



## **IDENTIFICAÇÃO DA DEGRADAÇÃO DOS SOLOS NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO: A PARTIR DE UMA ANÁLISE TEMPORAL EM ÁREAS DE VULNERABILIDADE DO MUNICÍPIO DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO – PE**

Kaio César de Oliveira Tavares  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
[kaioc17@gmail.com](mailto:kaioc17@gmail.com)

André Felipe da Silva  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
[andregeoredes@gmail.com](mailto:andregeoredes@gmail.com)

George Pereira de Oliveira  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
[georgegeotec15@gmail.com](mailto:georgegeotec15@gmail.com)

Antonio Carlos de Barros Corrêa  
Universidade Federal de Pernambuco, Brasil  
[dbiase2001@terra.com.br](mailto:dbiase2001@terra.com.br)

**RESUMO** – A atuação dos agentes externos junto com o processo de apropriação da natureza pelo homem tem causado um aceleração de diversos problemas no contexto da biosfera. Este trabalho visa a identificação da degradação dos solos a partir dos condicionantes topográficos, pluviométricos e os índices de cobertura vegetal no município de Belém do São Francisco, localizado no sertão pernambucano, Nordeste do Brasil. O objetivo principal deste da pesquisa é a identificação dos processos de degradação dos solos, utilizando escalas espaciais e temporais no intuito de entender os processos e respostas refletidos na paisagem.

Palavras-chave: Desertificação; Coberturas Pedológicas; Sensoriamento Remoto; NDVI.

## **IDENTIFICATION OF SOIL DEGRADATION IN THE SEMIARID REGION OF PERNAMBUCO: BASED ON A TEMPORAL ANALYSIS OF VULNERABLE AREAS IN THE MUNICIPALITY OF BELÉM DO SÃO FRANCISCO – PERNAMBUCO STATE**

**ABSTRACT** – The action of external agents together with the process of appropriation of nature by man has caused an acceleration of several problems in the context of the biosphere. This work aims to identify the degradation of soils from the topographic, rainfall and vegetation cover indices in the municipality of Belém do São Francisco, located in the hinterland of Pernambuco, Northeast Brazil. The main objective of this research is the identification of soil degradation processes, using spatial and temporal scales in order to understand the processes and responses reflected in the landscape.

Keywords: Desertification; Pedological Covers; Remote Sensing; NDVI.

## INTRODUÇÃO

O processo de evolução da paisagem é um processo contínuo e dinâmico, recorrente dos processos naturais e/ou ações antrópicas. O mapeamento e monitoramento de áreas a partir das diversas técnicas de sensoriamento e geoprocessamento criadas nas últimas décadas permitem uma maior interação e integração de dados, auxiliando na espacialização das informações necessárias na questão gerencial.

As utilizações dessas técnicas otimizam processos e produtos, ganhando destaque e constantemente diversas análises, principalmente no contexto ambiental e sobre a evolução da paisagem. Os estudos em ambientes semiáridos são praticamente escassos, entendendo a necessidade vista e a lacuna em que o tema se apresenta, percebemos o semiárido como um sistema, onde processam a interação do potencial ecológico, a exploração biológica e a ação humana.

Conseqüentemente esse conjunto causa um grau de desestabilização ao meio físico-geográfico, quando as ações antrópicas buscam utilizar os solos do ambiente semiárido sem um planejamento de uso adequado. A ação desses agentes vem contribuindo para o aumento dos processos de degradação dos recursos naturais, visto que uma elevada proporção dos solos encontrados nas áreas semiáridas tem um baixo potencial produtivo e elevada vulnerabilidade a processos erosivos, muitas vezes atingindo estágios dos processos de desertificação.

As áreas com características secas tendem naturalmente apresentarem um quadro geoambiental vulnerável. O conjunto de fatores veem aumentando a suscetibilidade de muitas dessas áreas, das quais podem acabar tornando-se inabitadas. Nascimento (2006), corrobora que, em regiões semiáridas como o Nordeste Brasileiro (NEB), os problemas são agravados por essa vulnerabilidade, principalmente os cursos de água, solo e geobotânica, são consumidos e exauridos vorazmente, aumentando assim a susceptibilidade às contingências climáticas, sobretudo em termos pluviométricos.

Segundo Roxo (2006), a desertificação ocorre, ou é passível de ocorrer nas diversas regiões de clima seco do mundo, principalmente em virtude de determinadas formas de manejo a que são submetidos os recursos naturais existentes, em particular a vegetação e os solos. Em complemento, para Souza (2008), a retirada da vegetação é a ação mais comum que pode desencadear o processo de desertificação, e uma das conseqüências mais sérias estão relacionadas aos solos das regiões afetadas, em decorrência do aumento da erosão e os seus efeitos na fertilidade do solo.

Portanto, a cobertura vegetal apresenta enorme importância para a diminuição do desenvolvimento da desertificação, uma vez que protege o solo da ação inicial dos processos erosivos. No mesmo sentido, a ausência da cobertura vegetal pode anunciar a susceptibilidade dos solos ao ataque dos agentes erosivos desencadeadores do processo da desertificação.

Os processos erosivos são resultantes da dinâmica de um determinado sistema, assim a complexidade da paisagem é interpretada como a síntese dos diversos componentes que a produzem (Dollfus, 1973). Conforme Guerra e Mendonça (2011), a erosão dos solos pode ser natural devido aos próprios fatores de suscetibilidade, tais como declividade, dimensão e forma das encostas (parâmetros topográficos); propriedades químicas e físicas dos solos; tipo de cobertura vegetal; e fatores climáticos tais como precipitação.

No semiárido nordestino os solos em geral apresentam porosidade dos mantos de alteração ricos em micro agregados que inicialmente, favorecem a infiltração (Corrêa, 2014). Entretanto o fluxo subsuperficial se processa lateralmente, seja por encontrar a frente de intemperismo subjacente ou devido as variações texturais e de permeabilidade entre os horizontes, ocorrem circunstâncias favoráveis a exacerbação dos fluxos erosivos lineares, que resultam em densas ravinas e voçorocas.

A erosão natural, normalmente possui condições de se recuperar com a própria dinâmica do meio físico, diferentemente da erosão antrópica, reconhecida por acelerar a remoção dos horizontes superficiais do solo em curto prazo. Dessa forma, a erosão em lençol (laminar) e a erosão linear, na forma de sulcos, ravinas e voçorocas (estado mais avançado) podem ser potencializados pela ação antrópica em um determinado recorte da paisagem (Bigarella, 2003).

Como o presente estudo também dispõe da utilização de ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), para a espacialização de informações obtidas a partir de imagens de satélites visando auxiliar na compreensão e discussões a respeito de diversos fatores ambientais. Por isso, aplica-se metodologias com SIG para analisar os riscos de erosão em áreas de interesse, além de mensurar o nível de susceptibilidade à erosão e investigação dos fatores ambientais envolvidos, como por exemplo o de ações antrópicas.

No caso do uso do solo e da cobertura vegetal, estas técnicas contribuem de modo expressivo para a rapidez, eficiência e confiabilidade nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação, bem como vários outros fatores que podem ocasionar modificações na vegetação (Rosendo, 2005). A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção de energia, devido à clorofila na região do vermelho (0,58 a 0,68 $\mu$ m) e por uma intensa reflexão na faixa do infravermelho próximo (0,76 a 1,35  $\mu$ m) causada pela estrutura celular das folhas.

A diferença entre as bandas do vermelho e infravermelho é proporcional à reflectância da imagem, sendo a medida do grau da vegetação na imagem, este comportamento dos objetos frente à radiação eletromagnética (REM), é chamado de assinatura espectral do comprimento de onda ( $\lambda$ ). Conforme é avaliada as faixas de comprimento/frequência diferentes, os objetos se comportaram de maneira diferente, notado que cada objeto tem seu próprio comportamento em relação a essas duas faixas assim permitindo diferenciá-los.

Com o avanço nas pesquisas e gerações de novos sensores orbitais e sua distribuição de formas mais acessível aos usuários, tornaram as imagens de satélite um dos produtos do sensoriamento remoto mais utilizados para análises da cobertura vegetal terrestre. Segundo Ponzoni (2001), essas tecnologias permitiram a contribuição de mapeamento, monitoramento, fiscalização e controle da cobertura vegetal de grandes extensões de áreas da superfície da terra.

O Normalized Difference Vegetation Index- NDVI, tem, portanto, uma relação direta com o vigor da vegetação, sendo assim, é possível o mapeamento de áreas com diferentes índices de cobertura vegetal e vigor de biomassa. Levando em consideração as variações sazonais e interanuais ligadas a planta. Segundo Moreira (2005), os dados de reflectância dos alvos podem ser transformados em índices de vegetação, os quais foram criados com o intuito de ressaltar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros alvos da superfície terrestre

Considerando que a degradação dos solos possui diversos fatores condicionantes e de que o semiárido nordestino apresenta diversos cenários climáticos e topográficos. Este trabalho visa a identificação da degradação dos solos a partir dos condicionantes topográficos, pluviométricos e os índices de cobertura vegetal no município de Belém do São Francisco, localizado no sertão pernambucano, cravado na depressão sertaneja.

A partir de uma análise multi-proxy utilizando diferentes parâmetros para investigação, o objetivo principal deste trabalho é a identificação dos processos de degradação dos solos os quais podem levar futuramente a diferentes estágios de desertificação, utilizando escalas espaciais e temporais no intuito de entender o processo histórico da evolução do uso das terras, preenchendo a demanda do cruzamento de dados provenientes dos diversos fatores de observação e análise.

## METODOLOGIA

Para a realização deste estudo foram realizados múltiplos procedimentos metodológicos a saber: pesquisa documental, bibliográfica e utilização de produtos e técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, na finalidade do tratamento das imagens de satélites, além do trabalho de campo sendo este indispensável para a validação de dados.

Os condicionantes topográficos (declividade, hipsometria, orientação e formas da encosta) foram gerados a partir da elaboração de um MDT (Modelo Digital do Terreno) tendo como base de dados o radar SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) com resolução de 30 m, disponibilizado pela National Aeronautics and Space Administration - NASA de forma gratuita. Assim, a partir das extensões Raster Surface e Hydrology (ferramentas 3D Analyst e Spatial Analyst do software ArcGIS – licença pessoal) foram gerados os referidos mapeamentos.

As classes de declividade foram classificadas e distribuídas de acordo com a proposta da EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979), que estabeleceu 06 (seis) classes que podem variar desde um relevo plano com declividade de 0 a 3% até um com declividades superiores a 75% caracterizando um relevo escarpado. O mapa de orientação das encostas (aspecto) foi classificado de acordo com as direções da rosa-dos-ventos (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) para as quais as encostas estão voltadas. O mapeamento de formas da encosta foi elaborado de acordo com os intervalos propostos por Valeriano (2003) para a curvatura padrão, isto é, a união da curvatura em planta e em perfil.

Por fim o mapa hipsométrico foi classificado de acordo com as altitudes, máximas e mínimas, da área selecionada. Já para a análise pluviométrica, foi utilizado climograma do município, a partir de dados secundários disponíveis na literatura, visando as taxas de precipitação para o município e sua influência na erosão e vegetação.

Para o mapeamento da vegetação foram utilizadas três cenas (bandas de imagens), dos satélites Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM PAN e Landsat 8 sensores OLI/ TIRS, disponibilizadas gratuitamente, pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo a primeira de 14 de agosto de 1985, a segunda 05 de outubro de 2001 e a terceira de 26 de março de 2016. Ambas de pontos e orbitas: 216/66. A escolha foi feita tomando como referência a escala temporal, aqui analisando uma faixa temporal de em média 30 anos a ser analisado e com a pouca cobertura de nuvens para facilitar a identificação dos alvos.

Cada banda espectral possui uma resolução espacial, como por exemplo o satélite Landsat 8 OLI/ TIRS de 30m (com exceção das bandas 8 (15m) 10 e 11(100m)). Isto é, cada pixel congrega uma área quadrangular de 30X30m. Assim podem comportar mais que um “corpo terrestre”, ou seja, os corpos refletem a energia solar de formas distintas, podendo diferenciá-los. Para o processamento dos dados deste trabalho, foi utilizado o pacote de software ArcGIS, a partir da licença pessoal.

O cálculo do Normalized Difference Vegetation Index - NDVI, foi obtido da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo e do vermelho, por meio da seguinte equação:

Equação (1)

$$NDVI = (A-B) / (A+B)$$

Equação do Normalized Difference Vegetation Index.

Onde: A é a reflectância no infravermelho próximo; B é a reflectância no vermelho.

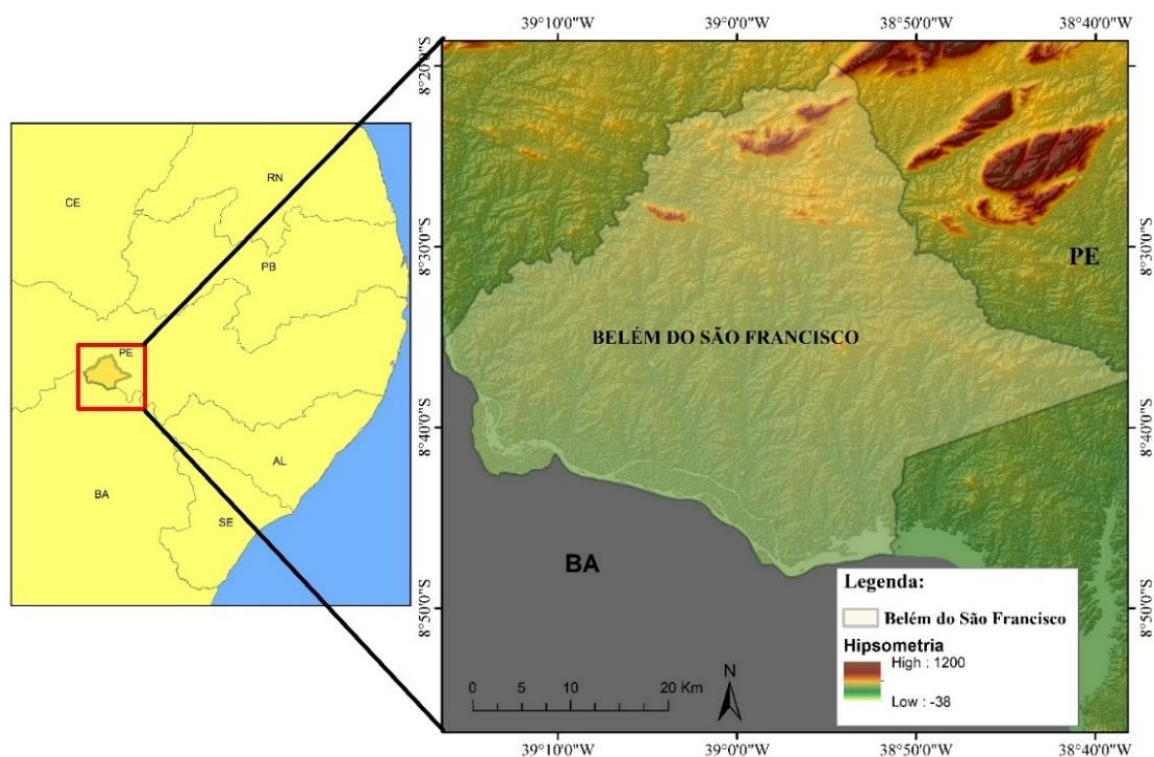
Para melhor visualização propomos uma divisão do resultado a partir do percentual obtido pelo cálculo do NDVI, dividindo em seis classes. Para classificação supervisionada foi utilizada a

técnica de Máxima Verossimilhança (Maxver), método que considera a ponderação das distâncias entre medias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos, a qual dirão a probabilidade de um pixel pertencer ou não a uma determinada classe, levando em consideração a distribuição espectral, assim permitindo uma melhor exatidão na separação de classes, sendo mais apropriada para o mapeamento de uso da terra.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O município de Belém do São Francisco (Figura 1), com ponto central nas coordenadas 08° 45' 14" S e 38° 57' 57" O, localiza-se no sertão pernambucano encravado na depressão do São Francisco com uma altitude média de 300 metros acima do nível do mar, sob regime do clima semiárido severo, abaixo dos 400 mm de precipitação. Está inserido, geomorfologicamente em uma superfície pedimentar com intrusões do Neoproterozóico (inselbergs), cujo contexto pedológico é caracterizado por solos pouco desenvolvidos e ricos em argilas expansivas (Neossolos Flúvicos, Litólicos; Planossolos e Luvisolos).

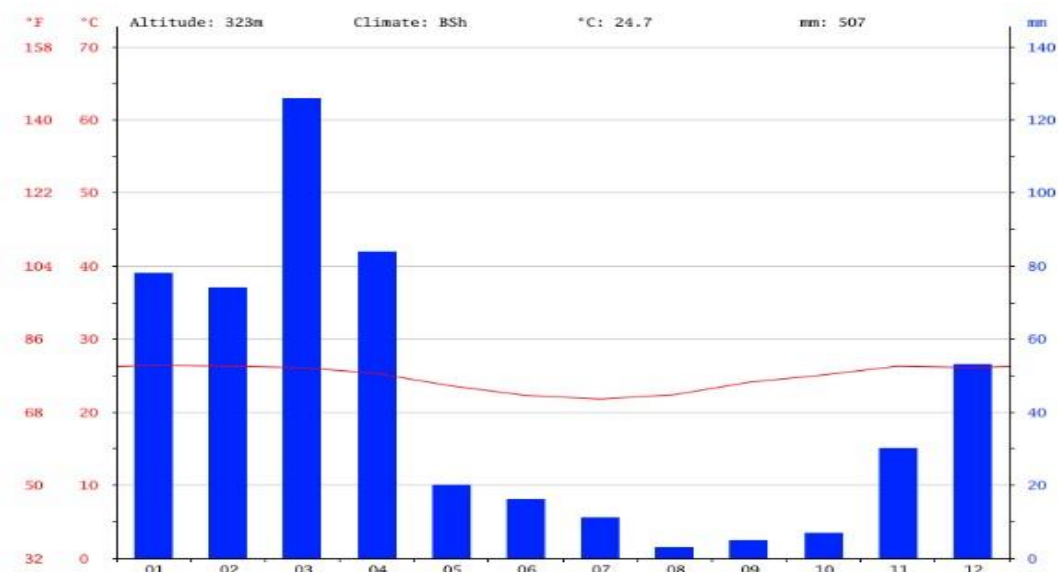
Figura 1. Localização do município de Belém do São Francisco – PE.



Org. Autores (2023)

Em Belém do São Francisco- PE, as temperaturas podem atingir níveis de até 40° C, configurando-se como semiárido severo, apresentando uma baixa pluviosidade anual, com média de 507 mm anuais (Figura 2), indicando que, provavelmente, para este município, os processos erosivos são também deflagrados pela torrencialidade de precipitação, sendo as chuvas intensas e mal distribuídas tanto temporalmente (chuvas concentradas em poucos dias) como espacialmente (chuvas concentradas em pequenas áreas).

**Figura 2.** Climograma do município de Belém do São Francisco – PE.



**Fonte:** CLIMATE-DATE (2020).

Apresentando uma vegetação de caatinga hiperxerófila, a partir da exploração e manejo inadequado dos recursos naturais vem acarretando graves problemas no contexto ambiental, principalmente no decorrer do processo de degradação de terras, que podem evoluir atingindo diferentes graus de desertificação. A degradação ambiental vem sendo intensificada pela pressão antrópica, prevalecendo o desmatamento, tanto para a criação de pastos para o desenvolvimento da pecuária extensiva, a necessidade de lenha e agricultura, pois o rio São Francisco oferece disponibilidade hídrica e com isso, ao longo de suas margens a vegetação foi retirada para a implantação de perímetros de irrigação.

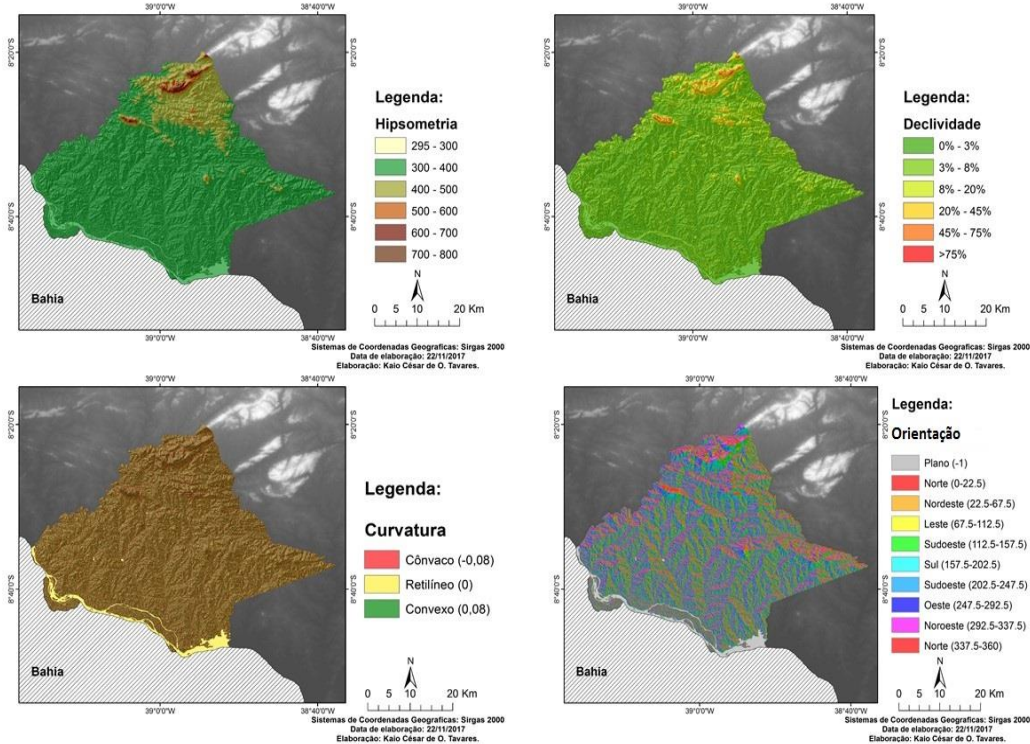
Para melhor compreender a especificidade do município aqui analisado, do ponto de vista geomorfológico dos condicionantes topográficos (Figura 3). Destes como a declividade é uma das variáveis morfométricas mais utilizadas em estudos do meio físico, dada sua associação com os processos de transporte gravitacional como erosão, movimentos de massa e entre outros. Esta possui, portanto, uma estreita relação com o escoamento superficial e a infiltração da água no solo.

Apresentando uma vegetação de caatinga hiperxerófila, a partir da exploração e manejo inadequado dos recursos naturais vem acarretando graves problemas no contexto ambiental, principalmente no decorrer do processo de degradação de terras, que podem evoluir atingindo diferentes graus de desertificação. A degradação ambiental vem sendo intensificada pela pressão antrópica, prevalecendo o desmatamento, tanto para a criação de pastos para o desenvolvimento da pecuária extensiva, a necessidade de lenha e agricultura, pois o rio São Francisco oferece disponibilidade hídrica e com isso, ao longo de suas margens a vegetação foi retirada para a implantação de perímetros de irrigação.

Para melhor compreender a especificidade do município aqui analisado, do ponto de vista geomorfológico dos condicionantes topográficos (Figura 3). Destes como a declividade é uma das variáveis morfométricas mais utilizadas em estudos do meio físico, dada sua associação com os processos de transporte gravitacional como erosão, movimentos de massa e entre outros.

Esta possui, portanto, uma estreita relação com o escoamento superficial e a infiltração da água no solo. Quanto ao mapeamento de curvatura, de caráter côncavo/convexo e retilíneo do terreno, estas possuem uma influência significativa na dispersão ou na concentração de água nas encostas, sendo as côncavas aquelas de maior suscetibilidade (concentração de água). A orientação das encostas é uma variável normalmente expressa em azimute, ou seja, em relação ao norte geográfico no qual o valor é atribuído é 0° a 360°, assim a medida do ângulo da orientação é feita partindo-se do norte geográfico, cujo os valores dos graus aumentam para a direita (no sentido horário).

**Figura 3.** Condicionantes Topográficos do Município de Belém do São Francisco – PE.



Org. Autores (2023)

Considerando a hipsometria do município de Belém do São Francisco, apresentou praticamente em toda a sua área municipal, um relevo suave, em torno dos 400 m de altitude. Como exceção, somente as áreas a norte apresentam maciços residuais, que resistem aos processos erosivos (erosão diferencial) atingindo cotas de aproximadamente 700 m de altitude.

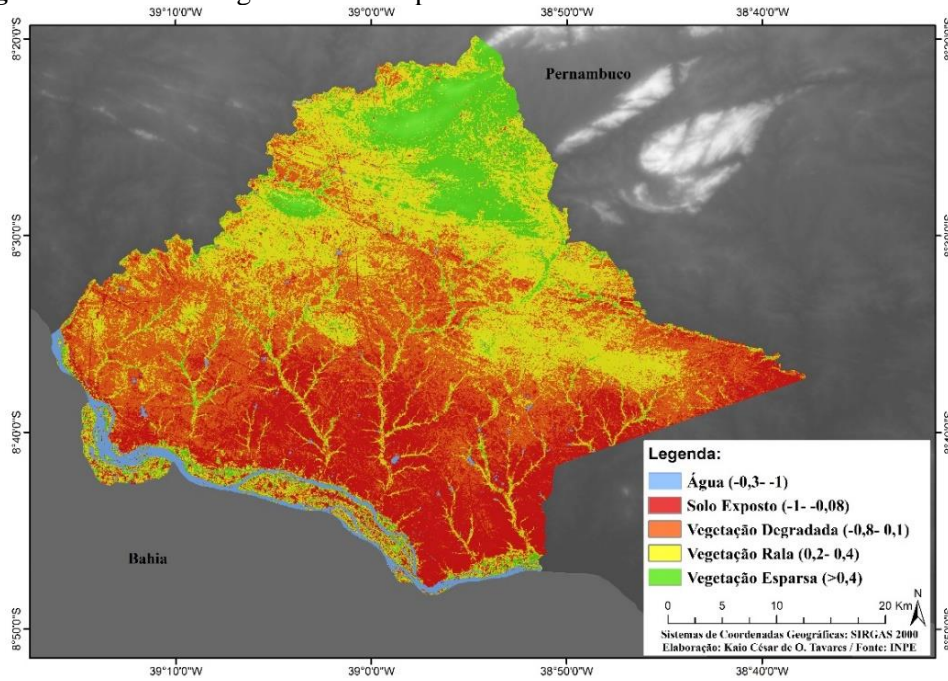
Ainda para este município, com relação à declividade, existe um relevo praticamente aplainado, bastante erodido, onde mais de 80% de seu território político-administrativo atinge taxas de declive entre 0% e 8%. Por ser uma área de baixa declividade e mais suave, o escoamento superficial ocorre com menor intensidade, prevalecendo, dessa forma, os processos de erosão laminar. Com relação à curvatura, apresenta predomínio de formas retilíneas e côncavas, muito suscetíveis devido à concentração de fluxos d'água e encostas orientadas predominantemente nas direções leste, sudoeste e sul.

Com cálculo do Normalized Difference Vegetation Index – NDVI permitiu uma melhor classificação nos índices dos corpos devido as refletâncias e com o auxílio da técnica de Máxima Verossimilhança – Maxver. Assim os corpos foram devidamente identificados, permitindo uma classificação mais precisa, partindo de uma análise a partir de uma escala

temporal, a fim de investigar os processos e respostas na paisagem. Abaixo as imagens de cobertura vegetal (Figuras, 4, 5 e 6).

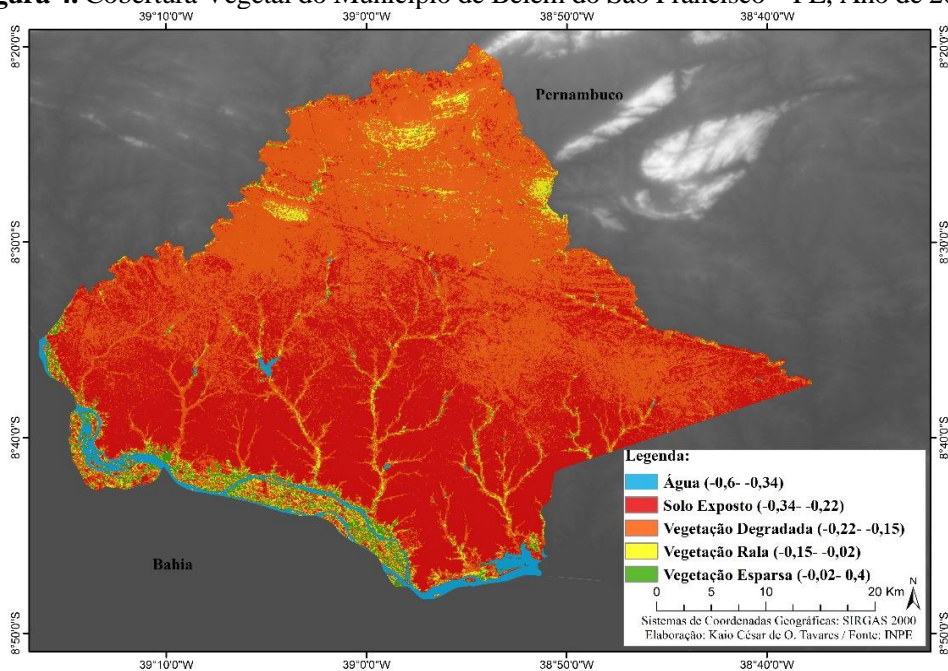
A classificação foi dividida em cinco classes, para uma melhor organização visual dos mapas, a proposta é comparar os índices de refletância dos referidos mapeamentos, utilizando uma sucessão temporal para efetuar a análise. A seguir podemos ver o mapa da cobertura vegetal do ano 2001 (Figura 5) e do ano 2016 (Figura 6).

**Figura 4.** Cobertura Vegetal do Município de Belém do São Francisco – PE. Ano de 1985.



Org. Autores (2023)

**Figura 4.** Cobertura Vegetal do Município de Belém do São Francisco – PE, Ano de 2001.



Org. Autores (2023)

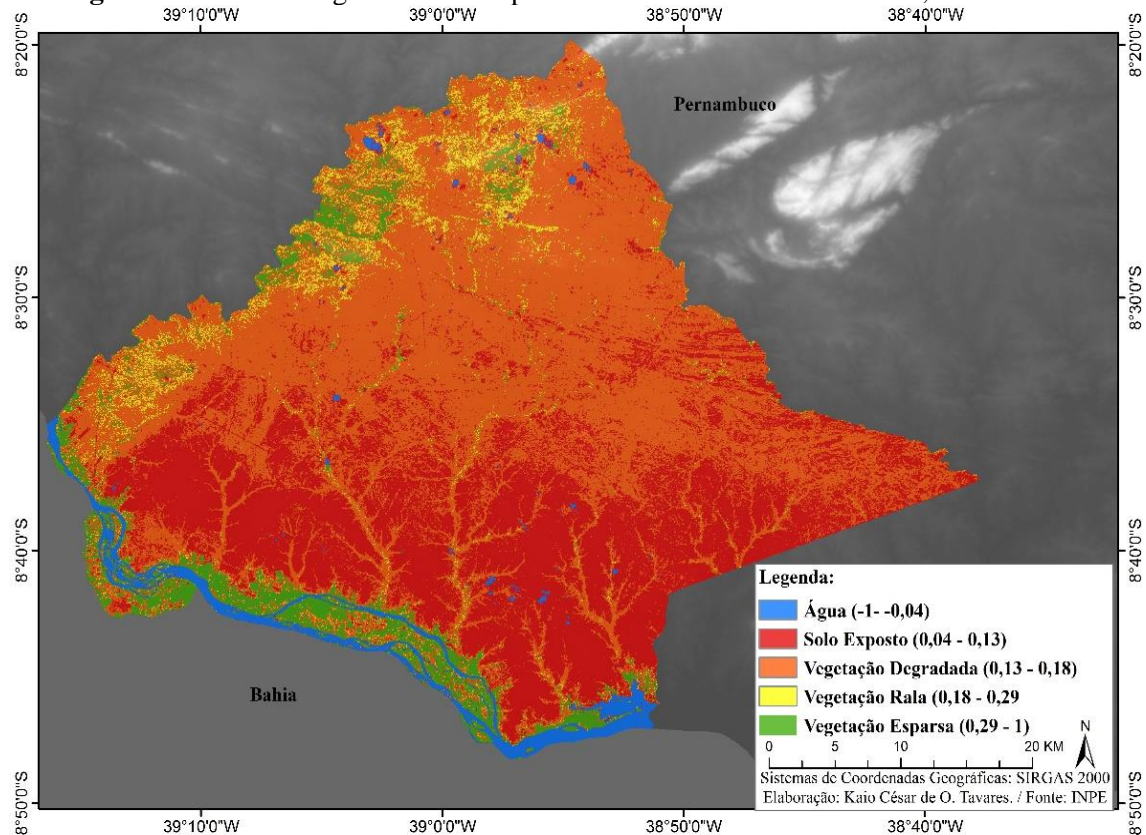


O Normalized Difference Vegetation Index – NDVI, permitiu avaliar as condições da vegetação numa escala de temporal. O mapeamento do ano de 1985, revelou uma quantidade da classe vegetação esparsa mostrando-se representativa, junto com ela a classe vegetação rala também tinha uma grande predominância, associando a uma coloração verde a uma caatinga mais preservada, já a cor amarela a uma vegetação mais rasteira, a classe de vegetação degradada, essa de coloração laranja existia de forma mais distribuída este o limite municipal.

Para o ano de 2001, conseqüentemente a análise acentuou que as classes mais próximas as margens do então Rio São Francisco, aumentaram sua distribuição espacial, principalmente a de solo exposto em razão da vegetação degradada do ano 1985, assim, concluímos que ela evoluiu para um maior grau de deterioração tornando-se solo exposto, devido as ações naturais e climáticas. A vegetação rala conseqüentemente passou por processos de mudanças negativos, tornando-se uma vegetação degradada, notando também que a vegetação esparsa diminuiu consideravelmente.

O mapeamento da cobertura vegetal do ano 2016, as tonalidades vermelhas e laranjas, relacionadas as classes solo exposto e vegetação degradada aumentaram consideravelmente, podemos observar também que as áreas mais elevadas do município a vegetação esparsa conseguiu se restaurar, também observar-se nas três imagens que as margens (local onde a água de um rio se encontra com a terra), sofreram processos erosivos intensificados devido à falta de vegetação, onde o assoreamento das margens criaram bancos fluviais, barras que com o tempo se consolidaram ilhas, onde pelos índices de refletância apresentam uma certa consolidação da vegetação para o ano de 2016.

Figura 4. Cobertura Vegetal do Município de Belém do São Francisco – PE, Ano de 2016.



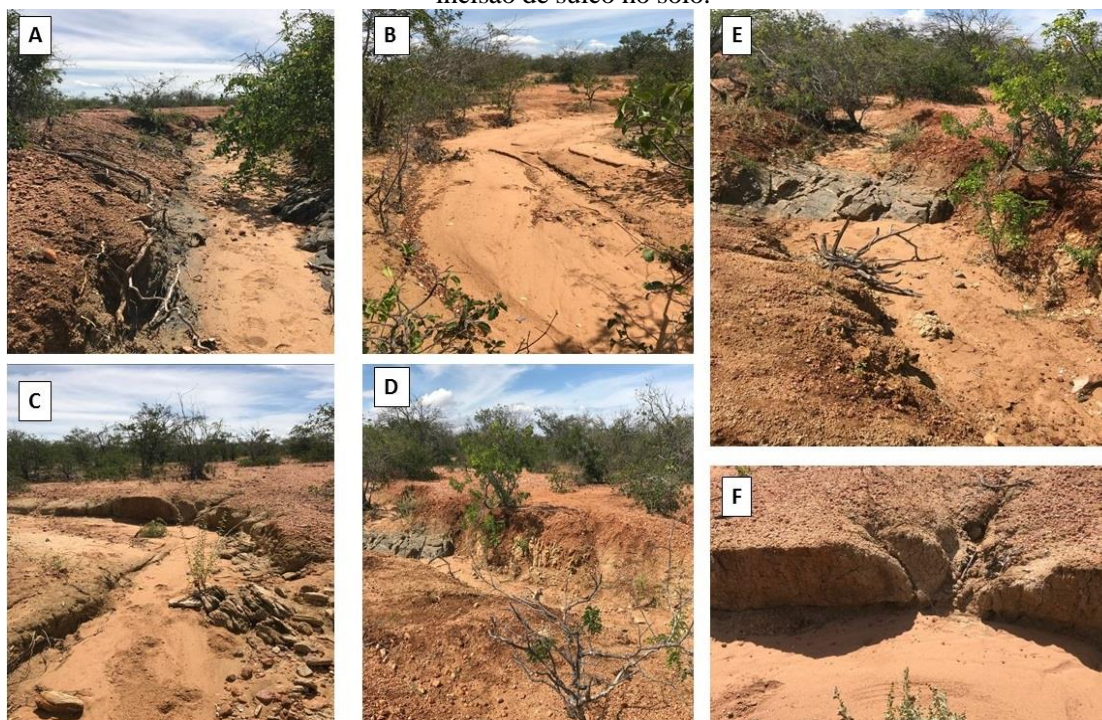
Org. Autores (2023)

Partindo de uma perspectiva analítica histórica, é perceptível que a maior presença de solo exposto entre os mapeamentos se localiza mais próximo as margens do Rio São Francisco, sendo o principal curso de água da região, logo podemos associar o desmatamento das margens com a agricultura irrigada e a pecuária extensiva próximo ao rio ao qual seria uma fonte de água para o gado.

Como consequência do desmatamento observa-se o desencadeamento de vários processos, que levam a um estado de desequilíbrio no sistema, causando graves problemas como: aumento da temperatura do solo, menor evapotranspiração, perda de biodiversidade e conseqüentemente o solo exposto são gatilhos para a propagação dos processos erosivos iniciais, podendo considerar também eventos de altas magnitudes que corroboram para verdadeiras mudanças na paisagem, como chuvas torrenciais nesse solo desnudo.

Além disso, a falta de informação e manejo inadequado dos recursos naturais por parte de agricultores e costumes passados por gerações, levaram a um quadro geoambiental crítico. A retirada da vegetação pode alterar as propriedades físico-químicas do solo, tornando o solo mais susceptível favorecendo os processos exógenos na superfície terrestre. As taxas de porosidade do solo nessa área tendem a serem corrompidas devido os fatores de infiltração que os grãos mais finos preenchem os espaços vazios, que dificultam a infiltração de água favorecendo o escoamento superficial e o estabelecimento dos estágios erosivos: sulcos, ravinas e voçorocas (Figura 7).

**Figura 7.** Processos erosivos do Município Belém do São Francisco – PE. Na imagem A, B, C, D e E podemos observar processos de ravinamentos e voçorocamento, na imagem F uma pequena incisão de sulco no solo.



Org. Autores (2023)

Nesse sentido, buscou-se utilizar numa metodologia de classificação internacional adaptável ao semiárido, visto que as nacionais somente são aplicadas em ambientes tropicais. Na classificação utilizada pelo Instituto de Pesquisas e Tecnologia – IPT, as voçorocas apresentam como características principais a queda em bloco e afloramento do lençol freático e/ou surgência de água,

não estando neste último caso sua definição ligada a parâmetros dimensionais, como comprimento, largura e profundidade (São Paulo, 1990).

No entanto essa classificação não se aplica em ambientes secos, visto que é impossível atingir o lençol freático, devido ao substrato rochoso e aos solos rasos, dessa forma, torna-se mais aceitável se basear em classificações internacionais, onde uma incisão no solo a partir de 50 cm, já pode ser classificada como voçoroca.

Outro fator que contribui para o aumento dos processos erosivos é a presença de argilas expansivas encontradas nos solos do município, além do desmatamento que contribui com a evapotranspiração dos solos, que devido aos processos de irrigação em alguns locais do território estudado podem ocorrer processos de salinização, fazendo os solos perderem suas propriedades férteis, tornando solos degradados, um dos fatores que levam a desertificação.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise multi-proxy utilizando diversos parâmetros para investigar um objeto, permitiu dar uma maior precisão e veracidade, na obtenção de uma maior quantificação de dados, permitindo o cruzamento destes para obter uma análise qualitativa sobre o estudo. Onde a integração em ambiente SIG junto com o trabalho de campo, trouxeram resultados bastantes satisfatórios.

O mapeamento topográfico a partir de técnicas de geoprocessamento revelou-se de grande eficiência na avaliação, considerando sua influência na deflagração dos processos erosivos. Nesse sentido, existem topograficamente e morfologicamente condicionantes para atenuar os processos erosivos. Havendo condições favoráveis para a ocorrência dos processos, considerando a direção dos fluxos, o transporte do material, o gradiente e as formas das encostas, entre outros

Climatologicamente, é importante frisar, novamente, que os processos erosivos nos ambientes semiáridos do nordeste brasileiro são marcados pela torrencialidade de precipitação, associados a solos expostos e naturalmente, mais frágeis. Assim, a incidência de chuvas intensas e mal distribuídas sobre solos que favorecem o escoamento superficial (ex. ricos em argilas expansivas) acaba funcionando como gatilhos às incisões erosivas na paisagem.

Além de solos frágeis e rasos, encontrados no município de Belém do São Francisco – PE, apresenta-se em sua totalidade uma cobertura vegetal bastante deteriorada, como foi visto nas imagens analisadas em escala temporal, utilizando três diferentes épocas, as quais as técnicas aplicadas nas imagens auxiliaram no tratamento das mesmas, tendo um resultado satisfatório. Pois a vegetação sofreu modificações tanto pelas ações antrópicas como naturais, influenciando totalmente no contexto do sistema local.

Sabendo que a influência climatológica, o desmatamento e o uso exacerbado do meio natural sem um planejamento adequado, propiciaram um quadro de resiliência muito difícil para a paisagem se recuperar, levando a ter uma grande parte do seu território solo exposto que facilitam os processos erosivos e influenciam nos processos de degradação levando a futuros estágios de desertificação como a perda de fertilidade dos solos.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) por apoiar alguns dos autores com a concessão de bolsas nível doutorado.

## REFERÊNCIAS

- BIGARELLA, J. J. Estrutura e Origem das Paisagens Tropicais e Subtropicais. Florianópolis: Editora da UFSC, p. 1026, 2003.
- BRASIL. Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca/PAN-Brasil. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente/Secretaria de Recursos Hídricos, 2004. 214p.
- CORRÊA, A.C.B.; SOUZA, J.O.P e CAVALCANTI, L.C.S. Solos do ambiente semiárido brasileiro: erosão e degradação a partir de uma perspectiva geomorfológica. In. GUERRA, A.J.T e JORGE, R.C.O. (orgs.). Degradação dos solos no Brasil: Bertrand Brasil. p. 320, 2014.
- DOLLFUS, O. O espaço geográfico. São Paulo: DIFEL, 1973.
- EMBRAPA. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro (RJ): Embrapa/Centro nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 306p.
- GUERRA, A. J. T. e MEDONÇA, J. K. S. Erosão dos Solos e a Questão Ambiental. In: Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Carlos Antônio VITTE, A. J. T. GUERRA (orgs.). -5ª ed. Rio de Janeiro, Editora Bertrand Brasil, p. 225-251, 2011.
- MOREIRA, M. A. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 3ª edição. 2005. Editora UFV.320p.
- NASCIMENTO, F. R. Degradação ambiental e desertificação no Nordeste Brasileiro: o contexto da Bacia Hidrográfica do rio Acaraú – CE. (Tese de doutoramento em Geografia). UFF: RJ, 2006. 370p.
- PONZONI, F. J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. (org) Sensoriamento remoto, reflectância dos alvos naturais. Brasília – DF: Editora Universidade de Brasília - UNB, Embrapa Cerrados, p 157-199, 2001.
- ROSENDO, Jussara dos Santos. Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do Rio Araguari-MG – utilizando dados do sensor MODIS. Uberlândia: UFU, 2005. Dissertação de mestrado. 130f.
- ROXO, M. J. O panorama mundial da desertificação. MOREIRA, E. (Org.). Agricultura familiar e Desertificação. João Pessoa: Ed. Universitária da UFPB, 2006.p. 11-32
- SÃO PAULO (1990) Secretaria de Energia e Saneamento de. Controle de Erosão. 21 ed. São Paulo: DAEE 1 IPT.
- THOMAS, Michael F. Gully Erosion. (1994) In: Geomorphology in the tropics: a study of weathering and denudation in low latitudes. Great Britain: John Wiley & Sons., p. 145-154
- VALERIANO, M. M. 2003. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.539-546.