientais e a construção de políticas públicas fundamentadas em evidências geoespaciais para ordenamento do solo, planejamento ambiental/urbano, gestão de bacias hidrográficas, prevenção de desastres naturais e conservação ambiental.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA pelo financiamento da pesquisa e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço da Universidade Estadual do Maranhão pela oportunidade de desenvolvimento.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 18, p. 1-23, 1969.
- BERNARDELLI, V. C. **Diagnóstico das alterações geomorfológicas em área de expansão urbana no setor sul de Araras (SP): subsídio para o planejamento urbano**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2019.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; & MONTEIRO, A. M. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CUNHA, C. M. L.; MENDES, I. A.; SANCHEZ, M. C. A Cartografia do Relevo: Uma Análise Comparativa de Técnicas para a Gestão Ambiental. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 4, n. 1, 2003.

COLÂNGELO, A. C. Modelo de Feições Mínimas ou das Unidades Elementares do Relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geoecológicos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.10, p.29-40, 1996.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.80, p. 45-55, 1990.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem Complicação**. São Paulo, Ed. Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

GUERASIMOV, I. P. Experiencia de la interpretación geomorfológica del esquema general de la estructura geológica de la URSS. **Revista Probl. Geog. Fís.**, v. 12, p. 33-46, 1946.

GUIRRA, A. P. M. **Novas contribuições ao modelo de fragilidade ambiental à processos erosivos: estudo de caso aplicado ao perímetro urbano de Rondonópolis, Mato Grosso**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Mato Grosso. Instituto de Ciências Humanas e Sociais. Rondonópolis, 2017.

MACHADO, A. C. P.; CUNHA, C. M. L. . A influência das características morfométricas do relevo na morfodinâmica: Um estudo da alta bacia do Rio Itanhaém (SP). **Geociências (São Paulo. Online)**, v. 32, p. 322-344, 2013.

MARANHÃO. **Estudo de geologia/cobertura vegetal**. Macrozoneamento do Golfão Maranhense. Diagnóstico Ambiental da Microregião da Aglomeração Urbana de São Luís e dos Municípios de Alcântara, Bacabeira e Rosário. São Luís: Sema/MMA/PNMA, 1998.

MENDES, A. C. P. **Alterações morfológicas decorrentes da expansão urbana no setor leste da cidade de Rio Claro (SP): subsídios ao planejamento urbano**. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2015.

MECERJAKOV, J. P. Les concepts de morphostructure et de morphosculpture, un nouvel instrument de l'analyse géomorphologique. **Annales de Géographie**, [s. l.], n. 423, p. 539-552, 1968.

NOVO, E. M. L. M. Ambientes fluviais. In: FLORENZANO, T.G. (Org.). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. P.219-246.

PEREZ FILHO, A.; LÄMMLE, L.; MOREIRA, V. B. Geotecnologias e suas abordagens em estudos geomorfológicos: desafios e possibilidades para além dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). **William Morris Davis-Revista de Geomorfologia**, 2020.

PINHEIRO, J. M. **Clima urbano da cidade de São Luís do Maranhão**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e ciências Humanas. Departamento de geografia. Tese (Doutorado), São Paulo, 2018.

RODRIGUES, T. L. N; ARAÚJO, C. C.; CAMOZZATO, E.; RAMGRABI, G. E. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. São Luís. Folha SA.23-Z-A, Cururupu. Folha SA.23-X-C, Estado do Maranhão. Brasília, CPRM, 1994.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSS, J. L. S. Registro Cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p. 17-30, 1992.

_____. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, 8, São Paulo, p. 63-74, 1994.

_____. **Geomorfologia: ambiente e planejamento**. 7 ed. São Paulo: Contexto, 2000.

_____. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume Especial 30 Anos p. 38-51, 2012.

SANTANA, R. G. **Fragilidade ambiental do relevo à ocupação urbana na sub-bacia hidrográfica do riacho do Angelim, São Luís – MA**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão - UEMA, São Luís, 2021.

SANTOS, J. de O.; ROSS, J. L. S. Fragilidade ambiental urbana. **Revista da ANPEGE**, v. 8, n. 10, p. 127-144, 2012.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. Tese (Doutorado). Presidente Prudente- Universidade Estadual de São Paulo, 2012.

SILVEIRA, A. **Proposta metodológica para avaliação dos níveis de restrição do relevo ao uso urbano**. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2013.

SUERTEGARAY. D. M. A.; NUNES, J. O. R. A natureza da geografia física na geografia, In: **Terra Livre**, 17: Paradigmas da Geografia. Parte II. São Paulo: AGB, 2001.

SUERTEGARAY. D. M. A. Geografia Física e Geomorfologia: temas para debate. **Revista da ANPEGE**, v. 5, p. 22-35, 2009.

_____. **Geografia Física e Geomorfologia: uma releitura**. 2ed. Porto Alegre: Com Passo lugar cultura., v. 1. 126p, 2018.

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

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, Rio de Janeiro, 1977.

VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE: São José dos Campos, 75 p., 2008.

VEIGA JÚNIOR, J. P. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. **São Luís NE/SE, Folhas SA.23-X e SA.23-Z**. Estados do Maranhão e Piauí. Escala 1:500.000. Brasília: CPRM, 2000.

VERSTAPEN, H.T.; ZUIDAM, R. A. ITC System of geomorphology survey. Netherlands, **Manuel ITC Textbook**, Vol. VII, Chapter VII, 1975.

ZANATTA, F. A. S; LUPINACCI, C. M; BOIN, M. N. Morfometria do relevo e dinâmica erosiva linear em área rural degradada no oeste paulista. **RA'E GA (UFPR)**, v. 41, p. 82-97, 2017.