

ANÁLISE DOS ATRIBUTOS DO SOLO DA VOÇOROCA CEMITÉRIO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIBIRI, SÃO LUÍS/MARANHÃO

ANALYSIS OF SOIL ATTRIBUTES OF THE CEMITÉRIO GULLY IN THE TIBIRI RIVER WATERSHED, SÃO LUÍS/MARANHÃO

ANÁLISIS DE LOS ATRIBUTOS DEL SUELO DE LA CÁRCAVA CEMITÉRIO EN LA CUENCA DEL RÍO TIBIRI SÃO LUÍS/MARANHÃO

GILBERLENE SERRA LISBOA ¹
LUCIANO ARANHA ANDRADE ²
JOSÉ FERNANDO RODRIGUES BEZERRA ³

¹Doutoranda em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ
E-mail: gilberlene_serra@yahoo.com.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7348-4155>

²Doutorando em Geografia, Universidade Federal do Paraná-UFPR
E-mail: luciano.andrade@ufpr.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9746-4463>

³Professor do Departamento de Geografia e do Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Natureza e Dinâmica do Espaço, Universidade Estadual do Maranhão-UEMA
e-mail: fernangeo@yahoo.com.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6333-8768>

RESUMO

A análise das propriedades físicas dos solos se faz de grande importância no estudo dos processos erosivos, pois a partir desta, o diagnóstico da intensidade do processo pode ser averiguado. Este trabalho visa analisar os atributos dos solos em área de voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Tibiri, São Luís/MA, especificamente a voçoroca Cemitério. Foram realizados os seguintes procedimentos metodológicos: levantamento bibliográfico; trabalho de campo; mapeamento e análise em laboratório, com base em 14 amostras, sendo 11 deformadas e três indeformadas. As análises de laboratório visaram caracterizar os atributos dos solos coletados, e verificou-se a densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total, granulometria e matéria orgânica, conforme a EMBRAPA (2017), Blake e Hartge (1986) e Bowes (1986). A densidade do solo variou entre 1,70 e 1,91 g/cm³, a densidade de partículas variou entre 2,63 g/cm³ a 2,94g/cm³. Em relação à porosidade, o menor valor foi de 28% e o maior 36%. A matéria orgânica ficou entre 0,06% e 3% e as classes texturais identificadas foram arenosas e franco-arenosas. Assim, as propriedades físicas favorecem a ocorrência de processos erosivos acelerados, sobretudo nas bordas dos tabuleiros, cuja declividade acentuada tende a favorecer tais processos.

Palavras-chave: Erosão. Morfologia. Granulometria.

ABSTRACT

The analysis of soil physical properties is of great importance in the study of erosive processes, as it enables the diagnosis of the intensity of the process. This study aims to analyze soil attributes in an area affected by gully erosion in the Tibiri River watershed, São Luís/MA, specifically the "Cemitério" gully. The following methodological procedures were carried out: literature review; fieldwork; mapping; and laboratory analysis based on 14 soil samples, including 11 disturbed and three undisturbed samples. Laboratory analyses aimed to characterize the collected soil attributes, including soil density, particle density, total porosity, particle size distribution, and organic matter content, following EMBRAPA (2017), Blake and Hartge (1986), and Bowes (1986) methods. Soil density ranged from 1.70 to 1.91 g/cm³, while particle density ranged from 2.63 g/cm³ to 2.94 g/cm³. Regarding porosity, values ranged from 28% to 36%. Organic matter content varied between 0.06% and 3%, and the identified soil texture class was sandy and sandy loam. Coupled with sedimentary formations exhibiting high friability, the high rainfall indices in the region, and improper land use, it is observed that the physical properties favor the occurrence of accelerated erosive processes, especially on the edges of plateaus, where the steep slope tends to enhance such processes.

Keywords: Erosion. Morphology. Granulometry.

RESUMEN

La análisis de las propiedades físicas de los suelos es de gran importancia en el estudio de los procesos erosivos, ya que a partir de esta se puede evaluar el diagnóstico de la intensidad del proceso. Este trabajo tiene como objetivo analizar los atributos de los suelos en un área de deslizamiento de tierra en la cuenca hidrográfica del río Tibiri, en São Luís/MA, específicamente en el deslizamiento de tierra conocido como Cemitério. Se llevaron a cabo los siguientes procedimientos metodológicos: revisión bibliográfica, trabajo de campo, mapeo y análisis de laboratorio, basados en 14 muestras, siendo 11 deformadas y tres indeformadas. Los análisis de laboratorio tuvieron como objetivo caracterizar los atributos de los suelos recolectados, y se verificó la densidad del suelo, densidad de partículas, porosidad total, granulometría y materia orgánica, según EMBRAPA (2017), Blake y Hartge (1986) y Bowes (1986). La densidad del suelo varió entre 1,70 y 1,91 g/cm³, la densidad de partículas varió entre 2,63 g/cm³ y 2,94 g/cm³. En cuanto a la porosidad, el valor más bajo fue del 28% y el más alto del 36%. El contenido

de materia orgánica osciló entre el 0,06% y el 3%, y la clase textural identificada fue arenosa y franco arenosa. En conjunto con las formaciones sedimentarias con alto grado de friabilidad, los altos índices pluviométricos de la región y el uso inadecuado del suelo, se observa que las propiedades físicas favorecen la ocurrencia de procesos erosivos acelerados, especialmente en los bordes de las mesetas, cuya pendiente pronunciada tiende a favorecer dichos procesos.

Palabras-clave: Erosión. Morfología. Granulometría.

INTRODUÇÃO

A erosão é um dos principais processos modeladores do relevo, podendo ser intensificada pela ação antrópica. Essa interferência pode ser percebida diretamente em áreas urbanas e rurais (CRUZ, 2023). Dentre as principais feições erosivas, destacam-se as ravinas e as voçorocas, cujo critério teórico-conceitual adotado nesta pesquisa é o dimensional. De acordo com Guerra (2012), ravinas apresentam largura e profundidade menores que 50 cm, enquanto voçorocas possuem dimensões superiores a 50 cm.

Nesse contexto, a erodibilidade dos solos representa a suscetibilidade do solo em resistir aos processos erosivos (MORGAN, 1995). De acordo com Morgan (1981), os fatores que afetam a erodibilidade são: textura, densidade do solo, porosidade, teor de matéria orgânica, teor e estabilidade dos agregados e pH do solo. A erodibilidade não é uma propriedade estática ao longo do tempo. As práticas agrícolas, por exemplo, produzem modificações importantes nas características dos solos, alterando a sua erodibilidade (NASCIMENTO, 2019).

Segundo Lal (1994), a erodibilidade se manifesta pelo efeito integrado dos processos que regulam a recepção da chuva e a resistência do solo para desagregação de partículas e o consequente transporte, influenciados pelas propriedades do solo, como tamanho das partículas, estabilidade estrutural, matéria orgânica, natureza dos minerais e constituintes químicos.

O processo erosivo possui diversos condicionantes, tornando-o dessa forma, um sistema complexo, que dependendo de seu grau de evolução, pode ser de difícil entendimento. Autores como Galeti (1985), Guerra e Mendonça (2004), apontam o clima, relevo, a cobertura vegetal, ação antrópica e natureza do solo como condicionantes da erosão.

A partir dos conceitos abordados, este trabalho tem como objetivo analisar os atributos dos solos em área de voçorocamento na bacia hidrográfica do rio Tibiri, em São Luís/MA, especificamente a voçoroca Cemitério (Figura 1). A análise dos atributos dos solos é importante para a análise da susceptibilidade à erosão de uma área determinada, bem como para compreender a dinâmica dos processos erosivos já existentes.

Figura 1 - Voçoroca Cemitério na bacia hidrográfica do rio Tibiri em São Luís/MA



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

MATERIAIS E MÉTODOS

Na bacia hidrográfica do rio Tibiri se observam voçorocas de grande expressividade, próximas a residências e margeando ruas, por exemplo. Nessa perspectiva, as análises de campo e de laboratório foram fundamentadas nos estudos baseados em Blake e Hartge (1986), Bowes (1986), a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-EMBRAPA (2017) e Munsell (2009). As referências citadas fundamentaram na análise dos atributos do solo, sendo eles a morfologia, densidade, densidade de partículas, porosidade total, granulometria e matéria orgânica.

Trabalhos de campo

Os trabalhos de campo foram realizados tendo como objetivo identificar e caracterizar a voçoroca, bem como coletar as amostras de solos para análise no laboratório, sendo elas do tipo deformadas para granulometria, morfologia e matéria orgânica; e indeformadas para densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total. Além da observação *in loco* da influência da ação antrópica e registros fotográficos. Os trabalhos de campo foram realizados em 2021, no bairro Tibiri, onde se encontra o processo erosivo acelerado denominado voçoroca Cemitério. A coleta das amostras para análise laboratorial foi realizada com a utilização do martelo geológico, transferidas para sacos plásticos identificados conforme os pontos da coleta (Figura 2).

Figura 2 - Coleta de amostras deformadas na voçoroca Cemitério



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Na pesquisa *in loco* selecionou-se o ponto de coleta, em seguida realizou-se a medição do talude da voçoroca, logo depois se dividiu a medida pela quantidade de amostras, finalizando em 11, sendo intercaladas em 20 cm, além de 3 amostras indeformadas, totalizando 14 amostras.

Análises de laboratório

As análises de laboratório foram realizadas no Laboratório de Geociências e do Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP) do Departamento de Geografia (DG) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA). Considerando os parâmetros dos atributos dos solos coletados, foram determinadas as seguintes propriedades: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e granulometria, conforme manual de análise de solos da EMBRAPA (2017) e método do balão volumétrico segundo Blake e Hartge (1986) e Bowes (1986). A determinação das cores do solo foi feita a partir do uso da Carta de Munsell (2009), comparando-se a cor de cada amostra de solo seca com as cores da escala Munsell e anotando-se a cor mais aproximada.

Para as análises da densidade do solo e de partículas foram utilizados materiais como dessecador, estufa, balança de precisão, vidro de relógio, balão volumétrico aferido de 50 ml, almofariz, bureta, béquer, funil de vidro, pisseta e álcool etílico. A densidade do solo aumenta geralmente com a profundidade do perfil, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade (KIEHL, 1979).

Sendo “Ds” a densidade do solo, “M” a massa em gramas e “V” o volume de centímetros cúbicos, por definição, temos:

$$Ds = M/V = g/cm^3$$

Além disso, aferiu-se o volume do balão volumétrico, pesou-se 20 g de TSFA (Terra Seca Fina ao Ar) e transferiu-se para balão volumétrico de 50 ml, colocado na bureta, álcool etílico até a marca do zero, transfere-se 25 ml de álcool para o balão, agitou-se o balão durante 1 minuto, para facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo, deixou-se repousar por 15 minutos e completou-se o volume do balão com álcool etílico, fez-se a leitura do nível de álcool na bureta, usando a expressão: $V=50-L$ e calculou-se a densidade de partículas usando a expressão: $Dp=20/V$ (BLAKE, 1986; BOWES, 1986).

A porosidade de um solo pode ser definida como o volume de vazios ou os espaços dos solos não ocupados. Os resultados das determinações são expressos em porcentagens. Calcula-se pela fórmula a seguir:

$$PT = (a-b/a) \times 100$$

PT = Porosidade Total
a = densidade partículas
b = densidade do solo

As análises granulométricas foram feitas a partir do método da dispersão total, baseado na EMBRAPA (2017) seguindo as etapas abaixo:

Preparo da amostra - Deixou-se as amostras expostas para secar por alguns dias; Ataque da amostra - Em um copo plástico de peso conhecido colocou-se 20 g de solo, o que foi feito com todas as amostras, e adicionou-se 10 ml de NaOH (solução de hidróxido de sódio) em todas as amostras e posteriormente adicionou-se 100 ml de água destilada, agitou-se o conteúdo com bastão de vidro e deixou-se em repouso por uma noite, com os recipientes tampados com vidro de relógio;

Processo de sedimentação - Depois da noite de repouso, colocou-se o conteúdo para agitar no “Stirrer” durante 15 minutos. Após agitado, despejou-se o conteúdo na proveta por meio de uma malha de 20 cm ou malha 0,053 (n.º 270), colocada sobre um funil apoiado em um suporte, tendo logo abaixo uma proveta de 1000 ml. Lavou-se com a pisseta o material da peneira a uma

certa distância da proveta para a água ter pressão sobre os sedimentos e a lavagem seja eficiente e rápida das areias. Lavou-se todo o material até atingir os 1000 ml. Agitou-se o material por 20 segundos com o bastão e marcou-se o tempo de sedimentação baseado pela Lei de Stokes (Tabela 1), considerando a densidade de partícula (real) igual a 2,65 (g/cm³);

Tabela 1 - Temperatura e tempo para a pipetagem

Temperatura °C	Tempo	Temperatura °C	Tempo
10	5h 11'	23	3h 43'
11	5h 03'	24	3h 38'
12	4h 55'	25	3h 33'
13	4h 47'	26	3h 28'
14	4h 39'	27	3h 24'
15	4h 33'	28	3h 19'
16	4h 26'	29	3h 15'
17	4h 20'	30	3h 10'
18	4h 12'	31	3h 07'
19	4h 06'	32	3h 03'
20	4h 00'	33	2h 58'
21	3h 54'	34	2h 55'
22	3h 48'	35	2h 52'

Fonte: Adaptado da EMBRAPA (2011)

Procedimentos finais da análise - Após o tempo de sedimentação colocou-se uma pipeta de 50 ml na profundidade de 5 ml e coletou-se a suspensão, transferiu-se o conteúdo para a cápsula numerada e de peso conhecido, eliminou-se o excesso da água e colocou-se na estufa para secar por 24 horas a 100 °C para evaporar toda a água. Passado o tempo, deixou-se esfriar no almofariz e pesou-se, obtendo assim o peso da argila; Separação das areias - O material retido na peneira foi colocado nas cápsulas com água e retirou-se o excesso dela. As areias repousaram por uma hora, sendo levadas a estufa por 24 h, até que evaporasse toda a água. Após secas, foram levadas ao almofariz para esfriarem e posteriormente foram pesadas. Primeiro pesou-se todo o material, obteve-se o peso da areia grossa mais areia fina, depois passou-se o conteúdo para a peneira de malha 0,2 mm ASTM (n.º 70) e obteve-se o peso da areia fina. Subtraiu-se o valor total da areia grossa e obteve-se a areia fina. As expressões para o cálculo das frações granulométricas são:

Argila (%)

$$[(A + T) - T] * 100 = + 2$$

Onde: A - Argila; T - Tara.

Areia total (%)

$$AT \text{ (gramas)} * 100 = 20 * x$$

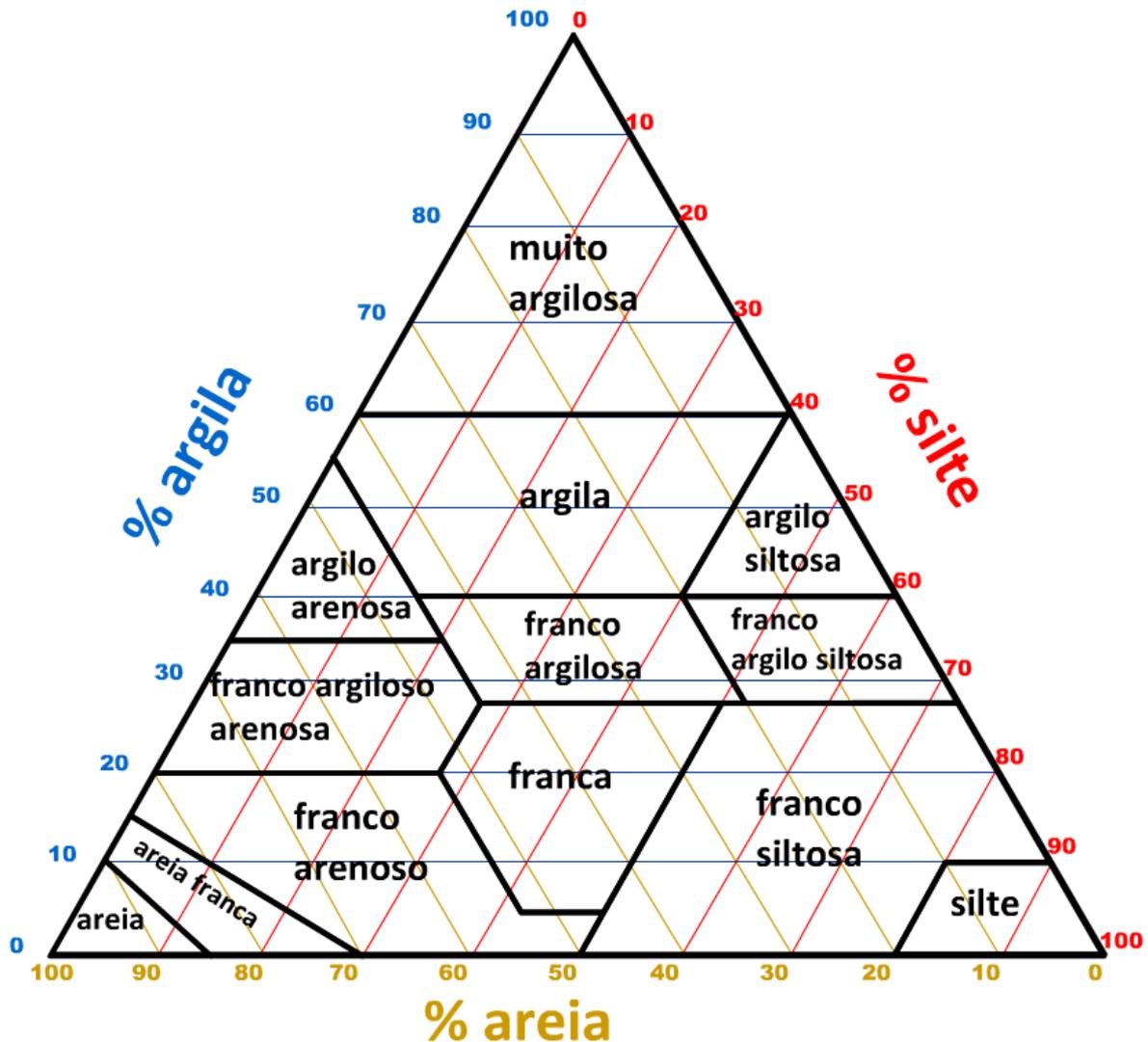
Silte (%)

$$100 - (AT + A) = \text{Silte}$$

Onde: AT - Areia Total; A - Argila

Após os cálculos e resultados das frações, utilizou-se o traçado do triângulo textural (Figura 3) conforme a Embrapa (2011).

Figura 3 - Triângulo Textural



Fonte: EMBRAPA (2011)

O teor de matéria orgânica das amostras de solo foi obtido a partir do método estabelecido por Goldin (1987 *apud* CARMO; SILVA, 2012), sendo a queima (ignição) da matéria orgânica em forno mufla, conforme também a Embrapa (2017).

A matéria orgânica foi determinada em razão da perda da massa do resíduo incinerado, considerando-se o material perdido pela queima no intervalo de variação da temperatura a 105 °C a 600 °C, conforme a fórmula:

$$MO\% = P - (T - C) / P * 100$$

Onde:

P = Peso da amostra (g) após aquecida a 105 °C

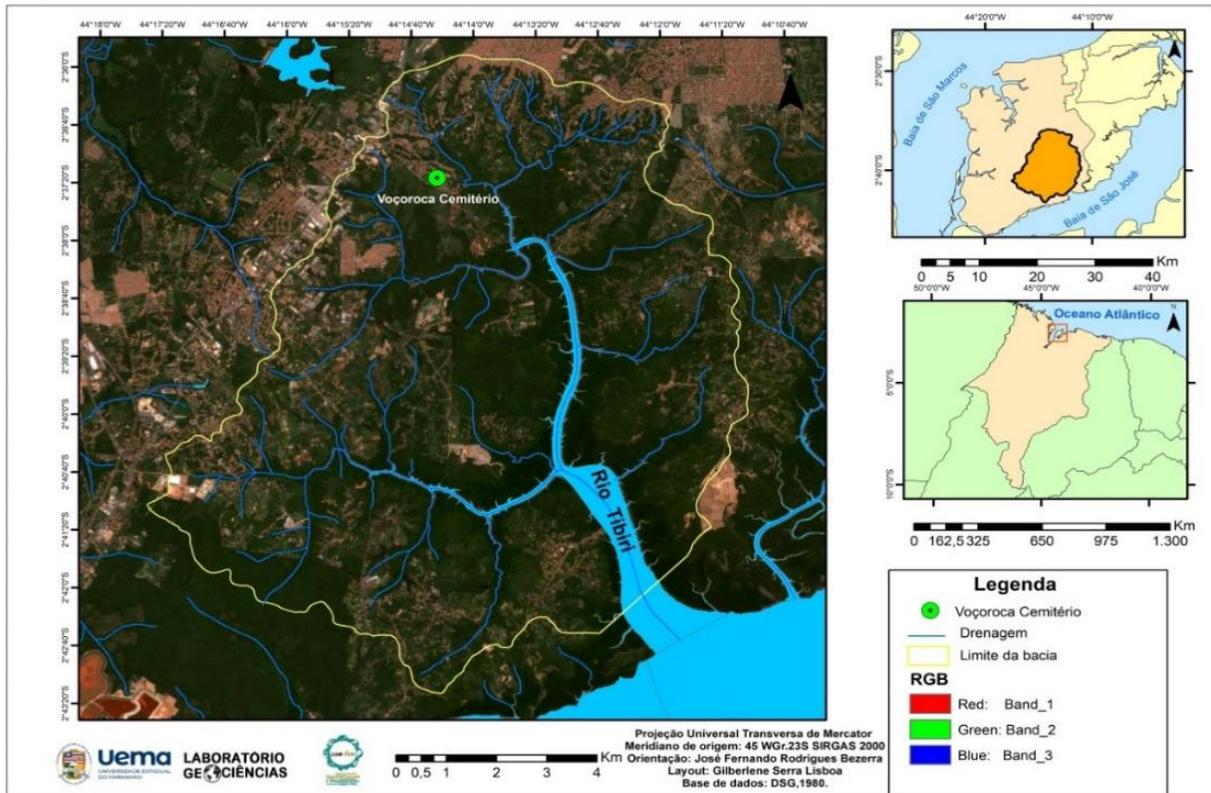
C = Peso do cadinho (g)

T = Peso das cinzas + cadinho (g)

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A voçoroca Cemitério localiza-se na bacia hidrográfica do rio Tibiri (Figura 4), no município de São Luís/MA, na parte Sudeste da Ilha do Maranhão. Na área citada, têm ocorrido alterações significativas quanto ao uso e ocupação da terra, com crescente degradação ambiental (ANDRADE, 2021; ANDRADE, *et al.*, 2022; SILVA, 2001).

Figura 4 - Mapa de localização da voçoroca Cemitério, bacia hidrográfica do rio Tibiri, São Luís/MA



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

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 (BANDEIRA, 2013). Rodrigues *et al.* (1994) supõem que 4.5 km de sedimentos foram acumulados, sendo que destes, 2.5 km são do Mesozoico (Cretáceo) e do Cenozoico, portanto, o afloramento de rochas sedimentares é predominante. Os eventos de deposição resultaram em várias camadas, constituindo uma topografia tabular. Assim, a área é constituída pelo Grupo Itapecuru, os sedimentos Pós-Barreiras e a Formação Açuí nas planícies de maré (BARROS; BANDEIRA, 2020).

O Grupo Itapecuru 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 e siltico-argilosos e folhelhos. Os Sedimentos Pós-Barreiras são depósitos que recobrem discordantemente o Grupo Barreiras, com horizontes de perfis das Coberturas Lateríticas Imaturas. A Formação Açuí apresenta sedimentos inconsolidados argilo-arenosos ricos em matéria orgânica, sais e enxofre, depositados em áreas de planícies, ambientes fluviais, marinhos e fluviomarinhas, apresentando coloração cinza (BARROS; BANDEIRA, 2020).

Geomorfologia

As principais feições geomorfológicas identificadas na área de estudo foram: colinas esparsas, planície de maré, tabuleiros costeiros e vertentes (ANDRADE *et al.*, 2022; SILVA, 2012).

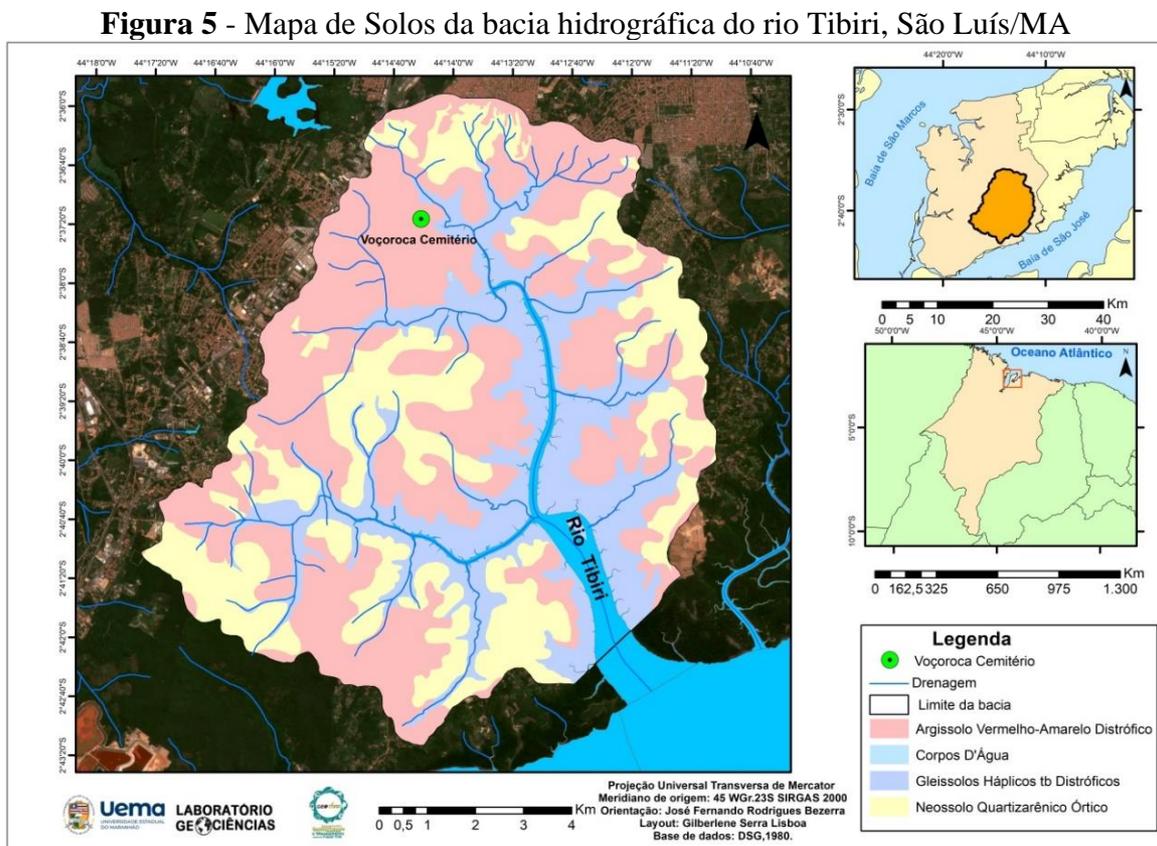
As planícies de maré correspondem às áreas que permanecem grande parte do tempo submersas, muito rasas e passíveis de serem observadas em imagens de alta resolução (ROSSETI, 2008). Os tabuleiros costeiros são definidos como a própria etimologia indica, em função da predominância de formas tabulares e da proximidade do litoral, e podem ser diferenciados por meio das formas erosivas, ou seja, segundo os processos de erosão atuantes, estando divididos em tabuleiros costeiros caracterizados por superfície tabular erosiva e tabuleiros costeiros caracterizados por superfície pediplanada (BRASIL, 1981).

No primeiro caso, os processos erosivos estão relacionados, sobretudo, ao transporte e deposição de sedimentos, por meio da influência fluvial e marinha. No segundo, a gênese das formas tabulares está atrelada, principalmente, ao processo de pediplanação, culminando no aplainamento de superfícies, submetidas em tempos pretéritos a climas áridos, quentes ou semiáridos (GUERRA; GUERRA, 2015; AB'SABER, 1998).

As colinas esparsas, também denominadas por Maranhão (1998b) de relevos subtabulares, “[...] representam as porções do tabuleiro que sofreram dissecação no decorrer do tempo geológico e ainda preservam seu topo relativamente aplainado com encostas brandas a íngremes [...]” (PEREIRA, 2006, p. 99).

Solos

Na área da bacia hidrográfica do rio Tibiri são encontrados os seguintes tipos de solos: Argissolos Vermelho-Amarelos Distróficos, Neossolos Quartzarênicos Órticos e Gleissolos Tiomórficos (Figura 5) (SANTOS *et al.*, 2018; BARROS; BANDEIRA, 2020).



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 Quartizarênicos 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 fluviomarinhas (SANTOS *et al.*, 2018; BARROS; BANDEIRA, 2020)

Análise dos atributos do solo

A bacia hidrográfica do rio Tibiri, por ser uma área predominantemente rural, parte da vegetação foi retirada para dar lugar à agricultura familiar e pecuária. Além disso, 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 6, observam-se ocupações residenciais em área de risco, pelos processos erosivos.

Figura 6 - Residências próximas a erosões



Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Na voçoroca Cemitério, as cores do solo estão representadas no amarelo vermelho (7.5 YR 6/6), a textura dominante arenosa e argilosa, a forma quanto a estrutura é angular e sub-

angular, e tamanho com predominância pequena a média; a consistência predominante no solo seco é macia; no solo úmido a predominância é muito friável; no solo molhado a predominância é ligeiramente plástica, e quanto a pegajosidade é ligeiramente pegajosa. A densidade do solo encontrada na voçoroca Cemitério variou entre 1,87 g/cm³ e 1,91 g/cm³. Esses valores indicam um solo com alto estágio de compactação. Tendo como densidade de partículas variando entre 2,63 e 2,94 g/cm³; e porosidade total mínima de 28% e máxima de 36% (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados de densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total da Voçoroca Cemitério

Amostra	Densidade do solo (g/cm ³)	Densidade de partículas (g/cm ³)	Porosidade total (%)
1	1,87	2,94	36
2	1,91	2,66	28
3	1,70	2,63	35

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

Ao interpretar os resultados obtidos, é possível perceber variação nos índices de densidade do solo, também notada nos índices de porosidade total, pois tais fatores estão interligados. Segundo Kiehl (1979), solos que apresentam porosidade conforme as obtidas na Voçoroca Cemitério, indicam um solo susceptível à compactação, ao apresentar taxas que se aproximam dos 36%, significando que a área está caminhando para possuir uma textura grosseira, portanto, solos com perfis mais arenosos.

Nas análises da granulometria encontra-se com o predomínio da classe textural Franco-arenosa e Arenosa, com valores de argila de 2,7% a 17,7%; areia total de 53,35% a 92,52%, sendo essa também fracionada em areia grossa, areia média, areia fina e areia muito fina, sendo a última a mais expressiva no fracionamento, e silte de 1,95% a 30,28% (Tabela 3).

Tabela 3 - Análise granulométrica da Voçoroca Cemitério

AMOSTRA	A (%)	A.T. (%)	A. G.	A. M.	A. F.	A. M. F.	SILTE (%)	TOTAL (%)	CLASSE TEXTURAL
10 cm	7,8	81,36	10,56	5,61	21,10	5,10	10,84	100	Franco - arenosa
30 cm	16,4	64,17	1,38	1,90	4,94	1,25	14,43	100	Franca
60 cm	9,1	84,09	6	21,56	24,73	34,81	6,81	100	Franco-arenosa
90 cm	13,5	78,81	0	2,94	4,69	1,56	7,69	100	Franco-arenosa
120 cm	6,1	70,59	5,73	1,81	4,52	0,92	23,31	100	Franco-arenosa
150 cm	2,7	80,16	1,38	1,90	4,94	1,25	30,28	100	Areia Franca
180 cm	4,2	89,17	8,91	7,02	9,09	6,60	6,63	100	Arenosa
210 cm	4,1	65,62	14,91	16	18,22	6,56	30,28	100	Franco-arenosa
240 cm	17,7	53,35	4,11	1,63	6,06	2,43	28,95	100	Franco-arenosa
270 cm	3,8	92,52	9,25	37	33,04	6,51	3,68	100	Arenosa
300 cm	6,3	91,75	0	20,38	26,98	12,07	1,95	100	Arenosa

Legenda - A: Argila; A. T.: Areia Total; A. G.: Areia Grossa; A.M.: Areia Média; A.F.: Areia Fina; A. M. F.: Areia Muito Fina.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021)

Em concordância com Macedo (2014), isso implica concluir que na Tabela 2 são solos mais friáveis, com maior macroporosidade, mais permeáveis e que, por sua vez, têm mais suscetibilidade na ocorrência de processos erosivos intempéricos, fator que é reforçado pelos dados da Tabela 3, com predomínio de classes arenosas.

Em relação fracionamento da areia total em grossa, média, fina e muito fina, nota-se que as frações predominantes se constituem em um maior percentual de areia fina e areia muito fina que, segundo Guerra (2011) a areia fina e o silte são as frações granulométricas que apresentam maior facilidade de serem erodidas, pois não possuem muita coesão, nem peso suficiente que dificulte a ação da água, tanto no *splash*, como no escoamento superficial (GUERRA, 2011; 2013). As análises de matéria orgânica (MO) permitiram inferir que a média entre os pontos amostrados foi de 0,06% a 3% (Tabela 4). Deneff *et al.* (2001) e Elmholt *et al.* (2008) destacam que a matéria orgânica do solo, viva ou morta, exerce um papel fundamental na agregação do solo. Christensen (2001) afirma que as inter-relações entre os minerais e a interação destes com a matéria orgânica (constituindo complexos organominerais), pode afetar intensamente o tamanho dos agregados estáveis em água. Já Podwojewski *et al.* (2011) salientam que as taxas de MO influenciam no processo erosivo, visto que, a MO pode agregar as partículas do solo, tornando-o resistente à ação da chuva. Além disso, a fração orgânica do solo está diretamente relacionada com a ciclagem de nutrientes, auxiliando na boa qualidade do solo. Diante disso, Fullen e Catt (2004) afirmam que valores inferiores a 3,5% de matéria orgânica significam instabilidade e maior suscetibilidade erosiva.

Tabela 4 - Resultado dos teores de matéria orgânica na voçoroca Cemitério

Profundidade	Matéria Orgânica
10 cm	1,04%
30 cm	2,8%
60 cm	0,82%
90 cm	0,06%
120 cm	0,48%
150 cm	2,02%
180 cm	0,58%
210 cm	0,38%
240 cm	3%
270 cm	3%
300 cm	3%

Fonte: Elaborado pelos autores (2019)

CONCLUSÃO

Através do conhecimento da origem desses solos e da análise detalhada de suas propriedades físicas, é possível estabelecer uma relação direta com as ocorrências dos processos erosivos. Ao compreender as características físicas dos solos, como textura, estrutura, porosidade e densidade, se pode diagnosticar a intensidade dos processos erosivos de forma mais precisa. Além disso, a análise das propriedades físicas dos solos não apenas permite avaliar a intensidade dos processos erosivos, mas também fornece percepções sobre a capacidade de infiltração de água do solo, sua resistência à compactação e sua capacidade de retenção de nutrientes. Portanto, a análise física dos solos desempenha um papel fundamental no estudo e na prevenção da erosão do solo, contribuindo para uma compreensão mais abrangente da modificação da paisagem e para o desenvolvimento de estratégias de conservação.

Nesta perspectiva, é importante ressaltar que a bacia hidrográfica do rio Tibiri, por suas características naturais e antrópicas, apresenta condições favoráveis para a ocorrência de processos erosivos. Observa-se que a falta de práticas adequadas de manejo do solo, o desmatamento indiscriminado, o uso inadequado do solo para atividades agrícolas e urbanas, entre outros fatores, têm contribuído para a degradação ambiental nessa região.

Torna-se evidente a necessidade premente de intervenção por parte do setor público para a implementação de medidas de reparação e controle geoambiental na bacia do rio Tibiri. Essas ações devem incluir programas de reflorestamento, práticas de conservação do solo, controle de assoreamento dos cursos d'água, estabelecimento de áreas de preservação permanente (APPs) e a promoção de educação ambiental junto à comunidade local.

Portanto, é imperativo que o poder público assuma sua responsabilidade na proteção e reabilitação dessa importante bacia hidrográfica, visando não apenas a preservação dos recursos naturais, mas também o bem-estar das populações.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), pela concessão da Bolsa de Apoio Técnico Institucional e de mestrado. A Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelas bolsas de doutorado e ao Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento-GEOMAP/UEMA.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Bases Conceptuais e papel do conhecimento na Previsão de Impactos. In: MULLER PLANTENBERG, C. e AB' SABER, A. N. (Orgs). **Previsão de Impactos**. São Paulo, Edusp, 1998.
- ANDRADE, L. A. **Impactos socioambientais da mineração de pequeno porte na bacia hidrográfica do rio Tibiri, São Luís-MA**. 2021. 62 f. Monografia (Graduação em Geografia Licenciatura) – Universidade Estadual do Maranhão, São Luís, 2021.
- ANDRADE, L. A.; BEZERRA, J. F. R.; MORAIS, M. S. de; 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. **Formação (Online)**, v. 29, n. 54, p. 593-618, 2022.
- 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.
- BERTONI, J.; NETO, F. L. **Conservação do solo**. 6ª ed. São Paulo: Editora Ícone, 2010.
- BLAKE, G. R.; HARTGE, K. H. Bulk density. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods**. Part 1. American Society of Agronomy, 1986. p. 363-375.
- BOWES, J. A. **Engineering properties of soils and their measurements**. Third edition. McGraw-Hill Book Company, NY, 1986.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folhas SB.24/25 Jaguaribe/Natal: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 1981.

CAMPOS, Iberê M. **Conheça Os Três Tipos Principais De Solo: Areia, Silte E Argila**. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento da Arquitetura IBDA, 2009.

CARMO, D.L.; SILVA, D. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, vol. 36, n° 4, Viçosa July/Aug. 2012.

CHRISTENSEN, B.T. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. **Europe Journal Soil Science**. v.52, p.345-353, 2001.

CINTRA, F.L.D; LIBARDI, P.L; SILVA, A.P. **Tabuleiros costeiros do Nordeste do Brasil**: uma análise dos efeitos do regime hídrico e da presença de camadas coesas nos solos. B. Inf. Da SBCS, Campinas, 1997.

CRUZ, R. **Morfodinâmica de praias e processos erosivos intraurbanos no município de Aracaju/SE**. 2023. 157p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Sergipe, 2023.

DENEF, K.; SIX, J.; PAUSTIAN, K.; MERCKX, R. Importance of macroaggregate dynamics in controlling soil carbon stabilization: short-term effects of physical disturbance induced by dry-wet cycles. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 33, 2001, p. 2145- 2153.

ELMHOLT, S.; SCHJONNING, P.; MUNKHOLM, L. J.; DEBOSZ, K. Soil management effects on aggregate stability and biological binding. **Geoderma**, v.144, p. 455-467, 2008.

EMBRAPA. **Manual de Métodos e Análises Solo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS. 2011. p. 225.

EMBRAPA. **Manual de Métodos e Análises Solo**. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS. 2017. p. 573.

FRANZLUEBBERS, A. J. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. **Soil and Tillage Research**., v. 66, 2002, p.95-106.

FULLEN, M. A.; CATT, J. A. **Soil Management: problems and solutions**. Londres: Arnold Publisher, 2004.

GALETI, P. A. **Práticas de controle à erosão**. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1985. 278 p.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2004.

GUERRA, A. J. T. O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs). **Erosão e Conservação dos Solos** - Conceitos, Temas e

Aplicações. Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2012.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 9ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015.

GUTIERRES, H. E. P.; GIRÃO, O.; SILVA, C. S. da; GUERRA, A. J. T. Monitoramento de voçorocas na barragem Serro Azul, Mata Sul do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 24, n. 2, 2023.

KIEHL, E. J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

LAL, R. **Soil erosion**: research methods. Ohio: Ohio State of University Columbus. 1994, 340p.

MABESOONE, J. M.; CASTRO, C. Desenvolvimento Geomorfológico do Nordeste Brasileiro. **Boletim do Núcleo do Nordeste da Sociedade Brasileira de Geologia**. Recife, 1975.

MACEDO, R.J. Características gerais da fertilidade de solos arenosos no Brasil. In: **Simpósio brasileiro de solos arenosos**, Presidente Prudente-SP, 2014.

MARANHÃO. **Estudo de geologia**. 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.

MORAIS, F.; BACELLAR, L. A. P.; SOBREIRA, F.G. Análise da erodibilidade de saprolitos de gnaise. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. Nov/Dez 2004, vol 28, n.º 6, p. 1055-1062.

MORGAN, R.P.C. **Soil conservation**: problems and prospects. Ed. John Wily & Son. New York. 1981.

MORGAN, R.P.C. **Soil erosion and conservation**. Ed. Longman, England, 1995.

MUNSELL COLOR COMPANY. **Munsell Soil Color Charts**. M.D. USA, 2009.

NASCIMENTO, R. J de A. **Erodibilidade em entressulcos, escoamento superficial e formação de crosta em solos representativos do Estado da Paraíba**. 2019. 114 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Universidade Federal da Paraíba, Areia/PB, 2019.

PEREIRA, E. D. **Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do solo e do aquífero do reservatório Batatã – São Luís (MA)**. Tese (Doutorado) Rio Claro: UNESP. 2006.

PODWOJEWSKI, P.; POULENARD, J. NGUYET, M. L.; ROUW, A.; NGUYEN, V. T.; HAPHAM, Q.; Climate and vegetation determine soil organic matter status in an alpine inner-tropical soil catena in the Fan Si Pan Mountain, Vietnam. **Catena**, v.87 p. 226-239, 2011.

PRESS, F. *et al.* **Para entender a Terra**. 4 ed. Tradução de Rualdo Menegat et al. Porto Alegre: Bookman, 2006.

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.

ROSSETTI, D.F. Ambientes Costeiros. *In*: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia**: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

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

SILVA, Q. D. **Proposta de zoneamento geoambiental da bacia hidrográfica do rio Tibiri, São Luís-MA**. 2001. 154 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza/CE, 2001.

SILVA, Q. D. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão**. 2012. 248 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Presidente Prudente/SP, 2012.