



## Ensaio para verificação do potencial de erodibilidade do solo em áreas de risco: uma revisão sistemática de literatura

*Tests to verify soil erodibility potential in risk areas: a systematic literature review*

 Igor Silva Santos<sup>1</sup>  Kalinny Patrícia Vaz Lafayette<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco (UPE). Recife, Pernambuco –  
Brasil. [iss4@poli.br](mailto:iss4@poli.br)

<sup>2</sup> Doutora em Engenharia Civil. Universidade de Pernambuco (UPE). Recife, Pernambuco –  
Brasil. [klafayette@poli.br](mailto:klafayette@poli.br)

### Notas dos autores

Os autores declaram que não há conflitos de interesse.

A correspondência sobre este artigo pode ser enviada para o e-mail de Igor Silva Santos

Cite as - American Psychological Association (APA)

Santos, I. S., & Lafayette, K. P. V. (2024). Tests to verify soil erodibility potential in risk areas: a  
systematic literature review. *J. Environ. Manag. & Sust.*, 13(1), 1-44, e23803.

<https://doi.org/10.5585/2024.23803>





## Resumo

Através do crescimento urbano desordenado, áreas de encostas com elevadas declividades foram ocupadas, o que ocasiona redução da cobertura vegetal, aumenta a ocorrência de erosão do solo e gera instabilidade de taludes.

**Objetivo:** Analisar os estudos sobre ensaios que verificam o potencial de erodibilidade de solos que são comumente utilizados, através de uma revisão sistemática de literatura.

**Metodologia:** A pesquisa foi realizada em quatro bases de dados (*Scopus*, *Science direct*, *Web of Science* e Google acadêmico) para busca de artigos, limitada em artigos científicos e capítulos de livros na área da engenharia civil nos últimos 10 anos.

**Relevância:** Dada a importância de se estudar sobre erodibilidade de solos de áreas de risco, uma compilação de quais ensaios são utilizados para este fim pode auxiliar os pesquisadores do tema a escolher o ensaio mais adequado para tal finalidade.

**Resultados:** Dos 124 artigos selecionados, 36 foram considerados para extração de dados. Existem variados ensaios para verificar o potencial de erodibilidade de um solo e monitorar áreas de risco, classificados como: métodos diretos (Inderbtzen e simulador de chuva) e métodos indiretos (drone, Crumb teste, teste de pinhole e Miniatura Compactada Tropical (MCT)).

**Contribuições:** Todos os métodos mostraram-se eficazes para análise de erodibilidade de taludes em áreas de risco, contribuindo para estabilização da área. Os métodos indiretos necessitam de associações entre ensaios para obtenção de resultados confiáveis. Destes métodos, o drone traz uma inovação tecnológica que é capaz de ampliar a compreensão sobre áreas de risco e transporte de sedimentos.

*Palavras-chave:* estabilidade de solos, ensaios, área de risco, monitoramento

**Tests to verify soil erodibility potential in risk areas: a systematic literature review**





## Abstract

Through disordered urban growth, areas of slopes with high slopes were occupied, which causes a reduction in vegetation cover, increases the occurrence of soil erosion, and generates slope instability.

**Objective:** To analyze studies on tests that verify the erodibility potential of soils that are commonly used, through a systematic literature review.

**Methodology:** The search was carried out in four databases (Scopus, Science Direct, Web of Science, and Google Academic) to search for articles, limited to scientific articles and book chapters in the field of civil engineering in the last 10 years.

**Relevance:** Given the importance of studying the erodibility of soils in risk areas, a compilation of which tests are used for this purpose can help researchers on the subject choose the most appropriate test for this purpose.

**Results:** Of the 124 articles selected, 36 were considered for data extraction. There are various tests to check the erodibility potential of a given soil and monitor risk areas, classified as direct methods (Inderbtzen and rain simulator) and indirect methods (drone, Crumb test, pinhole test, and Miniature Compacted Tropical - MCT).

**Contributions:** All methods proved to be effective for analyzing the erodibility of slopes in risk areas, contributing to the stabilization of the area. Indirect methods require associations between assays to obtain reliable results. Of these methods, the drone brings a technological innovation that is capable of expanding the understanding of risk areas and sediment transport.

*Keywords:* soil stability, tests, risk area, monitoring

## Ensayos para verificar el potencial de erosionabilidad del suelo en zonas de riesgo: una revisión sistemática de la literatura

### Resumen





A través del crecimiento urbano desordenado, se ocuparon áreas de laderas con altas pendientes, lo que provoca una reducción de la cobertura vegetal, aumenta la ocurrencia de erosión del suelo y genera inestabilidad de laderas.

**Objetivo:** Analizar estudios sobre ensayos que verifiquen el potencial de erosionabilidad de suelos de uso común, a través de una revisión sistemática de la literatura.

**Metodología:** La investigación se realizó en cuatro bases de datos (Scopus, Science direct, Web of Science y Google academic) para la búsqueda de artículos, limitándose a artículos científicos y capítulos de libros en el campo de la ingeniería civil en los últimos 10 años.

**Relevancia:** Dada la importancia de estudiar la erosionabilidad de los suelos en zonas de riesgo, una recopilación de qué ensayos se utilizan para este fin puede ayudar a los investigadores en la materia a elegir el ensayo más adecuado para tal fin.

**Resultados:** De los 124 artículos seleccionados, 36 fueron considerados para la extracción de datos. Existen varios ensayos para verificar el potencial de erosionabilidad de un suelo y monitorear áreas de riesgo, clasificados en: métodos directos (Inderbtzen y simulador de lluvia) y métodos indirectos (dron, Crumb test, pinhole test y Miniature Compacted Tropical (MCT)).

**Contribuciones:** Todos los métodos demostraron ser efectivos para analizar la erosionabilidad de taludes en áreas de riesgo, contribuyendo a la estabilización del área. Los métodos indirectos requieren asociaciones entre ensayos para obtener resultados fiables. De estos métodos, el dron trae una innovación tecnológica que es capaz de ampliar la comprensión sobre las áreas de riesgo y el transporte de sedimentos.

*Palabras clave:* estabilidad del suelo, ensayos, zona de riesgo, seguimiento

## Introdução

A população rural migrou para os centros urbanos em busca de tecnologia, empregos e desenvolvimento, levando ao crescimento urbano desordenado (Song et al., 2021). Este avanço populacional tem causado mudanças no ambiente, por conta das ações antrópicas,



transformando os espaços e os ambientes naturais e gerando problemas a serem resolvidos (Liu & Ma, 2020; Santos, Silva & Vital, 2022). A agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2015), menciona que adoção de ações para redução de desastres naturais é um dos objetivos do desenvolvimento sustentável (ODS-11 Cidades e Comunidades Sustentáveis).

Áreas de risco estão sendo ocupadas elevando a instabilidade do ambiente natural, decorrentes de escavações e aterros inadequados que reduzem a cobertura vegetal, e aumentam a ocorrência de desastres e impactos ambientais (Carvalhais et al., 2019). Fortes chuvas em curto espaço de tempo, aliado a intensa ocupação, prejudicam a estabilidade de taludes (Melo, 2021). Em 2022 e os primeiros meses de 2023, Recife, Santa Catarina e São Paulo, foram particularmente afetados por deslizamentos em áreas de risco devido à sua localização geográfica, topografia e densidade populacional (Morais & Fernandes, 2023; Parma, 2023; Macedo & Sandre, 2022; Silva, Barroso & Polivanov, 2022).

Na Região Metropolitana de Recife, em 2022, foram registrados 128 óbitos e mais de 9 mil pessoas desabrigadas (Globo, 2022).

Conforme o Plano Diretor da Cidade do Recife, a área territorial da cidade é composta de muitas encostas e, atualmente, encontram-se identificados cerca de 10.000 pontos de risco, com maior incidência nos morros de Casa Amarela e Ibura (Prefeitura da cidade de Recife, 2023). Xavier et al. (2019) relatam que a maior parte dos morros da Região Metropolitana de Recife foi ocupada por populações de baixa renda, devido à apropriação do mercado imobiliário das áreas mais favoráveis à construção de moradia. Tratam-se de ocupações precárias e desprovidas de infraestrutura e que podem aumentar a vulnerabilidade de áreas naturalmente mais frágeis e potencializar a ocorrência de processos morfodinâmicos.

Os Deslizamentos de encostas em 2022 ocorreram em várias cidades, onde os casos mais graves foram nos bairros de Jardim Monte Verde, Ibura, Vila dos Milagres, Córrego Jenipapo, Sítio dos Pintos. Um terço da população do Recife vive em áreas impróprias para a ocupação, como margens de rios e locais com pouca infraestrutura, herança do processo de



exclusão social decorrente da história do Brasil (Santana, 2019). O assentamento irregular da população em áreas de nascentes e encostas ocorre com frequência e o acesso a serviços urbanos básicos, como saneamento, energia, educação e saúde, está ficando cada vez mais difícil (Monteiro et al., 2020). Como resultado, a topografia e as paisagens são constantemente alteradas pelo comportamento humano para atender às necessidades habitacionais, devido às restrições socioeconômicas (Santos, Falcão & Lima, 2020).

Em consequência disso, os acidentes provocados por movimentações de massa de encostas ocupadas têm se intensificado ao longo dos anos (Bispo, Melo & Toujaguez, 2019), e sofrem efeitos das inadequadas ações humanas.

Ressalta-se que um dos problemas gerados pelo crescimento urbano é a diminuição da vegetação, que ocasiona a erosão e resulta na instabilidade do solo (Moura-Bueno et al., 2018; Roccati et al., 2021). A intensificação desses processos está relacionada às chuvas, consolidação de materiais geológicos, topografia, ocupação de área inadequadas e supressão vegetal (Thoma et al., 2022; Nascimento et al., 2020; Basilio et al., 2019).

As condições climáticas também interferem no processo erosivo, além de ser um dos principais componentes do ciclo ambiental, pois é responsável pelo fornecimento de água que abastece os lençóis freáticos, cursos d'água, rios, seus afluentes e, por fim, o oceano, (Costa & Rodrigues, 2015).

A degradação do solo, através da erosão contribui para perdas na fertilidade e produtividade dos meios de subsistência também em ambientes semiáridos e continua a ser um dos maiores problemas ambientais em todo o mundo, ameaçando países desenvolvidos e em desenvolvimento (FAO, 2014). A erosão hídrica em áreas agrícolas não somente retira o solo fértil, mas também degrada a qualidade da água ocasionando assoreamentos em córregos, rios e reservatórios (Zhu et al., 2013).

No caso da cobertura vegetal, esta atua como proteção do solo frente a ação das gotas da chuva, por meio da interceptação da água pela estrutura da vegetação localizada acima da



superfície do solo, que reduz a velocidade da gota da chuva e retira parcialmente a intensidade do efeito *splash*, responsável por causar ruptura dos agregados e selar a superfície do solo (Guerra, 2012), além de estruturar o solo por meio da dispersão de suas raízes, que podem aumentar a capacidade de infiltração e reduzir a intensidade do escoamento superficial e dos processos erosivos decorrentes do mesmo. Em florestas tropicais, 4,5% a 24% da água de chuva é interceptada pela vegetação, sendo que 1% a 2% do restante escoam por seus troncos, indicando que 75% a 96% alcança a superfície do solo (Arcova, Cicco & Rocha, 2003).

Em regiões áridas e semiáridas, os solos com pouca ou nenhuma cobertura vegetal estão expostos a eventos de precipitação torrencial, vulneráveis para a ocorrência de processos físicos e químicos que alteram as condições da camada superficial, como impermeabilização da superfície e crostas. Quando a superfície é seca, uma camada dura é formada (crosta). Os solos com crostas são típicos destas áreas secas, onde a degradação do solo leva a diminuição das taxas de infiltração, aumentando as taxas de escoamento superficial e erosão (Ries & Hirt, 2008).

O processo erosivo de um solo afeta a paisagem, a segurança e a economia, sendo considerado um fenômeno global (Polovina et al., 2021). Experimentos de laboratório permitem verificar o potencial de erodibilidade de um solo, de forma direta ou indireta, em função de parâmetros a serem analisados. A forma direta de investigação é o Inderbitzen (Bandeira et al., 2021), contudo é possível verificar de forma indireta através dos ensaios: Crumb teste (Masrouf et al., 2021); Teste de Pinhole (Alabdullah et al., 2022); Drones (Padró et al., 2022); MCT (Couto & Gomes, 2020); e simulador de chuva (Zivanovic et al., 2022).

O ensaio de Inderbitzen (forma direta) foi originalmente proposto por Anton L. Inderbitzen, em 1961 para estudar a erosão superficial do solo. A forma mais frequente para se analisar a erosão dos solos é por meio das propriedades físicas e químicas e de agentes condicionantes externos. Nesse sentido, o ensaio busca simular situações de campo para quantificar a erodibilidade. O ensaio é realizado em laboratório e ainda não é normatizado, no entanto, tem sido considerado bastante promissor por diversos pesquisadores (Lafayette, 2006; Gonçalves &



Silva, 2019; Oliveira et al., 2021; Bezerra, 2022), pois simula um escoamento superficial sobre um corpo de prova, em que a perda de solo é quantificada em intervalos de tempo pré-determinados, porém, não simula o fenômeno da desagregação por salpicamento de partículas, devido ao impacto da água da chuva.

Na erosão superficial, o poder erosivo da água e sua capacidade de transporte dependem da densidade e velocidade do escoamento da água, da espessura da lâmina d'água e da inclinação da vertente; o ensaio de Inderbitzen busca considerar esses fatores.

A limitação do ensaio original consiste em não considerar o efeito da erosão por salpicamento. No entanto, para solos com uma eficiente cobertura vegetal, o efeito do impacto das gotas de chuva não é tão relevante, e a limitação supracitada não é significativa. Um cuidado importante é com relação à profundidade de coleta da amostra, recomendando-se não ser superior a 25 cm para o estudo do escoamento superficial.

O ensaio de crumb test (forma direta) é um método prático e rápido para identificar a dispersibilidade do solo e é normatizado pela ASTM D6572 (2012) e pela NBR 13601 (ABNT, 2020a). Esse ensaio embora seja considerado de caráter qualitativo, é possível fazer a avaliação das condições de erodibilidade ligadas à manutenção das propriedades iniciais (integridade) da camada proposta, frente à percolação de água em seu interior e em superfície.

A relação entre a quantidade de cátions de sódio e a quantidade de cátions de potássio, cálcio e magnésio, dissolvidos na água intersticial, definirá a suscetibilidade de ocorrer erosão interna por difusão, pois o sódio age no sentido de aumentar a espessura da camada de água difusa (envolve as partículas individuais de argila), reduzindo as forças de atração entre as partículas (ABNT, 2020a). Vale destacar que, quando o ensaio indica a ocorrência de dispersão, provavelmente, trata-se de um solo facilmente erodível, sendo que o inverso não é necessariamente verdadeiro, ou seja, um solo erodível pode ser classificado como não dispersivo.

O pinhole test determina direta e qualitativamente a dispersibilidade de solos argilosos





pelo fluxo de água destilada por meio de um pequeno furo axial em um corpo de prova moldado a partir de um bloco de amostra indeformada, contido em um cilindro. Esse ensaio foi desenvolvido como um método de medição direta da erodibilidade de solos de textura fina. A turbidez do efluente, a vazão e as dimensões finais do furo darão a classificação da dispersibilidade do solo.

Quanto aos modelos digitais de elevação são amplamente utilizados no estudo comparativo de grandes áreas para monitoramento de erosões, queimadas, ocupação urbana, plantio dentre outros (Souza, 2018). Por outro lado, o seu resultado no monitoramento de pequenas regiões não é tão comum devido a baixa resolução de satélites e a distância entre a área de estudo e os sensores. Com o surgimento do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) ou drone, a resolução dos modelos digitais melhorou e possibilitou a análise de regiões menores, mas com maior detalhe.

Apesar disso, a construção de séries temporais de modelos gerados com drones destinados ao monitoramento de uma área ainda é pouco comum. Os drones (forma indireta) são ideais para capturar áreas menores ou para situações de emergência, pois podem ser tirados com mais rapidez e facilidade do que imagens de satélite. No entanto, a resolução das imagens pode ser menor e o alto investimento inicial para utilização dos drones pode ser uma desvantagem. Além disso, é importante considerar que os drones possuem limitações em relação ao clima, não sendo possível voar em situações de mau tempo.

Por outro lado, a versatilidade e competitividade, dos drones no mercado são vantagens a serem consideradas. Uma opção sábia e econômica é combinar drones com imagens de satélite sempre que possível. Dessa forma, é possível obter imagens de alta resolução de áreas menores e uma visão geral de grandes áreas. Além disso, a utilização de drones permite uma maior flexibilidade e rapidez na obtenção das imagens, enquanto as imagens de satélite fornecem uma cobertura mais ampla e uma visão geral do terreno. Combinar essas duas tecnologias pode ser extremamente útil para empresas que precisam monitorar grandes áreas,



mas também precisam de detalhes precisos em áreas menores.

Em campo ou laboratório pode ser utilizado os simuladores de chuva (forma indireta) que permitem determinar as perdas de solo, água e nutrientes, formação do encrostamento, infiltração de água e lixiviação de compostos ou metais em solos. Esse método tem sido muito utilizado na área da agronomia, em estudos de conservação e manejo do solo e da água.

No entanto, pesquisadores da área de geotecnia têm realizado algumas experiências, pois esse procedimento traz algumas vantagens: a) redução do tempo do experimento, quando comparado com os realizados com a chuva natural; b) redução do custo do experimento; c) maior controle das condições do experimento – quando se realiza com chuvas naturais, há grande variabilidade temporal e espacial na distribuição das gotas dentro do mesmo evento de chuva; d) possibilidade de repetição do ensaio sob condições idênticas – a repetição dos vários eventos de chuva de diferentes intensidades e energia cinética é uma das principais vantagens do ensaio. A principal desvantagem dos simuladores em campo está na dificuldade de transporte, operação, controle do vento, da chuva natural e do suprimento de água (Morgan, 2005; Guerra, 1991).

O estudo das chuvas naturais e simuladas deve ser realizado de forma conjunta, pois as características da chuva natural são de grande importância na escolha do tipo de simulador.

Nos ensaios pelo método MCT é possível retratar mais adequadamente as propriedades e os comportamentos geotécnicos, revelando, assim, uma evolução em comparação aos sistemas convencionais que são baseados nos ensaios de granulometria, limite de liquidez e limite de plasticidade. Os ensaios de consistência utilizam amostras no estado espatulado, não ocorrendo qualquer controle dessa energia dispendida no manuseio, conseqüentemente, esse procedimento interfere nos resultados desses ensaios. O elenco de ensaios para fins classificatórios, designado de Mini-M.C.V. e associado, visa verificar se o solo possui ou não o comportamento tecnológico laterítico e, ainda, a previsão de comportamento por meio de propriedades de utilização de maneira hierarquizada.

A escolha do ensaio deve depender das necessidades específicas de cada projeto. É





importante considerar as vantagens e desvantagens de cada método antes de tomar uma decisão. A combinação entre os métodos pode ser uma opção, pois permite a cobertura de áreas maiores e a obtenção de dados em tempo real. Além disso, a combinação de tecnologias pode ajudar a superar as limitações de cada método individualmente, resultando em uma tomada de decisão mais informada e eficaz.

Neste sentido, a Revisão sistemática da literatura (RSL) é método científico sistemático de investigação transparente e reproduzível que identifica a bibliografia existente para uma questão de pesquisa específica, avaliando e extraindo dados dos manuscritos encontrados (Barbosa & Pio, 2020; Siddaway, Wood & Hedges, 2019). Segundo Okoli (2019), existem 8 passos essenciais para realizar uma RSL: (1) Identificar o objetivo; (2) Planejar o protocolo e treinar a equipe; (3) Aplicar uma seleção prática; (4) Buscar bibliografia; (5) Extrair os dados; (6): Avaliar a qualidade; (7) Sintetizar os estudos; (8) Escrever a revisão.

Uma ferramenta desenvolvida que ajuda a validar os padrões de qualidade da RSL é o *Preferred Reporting Program for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA), que descreve o passo a passo, através de um diagrama da revisão sistemática mostrando o processo padrão para inclusão e exclusão de artigos (Oliveira et al., 2022; Galvão & Ricarte, 2019).

Com isso, este estudo tem como objetivo analisar estudos sobre os ensaios que servem para verificar o potencial de erodibilidade de um solo ou compósito que estão sendo mais utilizados, através de uma revisão sistemática de literatura.

## Metodologia

Com o objetivo de se obter rigor metodológico necessário para este tipo de análise (Tranfield, Denyer & Smart, 2003), uma série de etapas foi seguida. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica entre os meses de setembro/2022 a janeiro/2023 para responder à pergunta: quais ensaios são comumente utilizados para investigar o potencial de erodibilidade de um solo?

Foi gerada a *string* de busca composta pelas palavras-chave e operadores booleanos (OR, AND): (“erosão” OR “erosion” OR “erodibilidade do solo” OR “soil erodibility” OR “área de



risco” OR “*risk área*”) AND (“MCT” OR “*Miniature, Compacted, Tropical*”). As palavras chave sublinhadas da *string* foram substituídas dependendo do ensaio que foi pesquisado. Para o ensaio de Inderbitzen: (“*inderbitzen*” OR “*test inderbitzen*” OR “ensaio inerbitzen”); para o Drone: (“drone” OR “vant” OR “veículo aéreo não tripulado” OR “*unmanned aerial vehicle*”); para o teste de Crumb: (“crumb teste” OR “*crumb test*”); para o teste de Pinhole: (“Pinhole” OR “*Pinhole test*”); para simulador de chuva: (“simulador de chuva” OR “*rain simulator*”). Contudo, ressalta-se, que usos de sinônimo podem alterar o número de artigos encontrados.

Como ferramenta de busca foram utilizados o Google acadêmico e o Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), nos quais foram consultados artigos científicos e capítulo de livros, nas bases de dados de maior abrangência de temas em geral, a *Scopus*, *Science direct* e *Web of science*. No processo de busca dos manuscritos foram aplicadas algumas limitações/filtros nas bases de dados e critérios de inclusão e exclusão, conforme a Tabela 01.

**Tabela 01**

*Parâmetros e limitações definidos para a pesquisa*

PARÂMETROS	LIMITAÇÕES/FILTROS
Palavras-Chaves da <i>string</i>	Título; Resumo; ou Palavras-chave
Área de publicação	Engenharia Civil
Linguagem dos artigos	Inglês; Espanhol; ou Português
Período dos artigos	2013 a 2022 (últimos dez anos)
Tipos de artigos	Artigos de revisão, artigos de pesquisa e capítulo de livro
Critérios de Inclusão (I) e Exclusão (E)	(I.1) traz informações de ensaios utilizados para verificar o potencial de erodibilidade do solo em área de risco; (I.2) Textos completos; (I.3) Artigos avaliados por pares. (E.1) Duplicidade; (E.2) Título não condizente com o objetivo; (E.3) Resumo não condizente com o objetivo; (E.4) Sem acesso ao texto completo.

Fonte: Elaboração própria

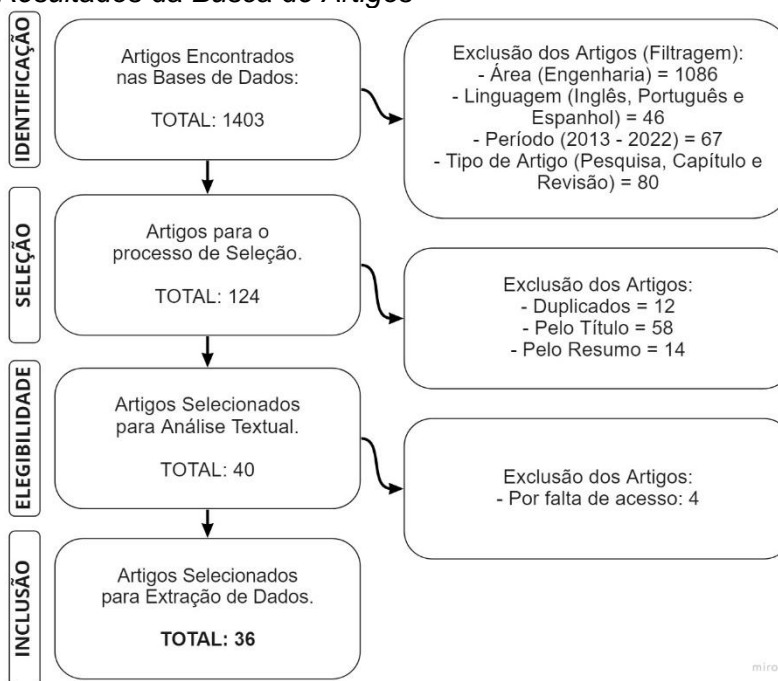


## Resultados

A revisão sistemática foi realizada entre os meses setembro/2022 e janeiro/2023. Foram encontrados 1403 artigos nas quatro bases de dados, e posteriormente foram submetidos à filtragem. O fluxograma de modelo PRISMA (Figura 01) apresenta o resumo dos resultados após a filtragem.

**Figura 01**

*Fluxograma dos Resultados da Busca de Artigos*



Fonte: Elaboração própria

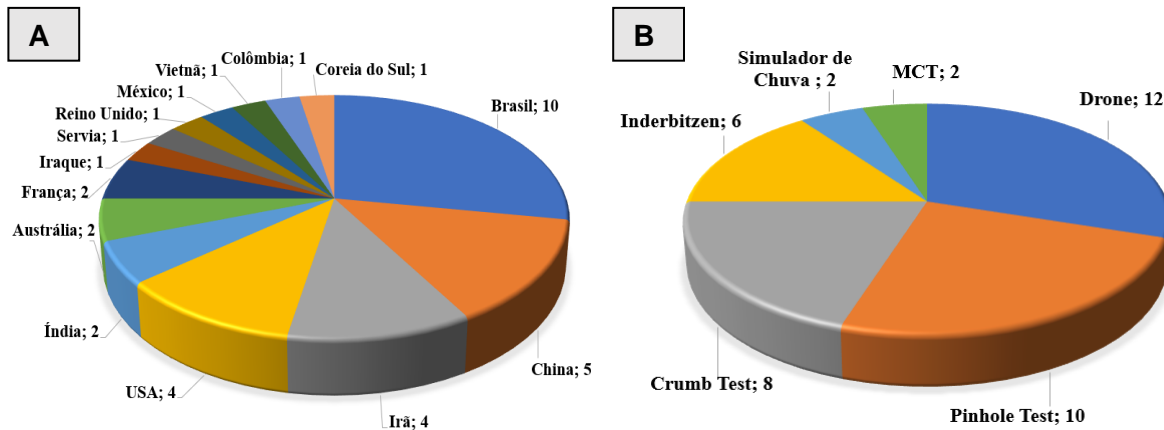
Em seguida, realizou-se a análise de exclusão de artigos duplicados, leitura dos títulos e resumos. Das 124 publicações selecionados após a filtragem, somente 40 artigos foram selecionados para análise textual, sendo que quatro destes não foram encontrados o texto completo, totalizando 36 artigos de acordo com o objetivo da pesquisa. Este número corresponde a aproximadamente 28,4% dos artigos que foram selecionados.

## Análise Bibliométrica

O país que mais publicou, nos últimos dez anos, sobre a temática desta revisão foi o Brasil, aparecendo com 10 das 36 pesquisas analisadas, como apresenta a Figura 02.A. Logo depois, vêm os países China, com 5 publicações; os USA e o Irã, com quatro publicações cada; a Índia, Austrália e França aparecem com dois estudos; os demais artigos estão divididos em oito países, mostrando que os ensaios encontrados são utilizados em diversos países pelo mundo.

### Figura 02

Artigos publicados: Pelos países (A); Ensaios utilizados (B)



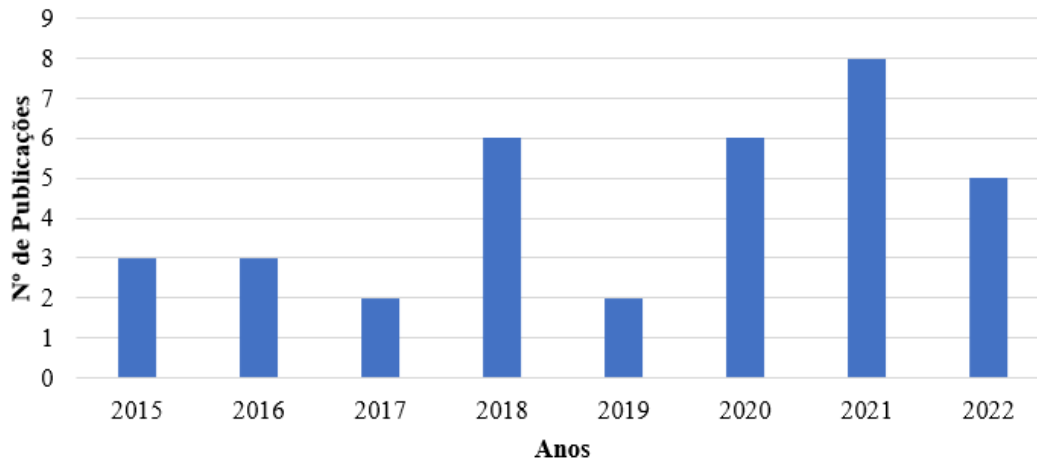
Fonte: Elaboração própria

A Figura 02.B quantifica o número de artigos encontrados para cada tipo de ensaio utilizado para estudar a erosão em um solo. Observa-se que o ensaio mais utilizado foi o drone (12 estudos), contudo outros ensaios estão sendo comumente utilizados, como o teste de pinhole (10 estudos); Crumb Teste (8 estudos); inderbitzen (6 estudos); o Simulador de Chuva e Miniatura Compactada Tropical (MCT), com 2 estudos cada.

No ano de 2021 ocorreu o maior número de artigos publicados dos estudos selecionados para a extração de dados, com 8 publicações dos 36 estudos, como mostra a Figura 03.

### Figura 03

Número de publicações por ano

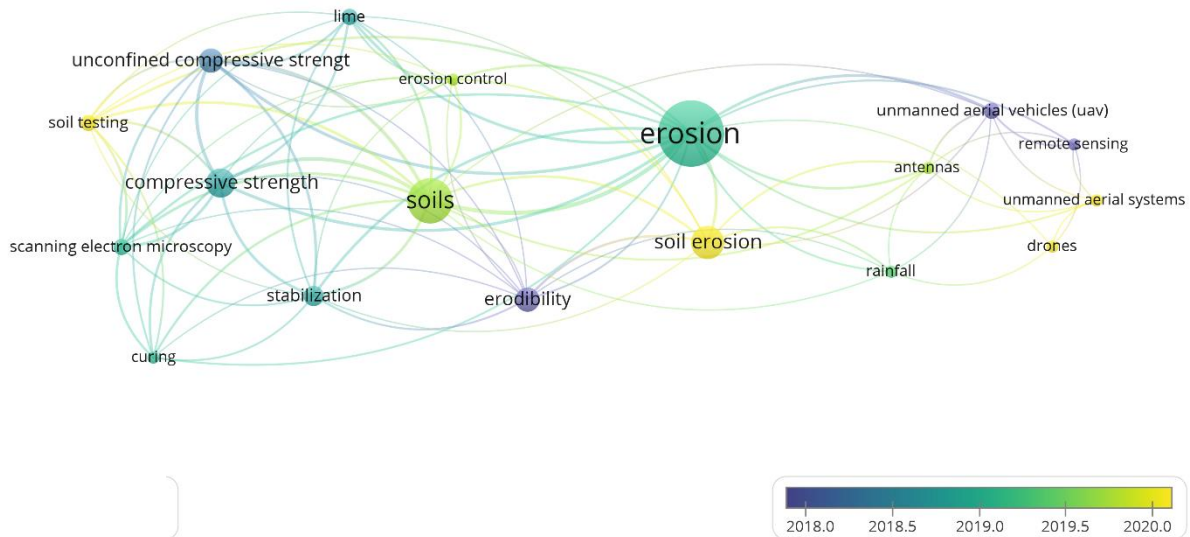


Fonte: Elaboração própria

As palavras-chave que foram mencionadas no mínimo três vezes em todos os artigos são apresentadas na Figura 04. Destaque as palavras-chave: “*erosion*”, “*soil*”, “*soil erosion*”, “*erodibility*”, “*erosion control*”, “*drones*” mostrando que os artigos em análise estão de acordo com o objetivo proposto. As linhas correspondem a ligação entre as palavras nos artigos; as cores representam os períodos da citação destas palavras indicadas na legenda.

## Figura 04

### Palavras-chave e Correlações



Fonte: Elaboração própria

## Análise Descritiva

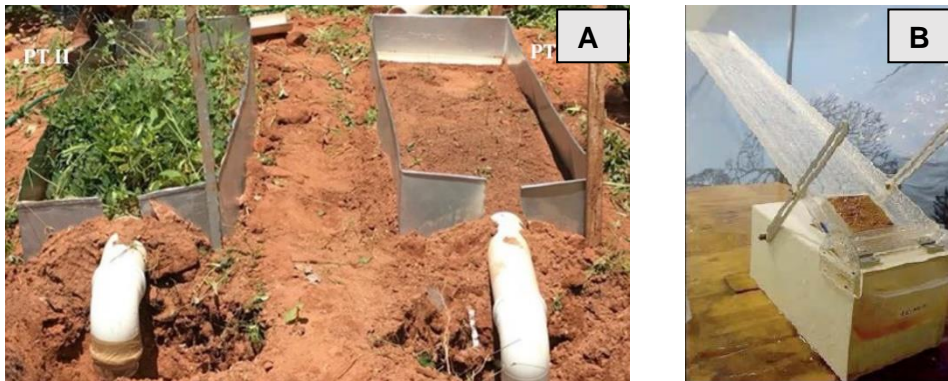
### Inderbitzen

O ensaio de Inderbitzen tem como objetivo verificar a resistência do solo quanto a erosão superficial (Figura 05). Existem algumas metodologias para a execução deste ensaio, tais como: Almeida et al. (2013) que correlaciona a massa de solo que não fica retida na peneira com a curva granulométrica do solo; Thoma et al. (2020) afirmam que este ensaio permite avaliar a erodibilidade do solo em diferentes inclinações (simulando diferentes declividades), variando a intensidade e a duração da precipitação e do escoamento superficial; e o impacto da gota da chuva que causa o desprendimento da partícula do solo (Bandeira et al., 2021).



**Figura 05**

*Ensaio inderbitzen: inclinação do talude (A); diferentes inclinações (B)*



Fonte: Bandeira et al. (2021) (A); Soares et al. (2018) (B)

Nascimento et al. (2019) realizaram o ensaio de inderbitzen, através da metodologia de Almeida et al. (2013), em uma amostra de solo puro e compósitos do solo estabilizado com 1%, 2% e 4% de cal, em quatro tempos de cura (1, 7, 28 e 56 dias). Concluíram que o tratamento do solo por meio do uso de solução de cal provocou redução na perda de massa do solo, e que o tempo de cura não teve relevância para a esta perda, mas foi expressiva na melhoria da estabilidade estrutural.

Em uma reserva natural localizada na cidade Juazeiro do Norte-Ceará-Brasil, Bandeira et al. (2021), através do uso do ensaio inderbitzen in loco com simulação de chuva, realizaram o teste em uma área com cobertura vegetal e outra sem vegetação. Verificaram que a falta da cobertura vegetal aumenta a suscetibilidade a processos erosivos, intensificados também pela intervenção antrópica no local, sem planejamento de drenagem pluvial. Concluindo que os fatores naturais e antrópicos são responsáveis pela erosão da reserva natural, sendo necessárias medidas não-estruturais e estruturais para reabilitação da área degradada.

Thoma et al. (2022) realizaram o ensaio de inderbitzen em amostras de solo com cobertura vegetal e sem cobertura vegetal em três declividades diferentes (5%, 17,5% e 35%). Os resultados apontaram para uma perda de solo variando de 0,03 a 2,1 g/cm<sup>2</sup> e constataram



que a cobertura vegetal foi bastante eficiente na redução das perdas do solo por erosão, e a declividade contribuiu para esta perda, corroborando com Roccati et al. (2021) e Melo (2021). Concluíram que esses fatores são importantes nos ensaios de erosão, concordando com Bandeira et al. (2021).

Com o objetivo de avaliar a erodibilidade de solos em taludes de estradas localizada na cidade de Bom Jardim-RJ, Soares et al. (2018) verificaram os índices de erodibilidade de amostras de solo com o uso do ensaio Inderbitzen Modificado, considerando declives médios regionais (11° e 20°) e regime de chuva intensa ( $v = 6,8\text{m/s}$ ) em simulador especialmente construído para este fim. Com o ensaio foi possível alcançar o objetivo, classificando as amostras a partir dos parâmetros de Bastos (1999), e concluíram que os taludes de corte na região devem adotar medidas para evitar a erosão hídrica.

Utilizando dois tipos de solo (Cambissolo e Latossolo) provenientes da cidade Senador Canedo-GO, Almeida et al. (2015) realizaram análise da influência da sucção na erodibilidade, em amostras inderformadas, através do ensaio inderbitzen. Observaram que a maior erodibilidade do solo ocorre em amostras secas quando sofrem saturação devido ao escoamento superficial da água, contudo o umedecimento interfere na intensidade da erodibilidade. Outro ponto verificado é que menores valores de sucções iniciais se apresentaram mais resistentes à erodibilidade superficial.

Fonseca et al. (2016) verificaram, através do ensaio Inderbitzen, a erodibilidade de um solo Cambissolo, proveniente do córrego do Yung da cidade de Juiz de Fora-MG. Retiraram duas amostras do solo, uma do horizonte B e outra do horizonte C. Observaram que maior perda de solo acumulado foi apresentado pelo horizonte C, em vista do menor teor de argila e ausência de estrutura, concluindo que este horizonte possui um maior potencial de erosão do solo, necessitando de monitoramento.

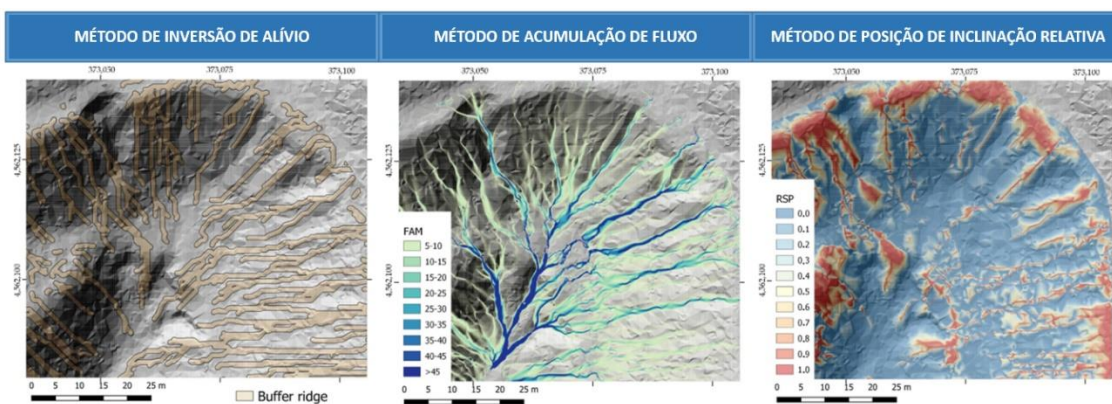
### ***Drone ou veículo aéreo não tripulado (VANT)***

No norte da Tanzânia, Blake et al. (2020) concluíram que a fotografia aérea de alta resolução e análise geoespacial foram importantes para perceber que a erosão em terras de pastagem de alto declive não foi causada somente pela criação de animais, mas a falta de vegetação influenciou neste processo. Com isto, algumas medidas foram adotadas para evitar esta erosão, como: plantio de árvores em pontos hidrológicamente vulneráveis, novos regimes de manejo de pastagens e compromisso com um plano de manejo comunitário de terras.

Carabassa et al. (2021) apresentaram um método prático para estimar o volume de material erodido em áreas restauradas de uma mina a céu aberto localizada em El Vendrell na Espanha, através do uso de imagens de drone, técnicas fotogramétricas e sensoriamento remoto. Verificaram que é possível obter estimativas máximas e mínimas do volume de material erodido em taludes, sendo relevante para identificar onde ocorrem os principais processos erosivos (Figura 06). Concluíram que este método facilita a avaliação quantitativa dos processos de erosão, sendo viável para programas de restauração.

### **Figura 06**

#### *Método para estimar o volume de material erodido*



Fonte: Adaptado de Carabassa et al. (2021)

Com o objetivo de verificar a influência da chuva no desenvolvimento de voçorocas em



uma encosta localizada no nordeste da China, Tang et al. (2022) utilizaram um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para coletar dados fotogramétricos com resolução de 0,08 m, para monitorar mudanças morfológicas das voçorocas efêmeras na temporada de chuvas intensas. Com o drone, foi possível observar que a perda volumétrica de solo das ravinas em um evento de chuva forte foi responsável por cerca de 29 a 45% da erosão total no campo.

Segundo Zheng et al. (2020) é possível fazer um modelo de elevação de uma área e monitorar a erosão de áreas com o uso de um veículo aéreo não tripulado (VANT). Com as imagens, foi possível verificar que a erosão em uma área localizada em Yanghe River-China é maior que a expansão agropecuária, destruindo locais e terras cultiváveis causando perdas em produção agropecuária. Através disto, concluíram que é necessário medidas apropriadas para diminuir o avanço da erosão, como por exemplo: plantação de espécie nativas, o que melhora a estrutura física e química do solo, diminui a erodibilidade e aumenta a capacidade de infiltração de água no solo.

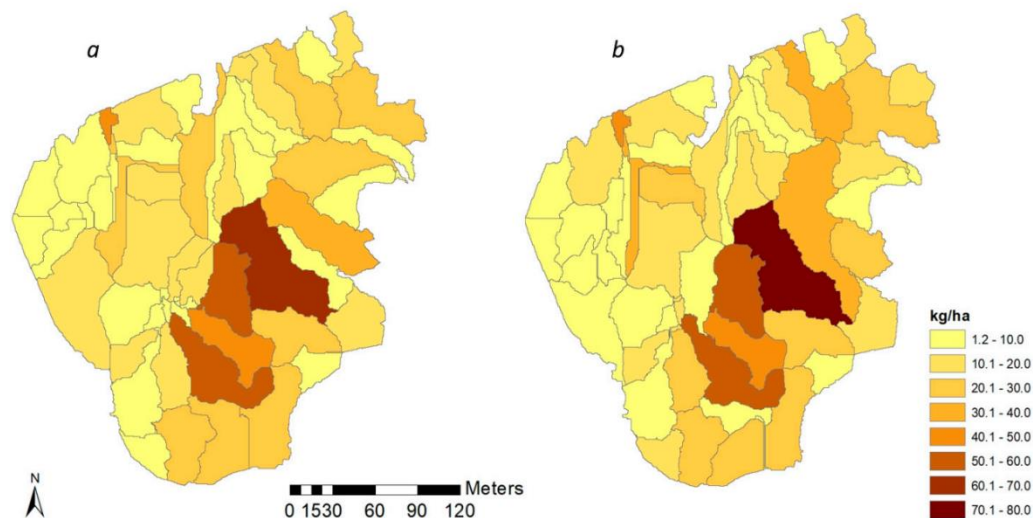
Também em uma área da China, mais precisamente no Rio Sancha, Wang et al. (2016), utilizaram o drone para avaliar a erosão da voçoroca através do método de foto reconstrução 3D e imagens de satélites. Os resultados revelaram em detalhes a área de utilização agrícola humanas e erosão hídrica, além de fornecer o volume da ravina. Com as imagens geradas é possível realizar uma avaliação eficaz da erosão da ravina em várias escalas espaciais, sendo importante continuar o monitoramento da erosão dessa região.

Com o objetivo de melhorar a compreensão dos padrões de erosão das falésias localizadas no sudeste de Winconsin-EUA, assim como identificar os processos que as intensificam, Roland et al. (2021) utilizaram o drone para observar a taxa de erosão na área. Os resultados apontam que a taxa de erosão, nos períodos de geada, são 3 a 4 vezes maiores do que nos períodos quentes, concluindo que os riscos de deslizamento em zonas costeiras são mais altos no período mais frio, no entanto é comum a ocorrência desses desastres em encostas mais íngremes durante todo o ano.

Em outra região da cidade de Winconsin-EUA, no Condado de Waukesha, Hupy e Wilson (2021), utilizaram as imagens adquiridas pelo drone para fazer um modelo de terreno digital para estimar o fluxo do carregamento de sedimentos na área. Para validar esse fluxo pelo modelo feito pelo drone, foi realizada uma comparação com um modelo gerado pelo sistema LiDAR (*Light Detection and Ranging*), que é um modelo apropriado para este tipo de análise (Figura 07). Concluíram que, na falta de um modelo feito com dados do sistema LiDAR, o modelo feito pelo drone se mostrou eficiente.

### Figura 07

Comparação da erosão sedimentar gerada: Sistema LiDAR (a); Drone (b)



Fonte: Hupy e Wilson (2021)

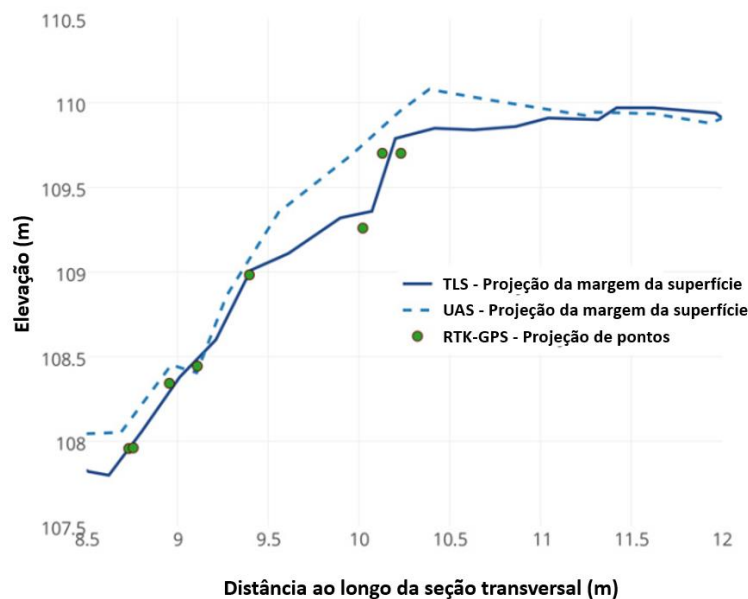
Padró et al. (2022) afirmam e corroboram que o sensoriamento remoto com imagens de drones é uma ferramenta muito útil para a monitoramento de áreas restauradas que sofreram processos erosivos. Verificaram que o controle da declividade e o cálculo das taxas de erosão possibilitam o acompanhamento de áreas erodíveis ativas e facilitam a tomada de decisões cruciais para a implementação de medidas de estabilização em áreas de alta suscetibilidade a deslizamentos. E concluíram que o sensoriamento remoto com imagens de drones é comprovadamente válido e adequado para monitoramento, podendo ser aplicável a outros

cenários semelhantes.

Validando a aplicação dos dados topográficos provenientes de drones para avaliar e quantificar a erosão de litorais localizados em Burlington-EUA, Hamshaw et al. (2017) compararam tais dados com um scanner a laser terrestre (RIEGL VZ-1000 TLS) e um GPS geodésico RTK (TopCon). Verificaram que, mesmo com algumas limitações (por exemplo obstrução de vegetação), a quantidade de erosão em algumas áreas foi semelhante ao encontrado pela scanner a laser terrestre, concluindo que o drone apresentou-se eficiente para detectar ou monitorar áreas que apresentam erosão (Figura 08). Yasuhara et al. (2016), ao investigar litorais no Vietnã, corroboram que o drone é uma ferramenta poderosa para monitoramento de litorais que apresentam erosão.

### Figura 08

*Comparação do perfil da encosta feitos pelos equipamentos*



Fonte: Adaptado de Hamshaw et al. (2017)

Perez, Zech e Donald (2015) utilizaram o drone para inspecionar canteiros de obras de práticas de controle de erosão, concluindo que os drones são econômicos, flexíveis e possuem potencial de fornecer imagens e dados aéreos de alta qualidade podendo auxiliar nas inspeções



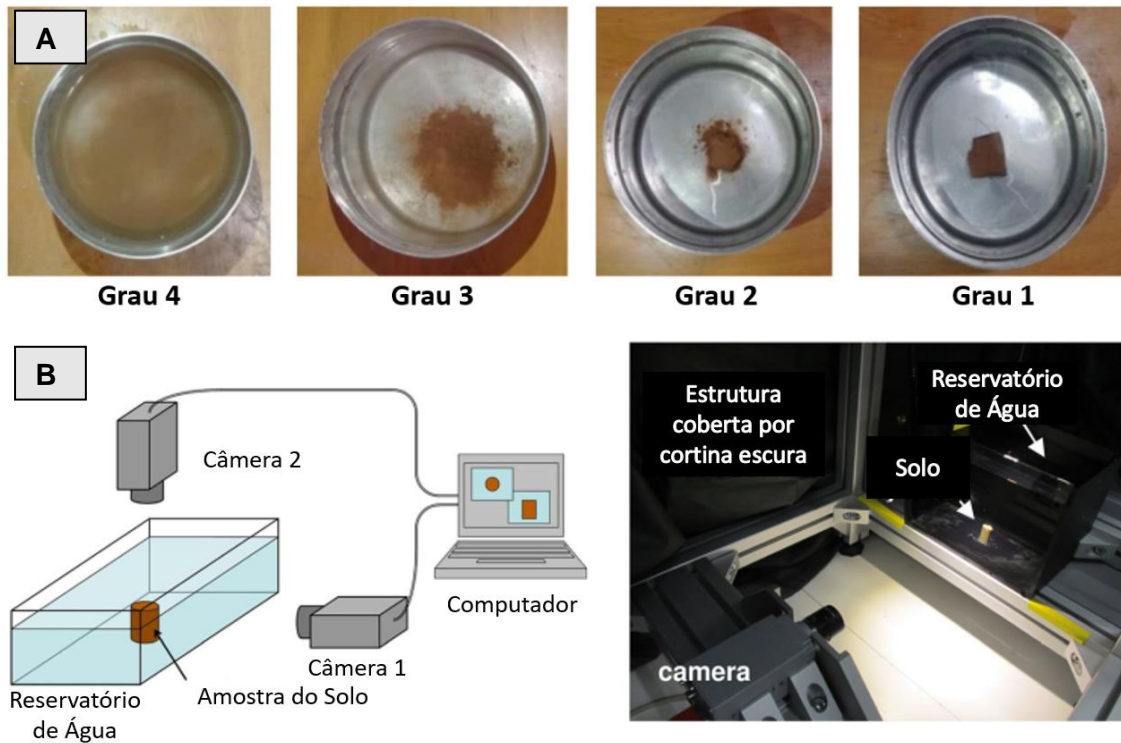
locais de práticas de controle ambiental e monitoramento de erosão (Yasuhara et al., 2016).

Analisando, através do processamento fotogramétrico realizado por drone, uma área antes e depois da erupção de um vulcão localizado na costa oeste do México, Walter et al. (2018), fizeram modelos digitais de terreno de alta resolução e verificaram os impactos geomorfológicos causadas pela chuva de 500mm causada após a erupção. Detectaram vários tipos de erosão à 8 km de distância do vulcão, com escoamento superficial e redes de sulcos, desenvolvendo grandes ravinas erosivas com profundidade superior a 4 m. Concluíram que monitoramento de câmeras é muito útil para estudar a relação entre a evolução da paisagem.

### **Crumb teste**

O crumb test é empregado para determinar qualitativamente a natureza da dispersividade do solo e é considerado o mais simples dos testes usados para detectar argilas dispersivas (Reddy, Saride & Haldar, 2020; Joga & Varaprasad, 2020). Segundo Reddy, Saride e Haldar (2020) o teste é realizado colocando uma amostra de solo com cerca de 15 mm de diâmetro em um vidro ou plástico transparente parcialmente preenchido com solução diluída de hidróxido de sódio 0,001 M.

A amostra é colocada no recipiente e deixado em repouso por no mínimo 1 h. Ao final do período de espera, observa-se o torrão e a água e avalia-se a presença de qualquer nuvem coloidal na água. Segundo Masrour et al. (2021) o crumb test, determina o potencial de dispersividade do solo baseado na qualidade da água que permeia através dos corpos de prova, que é categorizada em 4 graus (Figura 09.A), sendo o Grau 1 referente a amostras não dispersivas e o Grau 4 sendo para solos altamente dispersivos. (ASTM, 2013).

**Figura 09:***Crumb teste: convencional (A); automatizado (B)*

Fonte: Adaptado de Masrouf et al. (2021) (A); Haghighi et al. (2020) (B)

Para investigar o impacto de diferentes teores de nanossílica no potencial de dispersividade e comportamento mecânico do solo dispersivo, os autores Masrouf et al. (2021) substituíram o solo por nanossílica nas proporções de 0,4%, 0,6%, 0,8%, 1%, 1,2% e 1,5% em amostras com tempos de cura de 7 e 28 dias. Aplicando o crumb test, concluíram que na proporção de 1%, as amostras são classificadas como não dispersivas, contudo, para as demais proporções (menores ou maiores que 1%), as amostras apresentaram dispersividade.

Ao realizar o crumb test em um solo argiloso de Kuttanad em condição natural, Reddy, Saride e Haldar (2020) verificaram que o solo apresenta grau 3 de dispersividade (dispersivo intermediário). Com o intuito de diminuir a grau de dispersividade dos solos os autores fizeram compósitos com a substituição do solo por bentonita, nas proporções de 10% a 60%, contudo não apresentaram resultados satisfatórios, piorando a condição na substituição de 50%, tornando





o solo em grau 4 de dispersividade.

Joga e Varaprasad (2020) estudaram a adição de biopolímeros, goma xantana (XG) nas proporções de 0,5%, 1%, 1,5%, 2% em um solo dispersivo proveniente do estado de Karnataka-Índia. Concluíram que as amostras com 1% de adição de XG reduziu a dispersividade do solo. Utilizando também goma xantana (XG), nas proporções 1%, 2% e 3% e goma de guar (GG) na proporção de 0,5%, 1%, 2%, Swain et al. (2018) reduziram a dispersividade de um solo da cidade Rourkela-Índia, mostrando a eficácia da goma xantana e da goma guar na estabilização do solo altamente dispersivo.

Haghighi et al. (2020) fizeram o crumb teste de forma automatizada (Figura 09.B), acoplado uma câmera para verificar o comportamento do solo mais detalhadamente. Enquanto o convencional é observado ao olho nu, o teste modificado adotado pelos autores verificou a degradação e quantificou a partir de parâmetros de tempo e/ou de dimensão. A mudança geométrica dos corpos de prova durante a fase de inchamento no início do ensaio estava de acordo com as teorias de infiltração e que a tendência à desagregação apresentou coerência com os resultados do teste de erosão de furos. Contudo, concluíram que mais resultados são necessários para validar a correlação entre as propriedades desagregantes e os parâmetros de erodibilidade.

Para investigar o potencial de erodibilidade de um solo da cidade de Lion-França, Elandaloussi et al. (2019) utilizaram o crumb teste. O objetivo dos autores foi estabilizar o solo com a adição de 1% cal hidratada ao solo natural. Observaram que o solo natural colapsou imediatamente quando imersa no tanque de água, mostrando que solo é suscetível à erosão, contudo o compósito com 1% de cal contribui para estabilizar quanto a dispersão, pois ficou intacto após 1 semana de imersão.

Utilizando cinza volante para estabilização de solo dispersivo proveniente da cidade Victoria-Australia, Premkumar et al. (2016), através do crumb teste e teste de pinhole, observaram que os compósitos (variando de 3% a 12% de cinza volante) são eficazes pois



apresentaram redução nas taxas de erosão comparado ao solo dispersivo. Fan et al. (2018), em um estudo realizado na China utilizando o teste de pinhole e crumb teste, corroboram que a cinza volante teve uma influência significativa na dispersividade da argila dispersiva, reduzindo a dispersão do solo com o aumento do teor de cinzas volantes (0% - 10%) e do tempo de cura (0 – 7 dias).

Mahmodi, Soloki e Azimian (2015) verificaram 17 amostras de solo argiloso de uma área que apresentava regiões com diversas erosões, situada na planície de Zahmat-Keshan-Irã. Utilizando os testes de pinhole e crumb observaram que a maioria das amostras apresentavam taxas de erosão altas, sendo necessário estudos mais aprofundados para propor soluções com o foco na diminuição da erodibilidade da área.

### ***Teste de Pinhole***

Outro teste utilizado para verificar o potencial de dispersividade de um solo é o pinhole teste (Figura 10) que é realizado de acordo com as recomendações da norma NBR 14114 (ABNT 1998) em corpos de prova cilíndricos compactados (37 mm de diâmetro e 38 mm de altura). Uma vez cumprido o período de cura, realiza-se um furo com uma agulha de 1 mm de diâmetro em todo o comprimento do corpo de prova. Em seguida, o corpo de prova submete-se a cargas hidráulicas constantes ao longo de intervalos de tempo de 5 min. Após cada intervalo, verifica-se a vazão média e a turbidez da água (Filho et al., 2021).

**Figura 10***Teste de Pinhole*

Fonte: Masrour et al. (2021)

Com o objetivo de melhorar um solo moderadamente dispersivo, Filho et al. (2021) fizeram compósitos adicionando pó de vidro (10% a 30%) e carboneto de cal (5% a 12%) no solo e executaram o teste de Pinhole nos corpos de prova com 7 dias de cura e que possuíam o menor peso unitário seco ( $16,5 \text{ kN/m}^3$ ), tentando simular o pior cenário possível. Após o teste, todos os corpos de prova testados puderam ser classificados como não dispersivos. Concluiu-se então que o método de estabilização proposto foi bem-sucedido, reduzindo a dispersividade do solo natural.

Alabdullah et al. (2022) utilizaram o teste de pinhole para medir a dispersividade de amostras de solo de três regiões de Bagdá, sendo uma no estado natural e outra na umidade ótima. Verificaram que, os três solos são registrados como solo altamente dispersivo na umidade natural, e na umidade ótima, os solos A e C estão entre intermediários a altamente dispersivos, enquanto o Solo B é altamente dispersivo. Concluindo que densidade seca e o teor de água podem aumentar o grau de dispersividade.



Com o objetivo de investigar a erodibilidade de diferentes tipos de solo, variando de solos argilosos para arenosos, coletados no rio Nakdong (Coreia do Sul), Dinh et al. (2021) utilizaram o teste de pinhole para tal caracterização. Observaram que tamanho de grão variando de 0,2 a 0,6 mm são mais suscetíveis à erosão do solo, concluindo que distribuição granulométrica e o coeficiente de uniformidade dos solos são fatores significativos que afetam as características erosivas do solo.

Tabarsa et al. (2018), através de testes laboratoriais e teste de campo, investigaram a estabilização de um solo utilizado na barragem do canal Gonbad-Irã. A estabilização foi realizada com nanoargila, em proporção variando de 0,2% a 3,0%, adicionadas ao solo natural. O teste de pinhole foi utilizado para verificar a dispersividade e o comportamento de colapso induzido, mostrando que o uso da nanoargila melhora a dispersividade do solo, concluindo que quanto maior a fração da nanoargila, menos erosão ocorria.

Utilizando o lignosulfonato e a fibra de polipropileno como estabilizador para melhorar a resistência à erosão e a resistência mecânica de um solo altamente dispersivo proveniente da cidade Estahban-Irã, Vakili et al. (2018), através do teste de pinhole, observaram que o potencial de dispersão do solo diminuiu consideravelmente devido à estabilização do lignosulfonato, concluindo que o compósito com 2% de lignosulfonato e 0,35% de fibra de polipropileno obteve uma redução na dispersividade do solo puro, tornando-o um material não dispersivo.

### ***Miniatura, Compactado, Tropical (MCT)***

Para efeito de classificação do solo, coeficientes empíricos obtidos em dois ensaios da Metodologia MCT podem ser utilizados. O ensaio MCT é regulamentado pelas normas rodoviárias do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) através das normas: Ensaio de compactação dinâmica Mini-MCV - ME 258 (DNER, 1994b); e Teste de perda de massa por imersão - ME 256 (DNER, 1994a). Bastos et al. (2000) classificam a erodibilidade de um solo a partir de dois parâmetros: o coeficiente de absorção (s) obtido no ensaio de taxa de infiltração; e a perda de massa por imersão (Pi), uma das etapas do MCT. Os solos são



classificados como erodíveis quando a razão  $Pi/s$  é maior que 52. Já Pejon (1972) considera um solo erodível quando a razão  $Pi/s$  é maior que 40.

Verificando quatro perfis de solos residuais de cortes de rodovias e estradas da região do Alto Paraopeba, no Estado de Minas Gerais, na condição natural e pré-umidecidas, Silva et al. (2015) analisaram que é possível fazer uma avaliação indireta de erodibilidade de um material pela proposta de Bastos et al. (2000). Neste estudo, somente dois perfis apresentaram maior suscetibilidade à erosão.

Para Couto e Gomes (2020) é possível verificar o potencial de erodibilidade do solo com a Metodologia MCT. Analisando amostra de solo de rodovias de Minas Gerais, os autores verificaram o potencial de erodibilidade do solo através dos valores da perda de massa por imersão e pelos valores de absorção por capilaridade de amostras em estado natural e secas ao ar, através de parâmetros definidos por Pejon (1992). Os resultados indicam que solos com maior grau de intemperismo apresentam menor suscetibilidade à erosão hídrica. Concluíram que o MCT apresenta aplicação promissora para verificar a erosão dos solos em encostas, principalmente pelo teste de perda de massa por imersão, mas que apresenta limitação quanto a estrutura original do solo.

Com o intuito de analisar um solo de origem residual tropical situado na cidade de Guarne (Colômbia), Valencia-González et al. (2015) realizaram testes de caracterização e erodibilidade em amostras. Verificaram que o solo apresenta um comportamento de um solo laterítico argiloso, sendo resistentes à erosão hidráulica quando devidamente compactados, contudo, no estado natural e desprotegido, são frágeis quanto à erosão superficial (Bastos et al., 2000). Os autores verificaram a erodibilidade do solo com o teste de pinhole, mostrando que o solo não apresenta erosão interna.

### ***Simulador de Chuva***

Para Confessor, Silva e Rodrigues (2021) há tempos que os simuladores de chuva, com diferentes configurações, são utilizados para estudos normalmente ligados à compreensão da dinâmica da água. Segundo Zivanovic et al. (2022), os processos erosivos de solos são um problema global e que o simulador de chuva (Figura 11) é uma ferramenta bem útil para estudos da resistência do solo quanto a erodibilidade (Confessor, Silva & Rodrigues, 2021).

### **Figura 11**

*Simulador de chuva: análise in loco*



Fonte: Zivanovic et al. (2022)

Através de um simulador de chuva adaptado em uma área de encosta com inclinação de 7° e 15°, e adotando parâmetros de: intensidade da chuva igual a 1,7 e 1,9 mm/min; diâmetro das gotas iguais a 1,2mm; e coeficiente de uniformidade de Christiansen de 92,23%-93,70%, Zivanovic et al. (2022) concluíram que o simulador mostrou-se eficaz para a análise de erosão, podendo ser implementado com sucesso em pesquisas que visam determinar a resistência à processos erosivos, infiltração e produção de sedimentos dos solos.



Com o objetivo de difundir o uso de simulador de chuvas simples e portátil, em áreas com processos de erosão do solo, Confessor, Silva e Rodrigues (2021) verificaram que através do equipamento pode-se ilustrar: o quanto a erosão natural pode revitalizar áreas; o quanto o material transportado pode beneficiar ou não áreas; e o quanto as ações antrópicas podem afetar a dinâmica do meio ambiente, acelerando o processo erosivo. Concluíram que os simuladores de chuvas podem ser aplicados na educação e em pesquisas, com o foco na educação, estimulando a conscientização ambiental, mostrando as consequências e os impactos gerados pela erosão.

## Conclusões

Nesta análise pôde-se observar que o país que mais trata sobre verificar o potencial de erodibilidade de um solo é o Brasil (com 10 estudos), porém é um assunto de interesse global, pois os 36 estudos analisados estão espalhados em 14 países.

Percebe-se que existem diversos ensaios para verificar o quanto um solo é resistente a erosão, através de testes diretos (Inderbitzen e simulador de chuva) e testes indiretos (uso do VANT (drone), Crumb teste, teste de pinhole, MCT), sendo importantes para monitoramento de áreas de risco.

Verifica-se que os métodos mais utilizados são aqueles mais antigos, como: Crumb teste, teste de pinhole e MCT; contudo análises mais tecnológicas estão sendo utilizadas para monitoramento de áreas, como: simulador de chuva, uso do VANT (drone), inderbitzen in loco, e crumb teste automatizado.

No ensaio de Inderbitzen, Rocha (2021) faz algumas considerações, que enquanto a metodologia original é capaz de cobrir diferentes vazões e inclinações de forma aceitável, a nova metodologia é também capaz de simular de forma aceitável o processo da chuva, sendo claramente observável a remoção de material nos locais de impacto das gotas. Portanto, em comparação ao ensaio original, o novo modelo de testes consegue acrescentar o fator de impacto direto da chuva na amostra, apresentando um realismo superior na simulação do processo de



erosão. Neste ensaio, a metodologia consegue reproduzir parcialmente as características naturais de escoamento superficial, com limitações com relação à inclinação da rampa.

Quanto ao Pinhole test, Moraes (2022) cita que este ensaio é susceptível a identificar solos altamente erodíveis, que podem ser confundidos com solos dispersivos. É importante notar que todos os solos com alto teor de sódio podem ser erodíveis, mas nem todos os solos erodíveis são necessariamente dispersivos. De acordo com Bell e Walker (2000), o diâmetro do orifício no final do ensaio prova ser o indicador mais confiável para reconhecer a dispersividade. Isso, no entanto, não deve ser o único fator determinante para a identificação de dispersividade, pois o diâmetro do furo de agulha de solos erodíveis aumentará mais do que para solos dispersivos. A natureza do efluente desempenha um papel vital no procedimento de ensaio, não apenas pela cor, mas também o tipo de sedimento/material presente na água. O efluente de um solo pode ser altamente turvo à medida que sai do ensaio, mas não é necessariamente dispersivo. Se o solo for dispersivo, o efluente deve ficar turvo por um período prolongado, pois as partículas de argila ficarão em suspensão, enquanto a suspensão em materiais puramente erodíveis vai se estabelecer somente numa fase inicial, sucedida pela sedimentação dos sólidos, e com isso a solução vai tornar-se clara (ou possivelmente manchado se o solo contém certos elementos como ferro ou matéria orgânica).

Paula et al. (2020) relatam que o ensaio pela classificação MCT permite inferir, de maneira bastante confiável, a gênese dos solos tropicais, principalmente os lateríticos de textura fina que cobrem grande parte do território nacional, quando comparada com os ensaios e os sistemas de classificação oriundos de normas americanas. O ábaco classificatório MCT-M evidencia o caráter transitório que os solos apresentam entre as gêneses laterítica e saprolítica, passando, portanto, a identificar solos parcialmente evoluídos, cujo conhecimento é importante para a avaliação do comportamento geotécnico esperado em estudos, projetos e execução de obras de infraestrutura viária. A verificação da relação do grau de intemperismo com a classificação MCT-M pode agregar maiores conhecimentos sobre o tema, de maneira a tornar





mais pragmático o conceito dos solos transicionais dentro da abrangência dos solos tropicais.

Com relação ao monitoramento por drones, Parreiras (2021) descreve que a utilização deste equipamento permite identificar deslizamentos dentro de voçorocas em menor tempo do que com métodos tradicionais. O autor observou que chuvas longas e consecutivas estão associadas a modificações mais expressivas como o preenchimento de cavidades e alargamento de sulcos erosivos, possivelmente pela capacidade de formar correntezas. Por outro lado, chuvas intervaladas por períodos de estiagem estão associadas a feições erosivas superficiais, aparentemente sem grande capacidade de carrear sedimento. Neste sentido, a aplicação de imageamento aéreo por drones pode ser um método robusto para estimar o avanço erosivo das voçorocas em escalas de tempo anuais. Desta maneira, pode-se enfatizar que todos os métodos foram considerados eficazes para análise de erodibilidade dos solos.

### Referências

- ABNT (1998) Solos argilosos dispersivos - identificação e classificação por meio do ensaio do furo de agulha (pinhole test). NBR 14114, Rio de Janeiro (in Portuguese)
- ABNT (2020a). Solo – Avaliação da dispersibilidade de solos argilosos pelo ensaio do torrão (crumb test) - NBR 13601. Rio de Janeiro, Brasil, 2 p.
- Alabdullah, S. F. I., Hassab, Y., Teama, Z., & Aldahwi, S. (2022). Soil retention tests for determining dispersion of clayey soils. *International Journal of GEOMATE*, 22(93), 60–66. <https://doi.org/10.21660/2022.93.3054>.
- Almeida, J. G. R., Romão, P. de A., Mascarenha, M. M. dos A., & Sales, M. M. (2015). Erodibilidade de solos tropicais não saturados nos municípios de Senador Canedo e Bonfinópolis (GO). *Geociências*, 34(3), 441–451.
- Almeida, J.G.R.; Rocha, M.F.; Gitirana JR., G.F.N. (2013). A influência da sucção na erodibilidade de um solo compactado: estudo de caso em um solo erosivo do Córrego Barreiro. In: SIMPÓSIO DE PRÁTICA DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA NA REGIÃO





CENTROOESTE E 6º SIMPÓSIO SOBRE SOLOS TROPICAIS E PROCESSOS  
EROSIVOS – GEOCENTRO, 3, 2013, Cuiabá. *Anais...* Cuiabá: ABMS, p. 63-69.

Arcova, F. C. S.; Cicco, V.; Rocha, P. A. B. (2003). Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de Mata Atlântica em uma bacia experimental em Cunha – São Paulo. *Revista Árvore*. Viçosa, 27(2), 257-262.

ASTM (2013). Standard test methods for determining dispersive characteristics of clayey soils by the crumb test. ASTM D6572-13. West Conshohocken.

ASTM (2012). Standard Test Methods for Determining Dispersive Characteristics of Clayey Soils by the Crumb Test – D6572. New York, 8 p.

Banderira, A. P. N., Macedo, C. C. A., Clarindo, G. S., Lima, M. G. de S., Neto, J. B. de S. (2021). Assessment of potential surface degradation resulting from erosion processes in environmentally protected area. *Soils and Rocks*, 44(1).  
<https://doi.org/10.28927/SR.2021.052420>.

Barbosa, M. dos S., Pio, J. L. de S. Jogos móveis como ferramenta na aprendizagem colaborativa: uma revisão sistemática da literatura. *Brazilian Journal of Development*, 6(8), p. 54735–54749. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n8-041>

Basilio, T. C. C., Fujimoto, J. T., Lopes, T., Ascitti, G. A. M., Lorandi, R., & Lollo, J. A. de. (2019). Influência da Forma das Encostas na Suscetibilidade à Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Claro (Santa Rita do Passa Quatro, SP). *Revista Brasileira de Cartografia*, 71(1), 233–252. <https://doi.org/10.14393/rbcv71n1-2172>

Bastos, C.A.B. (1999). *Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados*. Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Tese de Doutorado, 303p.

Bastos, C. A. B., Milititsky, J., Gehling, W. Y. Y. (2000) A avaliação da erodibilidade dos solos sob o enfoque geotécnico - pesquisas e tendências. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, 1(1), p. 17-26.





- Bell, F. G.; Walker, D. J. H. (2000). A further examination of the nature of dispersive soils in Natal, South Africa. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 33, 187–199.
- Bezerra, J. DA S., (2022), *Análise do processo erosivo de uma encosta no bairro de Bom Jesus- Ilha de Itamaracá/PE*. Tese de Doutorado, UFPE, 267 pp.
- Bispo, C. de O.; Melo, N. A. de; Toujaguez, R. (2019). Ocupação irregular de encostas urbanas no município de Maceió-AL. *Revista OKARA: Geografia em debate*, 13(1), 216–229.  
DOI:[10.22478/ufpb.1982-3878.2019v13n1.39080](https://doi.org/10.22478/ufpb.1982-3878.2019v13n1.39080).
- Blake, W. H., Kelly, C., Wynants, M., Patrick, A., Lewin, S., Lawson, J., Nasolwa, E., Page, A., Nasser, M., Marks, C., Gilvear, D., Mtei, K., Munishi, L., & Ndakidemi, P. (2021). Integrating land-water-people connectivity concepts across disciplines for co-design of soil erosion solutions. *Land Degradation and Development*, 32(12), 3415–3430.  
<https://doi.org/10.1002/ldr.3791>
- Carabassa, V., Montero, P., Alcañiz, J. M., & Padró, J. C. (2021). Soil erosion monitoring in quarry restoration using drones. *Minerals*, 11(949). <https://doi.org/10.3390/min11090949>
- Carvalho, R. M., Moraes, N. A., Silva, H. F., & Bernardes, I. M. M. (2019). Deslizamento de encostas devido a ocupações irregulares. *Brazilian Journal of Development*, 5(7), 9765–9772. <https://doi.org/10.34117/bjdv5n7-150>
- Confessor, J. G., Silva, L. L., & Rodrigues, S. C. (2021). Confecção de um simulador de chuvas móvel como ferramenta de disseminação do conhecimento Geomorfológico e preservação de ambientes. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 22(4), 1001–1009.  
<https://doi.org/10.20502/RBG.V22I4.1871>
- Costa, Y. T.; Rodrigues, S. C. (2015) Relação entre cobertura vegetal e erosão em parcelas representativas de cerrado. *Rev. Geogr. Acadêmica*, 9(2), 61-75.



- Couto, B. de O. C., & Gomes, R. C. (2020). Application of mct methodology to determine soil erodibility in road cutting slopes in quadrilátero ferrífero region. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, 43(1), 191–198. [https://doi.org/10.11137/2020\\_1\\_191\\_198](https://doi.org/10.11137/2020_1_191_198)
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). DNER-ME-256/94 Ensaio de Perda de Massa por Imersão. Rio de Janeiro.
- Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. (1994). DNER-ME 258/94 - Ensaio de Compactação Mini – MCV. Método de Ensaio. Rio de Janeiro.
- Dinh, B. H., Nguyen, A. D., Jang, S. Y., & Kim, Y. S. (2021). Evaluation of erosion characteristics of soils using the pinhole test. *International Journal of Geo-Engineering*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s40703-021-00145-4>
- Elandaloussi, R., Bennabi, A., Dupla, J. C., Canou, J., Benamar, A., & Gotteland, P. (2019). Effectiveness of Lime Treatment of Coarse Soils Against Internal Erosion. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(1), 139–154. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0598-4>
- Fan, H. H., Yan, Y. J., Yang, X. J., Zhang, L., & Hu, H. J. (2018). Engineering properties and microstructure feature of dispersive clay modified by fly ash. *Geotechnical Engineering*, 797–800. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97112-4\\_178](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97112-4_178)
- FAO. *Evolution of Crop Production*. FAOSTAT, Country Profile CVP Available, 2014.
- Filho, H. C. S., Martins, C. G., Menezes, R. J. W., Dornelles, L. E., & Consoli, N. C. (2021). The Effect of Key Parameters on the Strength of a Dispersive Soil Stabilized with Sustainable Binders. *Geotechnical and Geological Engineering*, 39(7), 5395–5404. <https://doi.org/10.1007/s10706-021-01833-9>
- Fonseca, L. d'Agosto M., Lani, J. L., Filho, E. I. F., Marques, E. A. G., & Ferreira, W. P. M. (2016). Avaliação da erodibilidade de um cambissolo de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Geotecnia*, 136, 143–156.



- Galvão, M. C. B., Ricarte, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. *Logeion: Filosofia da informação*, 6(1), p. 57-73, 2019.  
<https://doi.org/10.21728/logeion.2019v6n1.p57-73>
- Gonçalves, L. G.; Silva, P. B (2019). Proposta de desenvolvimento e execução de equipamento Inderbitzen Modificado para avaliação de erodibilidade do solo. *Revista Científica de Pesquisa Aplicada à Engenharia*.
- Guerra, A. J. T. (1991). *Soil characteristics and erosion, with particular reference to organic matter content*. Tese de Doutorado, Universidade de Londres, 441 pp.
- Guerra, A. J. T. (2012). O Início do Processo Erosivo. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). *Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, temas e aplicações*. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. Cap. 1. p. 17-50.
- Haghighi, I., Martin, T., Reiffsteck, P., Duc, M., Szymkiewicz, F., & Chevalier, C. (2020). An automated crumb test procedure to estimate the soil disaggregation properties in contact with water. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*.  
<https://doi.org/10.1080/19648189.2020.1854123>
- Hamshaw, S. D., Bryce, T., Dunne, J. O., Rizzo, D. M., Frolik, J., Engel, T., & Dewoolkar, M. M. (2017). Quantifying Streambank Erosion Using Unmanned Aerial Systems at Site-Specific and River Network Scales. *Geotechnical Frontiers*, 499–508.  
<https://doi.org/10.1061/9780784480458.051>
- Hupy, J. P., & Wilson, C. O. (2021). Modeling streamflow and sediment loads with a photogrammetrically derived uas digital terrain model: Empirical evaluation from a fluvial aggregate excavation operation. *Drones*, 5(20). <https://doi.org/10.3390/drones5010020>
- Joga, J. R., & Varaprasad, B.J.S. (2020). Effect of xanthan gum biopolymer on dispersive properties of soils. *World Journal of Engineering*, 17(4), 563–571.  
<https://doi.org/10.1108/WJE-05-2020-0152>



- Lafayette, K.P.V. (2006). *Estudo geológico-geotécnico do processo erosivo em encostas no Parque Metropolitano Armando de Holanda Cavalcanti - Cabo de Santo Agostinho/ PE*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 358p.
- Liu, Q., & Ma, Y. (2020). Study on the Impact of New Urbanization on Land Intensive Use - A Case Study of Shaanxi Province. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 768(5), 052004. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/768/5/052004>
- Macedo, E. S., Sandre, L. H. (2023). Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental- ABGE. Disponível em: <https://www.abge.org.br/>. Acesso 15 dez. 2023.
- Mahmodi, E., Soloki, H. R., & Azimian, A. (2015). Investigation of Expansion and Dispersion Phenomena in Zahmat-Keshan Plain Soils, Kerman, Iran. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 14, 4465–4475.
- Masrouf, F. F., Mirsadeghi, M. N., MolaAbasi, H., & Chenari, R. J. (2021). Effect of Nanosilica on the Macro- and Microbehavior of Dispersive Clays. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 33(12). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)mt.1943-5533.0003975](https://doi.org/10.1061/(asce)mt.1943-5533.0003975)
- Melo, C. B. (2021). *Utilização de informações espaciais de alta resolução para análise de suscetibilidade de deslizamento sob situação de precipitações intensas*. Programa de Pósgraduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Tese de Doutorado.
- Monteiro, E. Z.; Pina, S. A. M. G.; Freire, R. A.; Turczyn, D. T. (2020). The study of urban morphology in Campinas Metropolitan Region, Brazil. *Revista Brasileira de Gestão Urbana*, 12, 1–14. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.012.E20190260>.
- Morais, L.O; Fernandes, W. (2023). Aplicação do Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) na Identificação de Áreas Suscetíveis a Deslizamentos de Encostas em Sorocaba, São Paulo. *Anais In: XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE- Florianópolis- SC, Brasil, 2023*.



- Moraes, L. R. (2021). *Melhoramento de um solo dispersivo com o aditivo químico lignosulfonato de cálcio*. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio grande do Sul, Porto Alegre, 128p.
- Morgan, R.P.C. (2005). *Soil erosion and conservation*. Blackwell Publishing, Inglaterra, 304 p.
- Moura-Bueno, J. M., Dalmolin, R. S. D., Miguel, P., & Horst, T. Z. (2018). EROSÃO EM ÁREAS DE ENCOSTA COM SOLOS FRÁGEIS E SUA RELAÇÃO COM A COBERTURA DO SOLO. *Revista Scientia Agraria*, 19(1), 102–112. <https://doi.org/10.5380/rsa.v19i1.53738>
- Nascimento, R. de O., Oliveira, L. M., Mascarenha, M. M. dos A., Angelim, R. R., Oliveira, R. B. de, Sales, M. M., & Luz, M. P. da. (2019). Uso de solução de cal para mitigação de processos erosivos em um solo da UHE de Itumbiara. *Revista Geociências*, 38(1), 279–295.
- Oliveira, V. N.; Gitirana, G. F. N.; Mascarenha, M. M.A; Sales, M. M.; Varrone, L. F. R.; Da Luz, M; P (2021);. An Enhanced Flume Testing Procedure for the Study of Rill Erosion. *Water*, 13(21), 2956; <https://doi.org/10.3390/w13212956>
- Okoli, C. (2019). Guia para realizar uma Revisão Sistemática de Literatura. *EAD em Foco*, 9(1).
- Oliveira, N. C., Albuquerque, J. F., Silva, M. W. N., Dalmas, F. B., & Portes, L. A. (2022). Áreas verdes promotoras de saúde, lazer e atividade física: uma revisão sistemática. *Rev. Gest. Ambient. e Sust. - GeAS*, 11, 1-16, e22938. <https://doi.org/10.5585/geas.v11i2.22938>.
- Organização das Nações Unidas (2015). Os 17 objetivos. Acessado em: <https://sdgs.un.org/goals>
- Padró, J. C., Cardozo, J., Montero, P., Ruiz-Carulla, R., Alcañiz, J. M., Serra, D., & Carabassa, V. (2022). Drone-Based Identification of Erosive Processes in Open-Pit Mining Restored Areas. *Land*, 11(212). <https://doi.org/10.3390/land11020212>



- Parma, G. C. O. (2023). risco ambiental aos deslizamentos de terra. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 12(1), e18741. DOI: <https://doi.org/10.59306/rgsa.v12e12023e18741>
- Parreiras, M. A. (2021). *Avaliação do uso de drones para monitoramento de erosões na região de Santo Antônio do Leite–MG*. Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Geologia.
- Paula, G. F.; Teixeira, D. I. B.; Fernandes, P. C. ; Pereira, J. I. S. ; Camapum de Carvalho, (2022) Classificação MCT-M: Estudo de Caso para um Solo Tropical do Distrito Federal. *XX Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*
- Perez, M. A., Zech, W. C., & Donald, W. N. (2015). Using unmanned aerial vehicles to conduct site inspections of erosion and sediment control practices and track project progression. *Transportation Research Record*, 2528, 38–48. <https://doi.org/10.3141/2528-05>
- Pejon, O. J. (1972). *Mapeamento geotécnico regional da falha de Piracicaba: estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos*. Programa de Pós-graduação em Geotecnia, Universidade de São Carlos, Tese de Doutorado.
- Polovina, S., Radić, B., Ristić, R., Kovačević, J., Milčanović, V., & Živanović, N. (2021). Soil erosion assessment and prediction in urban landscapes: A new G2 model approach. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11094154>
- Recife City Hall. Disponível em: <http://www2.recife.pe.gov.br/pagina/caracterizacao-do-territorio>. Acesso em: 19 mai. 2023.
- Premkumar, S., Piratheepan, J., Rajeev, P., & Arulrajah, A. (2016). Stabilizing Dispersive Soil Using Brown Coal Fly Ash and Hydrated Lime. *Geo-Chicago*, 874–884. <https://doi.org/10.1061/9780784480144.087>
- Reddy, C. N. V. S., Saride, S., & Haldar, S. (2020). Transportation, Water and Environmental Geotechnics. In *Environmental Geotechnics Proceedings of Indian Geotechnical Conference* (Vol. 4). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-16-2260-1>





- Ries, B. J.; Hirt, U. (2008). Permanence of soil surface crusts on abandoned farmland in the central ebro Basin/Spain. *Catena*, 72, 282-296.
- Rocha, B. R. (2021). *Ensaio de Inderbitzen modificado em solos com adição de fibras naturais e lodo de tratamento de esgotos sanitários*. Dissertação em Engenharia Hídrica. Universidade Federal de Itajubá.
- Roccati, A., Paliaga, G., Luino, F., Faccini, F., & Turconi, L. (2021). Gis-based landslide susceptibility mapping for land use planning and risk assessment. *Land*, 10(162), 1–28. <https://doi.org/10.3390/land10020162>
- Roland, C. J., Zoet, L. K., Rawling III, J. E., & Cardiff, M. (2021). Seasonality in cold coast bluff erosion processes. *Geomorphology*, 374. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107520>
- Santana, J. K. R. de; Silva, D. R. D.; Santos, E. M. dos; Santos, G. F. S. dos; Listo, F. de L. R. (2019). Análise da evolução das áreas de perigo a escorregamentos no bairro da Macaxeira, Recife (PE). *Revista Equador*, 8(2), 240–256.
- Santos, E. de O.; Falcão, N. A. de M.; Lima, J. V. A. de. (2020). Deslizamento de encostas urbanas: consequências e implicações sociais, ambientais e políticas, em Viçosa/AL, Brasil. *Diversitas Journal*, 5(3), 1859–1886, 2020. DOI: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i3-1176>.
- Santos, C. L. dos, Silva, O. G. da, & Vital, S. R. O. (2022). Mapeamento de Áreas de Risco Associadas ao Carste em Área Urbana no Município de João Pessoa-PB. *Sociedade & Natureza*, 34(1). <https://doi.org/10.14393/sn-v34-2022-63641>
- Siddaway, A. P., Wood, A. M.; Hedges, L. V. (2019) How to do a systematic review: a best practice guide for conducting and reporting narrative reviews, meta-analyses, and meta-syntheses. *Annual review of psychology*, 70, p. 747-770. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010418-102803>



- Silva, T. O. da, Nascimento, R. C., Faria, J. W. S., Pitanga, H. N., Lima, D. C. de, & Sant'Anna, G. L. (2015). Soil susceptibility to accelerated hydric erosion: Geotechnical evaluation of cut slopes in residual soil profiles. *Acta Scientiarum - Technology*, 37(4), 331–337.  
<https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v37i4.26096>
- Silva, A. P. da; Barroso, E. V.; Polivanov, H. Índices pluviométricos críticos para prevenção de desastres por deslizamentos na cidade de Niterói, RJ. *Geologia USP. Série Científica*, 22(3), 47-60, 2022. DOI: 10. <https://doi.org/11606/issn.2316-9095.v22-191653>
- Souza G. (2018). *Análise Da Influência Das ConFigurações Dos Pontos De Apoio E Do Voo Na Acurácia De Ortofotomosaicos Elaborados a Partir De Dados De VANT*. Dissertação de Mestrado, UFRGS. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/179640>
- Soares, D. L., Polivanov, H., Barroso, E. V., da Motta, L. M. G., & de Souza, C. C. (2018). Erodibilidade de Solos em Taludes de Corte de Estrada Não Pavimentada. *Anuario Do Instituto de Geociencias*, 41(1), 179–193. [https://doi.org/10.11137/2018\\_1\\_179\\_193](https://doi.org/10.11137/2018_1_179_193)
- Song, J., Zhou, Y., Jin, L., & Sun, Y. (2021). Evaluating Sustainability of Urbanization from a Multidimensional Perspective: A Case Study of 11 National Urban Agglomerations in China. *Journal of Urban Planning and Development*, 147(4), 050210471–050210472.  
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)up.1943-5444.0000769](https://doi.org/10.1061/(asce)up.1943-5444.0000769)
- Swain, K., Mahamaya, M., Alam, S., & Das, S. K. (2018). Stabilization of Dispersive Soil Using Biopolymer. *Sustainable Civil Infrastructures*, 132–147. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-61612-4\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-319-61612-4_11)
- Tabarsa, A., Latifi, N., Meehan, C. L., & Manahiloh, K. N. (2018). Laboratory investigation and field evaluation of loess improvement using nanoclay – A sustainable material for construction. *Construction and Building Materials*, 158, 454–463.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.096>



- Tang, J., Xie, Y., Liu, C., Dong, H., & Liu, G. (2022). Effects of rainfall characteristics and contour tillage on ephemeral gully development in a field in Northeastern China. *Soil and Tillage Research*, 218. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105312>
- Thoma, A. C., Tassinari, D., Prat, B. V., Fernandes, J. S. C., & Silva, A. C. (2022). Erodibilidade de Neossolo Litólico pelo ensaio de Inderbitzen modificado e eficiência de blocos de solo-cimento para controle da erosão hídrica. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(3), 511–522. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210099>
- Tranfield, D.; Denyer, D.; Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207-222.
- Vakili, A. H., Ghasemi, J., bin Selamat, M. R., Salimi, M., & Farhadi, M. S. (2018). Internal erosional behaviour of dispersive clay stabilized with lignosulfonate and reinforced with polypropylene fiber. *Construction and Building Materials*, 193, 405–415. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.10.213>
- Valencia-González, Y., Echeverri-Ramírez, O., Benavides, M. P., Duque-López, M. A., García-Quintero, Y. M., Jiménez-Espinosa, E., Restrepo-Álvarez, J. E., & Toscano-Patiño, D. E. (2015). Geotechnical behavior of a tropical residual soil contaminated with soap solution. *DYNA (Colombia)*, 82(189), 96–102. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n189.42162>
- Xavier, J. P. de S.; De Santana, J. K. R.; Bispo, C. de O.; Listo, F. de L. R. (2019). Metodologias de Identificação de Risco a Escorregamentos de Terra Associadas ao Índice de Vulnerabilidade Social (IVS), Aplicados ao Município do Recife. *Ciência & Trópico*, 43(1). DOI: [http://doi.org/10.33148/CeTropico-v.43n.1\(2019\)\\_1833](http://doi.org/10.33148/CeTropico-v.43n.1(2019)_1833)
- Walter, T. R., Salzer, J., Varley, N., Navarro, C., Arámbula-Mendoza, R., & Vargas-Bracamontes, D. (2018). Localized and distributed erosion triggered by the 2015 Hurricane Patricia investigated by repeated drone surveys and time lapse cameras at



Volcán de Colima, Mexico. *Geomorphology*, 319, 186–198.

<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2018.07.020>

Wang, R., Zhang, S., Pu, L., Yang, J., Yang, C., Chen, J., Guan, C., Wang, Q., Chen, D., Fu, B., & Sang, X. (2016). Gully erosion mapping and monitoring at multiple scales based on multi-source remote sensing data of the sancha river catchment, Northeast China.

*International Journal of Geo-Information*, 5(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi5110200>

Yasuhara, K., Tamura, M., Van, T. C., & Duc, D. M. (2016). Geotechnical Adaptation to the Vietnamese Coastal and Riverine Erosion in the Context of Climate Change.

*Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS & AGSSEA*, 47(1).

Zheng, Y., You, Q., Zhou, W., Wu, X., Zhang, F., & Zhang, H. (2020). Study on erosion status of typical small watershed in Yanghe River Basin. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 774(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/774/1/012145>

*Science and Engineering*, 774(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/774/1/012145>

Zhu, A.; Wang, P.; Zhu, T.X.; Chen, L.J.; Cai, Q.G.; Liu, H.P. (2013). Modeling runoff and soil erosion in the Three-Gorge Reservoir drainage area of China using limited plot data. *J. Hydrol.* 492, 163–175.

Živanović, N., Rončević, V., Spasić, M., Čorluka, S., & Polovina, S. (2022). Construction and calibration of a portable rain simulator designed for the in situ research of soil resistance to erosion. *Soil and Water Research*, 17(3), 158–169. <https://doi.org/10.17221/148/2021-SWR>

SWR