

LORENA DE MOURA MELO

**MUDANÇAS NA PAISAGEM COM A TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO,
NO DOMÍNIO CAATINGA, PERNAMBUCO**

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro – 2020

LORENA DE MOURA MELO

**MUDANÇAS NA PAISAGEM COM A TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO,
NO DOMÍNIO CAATINGA, PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

Orientador

Prof^a. Dr^a. Lúcia de Fatima de Carvalho Chaves

Coorientador(es)

Prof. Dr. Emanuel Araújo Silva

Dr^a. Mayara Maria de Lima Pessoa

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro - 2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M485m Melo, Lorena de Moura
 Mudanças na paisagem com a transposição do Rio São Francisco, no domínio Caatinga, Pernambuco / Lorena de
Moura Melo. - 2020.
 86 f.
- Orientador: Lúcia de Fatima de Carvalho Chaves.
 Coorientador: Emanuel Araújo Silva e Mayara Maria de Lima Pessoa.
 Inclui referências.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Ciências
Florestais, Recife, 2020.
1. Geotecnologias. 2. Savana-estépica. 3. Uso da terra. 4. Métricas da paisagem. I. Chaves, Lúcia de Fatima de
Carvalho, orient. II. Silva, Emanuel Araújo, coorient. III.; Pessoa, Mayara Maria de Lima, coorient. IV. Título

LORENA DE MOURA MELO

**MUDANÇAS NA PAISAGEM COM A TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO,
NO DOMÍNIO CAATINGA, PERNAMBUCO**

Aprovada em: **28 de fevereiro de 2020**

Banca Examinadora

Prof.^a Dr.^a Elisiane Alba
(Universidade Federal Rural de Pernambuco - UFRPE/UAST)
Membro titular

Prof. Dr. Everaldo Marques de Lima Neto
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/DCFL)
Membro titular

Orientador

Prof.^a. Dr.^a. Lúcia de Fatima de Carvalho Chaves
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE/DCFL)

RECIFE
Pernambuco - Brasil
Fevereiro - 2020

“O temor do SENHOR é o princípio do conhecimento[...]

Provérbios 1:7

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido força, inteligência e sabedoria, assim, contribuindo à minha motivação diária, tomada de decisões e desenvolvimento pessoal;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por todo o incentivo financeiro durante todo o desenvolver do mestrado;

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal Rural de Pernambuco, por ter concedido a oportunidade de cursar o mestrado;

À minha mãe, padrasto e irmãs, pois contribuíram para o meu crescimento e desenvolvimento pessoal. À minha amiga Alexandra Silva Lopes, a qual buscou sempre estar presente em vários momentos de correria e luta da minha vida;

Às minhas primas Maria Gedalva de Farias e Polyana Karina Farias de Souza, por toda força, acolhimento e contribuição durante todo o período do mestrado;

Aos amigos que contribuíram com conselhos, orações e carinhos;

À minha orientadora Dra. Lúcia de Fatima de Carvalho Chaves e aos coorientadores Dr. Emanuel Araújo Silva e Dr^a. Mayara Maria de Lima Pessoa, visto que se disponibilizaram e me apoiaram quanto à execução deste trabalho; e

Aos amigos maravilhosos que ganhei neste mestrado, Géssyca Fernanda de Sena Oliveira, Adriano Castelo dos Santos, Mayara Maria de Lima Pessoa (que além de coorientadora se tornou uma grande amiga), Gabriela Salami, Giselle Lemos Moreira, Tamires Leal de Lima, Júlio César Sobreira Ferreira, César Henrique Alves Borges, Djailson Silva da Costa Júnior e Shyrlaine Lilian Moura Leão.

Gratidão!

RESUMO

MELO, LORENA DE MOURA. **Mudanças na paisagem com a transposição do Rio São Francisco, no domínio Caatinga, Pernambuco.** 2020. Orientadora: Lúcia de Fatima de Carvalho Chaves. Coorientadores: Emanuel Araújo Silva; Mayara Maria de Lima Pessoa.

O domínio Caatinga lida, há décadas, com ações antrópicas negativas sobre os seus recursos naturais. Dentre as atividades socioeconômicas atuais, que têm gerado polêmica em relação à conservação do domínio Caatinga, está o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), que visa suprir o déficit hídrico das regiões semiáridas nordestinas. Com o fim de analisar a interação deste empreendimento com o domínio Caatinga, este trabalho teve por objetivo avaliar a dinâmica de mudança do uso da terra e da cobertura florestal nas Áreas Diretamente Afetadas (ADA) pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional, a partir da porção do Eixo Leste, situado no Estado de Pernambuco, Brasil, durante um período de 20 anos. Para tanto, foram utilizadas imagens TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8, referentes anos de 1998, 2008 e 2018, período anterior, durante e posterior à transposição, respectivamente. As bandas espectrais escolhidas para a análise do uso e cobertura da terra foram 5, 4 e 3, geradas pelo sensor *Thematic Mapper* (TM), e as bandas 6, 5 e 4, produzidas pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI), cada conjunto de bandas se refere, respectivamente, ao infravermelho médio, infravermelho próximo, vermelho. O processamento e classificação das imagens foram realizados no programa QGIS, por meio do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP), que se utilizou do algoritmo máxima verossimilhança no processo de classificação das imagens. As classes de uso e cobertura da terra usadas nesta análise foram savana-estépica, savana-estépica ciliar, área antropizada e/ou descoberta, recursos hídricos e área agrícola, as quais foram quantificadas tanto para área da ADA do PISF, como às suas porções nos municípios afetados. Em relação verificação e validação dos dados obtidos e resultantes da classificação supervisionada, a acurácia foi obtida via índice de Kappa. Para a quantificação das classes de uso, foram feitas aplicações de operações matemáticas do SIG. Também foram realizados estudos relacionados à estrutura da paisagem, por meio do uso de diferentes tipos de métricas, processadas na ferramenta *Patch Analyst*, uma extensão do ArcGIS 10.5 Como resultado da análise dos 20 anos, obteve-se que a cobertura vegetal de savana-estépica apresentou uma redução 13,86%. No entanto, ocorreram adições nas áreas de savana-estépica ciliar, recursos hídricos, área agrícola e área antropizada em 1,93%, 0,11%, 0,31% e 11,51 %, respectivamente. O município mais afetado pelas obras da transposição foi Floresta, o qual engloba em seu território 39,36 % da Área Diretamente Afetada. Já a fragmentação florestal presente na área estudada, após os 20 anos, foi expressa pela redução dos grandes fragmentos (26389,18 ha) e aumento dos pequenos (2837,07 ha) e médios (798,03). Em relação à savana-estépica ciliar, a mesma apresentou oscilação no tamanho dos seus fragmentos, por decorrência das variações climáticas e intervenções humanas. Quanto à redução no tamanho dos fragmentos, contribuiu negativamente para as áreas centrais, pois favoreceu o efeito de borda.

Palavras-chave: geotecnologias; savana-estépica; uso da terra; métricas da paisagem.

ABSTRACT

MELO, LORENA DE MOURA. **Landscape changes with the São Francisco River transposition, in the Caatinga domain, Pernambuco.** 2020. Adviser: Lúcia de Fatima de Carvalho Chaves. Comittee: Emanuel Araújo Silva; Mayara Maria de Lima Pessoa.

The Domain Caatinga has been dealing, for decades, with negative anthropic actions on its natural resources. Among the current socioeconomic activities, which has generated controversy in relation to the conservation of the Caatinga domain, is the Project of Integration of the São Francisco River with the Hydrographic Basins of the Septentrional Northeast (PISF), which aims to fill the water deficit in the semi-arid regions of the Northeast. In order to analyze the interaction of this enterprise with domain Caatinga, this study aims to evaluate the dynamics of change in land use and forest cover in the Directly Affected Areas (DAAs) by the Project of Integration of the São Francisco River with the Hydrographic Basins of the Septentrional Northeast, from the portion of the East Axis located in the State of Pernambuco, Brazil, for a period of 20 years. For that, TM / Landsat 5 and OLI / Landsat 8 images were used, referring to the years 1998, 2008 and 2018, periods before, during and after the transposition, respectively. The spectral bands chosen for the analysis of land use and cover were 5, 4 and 3, generated by the Thematic Mapper (TM) sensor, and bands 6, 5 and 4, produced by the Operational Land Imager (OLI) sensor, each set of bands refers, respectively, to short-wave infrared, Near Infrared e red. Image processing and classification were performed using the QGIS program, using the Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) complement, which used the Maximum likelihood algorithm in the image classification process. The land use and land cover classes used in this analysis were savanna-steppe, savanna-steppe, anthropized and / or uncovered area, water resources and agricultural area, which were quantified both for the DAA area of PISF and its portions in the affected municipalities. Regarding verification and validation of the data obtained and resulting from the supervised classification, accuracy was obtained using the Kappa index. To quantify the classes of use, applications of mathematical operations of the GIS were made. Also, studies related to the landscape structure were carried out, using different types of metrics, processed in the Patch Analyst tool, an extension of ArcGIS 10.5. As a result of the analysis of the 20 years, it was obtained that the savanna-steppe vegetation cover showed a 13.86% reduction. However, there were additions in the areas of ciliary savanna, water resources, agricultural area and anthropized area in 1.93%, 0.11%, 0.31% and 11.51%, respectively. The municipality most affected by the transposition works was Floresta, which encompasses 39.36% of the Directly Affected Area in its territory. The forest fragmentation present in the studied area, after the age of 20, was expressed by the reduction of large fragments (26,389.18 ha) and increase of small (2,837.07 ha) and medium (798.03 ha). In relation to the savanna-steppe ciliary, it presented oscillation in the size of its fragments, due to climatic variations and human interventions. The reduction in the size of the fragments contributed negatively to the central areas, as it favored the edge effect.

Keywords: geotechnologies, savanna-steppe, land use, landscape metrics.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Mapa de localização das Áreas Diretamente Afetadas pelas obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco, criadas a partir dos Eixos Norte e Leste. | 30 |
| Figura 2. Fluxograma metodológico às análises do uso e cobertura da terra e estrutura da paisagem da ADA do Eixo Leste. | 32 |
| Figura 3. Dinâmica de uso e cobertura da terra, nos anos de 1998, 2008 e 2018, na ADA referente ao trecho de 0 km – 97,5 km do Eixo Leste. | 42 |
| Figura 4. Dinâmica de uso e cobertura da terra, nos anos de 1998, 2008 e 2018, na ADA referente ao trecho de 97,5 km – 195 km do Eixo Leste. | 43 |
| Figura 5. Representação gráfica das áreas em porcentagem (%) das classes de uso e cobertura da terra das Áreas Diretamente Afetadas, pelo Eixo Leste do PISF, por município. | 50 |
| Figura 6. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Betânia-PE. | 51 |
| Figura 7. Representação gráfica da precipitação no município de Betânia-PE no período de 1998 – 2018. | 52 |
| Figura 8. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Custódia-PE. | 53 |
| Figura 9. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Floresta-PE. | 55 |
| Figura 10. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Monteiro-PE. | 58 |
| Figura 11. Representação gráfica da precipitação total e temperatura em Monteiro/PB no ano de 1998. | 59 |
| Figura 12. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Petrolândia-PE. | 60 |
| Figura 13. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Sertânia-PE. | 62 |
| Figura 14. Representação gráfica das precipitações para o município de Sertânia-PE nos anos de 1998, 2008 e 2018. | 63 |
| Figura 15. Cobertura vegetal nos anos de 1998 – 2018, na ADA referente ao trecho de 0 km - 97,5 km do Eixo Leste do PISF. | 65 |
| Figura 16. Cobertura vegetal, nos anos de 1998 – 2018, na ADA referente ao trecho de 97,5 km - 195 km do Eixo Leste do PISF. | 66 |
| Figura 17. Representação gráfica da dinâmica da distribuição dos fragmentos em classes de tamanho na ADA do Eixo Leste do PISF, em porcentagem (%). | 67 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Métricas de área..... | 20 |
| Tabela 2. Métricas de fragmento..... | 20 |
| Tabela 3. Métricas de borda..... | 21 |
| Tabela 4. Métricas de forma..... | 21 |
| Tabela 5. Métricas de área central..... | 21 |
| Tabela 6. Métricas de vizinho mais próximo..... | 22 |
| Tabela 7. Métricas de diversidade..... | 22 |
| Tabela 8. Métricas de contágio e intercalação..... | 23 |
| Tabela 9. Resoluções dos sensores..... | 26 |
| Tabela 10. Informações básicas da série de satélites Landsat..... | 27 |
| Tabela 11. Comparação das bandas e comprimentos de onda de cada sensor Landsat..... | 27 |
| Tabela 12. Características gerais dos municípios - ADA do Eixo Leste..... | 31 |
| Tabela 13. Dados das imagens adquiridas no USGS, para o estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra e estrutura da paisagem na ADA do Eixo Leste..... | 33 |
| Tabela 14. Chave de interpretação das classes de uso da terra na ADA do Eixo Leste da transposição, referentes a falsa-cor, em composição R5G4B3 (sensor TM) ou R6G5B4 (sensor OLI)..... | 36 |
| Tabela 15. Índice Kappa e concordância de classificação..... | 38 |
| Tabela 16. Métricas da paisagem empregadas no estudo da estrutura da paisagem..... | 40 |
| Tabela 17. Grau de concordância da classificação temática, realizada na ADA do Eixo Leste, com base no índice Kappa..... | 41 |
| Tabela 18. Áreas em hectares (ha) e porcentagem (%) das classes de uso e cobertura da terra na ADA no Eixo Leste..... | 44 |
| Tabela 19. Dinâmica do uso e cobertura da terra na ADA do eixo Leste, para os períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 44 |
| Tabela 20. Adições e perdas, em porcentagem (%), do uso e cobertura da terra na ADA do eixo Leste, para os períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 44 |
| Tabela 21. Áreas em hectares (ha) e porcentagem (%) das classes de uso e cobertura da terra das Áreas Diretamente Afetadas, pelo Eixo Leste do PISF, por município..... | 49 |
| Tabela 22. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Betânia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 51 |
| Tabela 23. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Custódia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 54 |
| Tabela 24. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Floresta-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 56 |
| Tabela 25. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Monteiro-PB (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 57 |
| Tabela 26. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Petrolândia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 60 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 27. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Sertânia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018..... | 62 |
| Tabela 28. Dinâmica da distribuição dos fragmentos em classes de tamanho na ADA do Eixo Leste do PISF. | 67 |
| Tabela 29. Diferenças entre os quantitativos de fragmentos florestais entre os anos de 1998 – 2008, 2008 – 2018 e 1998 – 2018 na ADA do Eixo Leste do PISF. | 68 |
| Tabela 30. Valores das métricas referentes às classes de vegetação, savana-estépica e savana-estépica ciliar, na ADA do Eixo Leste do PISF, para os anos de 1998, 2008 e 2018. | 70 |

SUMÁRIO

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 13 |
| 2. REVISÃO DE LITERATURA | 16 |
| 2.1 DOMÍNIO CAATINGA | 16 |
| 2.2 TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO..... | 17 |
| 2.3 ESTRUTURA DA PAISAGEM | 18 |
| 2.4 USO E COBERTURA DA TERRA | 23 |
| 2.5 USO DE GEOTECONOLOGIAS NA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SEMIÁRIDA..... | 25 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO..... | 29 |
| 3.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS..... | 32 |
| 3.2.1 Uso e cobertura da terra | 33 |
| 3.3.2 Métricas de paisagem | 39 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 41 |
| 4.1 USO E COBERTURA DA TERRA | 41 |
| 4.2 USO E COBERTURA DA TERRA NAS ÁREAS DIRETAMENTE AFETADAS POR MUNICÍPIO..... | 48 |
| 4.2.1 ADA em Betânia | 50 |
| 4.2.2 ADA em Custódia | 53 |
| 4.2.3 ADA em Floresta | 55 |
| 4.2.4 ADA em Monteiro | 57 |
| 4.2.5 ADA em Petrolândia | 60 |
| 4.2.6 ADA em Sertânia | 62 |
| 4.3 ESTRUTURA DA PAISAGEM | 64 |
| 5. CONCLUSÕES | 73 |
| 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS | 74 |
| 7. REFERÊNCIAS | 75 |

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a degradação ambiental tem caráter histórico, remontando ao Brasil Colônia (séc. XVI-XIX), quando a empresa colonial portuguesa visava auferir lucros imediatos de atividades econômicas, cujo objetivo era exclusivamente abastecer de gêneros tropicais e minerais o comércio português, por meio da produção agrícola (cana-de-açúcar, algodão, tabaco), atividades mineradoras (ouro e diamantes), pecuária (sertão nordestino e campos gerais) e da coleta das “drogas do sertão” na Região Amazônica (SILVA NETO, 2012).

A colonização da região semiárida do Nordeste do Brasil, iniciada no século XVI, foi marcada pelas atividades criadoras de insumos para o abastecimento da cultura canavieira, como criação de animais de força motriz, principalmente bois e cavalos, que eram vendidos para os engenhos do litoral e da zona da mata. Já em meados do século XVIII, houve a diversificação das suas atividades econômicas, como o cultivo algodão, que se fazia necessário como matéria-prima para indústria têxtil, e atividades de agricultura de subsistência, assim, limitando as áreas que seriam utilizadas para os pastos (SOUZA; BARROS, 2017).

Quanto aos processos de ocupação dessa região, ocorreram sempre em uma perspectiva de exploração excessiva, o que levou à exaustão de parte dos seus recursos naturais, tornando-os frágeis, ocasionando a deterioração ambiental e gerando um ciclo de pobreza e miséria, o que tornou a região cada vez mais vulnerável e estabeleceu uma estrutura social concentradora de renda e de poder, responsável pela relativa estagnação e baixos índices socioeconômicos registrados (SALES, 2003).

Este processo histórico de modificação da cobertura original do solo do domínio Caatinga foi um dos principais indicadores dos processos de degradação e desertificação da região, o que tem gerado uma série de consequências negativas, como a perda da biodiversidade, degradação do solo, processos erosivos, escoamento superficial e diminuição da água para recargas dos aquíferos (SILVA, 2018).

Por decorrência desses fatos e pelo agravamento do quadro climático, esse ambiente frágil sofre uma série de impactos que levam à diminuição da qualidade de vida e à redução considerável dos ativos ambientais nas Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD), as quais cobrem uma superfície de 1.340.863 km², compreendendo um total de 1.488 municípios nos nove Estados do Nordeste, também abrangendo o norte de Minas Gerais e o norte do Espírito Santo (CAETANO; GONÇALVES; MONTEIRO, 2017; SANTANA, 2007).

Além disso, as regiões de Caatinga são consideradas menos legalmente protegidas, pois suas Unidades de Conservação (UC) cobrem menos de 2% do seu território total. Em decorrência disso, a região passa por um extenso processo de alteração e degradação ambiental, o que, conseqüentemente, contribuiu à formação de extensos núcleos de desertificação em várias áreas da região, como o Núcleo de Cabrobó (PE), que está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco - BHSF (LEAL et al., 2003; PEREZ-MARIN et al., 2012).

Dentre as atividades socioeconômicas atuais na BHSF, que têm gerado conflito em relação à conservação do domínio Caatinga, está o Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF, o qual é um empreendimento que está em processo de finalização e que foi implantado nos estados de Pernambuco (PE), Ceará (CE), Paraíba (PB) e Rio Grande do Norte (RN).

O empreendimento é composto de ampla infraestrutura de recursos hídricos, que percorre mais de 700 km de canais de concreto, por meio do qual visa suprir o déficit hídrico do semiárido nordestino, através da transposição das águas advindas de dois pontos de captação no Rio São Francisco, um em Cabrobó (PE) – Eixo Norte – e outro no reservatório de Itaparica (PE) – Eixo Leste – (SOARES, 2013; SOUSA et al., 2018).

Por se tratar de uma obra de grandes dimensões e que está levando um grande período de tempo para a sua implantação (obras iniciadas em 2007), é vista a necessidade de um acompanhamento sistemático da área, com o fim de diagnosticar as possíveis interações, positivas e negativas, que podem ter ocasionado nas paisagens.

Uma forma eficaz de realizar este monitoramento é por meio do geoprocessamento, que é caracterizado como um conjunto de geotecnologias que possibilita a manipulação, análise, simulação de modelagens e a visualização de dados georreferenciados, o qual tem, como ferramenta auxiliar, o sensoriamento remoto, que fornece grande parte dos dados para o estudo dos fenômenos espaciais (FIRTZ, 2008). O sensoriamento remoto permite realizar análises ambientais de uma determinada área, seja urbana ou rural, fornecendo subsídios às realizações de mapeamentos, que contribuem para o planejamento, gerenciamento e monitoramento de determinadas áreas (BARROS, 2016).

Além disso, o avanço do sensoriamento remoto e dos sistemas de informações geográficas foram essenciais à evolução da ecologia da paisagem. Isso se deu pela existência de diferentes satélites, com sensores distintos e suas respectivas resoluções (espacial, espectral, radiométrica e temporal), contribuindo, assim, para que a ecologia da paisagem

obtivessem dados mais precisos e acurados, com rapidez e baixos custos (financeiros e temporais) quando observado em grandes porções da superfície da Terra, que é um subsídio essencial nos estudos de ecologia da paisagem (RIBEIRO et al., 2019).

Diante do contexto apresentado, este trabalho pretende responder a seguinte pergunta: a transposição do Rio São Francisco influenciou a dinâmica de uso e cobertura da terra no Eixo Leste? Como hipótese principal, com a construção da transposição, houve diminuição da cobertura florestal, bem como aumento dos locais de solo exposto.

Portanto, o objetivo geral deste estudo foi avaliar a dinâmica de mudança do uso da terra e da cobertura florestal nas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional, a partir da porção do Eixo Leste situada no Estado de Pernambuco, Brasil, durante um período de 20 anos.

O estudo tem como objetivos específicos:

- Detectar e mapear, o uso e cobertura florestal na ADA do Eixo Leste da transposição do Rio São Francisco (antes, durante e depois da sua implantação);
- Analisar o uso e cobertura da terra por município afetado pela ADA;
- Realizar análises na paisagem, com o fim de quantificar a sua estrutura e seus padrões espaciais; e
- Desenvolver banco de dados geoespaciais para contribuir com monitoramento da região do semiárido pernambucano.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DOMÍNIO CAATINGA

O domínio Caatinga é um exemplo mundial de região que sofre intensas modificações em suas paisagens. Esta região ocupa 11% do território brasileiro (844.453 km²), caracterizada por possuir uma diversidade florística, que contempla cerca de 3.150 espécies vegetais, e por abranger nove sub-regiões biogeográficas, as quais são resultantes da heterogeneidade das condições ambientais (SILVA; SOUZA, 2018; QUEIROZ et al., 2017;).

No domínio da Caatinga, o volume anual de precipitação varia de 400 mm a 800 mm, com concentrações das chuvas entre dois a quatro meses (NÓBREGA et al., 2016), apresentando os seus elementos naturais cuidadosamente adaptados a estas condições de baixas e irregulares precipitações e elevada evapotranspiração (SOARES; ALMEIDA, 2011).

A cobertura vegetal da Caatinga é constituída por formações xerófilas, que são diversificadas por razões climáticas, edáficas, topográficas e antrópicas. Ao lado destas formações vegetais dominantes, ocorrem também as florestas de relevos (florestas perenifólias e sub perenifólias dos brejos de altitude e encostas expostas aos fluxos úmidos de ar e de florestas semidecíduas), as florestas ripárias e os cerrados (ALVES et al., 2008).

Os remanescentes florestais deste domínio cobrem atualmente 41.399.196 ha, correspondendo a 50% da vegetação original e estando subdividida em 47.100 fragmentos (ANTONGIOVANNI; VENTICINQUE; FONSECA, 2018). Apesar de sua extensão, o conhecimento científico desse tipo de vegetação, sua biodiversidade e manejo são muito menos estudados que outros ecossistemas brasileiros, como Cerrado, Mata Atlântica, Amazônia, Pantanal e Campos Sulinos (MILLIKEN et al., 2018), e seu potencial é subestimado (VIEIRA, 2016).

Trata-se de uma das regiões mundiais que apresenta uma alta sensibilidade ecológica à variabilidade climática (SEDDON, 2016) e que possui menos de 2% do seu território protegido (RIBEIRO et al., 2015). O que contribui negativamente para tais fatos é a degradação deste domínio, que é decorrente dos desequilíbrios ambientais e das intervenções humanas. Desde o processo de ocupação inicial até as dinâmicas mais recentes, nota-se uma acumulação de impactos socioambientais negativos no semiárido. Dentre eles se destacam a degradação da vegetação e dos solos, observando-se também o crescente processo de desertificação em diversas áreas (SOARES; ALMEIDA, 2011).

Além disso, atividades econômicas, muitas delas, acompanhadas de desmatamentos indiscriminados e que, associadas à fragilidade natural da Caatinga, trazem sérias consequências para os geótopos e para as biocenoses - comprometimento dos recursos hídricos, erosão, salinização e compactação dos solos, redução da diversidade biológica e da produção primária, entre outros (ALVES; ARAÚJO, 2008).

2.2 TRANSPOSIÇÃO DO RIO SÃO FRANCISCO

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional – PISF – trata-se de um empreendimento do Governo Federal, sob a responsabilidade do Ministério da Integração Nacional, sendo apresentado oficialmente como destinado a assegurar a oferta de água, no horizonte do ano 2025, a cerca de 12 milhões de habitantes de pequenas, médias e grandes cidades da região semiárida dos estados de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte (NETO; VIANNA, 2016).

A temática da integração das bacias vem sendo abordada desde século XVIII, podendo ser resumida em duas grandes fases: a primeira, que data do ano 1720 até 1980, que esbarrava em limitações tecnológicas em grande parte do período, até o início de operação da barragem de Sobradinho; e a segunda, pós Sobradinho, em que a regularização do regime do Rio São Francisco e o aumento da oferta de energia elétrica em Paulo Afonso, no início de 1980, contribuíram para o início de uma fase mais propícia à viabilização do empreendimento (BRASIL, 2015).

O atual projeto, com obras iniciadas em 2007, tem por objetivo retirar do Rio São Francisco um percentual de 3,5% de suas águas para bacias do Semiárido Nordeste, através de dois canais condutores de água que percorrerão, ao todo, 720 km, denominados como Eixo Norte e Eixo Leste (BRASIL, 2004). O Eixo Norte (Latitude Sul 08°32'41,1" e Longitude Oeste 39°27'15,2") percorre os estados de Pernambuco (PE), Ceará (CE), Paraíba (PB) e Rio Grande do Norte (RN) – destes, somente o Estado de Pernambuco faz parte da bacia. Já o Eixo Leste (Latitude Sul 08° 49' 37,7" e Longitude Oeste 38° 24'43,3"), beneficia parte do Sertão e as regiões agrestes de Pernambuco e da Paraíba (HENKES, 2014).

O Eixo Norte inicia o seu percurso e captação nas proximidades do município de Cabrobó-PE. Percorrerá cerca de 400 quilômetros conduzindo água aos rios Salgado e Jaguaribe, no Ceará, Apodi, no Rio Grande do Norte e Piranhas-Açu, na Paraíba e Rio Grande do Norte. Projetado para uma capacidade máxima de 99 m³/s, o Eixo Norte operará com uma vazão contínua de 16,4 m³/s, destinados ao consumo humano (CASTRO, 2011).

Já o Eixo Leste, tem o seu ponto de captação e origem em Itaparica-PE, com cerca de 220 km indo até o rio Paraíba, na Paraíba, transportando, em média, 18,3 m³ de água por segundo. Esse Eixo levará água para o açude Poço da Cruz (PE) e para o rio Paraíba, que é responsável pela manutenção dos níveis do açude Epitácio Pessoa (PE), também chamado de Boqueirão (BRASIL, 2004).

Segundo informações do Ministério da Integração Nacional (MI, 2019), no ano de 2019, o empreendimento apresentava 96,40% de avanço operacional nos dois eixos, sendo 95% no Eixo Norte e, no Eixo Leste, 100%.

2.3 ESTRUTURA DA PAISAGEM

A conceituação da palavra paisagem resulta do contexto e da pessoa que a utiliza (METZGER, 2001). No campo da geografia física, a paisagem é definida como uma unidade discreta, muitas vezes limitada espacialmente por um fenômeno ou processo de interesse. Para a geomorfologia, pode ser definida como um conjunto organizado de formações geográficas interconectadas, que são moldadas por processos particulares ao longo dos anos. Já no âmbito da ecologia, a paisagem é conceituada como um padrão espacial ou configuração de diferentes ecossistemas e suas conexões (FRIESS; JAZEEL, 2017).

De forma geral, a paisagem é denominada como uma área geográfica na qual as variáveis de interesse são espacialmente heterogêneas. Podendo o seu limite ser delineado com base em unidades geográficas, ecológicas ou administrativas (por exemplo, uma bacia hidrográfica, uma área urbana ou um município) que sejam relevantes às questões e objetivos de uma pesquisa (WU, 2013). Por possuir diferentes abordagens conceituais e metodológicas, tal termo não é considerado puramente espacial e estático, mas multidimensional que requer algum tipo de eixo temporal, uma teoria de mudança de paisagem (FRIESS; JAZEEL, 2017).

Na atualidade, a noção de paisagem tem sido, para os geógrafos e cientistas de diferentes áreas (biólogos, agrônomos, ecólogos, arquitetos, entre outros), o ponto de partida para o entendimento das complexas relações entre o homem e o meio em que habita, alternativa para uma compreensão global da natureza, bem como recurso que possibilita projeções de uso, gestão de espaço e planejamento territorial (MILAN; MORO, 2012).

Por consequência das intervenções antrópicas ou naturais sobre as paisagens, as mesmas adquirem conformações espacialmente heterogêneas, caracterizadas por um mosaico de manchas que diferem em tamanho, forma, conteúdo e história. Quando a heterogeneidade espacial é considerada, o tratamento explícito da escala torna-se necessário e hierarquias

emergem. Uma maneira de compreender essas dinâmicas nos ambientes é se baseando na ecologia da paisagem, caracterizada como ciência que estuda e melhora a relação entre o padrão espacial e os processos ecológicos em uma paisagem em múltiplas escalas (WU, 2013).

A ecologia da paisagem também pode ser definida como a ciência e a arte de estudar e melhorar a relação entre padrão espacial e processos ecológicos em diversas escalas e níveis organizacionais. A ecologia da paisagem não é apenas um campo de estudo, mas também representa uma nova perspectiva ou paradigma científico relevante para diversas ciências ecológicas, geofísicas e sociais. Heterogeneidade, escala, relações padrão-processo, hierarquia, perturbação, dinâmica ecológico-social acoplada e sustentabilidade estão entre os principais conceitos em ecologia da paisagem (WU, 2019).

Já a estrutura da paisagem, de acordo Forman e Godron (1986) *apud* Ferreira (2010), a mesma é composta por três características básicas: estrutura, função e alterações. As descrições delas, de acordo com os mesmos autores, seguem abaixo:

- Estrutura: relação espacial entre diferentes ecossistemas ou elementos presentes na paisagem, ou seja, é a distribuição da energia, dos materiais e espécies em relação a tamanho, forma, número, tipo e configuração dos ecossistemas;
- Função: refere-se à interação entre os elementos espaciais, gerada a partir de fluxos de energia, materiais e organismos dos ecossistemas componentes; e
- Alterações: mudanças na estrutura e função do mosaico ecológico ao longo do tempo.

Em relação à estrutura de uma paisagem, esta é composta por três tipos de elementos: Patches (manchas, áreas, polígonos), Corridors (corredores) e Matrix (matriz). Estes elementos base são a raiz cognitiva que permite a comparação entre paisagens distintas, permitindo desenvolver princípios gerais (CASIMIRO, 2000).

Os estudos destas diferentes estruturas da paisagem são favorecidos pela utilização das geotecnologias, sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas, os quais vêm se desenvolvendo ao longo das décadas e contribuindo para o desenvolvimento da ecologia da paisagem.

Outros meios que contribuem para os estudos das transformações das paisagens são as métricas da paisagem que, em diferentes escalas temporais e espaciais, podem fazer o resgate da evolução histórica da fragmentação de uma localidade, que é indispensável para as ações

voltadas à conservação de remanescentes e/ou recomposição da vegetação em áreas perturbadas (CABACINHA; CASTRO; GONÇALVES, 2010).

As métricas da paisagem (ou índices da paisagem) são utilizadas com o fim de quantificar com precisão os padrões espaciais, além de auxiliar na quantificação do padrão de uso e ocupação da terra, facilitar na compreensão da heterogeneidade espacial e da própria estrutura da paisagem (BEZERRA et al., 2011).

A análise espacial da paisagem pode ser realizada por diversas métricas, as quais podem ser classificadas em diferentes categorias. Baseando-se em Mcgariga e Marks (1995) e Volotão (1998), exemplos de métricas, alocadas em suas respectivas categorias, serão apresentadas:

- Métricas de área: quantificam a composição da paisagem. A área de cada mancha representa um dos componentes mais importantes e úteis no que diz respeito às informações contidas na paisagem (Tabela 1).

Tabela 1. Métricas de área

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------|
| CA | Área da classe | ha | Área de todos os fragmentos da classe em hectares |
| TA | Área total da paisagem | ha | Área total da paisagem. |
| LPI | Índice de fragmento maior | % | Porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe. |

- Métricas de fragmentos: Essas métricas geralmente são melhor consideradas como representando a configuração da paisagem, mesmo que não sejam medidas espacialmente explícitas (Tabela 2).

Tabela 2. Métricas de fragmento

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|------------------------------|----------------|----------------------------------------------------------------------|
| NP | Número de fragmentos | Adimensional | Área de todos os fragmentos da classe em hectares. |
| MPS | Tamanho médio dos fragmentos | ha | Média entre as áreas em hectares de todos os fragmentos da paisagem. |
| PD | Densidade de fragmento | Número/100 ha | Porcentagem da paisagem ocupada pelo maior fragmento da classe. |

- Métricas de borda: representam a configuração da paisagem, mesmo que não sejam espacialmente explícitas. A quantidade total de borda em uma paisagem é importante para muitos fenômenos ecológicos. Em particular, muita atenção tem sido dada às relações com a vida selvagem (Tabela 3).

Tabela 3. Métricas de borda

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|---------------------|----------------|-------------------------------------------------|
| PERIM | Perímetro | m | Perímetro do fragmento incluindo áreas vazadas. |
| TE | Total de bordas | m | Soma de todas as bordas da classe |
| DE | Densidade de bordas | m/ha | TE dividido pela área total em hectares |

- Métricas de forma: A interação da forma e tamanho do fragmento pode influenciar vários processos ecológicos importantes. Podendo influenciar processos entre os fragmentos, como a migração de pequenos mamíferos e a colonização de plantas de médio e grande porte e estratégias de fuga de certos animais. Contudo, o principal aspecto da forma, entretanto, é sua relação com o efeito de borda (Tabela 4).

Tabela 4. Métricas de forma

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|-------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| LSI | Índice de forma da paisagem | Adimensional | Soma dos limites da paisagem e de todos os segmentos de borda dentro dos limites que envolvem a classe, dividida pela raiz quadrada da área total da paisagem. |
| MSI | Índice de forma média | Adimensional | Quanto mais próximo de 1 o valor do índice, o fragmento apresenta menos irregularidade. |
| MPFD | Dimensão fractal de fragmento médio | Adimensional | Aproxima-se de 1 para formas com perímetros muito simples, como círculos ou quadrados, e se aproxima de 2 para formas com perímetros altamente complexos. |
| AWMSI | Índice de forma média ponderado pela área | Adimensional | O seu cálculo é semelhante ao índice de forma média (MSI), mas a sua média é ponderada de acordo com a área dos fragmentos. Dessa maneira, fragmentos de maior tamanho recebem um peso maior. |

- Métricas de área central (“core”): é definida como a área de dentro de um fragmento, a qual é separada da borda por uma distância pré-definida – ou uma operação de *buffer* (Tabela 5).

Tabela 5. Métricas de área central

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|------------------------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| NCA | Número de áreas centrais | Adimensional | Número de áreas centrais de toda a classe. |
| TCA | Área central total | ha | Soma das áreas centrais de toda a classe em hectares. |
| TCAI | Índice de área central total | % | Porcentagem da classe que é área central, baseado na largura de borda especificada. |

- Métricas de vizinho mais próximo: é definida como a distância entre fragmentos próximos que pertençam a uma mesma classe, com base na distância de borda a borda. Essas métricas quantificam a configuração da paisagem. A proximidade entre os fragmentos é importante para os processos ecológicos e tem, implícita em seus resultados, o grau de isolamento dos fragmentos (Tabela 6).

Tabela 6. Métricas de vizinho mais próximo

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|-----------------------------------------|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| NEAR | Distância do vizinho mais próximo | m | Distância euclidiana, borda a borda, entre os fragmentos próximos da mesma classe. |
| MNN | Distância média do vizinho mais próximo | m | Soma de todas as distâncias entre cada fragmento e o vizinho mais próximo de mesma classe, dividido pelo número de fragmentos da classe. |

- Métricas de diversidade: São métricas que visam quantificar a composição e, assim, diversidade da paisagem. São métricas muito utilizadas em aplicações ecológicas (Tabela 7).

Tabela 7. Métricas de diversidade

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|---------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| SHDI | Índice de diversidade de Shannon | Adimensional | Soma, entre todas as classes, da abundância proporcional de cada classe multiplicada por aquela proporção (abundância da proporção vezes o logaritmo natural da proporção), multiplicado por -1 . |
| SIDI | Índice de diversidade de Simpson | Adimensional | 1 menos a soma, entre todas as classes, da abundância proporcional de cada classe ao quadrado. |
| MSIDI | Índice de Diversidade de Simpson modificado | Adimensional | Logaritmo natural do inverso de 1 menos SIDI. |

- Métricas de contágio e intercalação (ou mistura): são métricas que visam a quantificação da configuração da paisagem como um todo, em relação à disposição das classes na paisagem. Podem medir a estrutura da paisagem (Tabela 8).

Tabela 8. Métricas de contágio e intercalação

| Sigla | Métrica | Unidade | Descrição |
|--------------|---------------------------------------|----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| III | Índice de intercalação e justaposição | % | É a intercalação observada sobre a máxima intercalação possível para um dado número de tipos de fragmentos. (Classes). Varia de 0% a 100%. |
| CONTAG | Índice de contágio | % | O contágio observado, sobre o contágio máximo possível para o número de tipos de fragmentos (classes) existentes. |

Estudos relacionados a unidades de conservação mostram a relevância dos índices de paisagem no acompanhamento dos processos de fragmentação florestal, influenciados por atividades antrópicas exercidas em meios urbanos e rurais, que afetam a forma e o efeito de bordas nos fragmentos da vegetação (SILVA et al., 2015; PIROVANI; SILVA; SANTOS, 2015). Também são fundamentais para monitorar a cobertura florestal em bacias hidrográficas (FERNANDES, 2017; JESUS, 2015), paisagens agrícolas (WEI et al., 2020) e a fragilidade de remanescentes florestais em áreas urbanas (DANTAS et al., 2017).

Levando em consideração as diferentes regiões fitogeográficas, as métricas estão inseridas, por exemplo, nos estudos relacionados ao Cerrado, quanto ao seu nível de fragmentação e conservação de habitats (NEVES et al., 2014) e na quantificação e estado de conectividade dos fragmentos florestais da Mata Atlântica (SANTOS et al., 2017; SILVA et al., 2015) e Caatinga (SANTOS et al., 2019; JESUS et al., 2019).

As métricas da paisagem são verdadeiras aliadas nos estudos ecológicos, pois, quando analisadas em conjunto, permitem caracterizar a estrutura da paisagem e avaliar diferentes áreas de estudo, do ponto de vista da preservação e conservação dos habitats. Por meio dos índices, é possível analisar a interação de uma matriz florestal com seus elementos de conexão, assim, contribuindo para que sejam traçadas estratégias à conservação e manejo dos ambientes em diferentes escalas (VIDOLIN et al., 2011).

2.4 USO E COBERTURA DA TERRA

As transformações no meio ambiente físico e cultural acompanham a evolução do ser humano enquanto ser social. Essas transformações são influenciadas pelo uso de novos meios, novas tecnologias e novas técnicas, tanto referentes à produção econômica quanto aos mecanismos para a melhoria do bem-estar social. Entretanto, algumas dessas mudanças vêm provocando problemas para a sociedade. Dentre eles está a questão da qualidade ambiental, que se caracteriza como um tema de relevância e de grandes debates do século XXI (PAZ; VIEIRA, 2018).

Atualmente, dentro da questão supracitada, são enfatizadas a busca por melhorias ambientais e a compreensão da dinâmica das mudanças globais, que podem ser facilmente compreendidas por intermédio do conhecimento sobre o uso e cobertura da terra, que fornecem subsídios para o monitoramento e planejamento ambiental (PINTO; CORONEL, 2015).

Ao estudar modificações na cobertura e uso da terra, entende-se a intensidade das mudanças e o período em que elas ocorreram; contribui à compreensão de suas estruturas no passado; e, além disso, torna viável a determinação dos vetores e tendências das pressões sobre os espaços naturais. Neste sentido, vê-se a importância dos estudos e pesquisas que se dediquem em promover avanços metodológicos nos mapeamentos de cobertura e uso da terra, principalmente em recortes espaciais que apresentem grande dinamismo ambiental, tais como as áreas que recebem grandes obras de infraestrutura viária, que sofrem desmatamento para implementação de agricultura ou de atividades pecuárias, ou ainda, as áreas que experimentam um crescimento populacional acelerado (SEABRA; CRUZ, 2013).

Os conceitos relativos ao uso e cobertura da terra são muito próximos, por isso, muitas vezes são usados de maneira indistinta. Cobertura da terra está diretamente associada aos tipos de cobertura natural ou artificial, que podem ser identificadas por meio do sensoriamento remoto. Já as informações acerca das atividades de uso da terra podem ser adquiridas pelo intérprete, por meio de associações de reflectâncias, texturas, estruturas e padrões de formas derivados dos dados espectrais obtidos previamente e de informações *in loco* (ARAÚJO FILHO et al., 2007).

Mapeando uma determinada área pode-se sintetizar os tipos de uso e cobertura da terra. As produções de mapas favorecem a compreensão da distribuição espacial da tipologia da ação antrópica, que pode ser identificada pelos seus padrões homogêneos característicos na superfície terrestre, através de análise em imagens obtidas por sensores. Sua identificação, quando atualizada, é de grande importância ao planejamento e orienta a ocupação da paisagem, respeitando sua capacidade de suporte e/ou sua estabilidade/vulnerabilidade (LEITE; ROSA, 2012).

Para melhor entendimento sobre a dinâmica provocada pelas mudanças de uso e cobertura da terra, é necessário mapear e monitorar as diversas formas de uso, por meio do Geoprocessamento e suas geotecnologias, como o Sensoriamento Remoto (SOUSA et al., 2017). O sensoriamento remoto é uma das ferramentas de grande valia nas análises sobre as coberturas da terra, o que contribui para que órgãos públicos e privados realizem a melhor

gestão do ordenamento territorial e/ou ambiental e que diversas áreas da ciência tenham melhores resultados em análises de áreas amplas (WECKMÜLLER; VICENS, 2013).

As análises multitemporais realizadas por sensoriamento remoto permitem compreender e remontar o processo histórico de ocupação do espaço geográfico, fornecendo subsídios para detectar e prever problemas e demandas. Portanto, esta ferramenta torna-se imprescindível para o estabelecimento de um sistema de gestão e monitoramento do uso dos recursos naturais, principalmente nos ambientes de alta dinâmica humana (HESSEL et al., 2012).

2.5 USO DE GEOTECONOLOGIAS NA DINÂMICA DE USO E COBERTURA DA TERRA NA REGIÃO SEMIÁRIDA.

As geotecnologias se constituem como o conjunto de técnicas associadas ao processamento de dados geográficos, que podem ser representadas pelo Sistema de Informação Geográfica (SIG) e sensoriamento remoto (ROSA, 2005). O SIG é um sistema com a capacidade de capturar, armazenar, manipular, analisar e exibir dados espaciais de forma organizada. Assim, o SIG é definido como um pacote de software usado para correlacionar informações geográficas a atributos recuperados dos dados armazenados no banco de dados e vice-versa. Um SIG pode ser visto como um banco de dados composto por elementos geométricos do espaço geográfico, com precisão geométrica, juntamente com as informações necessárias (DUMKA; SAH, 2020).

Os dados de sensoriamento remoto são umas das principais fontes geradoras de informações para o SIG. Esta ciência, sensoriamento remoto, visa o desenvolvimento da obtenção de imagens sobre objetos ou áreas na superfície da Terra por meio de sensores, que obtêm informações muito específicas sobre objetos ou extensões de fenômenos geográficos. Os referidos instrumentos fazem uso da energia eletromagnética emitida ou refletida por um objeto ou área geográfica, como um substituto da propriedade real investigada (JENSEN, 2009; MENESES; ALMEIDA, 2012; BACANI et al., 2015). Os sensores podem estar acoplados a diversas plataformas (satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANT), máquinas agrícolas autopropelidas etc.) (SHIRATSUCHI et al., 2014) e geram imagens em diferentes resoluções (espacial, espectral, temporal e radiométrica) (Tabela 9).

Tabela 9. Resoluções dos sensores

| Resoluções | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Espacial | Espectral | Temporal | Radiométrica |
| Dimensão do terreno que é representada pelo menor elemento em uma imagem, o pixel. | Número e tamanho dos intervalos de comprimento de onda (bandas) do espectro eletromagnético mensurado. | Intervalo de tempo necessário para a obtenção de imagens de um mesmo local. | Número de níveis de cinza usado para expressar as variações na intensidade da energia coletada pelo sensor. |

Fonte: (SHIRATSUCHI et al., 2014; TÔSTO et al., 2014)

Os sensores remotos fazem parte do que se denomina “sistemas de sensoriamento remoto”, aos quais os satélites se destacam como sendo uns dos instrumentos mais utilizados nos cotidianos dos profissionais de sensoriamento remoto. A exemplo de satélites que realizam o monitoramento da superfície terrestre tem-se os sistemas Landsat, SPOT, NOAA, Terra, IKONOS, RAPIDEYE, Radarsat e ERS (todos programas internacionais) e o CBERS e o SSR/MECB, do Brasil (EPIPHANIO, 2000).

Dentre os satélites mais conhecidos estão aqueles pertencentes à série Landsat, que possuem seus sistemas sensores com maiores aplicações à paisagem. Desde 1972, adquirem continuamente, do espaço, imagens da superfície terrestre, fornecendo dados que servem como recursos valiosos às pesquisas sobre os usos e mudanças da Terra (USGS, 2016). A iniciativa Landsat constitui o registro temporal de resolução espacial moderada mais longo da superfície da Terra, usando sensores multiespectrais, fornecendo um recurso único e valioso para monitorar a dinâmica da superfície terrestre (LOPES et al., 2019).

Os satélites Landsat podem ser organizados em grupos, tendo-se por base as características do sensor e da plataforma: o primeiro grupo consiste em Landsat 1 (L1), Landsat 2 (L2) e Landsat 3 (L3), que transportam o sensor *Multispectral Scanner* (MSS) e a câmara *Return Beam Vidicon* (RBV). O segundo grupo inclui o Landsat 4 (L4) e o Landsat 5 (L5) com o MSS e o *Thematic Mapper* (TM). O terceiro grupo consiste em Landsat 7 (L7), que inclui o sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+) (CHANDER; MARKHAM; HELDER, 2009). Ao quarto grupo pertence o Landsat 8 (L8), que possui dois sensores o *Operational Land Imager* (OLI) e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*) (DRUSCH, 2012). Embora os satélites supracitados pertençam à mesma série Landsat, apresentam especificações quanto aos parâmetros orbitais e resoluções dos sensores, como podem ser visualizadas nas tabelas 10 e 11.

Tabela 10. Informações básicas da série de satélites Landsat.

| Características | Satélite / Sensor | | | |
|----------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------|---------------------|
| | L8 OLI/TIRS | L7 ETM+ | L4-5 TM / MSS | L1-3 MSS |
| Situação Atual | Ativo | Ativo com restrição | Inativos | Inativos |
| Inclinação | 98.2° | 98.2° | 98.2° | 99.2° |
| Altitude | 705 km | 705 km | 705 km | 917 km |
| Tempo de Duração da Órbita | 99 min | 99 min | 99 min | 103 min |
| Horário de passagem | 10:00 am (± 15 min) | 10:00 am (± 15 min) | 9:45 am (± 15 min) | 9:30 am (15 min) |
| Período de Revisita | 16 dias | 16 dias | 16 dias | 18 dias |
| Resolução radiométrica | 12 bits | 8 bits | 8 bits | 6 bits |

Legenda: L8 OLI/TIRS: Landsat 8 sensor *Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor*; Landsat 7 sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus*; L4-5 TM / MSS: Landsat 4-5 sensor *Thematic Mapper / Multispectral Scanner*; L1-3 MSS: Landsat 1-3 sensor *Multispectral Scanner*.

Fonte: Adaptado de Markham et al. (2018)

Tabela 11. Comparação das bandas e comprimentos de onda de cada sensor Landsat.

| Designações de banda | Comparações dos comprimentos de onda das bandas dos satélites Landsat (As bandas apresentam resoluções de 30 metros, exceto quando indicado) | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------------|
| | Banda / Comprimento de onda (µm) | | | | |
| | L8 OLI/TIRS | L7 ETM+ | L4-5 TM | L4-5 MSS* | L1-3 MSS* |
| Aerosol e costal | Banda 1 / 0,43-0,45 | -- | -- | -- | -- |
| Azul | Banda 2 / 0,45-0,51 | Banda 1 / 0,45-0,52 | Banda 1 / 0,45-0,52 | -- | -- |
| Verde | Banda 3 / 0,53-0,59 | Banda 2 / 0,52-0,60 | Banda 2 / 0,52-0,60 | Banda 1 / 0,5-0,6 * | Band 4 / 0,5-0,6 * |
| Pancromática | Banda 8** / 0,50-0,68 | Banda 8 ** / 0,52-0,90 | -- | -- | -- |
| Vermelho | Banda 4 / 0,64-0,67 | Banda 3 / 0,63-0,69 | Banda 3 / 0,63-0,69 | Banda 2 / 0,6-0,7 * | Band 5 / 0,6-0,7 * |
| Infravermelho próximo | Banda 5 / 0,85-0,88 | Banda 4 / 0,77-0,90 | Banda 4 / 0,76-0,90 | Banda 3 / 0,7-0,8 * | Banda 6 / 0,7-0,8 * |
| Infravermelho próximo | -- | -- | -- | Banda 4 / 0,8-1,1 * | Banda 7 / 0,8-1,1* |
| Cirrus | Band 9 / 1,36-1,38 | -- | -- | -- | -- |
| Infravermelho de ondas Curtas – 1 | Banda 6 / 1,57-1,65 | Banda 5 / 1,55-1,75 | Banda 5 / 1,55-1,75 | -- | -- |
| Infravermelho de ondas Curtas – 2 | Banda 7 / 2,11-2,29 | Banda 7 / 2,09-2,35 | Banda 7 / 2,08-2,35 | -- | -- |
| Termal | Banda 10 T1 / 10,60-11,19 | Banda 6 T2 / 10,40-12,50 | Banda 6 T2 / 10,40-12,50 | -- | -- |
| Termal | Banda 11 T1 / 11,50-12,51 | -- | -- | -- | -- |

Legenda - L8 OLI/TIRS: Landsat 8 sensor *Operational Land Imager / Thermal Infrared Sensor*; Landsat 7 sensor *Enhanced Thematic Mapper Plus*; L4-5 TM: Landsat 4-5 sensor *Thematic Mapper*; Landsat 4-5 sensor *Multispectral Scanner*; L1-3 MSS: Landsat 1-3 sensor *Multispectral Scanner*.; "--" - Não aplicável; *Adquirida com 79 metros, reamostrada para 60 metros; **15 metros (panorâmica); T1 = Termal (adquirida com 100 metros, reamostrada para 30 metros); T2 = Termal (adquirida com 120 metros, reamostrada para 30 metros)

Fonte: Adaptado de USGS (2016).

A associação de satélites (como Landsat) e demais geotecnologias às análises da paisagem é uma interação que vem sendo empregada à compreensão da fragilidade dos fragmentos florestais e suas consequências à manutenção da biodiversidade, também é base para os estudos relacionados com a influência do padrão das paisagens no regime de incêndios (ETTO et al., 2013; LARIS et al., 2018). Por meio de combinações de técnicas de classificação de imagens, índices métricos da paisagem florestal e análise multicritério (MCA) é possível avaliar a evolução temporal e espacial da fragmentação florestal e selecionar fragmentos em potenciais para a colheita de sementes (SANTOS et al., 2016).

Na região semiárida brasileira, as geotecnologias são usadas como arcabouço às análises dos seus recursos naturais. Os usos de diferentes índices de vegetação são verdadeiros aliados à descrição e quantificação das diferentes classes de cobertura vegetal da região (FRANCISCO et al., 2012; RIBEIRO et al., 2014; SILVA et al., 2019).

Dando-se ênfase ao uso destas geotecnologias para a detecção de diferentes usos da terra no semiárido, é visto trabalho como o de Silva et al. (2016), que ao realizar uma análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra no município de Exu-PE, em um período de 10 anos, evidenciou que a maior parte das transformações empreendidas sobre as coberturas naturais se deram no sentido de ampliar as áreas de agricultura de sequeiro na região, o que contribuiu para que houvesse uma taxa de desmatamento de 0,6% ao ano na vegetação da Caatinga.

Já Tomasella et al. (2018), realizou análises das tendências de desertificação no Nordeste do Brasil, no período de 2000 a 2016, e atestou que a degradação do solo na área de estudo está altamente relacionada ao manejo inadequado e intenso da terra, onde a exploração dos recursos naturais ocorrem além da capacidade de resiliência do ecossistema. Ademais, a degradação da localidade foi aprimorada pela seca severa, que afeta a região desde 2011, aumentando o desmatamento para a produção de lenha e carvão vegetal e a fração do solo descoberto.

Ainda que haja um acréscimo no número de estudos geotecnológicos, que prezam pela ampliação da ciência sobre as regiões semiáridas do Nordeste, como supracitado, o conhecimento sobre as regiões da Caatinga ainda é reduzido, quando comparado com as demais regiões fitogeográficas do Brasil (MILLIKEN et al., 2018)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O presente estudo foi realizado nas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) pelo Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF), a partir da porção do Eixo Leste, em Pernambuco. As ADAs são definidas como faixas ao longo das estruturas do Projeto com 5,0 km de largura em cada lateral (BRASIL, 2004).

Os municípios que as ADAs percorrem em Pernambuco são: Floresta, Petrolândia, Custódia, Betânia e Sertânia. No entanto, como esta pesquisa corresponde aos locais diretamente afetados pelo PISF, foram criados *buffers* de 5,0 km, a partir do eixo supracitado, e, com isso, a área de pesquisa ultrapassou os limites de Pernambuco, atingindo o município de Monteiro, na Paraíba (Figura 1). As principais características dos municípios que estão inseridos nas ADAs encontram-se na Tabela 12.

Com uma extensão de 164.125,44 ha, a área de estudo se localiza no semiárido nordestino. Apresenta as precipitações médias anuais inferiores a 800 mm, insolação média de 2.800 horas por ano, temperaturas médias anuais de 23°C a 27°C, evaporação de 2.000 mm por ano e umidade relativa do ar média em torno de 50%, o que favorece um balanço hídrico negativo (BRITO; MOURA; GAMA, 2007). A região é típica do domínio Caatinga, ecossistema complexo, com uma grande variedade de árvores, arbustos e pastagens que são desigualmente distribuídas, com uma paisagem altamente fragmentada devido aos vários usos antrópicos da terra (TOMASELLA, et al., 2018).

A economia da região está praticamente baseada na caprinovinocultura, pecuária, agricultura, comércio e serviços. Na atividade industrial, merecem destaque a fabricação de doces e prestação de serviços em Custódia e a indústria têxtil em Sertânia. Já Petrolândia, é evidenciada pela produção de energia elétrica, por meio da CHESF, e pela fruticultura, juntamente com Floresta (PERNAMBUCO, 2008a, 2008b).

Figura 1. Mapa de localização das Áreas Diretamente Afetadas pelas obras do Projeto de Integração do Rio São Francisco, criadas a partir dos Eixos Norte e Leste.

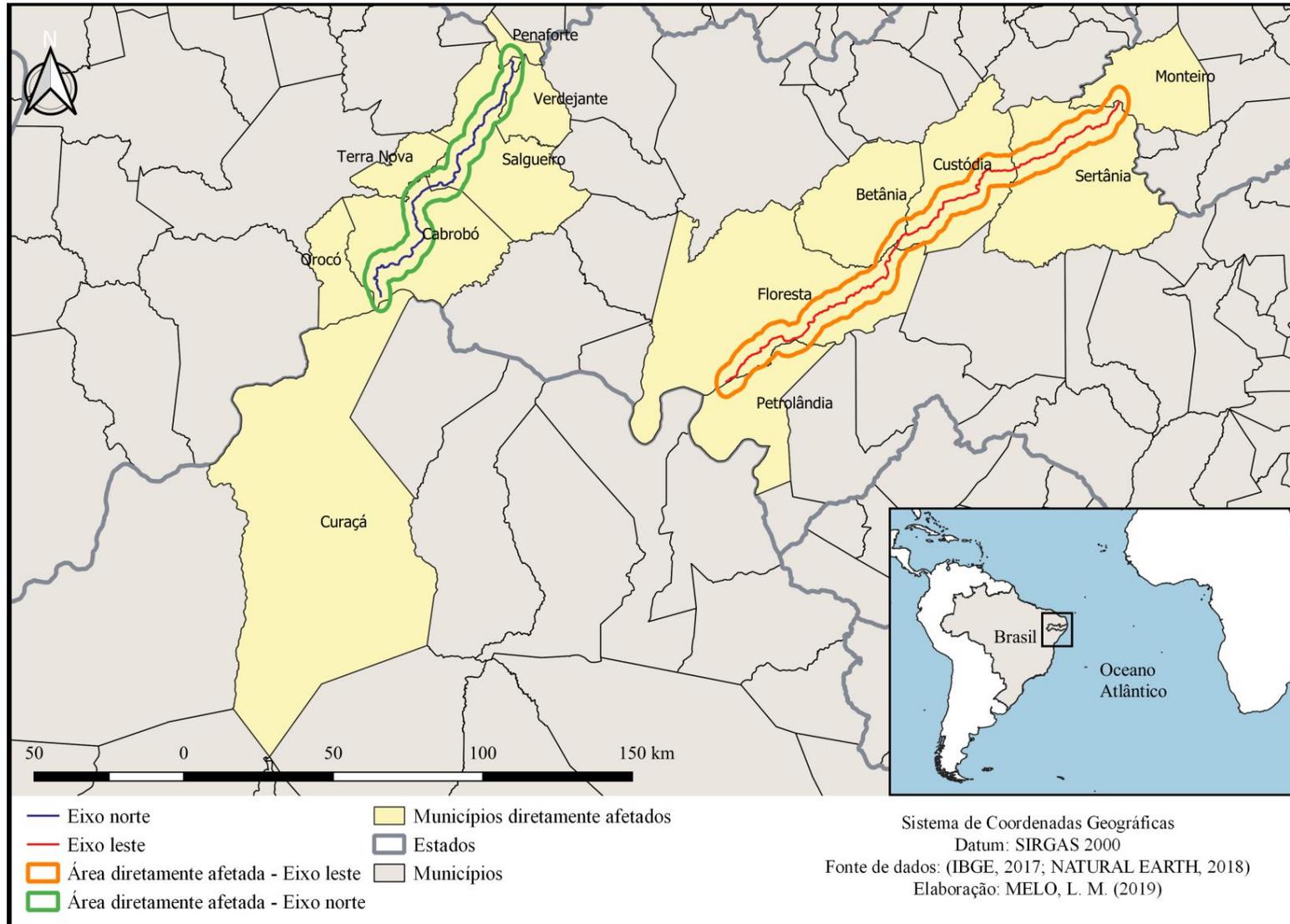


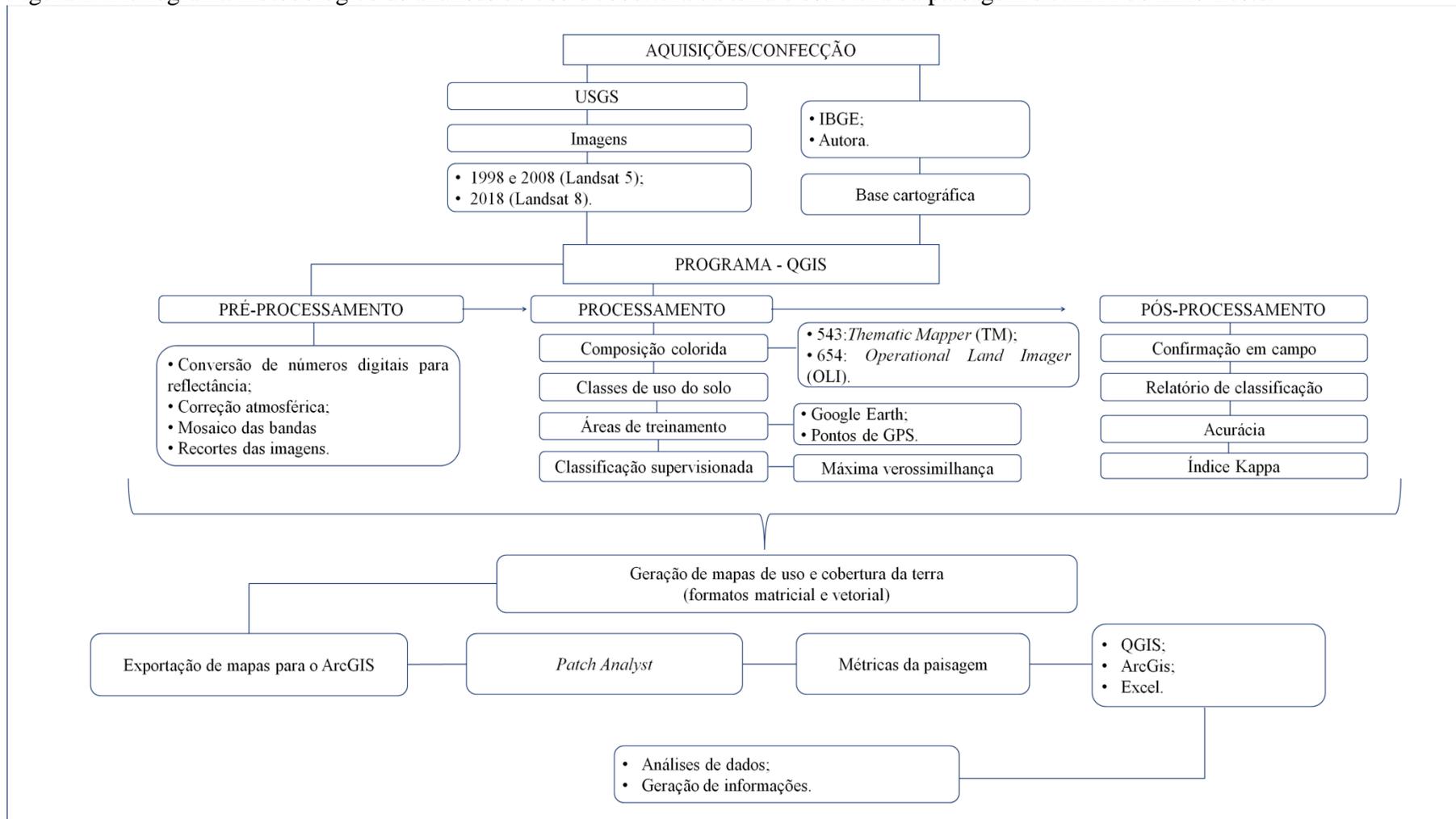
Tabela 12. Características gerais dos municípios - ADA do Eixo Leste

| CARACTERÍSTICAS | MUNICÍPIOS | | | | | |
|------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| | PERNAMBUCO | | | | | PARAÍBA |
| | Floresta | Custódia | Betânia | Sertânia | Petrolândia | Monteiro |
| Coordenadas | 08°36'04"S 38°34'07"O | 08°05'15"S 37°38'35"O | 08°16'29"S 38°02'03"O | 08°04'25"S 37°15'52"O | 08°58'45"S 38°13'10"O | 7°53'27"S 34°58'48"O |
| Área territorial | 3.644,168 km ² | 404,127 km ² | 1.244,074 km ² | 2.421,527 km ² | 1.056,595 km ² | 986,356 km ² |
| Altitude | 316 m | 542 m | 432 m | 558 m | 282 m | 599 m |
| Precipitação anual (2018) | 622,1mm | 690,3 mm | 499,5 mm | 498,3 mm | 316,6 mm | 687 mm |
| Período chuvoso | Nov. – Abr. | Nov. – Abr. | Nov. – Abr. | Nov. – Abr. | Nov. – Abr. | Jan. – Jun. |
| Clima | Tropical Semiárido | Tropical Semiárido | Tropical Semiárido | Semiárido Quente | Semiárido Quente | Tropical Semi- Árido, |
| Vegetação | Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia | Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia | Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia | Caatinga Hiperxerófila | Caatinga Hiperxerófila | Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. |

Fontes: (TEMÓTEO, 2000; ASSUNÇÃO, 2002; BELTRÃO, et al., 2005a, 2005b, 2005c, 2005d, 2005e, 2005f; LUCENA; PACHECO, 2009; SANTOS et al., 2016; IBGE, 018; APAC, 2020; INMET, 2020).

3.2 COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

Figura 2. Fluxograma metodológico às análises do uso e cobertura da terra e estrutura da paisagem da ADA do Eixo Leste.



3.2.1 Uso e cobertura da terra

Os procedimentos metodológicos empregados na análise de uso e cobertura da terra foram: aquisição, pré-processamento, processamento e pós-processamento dos arquivos, além da análise e interpretação dos resultados obtidos.

Para a compreensão da dinâmica do uso e cobertura da terra nas ADA do canal base (Eixo Leste), foram utilizadas imagens dos sensores TM/Landsat 5 e OLI/Landsat 8, solicitadas a partir da plataforma do USGS - *United States Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov>), referentes aos anos de 1998, 2008 e 2018, respectivamente, período anterior, durante e posterior à transposição. As órbitas (pontos) usadas e as datas de aquisições das imagens estão dispostas na Tabela 13.

Tabela 13. Dados das imagens adquiridas no USGS, para o estudo da dinâmica do uso e cobertura da terra e estrutura da paisagem na ADA do Eixo Leste.

| Órbita/Ponto | Satélite/Sensor | Data da aquisição |
|--------------|-----------------|-------------------|
| 215/065 | Landsat 5 / TM | 28/09/1998 |
| | Landsat 5 / TM | 23/09/2008 |
| | Landsat 8 / OLI | 21/10/2018 |
| 215/066 | Landsat 5 / TM | 28/09/1998 |
| | Landsat 5 / TM | 23/09/2008 |
| | Landsat 8 / OLI | 21/10/2018 |
| 216/066 | Landsat 5 / TM | 19/09/1998 |
| | Landsat 5 / TM | 14/09/2008 |
| | Landsat 8 / OLI | 12/10/2018 |

As imagens correspondentes ao período de 1998 e 2008 foram obtidas por meio do sensor *Thematic Mapper* (TM), que está vinculado ao satélite Landsat 5 (lançado em 1984). Já a aquisição de imagens do período de 2018, foram realizadas a partir do sensor *Operacional Land Imager* (OLI), que está a bordo do satélite Landsat 8 (lançado em 2013) (USGS, 2018).

Os períodos utilizados para a aquisição de imagens variaram entre setembro e outubro, pois foram os meses que apresentaram menor cobertura de nuvens, o que favoreceu a análise das áreas em estudo. No entanto, por serem caracterizados meses secos, a resposta espectral da vegetação não foi tão expressiva, o que demandou uma maior atenção no processo de coleta de amostras espectrais dos alvos.

As bandas espectrais escolhidas para a análise do uso e cobertura da terra foram 5, 4 e 3, geradas pelo sensor TM, e as bandas 6, 5 e 4, produzidas pelo sensor *Operational Land Imager* (OLI), cada conjunto de bandas se refere, respectivamente, ao infravermelho de ondas

curtas - 1, infravermelho próximo e vermelho. Estas composições foram escolhidas, pois favorecem o estudo da vegetação, destacando-a em tons de verde.

Os arquivos de extensão shapefiles, que foram utilizados em associação com os dados supramencionados, foram adquiridos por meio do banco de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), mais especificamente, em seu Portal de Mapas (<https://portaldemapas.ibge.gov.br/>). Além destes, a autora confeccionou os shapefiles dos eixos norte e leste da transposição.

O processamento de imagens foi realizado no programa QGIS, em suas versões 2.14.9 e 3.4.11, a partir do complemento *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP). No pré-processamento das imagens foram realizadas as conversões dos dados espectrais brutos de Landsat 5 e 8, a partir de números digitais (DN) para valores de reflectância no topo da atmosfera (ToA). A correção atmosférica foi realizada pelo método *Dark Object Subtraction* (DOS1), também comumente conhecido como correção atmosférica pelo *pixel* escuro. Além disso, ainda no pré-processamento, foram feitos mosaicos das bandas espectrais e os seus respectivos recortes.

Antes da realização da classificação supervisionada da área estudada, foram determinadas as classes de uso da terra. A escolha das classes se deu com o intuito de verificar o quanto a transposição do Rio São Francisco iria interferir nos recursos hídricos, no quantitativo da vegetação, na ampliação de áreas agrícolas, urbanas e de solo exposto.

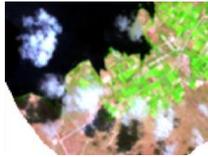
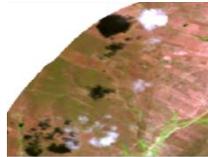
Com base nas classes de uso e cobertura da terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), foram determinadas as classes utilizadas na categorização das áreas em análise, conforme será apresentado:

- **Savana-estépica:** esta classe é uma mesclagem das classes vegetação florestal e campestre, sendo direcionada à vegetação de Caatinga. Dentro desta classe foram incluídas as áreas ocupadas por florestas. Consideram-se áreas florestais as formações arbóreas com porte superior a cinco metros de altura. Além destas áreas, também foram englobadas nesta classe as formações campestres, que se entendem como as diferentes categorias de vegetação, fisionomicamente bem diversa da florestal, ou seja, aquelas que se caracterizam por um estrato predominantemente arbustivo, esparsamente distribuído sobre um tapete gramíneo-lenhoso;
- **Savana-estépica ciliar:** neste tipo de formação foram englobadas as classes de vegetação florestal e campestre, no entanto, foram determinadas como pertencentes a esta categoria apenas as formações que margeavam os cursos d'água;

- **Área antropizada e/ou descoberta:** foi resultante da fusão das classes área artificial e área descoberta. A primeira classe está relacionada com o uso urbano, estruturado por edificações e sistema viário, onde predominam superfícies artificiais não-agrícolas. Estão incluídas nesta categoria as metrópoles, cidades, vilas, áreas de rodovias, serviços e transportes, redes de energia, comunicações e terrenos associados, áreas ocupadas por complexos industriais e comerciais e edificações que podem, em alguns casos, estar situadas em áreas periurbanas. Também pertencem a essa classe as aldeias indígenas e áreas de lavra de mineração. Já a classe área descoberta, compreende os locais sem vegetação, como os afloramentos rochosos, penhascos, recifes e terrenos com processos de erosão ativos. Também inclui as dunas, litorâneas e interiores, e acúmulo de cascalho ao longo dos rios;
- **Recurso hídrico:** está associado à classe corpo d'água continental, que representa as águas interiores, como rios, riachos, canais e outros corpos d'água lineares. Também engloba corpos d'água naturalmente fechados (lagos naturais) e reservatórios artificiais (represamentos artificiais de água construídos para irrigação, controle de enchentes, fornecimento de água e geração de energia elétrica); e
- **Área agrícola:** caracterizada por lavouras temporárias e lavouras permanentes, irrigadas ou não, sendo a terra utilizada para a produção de alimentos, fibras e commodities do agronegócio. Inclui todas as terras cultivadas, que podem estar plantadas ou em descanso, e também as áreas alagadas cultivadas. Pode ser representada por zonas agrícolas heterogêneas ou extensas áreas de plantations.

Como meio de expor a expressão espectral das classes de uso da terra, foi criada uma chave de interpretação (Tabela 14), a qual é uma etapa importante na elaboração de mapas cujo interesse é a representação das feições encontradas em uma determinada imagem, sobretudo em estudos que envolvam o levantamento do uso e cobertura da terra (MELO et al., 2017).

Tabela 14. Chave de interpretação das classes de uso da terra na ADA do Eixo Leste da transposição, referentes a falsa-cor, em composição R5G4B3 (sensor TM) ou R6G5B4 (sensor OLI).

| Classes | Alvo | Amostra | Cor /forma |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Área antropizada e/ou descoberta | Áreas construídas e ambientes rochosos |  | Azul claro ao escuro; forma geométrica |
| | Solo Exposto (solo, afloramentos rochosos, rios intermitentes). |  | Cor magenta (rosa), podendo ser bem claro, tendendo ao branco; forma regular. |
| Savana-estépica | Vegetação arbórea e campestre |  | Pode variar de tons rosados a marrons, mas dependendo da densidade e do estado da fisiologia da vegetação, a Caatinga pode se apresentar em tons esverdeados; forma irregular. |
| Savana-estépica ciliar | Vegetação ciliar |  | Verde claro; forma irregular. |
| Área agrícola | Terras cultivadas |  | Verde claro; forma irregular. |
| Recursos hídricos | Águas continentais |  | Varia de tons azuis ao preto; forma irregular. |
| Nuvem | Cobertura por nuvens |  | Coloração esbranquiçada; forma irregular. |
| Sombra | Sombras |  | Tons negros; forma irregular. |

As classificações supervisionadas das composições geradas foram realizadas na ferramenta SCP Dock do complemento SCP, onde foi efetuada a associação entre os dados espectrais obtidos pelos sensores e as classes de cobertura da terra. Posteriormente, foram selecionadas regiões de interesse (áreas de treinamento) para cada classe de cobertura do solo identificada na imagem. Geraram-se polígonos sobre áreas homogêneas sobrepondo pixels pertencentes à mesma classe de cobertura do solo (CONGEDO, 2016).

O algoritmo utilizado, no processo de classificação das imagens, foi o máxima verossimilhança, que é o método de classificação supervisionado mais comumente usado em dados de imagens de sensoriamento remoto. Este método incorpora tanto a média como a variância do conjunto de dados coletados para a regra de decisão de classificação. O algoritmo classifica a imagem inteira, comparando as características espectrais de cada pixel às características espectrais das classes de referência de cobertura do solo (RICHARDS; JIA, 2006; CATTANI et al., 2013; CONGEDO, 2016). O cálculo do mesmo é obtido por meio da equação 1 (RICHARDS; JIA, 2006):

$$g_k(x) = \ln p(C_k) - \frac{1}{2} \ln | \Sigma_k | - \frac{1}{2} (x - y_k)^t \Sigma_k^{-1} (x - y_k) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

C_k = classe de cobertura do solo k ;

x = assinatura espectral vetorial ou pixel de uma imagem;

$p(C_k)$ = probabilidade da classe correta ser C_k ;

$| \Sigma_k |$ = determinante da matriz de covariância dos dados na classe C_k ;

Σ_k^{-1} = inverso da matriz de covariância;

y_k = assinatura espectral vetorial da classe k .

Portanto:

$$x \in C_k \iff g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$

Além disso, é possível definir um limite para a função discriminante para excluir pixels abaixo deste valor da classificação. Considerando-se um limiar T_i , a condição da classificação torna-se:

$$x \in C_k \iff g_k(x) > g_j(x) \forall k \neq j$$

e

$$g_k(x) > T_i$$

Já para a confirmação dos dados obtidos por satélites, foram realizadas visitas de campo em áreas próximas à transposição, onde houve a coleta de pontos com GPS em diferentes estruturas artificiais (rodovias e obras de alvenaria) e naturais (recursos hídricos, vegetação e solo exposto) e a confirmação *in loco* dos tipos de alvos que foram analisados.

Em relação ao pós-processamento dos dados obtidos e resultantes da classificação supervisionada, foi utilizado o índice Kappa como parâmetro de verificação da confiabilidade da classificação supervisionada realizada. De acordo com Boulomytis e Alves (2011), o cálculo do índice é feito a partir do uso de uma matriz de confusão que, associa às ocorrências de acertos e erros da imagem, é classificada em relação à referência terrestre. De acordo com os mesmos autores, o cálculo de Kappa é realizado por meio da Equação 2.

Equação 2

$$K = \frac{t \sum_{i=1}^n X_{ii} - \sum_{i=1}^n X_{in+1} X_{n+1i}}{t - \sum_{i=1}^n X_{in+1} X_{n+1i}}$$

Onde:

t: número total de amostras da matriz de confusão;

n: número total de classes;

x_{ii} : elementos da diagonal principal da matriz de confusão;

X_{in+1} : total de elementos para cada linha das classes da imagem classificada;

$X_{(n+1)i}$: total de elementos para cada coluna das classes da imagem de referência.

Quanto ao desempenho da classificação, pode ser qualificado a partir dos parâmetros estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme descritos na Tabela 15.

Tabela 15. Índice Kappa e concordância de classificação

| Estatística Kappa | Concordância |
|-------------------|--------------|
| < 0,00 | Péssimo |
| 0,00-0,20 | Ruim |
| 0,21-0,40 | Razoável |
| 0,41-0,60 | Bom |
| 0,61-0,80 | Muito bom |
| 0,81-1,00 | Ótimo |

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

Os quantitativos das classes de uso e cobertura da terra ao longo de 20 anos foram obtidos a partir da aplicação das operações matemáticas do SIG sobre os mapas das duas décadas, assim, adquirindo-se: quantificação das áreas em hectares referentes a cada classe de uso e cobertura, para cada ano; porcentagem de ocupação da ADA para cada classe de uso e cobertura da terra, para todos os anos selecionados; porcentagens de variação para os períodos de 1998 – 2008, 2008 – 2018 e 1998 – 2018, tanto para a ADA de forma geral como para a sua representação nos municípios (MELLO et al., 2011; MORAES et al., 2017).

Com base nos autores supracitados, foi realizada a diferença de área em hectares entre os anos, assim, foi calculada para verificar a dinâmica de ocupação.

$$Diferença(ha) = Área_{data\ final} - Área_{data\ inicial} \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

$Área_{data\ final}$: área da classe no ano final

$Área_{data\ inicial}$: área da classe no ano inicial

Quanto à porcentagem de variação para cada período, foi calculada com base na seguinte equação:

$$Variação\ (\%) = \frac{Área_{data\ final} - Área_{data\ inicial} \times 100}{Área\ Total} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

$Área_{data\ final}$: área da classe no ano final

$Área_{data\ inicial}$: área da classe no ano inicial

Área total de estudo: toda a extensão da área estudada

3.3.2 Métricas de paisagem

A análise da estrutura da paisagem foi realizada por meio da ferramenta *Patch Analyst*, uma extensão do ArcGIS 10.5, por meio da qual as métricas foram obtidas. O *Patch Analyst* fornece estimativas estatísticas espaciais usando os arquivos vetoriais e matriciais, com base nos princípios da Ecologia da Paisagem. Para a determinação das métricas, foram selecionadas aquelas propostas por Volotão (1998) e McGarigal e Marks (1995) (Tabela 16).

Tabela 16. Métricas da paisagem empregadas no estudo da estrutura da paisagem.

| Categorias | Sigla | Métrica | Descrição |
|--------------------------|--------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Métrica de área | CA | Área da classe (ha) | Área de todos os fragmentos da classe em hectares. |
| Métricas de forma | MSI | Índice de forma média | Quanto mais próximo de 1 o valor do índice, o fragmento apresenta menos irregularidade. |
| | MPFD | Dimensão fractal de fragmento médio | Aproxima-se de 1 para formas com perímetros muito simples, como círculos ou quadrados, e se aproxima de 2 para formas com perímetros altamente complexos. |
| Métricas de fragmentos | NP | Número de fragmentos | Número de fragmentos existentes na classe. |
| Métricas de borda | TE | Total de bordas (m) | Soma de todas as bordas da classe. |
| | DE | Densidade de bordas (m/ha) | TE dividido pela área total em hectares |
| Métricas de área central | NCA | Número de áreas centrais | Número de áreas centrais de toda a classe. |
| | TCA | Área central total (ha) | Soma das áreas centrais de toda a classe em hectares. |

A fim de analisar o agrupamento ou dispersão dos fragmentos de vegetação e caracterizar a fragilidade e vulnerabilidade dos mesmos, foram obtidas as suas dimensões na tabela de atributos dos arquivos vetoriais, referentes aos anos de 1998, 2008 e 2018. Posteriormente, os fragmentos foram agrupados em diferentes classes de tamanhos, sendo classificados como: pequeno ≤ 10 ha; 10 ha < médio ≤ 50 ha; e grande > 50 ha.

Em relação à análise da área central, aplicou-se um *buffer* negativo de 50 m para cálculo da Área Core, cuja análise ocorre por meio de cálculo de uma área de amortecimento (*buffer*) direcionado para dentro do fragmento (SILVA; MELO, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 USO E COBERTURA DA TERRA

Os resultados do índice Kappa para as classificações realizadas nos anos de 1998, 2008 e 2018 foram de 0,97, 0,94 e 0,95, respectivamente, que correspondem à qualidade de classificação excelente (LANDIS; KOCH, 1977), o que indica que as mesmas expressaram boa performance do classificador. De modo semelhante, Nascimento et al. (2018), em uma análise espaço-temporal do uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Alto Paraim no Estado do Piauí, apresentou seus resultados de Kappa qualificados como excelentes para diferentes anos. Já Dassoller et al. (2018), obtiveram resultados de muito bom a excelente na análise de dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal e do uso da terra das paisagens no município de Mirassol D'Oeste, Mato Grosso.

Além do valor de Kappa por período de análise ter gerado boas métricas, os valores obtidos por classe de uso ocupação do solo também foi satisfatório. Para as classes, a concordância de classificação variou de muito boa a ótima. As classes apresentaram as seguintes variações para o índice Kappa: savana-estépica, de 0,98-0,99; savana-estépica ciliar, de 0,77-0,79; área antropizada, de 0,94 a 0,99; área agrícola, de 0,77 a 0,84; recurso hídrico, de 0,96-1,00 (Tabela 17).

Tabela 17. Grau de concordância da classificação temática, realizada na ADA do Eixo Leste, com base no índice Kappa

| CLASSES | 1998 | | 2008 | | 2018 | |
|----------------------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| | Kappa | Qualificação | Kappa | Qualificação | Kappa | Qualificação |
| Savana-estépica | 0,98 | Ótimo | 0,99 | Ótimo | 0,99 | Ótimo |
| Savana-estépica ciliar | 0,84 | Ótimo | 0,79 | Muito Bom | 0,77 | Muito Bom |
| Área antropizada e/ou descoberta | 0,94 | Ótimo | 0,94 | Ótimo | 0,99 | Ótimo |
| Área agrícola | 0,77 | Muito Bom | 0,84 | Ótimo | 0,80 | Muito Bom |
| Recurso hídrico | 1,00 | Ótimo | 0,96 | Ótimo | 1,00 | Ótimo |
| Nuvem | - | - | 0,93 | Ótimo | - | - |
| Sombra | - | - | 0,86 | Ótimo | - | - |

A análise temporal realizada no período de 20 anos (1998 a 2018), que ocorreu na Área Diretamente Afetada (ADA) pela construção do Eixo Leste da transposição do Rio São Francisco, constatou significativas mudanças no ambiente em avaliação (Figuras 3 e 4 e Tabela 18).

Figura 3. Dinâmica de uso e cobertura da terra, nos anos de 1998, 2008 e 2018, na ADA referente ao trecho de 0 km – 97,5 km do Eixo Leste.

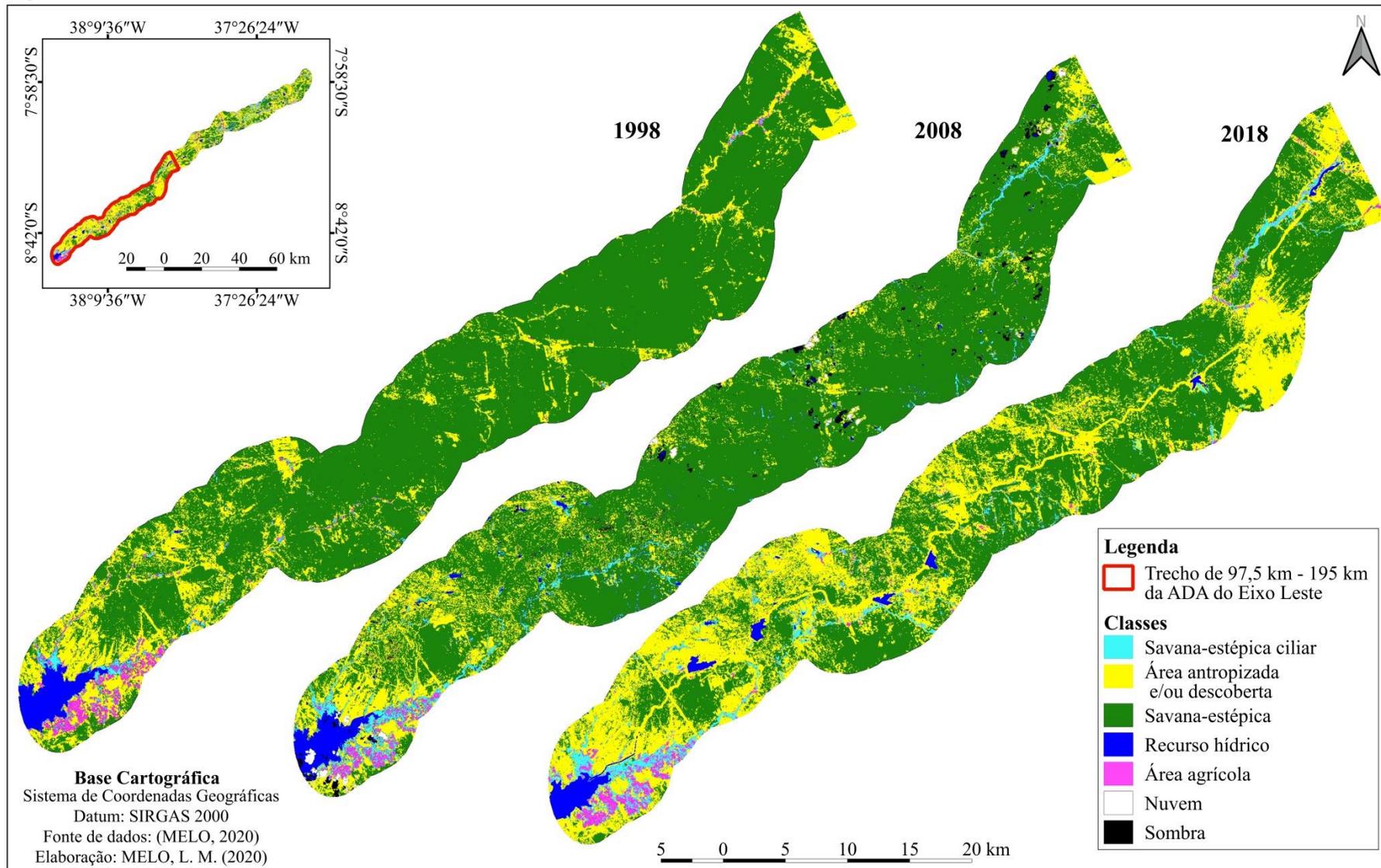


Figura 4. Dinâmica de uso e cobertura da terra, nos anos de 1998, 2008 e 2018, na ADA referente ao trecho de 97,5 km – 195 km do Eixo Leste.

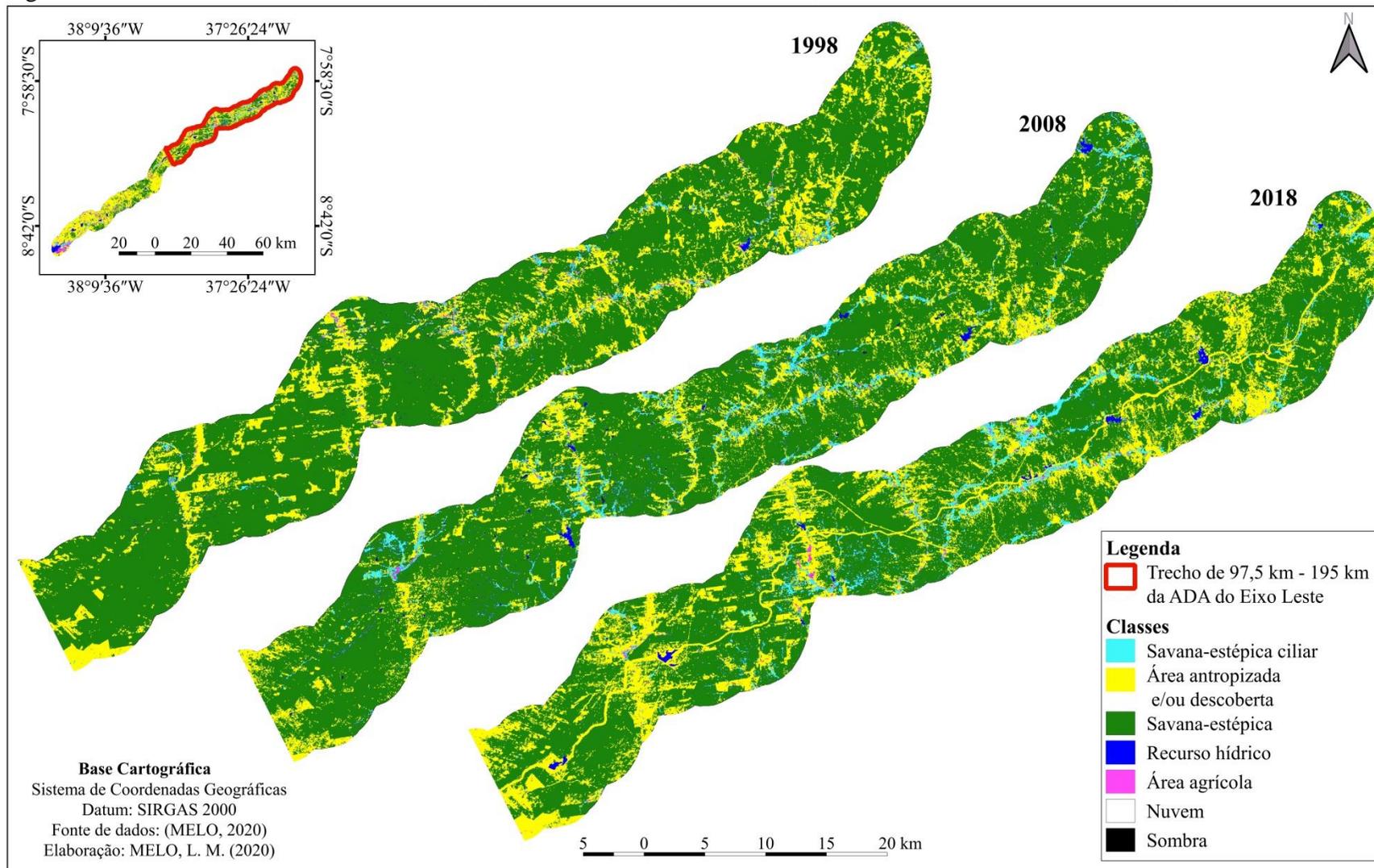


Tabela 18. Áreas em hectares (ha) e porcentagem (%) das classes de uso e cobertura da terra na ADA no Eixo Leste.

| CLASSES | 1998 | | 2008 | | 2018 | |
|----------------------------------|------------|--------|------------|--------|------------|--------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Savana-estépica | 135.035,55 | 82,28 | 131.402,16 | 80,06 | 112.281,30 | 68,41 |
| Savana-estépica ciliar | 4.463,55 | 2,72 | 9.251,55 | 5,64 | 7.632,81 | 4,68 |
| Área antropizada e/ou descoberta | 21.804,57 | 13,29 | 18.807,84 | 11,46 | 40.690,98 | 24,79 |
| Área agrícola | 1.236,33 | 0,75 | 778,05 | 0,47 | 1.748,97 | 1,04 |
| Recursos hídrico | 1.585,44 | 0,97 | 1.555,38 | 0,95 | 1.771,38 | 1,08 |
| Nuvem | 0,00 | 0,00 | 781,92 | 0,48 | 0,00 | 0,00 |
| Sombra | 0,00 | 0,00 | 1548,54 | 0,94 | 0,00 | 0,00 |
| Total | 164.125,44 | 100,00 | 164.125,44 | 100,00 | 164.125,44 | 100,00 |

No período de 1998 – 2008, houve a redução das classes savana-estépica (3.633,39 ha; 2,21), área antropizada e/ou descoberta (2.996,73 ha; 1,83%), área agrícola (458,28 ha; 0,28%) e recurso hídrico (30,06 ha; 0,02) havendo, entretanto, um ganho na área de savana-estépica ciliar (4.788,00 ha; 2,92%) (Tabela 19 e 20).

Tabela 19. Dinâmica do uso e cobertura da terra na ADA do eixo Leste, para os períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | 2008 – 2018 | 1998 – 2018 |
|----------------------------------|-----------------------|-------------|-------------|
| | Área em hectares (ha) | | |
| Savana-estépica | -3.633,39 | -1.9120,86 | -22.754,25 |
| Savana-estépica ciliar | 4.788,00 | -1.618,74 | 3.169,26 |
| Área antropizada e/ou descoberta | -2.996,73 | 21.883,14 | 18.886,41 |
| Área agrícola | -458,28 | 970,92 | 512,64 |
| Recurso hídrico | -30,06 | 216,00 | 185,94 |
| Nuvem | 781,92 | -781,92 | 0,00 |
| Sombra | 1.548,54 | -1.548,54 | 0,00 |

Tabela 20. Adições e perdas, em porcentagem (%), do uso e cobertura da terra na ADA do eixo Leste, para os períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | 2008 – 2018 | 1998 – 2018 |
|----------------------------------|-----------------|-------------|-------------|
| | Porcentagem (%) | | |
| Savana-estépica | -2,21 | -11,65 | -13,86 |
| Savana-estépica ciliar | 2,92 | -0,99 | 1,93 |
| Área antropizada e/ou descoberta | -1,83 | 13,33 | 11,51 |
| Área agrícola | -0,28 | 0,59 | 0,31 |
| Recurso hídrico | -0,02 | 0,13 | 0,11 |
| Nuvem | 0,48 | -0,48 | 0,00 |
| Sombra | 0,94 | -0,94 | 0,00 |

Com a redução das áreas de recursos hídricos, agricultura e área antropizada no local estudado, a vegetação ciliar tomou os espaços disponíveis, o que favoreceu o aumento da área desta classe em 2008. Já em 1998, este tipo de vegetação não foi tão expressivo, pois foi caracterizado como um ano de seca severa (GUTIÉRREZ, 2014), onde as chuvas escassearam e a precipitação variou, na área estudada, de 100 e 300 mm (SALES, 2001). Pela interpretação visual das imagens classificadas, viu-se que as áreas dos leitos dos rios, que anteriormente estavam secas pela estiagem e que foram classificadas como áreas descobertas em 1998, em 2008, apresentaram mata ciliar.

Outro ponto importante para se destacar é o fato do projeto de transposição já ter previsto a retirada de 127 m³.s⁻¹ de água à jusante de Sobradinho, ao tempo em que a demanda de energia do Nordeste exigiu que, entre os meses de abril de 2007 e janeiro de 2008, 90% da capacidade de reserva de água em Sobradinho fosse consumida, assim, favorecendo a redução dos recursos hídricos no ambiente (MACHADO, 2008). Quanto à redução das áreas de savana-estépica, a mesma teve como meio contribuinte o início das obras da transposição em 2007. Também deve ser exposto que houve a redução de algumas áreas das classes pela existência de nuvens e sombras cobrindo o arquivo *raster* em análise.

Com relação ao período 2008 – 2018, ocorreram reduções de savana-estépica (19.120,86 ha, 11,65%) e savana-estépica ciliar (1.618,74 ha; 0,99%), com adições nas áreas de recurso hídrico (216,00 ha; 0,13%), área antropizada e/ou descoberta (21.883,14 ha; 13,33%) e área agrícola (970,92 ha; 0,59%) (Tabela 8).

Este período de 10 anos (2008 – 2018) foi o momento de maior intensidade das obras da transposição do Rio São Francisco, onde as áreas naturais foram substituídas por estruturas artificiais como canais, reservatórios e estações de bombeamento, além da abertura de áreas para edificações temporárias, como canteiros de obras, alojamentos de trabalhadores e vias de acesso de veículos e maquinário. Em decorrência disso, houve uma redução de 11,65% das áreas de savana-estépica e um aumento de 13,33% de área antropizada e/ou descoberta.

Outro impacto significativo das obras da transposição, neste período, está associado à redução da mata ciliar, que se constituem no elemento fundamental para o controle da erosão nas margens e para minimizar os efeitos das enchentes. Esse tipo de vegetação é essencial para o equilíbrio ambiental, pois permitem manter a quantidade e a qualidade das águas, na medida em que funcionam como filtro natural dos possíveis resíduos de produtos químicos como agrotóxicos e fertilizantes, além de representar habitat muito importante para a fauna.

No caso do Rio São Francisco, estima-se que 96% das matas ciliares das suas margens já foram destruídas (ZELLHUBER; SIQUEIRA, 2016).

O aumento de 0,13% dos recursos hídricos foi decorrente da ampliação dos reservatórios de água, como de Mandantes e Salgueiro.

Em relação às variações dos valores das classes de uso e cobertura da terra, referentes ao período de 1998 a 2018, houve redução nos valores de savana-estépica (22.754,25 ha 13,86%) e adições nos valores das classes savana-estépica ciliar (3.169,26 ha; 1,93%), recursos hídricos (185,94 ha; 0,11%), área agrícola (512,64 ha; 0,31%) e área antropizada e/ou descoberta (18.886,41; 11,51%).

A diminuição de 22.754,25 ha (13,86%) da vegetação savana-estépica na Área de Diretamente Afetada foi motivada pelo desmatamento para as obras do Eixo Leste da transposição, que compreendem aproximadamente 195 km de infraestrutura. Já havia sido prevista, pelo RIMA deste empreendimento, uma perda e fragmentação estimada em 430 ha de áreas com vegetação nativa e de habitats de fauna terrestre para os eixos (BRASIL, 2004), no entanto, constatou-se que a mesma foi superada em mais de 50 vezes em relação ao previsto.

Porém, esta redução também está relacionada ao aumento das áreas antropizadas e/ou descobertas, onde ocorreu um acréscimo de 18.886,41 ha, que foram expandidas por decorrência tanto das obras supraditas, quanto por meio da ampliação das áreas urbanas, que pode ser expressa a partir das variações entre taxas de urbanização dos municípios, as quais variaram na ordem de 25,84% - 62,87% em 2000, e de 30,93% - 65,67% em 2010 (PNUD, 2013; PERNAMBUCO, 2016).

Além disso, existe a retirada da vegetação para fins extrativistas (exploração da Caatinga para comercialização de lenha e/ou de carvão) e agrônômicos, os quais ocorrem, em muitas vezes, de forma insustentável, o que potencializa os impactos sobre os recursos bióticos e abióticos do ambiente. Em relação às áreas suprimidas de forma regular em Pernambuco, no período de 2010 a 2014, a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) realizou 83 autorizações de supressão de vegetação Caatinga, a partir das mesmas, foram eliminados 6.308,91 ha (OLIVEIRA, 2016).

Em relação ao aumento da área de savana-estépica ciliar, em 1,93%, no período de 1998 – 2018, o mesmo foi perceptível, pois houve um drástico período de seca em 1998, o que desfavoreceu o desenvolvimento da vegetação, que se tornou mais expressiva nos anos posteriores, como constatado no presente estudo.

Os recursos hídricos foram elevados em 0,11%, pois houve o aumento do número de reservatórios de água, além do próprio canal da transposição. Já a área agrícola, cresceu 0,31%, superando o período de 1998, que sofreu com a estiagem. Outro aspecto que facilitou foi a viabilização da agricultura irrigada, sendo um atrativo para os produtores rurais.

No que diz respeito ao aumento das áreas antropizadas, Silva e Silva (2015) expõem que a transposição do Rio São Francisco contribuiu para o aumento desta modalidade e que, por decorrência do desmatamento, poderia gerar graves problemáticas ambientais para a região semiárida nordestina, além das já ocorrentes devido à fragmentação e barreira geradas com a construção do canal. Com a retirada da vegetação, também há a perda de terras potencialmente agricultáveis na Caatinga; aumento das emissões de poeira; assoreamento de corpos d' água; salinização do solo pela utilização marginal, por agricultores, das águas dispostas ao longo do canal; e consequente aumento das áreas potencialmente susceptíveis ao processo de desertificação.

Siqueira Filho et al. (2012) constataram que a biodiversidade vegetal nos trechos que compreendem os eixos norte e leste do Rio São Francisco estava composta por 1.031 táxons de flora, sendo 136 endêmicos (13%), seis ameaçados de extinção e 28 espécies candidatas para entrar na lista de espécies ameaçadas de extinção do Brasil.

Com a redução da vegetação da Caatinga, também há impactos sobre as espécies polinizadoras. O desmatamento elimina espécies vegetais preferíveis à alimentação de abelhas oligolécticas, por exemplo, podendo provocar o risco de extinção deste tipo de apifauna e gerar efeitos negativos à polinização. Quanto à relação da apifauna com as espécies vegetais, estas necessitam diretamente das plantas com flores para obter recursos alimentares (pólen, néctar e, em alguns casos, óleo) para si próprias e para suas crias, além de outros recursos utilizados na construção dos ninhos e que contribuem também para a reprodução das mesmas (ZANELLA; MARTINS, 2003).

Quanto ao aumento das áreas ocupadas por recursos hídricos e por áreas agrícolas, consideram-se como pontos positivos para os aspectos socioeconômicos, pois contribuem para geração de emprego e renda às pessoas que são prejudicadas pelas vicissitudes climáticas do Semiárido (CASTRO, 2011). No entanto, a redução de áreas florestais e o aumento de ambientes de solo exposto constituem pontos negativos, quando não existem práticas sustentáveis no manejo das áreas.

Estas modificações em parte da paisagem da Bacia do São Francisco contribuirão para que haja maior variabilidade climática, como secas e enchentes periódicas, ocorram modificações nos ecossistemas naturais, como lagoas marginais, e na biodiversidade, na qual já existem várias espécies de mamíferos, peixes e pássaros ameaçados de extinção. Outro grande problema decorrente da construção de barragens e de canais de irrigação, que geram mudança do regime de vazões de água e de transporte de sedimento, é a perda de habitat para a migração e reprodução de espécies nativas de peixes. Reduzindo assim o número total de peixes como o dourado, o curimatá e o surubim, afetando as populações que dependem da pesca como fonte de alimento e de recurso econômico. Junto ao desequilíbrio e perda de habitat aquático/terrestre, ocorre também mudanças no número e tipos de espécies nativas da flora/fauna terrestre e aquática nos ecotones, com conseqüente diminuição da biodiversidade e de recursos naturais para as populações dispersas e isoladas, que antes dependiam destes recursos (ANDRADE, 2002).

4.2 USO E COBERTURA DA TERRA NAS ÁREAS DIRETAMENTE AFETADAS POR MUNICÍPIO

Ao se analisar as alterações ocorridas no período de 20 anos (1998 a 2018), constataram-se diferentes quantitativos de perdas e ganhos nas classes de uso da terra. Por decorrência da variação do tamanho das Áreas Diretamente Afetadas (ADA) por município, as proporções dos tamanhos de ambientes florestais por localidade foram diferentes, assim, permitindo realizar comparativos entre os municípios, no que diz respeito a qual perdeu mais ambientes florestais, por exemplo. No entanto, houve municípios com maiores ou menores perdas de determinadas classes, ou com ganhos de outras, devido as suas ADA estarem mais atreladas às obras da transposição (Tabela 9). Constatou-se, portanto, que o município de Floresta possui 39,36% do território total da ADA, Betânia, 2,52%, Custódia, 26,88%, Sertânia, 23,97%, Petrolândia, 4,91% e Monteiro, 2,35%. Por meio disso, vê-se que o município de Floresta foi um dos mais atingidos pelas obras da transposição.

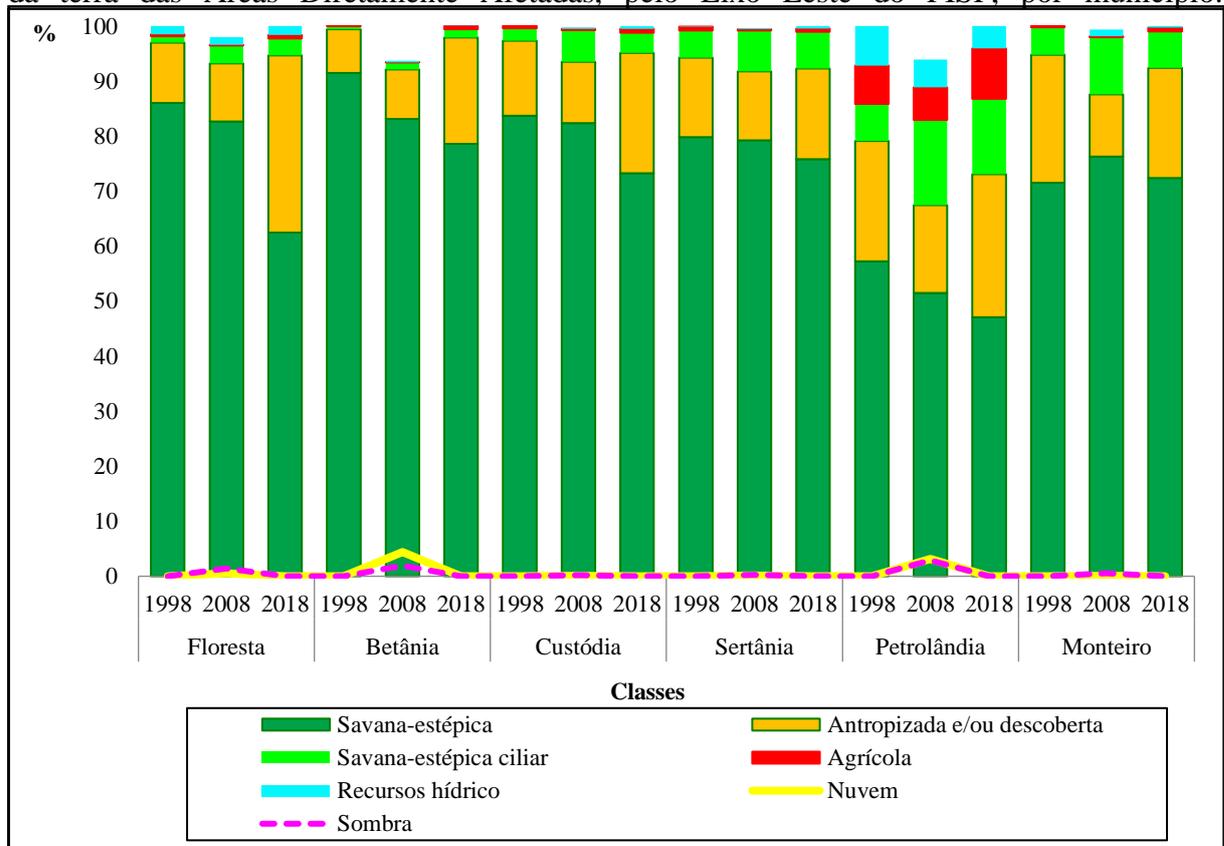
A Tabela 21 e Figura 5 expõem as variações espaço-temporal dos tipos uso e cobertura da terra nas ADA da transposição, localizadas nos municípios de Floresta, Betânia, Custódia, Sertânia e Petrolândia, situados no estado de Pernambuco, e em Monteiro, situado no estado da Paraíba, para os anos de 1998 – 2018.

Tabela 21. Áreas em hectares (ha) e porcentagem (%) das classes de uso e cobertura da terra das Áreas Diretamente Afetadas, pelo Eixo Leste do PISF, por município.

| MUNICÍPIO | Ano | CLASSES | | | | | | | | | | | | | | Total | |
|-------------|------|-----------|-------|----------|-------|-----------|-------|--------|------|----------|------|--------|------|--------|------|-----------|--------|
| | | SE | | SEC | | A/D | | Agr | | RHi | | Nuvem | | Somb | | | |
| | | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % | ha | % |
| Floresta | 1998 | 55.570,32 | 86,02 | 747,26 | 1,16 | 7.092,57 | 10,98 | 214,51 | 0,33 | 976,37 | 1,51 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 64.601,03 | 100,00 |
| | 2008 | 53.396,73 | 82,66 | 2.088,12 | 3,23 | 6.824,40 | 10,56 | 96,25 | 0,15 | 904,60 | 1,40 | 358,43 | 0,55 | 932,52 | 1,44 | 64.601,05 | 100,00 |
| | 2018 | 40.335,38 | 62,44 | 1.975,72 | 3,06 | 20.835,19 | 32,25 | 425,54 | 0,66 | 1.029,21 | 1,59 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 64.601,04 | 100,00 |
| Custódia | 1998 | 36.920,95 | 83,68 | 1.013,17 | 2,30 | 6.017,06 | 13,64 | 170,42 | 0,39 | 0,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 44.121,78 | 100,00 |
| | 2008 | 36.339,28 | 82,36 | 2.536,15 | 5,75 | 4.926,44 | 11,17 | 98,53 | 0,22 | 106,86 | 0,24 | 26,68 | 0,06 | 87,84 | 0,20 | 44.121,78 | 100,00 |
| | 2018 | 32.334,32 | 73,28 | 1.612,43 | 3,65 | 9.644,63 | 21,86 | 301,32 | 0,68 | 229,10 | 0,52 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 44.121,80 | 100,00 |
| Sertânia | 1998 | 31.414,03 | 79,84 | 1.943,63 | 4,94 | 5.681,21 | 14,44 | 276,97 | 0,70 | 29,34 | 0,07 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 39.345,18 | 100,00 |
| | 2008 | 31.168,04 | 79,22 | 2.915,51 | 7,41 | 4.941,26 | 12,56 | 97,29 | 0,25 | 75,56 | 0,19 | 56,70 | 0,14 | 90,80 | 0,23 | 39.345,16 | 100,00 |
| | 2018 | 29.818,48 | 75,79 | 2.610,55 | 6,64 | 6.503,21 | 16,53 | 237,14 | 0,60 | 175,77 | 0,45 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 39.345,15 | 100,00 |
| Petrolândia | 1998 | 4.613,30 | 57,24 | 543,11 | 6,74 | 1.763,83 | 21,89 | 560,54 | 6,96 | 578,55 | 7,18 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8.059,33 | 100,00 |
| | 2008 | 4.149,39 | 51,49 | 1.248,50 | 15,49 | 1.286,39 | 15,96 | 478,38 | 5,94 | 407,32 | 5,05 | 256,06 | 3,18 | 233,29 | 2,89 | 8.059,33 | 100,00 |
| | 2018 | 3.794,36 | 47,08 | 1.104,05 | 13,70 | 2.097,00 | 26,02 | 739,36 | 9,17 | 324,56 | 4,03 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 8.059,33 | 100,00 |
| Betânia | 1998 | 3.780,23 | 91,48 | 23,96 | 0,58 | 327,84 | 7,93 | 0,38 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4.132,41 | 100,00 |
| | 2008 | 3.434,30 | 83,11 | 52,08 | 1,26 | 372,34 | 9,01 | 0,39 | 0,01 | 12,06 | 0,29 | 79,38 | 4,40 | 181,86 | 1,92 | 4.132,41 | 100,00 |
| | 2018 | 3.248,30 | 78,61 | 62,96 | 1,52 | 797,95 | 19,31 | 22,65 | 0,55 | 0,54 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 4.132,40 | 100,00 |
| Monteiro | 1998 | 2.764,79 | 71,53 | 191,32 | 4,95 | 900,21 | 23,29 | 8,72 | 0,23 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3.865,04 | 100,00 |
| | 2008 | 2.948,96 | 76,30 | 401,14 | 10,38 | 436,33 | 11,29 | 6,79 | 0,18 | 48,15 | 1,25 | 3,60 | 0,09 | 20,07 | 0,52 | 3.865,04 | 100,00 |
| | 2018 | 2.797,99 | 72,39 | 254,87 | 6,59 | 774,00 | 20,03 | 26,68 | 0,69 | 11,52 | 0,30 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 3.865,06 | 100,00 |

Onde: SE = savana-estépica; SEC = savana-estépica ciliar; A/D = área antropizada e/ou descoberta; Agr = área agrícola; RHi = recursos hídricos; Nuv = nuvens; Somb = sombras.

Figura 5. Representação gráfica das áreas em porcentagem (%) das classes de uso e cobertura da terra das Áreas Diretamente Afetadas, pelo Eixo Leste do PISF, por município.



4.2.1 ADA em Betânia

A Área Diretamente Afetada (ADA) pela transposição do Rio São Francisco no município de Betânia compreende apenas um pequeno trecho de 4.124,41 ha, correspondendo ao percentual de 3,32% dos 124.407,4 ha da área municipal, o qual está localizado em ambiente rural. No ano de 1998, a savana-estépica ocupava uma área de 3.780,23 ha; a savana-estépica ciliar, 23,96 ha; a área antropizada e/ou descoberta era de 327,84 ha; a área agrícola tinha apenas 0,38 ha; e não havia recursos hídricos.

No período de 1998 – 2008, o município de Betânia teve perdas nas classes de savana-estépica (345,92 ha; 8,39%) e de área agrícola (0,01 ha; 0,00%). No entanto, ocorreram ganhos nas classes de savana-estépica ciliar (28,12 ha), área antropizada e/ou descoberta (44,50 ha) e recursos hídricos (12,06 ha), correspondendo a um acréscimo percentual da ordem de 0,68%; 1,08% e 0,29%, respectivamente, em relação à área total da ADA (Figura 6 e Tabela 22).

Figura 6. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Betânia-PE.

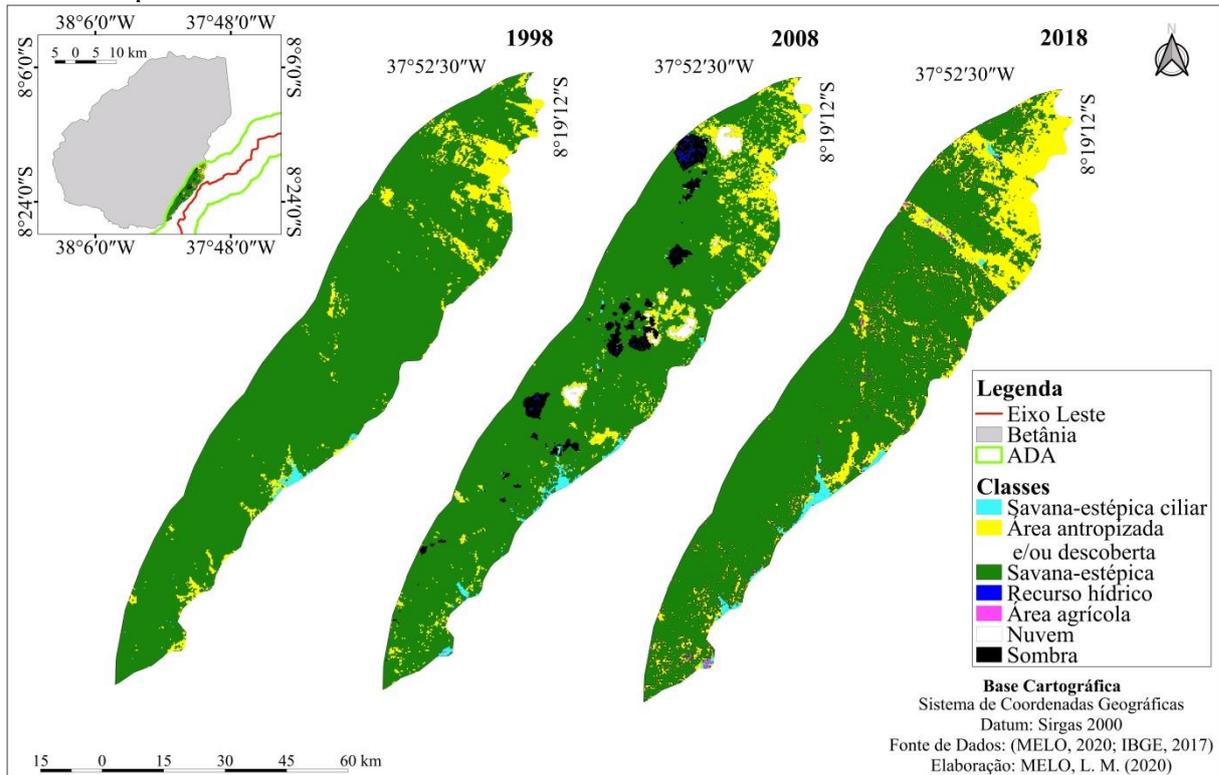


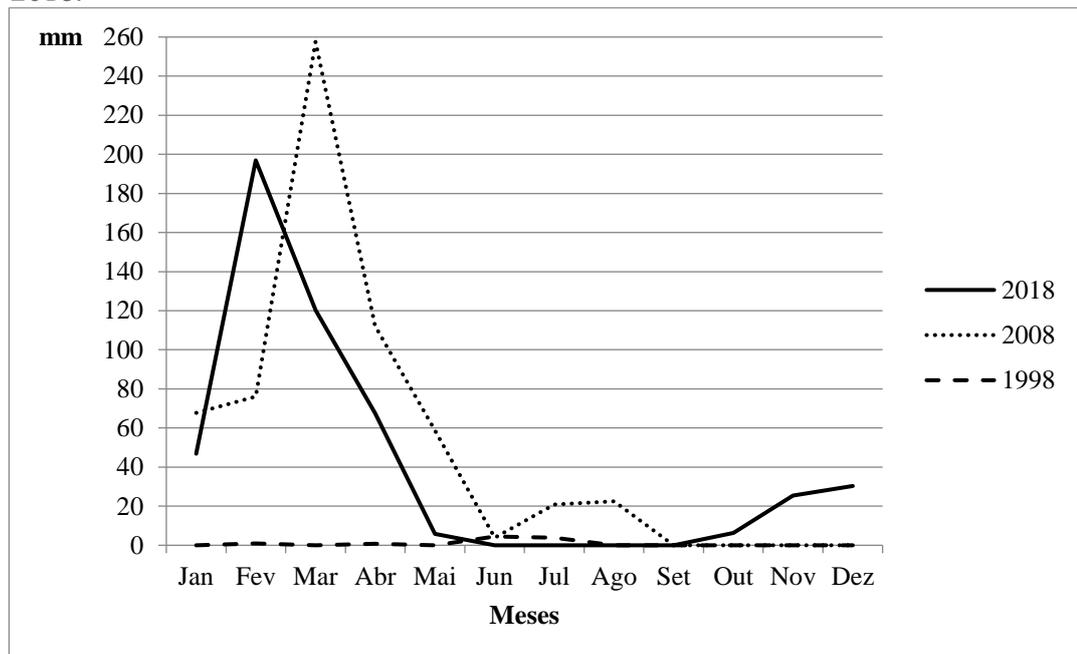
Tabela 22. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Betânia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | | 2008 – 2018 | | 1998 – 2018 | |
|-----------------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|--------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Savana-estépica | -345,92 | -8,39 | -186,00 | -4,50 | -531,93 | -12,87 |
| Savana-estépica ciliar | 28,12 | 0,68 | 10,89 | 0,26 | 39,01 | 0,94 |
| Área antropizada e/ou descoberta | 44,50 | 1,08 | 425,62 | 10,30 | 470,11 | 11,40 |
| Área agrícola | 0,01 | 0,00 | 22,26 | 0,54 | 22,27 | 0,54 |
| Recurso hídrico | 12,06 | 0,29 | -11,52 | -0,28 | 0,54 | 0,01 |
| Nuvem | 79,38 | 1,92 | -79,38 | -4,40 | 0,00 | 0,00 |
| Sombra | 181,86 | 4,41 | -181,86 | -1,92 | 0,00 | 0,00 |

Com a degradação da savana-estépica, houve o aumento de áreas antropizadas em certos pontos. Já a estiagem no ano de 1998, cuja precipitação pluviométrica total foi de 10,1 mm, de acordo com dados da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2020) (Figura 7), contribuiu à redução da vegetação ciliar e para o aumento de áreas descobertas, em alguns pontos em que os leitos dos cursos d'água estavam secos. Em 2008, quando

comparado com 1998, constatou-se um ganho na área de mata ciliar, promovido pelo maior quantitativo de chuvas, que totalizaram 619,5 mm, reduzindo as áreas sem cobertura vegetal. Pela mesma questão climática, as áreas ocupadas por recursos hídricos não foram expressivas na ADA em 1998, havendo, no entanto, um aumento no ano de em 2008, devido à precipitação mais acentuada.

Figura 7. Representação gráfica da precipitação no município de Betânia-PE no período de 1998 – 2018.



Fonte: APAC (2020).

Em relação à dinâmica do uso da terra, no período de 2008 – 2018, ocorreu decréscimo na classe savana-estépica (186,00 ha; 4,50%) e recursos hídricos (11,52 ha; 0,28%). As classes que sofreram acréscimos neste período foram savana-estépica ciliar (10,89 ha; 0,26%), área antropizada (425,62 ha; 10,30%) e área agrícola (22,26 ha; 0,54%) (Tabela 22).

Parte da redução da savana-estépica ciliar e dos recursos hídricos pode ser explicada pelo volume de chuvas menos expressivo no ano de 2018 (499,5 mm), quando comparado a 2008. Quanto à estrutura do Eixo Leste, a mesma não está situada no município de Betânia, mas apenas a ADA desse eixo. Por decorrência disso, as áreas antropizadas no período de 2008 – 2018 não foram tão influenciadas pelas obras do eixo.

No que diz respeito ao período de 1998 – 2018, no município de Betânia, houve aumento nas classes de savana-estépica ciliar (39,01 ha; 0,94 %), área antropizada (470,11 ha;

11,40%), área agrícola (22,27 ha; 0,54%) e recurso hídrico (0,54 ha; 0,01%), com consequente redução na área da savana-estépica (-531,93 ha; -12,87%) (Tabela 22).

Em relação ao aumento da savana-estépica ciliar, o mesmo foi influenciado pelo Reservatório de Cacimba Nova situado no município de Custódia, o qual fica nas proximidades da ADA do município de Betânia. Já o aumento de áreas antropizadas, como já mencionado antes, foi minimamente influenciado pelas obras da transposição. No entanto, causou a redução das áreas de savana-estépica.

4.2.2 ADA em Custódia

A ADA do município de Custódia, no período de 1998 – 2008, teve decréscimos nas áreas das classes de savana estépica (581,67 ha; 1,32%), área antropizada (1.090,62 ha; 2,47%) e área agrícola (71,90 ha; 0,16%). No que diz respeito aos acréscimos, houve ganho nas áreas de savana-estépica ciliar (1.522,98 ha; 3,45%) e recursos hídricos (106,68 ha; 0,24%) (Figura 8 e Tabela 23).

Figura 8. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Custódia-PE.

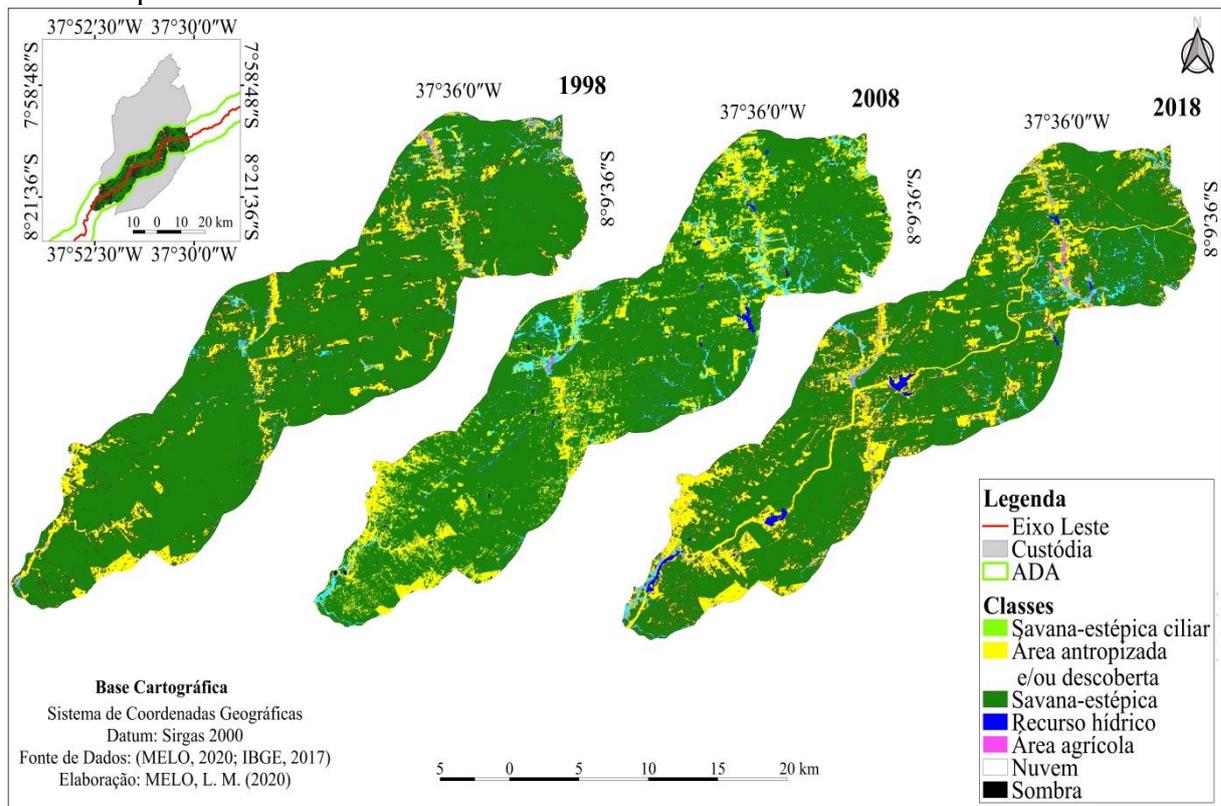


Tabela 23. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Custódia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | | 2008 – 2018 | | 1998 – 2018 | |
|----------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|--------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Savana-estépica | -581,67 | -1,32 | -4.004,97 | -9,08 | -4.586,64 | -10,40 |
| Savana-estépica ciliar | 1.522,98 | 3,45 | -923,73 | -2,09 | 599,26 | 1,36 |
| Área antropizada e/ou descoberta | -1.090,62 | -2,47 | 4.718,19 | 10,70 | 3.627,57 | 8,22 |
| Área agrícola | -71,90 | -0,16 | 202,79 | 0,46 | 130,90 | 0,30 |
| Recurso hídrico | 106,68 | 0,24 | 122,24 | 0,28 | 228,92 | 0,52 |
| Nuvem | 26,68 | 0,06 | -26,68 | -0,06 | 0,00 | 0,00 |
| Sombra | 87,84 | 0,20 | -87,84 | -0,20 | 0,00 | 0,00 |

Com o aumento da antropização em 2008, as áreas de savana-estépica foram reduzidas. Um dos contribuintes para essa situação foi a intensa exploração da vegetação nativa para obtenção de lenha e estacas para produção de carvão e para práticas de pecuária extensiva (TORRES et al., 2002). Uma comprovação disso, de acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2008), foi uma operação chamada Vesúvio, realizada em 2008, na qual seriam desativados cerca de 200 fornos no Polígono do Carvão, na qual estão incluídos os municípios de Serra Talhada, Custódia, Ibimirim e Salgueiro (MMA, 2008).

Em relação à savana-estépica ciliar, a mesma aumentou pelo consequente aumento dos cursos d'água 2008, o que contribuiu para que as mesmas se desenvolvessem nas margens. Quanto a 1998, a precipitação total foi de 139 mm, o que influenciou na redução da savana-estépica nesse ano e no aumento das áreas antropizadas.

No tocante ao período de 2008 – 2018, houve uma redução de savana-estépica (4.004,97 ha; 9,08%), e savana-estépica ciliar (923,73 ha; 2,09%). Já as classes área antropizada e/ou descoberta (4.718,19 ha; 10,70%), recurso hídrico (122,24 ha; 0,28%) e área agrícola (0,16 ha; 202,79%) sofreram acréscimos.

O período de 2008 – 2018 foi o de maior intensidade das obras da transposição, iniciadas em 2007. Por decorrência disso, ocorreu um aumento considerável das áreas antropizadas, chegando ao ganho de 4718,19 ha e contribuindo para o decréscimo de 4.004,97 ha de savana-estépica. Além disso, Custódia está entre os municípios que possuem maior influência das obras da transposição, pois a infraestrutura do projeto corta o seu território.

Em relação à savana-estépica ciliar, a mesma teve um decréscimo tanto pelas obras da transposição quanto pelo aumento de áreas agrícolas. Levando em consideração os recursos hídricos, a transposição contribuiu positivamente para o seu crescimento, como é visto nos

reservatórios de Cacimba Nova, Bagres e Copiti, que foram estruturados pelas obras da transposição.

De 1998 – 2018, ocorreu uma redução da classe savana-estépica (4.586,64 ha; 10,40%), no entanto, sucedeu um aumento nas classes de savana-estépica ciliar (599,26 ha; 1,36%), área antropizada e/ou descoberta (3.627,57 ha; 8,22%), área agrícola (130,90 ha; 0,30%) e recurso hídrico (228,92 ha; 0,52%).

Fazendo-se uma análise entre os anos de 1998 – 2018, viu-se como a transposição alterou a paisagem da ADA de Custódia. Mesmo que esse empreendimento tenha contribuído com o aumento dos recursos hídricos, como já citado, ele reduziu as áreas de savana-estépica e aumentou as áreas de solo exposto. No entanto, houve aumento das áreas agrícolas e savana-estépica ciliar, que foram favorecidas pela expansão dos recursos hídricos e, conseqüentemente, das áreas úmidas.

4.2.3 ADA em Floresta

No município de Floresta, entre os anos 1998 – 2008, ocorreram variações nos valores das classes de uso e cobertura da terra, havendo uma redução nos valores de savana-estépica (2.173,59 ha; 3,36%), área antropizada e/ou descoberta (268,17 ha; 0,42%), área agrícola (118,27 ha; 0,18%) e recursos hídrico (71,77 ha; 0,11%) e adições nos valores da classe savana-estépica ciliar (1340,86 ha; 2,08%) (Figura 9 e Tabela 24).

Figura 9. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Floresta-PE.

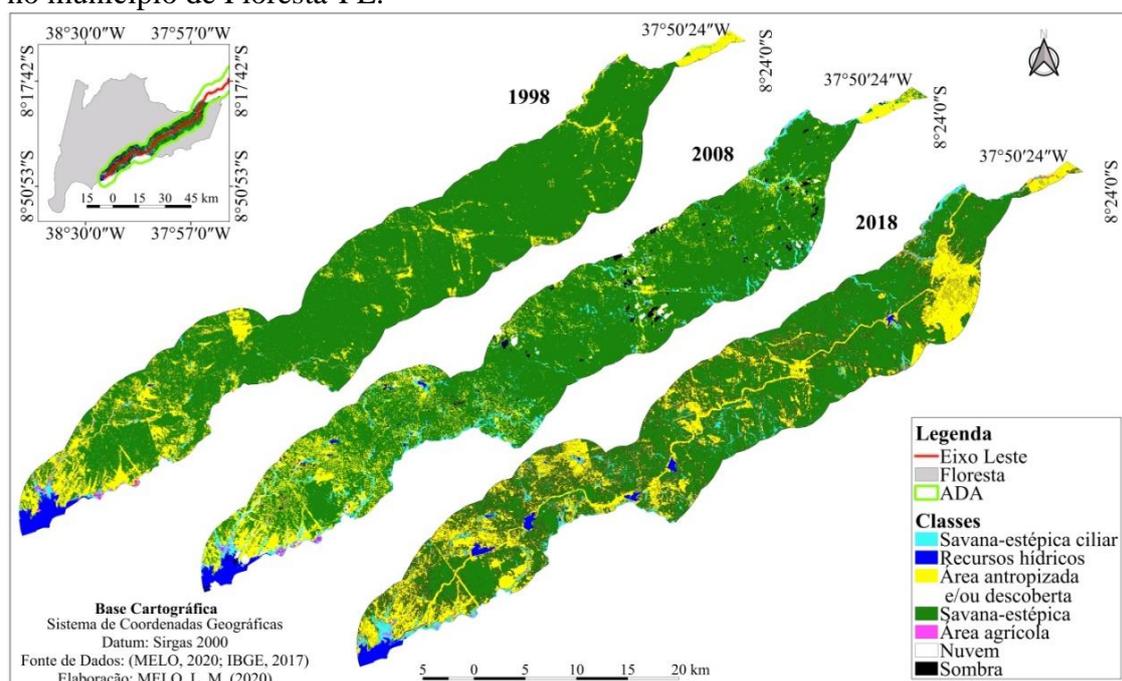


Tabela 24. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Floresta-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | | 2008 – 2018 | | 1998 – 2018 | |
|----------------------------------|-------------|-------|-------------|--------|-------------|--------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Savana-estépica | -2.173,59 | -3,36 | -13.061,35 | -20,23 | -15.234,94 | -23,60 |
| Savana-estépica ciliar | 1.340,86 | 2,08 | -112,40 | -0,17 | 1.228,46 | 1,90 |
| área antropizada e/ou descoberta | -268,17 | -0,42 | 14.010,79 | 21,69 | 13.742,62 | 21,29 |
| Área agrícola | -118,27 | -0,18 | 329,30 | 0,51 | 211,03 | 0,33 |
| Recurso hídrico | -71,77 | -0,11 | 124,61 | 0,19 | 52,84 | 0,08 |
| Nuvem | 358,43 | 0,56 | -358,43 | -0,56 | 0,00 | 0,00 |
| Sombra | 932,52 | 1,44 | -932,52 | -1,44 | 0,00 | 0,00 |

De 1998 – 2008, em decorrência do período de estiagem que Pernambuco enfrentava 1998, as áreas de savana-estépica foram desfavorecidas juntamente com os recursos hídricos, e, devido à redução destas classes, deu-se lugar às áreas antropizadas. A precipitação anual do município de Floresta neste ano foi de 255,5 mm, de acordo com a Agência Pernambucana de Águas e Climas (APAC, 2020). Ao se analisar o ano de 2008, notou-se o aumento da vegetação ciliar, que foi favorecido pela redução das áreas de recursos hídricos, agricultura e área antropizada na ADA. A redução dos recursos hídricos teve como contribuinte a demanda por energia Nordeste, como já citado anteriormente (MACHADO, 2008).

Durante o período de 2008 – 2018, houve a redução das áreas de savana-estépica (13.061,35 ha; 20,23%), savana-estépica ciliar (112,40 ha; 0,17%) e acréscimos nas áreas antropizadas (14.010,79 ha; 21,69%), agrícolas (329,30 ha, 0,51%) e de recurso hídrico (124,61 ha; 0,19%).

Nesse período, as obras da transposição foram intensificadas, o que gerou alterações na paisagem da ADA situada no município de Floresta, o que contribuiu para o aumento de 14.010,79 ha de áreas antropizadas, por decorrência da retirada da vegetação nativa e implantação da infraestrutura necessária para conclusão do PISF. Quanto ao crescimento das áreas agrícolas, as mesmas foram favorecidas pela agricultura irrigada desenvolvidas às margens do Reservatório de Itaparica (FLORESTA, 2020).

Já a ampliação dos recursos hídricos, deu-se pelo aumento no número dos reservatórios, como: reservatórios de Areias, Braúnas, Mandantes, Salgueiro e Muquém. Esses fazem parte da Meta Piloto 1L (16 km), que compreende a captação no reservatório de Itaparica até o reservatório Areias, ambos em Floresta, e parte da Meta 2L (167 km), que se

inicia na saída do reservatório Areias, em Floresta, e segue até o reservatório Barro Branco, em Custódia (BRASIL, 2016).

No último período, 1998 – 2018, a classe de vegetação que sofreu redução em suas áreas foi savana-estépica (15.234,94 ha; 23,60%). Em contrapartida, ocorreu acréscimo nas áreas de savana-estépica ciliar (1.228,46 ha; 1,90%), área antropizada e/ou descoberta (13.742,62 ha; 21,29%), área agrícola (211,03 ha; 0,33%) e recursos hídricos (52,84 ha; 0,08%).

Em relação ao aumento da classe recurso hídrico, como já exposto anteriormente, o que contribuiu para este fato foram os reservatórios de água favorecidos pelas obras do PISF. Conseqüentemente, devido ao crescimento das áreas úmidas, houve o acréscimo de vegetação ciliar. Além disso, principalmente nas proximidades do reservatório de Itaparica, houve um acréscimo nos ambientes de agricultura irrigada. As obras da transposição no eixo leste, estando já finalizadas em 2018, tiveram uma influência visível no aumento das áreas antropizadas no município de Floresta, o que também acarretou a redução das áreas de savana-estépica ciliar.

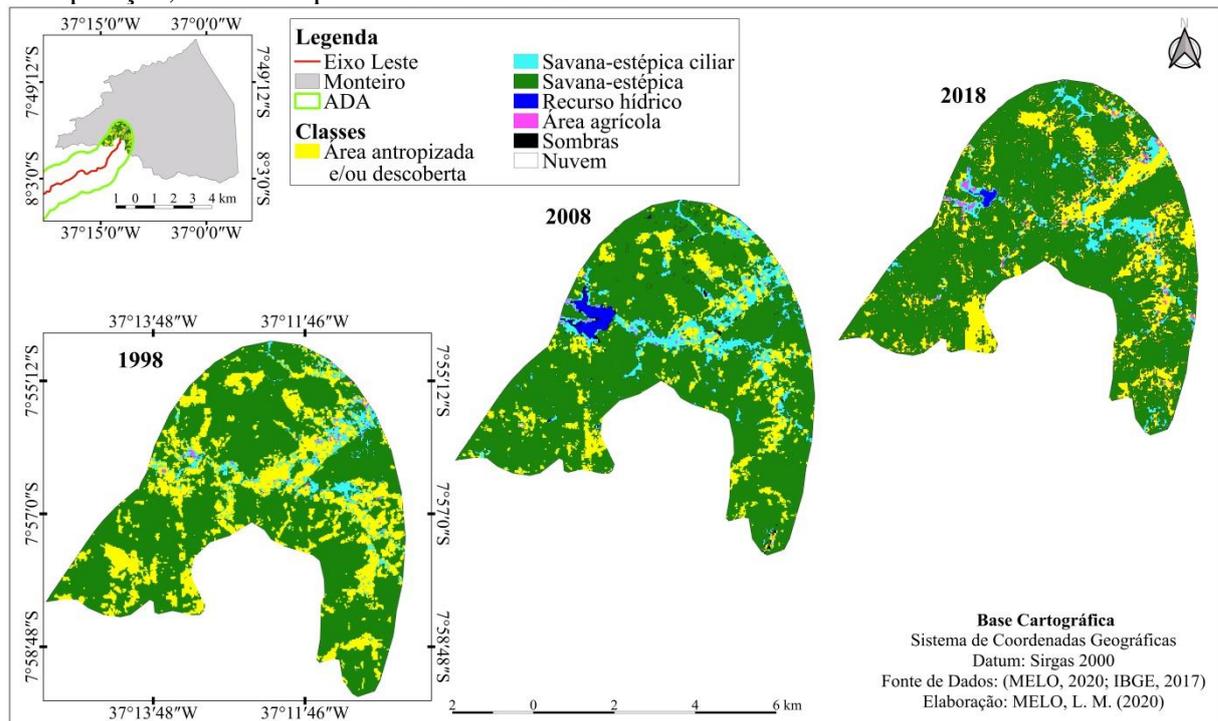
4.2.4 ADA em Monteiro

No município de Monteiro, no período de 1998 – 2008, houve acréscimos nas áreas de savana-estépica (184,18 ha; 4,77%), savana-estépica ciliar (209,82 ha; 5,43%) e recursos hídricos (48,15 ha; 1,25%), no entanto, houve redução da área antropizada e/ou descoberta (463,89 ha; 12,03 %) e área agrícola (1,93 ha; 0,05%) (Tabela 25 e Figura 10).

Tabela 25. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Monteiro-PB (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | | 2008 – 2018 | | 1998 – 2018 | |
|----------------------------------|-------------|--------|-------------|-------|-------------|-------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Savana-estépica | 184,18 | 4,77 | -150,98 | -3,91 | 33,20 | 0,86 |
| Savana-estépica ciliar | 209,82 | 5,43 | -146,27 | -3,78 | 63,54 | 1,64 |
| área antropizada e/ou descoberta | -463,89 | -12,00 | 337,67 | 8,74 | -126,22 | -3,27 |
| Área agrícola | -1,93 | -0,05 | 19,89 | 0,51 | 17,96 | 0,46 |
| Recurso hídrico | 48,15 | 1,25 | -36,63 | -0,95 | 11,52 | 0,30 |
| Nuvem | 3,60 | 0,09 | -3,60 | -0,09 | 0,00 | 0,00 |
| Sombra | 20,07 | 0,52 | -20,07 | -0,52 | 0,00 | 0,00 |

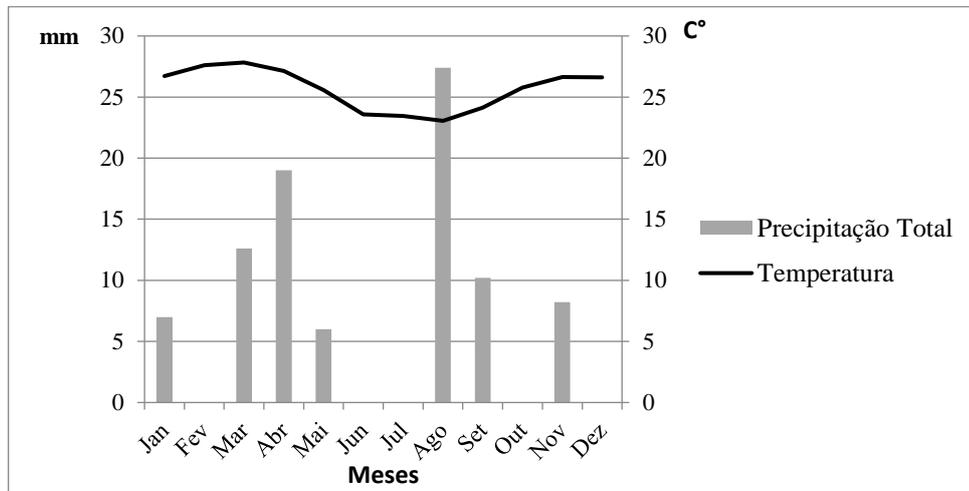
Figura 10. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Monteiro-PE.



No período de 1998 – 2008, enfatiza-se o aumento de áreas de savana-estépica e savana-estépica ciliar no ano de 2008, que foram favorecidos pelo aumento dos recursos hídricos no ambiente, o que, conseqüentemente, gerou a redução das áreas de antropizadas (solo exposto). O que contribuiu para o aumento dos recursos hídricos também foi a elevação do nível do Açude de Pocinhos que, desde 1997, encontrava-se seco e permaneceu assim em 1998 (ASSUNÇÃO, 2002). Quanto à redução das áreas agrícolas, é consequência da dinâmica dos períodos de plantio.

Um dos acontecimentos naturais que afetou o município de Monteiro foi a seca de 1998. A mesma ocasionou um colapso total no abastecimento de água do município, o que contribuiu para que o mesmo ficasse em um estado de calamidade. No ano supracitado, as precipitações foram irregulares, conforme visto na Figura 11. A precipitação em 1998 ficou abaixo da média do município que, para aquela década, era 454,8 mm. Além disso, por decorrência do déficit de chuvas em 1997, a situação foi agravada (ASSUNÇÃO, 2002).

Figura 11. Representação gráfica da precipitação total e temperatura em Monteiro/PB no ano de 1998



Fonte: (INMET, 2020).

Em relação ao período de 2008 – 2018, constatou-se a redução das áreas de savana-estépica (150,98 ha; 3,91%), savana-estépica ciliar (146,27 ha; 3,78%) e recursos hídricos (36,63 ha; 0,95%), no entanto, houve um acréscimo da área antropizada e/ou descoberta (337,67 ha; 8,74%) e área agrícola (19,89 ha; 0,51%). Neste período, com as reduções das áreas de vegetação e de recursos hídricos, foram ampliadas as áreas antropizadas, que também tiveram como contribuinte as obras da transposição.

No que se refere ao período de 1998 – 2018, houve acréscimos nas áreas de savana-estépica (33,20 ha; 0,86%), savana-estépica ciliar (63,54 ha; 1,64%) e recursos hídricos (11,52 ha; 0,30%). Entretanto, ocorreu diminuição nas áreas antropizadas e/ou descobertas (126,22 ha; 3,27 %) e agrícola (17,96 ha; 0,46%) (Tabela 25).

Mesmo havendo a implantação da infraestrutura da transposição, houve um aumento das áreas de Caatinga. Os ambientes antes degradados por ações antrópicas, que foram usados para fins pecuários e de ovinocaprinocultura, foram reduzidos com o decorrer do período, por terem sido deixados em desuso, o que favoreceu a regeneração da vegetação e o consequente preenchimento de alguns pontos.

Quanto ao aumento do recurso hídrico, o principal contribuinte foi o aumento da área do Açude Pocinhos, localizado na Região do Alto curso do Rio Paraíba. Este açude não está interligado com a transposição, portanto, o seu aumento nos anos estudados anula a suposição que a transposição contribuiu para esse reservatório. Outro fato que confirma o exposto é a chegada das águas da transposição ao município de Monteiro apenas a partir de março de 2017 (BRITO, 2019).

4.2.5 ADA em Petrolândia

O Eixo Leste do PISF não corta o município de Petrolândia, mas, dentro do mesmo, está incluída parte da ADA do eixo supracitado, sendo a mesma uma área de curta extensão, 8.059,32 ha, quando em comparação com toda a ADA do Eixo Leste. Em relação ao período de 1998 – 2008, nesse sucedeu a perda das classes savana-estépica (463,91 ha; 5,76%), área antropizada e/ou descoberta (477,44 ha; 5,92%), e recurso hídrico (171,23 ha; 2,12%), quanto às classes savana-estépica ciliar (705,39 ha; 8,75%), nuvem (256,06 ha; 3,18%) e sombra (233,29 ha; 2,89%), essas tiveram suas áreas acrescidas (Figura 12 e Tabela 26).

Figura 12. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Petrolândia-PE.

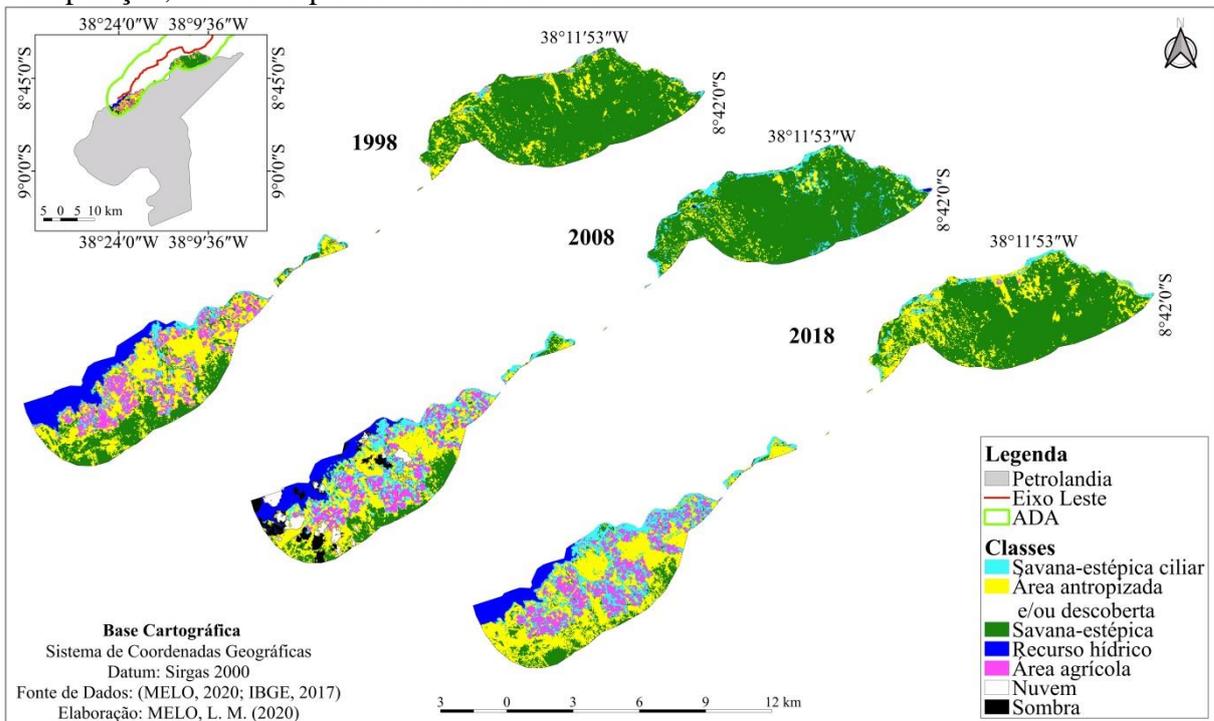


Tabela 26. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Petrolândia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | | 2008 – 2018 | | 1998 – 2018 | |
|----------------------------------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|--------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Savana-estépica | -463,91 | -5,76 | -355,03 | -4,41 | -818,93 | -10,16 |
| Savana-estépica ciliar | 705,39 | 8,75 | -144,46 | -1,79 | 560,94 | 6,96 |
| área antropizada e/ou descoberta | -477,44 | -5,92 | 810,61 | 10,06 | 333,17 | 4,13 |
| Área agrícola | -82,16 | -1,02 | 260,98 | 3,24 | 178,82 | 2,22 |
| Recurso hídrico | -171,23 | -2,12 | -82,76 | -1,03 | -253,99 | -3,15 |
| Nuvem | 256,06 | 3,18 | -256,06 | -3,18 | 0,00 | 0,00 |
| Sombra | 233,29 | 2,89 | -233,29 | -2,89 | 0,00 | 0,00 |

No ano de 1998, as precipitações em Petrolândia foram baixas, 80,6 mm, isso refletiu sobre a vegetação, o que causou a sua redução e o aumento de áreas sem cobertura. Contudo, em 2008, ano em que ocorreu a redução de savana-estépica, área antropizada e agricultura, o que deu espaço para que a savana-estépica ciliar fosse estabelecida na área. Além disso, as classes nuvens e sombra foram muito representativas no ambiente e encobriram as áreas de outras classes, que também gerou redução das mesmas.

No período de 2008 – 2018, houve o aumento das áreas antropizada e/ou descobertas (810,61 ha; 10,06%) e agrícolas (260,98 ha; 3,24%) e reduções nos locais de savana-estépica (355,03 ha; 4,41%), savana-estépica ciliar (144,46 ha; 1,79%) e recursos hídricos (82,76 ha; 1,03%).

A redução da área ocupada por recursos hídricos está relacionada às variações nos volumes dos reservatórios de Itaparica e efluente de Sobradinho, cujos volumes úteis foram reduzidos entre os anos de 2013-2014, quando comparados aos anos anteriores, sendo a queda no reservatório de Itaparica mais acentuada. Isto se explica pela redução real na vazão efluente do reservatório de Sobradinho a partir de janeiro de 2013, o que conseqüentemente diminuiu a vazão que chega ao reservatório de Itaparica. Ou seja, o período de 2013 a 2014, quando a vazão efluente do reservatório de Sobradinho foi reduzida, coincidiu também com os anos de menor percentual de volume útil nos reservatórios (ROSSITER, 2017).

Em relação às áreas antropizadas, apresentaram um aumento por decorrência do processo de ocupação das áreas próximas ao reservatório de Itaparica. O aumento da população neste ambiente foi favorecido pelo crescimento da agricultura, que tem como sua contribuinte os sistemas de irrigação (LUCENA; MEDEIROS, M. L.; ARAÚJO, 2017). Por consequência do aumento da população, da agricultura e dos ambientes antropizados, nesse ponto ADA houve a redução da savana-estépica.

Em relação ao último período, 1998 – 2018, as classes savana-estépica (818,93 ha; 10,16%) e recurso hídrico (253,99 ha; 3,15%) sofreram reduções, já as classes Savana-estépica ciliar (560,94 ha; 6,96%), área antropizada e/ou descoberta (333,17 ha; 4,13%) e área agrícola (178,82 ha; 2,22%) tiveram acréscimos em seus ambientes.

Como exposto anteriormente, os assentamentos humanos e atividades agrícolas acarretaram aumento nas áreas antropizadas, por conseguinte, reduziram as áreas de vegetação nativa. Porém, com a redução das áreas de recursos hídricos, houve o aumento das áreas de solo exposto, assim, contribuindo para o aumento área da savana-estépica ciliar.

4.2.6 ADA em Sertânia

Sertânia é o terceiro município com maior quantitativo de área ocupada pelas obras no Eixo Leste da transposição do Rio São Francisco em Pernambuco, cuja área ocupada pela ADA é de 39.345,18 ha. A ADA de Sertânia, no período de 1998-2008, apresentou perdas nas classes de savana-estépica (246,0 ha; 0,6%), área antropizada (739,9 ha; 1,9%) e área agrícola (179,7 ha; 0,5). As classes que apresentaram ganhos em suas extensões foram savana-estépica ciliar (971,9 ha; 2,5) e recursos hídricos (46,2 ha; 0,1%) (Figura 13 e Tabela 27).

Figura 13. Classes de uso e cobertura da terra, na Área Diretamente Afetada pela transposição, no município de Sertânia-PE.

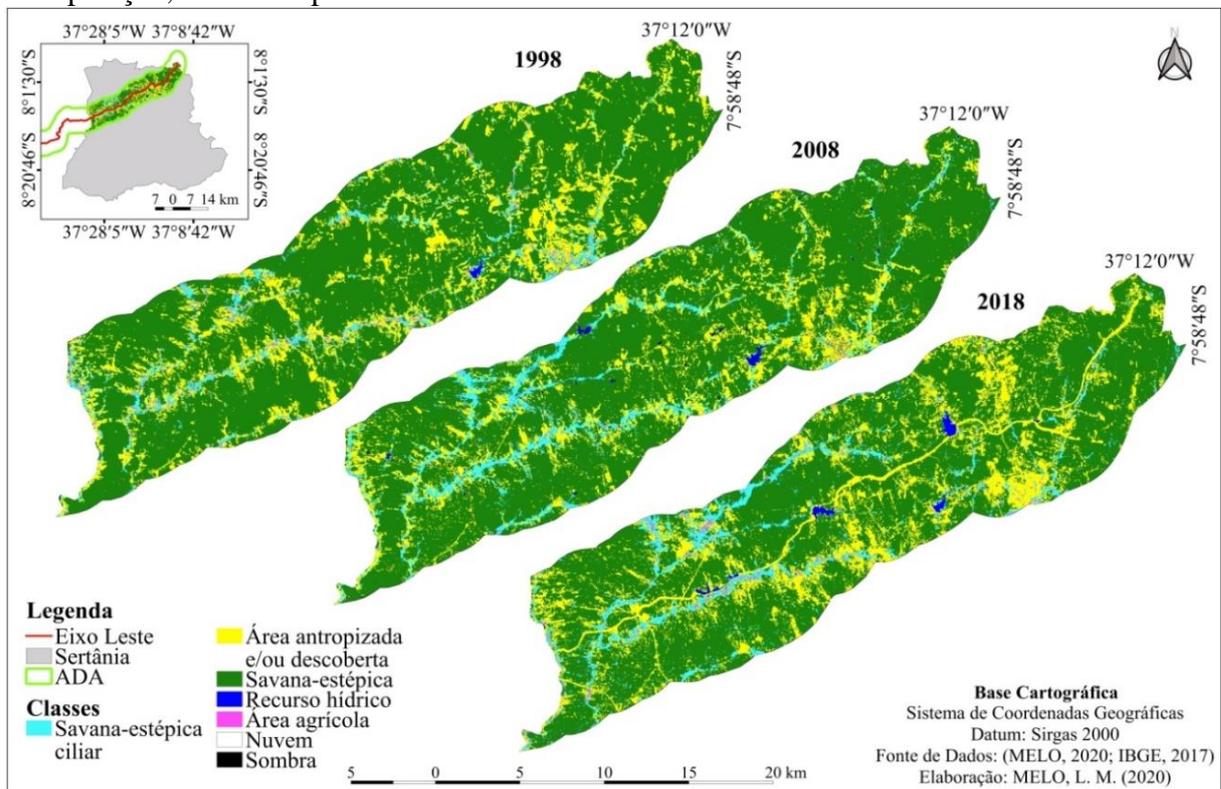


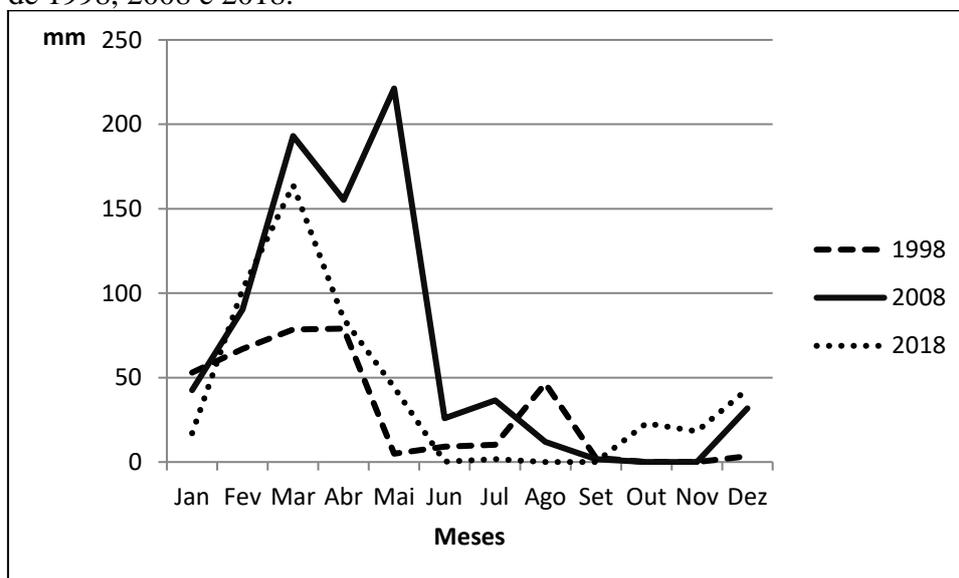
Tabela 27. Adições e perdas nas diferentes classes de uso e cobertura da terra na Área Diretamente Afetada pela transposição no município de Sertânia-PE (Eixo Leste), nos períodos de 1998 a 2008, 2008 a 2018 e 1998 a 2018.

| CLASSES | 1998 – 2008 | | 2008 – 2018 | | 1998 – 2018 | |
|----------------------------------|-------------|------|-------------|------|-------------|------|
| | ha | % | ha | % | ha | % |
| Savana-estépica | -246,0 | -0,6 | -1.349,6 | -3,4 | -1.595,5 | -4,1 |
| Savana-estépica ciliar | 971,9 | 2,5 | -305,0 | -0,8 | 666,9 | 1,7 |
| Área antropizada e/ou descoberta | -739,9 | -1,9 | 1.561,9 | 4,0 | 822,0 | 2,1 |
| Área agrícola | -179,7 | -0,5 | 139,9 | 0,4 | -39,8 | -0,1 |
| Recurso hídrico | 46,2 | 0,1 | 100,2 | 0,3 | 146,4 | 0,4 |
| Nuvem | 56,7 | 0,1 | -56,7 | -0,1 | 0,0 | 0,0 |
| Sombra | 90,8 | 0,2 | -90,8 | -0,2 | 0,0 | 0,0 |

De acordo Leal *et al.* (2000), analisando-se o ano de 1998, o índice pluviométrico foi muito baixo, caracterizando uma das maiores secas do século na região. Isso pode ser notado por meio da média dos valores pluviométricos mensais para Sertânia, que foram obtidos a partir de postos de precipitação próximos, os quais expressaram que, em 1998, a precipitação foi de 354,30 mm (Figura 14). Conseqüentemente, as áreas de savana-estépica não foram tão expressivas, as quais se mostraram em menores porcentagens em relação a 2008. Além disso, houve redução no quantitativo dos recursos hídricos, que também foi afetado pelas reduções das precipitações.

Ao analisar o ambiente da ADA de Sertânia como um todo, houve redução da savana-estépica e aumento de áreas descobertas. Todavia, ao se fazer uma análise em pontos específicos do ambiente de estudo, em 2008, a pluviosidade foi 810,45 mm (Figura 14), mais do que o dobro do que o ano de 1998, o que colaborou para o aumento dos recursos hídricos e para o acréscimo em 2,5% da vegetação ciliar nas áreas de drenagem, logo, isso ocasionou a redução das áreas descobertas em 2008.

Figura 14. Representação gráfica das precipitações para o município de Sertânia-PE nos anos de 1998, 2008 e 2018.



Fonte: (APAC, 2020)

No período de 2008 – 2018, ocorreu a redução de savana-estépica (1.349,6 ha; 3,4%) e savana-estépica ciliar (305,0 ha, 0,8%). As classes que adquiriram aumento em suas áreas foram área antropizada (1.561,9 ha; 4,0%), área agrícola (139,9 ha; 0,4%) e recursos hídricos (100,2 ha; 0,3%).

Em relação a esse período de dez anos, ocorreu o estabelecimento de reservatórios de água ao longo do Eixo Leste da transposição, logo, resultou no aumento das áreas de recursos hídricos. Dentre os reservatórios existentes na região, foram estruturados, pelas obras do PISF, os reservatórios Moxotó, Barreiros, Campos e Barro Branco (BRASIL, 2005, 2016).

Juntamente com essas obras, houve o estabelecimento de toda a infraestrutura da transposição, o que contribuiu para o grande quantitativo de áreas antropizadas na ADA do município de Sertânia, levando em consideração que o eixo em estudo corta este ambiente. Também, por decorrência deste empreendimento, houve a redução das áreas de savana-estépica e savana-estépica ciliar. Quanto ao aumento das áreas agrícolas, de acordo com dados do IBGE (2006, 2017), no ano de 2006, as áreas dos estabelecimentos agropecuários eram de 118.856 ha, mas em 2017 foi de 146.121 ha, o que embasa o crescimento gradual da área agrícola.

Em relação ao último período, 1998 – 2018, ocorreu um aumento nas áreas de recursos hídricos (146,4 ha, 0,4%), área antropizada (822,0 ha; 2,1%) e savana-estépica ciliar (666,9 ha; 1,7%). Já as classes Savana-estépica (1.595,5 ha; 4,1%) e área agrícola (39,8 ha; 0,1 %) apresentaram decréscimos em seus resultados.

Durantes os 20 anos de análise, constatou-se o aumento das áreas antropizadas e redução dos locais de savana-estépica, que tiveram como uma das mais relevantes atividades para este quadro, as obras do PISF. No entanto, também se devem levar em consideração as atividades de produção da extração silvicultura, como o carvão. Este subproduto da madeira, no ano de 2008, teve uma produção de 1.800 t, já em 2018, a sua produção foi de 1.500 t (IBGE, 2019). No entanto, estas produções são legalizadas, mas há atividades que realizam o corte de árvores com o fim de obter a lenha e carvão irregularmente (SIVA, 2009).

Também foi ocasionado o aumento dos recursos hídricos em 2018, quando em comparação com 1998, que foi um ano de seca drástica para a região. Já a agricultura, pode ter sido expressa em valores reduzidos pela variação da produção durante o ano. Já a savana-estépica ciliar, teve como contribuinte para o aumento das suas áreas, o crescente número de locais de recursos hídricos.

4.3 ESTRUTURA DA PAISAGEM

Ao analisar a estrutura da paisagem, verificou-se a dinâmica da fragmentação florestal da ADA do Eixo Leste, no período de 1998 – 2018, para as formações vegetais de savana-estépica e savana-estépica ciliar (Tabela 28 e Figuras 15-17).

Figura 15. Cobertura vegetal, nos anos de 1998 – 2018, na ADA referente ao trecho de 0 km – 97,5 km do Eixo Leste do PISF.

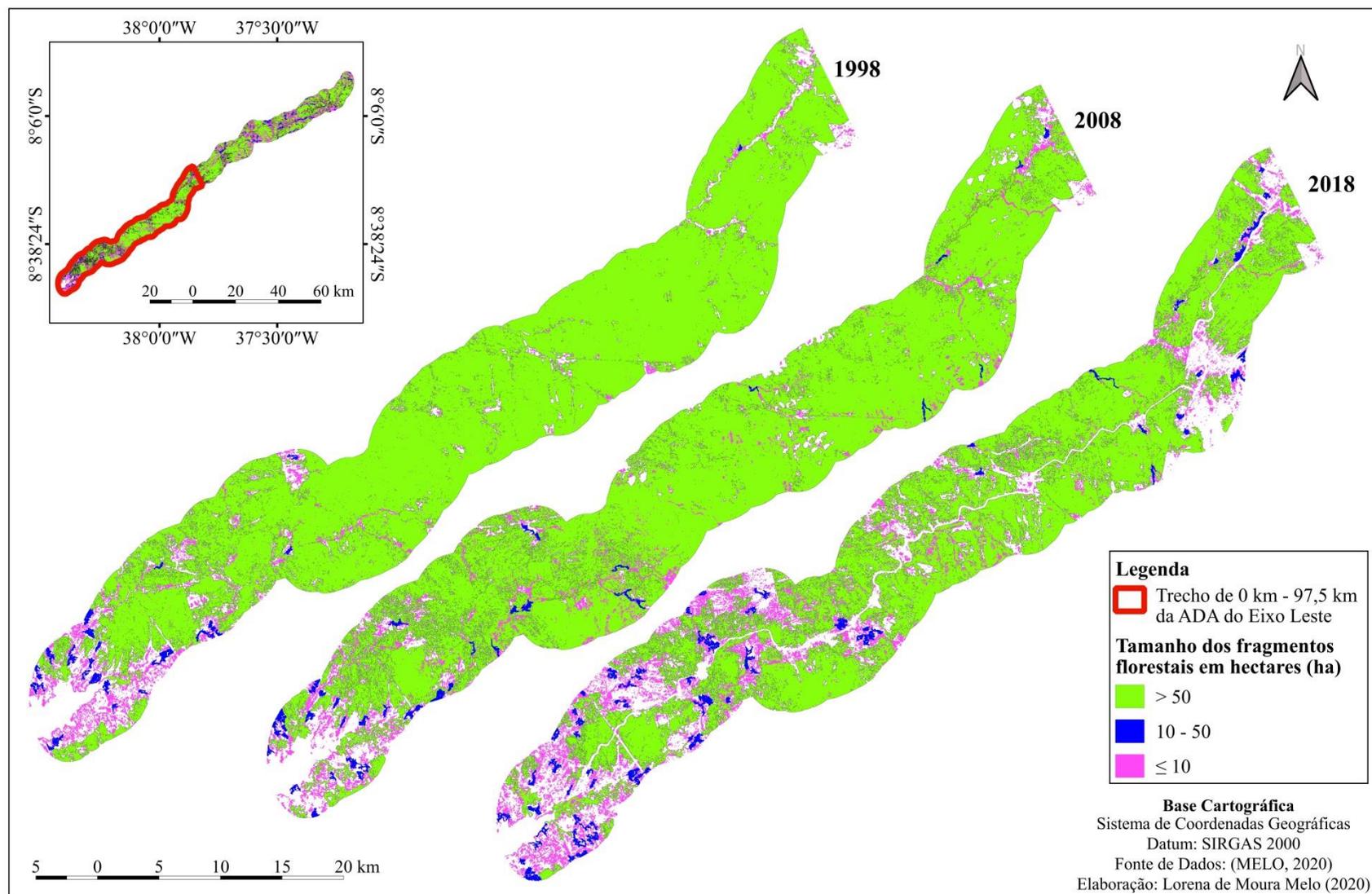


Figura 16. Cobertura vegetal, nos anos de 1998 – 2018, na ADA referente ao trecho de 97,5 km – 195 km do Eixo Leste do PISF.

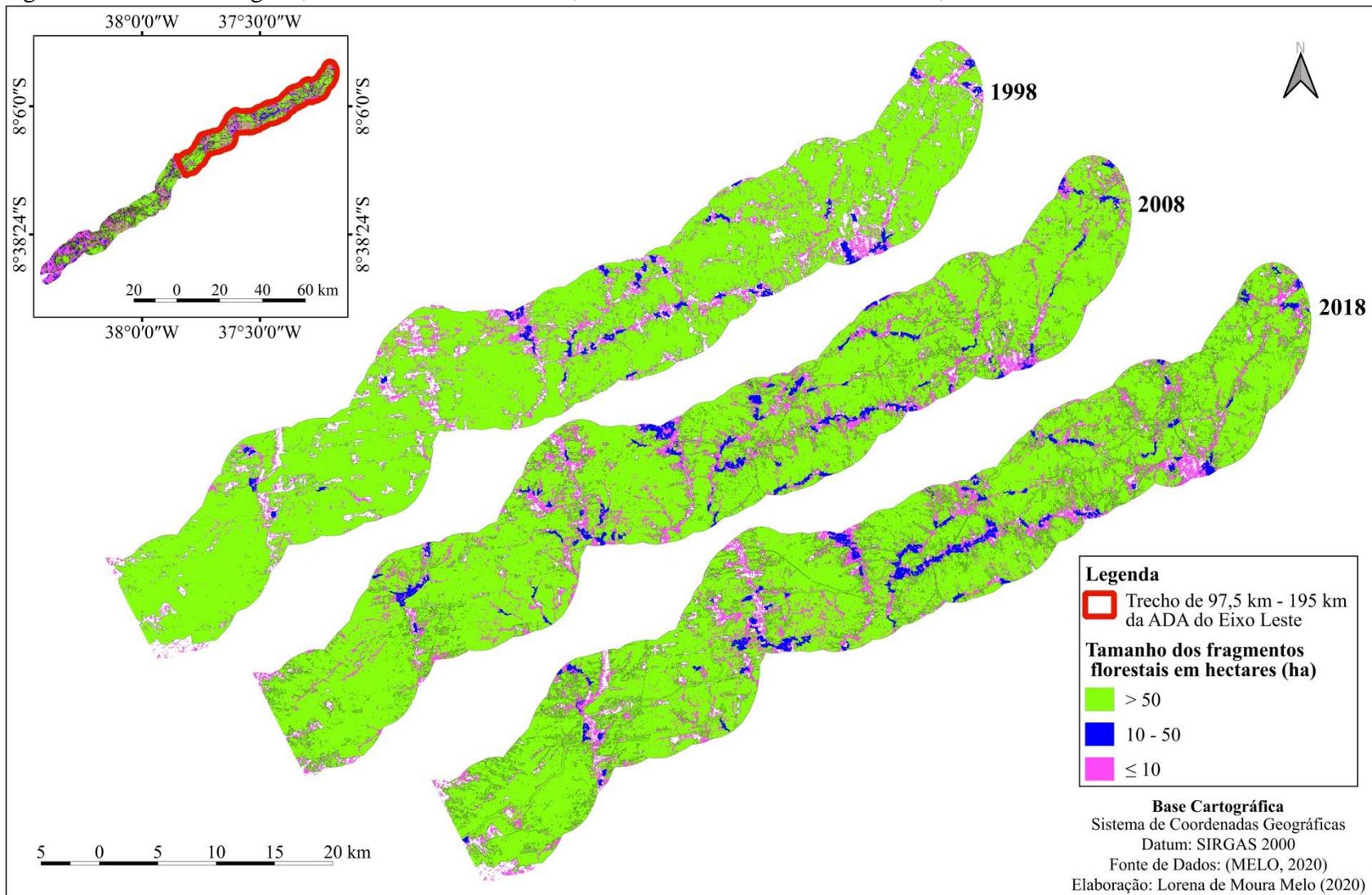
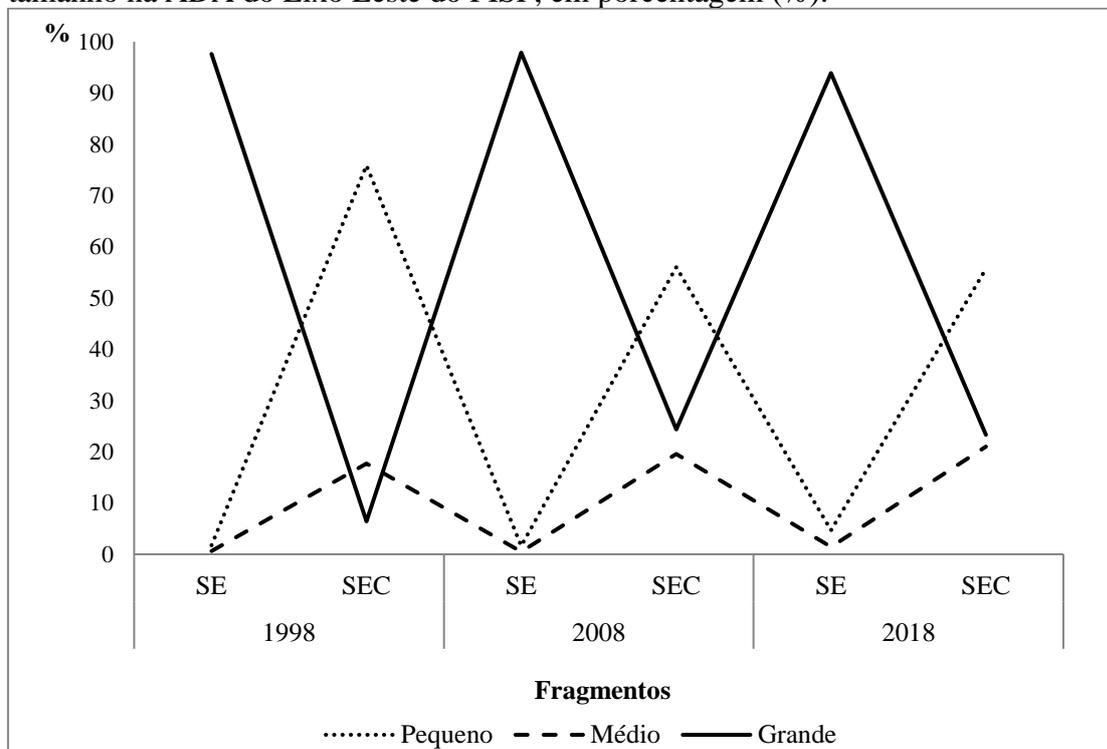


Tabela 28. Dinâmica da distribuição dos fragmentos em classes de tamanho na ADA do Eixo Leste do PISF.

| Ano | Classe | Parâmetro quantitativo | Tamanho da Classe | | | Total |
|------|--------|------------------------|-------------------|----------|------------|------------|
| | | | Pequeno | Médio | Grande | |
| 1998 | SE | QF | 7.584,00 | 39,00 | 14,00 | 7.637,00 |
| | | Área (ha) | 2.382,39 | 840,69 | 131.812,33 | 135.035,41 |
| | | % | 1,76 | 0,62 | 97,61 | 100,00 |
| | SEC | QF | 11.413,00 | 41,00 | 2,00 | 11.456,00 |
| | | Área (ha) | 3.386,34 | 790,29 | 286,92 | 4.463,55 |
| | | % | 75,87 | 17,71 | 6,43 | 100,00 |
| 2008 | SE | QF | 6.920,00 | 33,00 | 21,00 | 6.974,00 |
| | | Área (ha) | 2.142,09 | 657,18 | 128.602,89 | 131.402,16 |
| | | % | 1,63 | 0,50 | 97,87 | 100,00 |
| | SEC | QF | 14.780,00 | 85,00 | 22,00 | 14.887,00 |
| | | Área (ha) | 5.183,73 | 1.812,87 | 2.254,95 | 9.251,55 |
| | | % | 56,03 | 19,60 | 24,37 | 100,00 |
| 2018 | SE | QF | 16.041,00 | 84,00 | 44,00 | 16.169,00 |
| | | Área (ha) | 5.219,46 | 1.638,72 | 105.423,15 | 112.281,33 |
| | | % | 4,65 | 1,46 | 93,89 | 100,00 |
| | SEC | QF | 11.971,00 | 84,00 | 12,00 | 12.067,00 |
| | | Área (ha) | 4.249,44 | 1.602,63 | 1.780,74 | 7.632,81 |
| | | % | 55,67 | 21,00 | 23,33 | 100,00 |

Onde: SE - Savana-estépica; SEC - Savana-estépica ciliar; QF - Quantidade de Fragmentos

Figura 17. Representação gráfica da dinâmica da distribuição dos fragmentos em classes de tamanho na ADA do Eixo Leste do PISF, em porcentagem (%).



Onde: SE - Savana-estépica; SEC - Savana-estépica ciliar; QF - Quantidade de fragmentos.

A savana-estépica apresentou, no ano de 1998, um quantitativo de 135.035,41 ha de fragmentos florestais. Neste ano, os pequenos fragmentos (≤ 10 ha) corresponderam a 1,76% da sua área, os médios (>10 ha e ≤ 50 ha) 0,62%, e os grandes (>50) 97,61%. No que diz respeito a 2008, a savana-estépica apresentou uma área de 131.402,16 ha, dos quais 1,63% foram pequenos, 0,50% médios e 97,8% grandes. Já em 2018, sua área total foi de 112.281,33 ha, onde 4,65% são pequenos, 1,46% são médios e 93,89% são grandes.

Quanto à savana-estépica ciliar, no ano de 1998, apresentou uma área total de 4.463,55 ha de fragmentos, na qual os pequenos representam 75,87%, os médios 17,71% e os grandes 6,43%. Em relação a 2008, a sua área em hectares foi de 9.251,55 ha, sendo 56,03% do seu território constituído de pequenos fragmentos, 19,60% de médios e 24,37% de grandes. Quanto ao ano de 2018, essa classe de vegetação apresentou 7.632,81 ha, dos quais 55,67% são pequenos fragmentos, 21% são médios e 23,33 são grandes.

Iniciando-se a análise da dinâmica no período de 1998 – 2008, constatou-se que a savana-estépica apresentou redução dos fragmentos pequenos (240,30 ha), médios (183,51 ha) e grandes (3.209,44 ha). Já a savana-estépica ciliar obteve aumento em todas as modalidades de fragmentos, pequenos (1.797,39), médios (1.022,58) e grandes (1.968,03) (Tabela 29).

Tabela 29. Diferenças entre os quantitativos de fragmentos florestais entre os anos de 1998 – 2008, 2008 – 2018 e 1998 – 2018 na ADA do Eixo Leste do PISF.

| Período | Classes | Parâmetro quantitativo | Tamanho da Classe | | |
|-------------|---------|------------------------|-------------------|----------|------------|
| | | | Pequeno | Médio | Grande |
| 1998 – 2008 | SE | QF | -664,00 | -6,00 | 7,00 |
| | | Area (ha) | -240,30 | -183,51 | -3.209,44 |
| | | (%) | -0,13 | -0,12 | 0,26 |
| | SEC | QF | 3.367,00 | 44,00 | 20,00 |
| | | Area (ha) | 1.797,39 | 1.022,58 | 1.968,03 |
| | | (%) | -19,84 | 1,89 | 17,95 |
| 2008 – 2018 | SE | QF | 9.121,00 | 51,00 | 23,00 |
| | | Area (ha) | 3.077,37 | 9.81,54 | -23.179,74 |
| | | (%) | 3,02 | 0,96 | -3,98 |
| | SEC | QF | -2.809,00 | -1,00 | -2.242,95 |
| | | Area (ha) | -934,29 | -210,24 | -474,21 |
| | | (%) | -0,36 | 1,40 | -1,04 |
| 1998 – 2018 | SE | QF | 8.457,00 | 45,00 | 30,00 |
| | | Area (ha) | 2.837,07 | 798,03 | -26.389,18 |
| | | (%) | 2,88 | 0,84 | -3,72 |
| | SEC | QF | 558,00 | 43,00 | 10,00 |
| | | Area (ha) | 863,10 | 812,34 | 1.493,82 |
| | | (%) | -20,19 | 3,29 | 16,90 |

Onde: SE - Savana-estépica; SEC - Savana-estépica ciliar; QF - Quantidade de fragmentos.

As reduções dos pequenos e médios fragmentos da savana-estépica, no período de 1998 – 2008, estão relacionadas com a supressão vegetal para fins agropecuários e ampliação de assentamentos populacionais. Além disso, existiu a integração desses fragmentos entre si, o que favoreceu ao aumento em número de fragmentos maiores, de 14 para 21 unidades no período, no entanto, a soma da área desses 21 fragmentos foi inferior ao ano de 1998.

Um aspecto que deve ser frisado é a seca de 1998, que ocorreu de forma severa e apresentou uma variação de precipitação anual de 100 e 300 mm, na ADA em análise (SALES, 2001). Este evento climático contribuiu para que as áreas de savana-estépica e savana-estépica ciliar se apresentassem reduzidas, o que favoreceu a sua fragmentação. Após isso, no ano 2008, ocorreram precipitações que chegaram a 512 mm (AGRITEMP, 2020), o que acarretou um aumento de áreas de savana-estépica ciliar. Decorrente disso, houve um crescimento dessa vegetação nos ambientes de drenagem, os quais tinham sido classificados como área antropizada e/ou descoberta em 1998. Isso ocasionou a redução das áreas antropizadas. Além disso, neste período, por influência do aumento da pluviosidade, houve também o aumento de fragmentos de tamanho maior, decorrentes da fusão entre unidades menores.

De 2008 – 2018, savana-estépica teve acréscimos de fragmentos pequenos (3.077,37 ha) e médios (981,54 ha) e redução dos fragmentos grandes (23.179,74 ha). Quanto à savana-estépica ciliar, apresentou redução em todas as suas classes, pequenas (934,29 ha), médias (210,24 ha) e grandes (474,21).

O aumento de fragmentos de menores dimensões, associado à redução dos fragmentos de maiores dimensões na savana-estépica e à redução de todas as modalidades de fragmentos na savana-estépica ciliar, é reflexo do aumento das obras da transposição, que, por consequência do desmatamento gerado a partir da instalação do eixo, além das áreas dos reservatórios, canteiros de obras e estradas de acesso e nos locais de extração de terra e pedra, ocasionaram a perda e fragmentação de áreas de vegetação nativa e de habitats de fauna terrestre (BRASIL, 2004).

Além dos impactos do PISF sobre a vegetação, a supressão vegetal da Caatinga ocorre basicamente sob três formas: desmatamento legal, autorizado pelos órgãos competentes, para fins de uso alternativo do solo (agricultura, pastagem); manejo florestal sustentável, autorizado pelos órgãos competentes, para fins de produção madeireira; e desmatamento ilegal, para fins de uso alternativo do solo e produção madeireira (PAREYN, 2010).

Esses aspectos também ocasionaram impactos no período de 1998 – 2018, no qual a savana-estépica apresentou redução no quantitativo dos fragmentos grandes (26.389,18 ha) e aumento dos pequenos (2.837,07 ha) e médios (798,03). Em relação à savana-estépica ciliar, teve um aumento em todas as classes de fragmentos, pequenos (863,10 ha), médios (812,34 ha) e grandes (1.493,82). Esse aumento nas áreas de todas classes da vegetação ciliar foi resultante do aumento do volume de chuvas em 2018, em relação a 1998 (ano de seca). Quanto à relação entre o número de fragmentos e a área que eles ocupam, viu-se que é inversamente proporcional, isto é, os fragmentos da classe de tamanhos pequenos apresentaram maior número de manchas (FERNANDES; FERNANDES, 2017). Estes fragmentos menores tendem a sofrer alterações no ambiente, tornando-se diferentes do hábitat original devido à influência do efeito de borda, já os maiores, possuem uma proporção substancial de área interior, assim, sendo protegidos de alterações ambientais e bióticas associadas à borda (ALMEIDA, 2008; HOFMEISTER, 2019).

Deve-se ressaltar que, mesmo as pequenas manchas apresentando tais características, não diminuem a sua importância ecológica, uma vez que as literaturas são unânimes quando consideram a importância dos pequenos fragmentos enquanto trampolins para espécies que migram e/ou se locomovem para fragmentos próximos, além de serem incluídos em estratégias que visam à conectividade florestal (SILVA; SOUZA, 2014). Assim, esses fragmentos, principalmente quando próximos dos grandes núcleos de biodiversidade, cumprem funções relevantes ao longo da paisagem. Em longo prazo, podem expandir-se, tornando-se ainda mais importantes (FARIA et al., 2017).

Dando continuidade à análise espacial da paisagem, foram obtidos os resultados contidos na Tabela 30, referentes às métricas em suas diferentes categorias.

Tabela 30. Valores das métricas referentes às classes de vegetação, savana-estépica e savana-estépica ciliar, na ADA do Eixo Leste do PISF, para os anos de 1998, 2008 e 2018.

| Ano | Classe | Forma | | Borda | | Fragmentos | Área | Área Central | |
|------|--------|-------|------|---------------|--------|------------|------------|--------------|------------|
| | | MSI | MPFD | TE | ED | NP | CA | NCA | TCA |
| 1998 | SE | 1,27 | 1,40 | 8.857.980,00 | 63,50 | 7637,00 | 135.035,00 | 1.757,00 | 100.295,00 |
| | SEC | 1,26 | 1,40 | 2.896.140,00 | 20,76 | 11.456,00 | 4463,55 | 208,00 | 157,77 |
| 2008 | SE | 1,28 | 1,40 | 11.570.300,00 | 82,26 | 6.974,00 | 131.402,00 | 3.502,00 | 83.197,20 |
| | SEC | 1,28 | 1,40 | 4.804.380,00 | 34,16 | 14.887,00 | 9251,55 | 849,00 | 471,16 |
| 2018 | SE | 1,30 | 1,40 | 15.672.600,00 | 130,70 | 16.169,00 | 112.281,00 | 3.171,00 | 57.355,90 |
| | SEC | 1,29 | 1,40 | 3.938.640,00 | 32,85 | 12.067,00 | 7632,81 | 650,00 | 435,53 |

Em que: Classes: SE – Savana-estépica; SEC- Savana-estépica ciliar. Métricas: MSI – Índice de Forma Médio; FRAC - Dimensão Fractal; TE - Total de Bordas; ED: Densidade de Bordas; NP – Número de Fragmentos; CA – Área da Classe (ha); NCA – Número de Áreas Centrais; TCA – Área Central Total.

Como forma de avaliar a forma dos fragmentos, foram aplicadas as métricas MSI e MPFD. A métrica MSI indica o quanto a forma do fragmento se aproxima de uma circunferência, que terá valor mínimo igual a 1 (OLIVEIRA, 2015). Para a savana estépica, os valores dessa métrica variaram de 1,27 a 1,29 e, para a savana-estépica ciliar, variou de 1,26 a 1,29, no período de 20 anos. Essas modalidades de classes, com o decorrer dos anos, foram gradualmente obtendo características de irregularidade de forma, mesmo que de maneira mínima.

Além disso, é visto que houve o aumento do número de fragmentos (fragmentação das áreas florestais) e redução das áreas das classes, assim, gerando um aumento dos valores de TE e DE. Levando em consideração que, no decorrer dos 20 anos, houve um aumento de pequenos fragmentos na savana-estépica, sendo a representação da mesma, em 1998, de 1,76% de pequenos fragmentos, em 2008 por 1,63% e em 2018 por 4,65%.

Já a savana-estépica ciliar apresentou, de 1998 – 2008, um aumento em suas áreas, o que não ocasionou aproximação no valor de 1 no MSI, mas um distanciamento deste valor, expondo que os fragmentos tenderam para a irregularidade. Em 2018, ocorreu a redução de todos os tipos fragmentos, também havendo um aumento nos valores de MSI. Em ambos os casos, os acréscimos nos valores de TE e DE foram graduais o que, conseqüentemente, contribuiu para o efeito de borda.

Com a crescente fragmentação de uma área, maior é o aumento das áreas de borda de um habitat, que está conexo com os impactos dos efeitos de borda. O aumento ou redução do efeito de borda está relacionado à forma do fragmento, sendo maior a borda quanto mais irregular o formato, estando este diretamente ligado à relação entre o perímetro e a área; quanto menor essa relação, menor também será a borda e vice-versa, fragmentos de formatos mais regulares têm a razão borda área minimizada e, portanto, o centro da área está mais distante das bordas. Assim, a área central encontra-se isolada dos fatores externos, enquanto fragmentos de formatos mais irregulares têm maior proporção de bordas, fazendo com que ocorra maior interação com a matriz, o que, com o tempo, irá influenciar a qualidade da estrutura desses ecossistemas (PIROVANE, 2014).

Quanto às análises das áreas centrais, em 1998 – 2008, observa-se a redução tanto do número de áreas centrais como da área central total na savana-estépica, o que pode ser explicado pelo avanço das atividades antrópicas na região, causando uma crescente fragmentação, o que é refletido nos valores mais elevados de ED e TE. Em relação à savana-estépica ciliar, apresentou acréscimos no NCA e TCA de 1998 – 2008, reflexo da ampliação

territorial dessa vegetação neste período. Em 2018, essa vegetação volta a perder proporção de área, o que favorece a redução das métricas mencionadas. O favorecimento disso está relacionado ao aumento da fragmentação florestal que, conseqüentemente, contribui para o acréscimo do efeito de borda e a redução da área central dos fragmentos, influenciando negativamente na qualidade da estrutura dos ecossistemas (HENTZ, 2015).

Dentro da área estudada, viu-se que, durante os 20 anos, houve um aumento da fragmentação florestal e um conseqüente aumento de pequenos fragmentos, tais fatos corroboram com os resultados referentes às métricas de área central, os quais demonstram que, com a redução do tamanho do fragmento, há uma tendência de perda da área central devido ao efeito de borda. Fragmentos menores que 10 ha devem ser priorizados para medidas para aumentar sua área, como reflorestamento ou isolamento da área. Dessa forma, pode-se considerar que os fragmentos maiores, que apresentam maiores valores de área central, estão mais protegidos e são melhores abrigos para as comunidades vegetais e animais, o que é extremamente importante, especialmente para espécies com alta demanda de área (PIROVANI; SILVA; SANTOS, 2015; SANTOS et al, 2018).

5. CONCLUSÕES

Por meio da presente pesquisa foi possível analisar e quantificar os diferentes usos do solo na Área Diretamente Afetada do Eixo Leste, pertencente ao Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional ao longo de 20 anos.

Durante este período, a cobertura vegetal de savana-estépica apresentou uma redução 13,86%. No entanto, ocorreram adições nas áreas de savana-estépica ciliar, recursos hídricos, área agrícola e área antropizada e/ou descoberta em 1,93%, 0,11%, 0,31% e 11,51%, respectivamente.

A redução da área de savana-estépica se deu pelo consequente aumento de áreas antropizadas, as quais foram intensificadas por decorrência do avanço das obras da transposição do Rio São Francisco.

Por consequência da transposição, também houve um acréscimo de áreas de recursos hídricos, devido ao aumento do número de reservatórios de água na região, o que também favoreceu a adição de áreas agrícolas. Já vegetação ciliar, cresceu em área, devido às melhorias nas condições climáticas.

O município de Floresta foi o que mais sofreu alterações em sua composição florestal. Este apresentou -15.234,94 ha (-23,60%) de savana-estépica e, além disso, engloba em seu território 39,36% da Área Diretamente Afetada (ADA) pelo Eixo Leste.

A fragmentação florestal presente na área estudada, após os 20 anos, foi expressa pela redução dos grandes fragmentos (26.389,18 ha) e aumento dos pequenos (2.837,07 ha) e médios (798,03). Em relação à savana-estépica ciliar, apresentou oscilação no tamanho dos fragmentos, por decorrência das variações climáticas e intervenções humanas. Quanto à redução no tamanho dos fragmentos, a mesma contribuiu negativamente para as áreas centrais, pois favoreceu o efeito de borda.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Espera-se que os resultados obtidos nesta pesquisa possam contribuir para futuros estudos relacionados ao monitoramento das áreas da Caatinga, principalmente, àquelas afetadas pelas obras Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF).

Visto que esta pesquisa realizou análises nas Áreas Diretamente Afetadas (ADAs) pelo Eixo Leste do PISF, recomenda-se executar estudos semelhantes no Eixo Norte deste empreendimento, a fim de fazer comparativos entre os eixos em relação aos diferentes usos do solo. E também efetivar análises temporais de uso e cobertura da terra, levando em consideração outros anos, com o intuito de analisar diferentes aspectos das localidades.

Além de terem sido realizados estudos sobre a estrutura da paisagem, por meio dos quais foram evidenciadas a quantidade e qualidade das manchas florestais considerando principalmente, o tamanho e forma dos fragmentos e suas áreas core, sugere-se avaliar, por município, a composição e diversidade florística, bem como a agregação de espécies e similaridade nos fragmentos florestais, com diferentes conformações e graus de isolamento, com o fim de compreender as relações espaciais e as dinâmicas florestais.

Além destes aspectos, também podem ser efetivadas pesquisas que relacionem o PISF ao fluxo gênico, aos impactos sociais da transposição e às interferências nos comportamentos de animais vertebrados e invertebrados.

7. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná.** 2008. 72 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Caminhos de Geografia**, v. 9, n. 27, nov. 2008.
- ANDRADE, R. **Da transposição das águas do rio São Francisco à revitalização da bacia:** as várias visões de um rio. 'Águas para a vida!' Assim gritam as vozes que vivem na bacia do Velho Chico. Fórum Permanente de Defesa do São Francisco - International Rivers Network - Coalizão Rios Vivos, 2002.
- ANTONGIOVANNI, M.; VENTICINQUE, E. M.; FONSECA, C. R. Fragmentation patterns of the Caatinga drylands. **Landscape Ecology**, v. 33, p. 1353-1367, 2018.
- APAC - Agência Pernambucana de Águas e Climas. **Monitoramento pluviométrico.** Disponível em: <<http://www.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.p>>. Acesso: 31 jan 2020.
- ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 59, n. 2, Agosto 2007.
- ASSUNÇÃO, V. L. B. S. **Seca, sertão e êxito a experiência em Monteiro PB de 1998 a 2000.** Dissertação de Mestrado (Mestrado Profissional e em Gestão Pública para o Desenvolvimento do Nordeste do Brasil) - Universidade Federal de Pernambuco, 2000.
- BACANI, V. M. et al. Sensoriamento remoto e SIG aplicados à avaliação da fragilidade ambiental de bacia hidrográfica. **Mercator** (Fortaleza), v. 14, n. 2, p. 119-135, 2015.
- BARROS, A. C.; SILVA, T. J.; Costa, D. M. Sensoriamento remoto na análise ambiental da Microbacia do Córrego da Água Amarela, Itaberá/SP. **Holos Environment**, v. 16, n. 1, p. 27-35, 2016.
- BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Pernambuco:** Diagnóstico do Município de Floresta. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005a.
- BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Pernambuco:** Diagnóstico do Município de Custódia. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005b.
- BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Pernambuco:** Diagnóstico do Município de Betânia. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005c.

BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Pernambuco**: Diagnóstico do Município de Sertânia. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005d.

BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Pernambuco**: Diagnóstico do Município de Petrolândia. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005e.

BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Paraíba**: Diagnóstico do Município de Monteiro. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005f.

BELTRÃO, B. A. et al. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea, Estado de Pernambuco**: Diagnóstico do Município de Orocó. Recife: Ministério de Minas e Energia, 2005h.

BEZERRA, C. G. et al. Estudo da fragmentação florestal e ecologia da paisagem na sub-bacia hidrográfica do córrego Horizonte, Alegre, ES. **Revista Espaço e Geografia**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 257:277, 2011.

BOULOMYTIS, V. T. G.; ALVES, C. D. Classificação de imagens TM5-Landsat com análise orientada a objeto para a verificação da expansão urbana de Bueno Brandão, MG. **Anais do Simpósio Brasileiro de Remoto**, Curitiba-PR, 2011.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Resolução Nº 411, de 22 de setembro de 2005**. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/todos-os-documentos-do-portal/documentos-sre/pisf/pgs-pisf/2019/parecer-tecnico-no-72018coserser-doc-755762018-68.pdf/@@download/file/0411-2005%20ana%20legis.pdf>>.. Acesso: 09 fev. 2020.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. CONSÓRCIO TECHNE-PROJETEC-BRLi. **Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional - Eixo Leste**; Projeto Executivo do Lote C: Relatório Final dos Projetos Executivos do Lote C – Volume 1. Recife: Consórcio TECHNE-PROJETEC-BRLi, 2015.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Infraestrutura Hídrica. **Sumário Executivo - Projeto de Integração do Rio São Francisco**. Brasília: TCU, 2016.

BRASIL. **Relatório de Impacto sobre o Meio Ambiente do Projeto de Integração do Rio São Francisco com Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional**. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 2004.

BRITO, L.T. de L.; MOURA, M.S.B. de; GAMA, G.F.B. **Potencialidades da água de chuva no Semi-árido brasileiro**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. 181p.

BRITO, V. D. C. **Análise de perdas de água por meio de otimização para o projeto de integração do rio São Francisco, eixo leste–bacia do rio Paraíba**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

CABACINHA, C. D.; CASTRO, S. S.; GONÇALVES, D. A. Análise da estrutura da paisagem da alta bacia do Rio Araguaia na savana brasileira. **Floresta**, v. 40, n. 4, 2010.

CAETANO, F. A. O.; GONÇALVES, D. S. L.; MONTEIRO, M. Desertificação no Nordeste brasileiro: uma análise das vulnerabilidades socioeconômicas do município de Irauçuba/CE. **Revista Espacios**, Caracas, 38, n. 39, 2017.

CASIMIRO, Pedro Cortesão. Uso do solo—ecologia da paisagem, perspectivas de uma nova abordagem do estudo da paisagem em geografia. **Revista GeoInova**, v. 2, p. 45-66, 2000.

CATTANI, C. E. V. et al. Desempenho de algoritmos de classificação supervisionada para imagens dos satélites RapidEye. IN: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, v. 13, 2013.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, v 113, n. 5, p. 893–903, 2009.

CONGEDO, L. Semi-automatic classification plugin documentation. **Release**, v. 4, n. 0.1, p. 29, 2016.

DANTAS, M. S. et al. Diagnóstico da vegetação remanescente de Mata Atlântica e ecossistemas associados em espaços urbanos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 2, n. 1, p. 87-97, 2017.

DASSOLLER, T. F.; MIRANDA, M. R. S; NEVES, S. M. A. S. Dinâmica espaço-temporal da paisagem de Mirassol D'Oeste/Mato Grosso, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 33, n. 67, p. 162-180, mai./ago. 2018.

DRUSCH, M.; DEL BELLO, U.; CARLIER, S.; COLIN, O.; FERNANDEZ, V.; GASCON, F.; HOERSCH, B.; ISOLA, C.; LABERINTI, P.; MARTIMORT, P.; MEYGRET, A.; SPOTO, F.; Sy, O.; MARCHESE, F.; BARGELLINI, P. Sentinel-2: ESA's Optical High-Resolution Mission for GMES Operational Services. **Remote Sensing of Environment**, v. 120, p. 25-36, 2012.

DUMKA, A.; SAH, A.. **Smart ambulance traffic management system (SATMS) - a support for wearable and implantable medical devices**. In: DEY, N. et al. *Wearable and Implantable Medical Devices*. Academic Press, 2020. p. 215-228.

EPIPHANIO, J. C. N. **Satélites de sensoriamento remoto**. São José dos Campos: INPE, 2000.

ETTO, T. L. et al. Ecologia da paisagem de remanescentes florestais na Bacia Hidrográfica do Ribeirão das Pedras-Campinas-SP. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1063-1071, 2013.

FARIA, A. C. O.; GALVANI, F.; COUTO, E. V. Métricas de ecologia da paisagem aplicadas em fragmentos da mata atlântica: o caso do município de Saudades do Iguaçu. **Revista de Geografia**, Meio Ambiente e Ensino, v. 8, n. 3, p. 94-102, 2017.

FERNANDES, M. et al. Ecologia da paisagem de uma Bacia Hidrográfica dos Tabuleiros Costeiros do Brasil. **Floresta e Ambiente**, v. 24, p. 0-0, 2017.

FERNANDES, M. M.; FERNANDES, M. R. M. Análise espacial da fragmentação florestal da Bacia do Rio Ubá - RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 4, p. 1429-1439, out.-dez., 2017.

FERREIRA, V. O. A abordagem da paisagem no âmbito dos estudos ambientais integrados. **GeoTextos**, v. 6, n. 2, 2010.

FITZ, Paulo Roberto. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2018.

FRIESS D. A.; JAZEEL, T. Unlearning “Landscape”. **Annals of the Association of American Geographers**. V. 107 (1), 14 – 21, 2017.

FLORESTA. **PERNAMBUCO**. A cidade. 2020. Disponível em: <<http://floresta.pe.gov.br/a-cidade/>>. Acesso em: 05 fev. 2020.

FRANCISCO, P. R. M. et al. Mapeamento da Caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 3, p. 676-693, 2012.

GUTIÉRREZ, A. P. A. et al. Drought preparedness in Brazil. **Weather and Climate Extremes**, v. 3, p. 95-106, 2014.

HENKES, S. L. A política, o direito e o desenvolvimento: um estudo sobre a transposição do Rio São Francisco. **Rev. direito GV**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 497-534, Dec. 2014.

HENTZ, A. et al. Avaliação da fragmentação dos remanescentes florestais da Bacia hidrográfica do rio Iguaçu–PR, Brasil. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 11, n. 21, p. 2842-2858, 2015.

HESSEL, F. O. et al. Dinâmica e sucessão dos padrões da paisagem agrícola no município de Cocos (Bahia). **RA'EGA**, v. 26, p. 128-156, 2012.

HOFMEISTER, J. et al. Microclimate edge effect in small fragments of temperate forests in the context of climate change. **Forest Ecology and Management**, v. 448, p. 48-56, 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/sertania/pesquisa/24/76693?ano=2006>>. Acesso em: 08 set. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2017 - Resultados definitivos**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/sertania/pesquisa/24/76693?ano=2017>>. Acesso em: 08 set. 2020.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2000 - 2010 - 2012 - 2014**. IBGE: Rio de Janeiro, 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e Silvicultura 2018**. Rio de Janeiro: IBGE, 2019.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **BDMEP - Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 04 fev 2020.

JESUS, E. N. et al. Estrutura dos fragmentos florestais da bacia hidrográfica do Rio Poxim-SE, como subsídio à restauração ecológica. **Revista Árvore**, v. 39, n. 3, p. 467-474, 2015.

JESUS, J. B. et al. Fragmentação florestal em região semiárida no Nordeste do Brasil. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 39, n. 1, 2019.

KEMP, K. B. et al. Fire legacies impact conifer regeneration across environmental gradients in the US northern Rockies. **Landscape Ecology**, v. 31, n. 3, p. 619-636, 2016.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LARIS, P. et al. Effects of landscape pattern and vegetation type on the fire regime of a mesic savanna in Mali. **Journal of environmental management**, v. 227, p. 134-145, 2018.

LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga: uma introdução ao desafio**. Pp. XIII-XI. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. (eds). *Ecologia e conservação da Caatinga*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003.

LEAL O.; SÁ, J. U.; MASCARENHAS, J. C. **Avaliação hidrogeológica preliminar das aluviões do alto vale do rio Moxotó/PE**. Recife: CPRM, 2000.

LEITE, E. F.; ROSA, R. Análise do uso, ocupação e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Formiga, Tocantins. Observatorium: **Revista Eletrônica de Geografia**, Uberlândia, v. 4, n. 12, 2012.

LOPES, C. L. et al. Evaluation of long-term estuarine vegetation changes through Landsat imagery. **Science of The Total Environment**, v.653, p. 512-522, 2019.

LUCENA, F. G.; MEDEIROS, M. L.; ARAÚJO, G. J. F. Análise das transformações na estrutura agrária do município de Petrolândia (PE) e suas influências na qualidade de vida da população. **Revista Rural & Urbano**, Recife. v. 02, n. 01, p. 102-118, 2017.

LUCENA, R. L.; PACHECO, C. O. Cariri paraibano: aspectos geomorfológicos, climáticos e de vegetação. In: **12º Encontro de geógrafos de America Latina – EGAL**. Anais. Montevideu: EGAL, 2009.

MACHADO, A. T. M. A construção de um programa de revitalização na bacia do Rio São Francisco. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 195-210, 2008.

MCGARIGAL, K; MARKS, B. J. 1995. **FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995.

MENESES, P. R.; ALMEIDA T. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Brasília: Universidade de Brasília – UNB, 2012.

METZGER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotrop**. Campinas, v. 1, n. 1-2, p. 1-9, 2001.

MELLO, K.; TOPPA, R. H.; ABESSA, D. M. Dinâmica da paisagem do município de Cubatão: crescimento entre portos, indústrias e a Serra do Mar. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 35, n., 142-46, 2011.

MORAES, M. C. P.; MELLO, K.; TOPPA, R. H.. Protected areas and agricultural expansion: Biodiversity conservation versus economic growth in the Southeast of Brazil. **Journal of environmental management**, v. 188, p. 73-84, 2017.

MILAN, E.; MORO, R. S. Padrões de fragmentação florestal natural no parque estadual de Vila Velha, Ponta Grossa (PR). **Ambiência** (UNICENTRO), v. 8, p. 685-697-697, 2012.

MILLIKEN, W.; GASSON, P.; PAREYN, F.; SAMPAIO, E.V.S.B.; LEE, M.; BARACAT, A.; ARAÚJO, E. L.; CUTLER, D. Impact of management regime and frequency on the survival and productivity of four native tree species used for fuelwood and charcoal in the Caatinga of Northeast Brazil. **Biomass & Bioenergy**, v. 116, p. 18-25, 2018.

Ministério da Integração Nacional (MI). **Projeto de Integração do Rio São Francisco**. 2019. Disponível em: <<http://integracao.gov.br/web/projeto-sao-francisco/o-andamento-das-obras>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

MMA - Ministério do Meio Ambiente. **Operação do MMA destrói carvoarias ilegais em Pernambuco**. 2008. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/informma/item/5032-operacao-do-mma-destroi-carvoarias-ilegais-em-pernambuco>>. Acesso: 06 fev 2020.

MORAIS, Y. C. B. et al. Análise do Sequestro de Carbono em áreas de Caatinga do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 4, p. 585-599, 2017.

MOTTA, E. J. O.; GONÇALVES, N. E. W. (org.). Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (Codevasf). **Plano nascente São Francisco**: plano de preservação e recuperação de nascentes da bacia do rio São Francisco. Brasília: IABS, 2016.

NASCIMENTO, O. S.; MORAIS, R. C. S.; SOUZA, I. R. M.; LIMA, T. P. Análise espaço-temporal do uso e ocupação da terra da Bacia Hidrográfica do Alto Paraim-Piauí. **Geoambiente On-line**, n. 32, 2018.

NETO, F.V.A.; VIANNA, P.C.G.; Análise Espacial das Obras de Integração do Rio São Francisco – PISF (Eixo Leste) no estado da Paraíba. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 28, p. 219-241, 2016.

NEVES, L. F. S. et al. Análise da fragmentação de Cerrado na bacia hidrográfica do rio Aguapeí, Porto Esperidião (MT): um estudo de caso a partir das geotecnologias e métricas da paisagem. **Ateliê Geográfico**, v. 8, n. 2, p. 130-149, 2014.

NÓBREGA, R. S.; SANTIAGO, G. A. C. F.; SOARES, D. B. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 276-292, 2016.

OLIVEIRA, J. S. **Evolução da Paisagem na Região do Sinclinal Moeda (MG): o uso de métricas como instrumento para o planejamento e gestão integrada do território**. 2015. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Ouro Preto.

OLIVEIRA, P. D. M. **Desmatamento nas Caatingas pernambucanas: uma análise da supressão de vegetação autorizada pelo Estado**. 2016. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

PAREYN, F. G. C. **Gestão no Estado de Pernambuco – O papel do manejo florestal sustentável**. In: GARIGLIO, M.A.; SAMPAIO, E.V.S.B.; CESTARO, L.A.; KAGEYAMA, P.Y. *Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da Caatinga*. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010.

PAZ, J. P. S.; VIEIRA, C. V. Evolução do uso e cobertura do solo no município de São Francisco o Sul–Estado de Santa Catarina. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, v. 74, n. 1, 2018.

PEREZ-MARIN, A. M; CAVALCANTE, A. D. M. B.; MEDEIROS, S. S. D.; TINÔCO, L. B. D. M.; SALCEDO, I. H. Núcleos de desertificação no semiárido brasileiro: ocorrência natural ou antrópica? **Parcerias Estratégicas**, v.17, n.34, p.87-106, 2012.

PERNAMBUCO. Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco – CONDEPE / FIDEM. **Anuário Estatístico de Pernambuco – 2016: taxa de urbanização e densidade demográfica, segundo as Regiões de Desenvolvimento e os municípios – 2000-2010**. Recife: CONDEPE / FIDEM, 2016.

PERNAMBUCO. Secretaria de Desenvolvimento Social e Direitos Humanos. **Diagnóstico regionalizado sobre as necessidades relacionadas à área do conhecimento das equipes que atuam na implementação da política da assistência social** - Sertão do Moxotó. Recife, 2008a.

PERNAMBUCO. Secretaria de Desenvolvimento Social e Direitos Humanos. **Diagnóstico regionalizado sobre as necessidades relacionadas à área do conhecimento das equipes que atuam na implementação da política da assistência social** - Sertão de Itaparica. Recife, 2008b.

PINTO, N. G. M.; CORONEL, D. A. Degradação ambiental nos municípios do Rio Grande do Sul e relação com os fatores de desenvolvimento rural. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 53, n. 2, Brasília, abr. /jun. 2015.

PIROVANI, D. B. et al. Análise espacial de fragmentos florestais na Bacia do Rio Itapemirim, ES. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 38, n. 2, p. 271-281, abr. 2014.

PIROVANI, D. B.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R. Análise da paisagem e mudanças no uso da terra no entorno da RPPN Cafundó, ES. **Cerne**, v. 21, n. 1, p. 27-35, 2015.

PNUD - Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. **Atlas do Desenvolvimento Humano no Brasil**: Perfil do Município de Monteiro, PB. 2013. Disponível em: < http://www.atlasbrasil.org.br/2013/pt/perfil_m/monteiro_pb>. Acesso em: 18 nov. 2019.

QUEIROZ, L. P. et al. **Diversity and Evolution of Flowering Plants of the Caatinga Domain**. In: Silva JMC, Leal I, TABARELLI, M. Caatinga: the largest tropical dry forest region in South America. Cham: Springer, 2017.

RIBEIRO, E. M. S. et al. Chronic anthropogenic disturbance drives the biological impoverishment of the Brazilian Caatinga vegetation. **Journal of Applied Ecology**, v. 52, p. 611-620, 2015.

RIBEIRO, G. N et al. Detecção de mudança de vegetação de Caatinga através de geotecnologias. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 9, n. 5, p. 84-94, 2014.

RIBEIRO, H. J. et al. Sensoriamento remoto em ecologia da paisagem: estado da arte. **Geosciences = Geociências**, v. 38, n. 1, p. 257-267, 2019.

RICHARDS, J. A.; JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Berlin, Germany: Springer, 2006.

ROSA, R. Geotecnologias na geografia aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005.

ROSSITER, K. W. L. **Efeito da redução da vazão efluente do reservatório de Sobradinho na qualidade da água a jusante, sob o enfoque da vazão ecológica**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SALES, L. T. **Avaliação dos peixamentos realizados em açudes das bacias hidrográficas dos rios Brígida, Terra Nova, Pajeú e Moxotó (Pernambuco-Brasil)**. 2001. Dissertação (Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais). Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

SALES, M. C. L. Evolução dos estudos de desertificação no Nordeste brasileiro. *Geosp, Espaço e Tempo*. **GEOUSP Espaço e Tempo**, São Paulo, N° 14, p. 9-19, 2003.

SANTANA, Marcos Oliveira. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília: MMA/SRH/UFPB, 2007.

SANTOS, A. R. et al. Geotechnology and landscape ecology applied to the selection of potential forest fragments for seed harvesting. **Journal of environmental management**, v. 183, p. 1050-1063, 2016.

SANTOS, C. C.; SOUZA, D. C.; LIMA, F. G. Configuração territorial e dinâmica sócio-espacial do processo de urbanização da cidade de Petrolândia-PE. **Revista Diálogos**, n. 15, 2016.

SANTOS, J. F. C. et al. Fragmentação florestal na Mata Atlântica: o caso do município de Paraíba do Sul, RJ, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, v. 15, n. 3, 2017.

SANTOS, J. S. et al. Delimitation of ecological corridors in the Brazilian Atlantic Forest. **Ecological Indicators**, v. 88, p. 414-424, 2018.

SANTOS, N. M. et al. Análise multitemporal da dinâmica de uso e cobertura do solo na Região do Médio São Francisco. **Pesq. flor. bras., Colombo**, v. 39, e201801683, p. 1-10, 2019

SCHISTEK, H.; MARTINS, L. Educação com o Pé no Chão do Sertão: a convivência com o semi-árido no município de CURAÇÁ – BAHIA. Juazeiro, BA: IRPAA / SEME / DCH III, 2001.

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. M. Mapeamento da dinâmica da cobertura e uso da terra na bacia hidrográfica do rio São João, RJ. **Sociedade & Natureza, Uberlândia**, v. 25, n. 2, p. 411-426, 2013.

SEDDON, A. W. R.; MACIAS-FAURIA, M.; LONG, P.R; BENZ, D.; WILLIS, K. J. Sensitivity of global terrestrial ecosystems to climate variability. **Nature**, v. 531, p. 229-232, 2016.

SHIRATSUCHI, L. S. et al. **Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão.** In: BERNARDI, A. C. C. et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 58-73.

SILVA, A. C.; SOUZA, A. F. Aridity drives plant biogeographical sub regions in the Caatinga, the largest tropical dry forest and woodland block in South America. **PLoS One**, v. 13, p. e0196130, 2018.

SILVA, A. K. O.; SILVA, H. P. B. O processo de desertificação e seus impactos sobre os recursos naturais e sociais no município de Cabrobó–Pernambuco–Brasil. **PRACS: Revista Eletrônica de Humanidades do Curso de Ciências Sociais da UNIFAP**, v. 8, n. 1, p. 203-215, 2015.

SILVA, D. G. et al. Análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra no município de Exu, PE. **Clio Arqueológica**, v. 31, n. 3 p. 193-210, 2016.

SILVA, J. L. B. et al. Dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal de Caatinga por sensoriamento remoto em município do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, v. 14, n. 4, p. 7128, 2019.

SILVA, J. L. C.; VIDAL, C. A. S.; BARROS, L. M.; FREITA, F. R. V. Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p.180-191, abr./jun. 2018.

SILVA, L. B. D.; SANTOS, F. D. A. R. D.; GASSON, P.; CUTLER, D. Anatomia e densidade básica da madeira de *Caesalpinia pyramidalis* Tul.(Fabaceae), espécie endêmica da Caatinga do Nordeste do Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 436-445, 2009.

SILVA NETO, M. A. A questão do meio ambiente na obra de Caio Prado Júnior: formação do Brasil contemporâneo. **Scientia Amazonia**, v. 1, n.2, 46-52, 2012.

SILVA, M. D. S. F.; MELO, R. Padrões espaciais de fragmentação florestal na Flona do Ibura–Sergipe. **Mercator**, v. 13, n. 3, p. 121-137, 2014.

SILVA, R. A. et al. Avaliação da cobertura florestal na paisagem de Mata Atlântica no ano de 2010, na região de Ouro Preto-MG. **Cerne**, v. 21, n. 2, p. 301-309, 2015.

SILVA, V. C. L.; SILVA, R. M. Análise da cobertura vegetal em Lucena entre 1970/2005 usando ecologia da paisagem, SIG e sensoriamento remoto. **Caminhos de Geografia Uberlândia**, v. 12, n. 37, p. 8 – 20, 2011.

SIQUEIRA FILHO, J.A. et al. **A queda do mito: Composição, Riqueza e Conservação das plantas vasculares das Caatingas do Rio São Francisco**. In: SIQUEIRA FILHO, J. A. Flora das Caatingas do Rio São Francisco: História Natural e conservação. 1. ed. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, 2012.

SOARES, E. Seca no Nordeste e a transposição do rio São Francisco. **Revista Geografias, Belo Horizonte**, v. 9, n. 2, p. 75-86, 2013.

SOARES, V. O; ALMEIDA, N. O. O Bioma Caatinga sob a percepção da paisagem e a dinâmica da agricultura. **Revista Geográfica de América Central**, v. 2, n. 47, p.1-15. 2011.

SOUSA, L. A.; ALMEIDA, L. K. P.; SANTOS, P. S. A. Transposição do Rio São Francisco. **Revista de Estudos Interdisciplinares do Vale do Araguaia-REIVA**, v. 1, n. 01, 2018.

SOUSA, L. M.; ADAMI, M.; LIMA, A. M. M.; RAMOS, W. F. Avaliação do uso e cobertura da Terra em Paragominas e Ulianópolis-PA, utilizando dados do projeto TerraClass. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 3, 2017.

SOUZA, G. C; ZANELLA, L.; BORÉM, R. A.T.; CARVALHO, L. M. T.; ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. M. L. Análise da fragmentação florestal da Área de Proteção Ambiental Coqueiral, Coqueiral – MG. **Ciência Florestal, Santa Maria**, v. 24, n. 3, p. 631-644, jul.-set., 2014.

SOUZA, L. E. S.; BARROS, R. A. A. Territorialidade Econômica da Pecuária em Manuel Correia de Andrade. **Revista Economia Ensaios**, Uberlândia, v. 32, n. 1, 113-130, jul./dez. 2017.

TEMÓTEO, J. W. C. **Base municipal de informações das águas subterrâneas: município de Petrolândia e Jatobá - PE**. Recife: CPRM, 2000.

TOMASELLA, J. et al. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197-206, 2018.

TORRES C. O. et al. **Programa Águas Subterrâneas para o Nordeste**: Diagnóstico ambiental de uma área piloto localizada no município de Custódia – PE. Recife: CPRH, 2002.60

TÔSTO, S. G. et al. **Geotecnologias e geoinformação: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa, 2014.

USGS - United States Geological Survey. **Landsat—Earth observation satellites** (ver. 1.2, April 2020): U.S. Geological Survey Fact Sheet 2015–3081, 2016. 4 p. <https://pubs.usgs.gov/fs/2015/3081/fs20153081_ver1.2.pdf>. Acesso em: 22 mai. 2020.

USGS - United States Geological Survey. 2018. **What are the band designations for the Landsat satellites?** Disponível em: <<https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

VIANA, C. M. P.; SOUSA, F. J.; LIMA, K. A. NASCIMENTO, M. M. S. **PERFIL BÁSICO MUNICIPAL PENAFORTE**. Fortaleza-CE: SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO (SEPLAG)/Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), 2009.

VIEIRA, P. B.; SILVA, N. L.; SILVA, G. N.; SILVA, D. B.; LOPES, N.P.; GNOATTO; S.C., et al. Caatinga plants: Natural and semi-synthetic compounds potentially active against *Trichomonas vaginalis*. **Bioorg. Med. Chem. Lett.** v. 26, n 9, p. 2229-2236, 2016.

VIDOLIN, G. P.; BIONDI, D.; WANDEMBRUCK, A. Análise da estrutura da paisagem de um remanescente de floresta com Araucária, Paraná, Brasil. **Revista Árvore**, v. 35, n. 3, p. 515-525, 2011.

VOLOTÃO, C. F. S. **Trabalho de análise espacial: métricas do Fragstats**. São José dos Campos: INPE, p. 45, 1998.

WECKMÜLLER, R.; VICENS, R. S. Análise temporal da cobertura da terra do município de Petrópolis/RJ numa abordagem pós-classificação de detecção de mudanças. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 03, p. 456-469, 2013.

WEI, L. et al. Essential fragmentation metrics for agricultural policies: Linking landscape pattern, ecosystem service and land use management in urbanizing China. **Agricultural Systems**, v. 182, p. 102833, 2020.

WU, J. **Landscape Ecology**. In: FATH, B. Encyclopedia of Ecology. 2 ed. Elsevier, 2019.

WU, J. **Landscape Ecology**. In: LEEMANS, R. Ecological Systems. New York: Springer, 2013.

ZANELLA, F. C.V.; MARTINS, C. F. Abelhas da Caatinga: biogeografia, ecologia e conservação. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. **Ecologia e conservação da Caatinga**. Recife : Ed. Universitária da UFPE, 2003.

ZELHUBER, Andrea; SIQUEIRA, Ruben. Rio São Francisco em descaminho: degradação e revitalização. Cadernos do CEAS: **Revista crítica de humanidades**, n. 227, p. 3-24, 2016.