



ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICA DO SOLO DOS PROCESSOS EROSIVOS ACELERADOS NA BACIA DO RIO BACANGA: O CASO DAS VOÇOROCAS TORRES E CEPROMAR

Gilberlene Serra Lisboa
Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Brasil
gilberlene_serra@yahoo.com.br

José Fernando Rodrigues Bezerra
Universidade Estadual do Maranhão, UEMA, Brasil
fernangeo@yahoo.com.br

RESUMO – A pesquisa tem como objetivo analisar os processos erosivos acelerados na bacia do rio Bacanga, município de São Luís-Maranhão, considerando o estudo da erodibilidade das amostras dos solos coletados nos voçorocamentos. Esta bacia possui uma área de 95,24 km² e está localizada na porção Centro-Noroeste da Ilha do Maranhão, com sua nascente inserida no tabuleiro central do Tirirical. Os procedimentos metodológicos constaram de: levantamento bibliográfico; trabalho de campo; elaboração dos mapas temáticos; e análise no laboratório. As análises das propriedades físicas dos solos coletados nas erosões foram realizadas considerando as seguintes propriedades: densidade do solo, densidade de partículas, porosidade total e granulometria. Nessas voçorocas a densidade do solo (Ds) variou entre 1,65 a 1,86 g/cm³, a densidade de partículas variou entre os limites 2,5 g/cm³ na voçoroca Torres a 2,70 g/cm³ na mesma voçoroca. Em relação à porosidade, o menor valor é de 26% encontrada na voçoroca CEPROMAR e o maior valor foi encontrado na voçoroca Torres de 38%. Os processos erosivos acabam afetando a comunidade ao entorno da área de estudo por conta da suscetibilidade do solo em erodir, causando deslizamento das encostas.

Palavras-chave: Erosão; Hidrografia; Atributos do Solo.

ANALYSIS OF THE PHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL OF ACCELERATED EROSIVE PROCESSES IN THE BACANGA RIVER BASIN: THE CASE OF THE GULLIES TORRES AND CEPROMAR

ABSTRACT – The research aims to analyze the accelerated erosive processes in the Bacanga river basin, São Luís-Maranhão, considering the study of the erodibility of the soil samples collected in the gullies. This basin has an area of 95.24 km² and is located in the Center-Northwest portion of the Island of Maranhão, with its source inserted in the central board of Tirirical. The methodological procedures consisted of: bibliographic survey; fieldwork; elaboration of thematic maps; and analysis in the laboratory. The analyzes of the physical properties of the soils collected in the erosions were carried out considering the following properties: soil density, particle density, total porosity and granulometry. In these gullies the soil density (Ds) varied between 1.65 to 1.86 g/cm³, the particle density varied between the limits 2.5 g/cm³ in the Torres gully to 2.70 g/cm³ in the same gully. Regarding porosity, the lowest value is 26% found in the CEPROMAR gully and the highest value was found in the Torres gully of 38%. Erosive processes end up affecting the community around the study area due to the susceptibility of the soil to erosion, causing landslides on the slopes.

Keywords: Bacanga watershed; Erosive Processes; Physical properties of the soil.

INTRODUÇÃO

A Geomorfologia é a área do conhecimento ligada a Geologia e Geografia, cujo objetivo é estudar as formas do relevo, bem como sua gênese e dinâmica. Atualmente, a Geomorfologia vem sendo aplicada nos estudos ambientais, com ênfase no planejamento das áreas urbanas e rurais, e dentro dessa perspectiva, a erosão dos solos ganhando destaque nas pesquisas geomorfológicas.

A degradação do recurso natural solo, tido como um recurso finito, é um dos problemas mais críticos que a população está enfrentando atualmente. As respostas para estes problemas vêm sendo demonstradas por indicadores de recuperação, mas os efeitos da degradação do solo, muitas vezes, persistem ou se estabelecem novamente (FERREIRA, 2005).

Sendo assim, a erosão do solo constitui uma das principais causas visíveis de sua degradação, com grande distribuição espacial em todo o planeta, tornando-se assim, um dos mais sérios problemas ecológicos da atualidade. A mais impressionante expressão da degradação das terras pelos processos erosivos é a formação das voçorocas (GOMES, 2006).

A erosão é considerada um processo natural de degradação dos solos. Porém, a interferência antrópica pode acelerar esse processo, causando uma rápida evolução, dando origem, assim, às voçorocas que de acordo com Neboit (1983, in OLIVEIRA, 2012), o termo voçoroca vem sendo associado à erosão acelerada dos solos, derivando da concepção de que ravinas e voçorocas resultam da intervenção causada pela atividade humana.

A erosão é um processo complexo no quais diversos fatores atuam de forma e magnitude variável, conforme o local de ocorrência. Dentre os principais fatores naturais destacam-se o solo, o relevo, o clima e a vegetação (BERTONI e LOMBARDI NETO, 2010).

A erosão de voçorocas é um problema mundial e causa perturbações na qualidade física, química e biológica do solo (DERAKHSHAN-BABAEI et al., 2021). A ocorrência de voçorocas é sinônimo de grande desprendimento e transporte de partículas e nutrientes, interferindo em atividades agrícolas e hidrografia local (JIANG et al., 2021). É essencial a identificação de áreas propensas à ocorrência, pois geralmente são irreversíveis (JIANG et al., 2021).

A erosão pode ser agravada em função de características ambientais, do solo e de interferências antrópicas (DERAKHSHAN-BABAEI et al., 2021). Áreas com risco à erosão devem ser determinadas usando um conjunto de parâmetros e não apenas fatores individuais (GUO et al., 2021; JIN et al., 2021).

De acordo com Oliveira (2012), a erosão por voçoroca é causada por vários mecanismos que atuam em diferentes escalas temporais e espaciais, podendo ser entendidas pelos seguintes processos: deslocamentos de partículas, transporte por escoamento superficial difuso, transporte por fluxos concentrados, erosão por quedas d'água, solapamentos, liquefação, movimentos de massa e arraste de partículas.

Segundo Guerra e Guerra (2015), o termo voçoroca quer dizer escavação ou rasgão do solo ou de rocha decomposta, ocasionada pela erosão em lençol do escoamento superficial. As voçorocas, quando em grande número e relativamente paralelas, dão aparecimento a verdadeiras áreas de badland, ou ainda área voçorocada. As voçorocas podem também ser formadas pelo escoamento subsuperficial.

As áreas degradadas, segundo Morgan (1981), podem ser definidas como a perda da produtividade da terra, quantitativamente ou qualitativamente, através de vários processos como erosão, ação eólica, salinização, diminuição dos nutrientes, deteriorização da estrutura do solo e poluição. A perda da produtividade pode ser parcial ou total. Os danos causados pela degradação de terras são primeiramente analisados em relação aos aspectos físicos do ambiente, como solo, relevo e clima. Outro aspecto muito importante no processo de degradação é a ação antrópica.

Entre esses atributos que foram abordados na pesquisa, destacam-se a densidade e a porosidade

do solo. A densidade do solo (D_s) refere-se à relação entre a massa de solo seco e o volume total, e é afetada pela cobertura vegetal, pelo teor de matéria orgânica e pelo uso e manejo do solo (SILVA et al., 2000). E a porosidade do solo (P) representa a porção do solo em volume não ocupada por sólidos.

A morfologia do solo é a descrição da aparência do solo no campo (perfil) com características visíveis a olho nu ou perceptíveis por manipulação, a descrição morfológica dos solos permite delimitar horizontes e estabelecer relações entre eles, isto é, fazer inferências sobre os fatores e processos envolvidos em suas formações, seus funcionamentos atuais e suas relações com a dinâmica evolutiva da paisagem (LEMOS ; SANTOS, 2005).

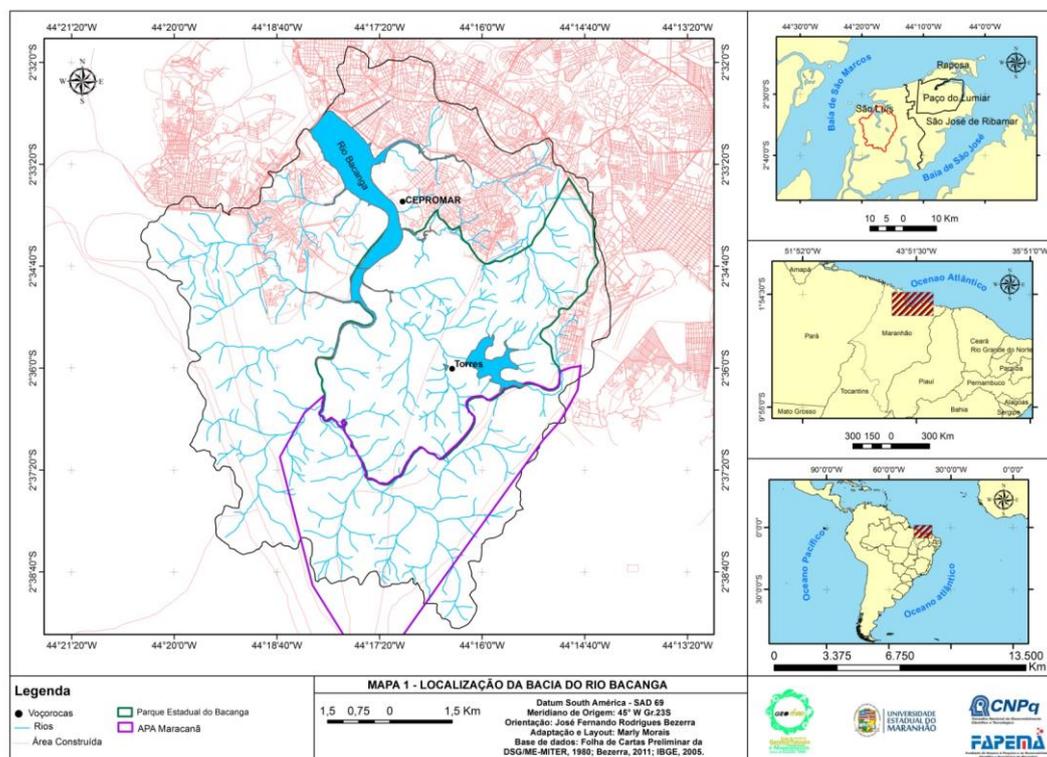
As análises granulométricas constituem uma importante análise nos estudos sobre os processos erosivos. A textura do solo caracteriza-se pela proporção relativa das classes de tamanho de partículas de um solo (DALVAN; REICHERT, 2006).

O presente trabalho tem por objetivo analisar os processos erosivos acelerados na bacia hidrográfica do rio Bacanga, considerando o estudo da erodibilidade dos solos coletados nas áreas degradadas por voçorocamento.

ÁREA DE ESTUDO

No Município de São Luís, foram identificados vários trechos em que se identificam fenômenos erosivos em larga escala, destacando-se as feições erosivas da bacia do rio Bacanga. Esta bacia possui uma área de 95,24 km² e está localizada na porção Centro-Noroeste da Ilha do Maranhão, com sua nascente inserida no tabuleiro central do Tirirical (Figura 1). Limita-se ao Norte com a baía de São Marcos e com a bacia do Anil, ao Sul, com o tabuleiro do Tirirical; a Leste, com as bacias do Anil, Paciência e Cachorros e a Oeste, com a bacia do rio dos Cachorros (MMT, 2007).

Figura 1: Situação geográfica da área de estudo



Fonte: Elaborado pelos autores

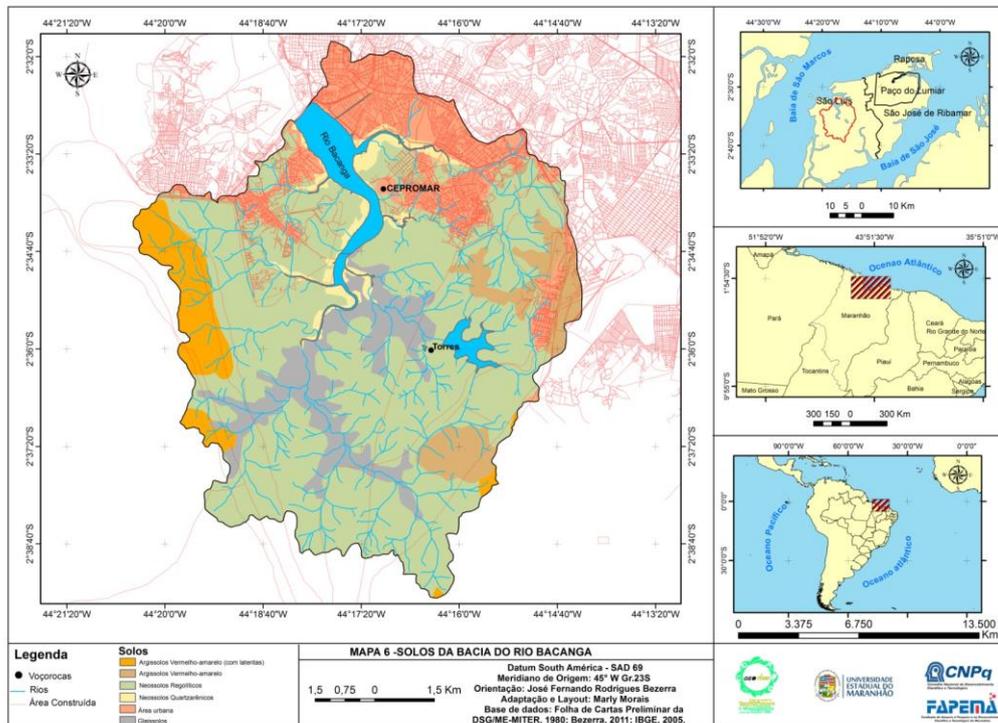
As estruturas geológicas superficiais são constituídas por rochas da Formação Itapecuru originárias do Cretáceo, sobrepostas, em algumas áreas, por camadas da Formação Barreiras que datam do Terciário, e por sedimentos quaternários da Formação Açuí (BEZERRA, 2011). Segundo (SILVA,2012) a geologia da bacia do rio Bacanga é composta pela Formação Barreiras, Depósitos aluvionares e coluvionares e Depósitos de mangues.

A última etapa tratou da integração dos dados e elaboração de relatório técnico. Com os dados obtidos a partir da caracterização dos aspectos geoambientais, identificação dos principais parâmetros que contribuem para a instabilidade das encostas e mapeamento das áreas que estão em situação de risco, assim como os principais problemas socioambientais, foi elaborado um relatório final sobre os riscos geomorfológicos da área de estudo.

A bacia do rio Bacanga insere-se na morfoestrutura da Bacia de São Luís, sendo a sua geomorfologia resultante das forças de origem climática e oceanográfica, bem como a ação antrópica. Entretanto, a hidrodinâmica fluvial, representada pelos afluentes do rio Bacanga, é o principal agente responsável pelos processos de erosão, transporte e deposição de sedimentos, que influenciam a esculturação do relevo, dando origem ao modelado característico da área. As principais feições geomorfológicas identificadas na área da bacia do rio Bacanga foram: Superfície tabular, colina dissecada, planície fluvial e planície fluvio-marinha (BEZERRA, 2011).

Quanto aos aspectos pedológicos (Figura 2) encontram-se na área de estudo os seguintes solos adaptados para a atual classificação da EMBRAPA (2018): Argissolos vermelho-amarelo com lateritas, Argissolos Vermelho-amarelo, Neossolos Regolíticos, Gleissolos e Gleissolos Tiomórficos. Segundo a EMBRAPA (2018), o **Argissolo** caracteriza-se por material mineral, apresentando horizonte B textural imediatamente abaixo do A ou E, com argila de atividade baixa ou com argila de atividade alta conjugada com saturação por bases baixa e/ou caráter alítico na maior parte do horizonte B, e satisfazendo, ainda, os seguintes requisitos: Horizonte plíntico, se presente, não satisfaz os critérios para Plintossolo; Horizonte glei, se presente, não satisfaz os critérios para Gleissolo.

Figura 2: Mapa de solos da bacia do Bacanga



Fonte: Elaborado pelos autores

Os **Neossolos** são constituídos por material mineral ou orgânico pouco espesso (menos de 30 cm de espessura), sem apresentar qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Para Lepsch (2011) são solos com pouca ou nenhuma evidência de horizontes pedogenéticos subsuperficiais, formando-se em materiais praticamente inertes, sem argilas e extremamente resistentes ao intemperismo (como areia de quartzo) ou estão tão pouco e recentemente expostos aos processos pedogenéticos que os horizontes diagnósticos típicos estão ausentes.

De acordo com o IBGE (2015) os **Gleissolos** são solos característicos de áreas alagadas ou sujeitas a alagamento (margens de rios, ilhas, grandes planícies, etc.). Apresentam cores acinzentadas, azuladas ou esverdeadas, dentro de 50 cm da superfície. Podem ser de alta ou baixa fertilidade natural e têm nas condições de má drenagem a sua maior limitação de uso.

Segundo a EMBRAPA (2018), os **Gleissolos Tiomórficos** são solos de baixadas litorâneas, com pH muito baixo, sob influência de oscilações de marés, distribuem-se nas regiões costeiras e planícies aluvionais, apresentam materiais sulfídricos ou horizonte sulfúrico dentro de 100 cm a partir da superfície.

O rio Bacanga é o principal componente hidrológico da área de estudo. Tem suas nascentes difusas em bairros próximos à região do Maracanã, percorre uma distância de aproximadamente 22Km entre estas a barragem construída na sua foz, a qual interliga o Centro Histórico da cidade de São Luís ao anjo da Guarda e outros bairros adjacentes a este. O rio Gapara e o rio das Bicas constituem alguns dos mais importantes de seus afluentes LABOHIDRO (1998).

Pela margem direita, os afluentes mais importantes do rio Bacanga são (Igarapé do Mercado, Igarapé da Areinha, Rio das Bicas, Igarapé Coelho e Igarapé do Tapete- Barragem do Batatã), pela margem esquerda (Igarapé do Anjo da Guarda, Igarapé do Tamancão, rio Itapecuruíba, rio Piancó e rio Bacanguinha).

Dentre os rios citados, o rio das Bicas merece ser destacado, pois apresenta os maiores problemas de drenagem, estes causados pelo processo desordenado de urbanização como mostram estudos relacionados a Bacias hidrográficas.

Os estudos do IMESC (2011) demonstram que os principais impactos negativos sofridos nas Bacias Hidrográficas da ilha que interferem diretamente na modelagem das feições geomorfológicas. Entre eles pode-se destacar: a compactação dos solos, desmatamento, poluição, erosão, além da ocupação desordenada nas áreas das nascentes dos rios. Entre as áreas mais conservadas da área de estudo, enquadram-se aquelas inseridas dentro do Parque Estadual do Bacanga.

METODOLOGIA

Levantamento bibliográfico

A bibliografia foi levantada na Biblioteca Central da Universidade Estadual do Maranhão e na Biblioteca Central da Universidade Federal do Maranhão, e no acervo pessoal do GEOMAP (Grupo de pesquisa Geomorfologia e Mapeamento). Os artigos também foram adquiridos junto ao portal de periódicos da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) e diretamente nos endereços eletrônicos das principais revistas nacionais e internacionais sobre a temática do assunto.

Trabalho de campo

As atividades de campo foram realizadas na bacia do rio Bacanga, tendo como objetivo a identificação e caracterização de duas voçorocas, com observação *in loco* da influência da ação antrópica sobre as unidades da paisagem, por esse tipo de degradação e registro fotográfico. Essas atividades também possibilitaram a coleta de amostras de solos para análise morfológica dos solos e, posteriormente para análise de laboratório (densidade do solo, densidade de

partículas e porosidade total).

Nas voçorocas identificadas (Torres e CEPROMAR) a partir das atividades de campo com utilização do GPS marca Garmin, foram coletadas amostras deformadas com a finalidade de descrever a morfologia das amostras (secas) no laboratório de acordo com os estudos Lemos e Santos (2015) e Oliveira (2011), como também, o preenchimento da respectiva ficha de descrição morfológica dos solos.

As amostras deformadas no talude da voçoroca Torres, foram coletadas no intervalo de 20 cm, totalizando 24 amostras; Na erosão linear do CEPROMAR foram coletadas amostras no intervalo de 20 cm, totalizando 12 amostras. Considerando um total de 36 amostras com a finalidade de analisar os parâmetros acima mencionados, essas mesmas 36 amostras foram utilizadas para as análises granulométricas. As amostras volumétricas (indeformadas) foram coletadas nas voçorocas CEPROMAR e Torres totalizando 8 amostras, destinadas à verificação das densidade do solo, densidade de partículas e porosidade, coletadas com o coletor volumétrico de bordas cortantes e com 100 cm³, nas profundidades de 10 cm. As amostras foram coletas em um anel volumétrico juntamente com o tomador de amostras de bordas cortantes.

Elaboração do mapa temático

O mapa de localização e de solos da bacia do Bacanga foram elaborados no *software* ARCGIS 10.2 (EFL999703439), adquiridos com verbas do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e FAPEMA (Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão). O mapa de localização, bem como a delimitação da bacia do rio Bacanga foi realizada com o auxílio do *software* ARCGIS 10.2 (EFL999703439), com utilização das cartas da DSG – ME (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército do Ministério do Exército) nº 13, 21, 22, 23, 29, 30, 31, 38 e 39, na escala de 1:10.000, com intervalo de curvas de 5 m, que cobrem a bacia em estudo.

O mapa de solo, na escala de 1:50.000, foi produzido a partir do mapeamento pedológico da Ilha do Maranhão disponibilizado no relatório do GERCO (MARANHÃO, 1998). Este mapa foi georreferenciado e vetorização no programa Arcgis 10.2 (EFL999703439), sendo sobrepostas às informações coletadas na área da bacia do Bacanga. As classes de solos identificadas na bacia foram adaptadas para a nova classificação brasileira de solos (EMBRAPA, 2018).

Análise de laboratório

As análises de laboratório foram realizadas nas dependências do Laboratório de Geociências e do Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento (GEOMAP) do Departamento de História e Geografia (DHG) da Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), considerando as seguintes características morfológicas dos solos: cor, textura, estrutura (forma e tamanho) consistência do solo (em condições seca, úmida e molhada), conforme os procedimentos metodológicos do manual de descrição e coleta de solo da EMBRAPA , (2017) (LEMOS e SANTOS, 2015) e o do capítulo Técnicas de Pedologia (OLIVEIRA, 2011) do livro Geografia: Práticas de Campo, Laboratório e Sala de Aula (VENTURI, 2011).

As análises das propriedades físicas dos solos coletados na bacia do rio Bacanga foram determinadas as seguintes propriedades: densidade do solo, densidade de partículas e porosidade total conforme manual de análise de solos da EMBRAPA (2017) e método do balão volumétrico segundo Blake e Hartge (1986) e Bowes (1986).

A determinação da cor 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.

A densidade do solo pode ser definida como sendo a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 105°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros. A

densidade do solo geralmente aumenta com a profundidade do perfil, pois, as pressões exercidas pelas camadas superiores pelas camadas superiores sobre as subjacentes, provocam o fenômeno da compactação, reduzindo a porosidade. (KIEHL, 1979).

Seja D_a a densidade do solo, M a massa em gramas e V o volume de centímetros cúbicos, por definição, temos que :

$$D_a = M/V \text{ g/cm}^3$$

A determinação da densidade de partículas do solo (D_p), aferiu-se o volume do balão volumétrico, pesou-se 20 g de TSFE (Terra Seca Fina em Estufa) e transferiu-se para balão volumétrico de 50ml, colocado na bureta aferida com o balão, álcool etílico até a marca do zero, colocou-se no balão com TSFE mais ou menos 25 ml de álcool, agitou-se o balão durante 1 minuto, para facilitar a penetração do álcool nos capilares do solo, deixou-se repousar por 15 minutos e completar o volume do balão com álcool etílico, fazer a leitura do nível de álcool na bureta (L), determinar o volume de TSFE usando a expressão: $V=50-L$ e calcular a densidade de partículas usando a expressão: $D_p= 20/V$ (BLAKE, 1986; BOWES, 1986).

A porosidade de um solo pode ser definida como sendo 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 aparente

A análise granulométrica do solo é o estudo do tamanho das partículas ou grãos que compõem o mesmo; faz-se distribuindo-se em diversas frações de minerais no solo, conforme seus tamanhos. Estas frações do solo são expressas em porcentagens de peso da amostra tomada. O método utilizado é o mais divulgado para efetuar a análise granulométrica de sedimentos grosseiros é o de peneiramento. Um peneiro para este tipo de análise sedimentologia consiste num suporte metálico (latão, alumínio, inox, etc.) cilíndrico que serve de suporte a uma rede (geralmente metálica mas que, em alguns casos, pode ser de outro material, designadamente plástico) de malha calibrada.

Análises granulométricas foram realizadas segundo os procedimentos abaixo:

- 1 Pesar 20 gramas de amostra de solo previamente destorroado em almofariz (porcelana).
- 2 Passou-se 20 gramas manualmente na peneira ASTM de malha nº 8;
- 3 O que passar da malha nº 8 deve ser colocado no agitador de peneiras SOLOTEST com as seguintes malhas (16,30, 50, 100, 200 mm e fundo);
- 4 Tampar e deixar por 30 minutos na frequência máxima (15).
- 5 Por último pesar o que ficar retido em cada malha para obter as frações granulométricas de cada amostra.
- 6 Frações utilizadas para o ensaio:
 - Seixo muito fino (ASTM 8);
 - Areia muito grossa (ASTM 16);
 - Areia grossa (ASTM 30);
 - Areia média (ASTM 50);
 - Areia fina (ASTM 100);

- Areia muito fina (ASTM 200);
- Silte e Argila (fundo).

Após obtenção das frações calcula-se o total em porcentagem de cada amostra; equipamentos utilizados: Almofariz com pilão, balança de precisão, cadinho de porcelana, vidro de relógio, agitador de peneiras Solotest, jogo de peneiras em aço inox ASTM nas malhas (8,16,30,50,100,200 e fundo).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

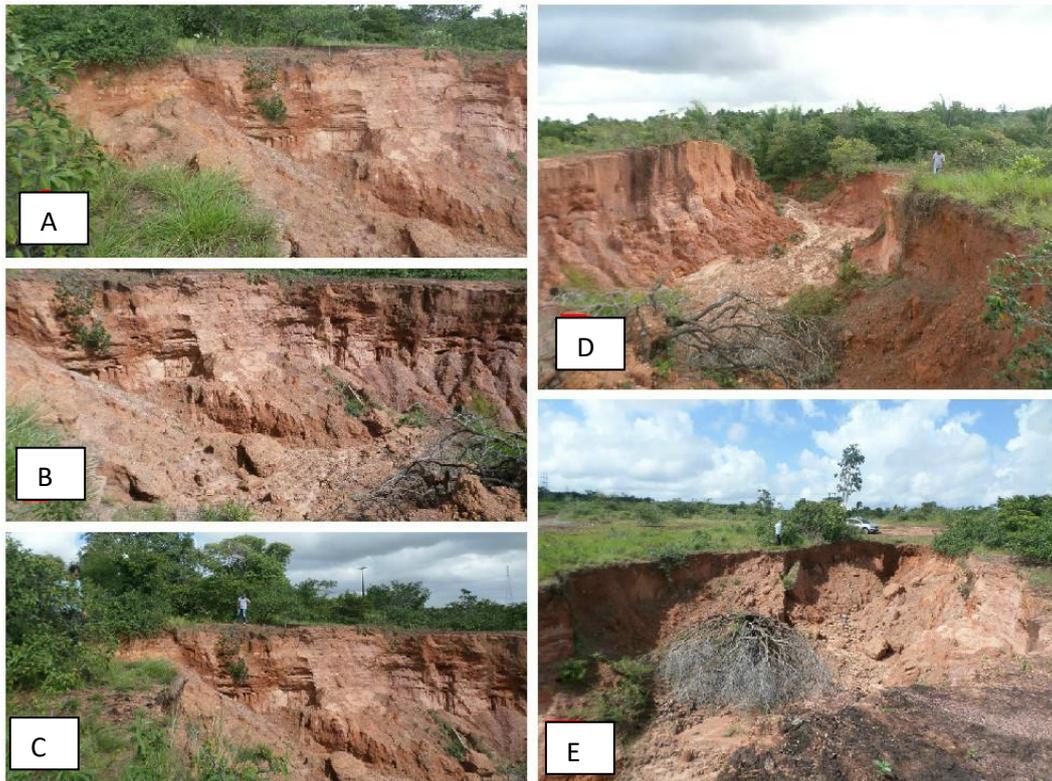
Análise das áreas degradadas por erosão

Ao longo da bacia do rio Bacanga, Município de São Luís, foram identificados processos erosivos acelerados : Torres (02° 36'10" S e 44° 16'23,2" W); e CEPROMAR (02° 33' 49,1" S e 44° 17'01,7" W). A voçoroca Torres no ano de 2014 (Figura 3); encontra-se dentro do Parque Estadual do Bacanga, com vegetação de porte arbórea nas áreas circunvizinhas e sua origem está associada a implantação das Torres da ELETRONORTE (Centrais Elétricas do Norte do Brasil), bem como a rede de drenagem pluvial artificial, que influenciaram a evolução dessa feição, na fotografia em questão mostra o início do processo erosivo em todas as bordas, observa-se a árvore (Figura 4) A referida erosão linear apresenta 27,13 m de largura; 67,70 m de comprimento e 4,80 cm de profundidade; ao longo dos anos de 2014 a 2015 vem sofrendo processos acelerado da erosão em questão; A- mostra que as bordas da voçoroca, ouve solapamento das encostas; B- o perfil com vários solapamentos e movimentos de massas; C e D –mostra a evolução das bordas, E- alargamento das bordas e o solo desnudo sem vegetação em uma das bordas.

Figura 3- Voçoroca Torres



Fonte: Os autores (2015).

Figura 4- Evolução da feição erosiva Torres

Fonte: Os autores (2016)

A voçoroca CEPROMAR (Figura 5) está localizada na bacia do rio Bacanga, próximo à empresa privada CEPROMAR (Centro Educacional e Profissionalizante do Maranhão), com 25 m de largura, 45 m de comprimento e 2,40 m de profundidade aproximadamente, com estratificação diferenciada com cores variando em tons de amarelo e laranja, com vegetação secundária mista no topo.

Figura 5 - feição erosiva CEPROMAR

Fonte: Os autores (2016).

Nas voçorocas analisadas na bacia do Bacanga foram feitas a identificação das cores segundo Munsell (2009). No perfil da voçoroca Torres (4m 80 cm de profundidade) as cores que predominam são o Bruno avermelhado (2.5YR 5/3), Vermelho (2.5YR 4/8) e amarelo avermelhado (5YR 6/8). As cores avermelhadas indicam boa drenagem e arejamento do solo, permitindo a existência de condições de oxidação para formar óxidos, já a cor bruno avermelhado está ligada à presença de goetita e de um pouco de hematita (RUELLAN e DOSSO, 2003). No perfil da voçoroca CEPROMAR (2 m e 40 cm de profundidade) as cores que predominam são o Vermelho (2.5YR 4/6) e Amarelo avermelhado (7.5YR 5/8).

A textura na voçoroca Torres, encontrada variou entre média e arenosa . A erosão linear do CEPROMAR a textura dominante é arenosa. Na voçoroca Torres a forma é predominantemente subangular ; No processo erosivo do CEPROMAR , a forma dominante é subangular, com exceção do P2 (40 cm) que possui a forma laminar e tamanho com predominância média e pequena com exceção da profundidade P2 (40 cm), na qual o tamanho é grande .

Na voçoroca Torres, a consistência predominante no solo seco é macia, com exceções das profundidades P4 (80 cm) que é extremamente dura, P8 (1,60 cm) muito dura e P14 (2,80 cm) P16 (3,20 cm) que é solta; no solo úmido a predominância é do muito friável, com exceções das profundidades P4 (80 cm) extremamente firme e P8 (1,60 cm) e P13 (2,60 cm) que são firme; no solo molhado a predominância da ligeiramente plástica, com exceções das profundidades P8 (1,60 cm), P10 (2 m), P11(2,20 cm), plástica, P21 (4,20 cm), P22(4,40 cm) que foram todas classificadas como não plástica e quanto a pegajosidade são ligeiramente pegajosa a voçoroca do CEPROMAR possui consistência do solo seco com predominância macia, com exceção do P4 (80 cm) muito dura, no solo úmido a predominância é muito friável e extremamente firme, com exceções do P4 (80 cm) que é firme, no solo molhado a predominância é ligeiramente plástica e não plástica, com exceção do P5 (1 m) que é plástica e quanto a pegajosidade são ligeiramente pegajosas .

Densidade do solo, partícula e porosidade total

A determinação da densidade do solo permitiu avaliar certas propriedades do solo, como a densidade de partículas e porosidade das amostras analisadas. Os valores encontrados para a densidade do solo representa o estado atual do solo, passível de variação para mais devido a compactação, ou menos, pela incorporação de matéria orgânica. Outro fator que influencia a densidade do solo é o manejo de solo, que dependendo do tipo, pode aumentar a compactação do solo, facilitando o encrostamento e a formação de processos erosivos acelerados.

Os resultados da densidade do solo (Ds) variaram entre 1,65 a 1,86 g/cm³ nos dois processos erosivos analisados (Tabela 1). Os solos com Ds 1,7 a 1,8 g/cm³ dificultam a penetração das raízes e dificultam a infiltração da água, como nas amostras 1, 3, 4 (CEPROMAR), e 7 e 8 (Torres). Em relação à presença de matéria orgânica, esta foi encontrada nas amostras 2 e 3 (CEPROMAR), 5, 6, 7 e 8 (Torres), sendo um bom indicador para a formação de agregados no solo, com conseqüentemente aumento da porosidade e infiltração.

A densidade de partículas refere-se ao volume de sólidos de uma amostra de terra, sem considerar a porosidade. Os resultados demonstram que a densidade de partículas das variaram entre os limites 2,5 g/cm³ na voçoroca Torres a 2,70 g/cm³ na mesma voçoroca (Tabela 1). O valor médio da densidade de partículas está em torno de 2,62 g/cm³, está em conformidade com os estudos de Kiehl (1979), indicando os constituintes minerais predominantes dos solos, como o quartzo, os feldspatos e os silicatos de alumínio coloidais, cujas densidades reais estão em torno de 2,65.

Em relação à porosidade, o menor valor é de 26% encontrada na voçoroca CEPROMAR e o maior valor foi encontrado na voçoroca Torres de 38%. Quanto menor a porosidade, menor será

a capacidade de a água infiltrar no solo, e conseqüentemente, maior será o escoamento superficial (Tabela 1).

Tabela 1- Resultado da Densidade do solo, partículas e porosidade total voçorocas CEPROMAR e Torres.

Amostras	Voçorocas	Densidade do solo (cm ³)	Densidade De partículas (g/cm ³)	Porosidade Total (%)
1	CEPROMAR	1.71	2,56	33
2		1.69	2,66	36
3		1.86	2,5	26
4		1.76	2,66	33
5		1.65	2,70	38
6	Torres	1.65	2,70	38
7		1.76	2,66	33
8		1.82	2,5	27,2

Org. Autor 2016.

Análise Granulométrica do solo

A análise granulométrica de um solo consiste na determinação da distribuição do tamanho das partículas em classes denominadas de areia, silte e argila. Trata-se de uma característica de extrema importância para as propriedades físicas de um solo. Foi possível caracterizar as frações granulométricas das amostras de solo coletadas, fazendo assim uma análise concisa das quantidades de seixo, areia, argila e silte em cada amostra as duas voçorocas em estudo (Torres e CEPROMAR).

A fração granulométrica predominante na voçoroca Torres, segundo dados da pesquisa, variou entre areia média, chegando à 51,61% (P23) e areia fina, atingindo à 69,73% (P24). Os valores de seixos variaram entre 0,30% (P24) à 14,30% em (P19), areia muito grossa variando de 0,10% (P16) e de 6,03% na amostra (P5), areia grossa 0,30% (P14) e de 14,32% (P24), areia muito fina 7,00% (P4) e 69,26% (P16), silte e argila o menor percentual correspondendo à 1,59% (P6) a 19,88% (P19). Nas profundidades analisadas houve homogeneidade na distribuição granulométrica, com predomínio da fração areia média, silte e argila nas amostras coletadas (Tabela 2).

Sathler *et al.* (2009) também analisando sobre as frações granulométricas de quatro voçorocas na Ilha do Maranhão (Araçagy, Bacanga (Batatã), Coeduc e Sacavém) encontraram os seguintes resultados:

Predominância da fração areia em todas as feições, o que determina a maior representação percentual de classes arenosas. Maiores percentuais de argila são encontrados no Araçagy, onde se observam camadas argilosas plásticas e muito plásticas (tátil) em profundidades abaixo de três metros, com espessuras superiores a um metro. As demais feições apresentam quase a totalidade de amostras com percentuais de argila abaixo dos 25%, bem como altos percentuais de areia fina e/ou silte. Embora nestes casos as camadas argilosas também estejam presentes, são menos representativas, sendo menos espessas (SATHLER *et al.*, 2009).

Tabela 2- Análise granulométrica do solo da voçoroca Torres

AMOSTRAS	SEIXO (%)	AREIA (%)					SILTE e ARGILA (%)	TOTAL (%)
	muito fino	muito grossa	grossa	média	fina	muita fina		
P1 (20CM)	5,64	1,38	4,03	24,28	43,02	16,89	3,72	98,94%
P2 (40 CM)	2,55	0,99	2,99	27,8	41,7	14,2	6,92	97,15%
P3 (60 CM)	3,57	2,01	4,82	31,27	30,08	19,08	7,97	98,79%
P4 (80 CM)	11	6	10	32	19	7	15	100,00%
P5 (1,00 CM)	-	6,03	7,06	40,64	22,55	13,57	9,54	99,38%
P6 (1,20 CM)	3,1	0,81	2,81	25,49	40,99	20,67	1,59	95,45%
P7 (1,40 CM)	0,41	0,49	1,73	17,99	20,17	50,53	8,01	99,31%
P8 (1,60 CM)	1,14	1,01	3,69	11,24	46,36	32,67	2,94	99,04%
P9 (1,80 CM)	0,57	0,7	2,19	10,69	34,37	42,6	8,04	99,15%
P10 (2,00CM)	1,42	0,6	1,75	5,22	16,39	66,86	5,68	97,90%
P 11 (2,20CM)	1,86	0,49	1,59	4,97	69,73	18,1	2,64	99,36%
P12 (2,40CM)	0,33	0,77	1,16	2,44	31,64	59,31	4,26	99,90%
P13 (2,60CM)	6,76	5,24	7,96	12,82	16,92	28,99	19,88	98,57%
P14 (2,80CM)	-	0,15	0,3	0,87	20,1	67,98	10,33	99,71%
P15 (3,00CM)	0,53	1,15	5,67	46,96	27,86	14,54	2,81	99,50%
P16 (3,20CM)	-	0,1	0,36	2,48	12,48	69,26	14,96	99,62%
P17 (3,40CM)	5,85	0,5	0,75	10,85	42,72	32	5,84	98,50%
P18 (3,60CM)	1,17	1,8	1,99	5,26	13,66	66,41	9,27	99,54%
P19 (3,80CM)	14,3	2,23	2,98	7,42	18,91	42,62	10,98	99,44%
P20 (4,00CM)	2,26	1,73	4,28	19,58	50,94	17,97	2,41	99,16%
P21 (4,20CM)	0,45	3,18	11,2	39,91	11,14	26,94	6,47	99,27%
P22 (4,40CM)	1,97	0,82	8,86	42,71	8,27	31,4	5,39	99,41%
P23 (4,60CM)	-	1,06	10,61	51,61	9,95	21,38	4,87	99,48%
P24 (4,80CM)	0,3	4,04	14,32	47,15	11,7	18,01	4,03	99,53%

A fração granulométrica predominante na voçoroca CEPROMAR, segundo dados da pesquisa, variou entre areia média, areia fina, muita fina e silte e argila todas as frações encontradas na amostra (P3) com 62,13%, seixo variou de 0,02 % (P11) à 11,23% (P5), areia muito grossa 0,08% (P12) à 35,71% (P9) areia grossa 0,02 % (P11) à 17,84% (P4) (Tabela 3).

Os teores de argila no solo podem apresentar uma resistência em sofrer erodibilidade, pois as partículas de argilas tem as seguintes peculiaridades segundo Belinazzi *et al.*(1991):

É a que possui maior superfície específica de contato entre as partículas de solo, apresenta ainda cargas elétricas negativas responsáveis em sua grande maioria pela Capacidade de Troca Catiônica (CTC). Favorecendo com isto a sua ligação com cátions positivos, favorecendo ainda uma maior agregação deste solo, bem como uma maior quantidade quanto ao valor de Saturação por Bases (BELINAZZI *et al.*,1991).

De acordo com Bezerra (2011) o predomínio das frações argila e silte pode facilitar o processo de impermeabilização das camadas superficiais, a partir do deslocamento das partículas do solo pela erosão por salpicamento, nas superfícies sem cobertura vegetal, que selam os poros do solo, formando encrostamento e diminuindo as taxas de infiltração, e conseqüentemente, acelerando a geração do escoamento superficial.

Em se tratando do silte, pesquisas realizadas por diferentes estudos vêm comprovando que solos mais siltosos tem maior suscetibilidade à erosão (GUERRA, 1990, 1996, 1999; MORGAN, 1981; e POESEN *et al.*,1999). As argilas às vezes dificultam a infiltração, mas são difíceis de serem removidas (CUNHA, 2006).

Tabela 3: Análise granulométrica do solo da voçoroca CEPROMAR

AMOSTRAS	SEIXO (%)	AREIA (%)					SILTE e ARGILA (%)	TOTAL (%)
	muito fino	muito grossa	grossa	Média	fina	muita fina		
P1 (20CM)	1,22	0,4	2,95	10,73	10,73	10,73	10,73	99%
P2 (40 CM)	1,73	1,15	5,82	14,1	14,1	14,1	14,1	99,08%
P3 (60 CM)	0,29	0,45	6,2	62,13	62,13	62,13	62,13	99,32%
P4 (80 CM)	4,65	2,58	17,84	39,38	39,38	39,38	39,38	100,36%
P5 (1,00CM)	11,23	11,59	16,49	18,62	18,62	18,62	18,62	98,37%
P6 (1,20CM)	1,96	4,9	10,03	19,69	19,69	19,69	19,69	98,45%
P7 (1,40CM)	2,71	2,42	5,38	45,86	45,86	45,86	45,86	98,91%
P8 (1,60CM)	1,15	2,59	8,93	37,8	37,8	37,8	37,8	98,70%
P9 (1,80CM)	0,86	35,71	0,86	35,71	35,71	35,71	35,71	99,10%
P10(2,00CM)	0,11	12,23	0,11	12,23	12,23	12,23	12,23	99,47%
P11(2,20CM)	0,02	1,46	0,02	1,46	1,46	1,46	1,46	98,69%
P12(2,40CM)	0,08	0,08	0,25	8,61	8,61	8,61	8,61	91,35%

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A descrição das características morfológicas de solo no laboratório é imprescindível na estruturação de um sistema de classificação de solo, tanto pela necessidade de se conhecer o solo como também para se estabelecer atributos taxonômicos indispensáveis ao agrupamento das classes de solo. Os resultados sobre a densidade do solo, partículas e porosidade indicaram um solo compactado, com a presença de encrostamento, que alteram a estrutura superficial do solo, causando à diminuição da infiltração, e conseqüentemente, a aceleração dos processos erosivos. A fração granulométrica presente nos dois processos erosivos destaca-se a areia muito fina.

Foram identificados dois processos erosivos dentro da bacia do rio Bacanga, com as mais diferentes tipologias de solos, com características de baixa fertilidade natural e com presença de atributos físicos e morfológicos favoráveis à ampliação destas voçorocas. Os impactos provocados pelas feições erosivas estão associados ao assoreamento dos cursos d'água, a imposição de risco e prejuízo às comunidades que vivem e utilizam esses recursos. Todos esses fatores estão relacionados à ausência de um manejo conservacionista e à falta de planejamento das atividades urbanas.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela concessão de Bolsa de Iniciação Científica – PIBIC/CNPq, FAPEMA e UEMA.

REFERÊNCIAS

- BELLINAZZI, R.; BERTOLINI, D.; ESPINDOLA, C. R.; & LEPSCH, I. F. Manual Para Levantamento Utilitário do Meio Físico e Classificação de Terras no Sistema de Capacidade de Uso. Campinas, 173p, 1991.
- BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. Conservação do solo. 7. ed. Ícone: São Paulo, 2010.
- BEZERRA, J. F. R. Geomorfologia e Reabilitação de Áreas Degradadas por Erosão com Técnicas de Bioengenharia de Solos na Bacia do Rio Bacanga, São Luís – MA. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2011. p, 249
- 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.
- CUNHA, K. L. Diagnóstico das áreas suscetíveis à erosão na bacia hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu (Viçosa – MG) como subsídio à conservação do solo e da água. Monografia (Graduação). Curso de Geografia. Universidade Federal de Viçosa. 74 p., 2006.
- DALVAN, J. R.; REICHERT, J. M. Propriedades físicas do solo. Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais. Santa Maria, 2006.
- DERAKHSHAN-BABAEI, F., NOSRATI, K., MIRGHAED, F. A., & EGLI, M. (2021). The interrelation between landform, land-use, erosion and soil quality in the Kan catchment of the Tehran province, central Iran. *CATENA*, 204, 105412. Disponível: <<https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105412>>. Acesso 10.01.2023.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 2018. p. 286
- EMBRAPA. Manual de Métodos e Análises Solo. Rio de Janeiro, EMBRAPA/SNLCS. 2017. p. 225
- FERREIRA, V. M. Voçorocas no município de Nazareno, MG: origem, uso da terra e atributos do solo. Dissertação (Mestrado). Lavras: UFLA, 2005. p.96
- GOMES, G. L. M. Diagnóstico de áreas degradadas por voçorocas no município de Alterosa-MG. Dissertação (Mestrado) 2006. 68p. Ribeirão Preto.
- GUERRA, A. J. T. O papel da matéria orgânica e dos agregados na erodibilidade dos solos. In: Anuário do instituto de geociências, 13, p. 43-52, 1990.
- GUERRA, A. J. T. e BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. Anuário do Instituto de Geociências. V. 19, p 93-114, 2012.
- GUERRA, A. T. e GUERRA, A. J. T. Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015. p. 325.
- GUO, M., CHEN, Z., WANG, W., WANG, T., WANG, W., & CUI, Z. (2021). Revegetation induced change in soil erodibility as influenced by slope situation on the Loess Plateau. *Science of The Total Environment*, 772, 145540. Disponível: em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145540>. Acesso 10.01.2023.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual Técnico de Pedologia. 2ª Edição, Rio de Janeiro, 2015.
- IMESC. Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos. Situação Ambiental da Ilha do Maranhão – São Luís, 2011.

JIANG, C., FAN, W., YU, N. ; LIU, E. (2021). Spatial modeling of gully head erosion on the Loess Plateau using a certainty factor and random forest model. *Science of The Total Environment*, 783, 147040 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147040>.

JIN, F., YANG, W., FU, J., ; LI, Z. (2021). Effects of vegetation and climate on the changes of soil erosion in the Loess Plateau of China. *Science of The Total*

Environment, 773, 145514. Disponível: < <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145514>>. Acesso em: 10.01.2023.

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

LABOHIDRO. Laboratório de Hidrobiologia da Universidade Estadual do Maranhão. Relatório Técnico: Diagnóstico Ambiental do Estuário do rio Bacanga, Ilha de São Luís –MA. São Luís, 1998.

LEMOS, R. C. e SANTOS, R. D. Manual de descrição e coleta de solo no campo. SBCS e Embrapa CNPS, Viçosa. 2005. 83 p.

LESPCH; I. F. Morfologia: organização do solo como corpo natural. In: LESPCH; I F. 19 Lições de Pedologia. São Paulo: Oficina de textos, 2011.

MMT, Planejamento e Consultoria. Relatório de Consultoria Ambiental. Programa de recuperação e melhoria da qualidade de vida do Bacanga. São Luís, 2007. p. 83

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

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

OLIVEIRA, D. Técnicas de Pedologia. In: VENTURI, L. A. B. (Org.) Geografia: práticas de campo, laboratório e sala de aula . Editora Sarandi, São Paulo, 2011.

OLIVEIRA, M. A. T. de. Processos Erosivos e Preservação de Áreas de Risco de Erosão por Voçorocas. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012 . p. 57-99.

POESEN, J.; DE LUNA, E.; FRANCA, A.; NACHTERGAELE, J. & GOVERS, G. Concentrated flow erosion rates as affected by rock fragment cover and initial soil moisture content. In: *Catena*, 36, p. 315–329. 1999.

SATHLER, R.; POLIVANOV, H.; GUERRA, A. J. T. & BARROSO, E. V. Caracterização de Voçorocas na Ilha do Maranhão. In: *Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ*, 32, 2009.

SILVA, V. R.; REINERT, D. J.; REICHERT, J. M. Densidade do solo, atributos químicos e sistema radicular do milho afetados pelo pastejo e manejo do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.24, p.191-199, 2000.

SILVA, Quésia Duarte da. Mapeamento Geomorfológico da Ilha do Maranhão. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Presidente Prudente: [s.n], 2012.

RUELLAN, A.; DOSSO, M. SOLDIDAC Educagri editions-AUF 2003.