

MAPEAMENTO DA SUSCEPTIBILIDADE A EROSÃO DOS MATERIAIS INCONSOLIDADOS AGRAVADO PELO ESCOAMENTO SUPERFICIAL NA BACIA DO RIO LONTRA – TO

MAPPING SUSCEPTIBILITY TO EROSION OF UNCONSOLIDATED MATERIALS AGGRAVATED BY RUNOFF IN THE LONTRA RIVER BASIN – TO

Glacielle Fernandes MEDEIROS¹, Felipe Araujo de SOUSA²,
Lucas Emerson Trajano VALADARES³, Suellen Sousa SILVA⁴

1 Professora, Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Araguaína, Brasil. E-mail: glacielle@itpac.br.

2 Docente. Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Araguaína, Brasil. E-mail: felipeengcivil8@gmail.com.

3 Docente. Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Araguaína, Brasil.
E-mail: lucasmerson8@gmail.com.

4 Docente. Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos, Araguaína, Brasil.
E-mail: suellensousasilva1@outlook.com.

RESUMO: Os processos erosivos provocados por processos hídricos nos solos constituem-se em um processo natural, que ocorre em função de fatores climáticos, geológicos, geomorfológicos e pedológicos, que podem ser acelerados por ações antrópicas. A análise geológico-geotécnica de tais fenômenos é fundamental para a elaboração de um correto diagnóstico da evolução da erosão e seus fatores condicionantes. Esta pesquisa tem por objetivo a investigação dos terrenos da Bacia do Rio Lontra, localizado dentro do município de Araguaína – TO, quanto à erodibilidade dos materiais inconsolidados existentes, por meio da análise do solo local e mapeamento. Para atingir tais objetivos, foram executados ensaios de caracterização do solo, ensaios de solos tropicais, e para identificar o grau de erodibilidade dos materiais inconsolidados adotou-se os ensaios de desagregação. As cartas geotécnicas foram confeccionadas a partir dos dados fornecidos pelo banco de dados SRTM Banda X, resultando em mapas de hipsometria, curvaturas, declividade e forma do terreno, que permitem estudar, indiretamente, o fenômeno investigado correlacionado os resultados obtidos através dos ensaios. Por meio de ensaios geotécnicos, que foram posteriormente associados à documentação cartográfica básica, buscou-

se analisar a resistência dos solos à desagregação e transporte dos materiais, no que diz respeito ao escoamento superficial.

Palavras-chave: Escoamento Superficial. Mapeamento Geotécnico. Materiais Inconsolidados. Processo Erosivo. Solos Tropicais.

ABSTRACT: The erosive processes caused by water processes in soils are a natural process, which occurs due to climatic, geological, geomorphological and pedological factors, which can be accelerated by anthropic actions. The geological-geotechnical analysis of such phenomena is fundamental for the elaboration of a correct diagnosis of the evolution of erosion and its conditioning factors. This research aims to investigate the lands of the River Lontra Basin, located within the municipality of Araguaína - TO, regarding the erodibility of existing unconsolidated materials, through the analysis of the local soil and mapping. In order to achieve these objectives, soil characterization tests, tropical soil tests were carried out, and to identify the degree of erodibility of the unconsolidated materials, the disaggregation tests were adopted. The geotechnical charts were made from data provided by the SRTM Banda X database, resulting in hypsometry, curvature, slope and terrain shape maps, which allow the indirect study of the investigated phenomenon correlated with the results obtained through the tests. Through geotechnical tests, which were later associated with basic cartographic documentation, we sought to analyze the resistance of soils to the breakdown and transport of materials, with regard to runoff.

Keywords: Surface Runoff, Geotechnical Mapping, Unconsolidated Materials, Erosive Process, Tropical Soils.

1. INTRODUÇÃO

Erosões são caracterizadas por fenômenos provocados por alterações em minerais rochosos, que passam por fragmentações, seguido de desintegração do solo. Segundo Camapum *et. al.* 2006, a capacidade de perda de massa de solo se dá em função da intensidade da chuva, declividade do terreno, erodibilidade do solo, escoamento, gradiente crítico, geologia e geomorfologia da área em estudo.

Para esta pesquisa foi considerada apenas a análise geotécnica a partir dos ensaios laboratoriais e do estudo das variáveis altimétricas obtidas por meio do banco de dados SRTM Banda X.

Lidia *et al.* (2009) descreve que há processos erosivos que podem ter relação com ações geológicas naturais, e processos de erosões mais aceleradas provocada pela ação humana, devido aos processos de urbanização decorrente da retirada da camada superficial do solo.

O Estado do Tocantins localiza-se no norte do País, constituído aproximadamente de 1.383.445 habitantes segundo dados do IBGE de 2010. Araguaína possui 26.493 km², e localiza-se a 400 km da capital Palmas e o município possui aproximadamente 150.484 habitantes (SEPLAN, 2012).

A cidade é constituída pela bacia do Rio Lontra que apresenta pontos com potencial de susceptibilidade a erosão, há três pontos distintos dentro da bacia que foram estudados nesta pesquisa, o primeiro está situado ao fundo da Centro Universitário Tocantinense Presidente Antônio Carlos (UNITPAC) na coordenada 7°12'38.5"S e 48°14'05.8"W, o segundo as margens do Ribeirão Lontra no setor Jardim Paulista com coordenadas 7°13'12.0"S e 48°12'03.4"W, o terceiro encontra-se na Rua Arruda com coordenadas 7°11'56.1"S e 48°11'27.4"W.

A cada novo ciclo de chuva na região o solo é carregado, agravando a situação das erosões as margens do rio Lontra. As erosões próximas ao UNITPAC e ao Jardim Paulista, localizam-se em pontos mais distantes de zonas habitacionais, não comprometendo a vida de moradores. A Rua Arruda paralela a TO-222 encontra-se próximo a

residências o que pode comprometer a vida da comunidade local caso o problema se agrave.

O estudo geológico-geotécnico desse da bacia justifica-se para a elaboração de um correto diagnóstico da evolução das erosões e de seus fatores condicionantes, além de auxiliar na definição de medidas corretivas menos onerosas e mais eficientes.

Levando em consideração essas circunstâncias, este artigo visa analisar a susceptibilidade a erosão pelo escoamento superficial da Bacia do Rio Lontra – TO por meio de mapeamento geotécnico.

2. METODOLOGIA

Como descrito anteriormente, para análise das características geotécnicas da área em estudo, inicialmente foram coletadas 3 amostras de solos ao longo da bacia do Rio Lontra. As amostras foram nomeadas AM-01, AM-02 e AM-03. A amostra AM-01 foi coletada próximo ao Ribeirão Lontra, a segunda amostra AM-02 no Jardim Paulista, e a terceira amostra AM-03 foi coletada no correjo Baixa Funda, como pode ser observado no mapa de identificação das amostras na Figura 1.

Figura 1: Amostragem em Araguaína, TO.



Para análise geotécnica e estudo do grau de erodibilidade das amostras foram executados ensaios de caracterização e erodibilidade, no qual foram unidos a modelagem digital do terreno.

Para os ensaios de caracterização as amostras foram preparadas de acordo com a NBR 6457 (ABNT, 2016). A massa específica dos grãos de solo que passam na peneira 4,8 mm foi determinada com base na NBR 6458 (ABNT, 2017). A análise granulométrica foi realizada a partir da NBR 7181 (ABNT, 2016).

Dentre os ensaios específicos para solos tropicais foi adotado o ensaio de Pastilha segundo metodologia DERSA (2006) e por fim foi executado ensaios de desagregação para análise da resistência a erodibilidade conforme Camapum de Carvalho et al. (2006).

O ensaio de pastilha possibilita a classificação de solos tropicais, sendo laterítico

ou não-laterítico, os resultados foram analisados conforme o índice de contração diametral do solo e perfuração provocados por um tipo específico de agulha, o estudo consiste em uma metodologia de identificação da DERSA (Desenvolvimento Rodoviário S.A), pelo MCT (Miniatura Compactada tropical) que foi criada por Nogami e Villibor (1980).

Segundo Nogami e Villibor (1980), as classificações MCT são divididas em dois grupos, os com características laterítica e os de características não-laterítica.

Para o estudo da erodibilidade dos solos foram coletadas amostras de solos indeformadas e realizados os ensaios de desagregação.

O ensaio de desagregação foi executado nas três amostras coletadas, no qual, em cada ponto foram retiradas amostras indeformadas para verificação de erodibilidade dos solos.

Segundo Camapum de Carvalho *et al.* (2006), o ensaio de desagregação possibilita indicar qual o comportamento do solo com relação ao índice de erosividade e suas propriedades.

A metodologia adotada para o ensaio de desagregação foi proposta por Santos (1997), que afirma que o ensaio pode ser executado de duas formas, por imersão total ou parcial, em amostras indeformadas de solo, no formato de cubos de aproximadamente 6 cm de arestas. No ensaio de imersão total, a amostra é inundada completamente, a partir da base do corpo de prova por 24h. No ensaio de imersão parcial, a amostra é colocada sobre uma pedra porosa, com o nível da água na altura do topo da mesma por trinta minutos. Em seguida, o nível da água é aumentado gradativamente, adicionando-se água até atingir 1/3, 2/3 e completa imersão do CP, aguardando 15 minutos em cada uma das etapas, sendo que após a completa imersão mantém-se a amostra inundada por 24 h. Concluindo o ensaio, a análise é realizada por observação e descrita.

Para o ensaio de imersão total, foram moldados dois corpos de prova. No intuito de reduzir o efeito da pressão positiva no solo e analisar o efeito da mesma diante dos diferentes tipos de solo estudados ao longo de toda bacia, foram executados dois ensaios por imersão total em cada amostra. A primeira amostra foi analisada na umidade natural e a segunda amostra foi submetida inicialmente ao processo

de pré-saturação por ascensão capilar.

Durante o processo de saturação a amostra foi disposta por um período de 24h sobre uma pedra porosa, com o nível da água na altura do topo da mesma, garantindo assim a completa saturação de cada um dos blocos, posteriormente a amostra foi completamente inundada com água por mais 24 h.

O software Qgis é um programa livre, que permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados. Para a elaboração dos mapas analisados nesta pesquisa, foram retiradas informações a partir do banco de dados do SRTM Banda X. Os mapas elaborados foram de hipsometria, declividade, curvatura vertical, curvatura horizontal e forma do terreno, todos os mapas verificam fatores importantes para a análise da bacia, visto que são fundamentais para possíveis relações com os processos erosivos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Ensaios de Caracterização

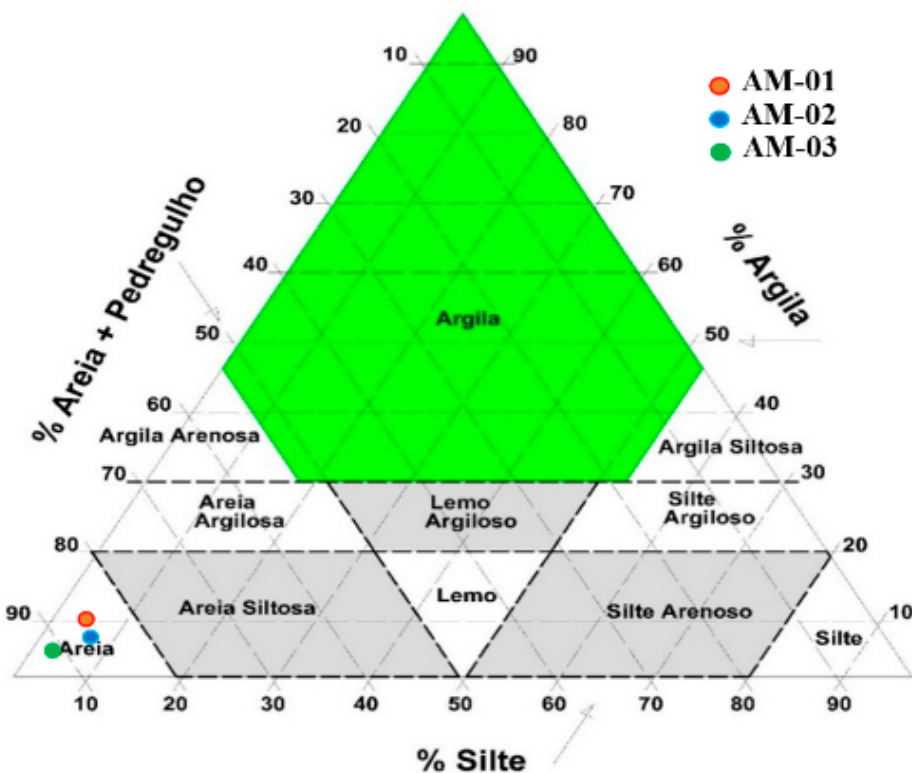
Feitos os ensaios, puderam-se obter os resultados dispostos na Tabela 1, sendo possível identificar maior concentração da fração Areia em todas as amostras. A partir do diagrama a seguir (Figura 2), pode-se determinar a classificação trilinear dos solos, sendo as três amostras classificadas como areia.

Tabela 1. Análise granulométrica dos solos amostrados.

Solo	γ (kN/m ³)	% Areia	% Silte	% Argila	% Pedregulho
AM-01	2,69	66,61	3,06	10,75	19,58
AM-02	2,66	57,13	6,61	6,82	29,43
AM-03	2,57	92,96	3,83	3,21	0

Fonte: Os autores (2020)

Figura 2: Classificação da amostra do talude segundo Diagrama triangular de Feret.



3.2. Ensaios de erodibilidade

De acordo com o método da pastilha para identificar a plasticidade do solo, molda-se cilindros de 3 mm com 4 cm de comprimento, o que foi possível moldar com certo grau de dificuldade apenas na AM-01, sendo as AM-02 e AM-03 os solos foram classificados como não plásticos. As amostras apresentaram pouca expansão, bem como mínima contração diametral. Além disso, a agulha penetrou completamente o solo AM-01, pouco no AM-02 e nada no AM-03.

Sabendo assim, é possível classificar os solos de acordo com a classificação MCT, como mostra a Figura 3.

Figura 3. Classificação MCT dos solos.

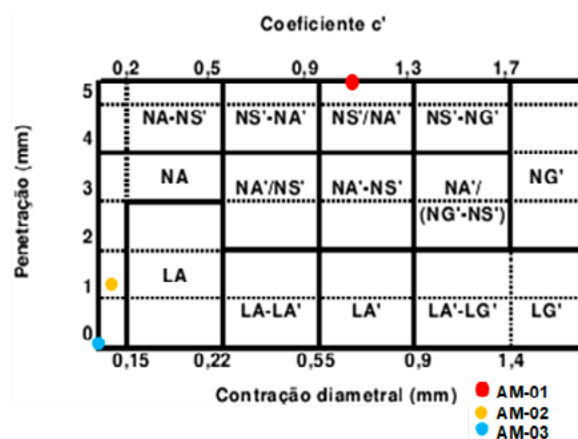


Figura 3. Classificação MCT dos solos.

Fonte: Os autores (2020).

Pelo diagrama, a amostra AM-01 pode ser classificada como não-laterítico arenoso (NS'/

NA') e as amostras AM-02 e AM-03 como areias não-lateríticas (NA).

Villibor *et al.* (1986) define como solos erodíveis aqueles classificados como NS', como potencialmente erodíveis solos LA e LA' e como resistentes à erosão os solos LG'. As outras classes têm a erodibilidade condicionada a outras propriedades, dificultando a estimativa de comportamento frente a processos erosivos pela classificação MCT. A amostra AM-01 foi classificada como erodíveis. As amostras AM-02 e AM-03 foram classificadas apenas como areias não-lateríticas (NA), apresentando outras propriedades o que dificulta a previsão de comportamento diante de processos erosivos, assim não sendo classificada como proposto por Villibor, Nogueira e Fabbri (1986).

Os ensaios de desagregação foram executados por imersão total na umidade natural, com pré-saturação e por imersão parcial. Quando ensaiadas, as amostras dos três solos por imersão total resultaram em dispersão, já que o corpo de prova se desintegrou e as partículas foram dispersas, como se vê na Figura 4.

Figura 4. AM-01 disperso por imersão total.



Fonte: Os autores (2020).

Quando ensaiados por imersão total com pré-saturação, pôde-se observar que AM-01 e AM-03 não apresentaram resposta, mantendo a forma original como visto na Figura 5, enquanto AM-02 apresentou fraturamento ao final do ensaio.

Figura 5. AM-01 após fraturamento por imersão parcial.



Fonte: Os autores (2020).

Nos ensaios por imersão parcial a amostra AM-01 começou a fraturar após 1 hora, de acordo com a Figura 6. AM-02 já apresentou fraturamento nos 30 minutos iniciais, chegando ao abatimento após 45 minutos. AM-03 apresentou dispersão aos 45 minutos de ensaio. Todos os corpos de prova terminaram às 24 horas com dispersão total da amostra.

Figura 6. AM-01 sendo ensaiada por capilaridade.



Fonte: Os autores (2020).

No ensaio por imersão total na umidade natural durante a inundação a fase de ar é contínua, na qual a água quando penetra no solo por ascensão capilar e envolve todo o corpo de prova, acaba por submeter a amostra à redução de volume o que provoca o aparecimento de pressão positiva, levando à ruptura do corpo da amostra sempre que a pressão na fase ar ultrapassar a coesão do solo.

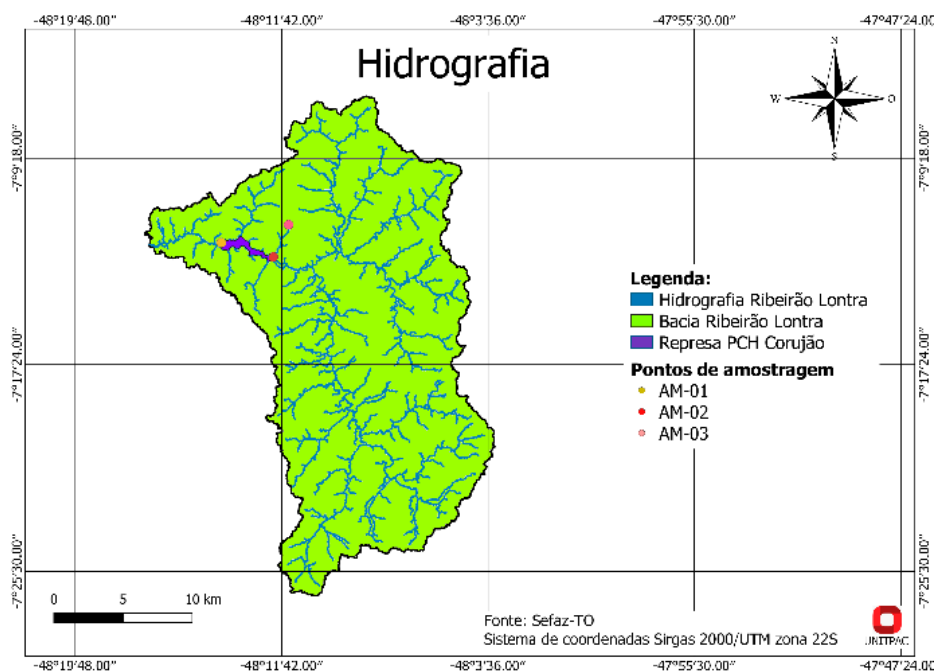
No ensaio de imersão parcial, a saturação do corpo de prova é progressiva e em intervalos pré-determinados, fazendo com que o processo de compressão do ar, mesmo que contínuo no início da saturação expulse as bolhas de ar por capilaridade à medida que o nível da água é elevado, justificando uma maior resistência do solo no ensaio por imersão parcial quando comparado ao ensaio de imersão total na umidade natural.

No ensaio de imersão total com pré-saturação de 24h nota-se a remoção das bolhas de ar durante esse processo. Sendo assim, quando o corpo de prova foi submetido ao processo de inundação total, todos os efeitos provocados pelo surgimento de pressões positivas foram desconsiderados, fazendo com que o solo apresentasse maior resistência a erodibilidade.

3.3. Variáveis altimétricas

A bacia e a hidrografia do Ribeirão Lontra foi delimitada através dos softwares de geoprocessamento Qgis, no qual se obteve uma área de 467,6 km² (Figura 7).

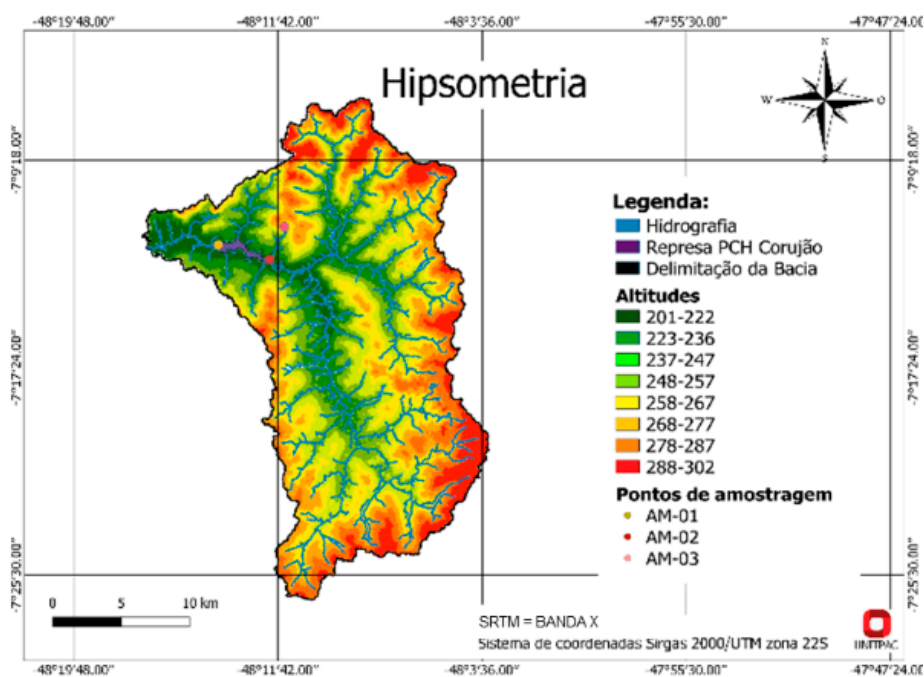
Figura 7. Mapa de hidrografia da bacia do Ribeirão Lontra.



Fonte: Sefaz-TO.

O mapa de hipsometria fornece a variação de altitude do terreno (Figura 8) pode-se identificar que os pontos de amostragem estão localizados em pontos de altitudes mais baixas próximos da hidrografia do ribeirão.

Figura 8. Mapa de Hipsometria da bacia do Ribeirão Lontra

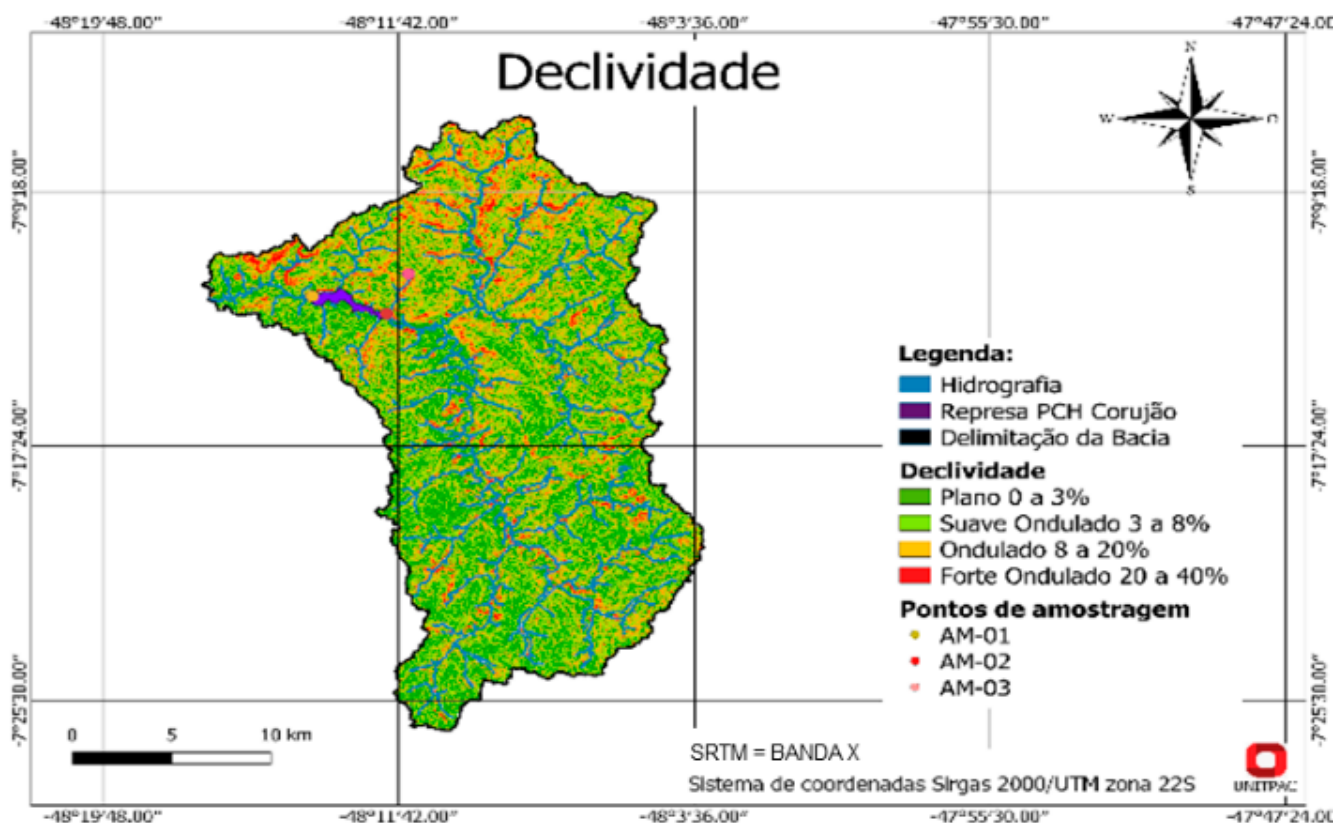


Fonte: SRTM - BANDAX

O mapa de declividade forneceu o perfil do terreno pelas diferenças de altitude (Figura 9). Grande parte da bacia apresentou terreno suave ondulado, sendo as maiores declividades próximas ao curso do rio. Os pontos de amostragem estão

localizados próximos a hidrografia constatando, através do estudo em campo, que as regiões de maiores declividades estão sujeitas a maior grau de erodibilidade.

Figura 9. Mapa de Declividade da bacia do Ribeirão Lontra

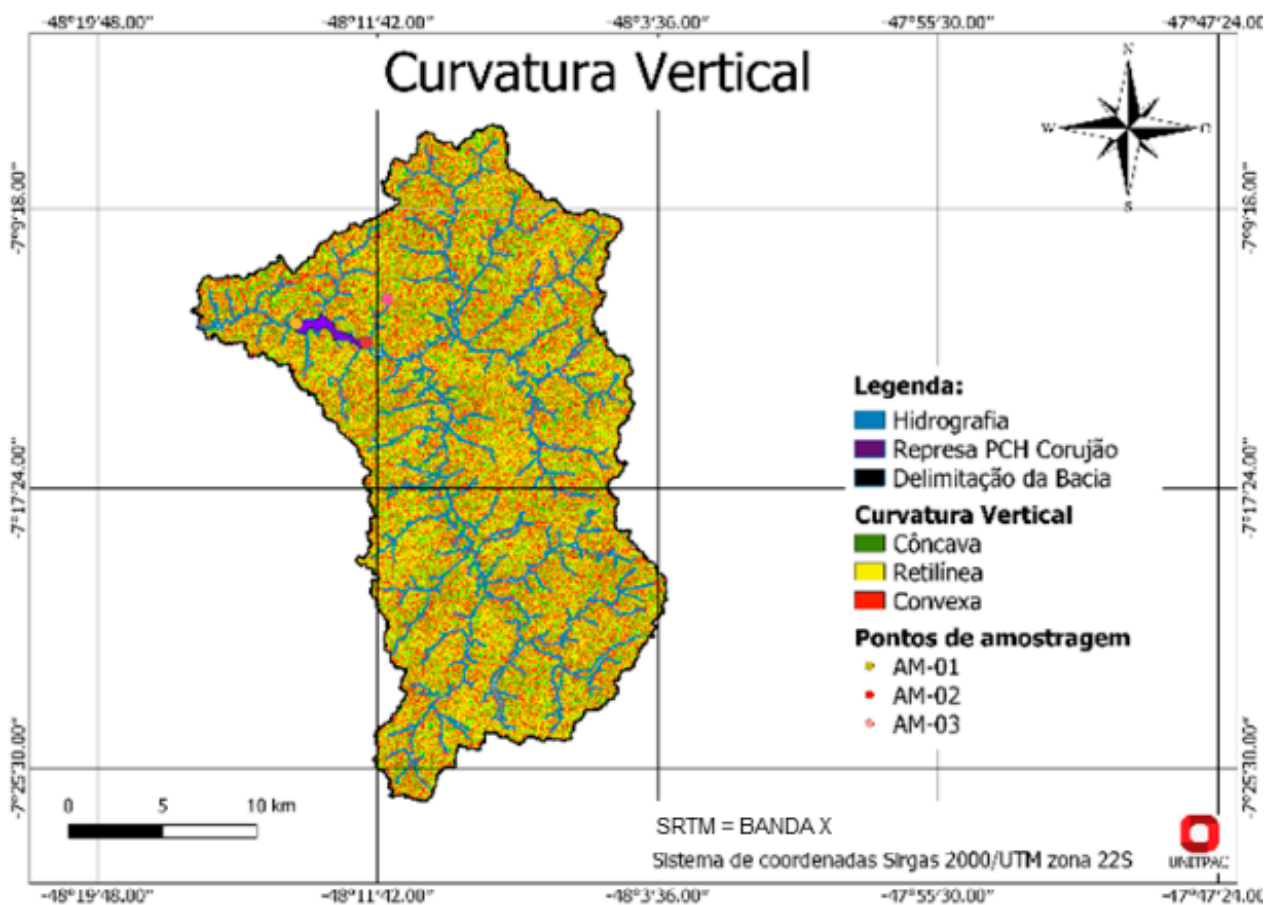


Fonte: SRTM - BANDAX

A curvatura vertical pode ser entendida como uma variação da declividade ao longo de uma determinada distância. Devido a baixa diferença de altitude da bacia vista no mapa

de hipsometria, a curvatura vertical mostrou-se retilínea em quase toda a bacia (Figura 9), apresentando apenas pequenas regiões convexas próximas a hidrografia.

Figura 10. Mapa de Curvatura Vertical da bacia do Ribeirão Lontra;

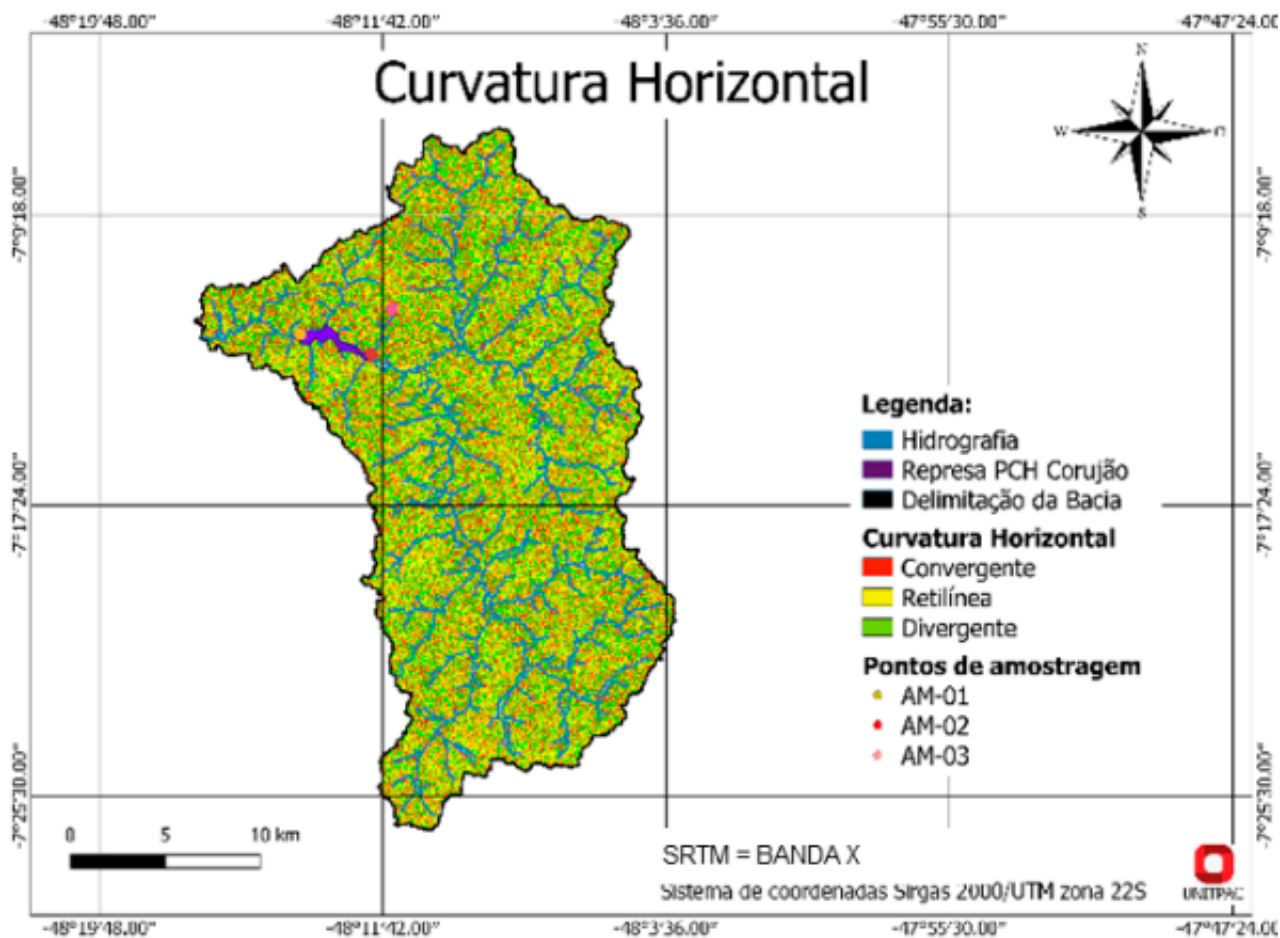


Fonte: SRTM – BANDAX.

A partir do mapa de curvatura horizontal da bacia (Figura 10), pode-se identificar possíveis pontos de acúmulo de água, minerais e matéria orgânica. A bacia apresentou um contraste

entre um perfil retilíneo e divergente, com predominância do perfil retilíneo, seguindo um perfil mais plano de terreno.

Figura 11. Mapa de Curvatura Horizontal da bacia do Ribeirão Lontra.



Fonte: SRTM - BANDAX

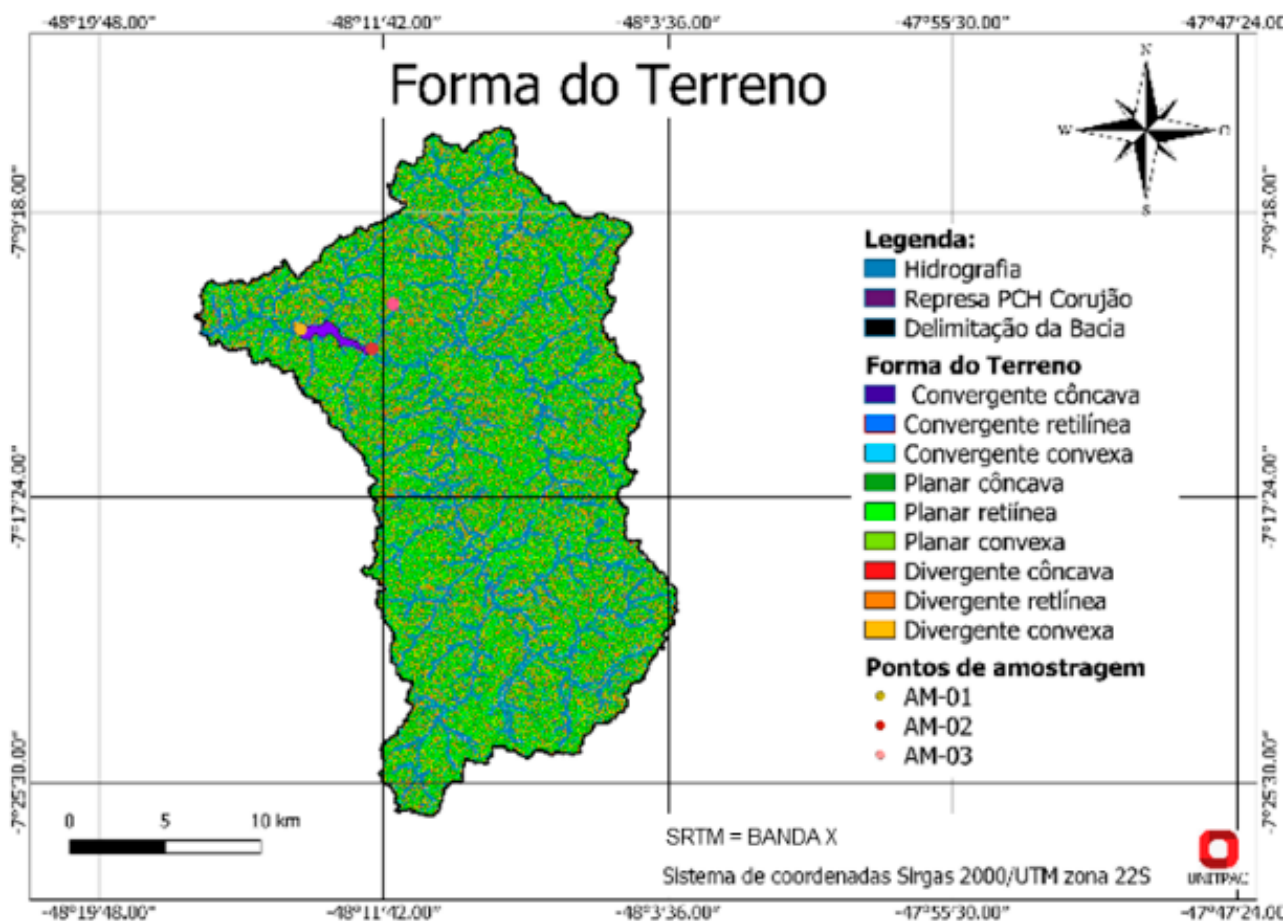
Observa-se maior tendência de aceleração do fluxo nas curvaturas planar convexas, em especial na transição da curvatura convexa para a retilínea, o que tende a turbulência no sopé dessas vertentes, auxiliando na ocorrência de processos de erosão regressiva.

O mapa de forma do terreno representa uma combinação dos mapas de curvatura vertical e horizontal, é possível verificar que há

predominância da configuração planar côncava.

Na bacia do rio Lontra (Figura 11) é notório a ocorrência de erosões laminares nas formas planar retilíneas, que coincidem com terrenos suave ondulado. Existe a concentração de processos erosivos nas vertentes mais altas, tendo em vista que nesses locais o escoamento é acelerado devido a forma do terreno.

Figura 12. Mapa de Forma do terreno da bacia do Ribeirão Lontra



Fonte: SRTM – BANDAX.

4. CONCLUSÕES

Ao analisar os resultados observa-se correlação entre a granulometria e a erodibilidade dos materiais, o que foi possível de ser observado no ensaio de desagregação por imersão total: as Amostras AM-01 com 66,61 % de areia, AM-02 57,13% de areia e AM-03 de 92,96% de areia sofreram fraturamento e abatimento, respectivamente, quando inundadas, contudo quando pré-saturado ganharam resistência, tal fenômeno justifica-se pela perda de coesão durante o processo de inundação na umidade natural, o que mostra que a resistência do solo depende da sucção matricial. Sem coesão as

partículas de areia tendem a se separarem com maior facilidade e, considerando a granulometria de areia fina, são facilmente carregadas.

Por meio de observa es em campo, constatou-se que a situa o erosiva na área está associada principalmente à atividade antrópica. As áreas de ocorrência coincidem com áreas desmatamento e com intensiva urbaniza o.

Ao analisar os parâmetros físicos, as amostras foram classificadas como solos não lateríticos, o que condiz com o proposto por DERSA, no qual solos com caraterísticas não lateríticas apresentam maior perda de massa.

Conforme Medeiros (2014) a análise isolada dos índices físicos não é uma boa alternativa para

julgar a resistência de um determinado tipo de solo aos processos erosivos, sendo necessária a execução de ensaios específicos de erodibilidade tendo em vista que os mesmos apresentam resultados mais concretos na análise do solo frente aos processos erosivos.

A maior presença de processos erosivos

está concentrada em pontos mais baixos da bacia, onde ocorre a presença de declividade mais acentuada. Portanto as áreas de menor altitude, maior declividade, solo exposto, pastagem e urbanização são as áreas com maior susceptibilidade a erosões lineares.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457**: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 2016. 8 p.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6458**: Grãos de pedregulho retidos na peneira de abertura 4,8 mm - Determinação da massa específica, da massa específica aparente e da absorção de água. Rio de Janeiro, 2017.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7181**: Solo - Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 2016. 12 p.

CAMAPUM de CARVALHO, J. et al. **Processos Erosivos no Centro-Oeste Brasileiro**. Brasília: Finatec, 2006. 464 p.

DERSA - Desenvolvimento Rodoviário S.A. do Estado de São Paulo. **Diretrizes para identificação expedita do solo laterítico** – “Método da Pastilha.” São Paulo, 2006.

MEDEIROS, Glacielle Fernandes. **Susceptibilidade à erosão na alta bacia do Ribeirão Barreiro** – Alexânia-GO. 176f.

(Dissertação de Mestrado em Geotecnia, Estruturas e Construção Civil). Goiânia, UFG, 2014.

NOGAMI, J.S.; VILLIBOR, D.F. Caracterização e classificação gerais de solos para pavimentação; limitações de método tradicional, apresentação de uma nova sistemática. 1980. In **15ª Reunião de Pavimentação**, Belo Horizonte – Minas Gerais.

SEFAZ. Secretaria da Fazenda do Estado de Tocantins. **Base de Dados Geográficos do Tocantins** - Atualização 2012. Disponível em: <http://www.sefaz.to.gov.br/zonamento/bases-vetoriais/base-de-dados-geograficos-do-tocantins-atualizacao-2012/> Acesso em: 26 nov. 2018

SEPLAN. Secretaria de Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável**. Estudo da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra do Estado do Tocantins. Palmas: Seplan/DZE, 2012. 264 p

TOPODATA – **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**. Disponível em: < <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>>. Acesso em: 26 de novembro de 2018.