

EROSÃO EM ÁREAS IRRIGADAS NO SEMIÁRIDO: ANÁLISE POR MEIO DA CARTOGRAFIA GEOMORFOLÓGICA DE DETALHE

Sidney Walison Santos da Silva¹

Maria Rita Monteiro de Lima²

Kleber Carvalho Lima³

RESUMO

No semiárido brasileiro, a erosão é uma das principais causas de degradação das terras, intensificando as vulnerabilidades socioambientais, especialmente devido ao uso inadequado das terras para a produção agrícola. Este estudo analisou a erosão em uma bacia hidrográfica de perímetro irrigado localizada em Petrolândia-PE. Foram utilizados dados de sensores LiDAR e ARP para a elaboração da Carta de Morfoconservação. A partir dela, foram identificadas feições erosivas lineares em diferentes estágios de evolução, além de feições derivadas do escoamento difuso. Observou-se que, em áreas com alto grau de degradação, os fatores antrópicos intensificaram o surgimento e a evolução das feições erosivas lineares. Assim, a Carta de Morfoconservação se mostrou eficaz, oferecendo uma ferramenta útil para a gestão, preservação e recuperação de áreas em perímetros irrigados no semiárido brasileiro.

Palavras-chave: Erosão linear; Mapeamento geomorfológico; Morfoconservação; LiDAR; ARP.

EROSION IN IRRIGATED AREAS IN THE SEMIARID REGION: ANALYSIS THROUGH DETAILED GEOMORPHOLOGICAL CARTOGRAPHY

ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, erosion is one of the main causes of land degradation, intensifying socio-environmental vulnerabilities, especially due to the improper use of land for agricultural production. This study analyzed erosion in a watershed of an irrigated perimeter located in Petrolândia-PE. LiDAR and ARP sensor data were used to create the Morphoconservation Map. From this map, linear erosive features in different stages of evolution were identified, along with features derived from diffuse runoff. It was observed that in areas with a high degree of degradation, anthropogenic factors intensify the emergence and evolution of linear erosive features. Thus, the Morphoconservation Map proved to be effective,

¹Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental, Universidade de Pernambuco - UPE, Email: sidneycontacton@gmail.com

²Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental, Universidade de Pernambuco - UPE, Email: mariarita.08lima@gmail.com

³Docente do Departamento de Geografia, Campus Garanhuns, Universidade de Pernambuco - UPE,, Email: kleber.carvalho@upe.br

offering a useful tool for the management, preservation, and recovery of areas in irrigated perimeters in the Brazilian semi-arid region.

Keywords: linear erosion; Geomorphological mapping; Morphoconservation; LiDAR; UAV.

EROSION EN ÁREAS IRRIGADAS DE LA REGIÓN SEMIÁRIDA: ANÁLISIS A TRAVÉS DE CARTOGRAFÍA GEOMORFOLÓGICA DETALLADA

RESUMEN

En el semiárido brasileño, la erosión es una de las principales causas de degradación de las tierras, intensificando las vulnerabilidades socioambientales, especialmente debido al uso inadecuado de las tierras para la producción agrícola. Este estudio analizó la erosión en una cuenca hidrográfica de un perímetro irrigado ubicado en Petrolândia-PE. Se utilizaron datos de sensores LiDAR y ARP para elaborar la Carta de Morfoconservación. A partir de ella, se identificaron características erosivas lineales en diferentes etapas de evolución, además de características derivadas del escurrimiento difuso. Se observó que, en áreas con un alto grado de degradación, los factores antrópicos intensifican significativamente la aparición y evolución de las características erosivas lineales. Así, la Carta de Morfoconservación resultó ser eficaz, ofreciendo una herramienta útil para la gestión, conservación y recuperación.

Palabras clave: erosión lineal; cartografía geomorfológica; morfoconservación; LiDAR; UAV.

INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório exposto pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO, 2022), 35% das terras agrícolas do mundo encontram-se em processo de degradação. No contexto do semiárido nordestino, a erosão hídrica é uma das principais formas de degradação dos solos, e traz consequências anuais de perdas de bilhões de dólares, além do incremento de problemas relacionados à vulnerabilidade das populações que dependem da agricultura para a subsistência.

No contexto do semiárido pernambucano, Santos e Castro (2020) e Lima *et al.* (2023), apontaram problemas relacionados à degradação das terras e que são expostos como contribuintes para a suscetibilidade aos níveis de desertificação, que são acentuadas em áreas na região no entorno do rio São Francisco, como apontado no relatório da Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS-PE, 2020). Além desse fator, Lima *et*

al. (2024), apontaram redução significativa de áreas de vegetação nativa ao longo dos anos nessas regiões, substituídas por áreas antrópicas, como a implementação de perímetros irrigados. Reforçando uma nova configuração nas interações naturais e antrópicas, que podem contribuir para a intensificação dos processos de degradação a partir do uso do solo.

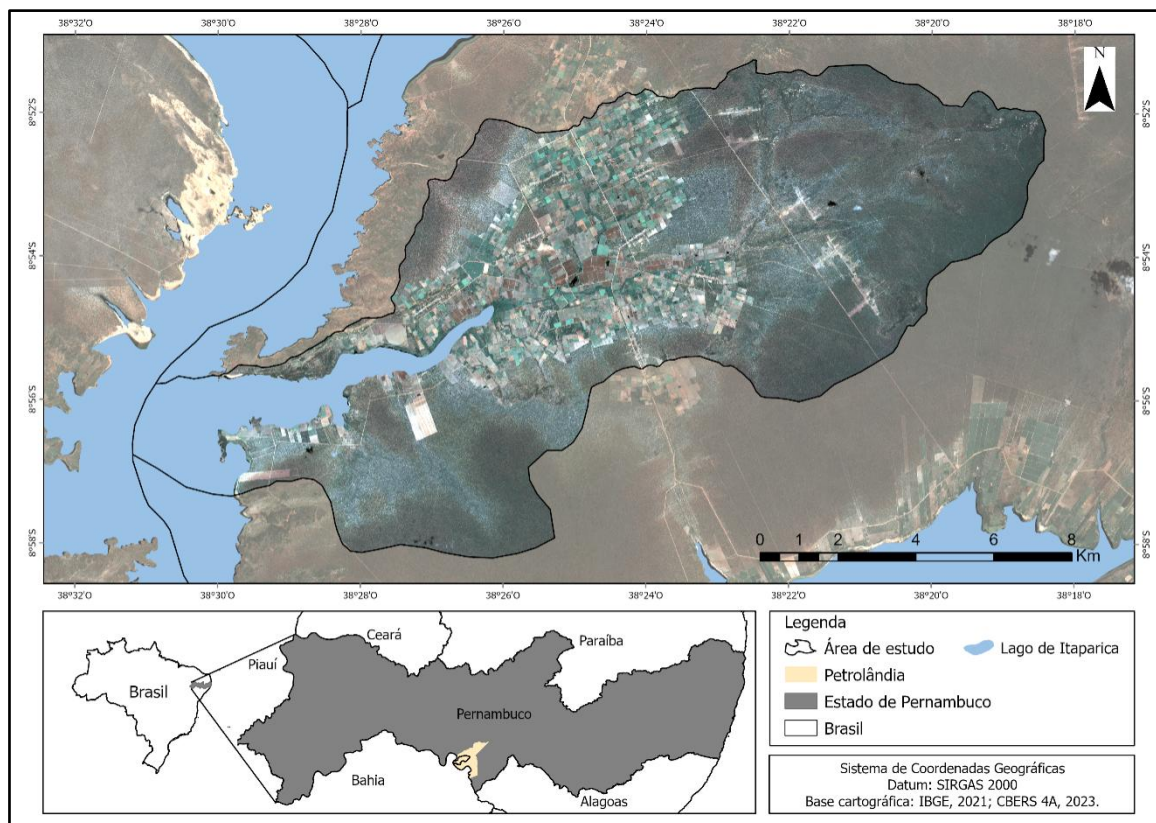
Sobre esse aspecto, a cartografia geomorfológica em escala de detalhe em áreas de perímetro irrigado, possibilita o auxílio na compreensão das interações entre os sistemas naturais e antrópicos através de imagens de altíssima qualidade, visando contribuir com estratégias de mitigação aos processos de degradação.

Estudos realizados anteriormente por Lima *et al.* (2023), Stefanuto e Lupinacci (2023), evidenciaram o potencial da utilização de imagens captadas por Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) para a identificação de processos de degradação, porém ainda há poucos trabalhos que relatem a utilização em áreas de perímetro irrigado no semiárido.

Portanto, este estudo tem como objetivo a elaboração de uma cartografia geomorfológica em escala de detalhe para regiões agrícolas irrigadas no semiárido, com foco na utilização de produtos de altíssima qualidade, visando contribuir com a mitigação dos processos de degradação. Deste modo, adotou-se a bacia hidrográfica Baixo do Limão Bravo, localizada em área irrigada no município de Petrolândia - Pernambuco.

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada em Petrolândia-PE (Figura 1), município pertencente à região de Desenvolvimento de Itaparica e destaca-se pela produção de melão, melancia, tomate nos perímetros irrigados, implementados pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), após represamento do lago artificial de Itaparica (SEMAS-PE, 2020; SANTOS; GOMES; SOBRAL, 2022). O clima é semiárido com precipitações inferiores a 400 mm/ano e temperatura média anual em torno de 24°C (APAC, 2023).

Figura 1. Mapa de localização da bacia hidrográfica Limão Bravo – PEFonte: Silva *et al.* (2024)

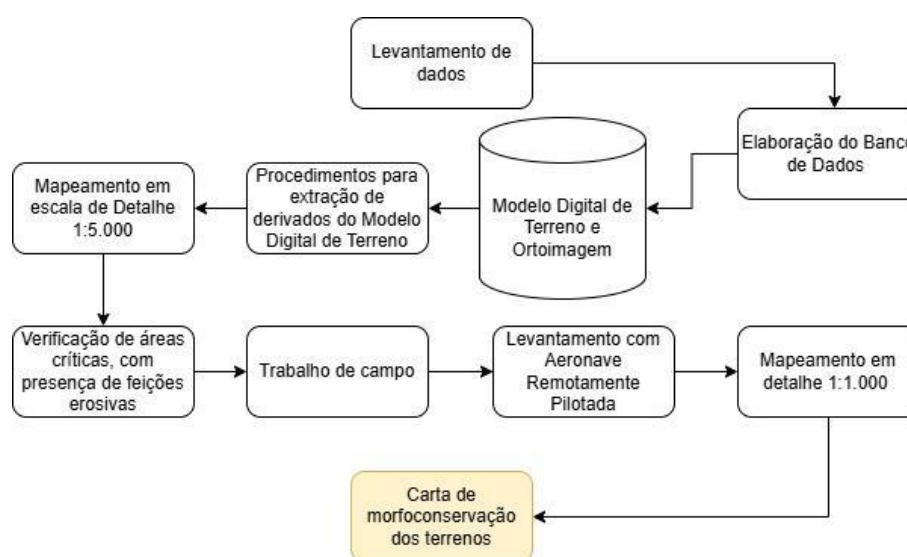
A área de estudo apresenta uma geologia diversificada, composta por rochas que datam do Paleozoico ao Cenozoico. Entre essas formações, destacam-se os folhelhos, argilitos e siltitos em tons avermelhados a arroxeados, pertencentes à Formação Aliança. Também estão presentes depósitos Colúvio-Eluviais, formados por areia de granulometria média a grossa, além de Depósitos Aluvionares, constituídos por areia fina a média e argila, variando de inconsolidados a semiconsolidados (MORAIS *et al.*, 2018).

O relevo da região caracteriza-se por uma extensa área aplainada, com altitudes que variam entre 314 e 333 metros. Essa paisagem insere-se no Planalto do Jatobá e abrange as Chapadas de Tonã e Serra Talhada (IBGE, 2023). A predominância de declividades entre 0% e 5% favorece o desenvolvimento agrícola na região. No que se refere aos solos, conforme Dias (2004), predominam os Neossolos Quartzarênicos, que possuem textura arenosa e baixa fertilidade natural, tornando-se mais suscetíveis à erosão. Também ocorrem os Vertissolos Háplicos, que apresentam maior fertilidade e comportamento hídrico variável (CASTRO, HERMANI, 2015).

MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas deste trabalho abrangeram a coleta e o processamento de dados secundários, a obtenção de dados primários, a elaboração do mapeamento preliminar, a realização do trabalho de campo, a revisão dos dados e a análise dos produtos utilizados como base (Figura 2).

Figura 2. Fluxograma da pesquisa

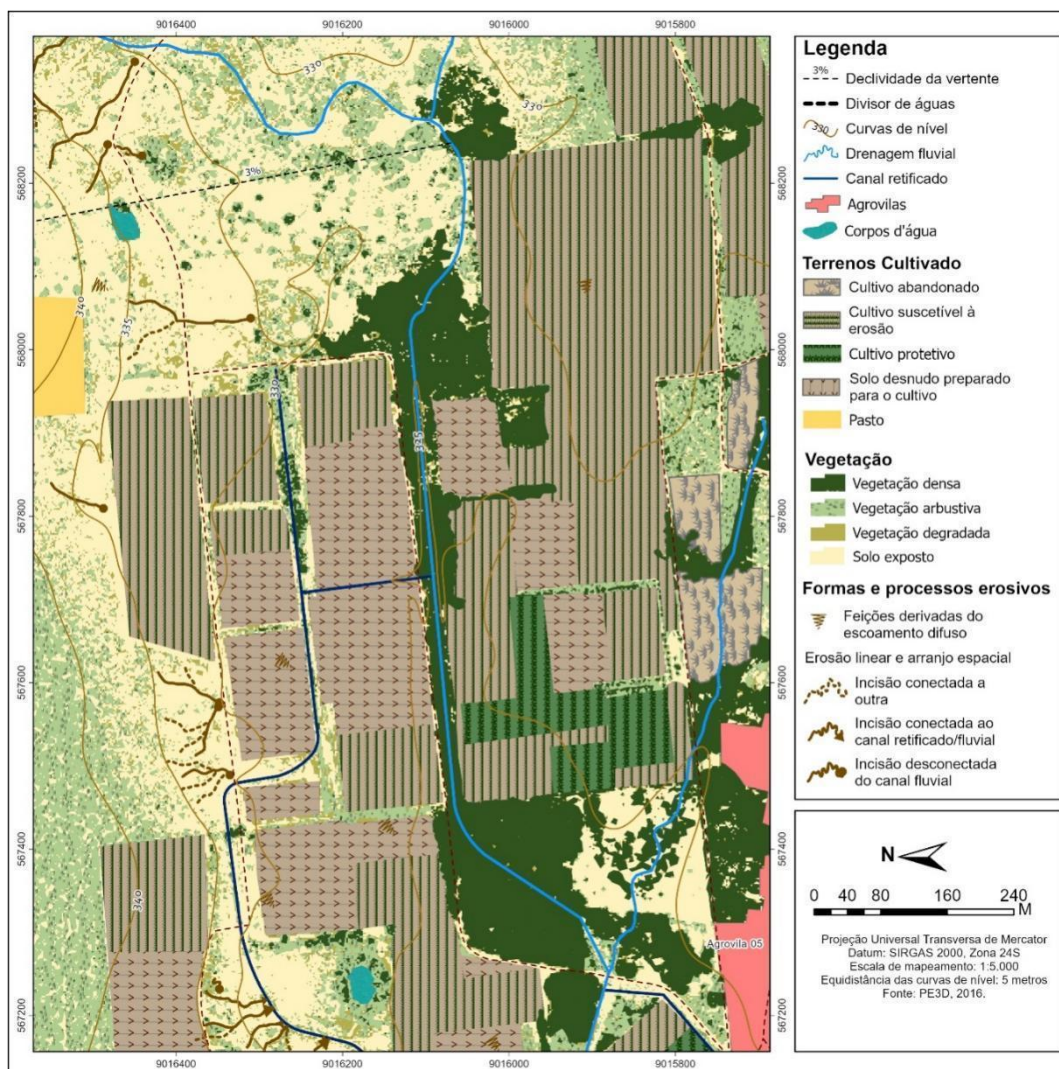


Fonte: Autores, 2024.

PRODUTOS LIDAR

Os produtos LiDAR utilizados foram obtidos a partir do Projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D), disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), com resolução de 0,5 m para a ortomagem e 1 m para o Modelo Digital de Terreno (MDT). Os métodos empregados no processamento dos dados seguiram diretrizes similares às descritas por Weis *et al.* (2022) e Lima *et al.* (2023). A partir do MDT, foram derivados produtos morfométricos que possibilitaram a análise detalhada da superfície do perímetro agrícola. A ortomagem foi empregada no mapeamento detalhado das culturas e na identificação preliminar das feições erosivas na bacia hidrográfica (Figura 3).

Figura 3. Trecho representativo da carta de morfoconservação.



Fonte: Autores, 2024.

A identificação das incisões erosivas foi realizada por meio de produtos derivados do Modelo Digital de Terreno (MDT), adotando os parâmetros estabelecidos por Zhang e Liu (2019) e Formaggio e Sanches (2017), que utilizaram a fotointerpretação. Para isso, foram analisados critérios como formas, tonalidades, texturas e sombras. Posteriormente, após o mapeamento, foi conduzido um trabalho de campo em 2023 com o intuito de validar os dados gerados.

MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO EM ESCALA DE DETALHE (CARTA MORFOCONSERVAÇÃO)

A carta de morfoconservação foi elaborada com base na adaptação do modelo proposto por Verstappen e Zuidam (1975) do International Institute for Aerial Survey and Earth Sciences (ITC). O objetivo dessa carta é representar as áreas suscetíveis à degradação, considerando o impacto das atividades humanas no uso e cobertura do solo, que podem potencializar processos erosivos de origem morfodinâmica (LIMA *et al.*, 2023).







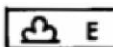

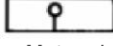





Sua construção seguiu a escala 1:5.000, e conforme sugerido por Verstappen e Zuidam (1975), o processo inicial envolveu a análise de fotografias aéreas e o levantamento topográfico detalhado, complementado por consulta a diversas fontes documentais da área de estudo.

Os temas abordados na carta foram: [i] elementos gerais; [ii] terrenos cultivados; [iii] vegetação; e [iv] formas e processos erosivos. No tema [i], foram considerados aspectos como divisores de água, declividade das vertentes, curvas de nível, canais de drenagem e canais retificados. No tema [ii], referente aos terrenos cultivados, as classes foram distribuídas em seis categorias: (a) cultivos protetivos; (b) cultivos abandonados; (c) cultivos suscetíveis à erosão; (d) solo desnudo preparado para cultivo; e (e) pastagem. A diferenciação entre essas classes seguiu a proposta de Lima *et al.* (2022), levando em conta o porte e o alinhamento dos cultivos, com foco no seu papel em mitigar ou intensificar o impacto erosivo sobre o solo.

O tema [iii] contemplou a vegetação, subdividida nas seguintes classes: (1) arbustiva, de pequeno porte, comum em grande parte da bacia; (2) vegetação densa, localizada nas margens das drenagens fluviais, com o efeito de retardar os processos erosivos ao reduzir o impacto sobre o solo; (3) vegetação degradada, com extensas áreas de vegetação rasteira, baixa capacidade de retenção hídrica, favorecendo a infiltração e o escoamento superficial, o que acelera o início da erosão por runoff; (4) solo exposto, altamente suscetível aos processos erosivos devido à ausência de cobertura vegetal.

No tema [iv], as simbologias adotadas classificaram feições associadas ao escoamento difuso, conforme Lima *et al.* (2023), que representam as transições entre escoamento superficial e concentrado. Para melhor representar as características da área, foram criados novos símbolos, além das adaptações necessárias (Figura 4), com o objetivo de atualizar a técnica tradicional dos anos 1970 para um formato digital, integrado a um sistema de informações geográficas, conforme a abordagem de Lima *et al.* (2022).

Figura 4. Adaptação da proposta da Carta de Morfoconservação.

SIMBOLOGIA VESTARPPEN & ZUIDAM	ADAPTAÇÃO	NOVAS CLASSES
Escurrimiento difuso 	Escoamento difuso 	Cultivo abandonado 
Cultivo protectivos 	Cultivo protetivo 	Solo desnudo preparado para o cultivo 
Cultivos suceptibles de erosión 	Cultivo suscetível à erosão 	
Arbórea de copa 	Arbórea 	
Matorral 	Arbustiva 	
Área estéril 	Solo exposto 	

Fonte: Adaptado de Silva, Lima, Lima (2022).

AEROLEVANTAMENTO COM ARP

Atualmente, os aerolevantamentos são amplamente reconhecidos como uma das técnicas mais avançadas para o mapeamento topográfico, permitindo um nível de detalhamento muito mais preciso de áreas (RODRIGUES *et al.*, 2018). Para este estudo, foram inicialmente identificados e selecionados trechos de interesse na bacia hidrográfica, o que viabilizou a realização do aerolevantamento com ARP em 2023. A abordagem de voo utilizada seguiu as diretrizes propostas por Lima *et al.* (2023), com atenção especial às condições meteorológicas e ao horário mais apropriado, assegurando a máxima qualidade e definição nos produtos gerados.

No total, 193 imagens da superfície do trecho Limão Bravo foram capturadas usando a aeronave DJI Air 2, equipada com câmera de 20 megapixels (dimensões 5.700 x 4.000) e voo realizado com ângulo de 90°. Após a coleta, as imagens foram processadas no Agisoft Metashape Pro, começando com o alinhamento das fotos, de modo a minimizar o deslocamento entre elas e possibilitar a criação da nuvem densa (*dense cloud*). A partir desse processo, foram gerados tanto os modelos digitais do terreno quanto as ortofotos, levando em conta a declividade média da área e a classificação detalhada dos componentes do relevo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nos produtos derivados do LiDAR, foram obtidos dados quantitativos que possibilitaram a análise do grau de desenvolvimento das feições lineares no contexto geral da bacia (Tabela 1). Esses resultados estão alinhados com a análise de Veras *et al.* (2017), identificaram áreas suscetíveis à degradação em locais georreferenciados dentro da bacia estudada. Essas áreas apresentaram características de natureza pelítica, baixa densidade vegetativa, litologias friáveis e intemperizadas, o que as torna mais vulneráveis aos processos erosivos.

Tabela 1. Aspectos quantitativos levantados para a bacia Baixo do Limão Bravo (PE).

Parâmetro	Unidade de medida	Resultado
Número de feições lineares	-	295
Extensão total das feições lineares	km	18,28
Extensão média das feições lineares	m	61,97
Extensão máxima das feições lineares	m	343,76
Extensão mínima das feições lineares	m	2,07

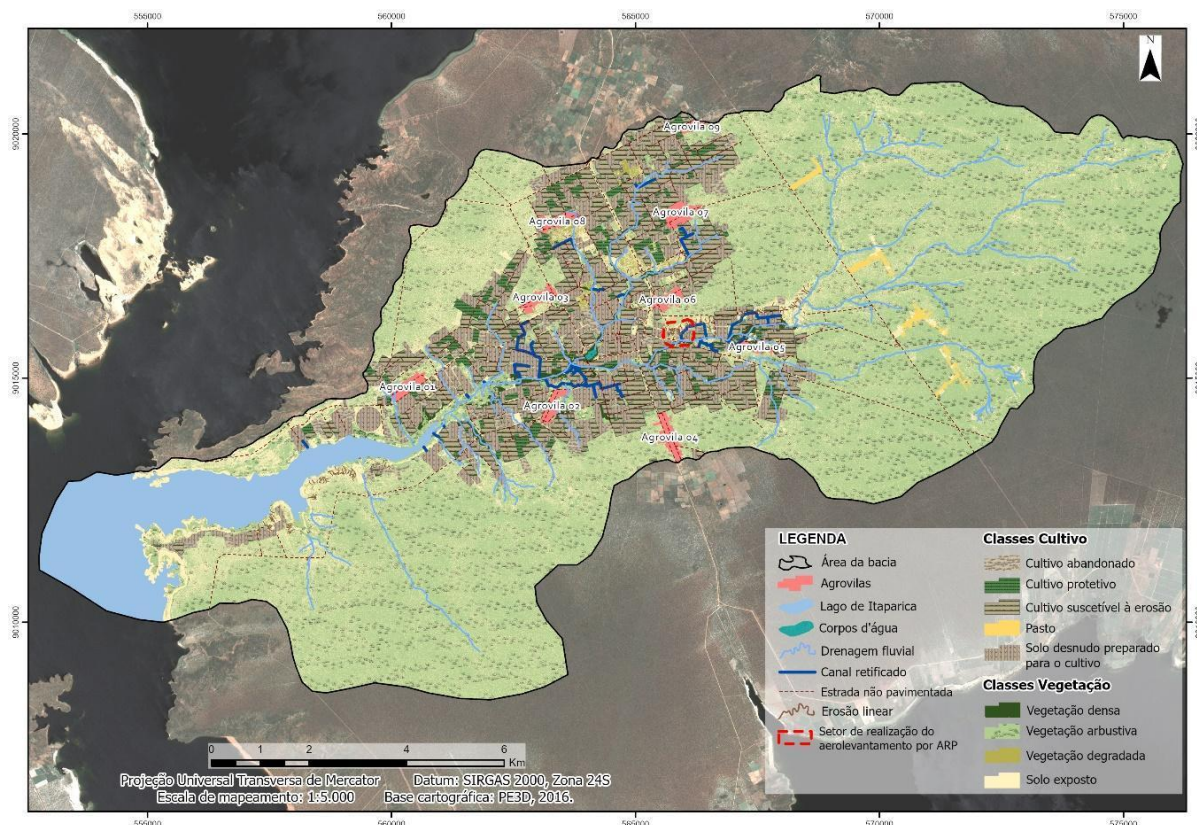
Fonte: Autores, 2024.

Em relação à distribuição espacial da erosão linear, o mapeamento em escala 1:5.000 indicou maior incidência no médio curso da bacia, onde foram observadas feições de maior extensão, predominantemente sobre áreas de solo exposto e de Neossolos Quartzarênicos. Esses solos, por apresentarem textura arenosa, baixa fertilidade natural, são limitados a determinados cultivos e altamente suscetíveis aos processos erosivos (DIAS, 2004).

No baixo curso, as feições erosivas ocorreram em setores próximos ao Lago de Itaparica (Figura 5), associadas às flutuações no nível de base provocadas pela formação do reservatório artificial. Essa dinâmica evidenciou que a interferência antrópica na rede de drenagem não apenas alterou a hidrossedimentologia, mas também gerou condições locais de instabilidade das vertentes. Autores como Barros e Magalhães Júnior (2020) destacam que, em cenários de

modificação do nível de base, há tendência de ajustes geomorfológicos por meio de processos deposicionais ou de remoção de materiais, em busca do equilíbrio dinâmico do sistema fluvial.

Figura 5. Carta de morfoconservação da bacia hidrográfica Baixo do Limão Bravo



Fonte: Autores, 2024.

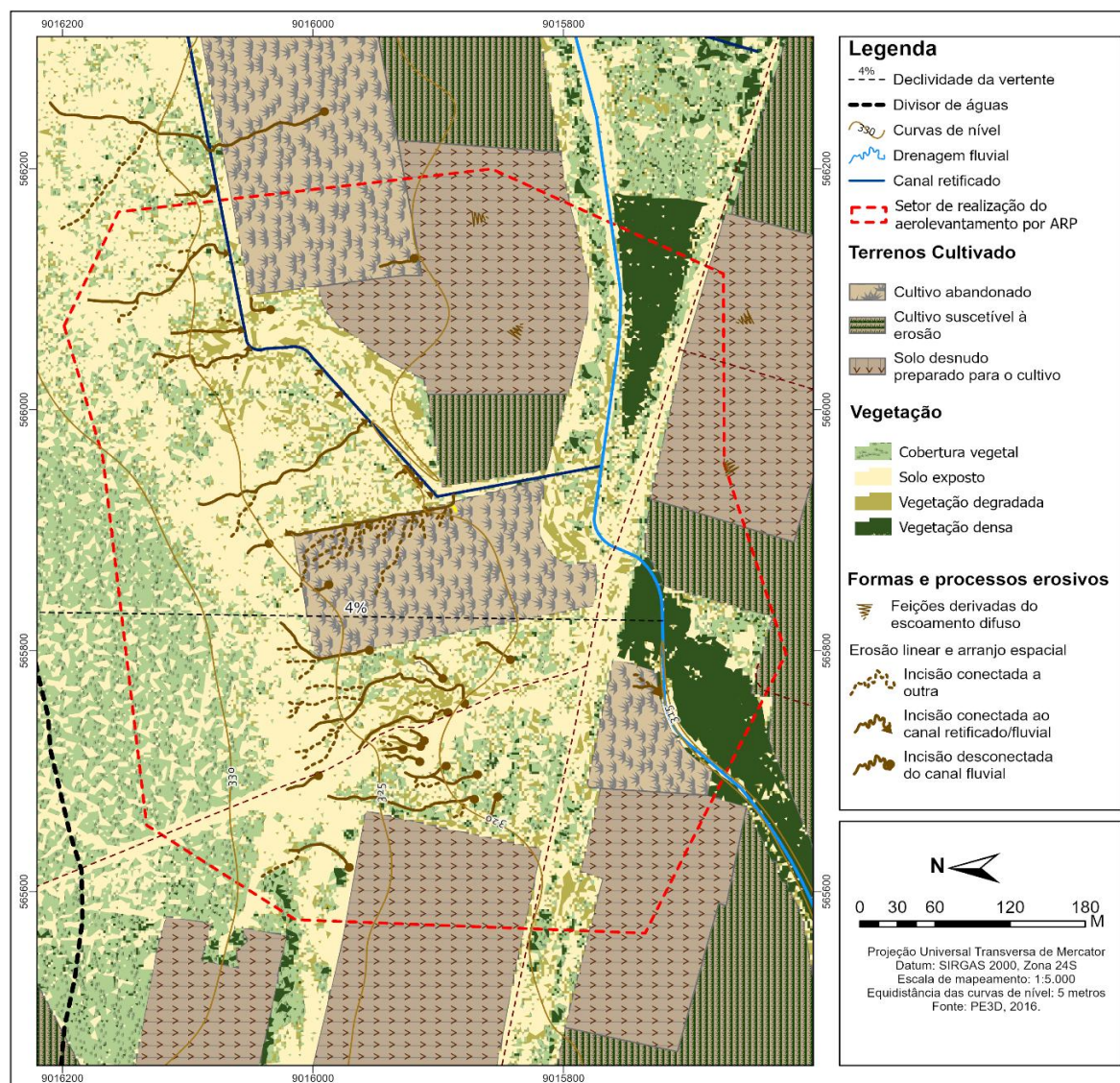
Verificou-se por meio da carta de morfoconservação (Figura 6), a presença de feições derivadas do escoamento difuso no perímetro irrigado, Salomão (2015) evidenciou o risco inicial deste tipo de processo, pois ocorre com o transporte de finas camadas do solo, na bacia hidrográfica, é verificável em diversos setores, principalmente nas classes de solo desnudo preparado para o cultivo e em cultivos suscetíveis à erosão, pois tais cultivos são associados a culturas de ciclo curto, que apresentaram maiores modificações em atributos físicos e químicos do solo, à exemplo, o aumento da densidade dos solos e a diminuição da porosidade, tornando-os menos eficientes para deter o runoff (CORRÊA *et al.*, 2015; LIMA *et al.* 2022).

Na vertente com declividade suave, as áreas de solo exposto se estenderam no terço médio, com grande presença de incisões desconectadas do canal fluvial e próximas às estradas

não pavimentadas, considerado um intensificador para o surgimento das incisões erosivas na área de estudo.

Além disso, observou-se a alta concentração de incisões conectadas ao canal retificado, especialmente em áreas de cultivo abandonado. Conforme Assumpção e Marçal (2012), a retificação dos canais ocorre pelo processo de aprofundamento e alargamento artificial dos leitos fluviais, o que altera o curso natural da drenagem e interfere direta ou indiretamente em todo o sistema fluvial da bacia. Na área de estudo, a elevada densidade de incisões próximas aos canais modificados corrobora a interpretação de que a retificação potencializou o surgimento e a evolução dos processos erosivos.

Figura 6. Setor representativo da Carta de Morfoconservação, elaborada a partir de imagens LiDAR.



Fonte: Autores, 2024.

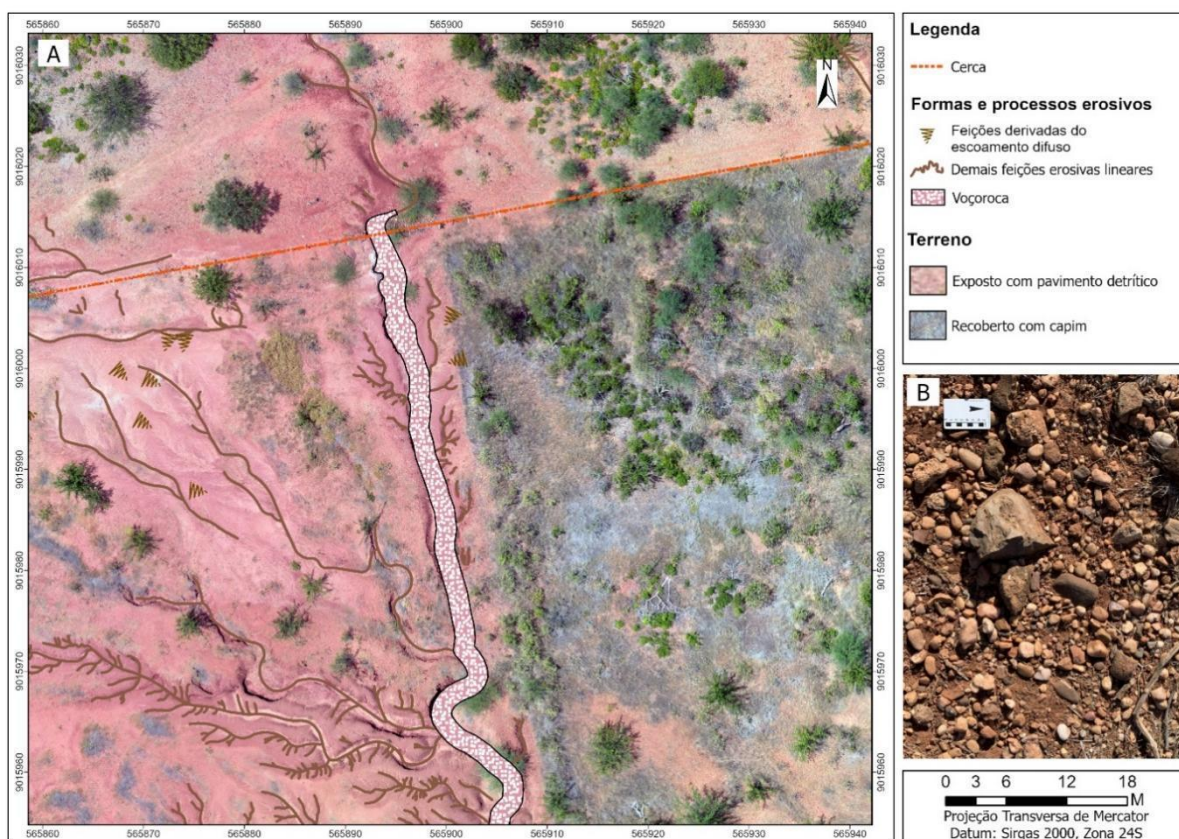
Nas áreas de cultivo abandonado, a escassa cobertura vegetal, somada ao histórico de uso intensivo do solo, potencializou tanto a erosão linear quanto a ocorrência de indícios de salinização. Estudos anteriores de Castro e Santos (2020) já destacaram que o manejo inadequado em áreas irrigadas do semiárido, sobretudo pelo uso excessivo da água subterrânea, agrava os níveis de degradação e acelera a perda de produtividade, o que potencializa a transição para estágios mais críticos de degradação.

Outros componentes associados aos processos erosivos na bacia foram possíveis de serem identificados em maior nível de detalhe, a partir das imagens obtidas com ARP (figura 7). Nessa escala, foi possível identificar que a vegetação ocorre em estrato arbustivo e herbáceo, intercalados com áreas de solo exposto recoberto por pavimento detrítico. Esse pavimento, conforme aponta Corrêa (2006 apud LIMA; GIRÃO, 2020) resulta da dinâmica morfológica superficial da região semiárida nordestina, marcada pela alta intensidade dos eventos pluviométricos concentrados em curtos períodos de tempo. A validação em campo confirmou a ocorrência desse pavimento, compostos por materiais de granulometria variando de fina a grossa (Figura 7-B), o que evidenciou o potencial de transporte e deposição de sedimentos na área.

Notou-se o contraste entre os setores leste e oeste da Voçoroca mapeada, a presença de vegetação atuou como uma barreira natural, atenuando os impactos diretos dos agentes erosivos na superfície por meio de sua estrutura, e em subsuperfície possivelmente auxiliou em melhores condições físicas e geoquímicas do solo, o que favoreceu a capacidade de retenção hídrica (CORRÊA *et al.*, 2015; MAGALHÃES JÚNIOR; BARROS; COTA, 2020). No setor leste do aerolevantamento por ARP (Figura 7-A), observou-se que entre a vegetação de estrato arbustivo e herbáceo, não há presença no recorte apresentado de erosão acentuada.

Em contrapartida, no setor oeste, com escassa cobertura vegetal intercalada com solo exposto, observaram-se incisões lineares mais extensas. Além disso, o escoamento concentrado foi influenciado pela construção das cercas, que redirecionou pontos de acúmulo do fluxo, verificando-se feições erosivas próximas à construção. Esse padrão evidenciou a influência antrópica na aceleração dos processos erosivos na área de estudo.

Figura 7. Imagem obtida com ARP de setor representativo da bacia.



Fonte: Autores, 2024.

No contexto da bacia, considera-se que a erosão atual resultou da propensão natural do ambiente, intensificadas pela retificação dos canais, juntamente com o uso inadequado das terras para o cultivo. As modificações nos cursos naturais de drenagens, impactaram em uma nova dinâmica hidrossedimentológica do sistema fluvial (ASSUMPÇÃO; MARÇAL, 2012). Como também, verificou-se em diversos setores da bacia, feições erosivas de escoamento difuso, que contribuem para a perda gradativa da capacidade produtiva dos solos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A utilização de produtos de altíssima qualidade para a representação geomorfológica em detalhe, mostrou-se eficaz para a análise dos processos geomorfológicos de gênese erosiva em ambientes de perímetros irrigados no semiárido, a utilização dos produtos LiDAR, apresentaram desempenho eficaz ao possibilitar a identificação preliminar das feições erosivas

e os produtos ARP conduziram a um maior detalhamento e na possibilidade de compreensão dos processos morfodinâmicos atuantes sobre o relevo.

A partir da Carta de Morfoconservação notou-se a espacialização das classes de cultivos, e áreas com maiores suscetibilidades ao surgimento inicial das feições derivadas do escoamento difuso, e verificou-se que os diversos fatores antrópicos presentes na bacia hidrográfica, serviram como intensificadores ao surgimento das feições erosivas e no aumento da suscetibilidade dos terrenos.

Desse modo, considera-se que a utilização da carta pode ser utilizada como instrumento técnico para contribuição com ações de planejamento, gestão de áreas, visando a recuperação e preservação. Além disso, a abordagem adotada pode ser replicada em outras áreas semiáridas do Brasil, contribuindo para estratégias de manejo sustentável e mitigação dos impactos da degradação do solo. Estudos futuros podem incorporar propriedades dos solos, além de integrar dados multitemporais para monitoramento da evolução das feições erosivas ao longo do tempo. Dessa forma, o presente estudo reforça a importância do uso de tecnologias de sensoriamento remoto para o planejamento territorial e a conservação ambiental em regiões vulneráveis.

Financiamento: Esta pesquisa obteve financiamento da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), por meio do processo nº APQ-0420-1.07/21; e pela concessão de bolsa de pós-graduação ao primeiro autor (Processo n.º IBPG-1178-4.00/24). Também, obteve financiamento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio da concessão de bolsa de pós-graduação ao segundo autor (Processo n.º 130427/2024-1).24-1).

Agradecimentos: Os autores agradecem ao apoio da FACEPE (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) e do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico). Agradecem também à Universidade de Pernambuco (UPE) e ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental.

Referências

APAC. **Atlas climatológico do Estado de Pernambuco: normais climatológicas 1991-2020.** / Agência Pernambucana de Águas e Clima. Gerência de Meteorologia e Mudanças Climáticas. – Recife: APAC, GMMC, 2023.

- ASSUMPÇÃO, A. P.; MARÇAL, M.S. Retificação dos canais fluviais e mudanças geomorfológicas na planície do Rio Macaé (RJ). **Revista de geografia**, v. 29, n. 3, p. 19-36, 2012.
- BARROS, L. F. P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. M. Bases teóricas e fatores controladores da dinâmica fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. (Org.). **Hidrogeomorfologia – formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020, p.23-49.
- MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. M.; BARROS, L. F. P.; COTA, G. E. M. Morfodinâmica fluvial. In: MAGALHÃES JÚNIOR, A. P.; BARROS, L. F. P. (Org.). **Hidrogeomorfologia – formas, processos e registros sedimentares fluviais**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2020, p.23-49.
- CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. SALINIDADE DO SOLO E O RISCO DE DESERTIFICAÇÃO NO SEMIÁRIDO. **Mercator**, Fortaleza, v. 19, dez. 2019. ISSN 1984-2201. doi: <https://doi.org/10.4215/rm2020.e19002>
- CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. **Solos frágeis**: caracterização, manejo e sustentabilidade – editores técnicos. – Brasília, DF: Embrapa, 2015. 367p., 2015.
- CORRÊA, A. C. B. Morfodinâmica e sensibilidade ambiental dos ambientes semiáridos brasileiros: um enfoque a partir das relações solo x paisagem. **Revista Portal do São Francisco – Ciências Humanas e Sociais**. Belém do São Francisco-PE, v. 5, n. 5, p. 51-65, 2006.
- CORRÊA, R. M.; SILVA, J. A. A.; FREIRE, M. B. G. S.; GUNKEL, G.; CASTRO, M. R. C. CHANGES IN SOIL PROPERTIES IN FUNCTION OF DIFFERENT SOIL USES IN THE IRRIGATED PERIMETER OF ICO-MANDANTES IN THE SEMIARID REGION OF PERNAMBUCO, BRAZIL. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, Rio de Janeiro, n. 36, p. 212–223, 2015. DOI: 10.5327/Z2176-947820151014
- DIAS, C. R. **Conflitos de uso e ocupação do solo na área de preservação permanente da barragem de Itaparica**: Estudo de caso dos municípios Pernambucanos. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, 2004.
- FAO. **The State of the World's Land and Water Resources for Food and Agriculture 2021** – Systems at breaking point: Main Report. [s.l.]: Food & Agriculture Org., 2022.
- FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais**. 2023. Disponível em <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia>. Acesso em: 16 de jul. de 2024.
- LIMA, K. C.; LUPINACCI, C. M.; GOMES, D. D. M. ; SOUZA, S. O.; ALEXANDRE, F. S. Erosão em áreas suscetíveis a desertificação no semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 24, p. 1-14, 2023.

LIMA, M. G. C.; GIRÃO, O. Considerações Teóricas sobre a Dinâmica Superficial em Ambientes Tropicais Áridos e Semiáridos: Aplicação ao Semiárido do Nordeste Brasileiro. *Espaço Aberto*, Rio de Janeiro: PPGG - UFRJ, v. 10, n. 2, p. 9–26, 2020. DOI: 10.36403/espacoaberto.2020.31401

LIMA, M. R. M.; SILVA, S. W. S. **Análise da erosão no perímetro irrigado icó-mandantes no trecho submédio do Rio São Francisco – Pernambuco**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade de Pernambuco. Garanhuns, 2023

LIMA, M. R. M.; SILVA, S. W. S.; LANDO, G. A.; LIMA, K. C. Análise temporal do uso e cobertura da terra no perímetro irrigado icó-mandantes através de dados do mapbiomas. In: **Anais do XX SBGFA - Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada & IV ELAAGFA - Encontro Luso-Afro-Americano de Geografia Física e Ambiente**. Anais... Campina Grande: Realize Editora, 2024.

LIMA, M. R. M.; SILVA, S. W. S.; RAMOS, R. P. S.; LIMA, K. C. Morfoconservação de terrenos em perímetros irrigados no submédio São Francisco: Estudo de caso em Icó-Mandantes (Pernambuco). In: **IV Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco**, Belo Horizonte – MG, 2022. Anais...Belo Horizonte: CBHSF, 2022.

MORAIS, D.M.F.; HORN, B.L.D.; LIMA, F.J.C.; BRASILINO, R. G.; NETO, J.V. **Projeto Alto Moxotó - Folha Airi SC.24-XA-V, Estado de Pernambuco: Carta Geológica-Geofísica**. Recife: CPRM - Serviço Geológico do Brasil, 2018. Escala 1 :100.000. Levantamento Geológico e de Potencial Mineral de Novas Fronteiras.

RODRIGUES, M. T.; RODRIGUES, B. T.; OTANI, T. M.; TAGLIARINI, F. S. N.; CAMPOS, S. LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO POR MEIO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO (VANT). **ENERGIA NA AGRICULTURA**, [S. l.], v. 33, n. 4, p. 367–372, 2018. DOI: 10.17224/EnergAgric.2018v33n4p367-372.

SALOMÃO, F.X.T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, T.A.J.; SILVA, A.S. & BOTELHO, R.G. (Orgs). **Erosão e Conservação dos solos**: conceitos, temas e aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2015, p. 229-267.

SANTOS, C.; GOMES, E. T. A.; SOBRAL, M. C. M. OS GRANDES EMPREENDIMENTOS HIDRELÉTRICOS E AS TRANSFORMAÇÕES DAS RELAÇÕES CAMPO-CIDADE E RURAL-URBANO: ENTRE URBANIDADES E RURALIDADES NO MUNICÍPIO DE PETROLÂNDIA – PE. **GEOgraphia**, v. 24, n. 52, 25 fev. 2022.

SEMAS-PE. **Zoneamento das áreas suscetíveis à desertificação do estado de Pernambuco**. Recife: Secretária de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco, 2020. 120 p.

SILVA, S. W. S.; LIMA, M. R. M.; RAMOS, R. P. S.; LIMA, K. C. Potencialidades de imagens de alta resolução na identificação de feições erosivas em perímetros irrigados do semiárido brasileiro . **OLAM: Ciência & Tecnologia**, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 154–163, 2024. Disponível em:

<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/olam/article/view/18897>.

SILVA, W. S. S.; LIMA, M. R. M.; LIMA, K. C. Uso da terra e processos erosivos em perímetros irrigados: estudo de caso em Icó-Mandantes, submédio São Francisco

(Pernambuco). In: **XIX Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. UERJ: Rio de Janeiro, 2022. Anais... UERJ: Rio de Janeiro. 2022.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. O uso de imagens de alta resolução no mapeamento de paisagens afetadas pela erosão. **Água e Território**, [S. l.], n. 23, p. e7291, 2023. DOI: [10.17561/at.23.7291](https://doi.org/10.17561/at.23.7291).

VERAS, J. D. D; NEUMANN, V. H. M. L; VALENÇA, L. M. M; OLIVEIRA; S. R. MAPEAMENTO GEOLÓGICO DA PORÇÃO SUDOESTE DA FOLHA AIRI, BACIA DE JATOBÁ, NORDESTE DO BRASIL. **Estudos geológicos** vol.27-2017.

VERSTAPPEN, H.T.; ZUIDAM, R.A.V. **ITC System of geomorphological survey**. 3. ed., Enschede: ITC, 1975. 52 p.

WEIS, M. G.; SILVA, N. M.; PESSI, D. D.; BARBOSA, D. S.; MOREIRA, R. M.; LUIZ, R. B.; PARANHOS FILHO, A. C. Identification of erosion processes through hydrological models and high resolution aerial images. **Nativa**, v. 10, n. 3, p. 391–399, 2022.

ZHANG, W.; LIU, Y. Research on visual interpretation and spatial distribution pattern of the erosion gully in Luoyugou Watershed of China. **Environment and Natural Resources Research**, v. 9, n. 3, p. 23-31, 2019. DOI:10.5539/enrr.v9n3p23