APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE DISSECAÇÃO ASSOCIADO AO NDVI PARA IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS VULNERÁVEIS A MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOXOTÓ

João Francisco de Assis Silva [1]
Daniel Dantas Moreira Gomes [2]

RESUMO

Este estudo teve como objetivo identificar áreas vulneráveis a movimentos de massa na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó, situada entre os estados de Pernambuco e Alagoas, utilizando ferramentas de geotecnologia e sensoriamento remoto. A fundamentação teórica e metodológica baseou-se na aplicação e integração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e do Índice de Dissecação do Relevo (IDR), processados por meio do software de código aberto QGIS. O NDVI foi utilizado para caracterizar a cobertura vegetal e a exposição do solo, enquanto o índice de dissecação, fundamentado na metodologia de Jurandyr Ross, permitiu avaliar o grau de fragmentação e a declividade do terreno através de Modelos Digitais de Elevação. Os resultados demonstraram que a porção norte da bacia, especificamente nos municípios de Custódia, Sertânia e Arcoverde, apresenta maior vulnerabilidade. Nestas áreas, a combinação de uma vegetação arbustiva aberta, que deixa o solo mais exposto às intempéries, com um relevo de alta dissecação e encostas íngremes, cria um ambiente propício para a ocorrência de processos erosivos e deslizamentos. A pesquisa conclui que a sobreposição destes índices é um método eficaz e viável para o mapeamento de riscos ambientais em grandes extensões territoriais, fornecendo subsídios para o planejamento urbano e a proteção da população em áreas de risco.

INTRODUÇÃO

Os movimentos de massa, ou deslizamentos, como são chamados popularmente, são caracterizados como o movimento de matéria orgânica, solo e rochas ocasionado pela atuação da força da gravidade, resultando nesse deslocamento vertical dos detritos (Highland; Brobrowsky, 2008). A água das chuvas potencializa essa movimentação por meio do acúmulo de água nos poros do solo; com isso, o peso do material na encosta

[1] Mestrando do programa de pós graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Pernambuco - PE, joao.assis@upe.br;
[2] Docente da Universidade de Pernambuco - PE, daniel.gomes@upe.br;
O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001

supera a força do atrito, fazendo com que aquela encosta venha a ceder (MONTGOMERY, 1992).

É notável, no Brasil, uma maior ocorrência de deslizamentos e estes “estão entre os eventos que mais causam danos humanos. Embora esses fenômenos sejam naturais, a interferência humana pode acelerá-los ou agravá-los” (IBGE, 2019). Essas interferências vão desde a retirada da vegetação de encostas, tal vegetação é vital para a fixação dos detritos, ao uso e ocupação de locais íngremes, gerando uma maior pressão sobre o solo, ou até mesmo o plantio de plantas como a bananeira, conhecida pela sua capacidade de acumular quantidades consideráveis de água.

Com ocupações irregulares de encostas e demais fatores que potencializam os movimentos gravitacionais de massa, o mundo registrou cerca de 4.862 mortes ocasionadas por deslizamentos (Froude & Petley, 2018). Portanto, nota-se a necessidade da identificação de áreas vulneráveis a movimentos de massa no intuito de evitar danos econômicos, estruturais e, o mais importante, preservar a vida da população que se encontra em regiões de risco.

Com isso, o uso de geotecnologias para a identificação de áreas vulneráveis a movimentos de massa se torna um dos meios mais viáveis e rápidos, tendo em vista que estas ferramentas são capazes de observar grandes extensões territoriais, como afirma Liu (2015, p. 176): “fornecem os dados de observação com alta frequência temporal e alta resolução espacial que cobrem uma imensa área e podem ser usados para complementar as áreas com poucos dados”.

Portanto, o objetivo deste artigo é identificar áreas vulneráveis a movimentos de massa por intermédio de análises ambientais a partir dos produtos gerados do sensoriamento remoto, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e o índice de dissecação.

Como forma de atingir os objetivos do trabalho, optou-se por tomar uma abordagem metodológica exploratória quantitativa. Os materiais cartográficos, índices e análise ambiental foram realizados através do programa de código aberto QGIS, por intermédio das metodologias de Jurandyr Ross e de Guimarães, fazendo adaptações quando se tornou necessário.

METODOLOGIA

O artigo adotou uma metodologia exploratória quantitativa buscando, em um primeiro momento, a aproximação do fenômeno e sua descrição e, posteriormente, um tratamento dos dados através de algoritmos do QGIS e mapas, a fim de expressar os resultados.

Os processos metodológicos utilizados no referido trabalho foram divididos em 4 seções para a maior compreensão dos materiais usados, softwares, banco de dados geográficos e metodologias de classificação. Portanto, a divisão adotada é composta por:

a) Delimitação da área de estudo – Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó;

b) Elaboração do mapa do índice NDVI;

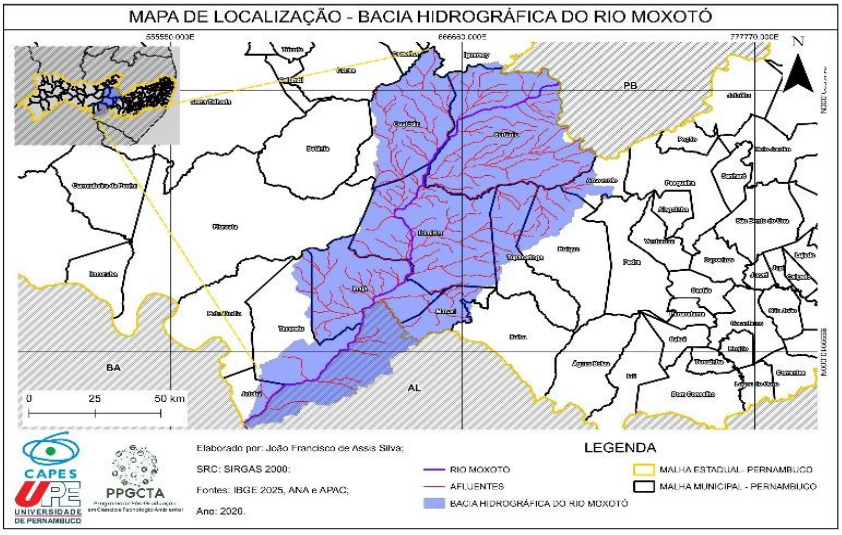
c) Elaboração do mapa do índice de dissecação;

d) Identificação das áreas vulneráveis a movimentos de massa.

Delimitação da área de estudo

A área-alvo do estudo é a bacia hidrográfica do rio Moxotó (Figura 1). Localizada predominantemente no sertão pernambucano, abrange cerca de 12 municípios do estado, mas também está inserida em alguns municípios do estado de Alagoas. Ocupa uma área com cerca de 9.752,71 km², sendo 8.778,05 km² dentro do território de Pernambuco e 974,66 km² em Alagoas.

Figura 1 – Bacia hidrográfica do Rio Moxotó.



Fonte: Autor, 2026.

A referida bacia hidrográfica faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, unidade de planejamento hídrico UP8, inserida nas microrregiões do sertão do Moxotó, do Vale do Ipanema e de Itaparica.

Elaboração do mapa do índice NDVI

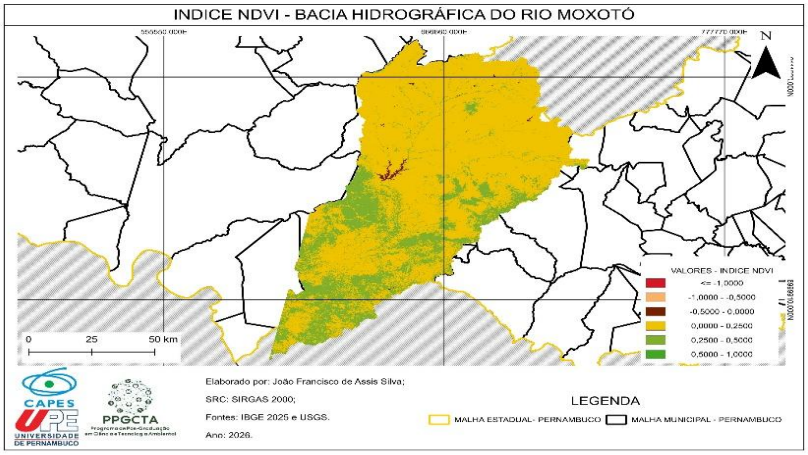
O mapa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) foi calculado usando as bandas 4 e 3 do satélite Landsat 7. Elas correspondem ao infravermelho próximo e à banda vermelha, respectivamente. Após a coleta dessas bandas no site americano da USGS, o tratamento desses dados foi realizado dentro do programa de código aberto QGIS.

O primeiro passo necessário foi reprojetar as camadas para o sistema de coordenadas local, SIRGAS 2000 / UTM zone 24S. O segundo passo, dentro da calculadora raster, utilizando a fórmula abaixo, consistiu no cálculo do índice NDVI com as duas bandas mencionadas:

$$(NIR - R) / (NIR + R)$$

Ao fazer o referido cálculo na calculadora raster dentro do software QGIS, no qual a refletância no infravermelho próximo (NIR) corresponde ao intervalo de comprimento de onda entre 0,76 e 0,90 µm, enquanto a refletância no vermelho (R) abrange o intervalo entre 0,63 e 0,69 µm , obteve-se, ao final do processo, uma imagem equivalente ao Índice NDVI (Figura 2). Esse índice facilita “a obtenção e modelagem de parâmetros biofísicos das plantas, como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo” (JENSEN, 2009; EPIPHANIO et al., 1996).

Figura 2 – Mapa de Índice NDVI



Fonte: Autor, 2026.

O resultado ao final do processo foi um mapa com regiões com índices NDVI, “A imagem gerada pelo NDVI apresenta variações de [-1], até [+1], representando a transição de áreas não vegetadas e muito vegetadas.” (Albuquerque; Ribeiro; Sales, 2019, p. 680).

Elaboração do mapa do Índice de Dissecação

O Índice de Dissecação desenvolvido por Ross (1992) avalia o grau de fragmentação do relevo, baseando-se na relação entre a densidade de drenagem (dissecação horizontal) e o grau de entalhamento dos vales (dissecação vertical). Em suma, o índice indica a quão recortada a paisagem se encontra.

Para a extração desse índice, utilizou-se um Modelo Digital de Elevação (MDE) obtido no banco de dados SRTM, o qual fornece as informações altimétricas e geomorfológicas da área. O tratamento e processamento dos dados foram realizados no software QGIS. A primeira etapa consistiu na correção de falhas (áreas sem dados) através do plugin Grass. Para essa fase, recomenda-se a aplicação de um *buffer* de 2 km no entorno da área de estudo ou o uso de um MDE com abrangência maior, a fim de evitar efeitos de borda.

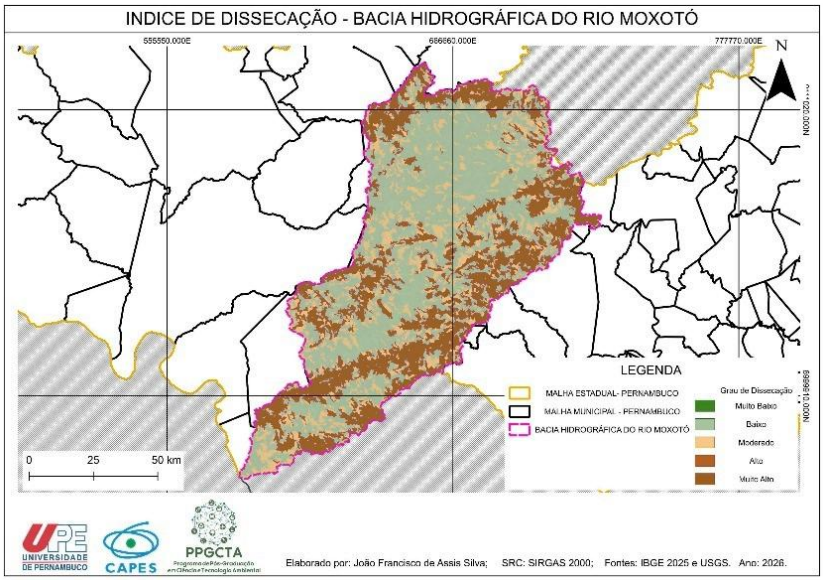
O passo seguinte focou no cálculo do grau de entalhamento, compreendido por Muñoz e Valeriano (2009) como a distância vertical entre a superfície topográfica e uma superfície de referência máxima. Operacionalmente, o MDE foi invertido na calculadora *raster* (multiplicando-o por -1). Com o modelo invertido, aplicou-se o algoritmo *r.fill.dir* do Grass para gerar a direção de fluxo e o *r.watershed* para delimitar as meias bacias. Estas serviram como unidades de análise e foram posteriormente vetorizadas (transformadas em polígonos).

Para obter a Dissecação Vertical (DV), aplicou-se a ferramenta de Estatísticas Zonais, extraindo-se os intervalos de altitude (*ranges*) do MDE original para gerar uma nova coluna na tabela de atributos. Já a Dissecação Horizontal (DH) foi calculada utilizando a calculadora de campo, onde se quantificou a área, o perímetro, o comprimento das bacias e a largura média (calculada pela divisão da área pelo comprimento).

Por fim, seguindo a premissa metodológica de Jurandy Ross para gerar o mapa final (Figura 3), o Índice de Dissecação do Relevo (IDR) foi consolidado a partir da soma dos seus componentes. A síntese é expressa pela equação:

IDR = DV + DH.

Figura 3 – Mapa do Índice de Dissecação



FONTE: Autor, 2026.

A classificação do grau de dissecação pode variar de muito baixa, onde o grau de entalhamento menor, ou seja, uma menor declividade e áreas com grau de dissecação muito alto são caracterizados com um grau de entalhamento alto, significando uma maior declividade causada pela erosão. Como forma de determinar a coloração foi usado a metodologia de Guimarães (2017)

Figura 4 – Perfis dos Vales

Proposta alternativa 1

11	12	13	14	15
21	22	23	24	25
31	32	33	34	35
41	42	43	44	45
51	52	53	54	55

FONTE: Guimarães, 2017.

Identificação das áreas vulneráveis a movimento de massa

Como metodologia usada para a identificação das áreas vulneráveis a movimentos de massa, optou-se por usar a sobreposição de camadas. O procedimento consiste em colocar a camada de dissecação abaixo da camada do índice NDVI. Para isso, deve-se aumentar a saturação das cores do índice de dissecação, objetivando o realce do material; por outro lado, no índice NDVI, a transparência foi diminuída para 60%, visando a visualização da camada que está por baixo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos através da metodologia aplicada na Bacia Hidrográfica do Rio Moxotó foram exitosos; porém, antes de expor os resultados finais da sobreposição dos índices, é de extrema importância detalhar os resultados obtidos individualmente de cada índice.

O índice NDVI na bacia hidrográfica do rio Moxotó apresentou variações entre 0,0 – 0,25, representando uma vegetação arbustiva aberta, e entre 0,25 – 0,50 para vegetações arbustivas fechadas (Tabela 1). As vegetações arbustivas abertas estão presentes em toda a região norte da bacia, nos municípios de Custódia, Sertânia e Arcoverde, estado de Pernambuco.

Tabela 1 – Classificação das Classes de NDVI

Índice de Vegetação da Diferença Normalizada	**Caracterização**
-1,0	Corpos d'água, Área edificada
-0,5 a 0,0	Solo exposto
0,1 a 0,25	Vegetação arbustiva aberta
0,25 a 0,50	Vegetação arbustiva fechada
0,50 a 1,0	Vegetação arbórea arbustiva

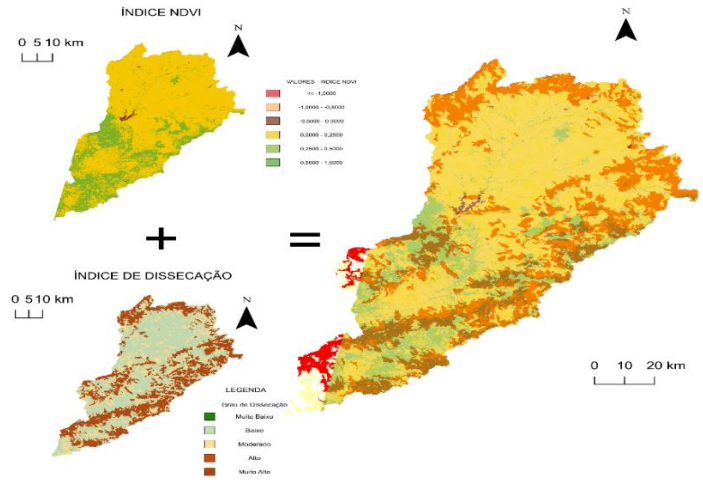
Fonte: Barros, Farias e Marinho, 2020.

Esse tipo de vegetação, representado pela coloração amarela (Figura 2) , destaca-se pelos espaçamentos entre uma planta e outra; os arbustos são caracterizados como de médio porte. Portanto, em áreas com a presença desta cobertura vegetal, o solo acaba ficando exposto às intempéries, propiciando o movimento de massa.

Por outro lado, o mapa do índice de dissecação (Figura 3) apresentou diversas áreas com grau de dissecação muito alto, representadas pela cor vermelha e distribuídas por todas as áreas da bacia. Vale ressaltar que áreas com alta dissecação tendem a apresentar encostas mais íngremes e maior suscetibilidade a processos erosivos (Ross, 2017).

Ao fazer o processo de sobreposição dos índices, foi possível realizar a identificação de áreas vulneráveis ao processo de movimentos de massa. Pois os fatores tanto geomorfológicos, apontados pelo índice de dissecação, quanto da cobertura do solo, apontados pelo índice NDVI, influenciam no potencial e na frequência com que os deslizamentos podem ocorrer em uma região. O mapa abaixo (Figura 5) mostra que as principais áreas vulneráveis ao problema alvo desta pesquisa estão na porção norte da bacia hidrográfica do Rio Moxotó, dentro dos municípios de Custódia, Sertânia e Arcoverde.

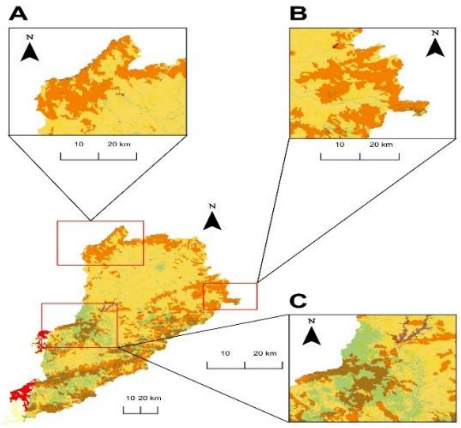
Figura 5 – Mapa de Sobreposição de índices



Fonte: Autor, 2026.

Podemos chegar à conclusão de que áreas que apresentem tanto a coloração amarela quanto a coloração vermelha, ambas em sobreposição, são vulneráveis ao processo de movimentos de massa. Tendo em vista que Neves, Santos e Di Lollo (2021), no trabalho intitulado “Processos erosivos e produção de sedimentos: suas relações com a cobertura vegetal na Bacia do Ribeirão do Roque”, afirmam que “as declividades médias e os vales foram os principais contribuintes topográficos para a ocorrência dos processos erosivos potencializados pela remoção da vegetação”.

Figura 6 – Áreas Vulneraveis ao processo de movimento de massa



Fonte: Autor, 2026.

A Figura 6 mostra três locais nomeados por A, B e C. Nota-se que as áreas vulneráveis aos movimentos de massa são A e B, pois a junção de uma elevada dissecação e uma vegetação arbustiva espaçada gera um ambiente propício para o movimento de massa. Enquanto isso, a imagem C apresenta uma vegetação arbustiva fechada (verde), sendo classificada como uma área de menor vulnerabilidade em relação aos outros locais por apresentar uma vegetação mais próxima uma da outra, mesmo com uma dissecação igual as situações A e B.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em suma, a pesquisa exposta neste artigo conseguiu indentificar áreas vulneráveis ao movimento de massa através da correlação entre o indice NDVI e índice de dissecação, fornecendo subsídios para o planejamento urbano e a proteção da população em áreas de risco. Porém, é compreensivel que demais fatores podem também influências esse problema ambiental, além de que, um algortimo para a classificação do grau de vunerabilidade seria crucial. Mas, no momento a pesquisa se classifica como embrionária e posteiores estudos e contrbuições podem e devem ser realizados.

Palavras-chave: Movimentos de Massa; Índice de Dissecação, Índice NDVI, Vulnerabilidade Ambiental.

REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, Amanda Menezes de; RIBEIRO, José Robério Cabral; SALES, Marta Celina Linhares. A aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da área de influência direta do Açude Castanhão. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral, v. 21, n. 2, p. 674-685, set. 2019. Disponível em: http://uvanet.br/rcgs.

BARROS, Antônio Soares; FARIAS, Lucas Menezes de; MARINHO, Jefferson Luiz Alves. **Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na Caracterização da Cobertura Vegetativa de Juazeiro Do Norte - CE**. Revista Brasileira de Geografia Física, [s. l.], v. 13, n. 06, p. 2885-2895, 2020. Disponível em: https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe.

GUIMARÃES, Felipe Silva *et al*. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 155-167, jan./mar. 2017. Disponível em: http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v18i1.1163. Acesso em: 12 maio 2026.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. T. *The landslide handbook*: a guide to understanding landslides. Reston: U.S. Geological Survey - USGS, 2008. 129 p. (Circular, 1325). Disponível em: https://pubs.usgs.gov/circ/1325/pdf/C1325_508.pdf. Acesso em: maio. 2026.

IBGE. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Suscetibilidade a deslizamentos do Brasil**: primeira aproximação. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 56 p. (Macrocaracterização dos Recursos Naturais do Brasil, v. 2). ISBN 978-85-240-4515-8. Disponível em: https://www.ibge.gov.br. Acesso em: 5 maio 2026.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing**: a remote sensing perspective. 2a. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996.

LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006. 908 p. ISBN 85-7704-040-0.

NEVES, Monique de Paula; SANTOS, Franciane Mendonça dos; DI LOLLO, José Augusto. Processos erosivos e produção de sedimentos: suas relações com a cobertura vegetal na Bacia do Ribeirão do Roque. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, Porto Alegre, v. 18, e17, 2021. DOI: 10.21168/rega.v18e17. Disponível em: Revista de Gestão de Água da América Latina. Acesso em: 13 maio 2026.

ROSS, Jurandyr Luciano Sanches. ANÁLISE EMPÍRICA DA FRAGILIDADE DOS AMBIENTES NATURAIS ANTROPIZADOS. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, Brasil, v. 8, p. 63–74, 2011. DOI: 10.7154/RDG.1994.0008.0006. Disponível em: https://revistas.usp.br/rdg/article/view/47327.. Acesso em: 5 out. 2025.