

Análise do uso e cobertura da terra e processos erosivos em área susceptível à desertificação no semiárido Pernambucano: estudo de caso em Belém de São Francisco

Ilamar A. da Silva*, Simão B. de Freitas**, Maria E. de Godoi Pinto***, Kleber Carvalho Lima****

* Universidade de Pernambuco - UPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.
E-mail: ilamar.silva@upe.br

** Universidade de Pernambuco - UPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.
E-mail: simao.freitas@upe.br

*** Universidade de Pernambuco - UPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.
E-mail: mariaeduarda.pinto@upe.br

**** Universidade de Pernambuco - UPE, Garanhuns, Pernambuco, Brasil.
E-mail: kleber.carvalho@upe.br

Received 09 February ; accepted 06 April

RESUMO

A degradação do solo e os processos de desertificação representam graves ameaças socioambientais no semiárido brasileiro, especialmente em regiões com histórico de uso antrópico inadequado. Este estudo teve como objetivo analisar as transformações no uso e cobertura da terra e os impactos decorrentes em áreas susceptíveis à desertificação no município de Belém de São Francisco, Pernambuco. Para tanto, adotou-se uma abordagem integrada baseada em sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando imagens Landsat 8 (2024) para mapeamento de uso e cobertura da terra, e cruzamento desses dados com o Zoneamento de Suscetibilidade à Desertificação (SEMAS, 2020). Complementarmente, realizou-se a análise da variabilidade pluviométrica por meio de série histórica (1962-2024) da APAC e o mapeamento detalhado de feições erosivas com ortoimagens e MDT do projeto PE3D na escala 1:5.000. Os resultados indicam que 45,3% do território municipal (824 km²) apresenta erosão acentuada, com maior concentração nas porções central e norte, onde solos rasos e substituição da Caatinga por atividades agropecuárias intensificam a degradação. A análise climática revelou tendência de aumento na frequência de anos secos, agravando a susceptibilidade erosiva. Conclui-se que a conjugação entre fatores naturais e antrópicos potencializa a desertificação, demandando ações urgentes de recuperação e planejamento territorial sustentável.

Palavras chave: Degradação do Solo, Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento.

1. Introdução

A degradação dos solos, segundo a lei nº 14.091 de 17 junho de 2010, pode ser entendida como a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica do solo em decorrência das formas de utilização da terra (ação antrópica) combinadas com processos de erosão, deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e da destruição da vegetação. A desertificação por sua vez é definida nesta mesma lei, como “a degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (PERNAMBUCO, 2010).

De acordo com Lima et al. (2023) a erosão dos solos pela ação das águas ou dos ventos em regiões semiáridas é um processo comum. Corroborando nessa perspectiva, Sidle et al. (2019), atribuem a suscetibilidade das terras

secas à erosão, ao fato delas apresentarem vegetação esparsa (a vegetação é a proteção natural dos solos contra a ação erosiva das águas, sobretudo, contra a atuação do efeito Splash) e por apresentarem chuvas pouco frequentes, porém com tempestades de curta duração e intensas. Souza e Paula (2019) apontam que os processos erosivos em regiões semiáridas têm relação com as características morfoestruturais, pedológicas e hidrológicas.

Tais características tornam esses ambientes naturalmente susceptíveis aos processos erosivos, que somadas às formas de ocupação antrópica inadequada, tais como à agropecuária (SOUSA; PAULA, 2019), contribuem para a desertificação (Lima et al. 2023), e consequentemente a elevados estágios de degradação das terras.

Segundo a FAO (1980 apud Araújo, Almeida e Guerra, 2008, p. 33), os fatores da degradação podem ser classificados em fatores facilitadores e em fatores diretos, ambos apresentando tanto fatores naturais como antrópicos. Assim, segundo essa classificação os fatores naturais facilitadores compreendem: topografia, textura do solo, composição do solo, cobertura vegetal e regimes

hidrográficos. Já fatores naturais diretos: chuvas fortes, alagamentos e ventos fortes. Os fatores antrópicos facilitadores, são: desmatamento, permissão do superpastoreio, uso excessivo da vegetação, taludes de corte, remoção da cobertura vegetal para cultivo. E os fatores antrópicos diretos: uso de máquinas, condução do gado, encurtamento do pousio, entrada excessiva de água ou drenagem insuficiente, excesso de fertilização ácida, uso excessivo de produtos químicos/estrupe, disposição de resíduos domésticos/industriais.

No Brasil, mais especificamente na região nordeste, há áreas semiáridas, que apresentam graus severos de degradação ambiental. Por esse fato, e por ser signatário dos tratados da Organização das Nações Unidas – ONU, dentre eles o de Combate à Desertificação e Mitigação aos Efeitos da Seca, o país elaborou em 2005, o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação aos Efeitos da Seca (PAN-Brasil), que foi seguido pela criação dos Planos estaduais (PAN-BRASIL, 2004; SEMAS, 2020).

Em Pernambuco foi elaborado o Programa Estadual de Combate à Desertificação e aos Efeitos da Seca do Estado de Pernambuco (PAE-PE) em 2009, que tem por objetivo geral “Fortalecer e disseminar as iniciativas de prevenção, combate e reversão da desertificação e de mitigação aos efeitos da seca, visando criar condições de sustentabilidade socioambiental nas Áreas Suscetíveis à Desertificação” (PAE-PE, 2009, p. 59). Em 2020 o Estado, através da SEMAS, realizou o Zoneamento das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Estado de Pernambuco, para atender ao objetivo geral do PAE-PE e que vai de encontro com outras políticas e programas existentes no Estado (SEMAS, 2020).

Por meio do Zoneamento das Áreas Suscetíveis à Desertificação do Estado de Pernambuco, realizado pela SEMAS (2020), que utilizou as variáveis de classes de solo, cobertura vegetal e uso da terra, a Região de desenvolvimento do Sertão de Itaparica, composta pelos municípios de Carnaubeira da Penha, Belém do São Francisco, Itacuruba, Floresta, Petrolândia, Tacaratú e Jatobá, apresentou elevados índices de suscetibilidade à desertificação.

Nesse sentido, o presente estudo teve por objetivo analisar as transformações no uso e cobertura da terra e os possíveis impactos decorrentes referentes à erosão dos solos em áreas suscetíveis a desertificação no Município de Belém de São Francisco (Pernambuco).

2. Material e métodos

Caracterização da área de estudo

O município de Belém de São Francisco (Figura 1) situa-se no estado de Pernambuco, na região do Submédio São Francisco, distante aproximadamente 482 km a sudoeste da capital Recife. Inserido na Mesorregião homônima e na Microrregião de Itaparica, seu território abrange uma área de cerca de 1.818 km², delimitado ao norte por Salgueiro, a leste por Itacuruba e Carnaubeira da Penha, a oeste por Cabrobó, e ao sul pela margem esquerda do Rio São Francisco, eixo vital para o desenvolvimento regional. A sede municipal localiza-se nas coordenadas 8°45'28"S e 38°57'52"O.

O município integra a unidade da Depressão Sertaneja, paisagem típica do semiárido nordestino caracterizada por uma superfície de pediplanação monótona, com relevo predominantemente suave-ondulado, cortado por vales estreitos e vertentes dissecadas, onde elevações residuais testemunham intensos ciclos erosivos (CPRM, 2005), na figura 2, é apresentada uma vista panorâmica da área de estudo. Geologicamente, sua base insere-se na Província Borborema, apresentando uma diversidade de litotipos que inclui complexos como Floresta, Sertânia, Cabrobó e Belém do São Francisco, além de formações como Tacaratu e depósitos aluvionares (CPRM, 2005).

O padrão climático dominante é o Tropical Semiárido, marcado pela alta variabilidade e torrencialidade das chuvas, que se concentram entre janeiro e abril, com média anual entre 432 mm e 507 mm (Assis et al., 2012). Essas precipitações, originadas de sistemas como frentes frias e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), são mal distribuídas no tempo e no espaço, configurando um ambiente de semiárido severo, com temperaturas que podem atingir 40°C (BARRETTO, 2010).

Os solos, em geral rasos e de baixa fertilidade, são representados predominantemente por Planossolos, com ocorrências de Luvisolos e Neossolos, classes estas com susceptibilidade média a alta à erosão hídrica, agravada pela limitação de drenagem e baixa capacidade de infiltração (Coelho et al., 2002 apud ASSIS et al., 2014). A cobertura vegetal original é composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia (CPRM, 2005), porém sujeita a pressões antrópicas como desmatamento para pecuária extensiva, extração de lenha e agricultura irrigada nas margens do São Francisco, fatores que intensificam processos de degradação do solo e desertificação.

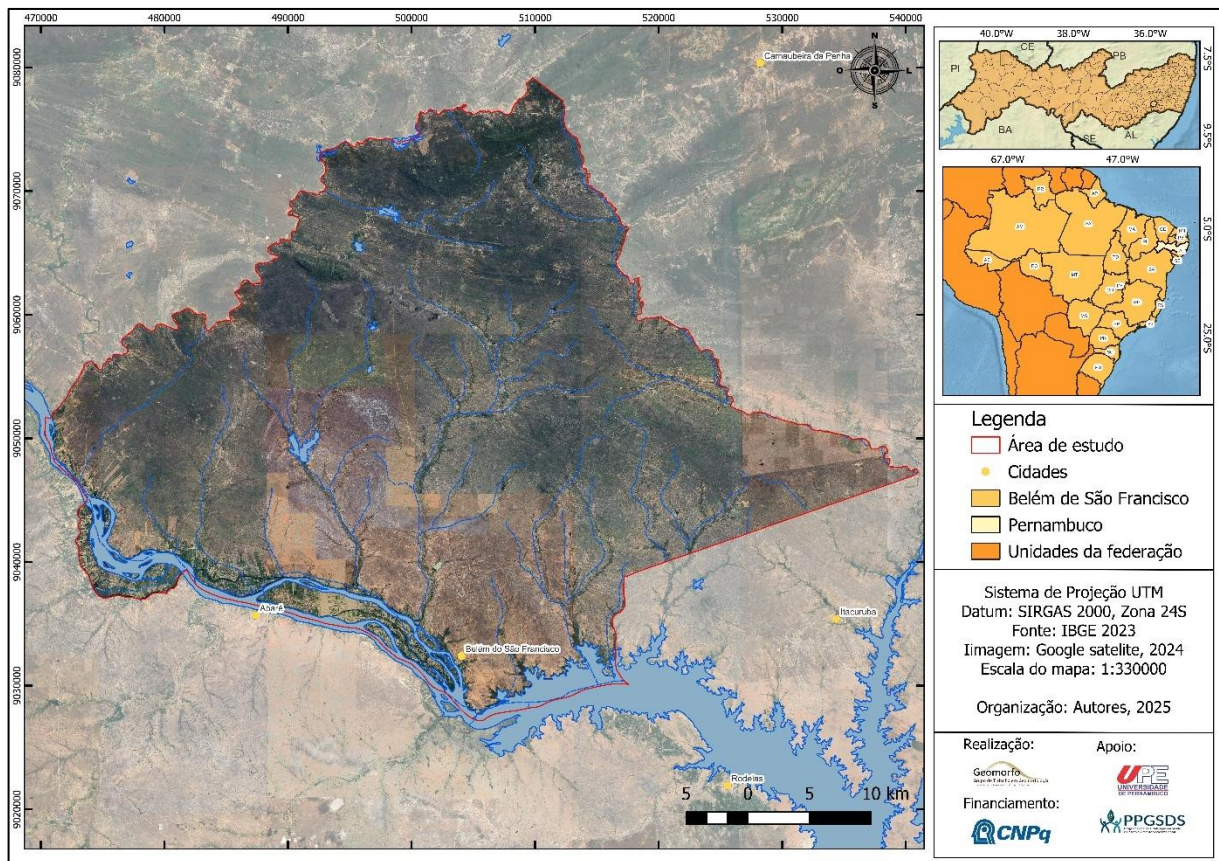


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.



Figura 2 - Vista panorâmica parcial da área de estudo.

Uso e cobertura

Para a elaboração dos mapas temáticos de uso e cobertura da terra no município de Belém de São Francisco, adotou-se uma abordagem baseada em técnicas de sensoriamento remoto e processamento digital de imagens. A base de dados primária consistiu em imagens orbitais multiespectrais do satélite Landsat 8 (Operational Land Imager - OLI), obtidas junto ao repositório do Serviço de Levantamento Geológico dos Estados Unidos (United States Geological Survey - USGS, 2013).

Especificamente, foram utilizadas as bandas espectrais de 1 a 7 (Visible, Near Infrared, and Shortwave Infrared), as quais apresentam resolução espacial de 30 metros, adequadas para a escala de análise municipal. A seleção das cenas considerou critérios de baixa cobertura de nuvens (<10%) e período sazonal correspondente à estação seca, visando maximizar a discriminação espectral entre as classes de cobertura terrestre.

O processamento digital das imagens foi executado no ambiente do software ArcGIS Pro, versão licenciada pela Universidade de Pernambuco. Inicialmente, realizou-se o pré-processamento das imagens, incluindo correções radiométricas e atmosféricas para minimizar interferências e melhorar a qualidade dos dados. O procedimento de classificação adotou o método não supervisionado, utilizando o algoritmo Iso Cluster, que opera com base na identificação de assinaturas espectrais naturais por meio de técnicas de agrupamento estatístico no espaço multidimensional de bandas. Este algoritmo permite a definição automática de clusters espectrais homogêneos, os quais foram posteriormente validados com base em conhecimento a priori da área de estudo.

Posteriormente, o produto raster resultante da classificação foi submetido ao processo de vetorização no ambiente QGIS 3.30.1. Esta etapa consistiu na conversão dos pixels classificados em feições vetoriais do tipo polígono, permitindo a individualização e delimitação precisa das classes temáticas preliminares. A vetorização foi seguida por uma etapa de pós-processamento que incluiu a eliminação de polígonos espúrios com área inferior a 1 hectare, visando generalizar a representação cartográfica e reduzir ruídos na classificação.

Níveis de suscetibilidade à desertificação

O dado que demonstra os níveis de suscetibilidade em função dos tipos de solos, do uso e da cobertura das terras, revela a integração de três variáveis-chave para avaliar o risco de desertificação no estado de Pernambuco. Por meio do cruzamento de informações pedológicas (classes de solo), da cobertura vegetal existente e do uso antrópico da terra, foi possível classificar as áreas em diferentes graus de suscetibilidade: ausente, fraco, moderado, acentuado e severo, conforme o mapa da figura 3 (SEMAS, 2020).

Com base nessa mesma metodologia integrada, a Região de Desenvolvimento do Sertão do São Francisco, exemplifica de maneira crítica a materialização desse processo. A análise conjunta dos tipos de solo, do uso e da cobertura das terras na região revela uma paisagem onde solos naturalmente mais susceptíveis à erosão, como os Neossolos Quartzarênicos, predominam. Essa fragilidade intrínseca é intensificada por um histórico de substituição da vegetação nativa da Caatinga por atividades agropecuárias extensivas e, de forma mais impactante, por grandes projetos de agricultura irrigada às margens do Rio São Francisco (Zellhuber 2007). A combinação desses fatores solo frágil, redução da cobertura vegetal protetora e pressão antrópica intensiva acelerou processos erosivos, levando à degradação da terra e à formação de áreas degradadas características de um núcleo de desertificação.

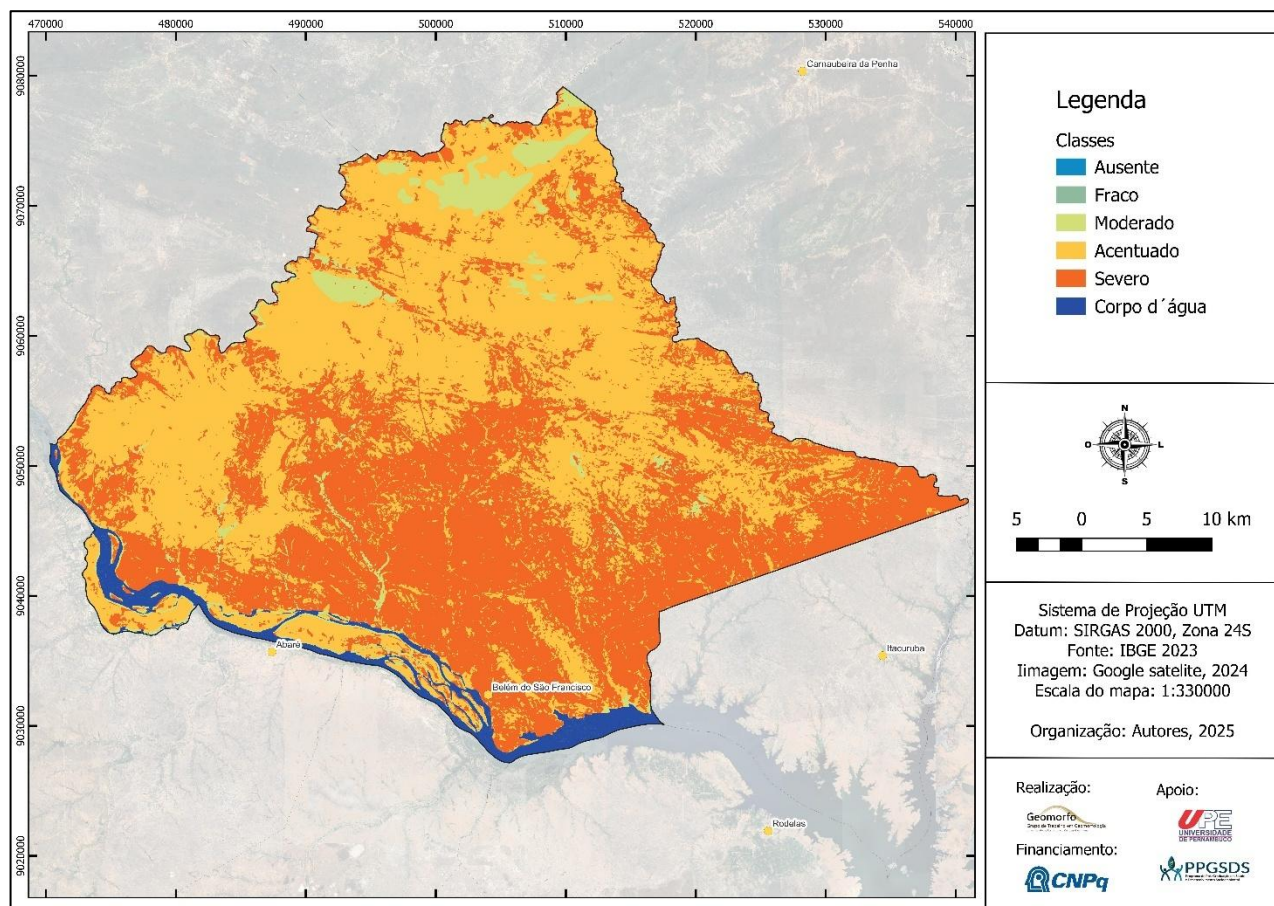


Figura 3 - Demonstração dos níveis de suscetibilidade em função dos tipos de solos, do uso e da cobertura das terras na área de estudo.

Áreas com erosão acentuada

Para a identificação de áreas prioritárias com erosão acentuada, partiu-se do produto de Susceptibilidade à Desertificação do Estado de Pernambuco (SEMAS, 2020), do qual foram extraídas as classes classificadas como severa e acentuada. Essas áreas foram então cruzadas com o Mapa de Uso e Cobertura da Terra referente ao ano de 2024, selecionando-se as classes correspondentes à agricultura, solo exposto e vegetação degradada. A interseção espacial entre esses dois produtos realizada por meio de operações de álgebra de mapas em ambiente de SIG permitiu delimitar as regiões que simultaneamente apresentam alta susceptibilidade à desertificação e cobertura terrestre indicativa de degradação. Dessa forma, obteve-se um novo produto temático que destaca as áreas mais críticas, onde processos erosivos estão potencialmente ativos ou podem se intensificar, servindo como subsídio para ações de recuperação e ordenamento territorial.

Mapeamento das feições erosivas

O mapeamento consistiu na seleção da base topográfica, com a premissa fundamental de que todos os produtos cartográficos utilizados deveriam estar integrados em um único sistema de projeção e na mesma escala cartográfica, garantindo assim a consistência geométrica do trabalho. Para a execução do mapeamento das feições, foi empregado o software QGIS Desktop, versão 3.16.15.

Inicialmente, procedeu-se com a aquisição de ortoimagens e Modelos Digitais de Terreno (MDT) referentes ao ano de 2016, disponibilizados pelo Projeto Pernambuco Tridimensional (PE3D) junto à Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). Estes produtos submeteram-se a um rigoroso processo de validação, compreendendo três etapas sequenciais: Análise de Completude, Análise de Consistência e Análise Estatística da Precisão Planialtimétrica. A validação da precisão planimétrica das ortofotos e da precisão altimétrica do levantamento a laser foi conduzida por amostragem, atestando que os dados atendiam ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para a Classe A nas escalas 1:5.000.

Posteriormente, a área de interesse correspondente às áreas amostrais do município foi sobreposta e recortada sobre a ortoimagem, o que permitiu o início do processo de identificação das áreas com maiores evidências de processos erosivos. A seleção dessas áreas foi integralmente realizada na escala de 1:5.000, em estrita

conformidade com os critérios metodológicos estabelecidos para a pesquisa. Paralelamente, o MDT foi submetido a ajustes de simbologia com o objetivo de otimizar a visualização e a interpretação do terreno. Para sua representação, o ângulo de iluminação (azimute) foi definido em 45,00°, e parâmetros como Fator Z, modo de mistura, brilho, gama, contraste e saturação foram meticulosamente calibrados para realçar a feição do modelo. Na figura 4, são apresentados os dados do Pe3d e derivados.

Uma etapa crucial para a extração das feições erosivas e de drenagem consistiu na

sobreposição da ortoimagem, com uma transparência ajustada para 40%, sobre o MDT previamente tratado. Esta composição permitiu uma análise integrada do terreno e sua cobertura. Por fim, os dados foram recortados conforme os limites delimitados da área de estudo, o que viabilizou a extração semiautomática das feições indicativas de erosão, tais como head cuts, sulcos erosivos, ravinas e leques de deposição. Esta extração foi realizada na escala de 1:5.000, mediante a aplicação do método de interpretação visual por composição de informações, conforme fundamentado por Zhang e Liu (2019).

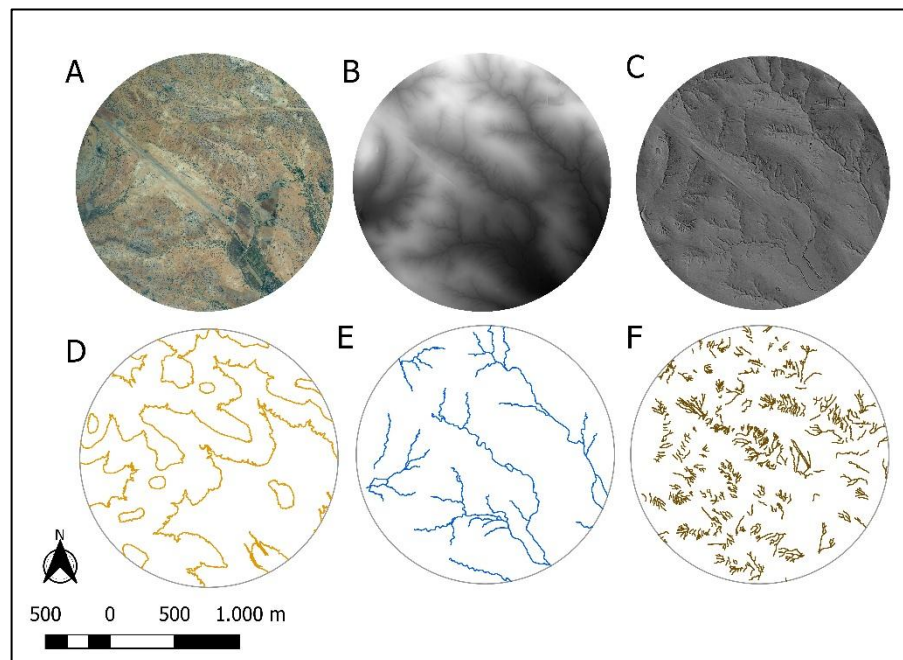


Figura 4 - Produtos derivados do PE3D: ortoimagem (A), MDT (B), sombreamento do relevo (C), curva de nível (D), Rede de drenagem (E) e Feições erosivas (F).

Variabilidade climática da área de estudo

O município de Belém de São Francisco apresenta elevada irregularidade pluviométrica, característica que intensifica problemas ambientais relevantes, como a perda de nutrientes do solo, sua compactação e o surgimento de processos erosivos. Essas erosões tornam os solos ainda mais frágeis e suscetíveis à degradação, comprometendo tanto a produtividade agrícola quanto a conservação ambiental da região.

Considerando essa variabilidade no regime de chuvas, realizou-se uma consulta aos dados disponibilizados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), com o objetivo de monitorar e analisar o comportamento pluviométrico do município. Para isso, buscou-se o histórico de precipitações na escala mensal, definindo-se datas de início e fim da série e selecionando um posto adequado para o processamento das informações em planilhas, o

que possibilitou a elaboração dos gráficos apresentados.

No total, foram identificados cinco postos pluviométricos com registros para Belém de São Francisco. Dentre eles, o posto IPA (9) mostrou-se o mais completo, contemplando dados de 1962 a 2024. Entretanto, a série apresenta falhas em alguns anos (1969, 1970, 1971, 1979, 1980, 1981, 1983, 1984, 1985, 1986, 1987 e 1988), que não estão disponíveis em nenhum dos postos consultados para o município. Assim, a ausência desses registros gerou lacunas no conjunto de dados e, consequentemente, algumas descontinuidades nos gráficos produzidos.

3. Resultados e discussão

A análise da série histórica de precipitação (1962-2024) para o município de Belém de São Francisco, obtida a partir do posto pluviométrico IPA (9) da APAC, revela um padrão climático marcado por forte instabilidade. O gráfico de precipitação total anual (Figura 5) evidencia uma alta variabilidade interanual, com oscilações abruptas entre anos de extrema estiagem e períodos de precipitação relativamente mais abundante. Observa-se uma sequência

significativa de anos em que os volumes pluviométricos permaneceram consistentemente abaixo da média climatológica, intercalada por poucos anos de picos pluviais. Esta irregularidade, intrínseca ao semiárido, foi ainda mais acentuada nas últimas duas décadas, nas quais se registrou uma frequência maior de anos secos, corroborando a tendência de secas mais frequentes e intensas apontada em diagnósticos nacionais (BRASIL, 2025).

A degradação dos solos, segundo a lei nº 14.091 de 17 junho de 2010, pode ser entendida como a redução ou perda da produtividade biológica ou econômica do solo em decorrência das formas de utilização da terra (ação antrópica) combinadas com processos de erosão, deterioração das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e da destruição da vegetação. A desertificação

Este regime, caracteristicamente semiárido, impõe uma dupla pressão sobre o ambiente.

Primeiro, a concentração das chuvas em um curto período resulta em eventos de alta intensidade e energia cinética, que, ao impactarem solos com cobertura vegetal fragilizada, potencializam o processo de desagregação de partículas e iniciam o escoamento superficial. Segundo o prolongado período seco, que estudos recentes indicam estar se tornando ainda mais severo e duradouro (SILVA et al., 2017), sujeita a vegetação nativa a um estresse hídrico crônico. Isso reduz sua capacidade de rebrota e densidade de copa, diminuindo a proteção do solo contra a erosão eólica e hídrica quando as chuvas retornam. Dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024) reforçam a gravidade deste cenário, tendo registrado, em setembro de 2024, valores de umidade relativa do ar críticos, entre 20% e 30%, em cidades do Sertão pernambucano, incluindo Belém de São Francisco.

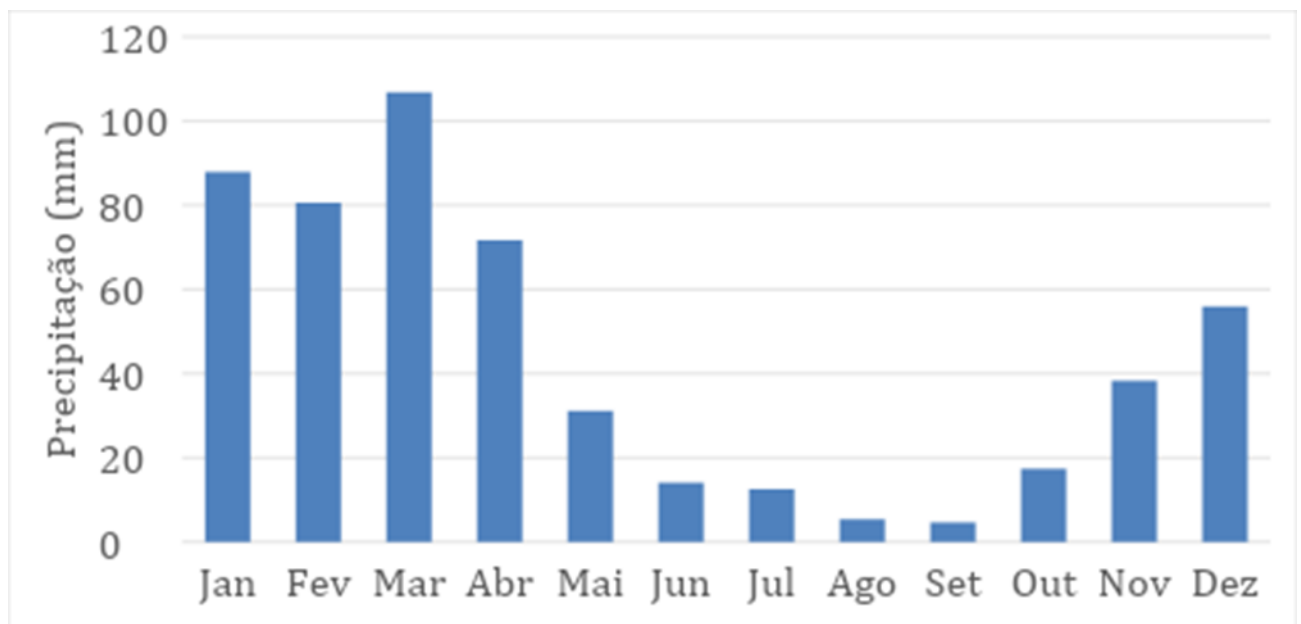


Figura 5 - Precipitação média mensal de Belém do São Francisco (1962-2024). Fonte: APAC (2024).

A partir do mapeamento do uso e cobertura da terra, realizados com as imagens orbitais do satélite Landsat 8, foram identificadas as classes: área urbana, agricultura, corpos d'água, solo exposto, vegetação degradada, vegetação arbustiva, vegetação nativa (caatinga) e vegetação ciliar, como pode ser observado na figura 6.

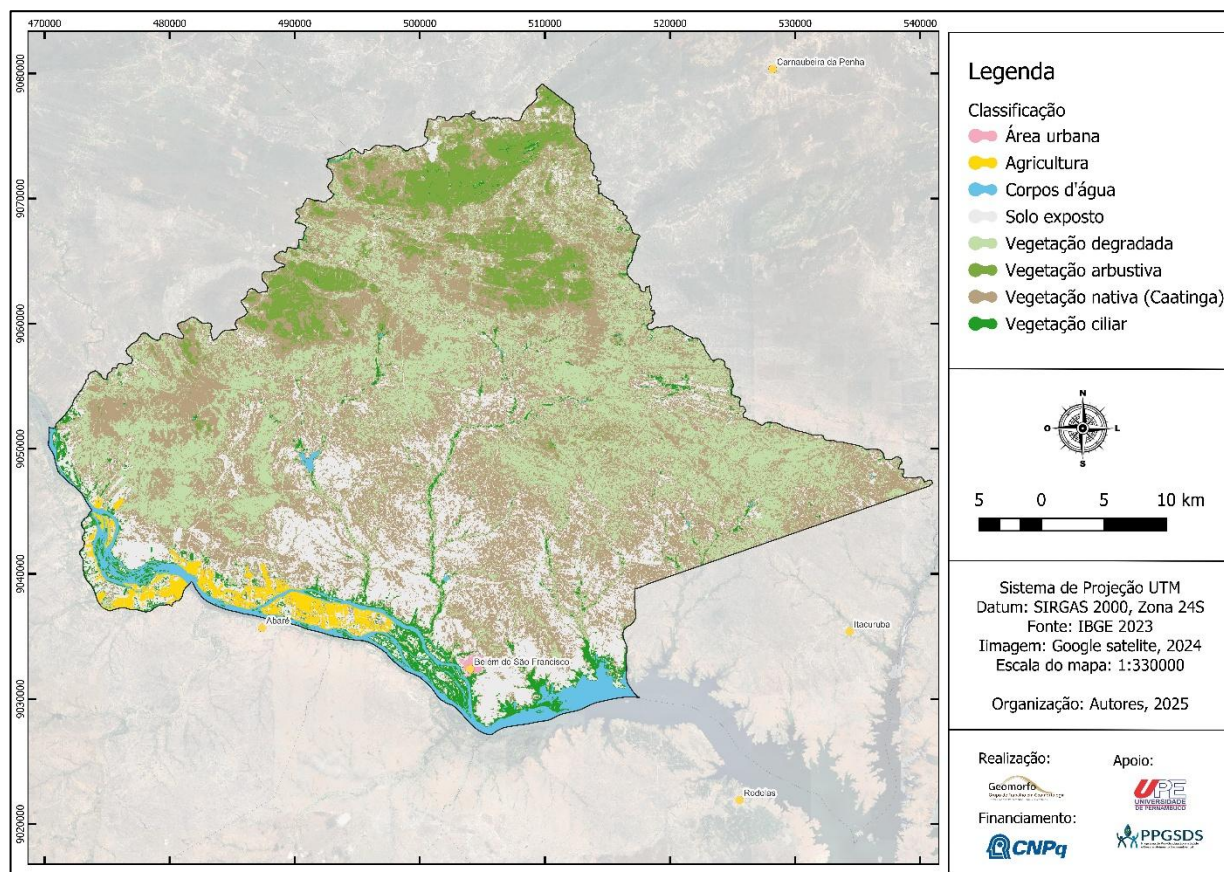


Figura 6 - Mapa de uso e cobertura da terra, para o ano de 2024.

A análise espacial revela a predominância vegetação degradada em grande parte do território, refletindo as condições do bioma Caatinga e o histórico de uso antrópico na região. Observa-se que as áreas de agricultura se concentram nas margens do Rio São Francisco, indicando a dependência de recursos hídricos para a produção agropecuária. Por outro lado, a expressiva presença de solo exposto (Figura 7-A) e vegetação degradada (Figura 7-F), particularmente nas porções central e sul, evidencia estágios avançados de degradação do solo, frequentemente associados a práticas de manejo inadequadas e à supressão da cobertura vegetal original.

A vegetação arbustiva (Figura 7-E) aparece de forma dispersa, sugerindo diferentes estágios de regeneração ou degradação da Caatinga. Já a vegetação ciliar, visível ao longo dos cursos d'água, mostra-se fragmentada em vários trechos, o que pode comprometer a proteção de nascentes e a estabilidade de margens. A área urbana (Figura 7-D) ocupa uma porção reduzida do território, com padrão concentrado na sede municipal. Essa configuração das classes de uso e cobertura corrobora a elevada susceptibilidade à desertificação, uma vez que a redução da cobertura vegetal protetora e a exposição do solo intensificam os

processos erosivos, especialmente quando associados ao regime climático semiárido.

Os dados de uso e cobertura da terra com o mapeamento erosivo revela uma relação direta e preocupante entre as práticas agrícolas historicamente adotadas no município e a aceleração dos processos de degradação do solo. A paisagem agrícola de Belém de São Francisco, tradicionalmente alicerçada na cebola e no tomate cultivados sob irrigação por inundação às margens do Rio São Francisco, e na pecuária extensiva e agricultura de sequeiro (feijão, milho) no interior do território (SOUSA et al., 2022), constitui um dos principais vetores antrópicos da erosão.

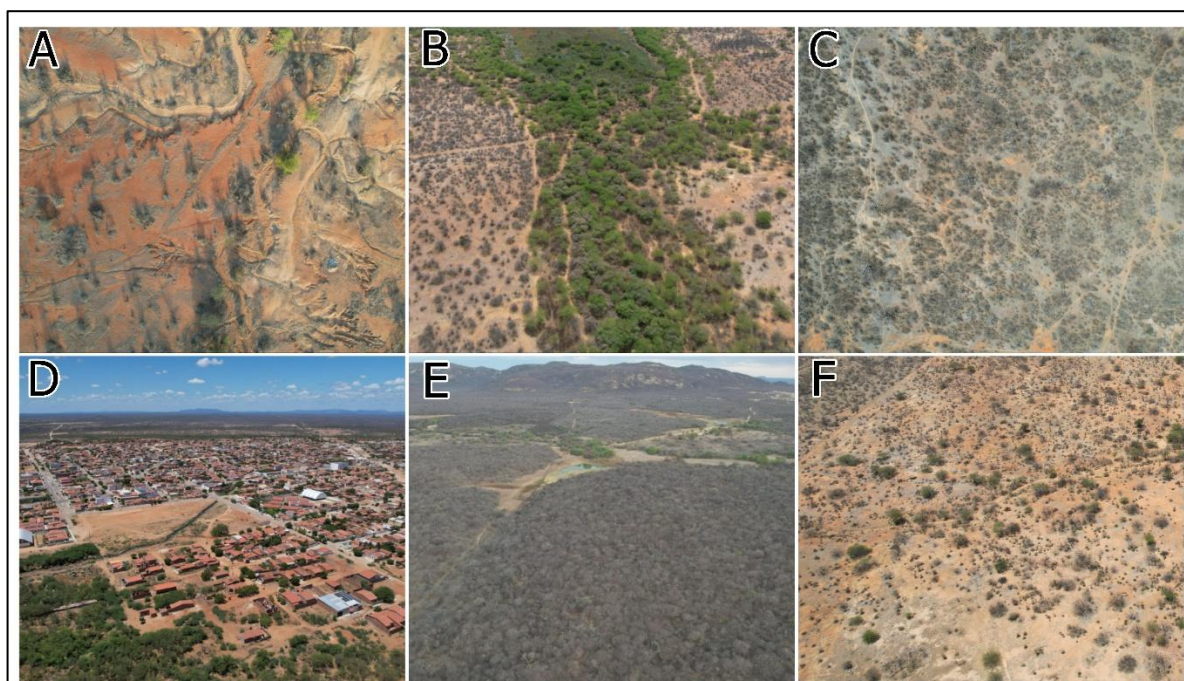


Figura 7: - Área de solo exposto (A); vegetação ciliar (B), vegetação nativa (Caatinga) (C); área urbana (D); vegetação arbustiva (E); vegetação degradada (F).

O método de irrigação por inundação, praticado historicamente sem a implantação de sistemas de drenagem adequados, tem induzido à salinização secundária dos solos, um fenômeno já documentado no município (SILVA et al., 2005). Solos salinizados, como Luvisolos e Neossolos Flúvicos, veem sua estrutura física degradar-se, tornando-se compactados e com drástica redução da capacidade de infiltração de água. Este cenário potencializa o escoamento superficial, que, concentrado, é a força motriz por trás da formação e aprofundamento das feições erosivas lineares mapeadas em escala de detalhe. O abandono subsequente de áreas improdutivas por salinização, conforme observado por Silva et al. (2005), cria manchas de solo exposto que funcionam como fontes pontuais de sedimentos e são altamente susceptíveis à ação erosiva.

Paralelamente, a expansão das áreas de pastagem e de agricultura de sequeiro sobre a Caatinga nativa resulta na fragmentação e supressão da cobertura vegetal protetora. A substituição da vegetação nativa, adaptada ao semiárido, por culturas anuais ou pastagens esparsas, deixa o solo exposto durante boa parte do ano, especialmente durante os eventos de chuva intensa e concentrada que caracterizam o regime pluviométrico regional. Esta exposição, somada ao preparo do solo em áreas de relevo suave-ondulado, explica a distribuição difusa da erosão laminar e em sulcos identificada em porções centrais e norte do município, onde solos naturalmente mais rasos e frágeis (Neossolos e Planossolos) predominam.

Este ciclo de degradação é agravado pela carência crônica de assistência técnica, onde se verifica que a maioria dos produtores (68%) nunca recebeu qualquer tipo de orientação (SOUSA et al., 2022). A falta de difusão de técnicas de manejo conservacionista, como sistemas de irrigação eficientes, práticas de conservação de solo e água e a adoção de sistemas agroflorestais, perpetua um modelo de uso da terra que explora a fragilidade natural do ecossistema semiárido. Dessa forma, as práticas agrícolas, embora essenciais para a economia local, atuam como um catalisador crítico que intensifica a susceptibilidade natural à erosão, aproximando a região de um limiar de desertificação irreversível.

Através da interseção das classes de uso e cobertura da terra, que apresentam características favoráveis à erosão e dados da SEMAS, das classes acentuado e severo a desertificação foi gerado o produto cartográfico apresentado na figura 8, sintetiza a distribuição das áreas com erosão acentuada no município de Belém de São Francisco destaca-se como um diagnóstico fundamental para compreender a magnitude do processo de degradação. A partir da interpretação de imagens de satélite de 2024, integradas a dados da SEMAS (2020), foi possível delimitar aproximadamente 824 km² de áreas degradadas, o que corresponde a cerca de 45,3% do território municipal.

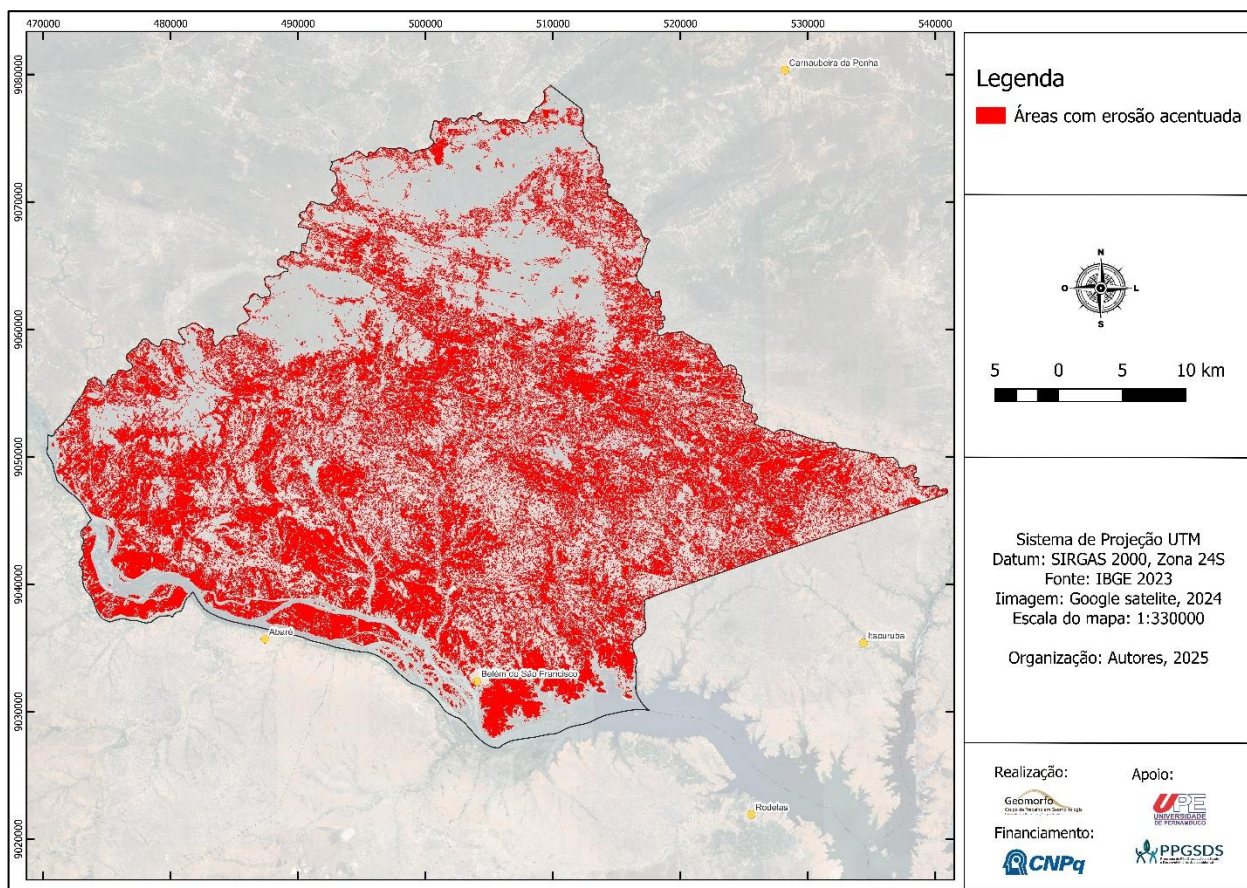


Figura 8 - Áreas com erosão acentuada.

Essa intensa degradação é observada em municípios vizinhos, pertencentes à mesma região, como o município de Floresta, onde trabalhos como os realizados por Freitas et al. (2023), que identificaram grande ocorrência de feições erosivas lineares na bacia do Riacho Seco. E por Silva et al. (2024), que boa parte do seu território em processo de degradação.

Por meio do mapeamento da erosão na escala de detalhe (figura 9), observou-se que a erosão não ocorre de forma isolada, mas se distribui de maneira difusa em praticamente todo o município, com maior intensidade nas porções central e sul, onde predominam solos rasos e a vegetação nativa da Caatinga encontra-se mais fragmentada. Esse mapeamento evidencia não apenas a extensão do problema ambiental, mas também a necessidade de ações de manejo e recuperação que considerem a escala territorial, uma vez que os processos erosivos estão associados a uma combinação de fragilidade natural e uso inadequado da terra.

O mapeamento detalhado em escala de 1:5.000 (Figura 9) permitiu identificar feições erosivas lineares de diferentes dimensões, onde a drenagem efêmera intensifica a dissecação do terreno. Observa-se a presença de erosão linear

que acompanha a rede de drenagem, evidenciando o papel da dinâmica hídrica intermitente na evolução do modelado. A proximidade de estradas não pavimentadas e a ocorrência de cortes associados à BR-316 configuram fatores adicionais de instabilidade, uma vez que favorecem o escoamento concentrado e a abertura de novos canais erosivos.

Na escala de detalhe (Figura 9), o mapeamento das áreas com erosão acentuada revelou que áreas com solo exposto, ou com áreas de vegetação espaçada apresentam sinais claros de degradação avançada. As áreas mais críticas concentram-se na porção central e norte do município, onde predominam solos rasos e de baixa fertilidade, associados à supressão da vegetação nativa da Caatinga. Nessas regiões, a combinação entre fragilidade pedológica e práticas agropecuárias extensivas intensifica a vulnerabilidade do solo à erosão hídrica.

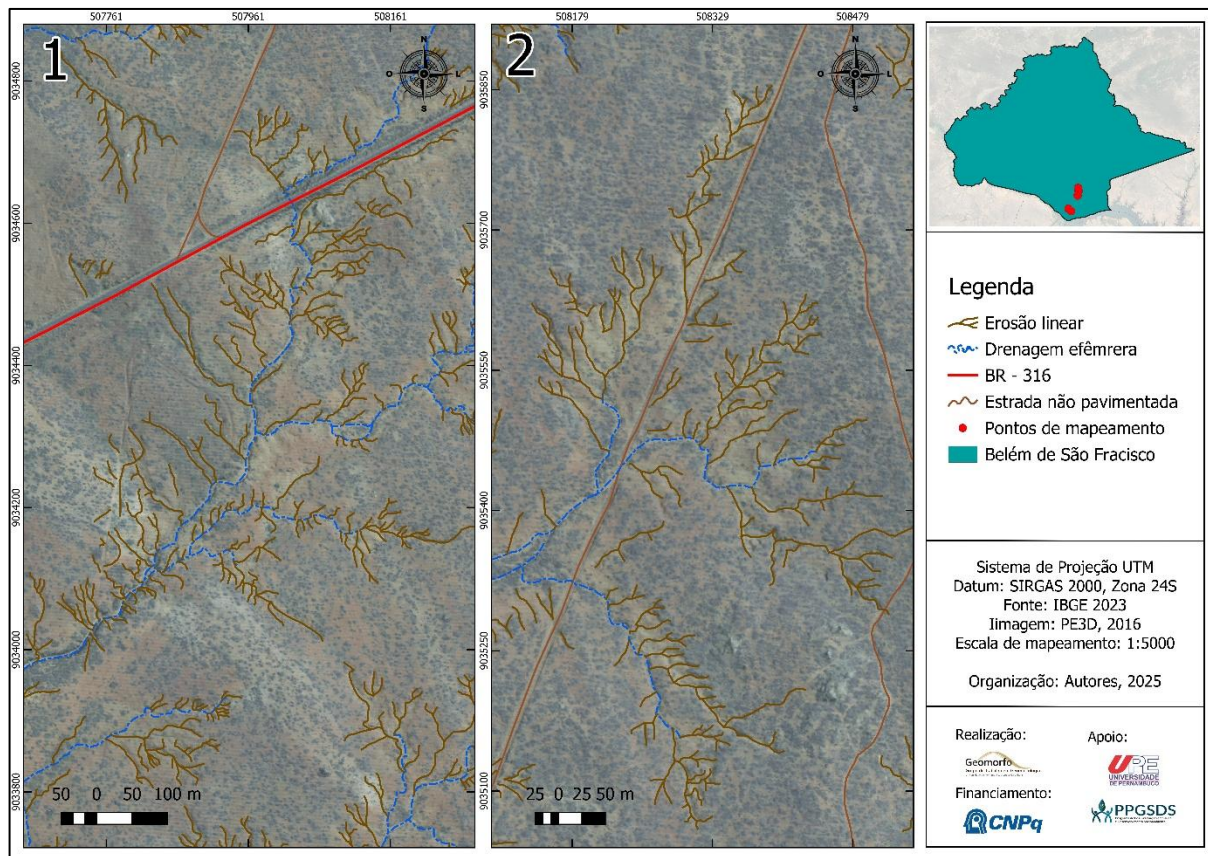


Figura 9 - Mapeamento da erosão com o PE3D 1 e 2.

O padrão espacial observado corrobora estudos anteriores realizados em áreas semiáridas (SOUZA; PAULA, 2019; LIMA et al., 2023), que apontam a forte influência da variabilidade climática, da baixa cobertura vegetal e das pressões antrópicas no desencadeamento da degradação. Em Belém de São Francisco, a substituição da Caatinga por pastagens e o abandono de áreas agrícolas ampliam a exposição do solo, favorecendo a formação de processos erosivos. Além disso, a irregularidade das chuvas, marcadas por eventos intensos e concentrados, acelera o escoamento superficial, ampliando a erosividade dos solos.

Outro aspecto relevante é a proximidade das áreas degradadas com cursos d'água intermitentes e açudes. Esse cenário sugere riscos adicionais para a qualidade da água e a capacidade de armazenamento, visto que o aporte de sedimentos pode comprometer tanto a infraestrutura hídrica quanto os usos múltiplos da água (SILVA, 2022). Nesse sentido, o município exemplifica a materialização das vulnerabilidades apontadas pela SEMAS (2020), reforçando a necessidade de políticas públicas

voltadas à recuperação ambiental e ao manejo sustentável do território.

Seguindo a análise utilizando a escala de detalhe temos nas figuras 10 e 11, quatro trechos representativos da área de estudo. Na figura 10, o trecho 3, compreende uma área preparada para o plantio com grande presença de feições erosivas. O trecho 4 corresponde a uma grande área de solo exposto, onde também há grande presença de feições erosivas.

Ambos os trechos nos reafirmam a importância da cobertura vegetal na proteção dos solos contra a erosão, diferentes autores como Morgan (2005), Santoro (2015) em seus trabalhos nos apresentam a vegetação como um fator de proteção dos solos contra ação dos agentes erosivos, interceptando a águas das chuvas por meio das folhas e caules, e por meio das raízes contribuem para uma melhor infiltração e melhor resistência mecânica do solo.

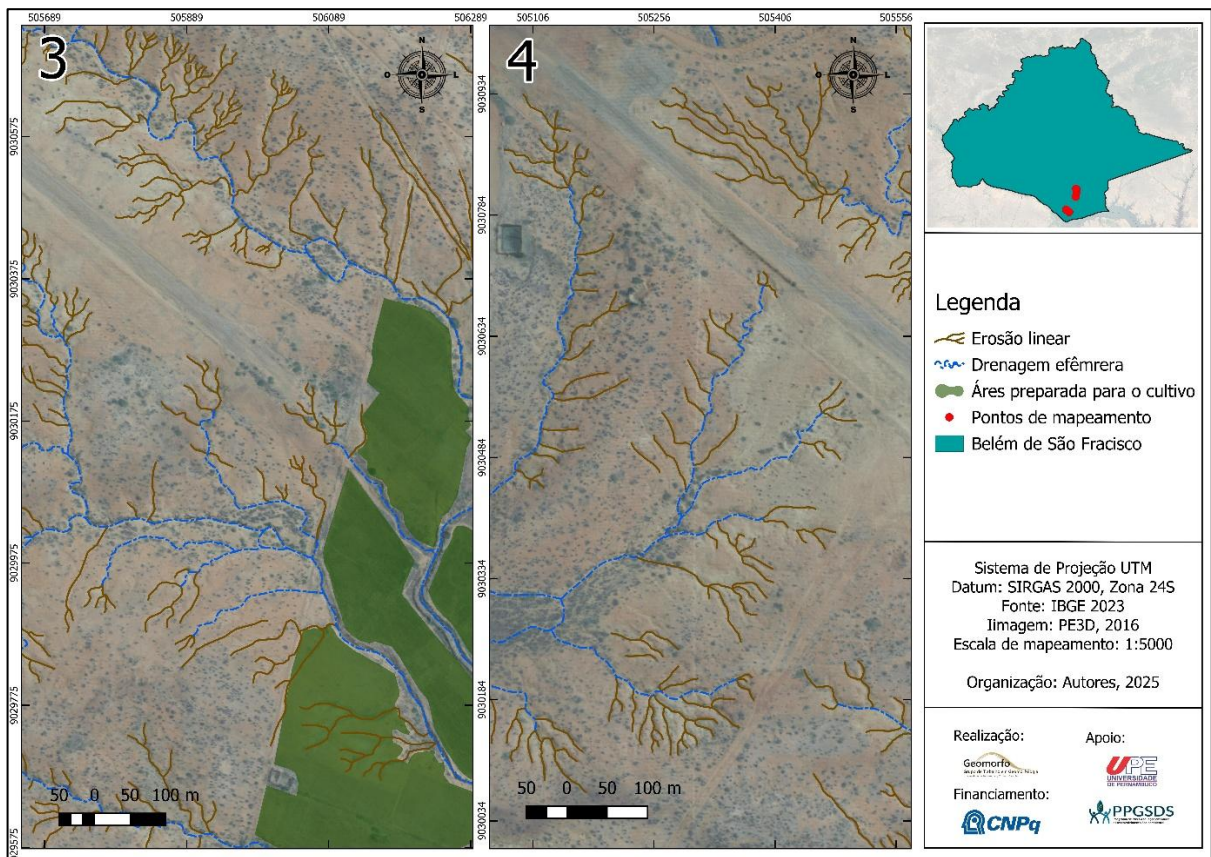


Figura 10 - Mapeamento da erosão com o PE3D 3 e 4.

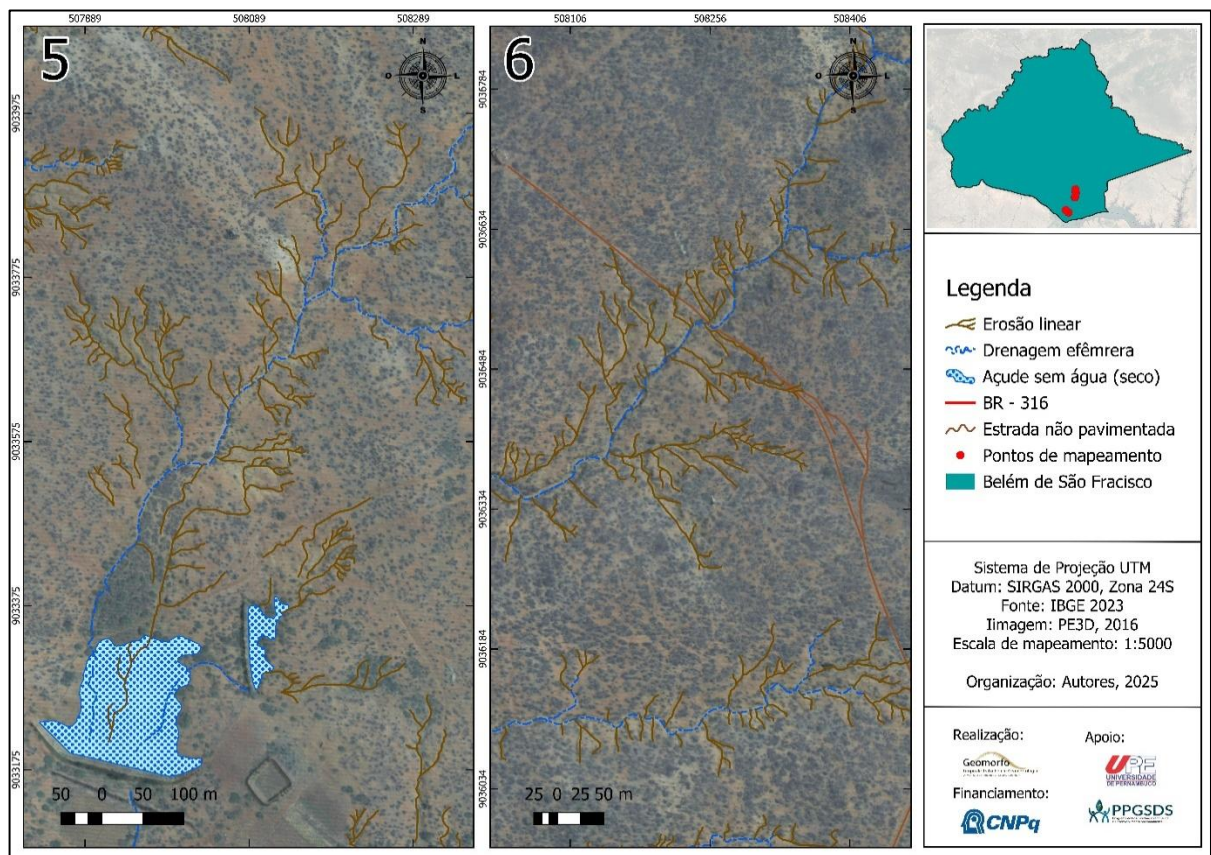


Figura 11 - Mapeamento da erosão com o PE3D 5 e 6.

Esse papel da proteção dos solos desenvolvido pela vegetação é extremamente importante, mesmo se tratando de regiões com vegetação naturalmente menos espaçada como é o caso da Caatinga (SEMAS, 2020). Na figura 11, trecho 6, podemos observar uma área de solo exposto cercada por vegetação, fica nítido que a área com vegetação está menos susceptível a erosão, inclusive nesse setor não foram identificadas erosões, por outro lado, no setor de solo exposto corre uma quantidade significativa de feições erosivas.

Outro importante fator que influencia a ocorrência de erosão e consequentemente a degradação das terras no município de Belém de São Francisco é a existência de barramentos. Na imagem pode ser visualizada a ocorrência de feições erosivas que conectam-se com a rede de drenagem e com o barramento. O fato de ocorrerem feições erosivas conectadas com os reservatórios pode ser explicado pela alteração do nível de base local, podendo desencadear erosão no setor a montante do barramento (PEREZ FILHO e QUARESMA, 2011; SILVA et al. 2022).

De modo geral, os resultados indicam que os processos erosivos no município de Belém de São Francisco não se limitam a ocorrências pontuais, mas representam uma ameaça difusa e de larga escala. A interação entre fatores naturais como solos suscetíveis e regime climático semiárido e pressões antrópicas como desmatamento, uso inadequado do solo e abertura de estradas intensifica o risco de degradação, aproximando a região das dinâmicas típicas de núcleos de desertificação já consolidados no Sertão pernambucano.

4. Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo permitem concluir que o município de Belém de São Francisco enfrenta um cenário crítico de degradação territorial, no qual fatores naturais e antrópicos atuam de forma sinérgica para acelerar processos de desertificação. A análise integrada de dados de uso e cobertura da terra, suscetibilidade à desertificação, variabilidade climática e mapeamento detalhado de feições erosivas revelou que 45,3% do território municipal (824 km²) apresenta sinais acentuados de erosão, com distribuição espacial predominante nas porções central e norte, áreas caracterizadas pela combinação de solos rasos, cobertura vegetal fragmentada e histórico de uso agropecuário intensivo.

A confirmação desse quadro por meio do mapeamento em escala de detalhe (1:5.000)

evidenciou a presença de feições erosivas lineares ativas, como sulcos e ravinas, frequentemente associadas à dinâmica hídrica intermitente e à infraestrutura viária. Tais feições não apenas refletem a perda de solos, mas também indicam a progressiva desestabilização do equilíbrio geomorfológico local, com implicações diretas para a capacidade produtiva das terras e a conservação dos recursos hídricos.

A análise climática complementar reforçou a tendência de aumento na frequência de anos secos, cenário que exacerba a vulnerabilidade do solo à erosão e reduz a resiliência da vegetação nativa. A sazonalidade marcante das chuvas, concentrada em poucos meses do ano, atua como um agente erosivo de alto impacto, especialmente quando associada a práticas de manejo inadequadas, como a irrigação por inundação sem drenagem efêmera, historicamente responsável pela salinização de solos nas margens do Rio São Francisco e a expansão de atividades agropecuárias sobre a Caatinga nativa. Diante desse contexto, fica evidente que a ação antrópica representa o principal vetor de intensificação dos processos de degradação na região. A carência de assistência técnica, somada à ausência de políticas locais efetivas de conservação do solo e da água, perpetua um ciclo de degradação que ameaça a sustentabilidade socioambiental do município.

Portanto, recomenda-se a adoção urgente de medidas de recuperação e ordenamento territorial, com a implementação de programas de manejo sustentável do solo e da água, com ênfase em técnicas de irrigação eficiente e conservacionista, a restauração ecológica de áreas degradadas, com prioridade para as identificadas como críticas neste estudo, o fortalecimento da assistência técnica e extensão rural, visando a transição para sistemas produtivos mais resilientes e adaptados ao semiárido, e a continuidade de estudos de monitoramento em alta resolução, capazes de acompanhar a evolução dos processos erosivos e orientar ações corretivas em tempo hábil. Este estudo reforça a necessidade de abordagens integradas e multiescalares para o enfrentamento da desertificação, nas quais o conhecimento técnico-científico sirva como base para políticas públicas efetivas e para a construção de um modelo de desenvolvimento territorial sustentável no semiárido pernambucano.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com financiamento da CAPES e FACEPE, com fomento 001; CNPQ - bolsa de mestrado ao primeiro autor (Processo Nº 440077/2023-0), a bolsa de mestrado ao segundo autor (Processo Nº IBPG-0545-4.00/24) e a bolsa de mestrado a terceira autora (Processo Nº 88887.143305/2025-00).

Referências

- Araújo, G. H. D., Almeida, J. R., & Guerra, A. J. T. (2008). *Gestão ambiental de áreas degradadas* (3ª ed.). Bertrand Brasil.
- Agência Pernambucana de Águas e Clima. (2023). *Atlas climatológico do estado de Pernambuco: normais climatológicas 1991–2020*. APAC.
- Assis, J. M. O., Sobral, M. C., & Souza, W. M. (2012). Análise de detecção de variabilidades climáticas com base na precipitação nas bacias hidrográficas do sertão de Pernambuco. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 5(3), 585–597.
- Barreto, P. C. A. (2010). *Avaliação hidrológica de microbacias de nascentes de rios: contribuições para a gestão de recursos ambientais no semiárido pernambucano* (Tese de doutorado). Universidade Federal de Pernambuco.
- Brasil. (2004). *Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca – PAN-BRASIL*. Ministério do Meio Ambiente.
- Brasil. (2025, janeiro 31). Pernambuco decreta situação de emergência em 117 cidades devido à seca. Agência Brasil. <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2025-01/pernambuco-decreta-situacao-de-emergencia-em-117-cidades-devido-seca>
- CPRM – Serviço Geológico do Brasil. (2005). *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea: diagnóstico do município de Itacuruba, estado de Pernambuco*. CPRM/PRODEEM.
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. (2024). *Boletim agroclimatológico: setembro de 2024*. <https://portal.inmet.gov.br/>
- Lima, K. C., Lupinacci, C. M., Gomes, D. D. M., Souza, S. O., & Alexandre, F. S. (2023). Erosão em áreas suscetíveis à desertificação no semiárido: possibilidades de análise por meio da cartografia geomorfológica baseada em imagens de altíssima resolução. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 24(2).
- Morgan, R. P. C. (2005). *Soil erosion and conservation* (3rd ed.). Wiley-Blackwell.
- Pernambuco. (2009). *Programa de ação estadual de Pernambuco para o combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca – PAE-PE*. CEPE.
- Pernambuco. (2010). Lei nº 14.091, de 17 de junho de 2010. Institui a política estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca. *Diário Oficial do Estado de Pernambuco*.
- Perez Filho, A., & Quaresma, C. C. (2011). Ação antrópica sobre as escalas temporais dos fenômenos geomorfológicos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12(3), 83–90.
- Santoro, J. (2015). Erosão continental. In L. K. Tominaga, J. Santoro, & R. Amaral (Orgs.), *Desastres naturais: conhecer para prevenir* (3ª ed., pp. 53–70). Instituto Geológico.
- Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco. (2020). *Zoneamento das áreas suscetíveis à desertificação do estado de Pernambuco*. SEMAS.
- Sidle, R. C., Jarihani, B., Kaka, S. I., Koci, J., & Al-Shaibani, A. (2019). Hydrogeomorphic processes affecting dryland gully erosion: Implications for modelling. *Progress in Physical Geography*, 43(1), 46–64.
- Silva, B. C. G., Maciel, L. N. Q., & Araújo, M. S. B. (2005). Limitações ao cultivo em áreas irrigadas de Belém de São Francisco, estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 27(2), 343–347.
- Silva, I. A., et al. (2022). Feições erosivas no entorno de pequenos açudes do município de Itacuruba-PE. In *Anais do Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco* (Vol. 4, pp. 1–5). CBHSF.
- Silva, R. O. B., Montenegro, S. M. G. L., & Souza, W. M. (2017). Tendências de mudanças climáticas na precipitação pluviométrica nas bacias hidrográficas do estado de Pernambuco. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(3), 579–589. <https://doi.org/10.1590/s1413-41522017142481>
- Sousa, F. R. C., & Paula, D. P. (2019). Análise de perda do solo por erosão na bacia hidrográfica do rio Coreaú (Ceará-Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 20(3).
- Sousa, L. C. C., et al. (2022). Produtores rurais de Belém do São Francisco – PE e ações do Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA). *Extramuros: Revista de Extensão da UNIVASF*, 10(2), 219–236.
- Zellhuber, A., & Siqueira, R. (2007). Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização. *Cadernos do CEAS: Revista Crítica de Humanidades*, (227), 3–24