



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

DEIVID DAMIÃO ROQUE DE SOUZA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA COMO SUBSÍDIO PARA
MITIGAÇÃO DE PROCESSOS DE DESERTIFICAÇÃO NO NÚCLEO DE
CABROBÓ (PE)**

Recife – PE

2023

DEIVID DAMIÃO ROQUE DE SOUZA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA COMO SUBSÍDIO PARA
MITIGAÇÃO DE PROCESSOS DE DESERTIFICAÇÃO NO NÚCLEO DE
CABROBÓ (PE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Gestão e Políticas Ambientais

Nome do Orientador: Dr. José Coelho de Araújo Filho.

Nome da Coorientadora: Profa. Dra. Maria do Socorro Bezerra de Araújo.

Recife – PE

2023

Catalogação na Fonte
Bibliotecário: Rodrigo Leopoldino Cavalcanti I, CRB4-1855

S729a Souza, Deivid Damião Roque de.
Análise espaço-temporal do uso da terra como subsídio para mitigação de processos de desertificação no núcleo de Cabrobó (PE) / Deivid Damião Roque de Souza. – 2023.
175 f. : il. ; tab. ; 30 cm.

Orientador : José Coelho de Araújo Filho.
Coorientadora : Maria do Socorro Bezerra de Araújo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.
Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2023.

Inclui referências e anexos.

1. Meio ambiente. 2. Aptidão agrícola. 3. Desertificação. 4. Sensoriamento remoto. 5. Semiárido. 6. Solo – Uso. 7. Cabrobó (PE). I. Araújo Filho, José Coelho de (Orientador). II. Araújo, Maria do Socorro Bezerra de (Coorientadora). III. Título.

363.7 CDD (22.ed.) UFPE (BCFCH2023-092)

DEIVID DAMIÃO ROQUE DE SOUZA

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA COMO SUBSÍDIO PARA
MITIGAÇÃO DE PROCESSOS DE DESERTIFICAÇÃO NO NÚCLEO DE
CABROBÓ (PE)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de concentração: Gestão e Políticas Ambientais

Aprovado em: 14/03/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Coelho de Araújo Filho (Orientador)
EMBRAPA Solos UEP Recife

Prof^ª. Dr^ª. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^ª. Dr^ª. Manuella Vieira Barbosa Neto (Examinadora Externa)
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - IFPE

Prof^ª. Dr^ª. Sara Fernandes Flor de Souza (Examinadora Externa)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN

AGRADECIMENTOS

Com relação aos agradecimentos é importante pontuar e nomear a maioria das pessoas que estiveram ao meu lado ao longo de minha trajetória acadêmica e vida pregressa. Em primeiro lugar, devo agradecer ao meu Deus, que sempre me deu forças e conforto, tanto durante a jornada do mestrado, quanto em minha vida pregressa, e em meus momentos de fé sei que Ele sempre estará comigo. Em seguida, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor José Coelho de Araújo Filho, a quem caminhou ao meu lado na construção da dissertação e pôde compartilhar sua experiência, comprometimento com a ciência e conhecimentos. Agradeço a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pela concessão da bolsa de mestrado por meio do edital 14/2020, que tornou viável a pesquisa.

Gostaria de agradecer a minha família, e se eu fosse nomear cada membro a dissertação poderia receber trinta páginas a mais, portanto vou nomear algumas pessoas dentro de um núcleo mais próximo a mim. Dessa forma, devo iniciar os agradecimentos a meu maior exemplo de força e resiliência que é minha avó Eunice. Em seguida devo agradecer a minha mãe, Veronice, que sempre me apoiou e lutou durante toda minha vida para prover minha educação, saúde e bem-estar. Devo agradecer minha noiva, Jacielly Leocadio, por todo apoio, carinho, amor, amizade e momentos compartilhados, sobretudo durante todo processo de ingresso, manutenção e finalização do mestrado.

Aos professores que em mim plantaram a paixão pelo ensino e pela pesquisa devo agradecer, e nesse sentido devo nomear e destacar a professora Manuella Vieira Barbosa Neto, por ter me adotado na graduação e transmitido toda sua paixão pelo trabalho, e sobretudo por fazer de mim uma pessoa melhor.

Aos amigos que construí ao longo da vida, não posso esquecer, e pontuarei todos como parte de uma família extensa a que tenho extremo carinho. Aos amigos que conheci no mestrado vai minha menção honrosa, pois durante esse processo conheci pessoas incríveis, onde juntos compartilhamos aflições e sucesso, pontuo nominalmente e em ordem alfabética Jorge Neto, Rodrigo Lucena, Nara Torres e Tayran Oliveira.

Aos amigos da graduação no IFPE, agradeço a força, apoio e todo carinho compartilhado desde 2016, onde juntos formamos a maior turma em linha reta da história. Nesse sentido, falo de Izabelly, Diogo, Marlla, Amiga Rebeka, Henrique, Milton, Deyse Ferreira e muitos outros e outras.

Por fim a todos os meus melhores amigos de infância, por estarem comigo o tempo todo na minha vida, sendo eles: Denilson, Jesse James Pedro Henrique, Rafael, Vagner, Vinicius e Werverson (Wellerson).

Todavia não é nossa função controlar todas as marés do mundo, mas sim fazer o que pudermos para socorrer os tempos em que estamos inseridos, erradicando o mal dos campos que conhecemos, para que aqueles que viverem depois tenham terra limpa para cultivar (TOLKIEN, 2019, p. 148).

RESUMO

A Desertificação pode ser definida como a degradação ambiental em ambientes áridos, semiáridos e subúmidos-secos em função de fatores ambientais e antrópicos que incluem as variações climáticas e o uso da terra. Estudos ambientais realizados no Núcleo de Desertificação de Cabrobó (NDC), diagnosticaram problemas ambientais relacionados ao clima semiárido e ao uso e ocupação da terra. O presente trabalho teve como objetivo avaliar como as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra contribuem para a degradação ambiental no NDC nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba. Para a avaliação da aptidão agrícola em regime de sequeiro foi utilizada a metodologia do Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras. A fim de avaliar as potencialidades e limitações do uso da técnica de irrigação foi utilizado o Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação Enfoque na Região Semiárida. Com o intuito de analisar as mudanças da vegetação e do uso da terra, foram aplicadas técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto em imagens de satélite da série Landsat 5 e 8 para os anos de 1989, 2005 e 2019. Para a projeção de cenários futuros no uso da terra para o ano de 2049 foi realizada modelagem preditiva com a utilização do *plugin* MOLUSCE no software QGIS. Visando identificar os conflitos entre o uso atual e o uso potencial das terras foi realizada uma tabulação cruzada dos mapas de uso do solo com os mapas de aptidão agrícola em regime de sequeiro e do potencial de terras para irrigação. Os resultados indicaram que os solos da área de estudo possuem significativas limitações ao uso agrícola, tanto em regime de sequeiro, quanto para o uso com a técnica da irrigação. A redução da cobertura vegetal entre os anos de 1989 e 2019 demonstra impactos ambientais negativos decorrente do uso da terra. Nesse sentido, as áreas de agricultura e pastagem aumentaram em detrimento da classe de área florestal aumentando os conflitos entre o uso atual e o potencial de uso das terras da área de estudo. A modelagem preditiva para o ano de 2049 sugere um aumento gradual de condições que favorecem processos de desertificação no NDC. As informações geradas poderão servir de subsídio para tomada de decisões pelo poder público ou privado no sentido da mitigação dos efeitos do uso inadequado das terras e aumento da produtividade das atividades agropecuárias nos locais aonde for mais propício ao seu desenvolvimento.

Palavras-Chave – aptidão agrícola; desertificação; sensoriamento remoto; semiárido; uso da terra.

ABSTRACT

Desertification can be defined as environmental degradation in arid, semi-arid and subhumid-dry environments due to environmental and anthropogenic factors that include climatic variations and land use. Environmental studies carried out at the Cabrobó Desertification Center (NDC) diagnosed environmental problems related to the semi-arid climate and land use and occupation. The present study aimed to evaluate how changes in land use and land cover contribute to environmental degradation in the NDC in the municipalities of Belém do São Francisco, Cabrobó and Itacuruba. For the assessment of agricultural aptitude in a rainfed regime, the methodology of the Agricultural Aptitude Assessment System of the Lands was used. In order to evaluate the potentialities and limitations of the use of the irrigation technique, the Brazilian System of Land Classification for Irrigation Focus on the Semiarid Region was used. In order to analyze changes in vegetation and land use, Geoprocessing and Remote Sensing techniques were applied in satellite images of the Landsat series 5 and 8 for the years 1989, 2005 and 2019. For the projection of future scenarios in land use for the year 2049, predictive modeling was performed using the MOLUSCE plugin in the QGIS software. In order to identify the conflicts between the current use and the potential use of the land, a cross-tabulation of the land use maps was performed with the maps of agricultural suitability in a rainfed regime and the potential of land for irrigation. The results indicated that the soils of the study area have significant limitations to agricultural use, both in dry land and for use with the irrigation technique. The reduction of vegetation cover between the years 1989 and 2019 demonstrates negative environmental impacts resulting from land use. In this sense, the areas of agriculture and pasture increased to the detriment of the class of forest area, increasing the conflicts between the current use and the potential use of the lands of the study area. Predictive modeling for the year 2049 suggests a gradual increase in conditions that favor desertification processes in the NDC. The information generated may serve as a subsidy for decision-making by the public or private power in order to mitigate the effects of inappropriate land use and increase the productivity of agricultural activities in the places where it is more conducive to their development.

Keywords – agricultural potential; desertification; remote sensing; semi-arid; land use.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização Espacial do Semiárido Brasileiro.....	24
Figura 2 -	Localização espacial dos núcleos de desertificação de Cabrobó, Gilbués, Irauçuba e Seridó.....	25
Figura 3 -	Localização espacial da área de estudo.....	30
Figura 4 -	Geologia dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	33
Figura 5 -	Classes de Solos Predominantes nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	34
Figura 6 -	Classes de Vegetação dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	35
Figura 7 -	Altimetria dos nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	36
Figura 8 -	Graus de Declividade Presentes nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	37
Figura 9 -	Padrão de Drenagem Presente nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	38
Figura 10 -	Mapa das Unidades de Mapeamento de Solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba.....	45
Figura 11 -	Grupos de aptidão agrícola (1 a 6) e suas alternativas de utilização das terras de acordo com os graus de intensidade de limitação.....	47
Figura 12 -	Espacialização dos Pontos Amostrais das Classes de Solo Utilizados no Estudo.....	50
Quadro 1 -	Bibliografia utilizada como suporte para obtenção de dados morfológicos e analíticos de perfis de solo.....	50
Figura 13 -	Graus de Limitação de Deficiência de Fertilidade dos Solos dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	68
Figura 14 -	Resultado do balanço hídrico climatológico das unidades de mapeamento de solo A10, A11, A12, A13, NC12, NC14, NC15, NC17, PS11, PS7, PV64, R52, R73, R74 e RE25 localizadas no município de Belém do São Francisco PE, com os períodos de deficiência e excedente hídrico.....	70

Figura 15 - Resultado do balanço hídrico climatológico das unidades de mapeamento de solo A10, A11, A12, A13, NC12, NC14, PA46, PA47, PAP4, PS11, PS3, PS6, PS7, R52, R55, R60, R73, R74, RE25 localizadas no município de Cabrobó PE, com os períodos de deficiência e excedente hídrico.....	71
Figura 16 - Resultado do balanço hídrico climatológico das unidades de mapeamento de A13, NC14, NC17, PS8, R73 e RE25 localizadas no município de Itacuruba-PE, com os períodos de deficiência e excedente hídrico.....	72
Figura 17 - Graus da Deficiência de Oxigênio dos Solos dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	75
Figura 18 - Mapa de Declividade dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	77
Figura 19 - Graus de Limitação da Suscetibilidade Erosiva dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	81
Figura 20 - Graus de Limitação do Impedimentos a Mecanização dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	85
Figura 21 - Zoneamento da aptidão agrícola das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, com os subgrupos de utilização...	90
Figura 22 - Mapa das Unidades de Mapeamento de Solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba.....	97
Quadro 2 - Bibliografia utilizada como suporte para obtenção de dados morfológicos e analíticos de perfis de solo.....	98
Figura 23 - Proporção das classes gerais de terras para irrigação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba.....	101
Figura 24 - Localização espacial e fotografias de perfis amostrais de solo. 24A – Luvisolo Crômico; 24B – Planossolo Nátrico; 24C – Neossolo Flúvico....	104
Figura 25 - Espacialização do potencial geral de terras para irrigação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	108
Figura 26 - Imagens de satélite da série Landsat utilizadas no estudo.....	116
Figura 27 - Índice de realce da vegetação (EVI) dos anos 1989, 2005 e 2019s aplicados na área dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	124

Figura 28 - Evolução espaço-temporal do uso da terra dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para os anos de 1989, 2005 e 2019.....	128
Figura 29 - Recorte espaço temporal de trinta anos dentro do município de Cabrobó-PE demonstrando a evolução do uso e cobertura da terra.....	129
Figura 30 - Comparação entre os mapas de uso da terra real de 2019 (real e simulado) e as diferenças entre ambos para os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	132
Figura 31 - Evolução espaço- temporal do uso da terra dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049.....	136
Figura 32 - Mapa de conflitos ambientais quanto ao uso e ocupação dos solos em regime de sequeiro, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba- PE para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049.....	144
Figura 33 - Mapa de conflitos ambientais quanto ao uso e ocupação dos solos em regime de sequeiro, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba - PE para o ano de 2019. 32 A – Área com uso agrícola em região com potencial para pastagem natural. 32 B – Área de solo exposto em local de potencial para pastagem natural.....	146
Figura 34 - Mapa de conflitos ambientais quanto ao uso e ocupação dos solos sob irrigação, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba- PE para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049.....	149

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Diferenciação dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras de acordo com os níveis de manejo B e C.....	48
Tabela 2 -	Limitação Referente a disponibilidade de nutrientes.....	51
Tabela 3 -	Limitação Referente a Saturação por Alumínio.....	51
Tabela 4 -	Limitação referente à Salinidade.....	52
Tabela 5 -	Limitação Referente a Saturação por sódio.....	52
Tabela 6 -	Médias mensais de temperatura e precipitação dos postos localizados nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	54
Tabela 7 -	Valores de capacidade de água disponível por unidade de mapeamento de solo.....	55
Tabela 8 -	Graus de Limitação da Drenagem para Deficiência de Oxigênio.....	56
Tabela 9 -	Código de permeabilidade das classes texturais dos horizontes de solo.....	57
Tabela 10 -	Graus de limitação devidos à erodibilidade do solo.....	58
Tabela 11 -	Graus de limitação devidos à suscetibilidade à erosão.....	58
Tabela 12 -	Graus de limitação referentes à rochiosidade e/ou pedregosidade.....	59
Tabela 13 -	Graus de limitação referentes ao impedimento à mecanização.....	60
Tabela 14 -	Guia de avaliação da aptidão agrícola das terras voltado para regiões de clima semiárido utilizado para a avaliação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	61
Tabela 15 -	Graus de limitação dos solos referente a disponibilidade de nutrientes.....	62
Tabela 16 -	Graus de limitação dos solos referente a saturação por alumínio.....	63
Tabela 17 -	Graus de limitação dos solos referente a Salinidade.....	64
Tabela 18 -	Graus de limitação do solo referente a saturação por sódio.....	66
Tabela 19 -	Graus de limitação dos solos referente a deficiência de fertilidade.....	67
Tabela 20 -	Graus de limitação referente a deficiência de oxigênio dos solos.....	73
Tabela 21 -	Fator de Erodibilidade (K) das unidades de mapeamento de solo nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	76
Tabela 22 -	Classes de declividade das unidades de mapeamento de solo nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	78

Tabela 23 - Grau de limitação da suscetibilidade à erosão dos solos da área de estudo.....	79
Tabela 24 - Graus de limitação do relevo, pedregosidade e da rochosidade para a ocorrência dos impedimentos à mecanização dos solos nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	82
Tabela 25 - Graus de limitação referente ao impedimento a mecanização nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	84
Tabela 26 - Aptidão agrícola das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	86
Tabela 27 - Zoneamento da aptidão agrícola das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, com os subgrupos de utilização.....	88
Tabela 28 - Parâmetros de qualidade física e química de água para irrigação de dois mananciais no Semiárido brasileiro.....	99
Tabela 29 - Presença média de Ferro e Boro na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco.....	99
Tabela 30 - Regras de decisão para o estabelecimento do potencial de terras para irrigação de unidades de mapeamento de solos (UM).....	100
Tabela 31 - Extensão territorial das classes do potencial geral de terras para irrigação dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	105
Tabela 32 - Característica das imagens de satélite adquiridas para o estudo.....	117
Tabela 33 - Qualificação do mapeamento de acordo com o índice Kappa.....	120
Tabela 34 - Distribuição da densidade da vegetação de acordo com o índice de realce da vegetação EVI dos anos de 1989, 2005 e 2019, nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	122
Tabela 35- Precipitação média para os meses que antecederam a aquisição das imagens de satélite para os anos de 2005 e 2019.....	123
Tabela 36 - Validação estatística pelo Índice Kappa e por acurácia global.....	125
Tabela 37 - Distribuição das classes de uso da terra nos anos de 1989, 2005 e 2019, nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	126

Tabela 38 - Resultados para Simulação do uso da terra para os anos de 1989 a 2019 dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba.....	130
Tabela 39 - Valores de Matiz de Probabilidade de Mudança de Cada Classe Temática de Uso da Terra dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	133
Tabela 40 - Evolução do uso e cobertura da terra para os anos de 1989 a 2049 dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.....	134
Tabela 41 - Classificação de graus de conflito entre o uso da terra e a aptidão agrícola, e o tipo de conflito observado.....	141
Tabela 42 - Classificação de graus de conflito entre o uso da terra e o potencial geral para irrigação, e o tipo de conflito observado.....	142
Tabela 43 - Classes de conflitos obtidas na classificação por tabulação cruzada entre o uso potencial do solo em regime de sequeiro e Uso e ocupação do solo para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049 nos dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba – PE.....	143
Tabela 44 - Classes de conflitos obtidas por classificação por tabulação cruzada entre o uso potencial do solo para irrigação e Uso e ocupação do solo para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049 nos dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba – PE.....	147

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AcATaMa	Accuracy Assessment os Thematic Maps
ANA	Agência Nacional Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
BUREC	Bureau of Reclamation
CAD	Capacidade de Água Disponível
CEe	Condutividade Elétrica do extrato de saturação
CODEVASF	Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba
CR	Calibração Radiométrica
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
DCAUFCG	Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande-PB
DPFS	Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EVI	Enhanced Vegetation Index
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
GPS	Sistema de Posicionamento Global
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MaxVer	Máxima Verossimilhança
MDE	Modelo Digital de Elevação
Molusce	Modules for Land Use Change Evaluation
NDC	Núcleo de Desertificação de Cabrobó
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PISF	Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional
SiBCS	Sistema Brasileiro de Classificação de Solos
SiBCTI	Sistema Brasileiro de Classificação de Terras Para Irrigação: Enfoque na Região Semiárida
SIG's	Sistemas e Informações Geográficas
SR	Sensoriamento Remoto

UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UM	Unidades de mapeamento de solo
UNCCD	Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação
UNCCD	United Nations Convention to Combat Desertification
ZAPE	Zoneamento Agroecológico de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	20
2	OBJETIVOS.....	29
2.1	OBJETIVO GERAL.....	29
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	29
3	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	30
3.1	LOCALIZAÇÃO E POPULAÇÃO.....	30
3.2	GEOLOGIA E PEDOLOGIA.....	31
3.3	VEGETAÇÃO E CLIMA.....	34
3.4	RELEVO E HIDROGRAFIA.....	35
4	ARTIGO 1: POTENCIAL DE USO DAS TERRAS NA CONDIÇÃO DE SEQUEIRO NOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE.....	39
4.1	INTRODUÇÃO.....	39
4.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	44
4.2.1	Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola Adotados no Estudo.....	46
4.2.1.1	Níveis de Manejo Considerados.....	46
4.2.1.2	Grupos, Subgrupos e Classes de Aptidão Agrícola.....	46
4.2.2	Parâmetros Analisados.....	49
4.2.2.1	Deficiência de Fertilidade.....	49
4.2.2.2	Deficiência de Água.....	53
4.2.2.3	Deficiência de Oxigênio.....	55
4.2.2.4	Suscetibilidade Erosiva.....	56
4.2.2.5	Impedimentos à Mecanização.....	59
4.2.3	Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras.....	60
4.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.3.1	Deficiência de Fertilidade.....	62
4.3.2	Deficiência de Água.....	69
4.3.3	Deficiência de Oxigênio.....	73
4.3.4	Suscetibilidade à Erosão.....	76
4.3.5	Impedimentos à Mecanização.....	82
4.3.6	Aptidão Agrícola das Terras.....	86

4.4	CONCLUSÕES.....	91
5	ARTIGO 2: POTENCIAL DE TERRAS PARA A IRRIGAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE.....	92
5.1	INTRODUÇÃO.....	92
5.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	97
5.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	101
5.3.1	Síntese das classes de gerais de terra para irrigação.....	101
5.3.2	Potencial Geral de Terras Para Irrigação das Unidades de Mapeamento de Solo.....	105
5.3.3	Irrigação e Agricultura Familiar no Semiárido, Uma Possibilidade.....	109
5.4	CONCLUSÕES.....	111
6	ARTIGO 3: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA DOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE.....	112
6.1	INTRODUÇÃO.....	112
6.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	116
6.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	122
6.3.1	Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal.....	122
6.3.2	Evolução espaço-temporal do uso da terra.....	125
6.3.3	Modelagem preditiva do uso e cobertura da Terra.....	130
6.4	CONCLUSÕES.....	137
7	ARTIGO 4: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS CONFLITOS DE USO DA TERRA NOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE.....	138
7.1	INTRODUÇÃO.....	138
7.2	MATERIAL E MÉTODOS.....	141
7.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	143
7.3.1	Conflito de Uso Atual da Terra em Regime de Sequeiro.....	143
7.3.2	Conflito de Uso Atual da Terra com o Potencial de Irrigação.....	146
7.4	CONCLUSÕES.....	150
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	151

REFERÊNCIAS.....	153
ANEXO A - QUADRO COM A LEGENDA COMPLETA DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLO DOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE (Legenda adaptada de Araújo Filho et al. (2000)).....	169
ANEXO B - ATRIBUTOS DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS, CLASSES DE TERRA E O RESPECTIVO POTENCIAL GERAL PARA IRRIGAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE.....	172

1 INTRODUÇÃO

A desertificação é um fenômeno que sua definição evoluiu de acordo com os estudos, literatura, convenções e documentos legais produzidos sobre a temática. Segundo a UNCCD (*United Nations Convention to Combat Desertification*) é a degradação da terra nas regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultante de vários fatores, entre eles as variações climáticas e atividades humanas que causam degradação ambiental, e perda do potencial produtivo dos recursos naturais (ONU, 1997).

As terras secas (regiões áridas, semiáridas e subúmidas secas) correspondem a cerca de 45,63% da superfície do planeta e abrange uma população de mais de 2,5 bilhões de pessoas ao redor do mundo. Das quais, entre 10 e 20% dessas terras já foram afetadas pela desertificação, onde vivem cerca de 250 milhões de pessoas, e outros 1 bilhão vivem em áreas de risco de desertificação (REYNOLDS *et al.*, 2007; FENG *et al.*, 2015; VIEIRA *et al.*, 2015; PRĂVĂLIE, 2016; PARK *et al.*, 2017). Nesse sentido, a maior parte das terras secas suscetíveis a desertificação se encontra na Ásia (15,46%), seguida por África (15,33%), América do Norte e América Central (5,14%), Austrália e Oceania (4,78), América do Sul (3,47%) e Europa (1,17%) (PRĂVĂLIE, 2016).

Elencar os fatores causadores da desertificação é um desafio, pois é um fenômeno que as causas se misturam com as consequências, afetando em conjunto o meio físico natural e a vida da população das áreas afetadas. De acordo com Brasil (2007) as causas e consequências da desertificação estão vinculadas a processos ambientais e antrópicos que se relacionam; entre os fatores ambientais, pode-se destacar o rigor do clima que se manifesta em forma de eventos de seca, aridez, baixa precipitação, chuvas concentradas em poucos meses do ano; além da vegetação, condições pedológicas, aptidão agrícola etc. Já entre os fatores antrópicos há a redução da cobertura vegetal, uso inadequado da terra, mudança do efeito de albedo, mudanças climáticas locais, efeito estufa etc.

Nesse sentido, as formas de apropriação e uso do meio físico natural nas terras secas do Brasil e do mundo que promovem rápidas mudanças nas formas de uso e cobertura das terras podem ser responsáveis pela degradação ambiental. Portanto, a alta intensidade de atividades como a agricultura e o pastoreio estão associadas a redução de produtividade, perda de biodiversidade, redução da biomassa, e fragmentação das paisagens das terras secas do planeta Terra (HELLDÉN; TOTTRUP, 2008; MAO *et al.*, 2018).

Na Literatura internacional o debate acerca da desertificação começou a tomar corpo a partir da grande seca que ocorreu na região do Sahel no continente Africano. Essa região passou

por grandes eventos de seca no início dos anos 1970, onde a falta de precipitação gerou problemas ambientais e sociais que culminaram na morte de mais de 200.000 pessoas e milhões de animais, acentuando os problemas sociais já existentes em um grau de gravidade quase único (SIVAKUMAR, 2007; FARIAS; VIEIRA, 2019). Em consequência da emergência ambiental acerca da desertificação no ano de 1977 em Nairóbi, Quênia, ocorreu a Conferência Internacional das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (UNCCD), onde, pode-se afirmar que esta conferência foi a pedra angular para o debate sobre a desertificação a nível global (SIVAKUMAR, 2007; SANTOS; AQUINO, 2016).

A dimensão global da desertificação aumentou o interesse da comunidade acadêmica sobre a temática, uma vez que é um problema que afeta cada vez mais países. Nesse sentido, estudos, sobretudo nas regiões mais afetadas, têm aperfeiçoado as abordagens, métodos e indicadores sobre a desertificação com a finalidade de ampliar as respostas sobre esse fenômeno em cada realidade. Dessa forma, os países mais afetados pela desertificação são os que mais produzem literatura sobre a temática, onde se pode destacar a China, Brasil, Estados Unidos, Iran e Inglaterra, entre outros (ESTEVES; ARAÚJO, 2021).

Apontar as regiões mais propensas a desertificação em escala global depende, sobretudo, de quais critérios se adota. Nesse sentido, a delimitação de áreas afetadas por desertificação pode variar de acordo com a definição aplicada e das metodologias de avaliação de degradação da terra, pois se trata de um fenômeno complexo que envolve fatores naturais e antrópicos que podem variar de acordo com a escala espacial ou temporal (D'ODORICO et al., 2013). Contudo, de modo geral as áreas suscetíveis à desertificação estão associadas, sobretudo, ao clima árido e semiárido e a sistemas de uso e ocupação da terra sem o planejamento adequado. Em estudo sobre a desertificação a nível global Helldén e Tottrup (2008), apontaram as regiões do Mediterrâneo, o Sahel, do Mar vermelho, Sul do continente Africano, e as terras áridas da América do Sul como as terras secas mais propensas à desertificação no mundo.

Na China as Zonas Áridas e Semiáridas, mais propensas a desertificação, cobrem cerca de 4.556.650 Km² e ficam localizadas, sobretudo no Norte, onde, o clima é seco e a média de precipitação anual fica abaixo de 400 mm (MAO *et al.*, 2018). Em estudo realizado em quatro regiões do noroeste da China Feng *et al.* (2015), apontaram que os fatores socioeconômicos alinhados com os fatores ambientais são determinantes para a desertificação nas regiões áridas e semiáridas da China. Uma vez que a renda da população nativa vem, sobretudo, da terra e sua geração significa o comprometimento do meio ambiente, onde, a pecuária tem uma grande contribuição, pois nas comunidades pobres o aumento do número de rebanhos gera renda e

alimentação e isso ocorre à custa do meio ambiente agravando a desertificação (FENG *et al.*, 2015).

No Sudeste e Sudoeste da China a expansão de áreas de desertificação assentadas sob substrato rochoso cárstico está minando o desenvolvimento da economia agrícola local (XIE *et al.*, 2015). Nessas regiões, as rochas carbonáticas aliadas a hidrologia e a atividades antrópicas criam um ambiente frágil e vulnerável a desertificação rochosa (JIANG; LIAN; QIN, 2014). O combate à desertificação cárstica no Sudeste e Sudoeste da China tem sido realizado, sobretudo, com o reflorestamento que tem se mostrado uma medida eficiente, contudo, as mudanças climáticas podem intensificar os processos de degradação da terra nessas regiões por meio de secas mais frequentes e inundações extremas (JIANG; LIAN; QIN, 2014; XUE *et al.*, 2017).

A África é um dos continentes mais afetados pela desertificação, pois de acordo com Právālie (2016) 75% do continente africano é composto por terras secas, isto é, com clima árido, semiárido ou subúmido-seco, afetando as regiões Norte, Sahel, Leste e Sul da África. O Sahel se estende por mais de 5.900 km² do oceano Atlântico até o Chifre da África, se estendendo por 11 países. Nessa região o clima é árido com altas temperaturas e precipitação variável ao longo do ano, podendo chegar à média de 100 mm por ano ao norte. Em estudo realizado no Sahel, Yang *et al.* (2022) avaliaram a desertificação por meio de modelagem, onde, concluíram que nessa região uma combinação entre vários fatores é determinante para a desertificação; a precipitação com o tipo de uso da terra é a maior interação de fatores para a degradação da terra, apontando para fatores climáticos e antropogênicos na gênese da desertificação regional.

A região Norte da África, de clima semiárido e banhada pelo Mediterrâneo é suscetível a desertificação. Em estudo realizado na região do Atlas Médio, no Marrocos, Koubaa *et al.*, (2018) investigaram a influência das pressões antrópicas na degradação da terra, onde, os resultados demonstraram que entre os anos de 1984 e 2007 o uso da terra fomentou a degradação ambiental, uma vez que florestas foram transformadas em matagal, matagais foram convertidos em pastagem, e pastagens se tornaram solo exposto.

Na Europa a desertificação se concentra, sobretudo, na região do Mediterrâneo, de modo que, as pressões antrópicas combinadas com as condições climáticas, tipos de solo e relevo da região mediterrânea na Europa a transformam em um *hotspot* de erosão e degradação do solo, afetando principalmente países como Espanha, Grécia, Itália, Portugal e Turquia (HILL *et al.*, 2008; SYMEONAKIS *et al.*, 2016; GRILLI *et al.*, 2021).

Na Espanha a maioria das paisagens em desertificação podem ser identificadas de acordo com os usos específicos da terra e o recurso natural afetado: 1) Agricultura irrigada que desencadeia processo de degradação ligados a exploração das águas subterrâneas e salinização

do solo; 2) Sistemas agropastoris causado sobrepastoreio e erosão, sobretudo nas pastagens de Dehesa nas áreas continentais; 3) Matagais e áreas abandonadas distribuídas nas terras secas; 4) Culturas lenhosas afetadas pela erosão do solo, a exemplo dos olivais e vinhedos no Sul da Espanha; 5) Extensas culturas herbáceas de sequeiro impactadas pela erosão do solo nos vales dos rios Ebro e Guadalquivir (MARTÍNEZ-VALDERRAMA *et al.*, 2016).

Em Portugal a degradação da terra está ligada a fatores relacionados às condições climáticas, onde secas periódicas afetam boa parte de seu território; aos solos pobres e com alta suscetibilidade a erosão; o relevo acidentado e com declividades acentuadas; a perda de cobertura vegetal em função, sobretudo, de incêndios florestais severos em escala regional; a crise na agricultura tradicional associada ao abandono da terra; a exploração não sustentável dos recursos hídricos, manifestada em forma de poluição química, salinização e esgotamento dos aquíferos (ROSÁRIO, 2004).

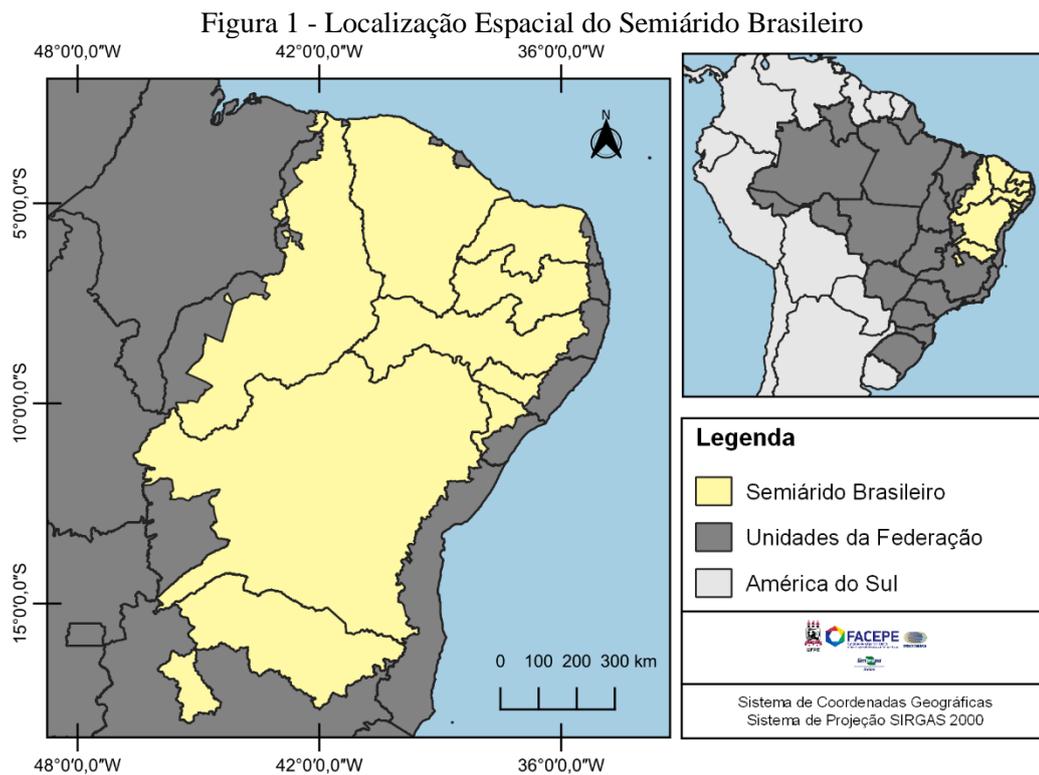
Na América as terras secas consideradas *hotspots* para a desertificação se encontram, sobretudo, na América Latina e Caribe, Nordeste do Brasil, áreas de expansão agrícola no Chaco argentino, Paraguai, Bolívia centro do Chile, regiões áridas e semiáridas do México, partes de Cuba e Haiti e áreas de agricultura irrigadas no Oeste dos Estados Unidos (UNCCD, 2017).

Nas terras secas da América do sul práticas agrícolas intensivas utilizando fertilizantes e água em excesso para ganho econômico de curto prazo colocam os recursos da terra em risco. Onde o desmatamento e agricultura irrigada são ameaças na grande área do Chaco na Argentina, Paraguai e Bolívia, uma vez que o rápido desmatamento nessa região ocorre em função da expansão da agricultura que tem transformado a paisagem, resultando em perdas significativas de biodiversidade e redução dos serviços geossistêmicos, que aumenta a degradação do solo (UNCCD, 2017).

Na América do Sul a Argentina é a segunda, atrás apenas do Brasil, em extensão das terras secas em seu território. Onde, dois terços da Argentina continental são de pastagens áridas e semiáridas que fazem parte de cinco regiões fitogeográficas: 1) Puna, 2) Chaco Ocidental, 3) Monte, 4) Caldenal e 5) Patagônia. Em uma avaliação sobre o clima, solo e vegetação das cinco regiões fitogeográficas da Argentina, Busso; Fernández (2017) concluíram que até o momento a degradação ambiental nas regiões áridas e semiáridas da Argentina ainda não é irreversível como em outras regiões semiáridas do planeta, e com o uso responsável pode haver o reestabelecimento dos serviços geossistêmicos.

O semiárido brasileiro ocorre, sobretudo, na região Nordeste compreendendo cerca de 1.128.697 km², sendo 12% do território nacional, abrangendo 1.262 municípios no Nordeste

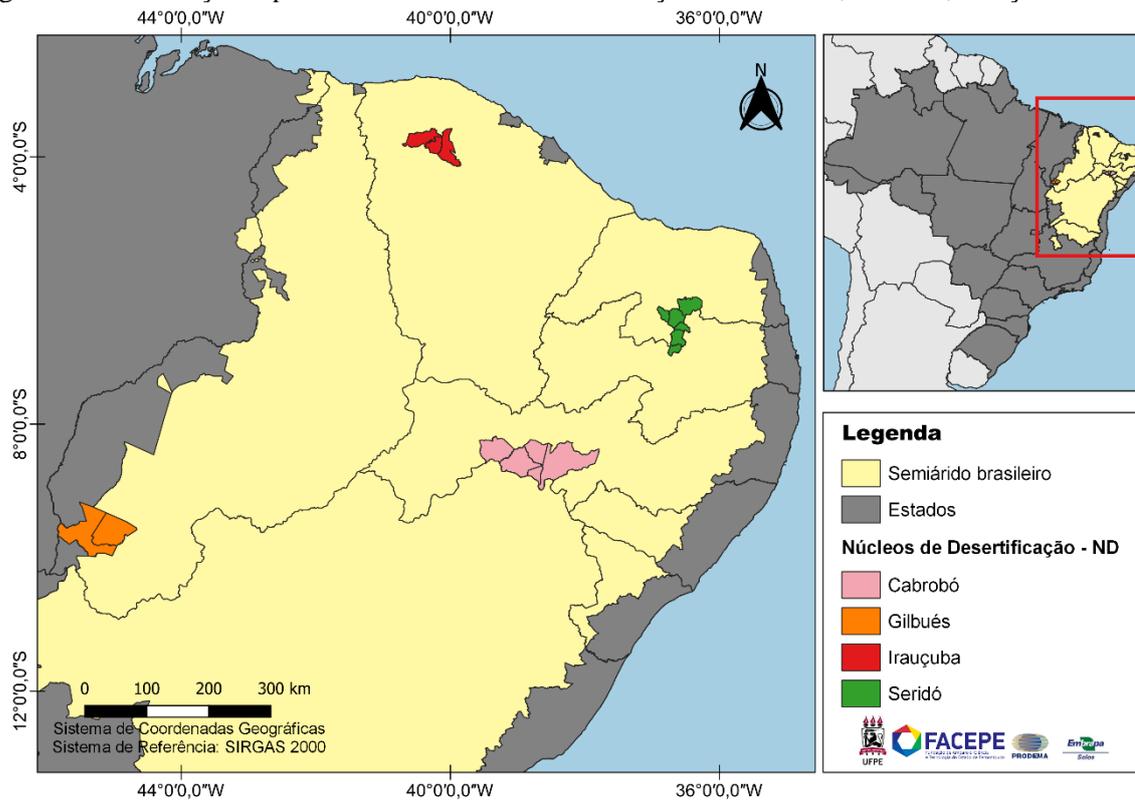
brasileiro e Norte de Minas Gerais (Figura 1) (SUDENE, 2021). A precipitação máxima nessa área é de 800 mm por ano, se apresentando como uma região marcada pela forte insolação, temperaturas relativamente altas e concentração da precipitação em um curto período de tempo (SILVA *et al.*, 2010). Estima-se que o semiárido brasileiro abrigue uma população de cerca de 27.870.241 habitantes, tornando-se um dos semiáridos mais povoados do mundo, com grande riqueza social, cultural, ambiental e econômica (INSA, 2022).



Fonte: Elaboração do autor.

O debate sobre a desertificação no Brasil ganhou campo a partir dos anos 70 com destaque para o autor Vasconcelos Sobrinho que discutiu como as condições ambientais específicas do semiárido, associadas com uso da terra inadequados podem fazer surgir um “deserto” no semiárido nordestino (LUCENA, 2017). Vasconcelos Sobrinho (1982) pesquisou seis áreas piloto com avançados processos de degradação ambiental nos estados da Bahia, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Piauí e Rio Grande do Norte, servindo de base para o Ministério do Meio Ambiente identificar e classificar quatro áreas como de grande risco aos processos de desertificação: Núcleo de Desertificação Gilbués (PI), de Irauçuba (CE), do Seridó (RN) e de Cabrobó (PE) (Figura 2) (BRASIL, 2007).

Figura 2 - Localização espacial dos núcleos de desertificação de Cabrobó, Gilbués, Irauçuba e Seridó.



Fonte: Elaboração do autor.

O Núcleo de Desertificação de Gilbués é composto pelos municípios de Gilbués e Monte Alegre do Piauí, no estado do Piauí (BRASIL, 2007). Abrangendo uma área de 5.912 km² com solos arenosos e formação de dunas e voçorocas, que avançam do campo para a cidade, provocadas por graves processos erosivos de caráter eólico e hídrico. Nessa região a degradação da terra ocorre, sobretudo, em função da mineração e da pecuária extensiva (BRASIL, 2007; SÁ; ANGELOTTI, 2009; VALLADARES; ROCHA JÚNIOR; AQUINO, 2020).

O núcleo de desertificação de Irauçuba fica localizado no estado do Ceará, e abrange os municípios de Irauçuba, Sobral e Forquilha, compreendendo uma área de 4.101 km² (BRASIL, 2007). A região do município de Irauçuba apresenta uma fragilidade ambiental relacionada ao volume e distribuição da precipitação que associado a forte insolação promove elevadas taxas de evapotranspiração e desenvolve um déficit hídrico (BARBOSA; OLIVEIRA, 2022). A desertificação no núcleo de Irauçuba está associada a fatores ambientais como as condições climáticas aos solos rasos com elevadas concentrações de sais, e fatores antrópicos como o desmatamento, queimadas e ocupação desordenada da terra (SÁ; ANGELOTTI, 2009; PERES-MARIN *et al.*, 2012; BARBOSA; OLIVEIRA, 2022).

O núcleo de desertificação do Seridó é formado pelos municípios de Acari, Carnaúba dos Dantas, Cruzeta, Currais Novos, Equador e Parelhas, dentro do estado do Rio Grande do Norte,

com uma área de 2792 km² (BRASIL, 2007). Historicamente as atividades da pecuária e a cotonicultura foram as principais causadoras da degradação ambiental no núcleo do Seridó, contudo desde o final do Século XX a atividade ceramista tem sido responsável por uma significativa mudança na base social da região, sobretudo com a geração de empregos diretos e indiretos, todavia a demanda por recursos naturais dessa prática pode estar contribuindo para o desgaste dos recursos naturais em função do desmatamento e da própria extração dos recursos da terra (ARAÚJO; SOUZA, 2017).

O núcleo de desertificação de Cabrobó (NDC) fica localizado no estado de Pernambuco, abarcando os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó, Carnaubeira da Penha, Floresta e Itacuruba, abrangendo uma área de 8573 km² (BRASIL, 2007). Segundo Soares; Mota Filho; Nóbrega (2011) foi constatado que o fator antropogênico é determinante para intensos processos de degradação ambiental na área do NDC, sobretudo pela substituição da caatinga por práticas de agricultura, pecuária e retirada de madeira para a produção de carvão e lenha.

A região do semiárido brasileiro possui diversas limitações ao uso da terra, sobretudo, no que tange a escassez hídrica, uma vez que a distribuição da precipitação é irregular, e com um volume anual de no máximo 800 mm (SILVA *et al.*, 2010). Com o intuito de mitigar os impactos advindos da estiagem o governo federal realizou a transposição do Rio São Francisco, também conhecida como Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias do Nordeste Setentrional (PISF), que leva as águas do “Velho Chico” para o sertão dos estados de Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Paraíba por meio de dois eixos. O Eixo Leste que capta água no lago da barragem de Itaparica no município de Floresta em Pernambuco, e o Eixo Norte que capta água no município de Cabrobó (PE) (PIRES, 2019; COSTA; OJIMA, 2020).

As águas da transposição do rio São Francisco podem ser utilizadas para a irrigação de lavouras no semiárido. Contudo o uso dessa técnica deve ser precedido de avaliação do potencial do solo, pois a realização da irrigação com excesso de água, sem sistema de drenagem, e alto uso de produtos químicos associado as características ambientais do semiárido potencializa a salinização do solo (VIEIRA *et al.*, 2021; CASTRO; SANTOS; ARAÚJO, 2021). Dessa forma, o manejo da técnica de irrigação no semiárido deve considerar a qualidade da água, os sistemas de irrigação, drenagem e as características ambientais da área a ser irrigada a fim de evitar a salinização, e a consequente degradação ambiental (AMARAL, 2011).

A degradação ambiental proveniente da ação antrópica causa preocupação para a sociedade civil, a comunidade acadêmica, os Estados, etc., criando campo ao debate de políticas públicas para a implemetação de ações que possam promover o desenvolvimento sustentável. Diante do agravamento da questão ambiental, a Organização das Nações Unidas (ONU) fixou

os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) em 2015, contendo 17 objetivos, 169 metas e mais de 300 indicadores visando à sustentabilidade das atividades humanas no Planeta Terra (ALVES, 2015).

O semiárido é um ambiente com diferentes potencialidades, mas possui um número significativo de limitações específicas que se tornam fatores determinantes para a degradação ambiental em caso de uso inadequado das terras (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005a). Nesse sentido, quando realizadas sem o devido planejamento, as mudanças no uso e cobertura da terra podem acarretar degradação dos recursos naturais, e geram diversos impactos sociais. Assim, nos últimos anos há uma maior preocupação quanto a diagnósticos de cunho ambiental visando antecipadamente qual seria a melhor forma de uso dos recursos naturais, no sentido de minimizar os danos e assim evitar a degradação ambiental (MAMED; MARCHESAN; BAZZANELLA, 2020). Dessa forma, o monitoramento do uso da terra é crucial para identificar os pontos quentes de degradação do solo, e assim servir de subsídio para que o Estado possa mitigar, junto aos produtores, os danos ao meio físico natural (VIEIRA *et al.*, 2021).

A literatura indica que a degradação da terra nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba pode estar associada a práticas de uso da terra sem considerar as limitações e potencialidades do meio físico natural. Nesse sentido, em um estudo no município de Itacuruba e Floresta, Schulz *et al.* (2019) observaram que o pastoreio é responsável pela diminuição da diversidade de plantas. Barbosa Neto *et al.* (2021) constataram que a redução da vegetação no município de Itacuruba-PE está ligada diretamente ao aumento da erosão. Em Cabrobó as técnicas de irrigação por inundação e/ou por sulco sem o uso de sistemas de drenagem elevam o teor de sais nos perfis de solos irrigados (SOARES *et al.*, 2016). Assis *et al.* (2014) fizeram uma análise do uso das terras em Belém de São Francisco-PE e concluíram que a vegetação densa diminuiu entre os anos de 1985 e 2010 nesse município. De acordo com o censo agropecuário de 2017, os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba possuem respectivamente 1620, 1466 e 297 assentamentos de produção rural (IBGE, 2019).

A pesquisa almeja contribuir para a compreensão do processo evolutivo do uso da terra na área de estudo, tanto no que tange na construção da configuração atual, quanto em cenários futuros que serão modelados com base em estatísticas. Tendo a compreensão de que o uso inadequado da terra contribui para a evolução do processo de desertificação, pode-se incluir dentro do arcabouço de discussões dessa pesquisa o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 15 que levanta a necessidade da conservação e recuperação dos ecossistemas e da conservação da terra para que haja o desenvolvimento sustentável. A meta 15.3 trata do combate à desertificação e restauração da terra e dos solos degradados. De acordo com Dicker

et al. (2020) para que essa meta seja alcançada, é necessário a implementação de mecanismos de monitoramento de indicadores eficientes para subsidiar as ações de mitigação.

A pesquisa parte da hipótese de que no período de trinta anos houve redução da cobertura vegetal associada a implementação de práticas agrícolas não condizentes com as limitações e potencialidades de meio físico natural dos locais nos municípios de Belém de São Francisco, Cabrobó e Itacuruba. Onde, no primeiro capítulo foi realizada uma classificação da aptidão agrícola das terras em regime de sequeiro. No segundo capítulo foi realizada uma classificação do potencial das terras para a irrigação. No terceiro capítulo consta um mapeamento espaço-temporal do uso da terra. No quarto capítulo foi realizada uma classificação quanto aos conflitos de uso da terra com os seus potenciais.

Tendo em vista que o uso inadequado das terras pode ser um agravante na evolução da desertificação, o objetivo da pesquisa é avaliar como as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra estão contribuindo para a degradação da terra nos municípios de Belém de São Francisco, Cabrobó e Itacuruba no contexto do NDC.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar como as mudanças ocorridas no uso e cobertura das terras estão contribuindo para a degradação ambiental no contexto do NDC.

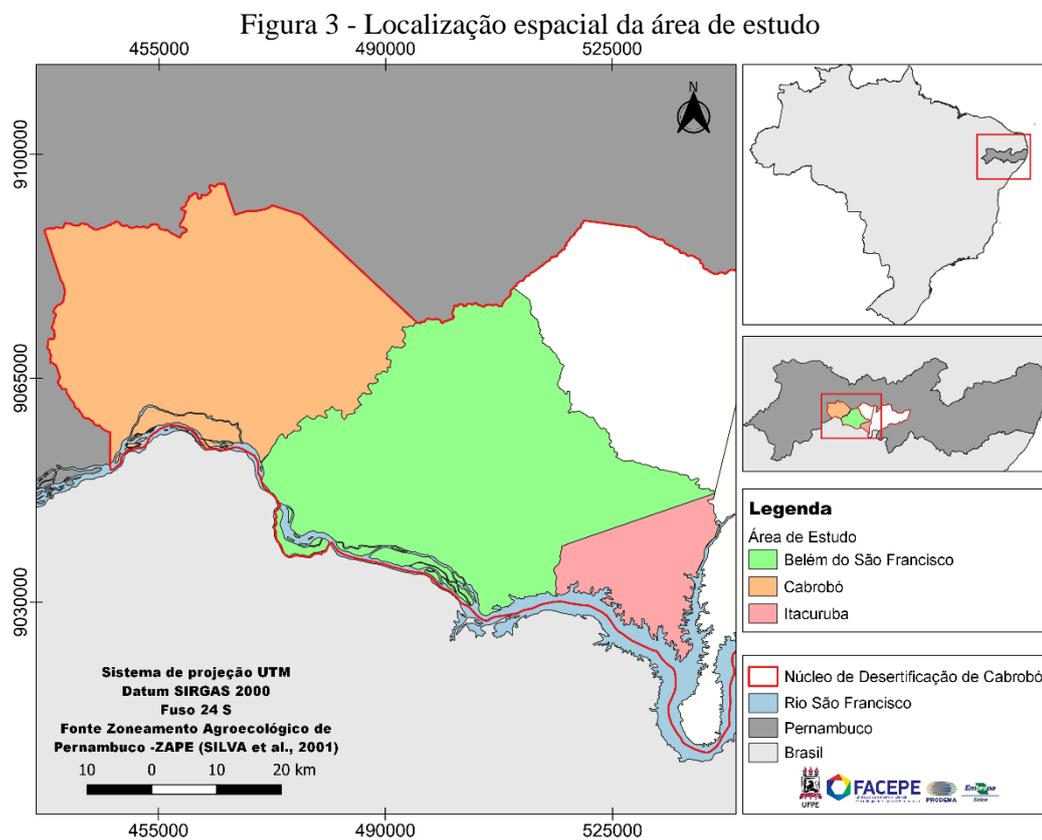
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar o potencial de uso das terras na condição de sequeiro e com uso da irrigação;
- Apontar as mudanças da cobertura vegetal na área de estudo nas últimas três décadas;
- Descrever o processo evolutivo do uso da terra nas últimas três décadas;
- Estimar as possíveis alterações que ocorrerão no padrão de uso e ocupação da terra em cenários futuros;
- Identificar possíveis conflitos entre o uso atual e o uso potencial das terras ao longo do tempo.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E POPULAÇÃO

A área de estudo compreende os municípios de Belém do São Francisco (830,797 km²), Cabrobó (1.658,616 km²) e Itacuruba (430,038 km²) localizados no estado de Pernambuco – Nordeste do Brasil e inseridos no NDC (Figura 3). Belém do São Francisco e Itacuruba estão inseridos na mesorregião do São Francisco Pernambucano e na microrregião do Itaparica, e Cabrobó na mesorregião do São Francisco Pernambucano e microrregião de Petrolina (BRASIL, 2007).



No censo de 2010 a população de Belém do São Francisco era de 20.253 habitantes, atualmente, estima-se que seja de 20.730 (IBGE, 2022a), Cabrobó em 2010 possuía 30.873 habitantes, e atualmente, estima-se que tenha 34.778 habitantes (IBGE, 2022b), E no último censo a população de Itacuruba era de 4.369 habitantes, e atualmente o estima-se que a população seja de 5.013 habitantes (IBGE, 2022c).

3.2 GEOLOGIA E PEDOLOGIA

O embasamento geológico predominante na área de estudo é o cristalino, contendo algumas regiões de depósitos sedimentares (Figura 4). De acordo com Gomes e Santos (2001), os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba estão inseridos dentro das unidades geológicas:

EY - (Neoproterozóico - Cambriano): Granitos, granodioritos e quartzomonzonitos leucocráticos. Suíte metaluminosa alcalina;

M&3 - Rochas metaplutônicas (Mesoproterozóico): Metaperidotitos, metapiroxenitos, tremolititos, crossititos, metagabro e metabasaltos com minério de Fe-Ti. suíte metamórfico-ultramáfica serrote das pedras pretas;

Mbf - Complexo Belém de São Francisco (Mesoproterozóico): Biotita ortognaisses tonalíticos/granodioríticos, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados e migmatitos com mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a anfibólio e/ou biotita, etc;

Mcb1 - Complexo Cabrobó (mesoproterozoico): Biotita, gnaisses quartzofeldspáticos, micaxistos, metagrauvas, paragnaisses e migmatitos, com níveis de quartzitos, anfibolitos e calcários;

Mcb2 - Complexo Cabrobó (Mesoproterozóico); Metarcósios com muscovita, apresentando níveis quartzíticos;

Mic - Complexo Lagoa Contendas (Mesoproterozóico): Gnaisses quartzo-feldspáticos, paragnaisses, xistos, metandesitos, metaquartzo andesitos, metadacitos, metavulcão-clásticas; raros metabasaltos, formações ferríferas e rochas calcissilicáticas;

Msc - Complexo São Caetano (Mesoproterozóico): Granada-biotita-moscovita paragnaisses e metagrauvas, predominantes, com intercalações de quartzitos e metavulcão-clásticas; metadacitos, metarriodacitos, metabasaltos; raros metagabros e metacherts;

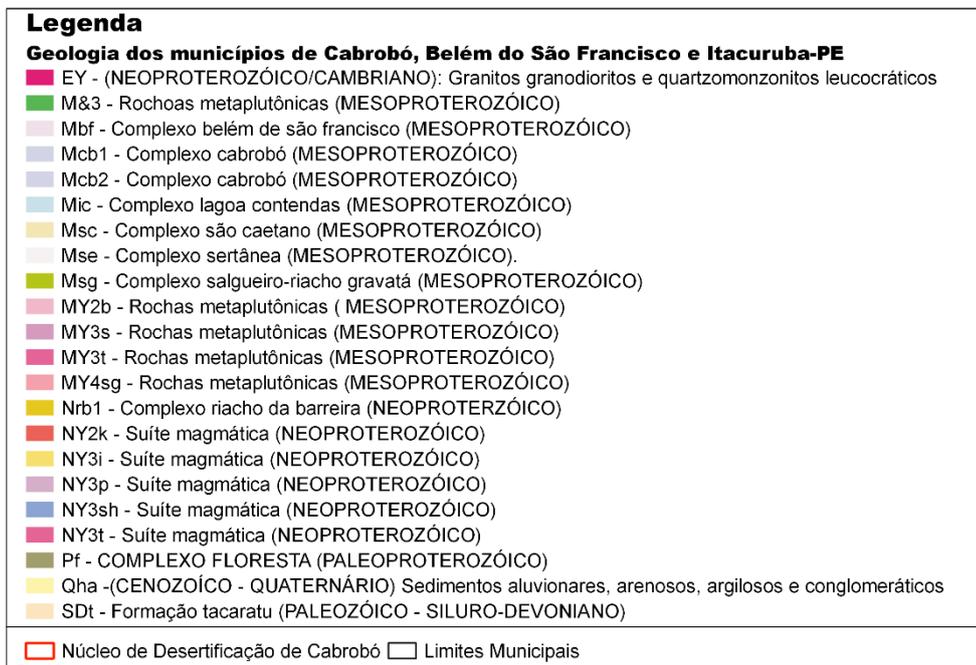
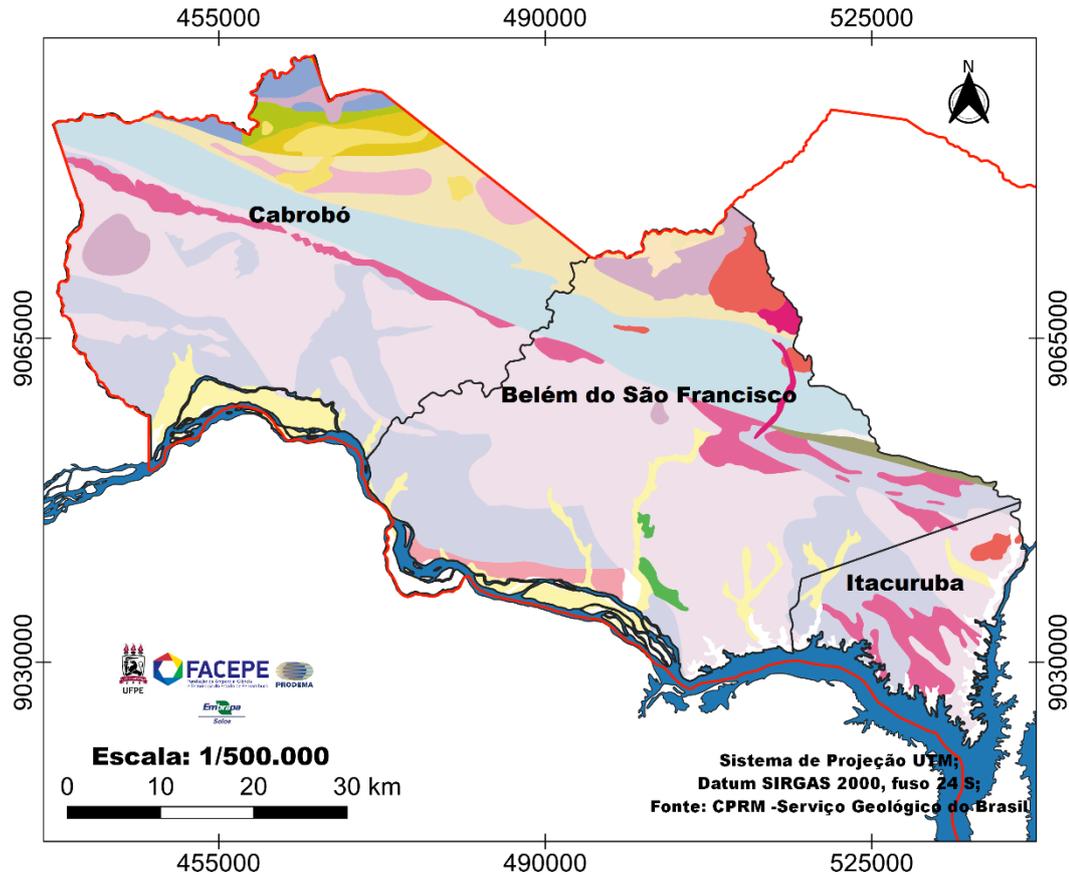
Mse - Complexo Sertânia (Mesoproterozóico): Biotita gnaisses geralmente com granada e silimanita (frequentemente migmatizados), com níveis de calcário/mármore calcíticos e dolomíticos, quartzitos, rochas calcossilicáticas e anfibolitos;

Msg - Complexo Salgueiro-Riacho Gravatá (Mesoproterozóico): metapelitos, metaspsamitos, metagrauvas, metaturfos, metavulcânica e/ou plutônica ácidas a intermediárias, metavulcânicas básicas, por vezes com rocha ultrabásicas;

MY2b - Rochas metaplutônicas (Mesoproterozóico): Augen ortognaisses grosseiros, graníticos a tonalíticos e quartzo-monzoníticos a monzodioríticos, contendo enclaves máficos e porções migmatíticas;

- MY3s** - Rochas metaplutônicas (Mesoproterozóico): Metamonzogranitos com porções sienograníticas e migmatitos leucocráticos com granadas, biotita e moscovita. suíte peraluminosa;
- MY3t** - Rochas metaplutônicas (Mesoproterozóico): Biotita ortognaisses leucocráticos, granitos quartzo-monzoníticos, granodioríticos e thondjemíticos. suíte calcialcalina e thondjemítica;
- My4sg** - Rochas metaplutônicas: (Mesoproterozóico): Leucogranitóides contendo biotita e muscovita e/ou granada ou cordierita;
- Nrb1** - Complexo Riacho da Barreira (Neoproterozóico): Micaxistos
- NY2k** - Suíte magmática (Neoproterozóico): Biotita-anfibólio granitóides grossos a porfiríticos, com enclaves dioríticos e fácies sieníticas;
- NY3t** – Suíte Magmática (neoproterozoico): monzodioritos, monzonitos, quartzo monzonitos e biotita granitos (granitoides de afinidade thondjemítica, tipo serrita);
- NY3i** - Suíte magmática (Neoproterozóico): Biotita leucogranitos/granodioritos, às vezes com granada, podendo predominar muscovita e/ou turmalina. suíte peraluminosa leucocrática;
- NY3p** - Suíte magmática (Neoproterozóico): Álcali feldspato granito/sienito, quartzo sienito e quartzomonzonito com proporções variáveis de biotita, hornblenda e piroxênio, além de enclaves de micapiroxenito. suíte ultrapotássica peralcalina;
- NY3sh** - Suíte magmática (Neoproterozóico): Anfibólio-quartzo sienitos, sienitos e quartzo monzoníticos, com clinopiroxênio e/ou biotita, além de álcali-feldspato granitos e granitos. suíte shoshonítica peralcalina e ou metaluminosa;
- NY3t** - Suíte Magmática (Neoproterozóico): Monzodioritos, monzonitos, quartzo monzonitos e biotita granitos (granitóides de afinidade thondjemítica, tipo serrita);
- Pf** - Complexo Floresta (Paleoproterozóico): Ortognaisses quartzo dioríticos, tonalíticos e granodioríticos, com biotita e/ou anfibólio; granulitos e migmatitos, com metagabros, metadioritos, magnetita-grünerita xistos, grafita xistos, etc;
- Qha** – (Cenozoico - Quaternário): Sedimentos aluvionares, arenosos, argilosos e conglomeráticos;
- SDt** - Formação Tacaratu (Paleozóico - Siluro-Devoniano): Conglomerados a arenitos grossos e finos.

Figura 4 - Geologia dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

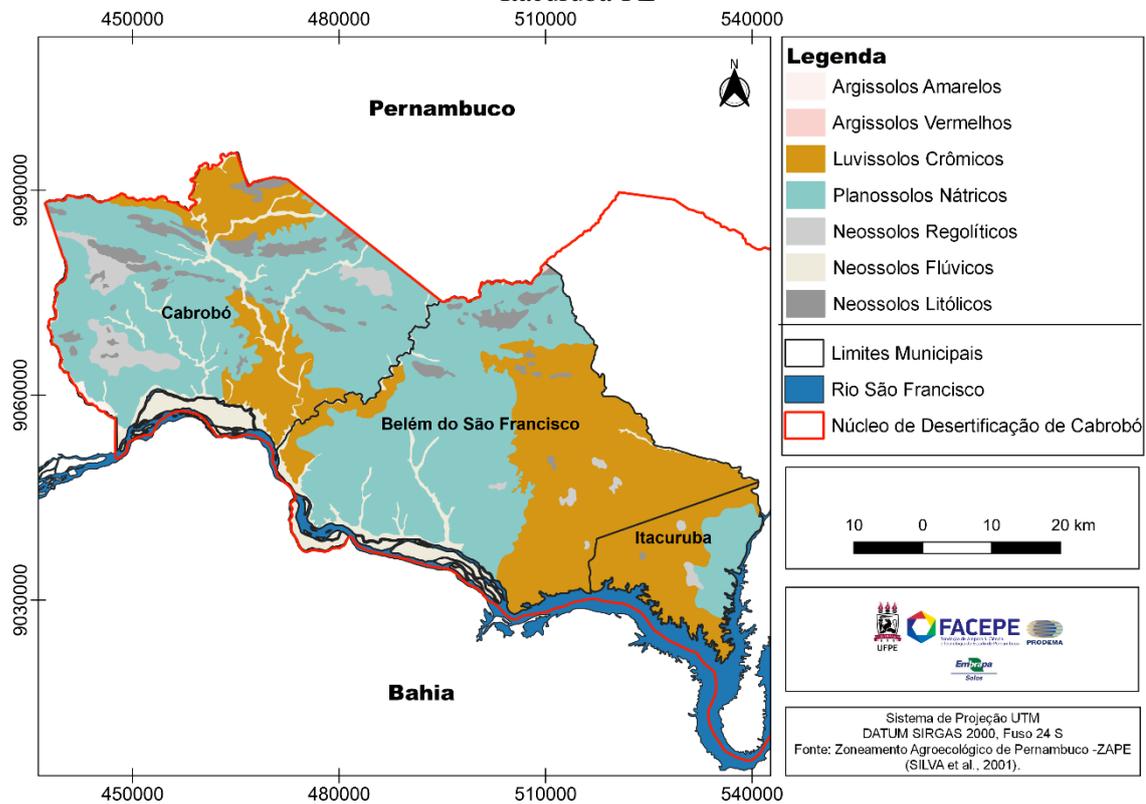


Fonte: Elaboração do autor.

Com relação aos solos predominantes nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE (Figura 5), de acordo com o Zoneamento Agroecológico de Pernambuco (ZAPE) as classes são: Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelhos, Luvissolos

Crômicos, Planossolos Nátricos, Neossolos Regolíticos, Neossolos Flúvicos e Neossolos Litólicos (SILVA *et al.*, 2001).

Figura 5 - Classes de Solos Predominantes nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

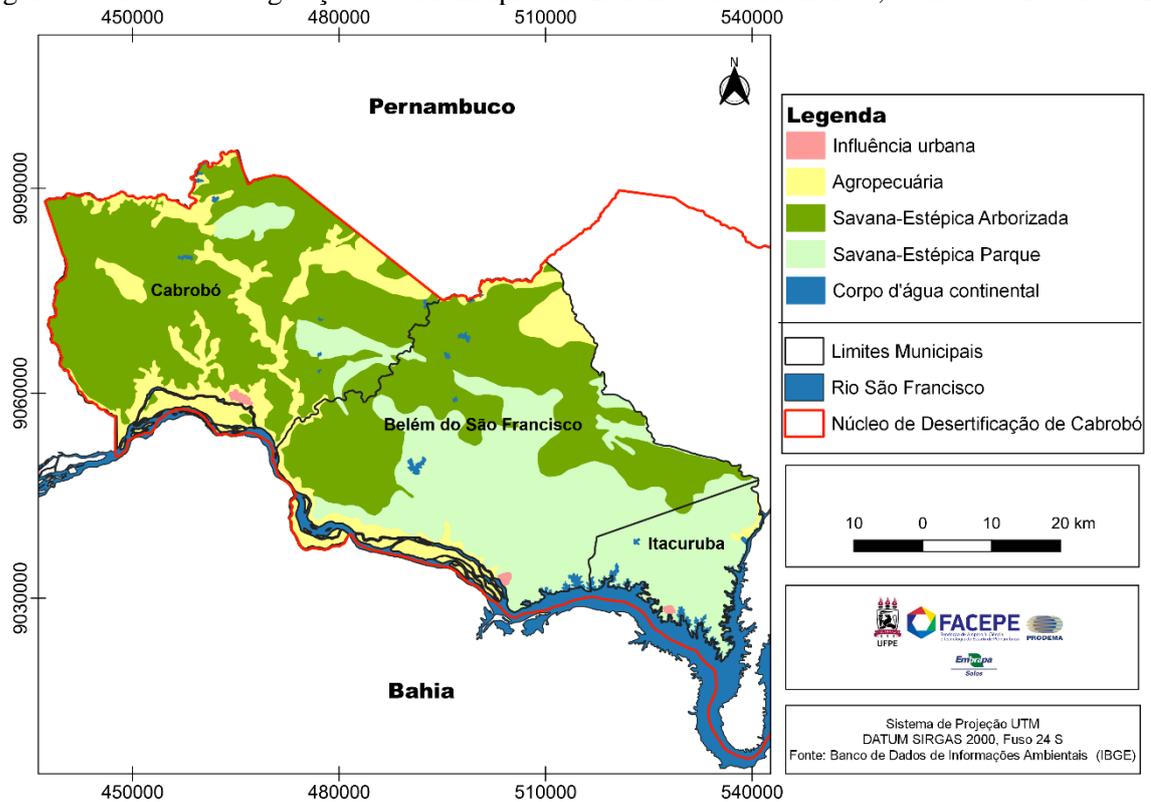
3.3 VEGETAÇÃO E CLIMA

Os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba estão inseridos dentro do contexto do semiárido pernambucano e o clima predominante, com base na escala de Köppen (1928), é o BSh, caracterizado como semiárido quente. De acordo com Medeiros *et al.* (2018) na área de estudo as condições climáticas impõem irregularidade na distribuição da precipitação e uma média de temperatura elevada, com período chuvoso de novembro a meados de abril.

A vegetação predominante nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba é a Caatinga Hiperxerófila (JACOMINE *et al.*, 1972; ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000), variando entre os portes arbóreos e arbustivos a depender da localização e do regime pluviométrico. A partir do Banco de Dados de Informações Ambientais do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2022), pôde-se obter as classes de vegetação na escala

1:250.000: Savana-Estépica Arborizada, Savana-Estépica Parque, Agropecuária e Influência urbana (Figura 6).

Figura 6 - Classes de Vegetação dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

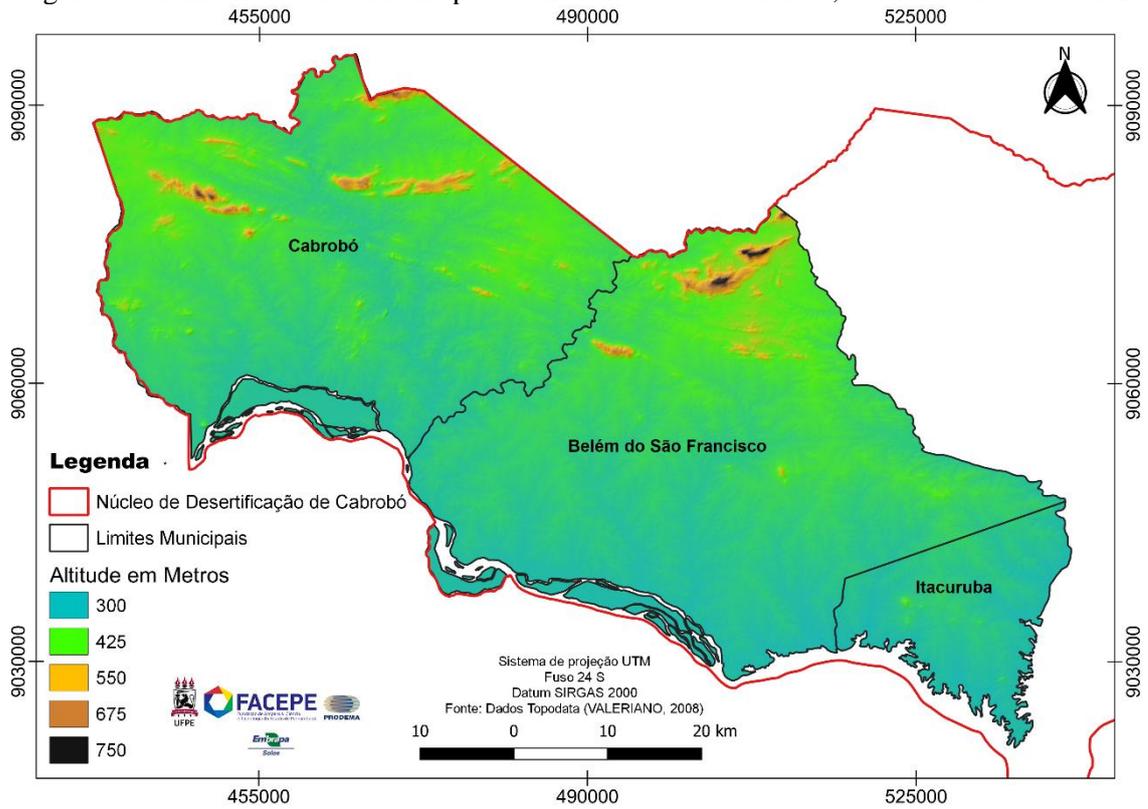


Fonte: Elaboração do autor.

3.4 RELEVO E HIDROGRAFIA

O relevo predominante na área de estudo, é o suave ondulado e plano inserido na unidade de paisagem da depressão sertaneja. Nesta paisagem o relevo é marcado por superfícies de pediplanação bastante monótonas associadas a *inselbergs*, que são superfícies residuais de maior resistência que demonstram a erosão diferencial que ocorreu no semiárido, vales estreitos como vertentes dissecadas e relevo, de modo geral, suave-ondulado (SILVA *et al.*, 1993). Com relação a altitude, pode variar entre 299 e 745 metros, apresentando, assim, 446 metros de amplitude entre a cota mais alta e a mais baixa (Figura 7).

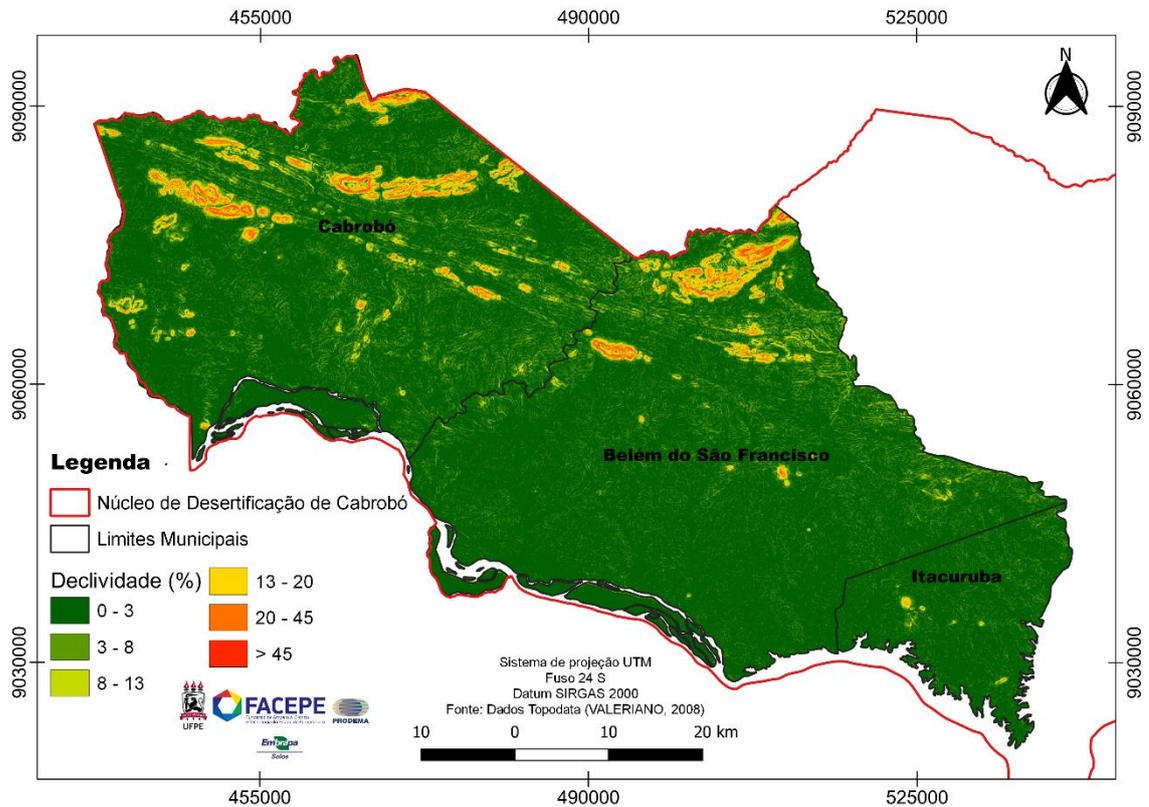
Figura 7 - Altimetria dos nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

A declividade apresentada nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, se encontra entre os intervalos de 0 – 3%, 3 – 8%, 8 – 13% e 20 – 45% de acordo com os critérios de Santos *et al.* (2005). Onde predominando os intervalos de menor diferença de declividade (Figura 8).

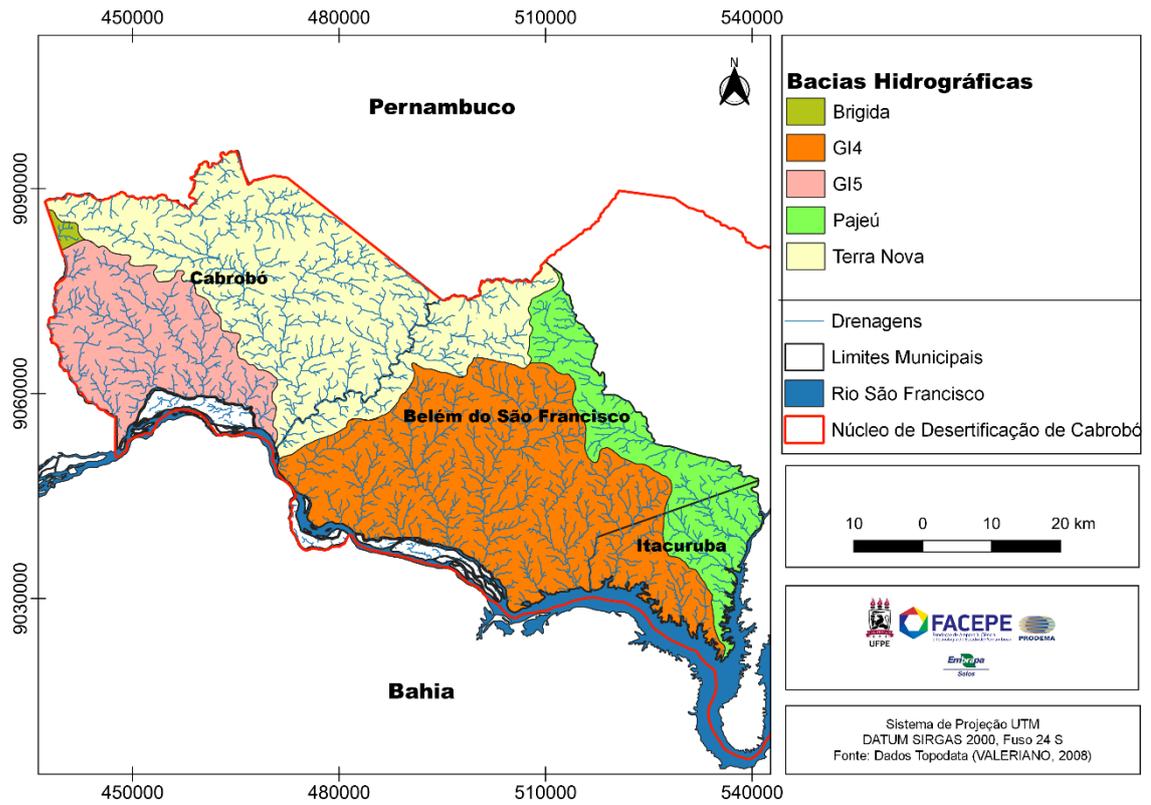
Figura 8 - Graus de Declividade Presentes nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

Os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba apresentam uma rede de drenagem intermitente em função de seu regime pluviométrico irregular que escoar, de modo geral, em direção ao Rio São Francisco (Figura 9). Os municípios estão inseridos nas bacias hidrográficas do rio Brígida (Cabrobó), no Grupo de bacias de pequenos rios interiores 4 GL4 (Belém do São Francisco e Itacuruba), no Grupo de bacias de pequenos rios interiores 5 GL (Cabrobó), do rio Pajeú (Belém do São Francisco e Itacuruba), e do rio Terra Nova (Belém do São Francisco e Cabrobó).

Figura 9 - Padrão de Drenagem Presente nos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

4 ARTIGO 1: POTENCIAL DE USO DAS TERRAS NA CONDIÇÃO DE SEQUEIRO NOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE

4.1 INTRODUÇÃO

O uso da terra quando realizado sem o respeito das limitações e potencialidades agrícolas pode causar a degradação ambiental em diferentes escalas. Isso pode se manifestar em forma de perda das safras, diminuição da produtividade das lavouras, diminuição dos serviços sistêmicos dos recursos naturais (PEREIRA; LOMBARDI NETO; TOCCHETTO, 2004) entre outras.

O semiárido nordestino é ocupado predominantemente pelo bioma caatinga, que possui dinâmica própria, e está totalmente alinhado às condições climáticas locais, sendo a distribuição das chuvas um fator determinante para estrutura e distribuição da vegetação do ecossistema (VIEIRA *et al.*, 2018). A combinação dos baixos índices de precipitação anual com as altas taxas de evapotranspiração faz com que o semiárido nordestino seja uma região com equilíbrio ambiental delicado, no sentido de apresentar elevado risco de degradação ambiental ao ser submetido as atividades agropastoris, o qual aumenta ao ser associado ao baixo nível tecnológico que essas atividades são realizadas há mais de 300 anos de exploração (SAMPAIO; ARAÚJO; SAMPAIO, 2005b).

No semiárido nordestino já existem muitas áreas em processo de desertificação, pois grande parte dessa região apresenta uma crescente degradação das terras (TAVARES; ARRUDA; SILVA, 2019). Nesse sentido, Vieira *et al.* (2015) apontam que para o período entre 2000 e 2010, 94% do semiárido Nordeste apresentou alta ou moderada sensibilidade ambiental a desertificação. Assim, o Governo Federal do Brasil reconhece quatro áreas com maior risco aos processos de desertificação, os Núcleos de Desertificação de Cabrobó (PE), de Gilbués (PI), de Irauçuba (CE) e de Seridó (RN) (BRASIL, 2007).

A questão da desertificação se tornou alvo de debate internacional a partir da Conferência do Meio Ambiente em Estocolmo, Suécia, no ano de 1972, o que trouxe como desdobramento a realização de outros eventos para amplo debate acerca da temática, a exemplo: Conferência Mundial sobre Desertificação que ocorreu no ano de 1977 em Nairóbi no Quênia; Rio-92 no Rio de Janeiro - Brasil no ano de 1992; Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD) elaborada em 1994 (SOARES; NÓBREGA; GALVÍNCIO, 2018).

A desertificação está ligada a causas naturais e a intensos processos de exploração antropológicas a exemplo do desmatamento, queimadas, pecuária extensiva, práticas agrícolas não conservacionistas etc. Essas práticas associadas a limitações do meio físico natural são responsáveis pelo empobrecimento do solo, erosão, redução dos nutrientes disponíveis, dificuldade do crescimento da cobertura vegetal e exposição dos solos às intempéries naturais (SANTOS; AQUINO, 2016).

O uso e a mudança na cobertura da terra são amplamente reconhecidos como fatores impulsionadores da desertificação, haja vista que a degradação da terra começa pela substituição da cobertura vegetal pela agricultura e pecuária (VEIRA *et al.*, 2021). A degradação do solo no semiárido nordestino está associada ao intenso uso dos recursos da terra, sem o respeito de suas limitações e potencialidades (TOMASELLA *et al.*, 2018).

Para que o uso da terra ocorra de forma sustentável é necessário um conhecimento prévio acerca da aptidão agrícola do solo, pois o manejo afeta diretamente a qualidade da água e a biodiversidade do solo. A partir da necessidade de racionalização do uso da terra muitos sistemas, com variados critérios de classificação de solos em acordo com sua capacidade de uso, foram criados (MATOSO; ZAQUEO; NOBREGA, 2016).

Nos Estados Unidos a classificação de capacidade de uso da terra ocorre desde a década de 1940. Já na Escócia, Inglaterra e País de Gales havia um sistema de classificação para o uso do solo em 1969 derivado de levantamentos pedológicos (MATOSO; ZAQUEO; NOBREGA, 2016). No Brasil, o pioneirismo nos levantamentos pedológicos aplicados a aptidão agrícola das terras pode ser atribuído ao trabalho desenvolvido por Bennema *et al.* (1964) intitulado de “Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamento de reconhecimento de solos”, que foi publicado pela Divisão de Pedologia e Fertilidade do Solo (DPFS) do Ministério da Agricultura. Nesse sistema, a classificação era realizada para lavouras de ciclo curto e longo em diversos sistemas de manejo (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994).

Da mesma forma que os sistemas taxonômicos de classificação de solos variam de acordo com o país ou mesmo instituição, as avaliações de aptidão agrícolas de solos podem utilizar variáveis diferentes a depender do país (MATOSO; ZAQUEO; NOBREGA, 2016). Tendo em vista, a existência de diferentes abordagens de avaliação das terras em que os países desenvolviam seus próprios sistemas de avaliação, a FAO, em 1976, lançou um documento intitulado de “*A framework for land evaluation*” que levantou bases para garantir alguma padronização nas metodologias de avaliação da aptidão agrícola nas diferentes partes do mundo (FAO, 1976).

No Brasil há duas metodologias de interpretações técnicas de terras para uso agrícola na dependência de chuvas. Uma delas é a classificação de terras no sistema de capacidade de uso (LEPSCH et al., 2015) e a outra é o sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994). A primeira considera um nível de manejo relativamente elevado, o que não coaduna com a realidade na maior parte da região Nordeste do Brasil, especialmente no semiárido, e prioriza aspectos de práticas de conservação do solo. A segunda, por sua vez, considera níveis de manejos diferenciados, levando em conta às condições socioeconômicas dos agricultores, o que a torna mais flexível e apropriada para a realidade do Nordeste brasileiro, dessa forma, sendo a metodologia da avaliação da aptidão agrícola das terras utilizada na referida pesquisa.

A metodologia de Ramalho Filho; Beek (1994) é influenciada pelas informações contidas no “Soil Survey Manual” (ESTADOS UNIDOS, 1951) e na FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura) (1976) que recomendam que os levantamentos de classificação dos solos para o uso sejam baseados em resultados de levantamentos que tenham como suporte os vários atributos da terra como solo, clima, vegetação, geomorfologia, etc. O sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras avalia os atributos físicos das terras em regime de sequeiro (dependente de chuvas), classificando-a de acordo com suas potencialidades, níveis de manejo, segundo a condição social e econômica dos agricultores em diferentes realidades.

No sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola desenvolvido por Ramalho Filho; Beek (1994) são considerados três níveis de manejo definidos pelas letras A, B e C na simbologia de classificação. O primeiro nível de manejo, o nível A (primitivo), reflete práticas agrícolas sem o emprego de tecnologias, não ocorrendo aplicação de capital para o manejo, melhoramento e conservação das terras e lavouras. Esse nível de manejo depende sobretudo do trabalho braçal, e também de tração animal, em alguns casos, com implementos agrícolas simples. Portanto, esse nível de manejo não é considerado conservacionista, haja vista que sem o emprego de cuidados ao solo o uso pode acelerar os processos de degradação.

O nível de manejo B (pouco desenvolvido) está relacionado a um médio nível de desenvolvimento tecnológico, com pouco investimento de capital e de ciência no manejo, melhoramento e conservação dos recursos do solo e das lavouras. Nesse sentido, no nível B há práticas de calagem, adubação com NPK, tratamentos fitossanitários simples e mecanização com tração animal ou motorizada utilizados para o preparo inicial do solo (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994).

O nível C (desenvolvido) reflete práticas agrícolas com alto emprego de tecnologias e intenso nível de aplicação de capital e de ciência no manejo, melhoramento e conservação dos recursos do solo e das lavouras em todas as fases dos empreendimentos agrícolas (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994).

O método de avaliação da aptidão agrícola das terras de Ramalho Filho e Beek (1994), nos diferentes níveis de manejo, preconiza a análise de atributos relacionados a deficiência de fertilidade, deficiência de água, excesso de água, suscetibilidade à erosão e impedimentos à mecanização como fatores de limitação ao uso agrícola.

A fertilidade pode considerar a dependência, sobretudo, a disponibilidade de macro e micronutrientes no perfil de solo, além da presença de sais solúveis e de algumas substâncias tóxicas que reduzem a presença de alguns minerais importantes para as plantas como o alumínio (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994). Ao utilizar o método de avaliação de aptidão agrícola em uma área que abrange 17 municípios da região de Ribeirão Preto-SP, Pereira e Lombardi Neto (2004) atribuíram a cada fator de limitação à aptidão agrícola atributos diagnósticos para fazer a análise. Neste estudo, a deficiência de fertilidade foi analisada a partir dos nutrientes, alumínio e fósforos presentes em solo.

A deficiência de água pode ser considerada quanto a quantidade de água presente no perfil do solo que pode ser aproveitada pelas plantas, sendo produto do clima, sobretudo porque essa análise não considera a irrigação, e das condições pedológicas (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994). Barbosa Neto, Araújo e Araújo Filho (2017) utilizaram a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1994) na bacia hidrográfica do Rio Natuba-PE, e empregaram balanços hídricos normais baseados em Thornthwaite e Mather (1995) como um dos requisitos para realizar a análise do atributo deficiência de água no solo.

O excesso de água ou deficiência de oxigênio reflete a drenagem natural do solo, que está relacionada a vários fatores como a precipitação, evapotranspiração, relevo local, morfologia do solo (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994). Ao realizar uma análise da aptidão agrícola do solo na área da bacia hidrográfica do Rio Goiana-PE empregando a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1994), Silva e Barbosa Neto (2020) utilizaram os dados do Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do Estado de Pernambuco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000) para avaliar como a drenagem altera as características morfológicas dos solos, e assim compreender se havia excesso de água ou deficiência de oxigênio nos perfis de solo.

A suscetibilidade à erosão é a capacidade de perda de material que a superfície do solo pode apresentar quando submetida ao uso sem medidas conservacionistas. Relaciona-se às

condições climáticas (especialmente a quantidade e distribuição de chuvas), do solo (textura, permeabilidade, profundidade etc.), do relevo e da cobertura vegetal, onde o relevo possui uma posição destacada nessa metodologia (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994). O impedimento a mecanização diz respeito às condições que as áreas apresentam com relação ao uso de máquinas agrícolas, sendo considerados os atributos de drenagem, profundidade, textura, tipo de argila, pedregosidade, rochosidade e especialmente a topografia da área (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994). Ao analisar as classes de suscetibilidade à erosão e os impedimentos à mecanização na bacia hidrográfica do Rio Goiana-PE, Silva e Barbosa Neto (2020) utilizaram um Modelo Digital de Elevação para gerar as classes de declividade em porcentagem e obter as limitações com relação a erosão e a mecanização em sua área de estudo.

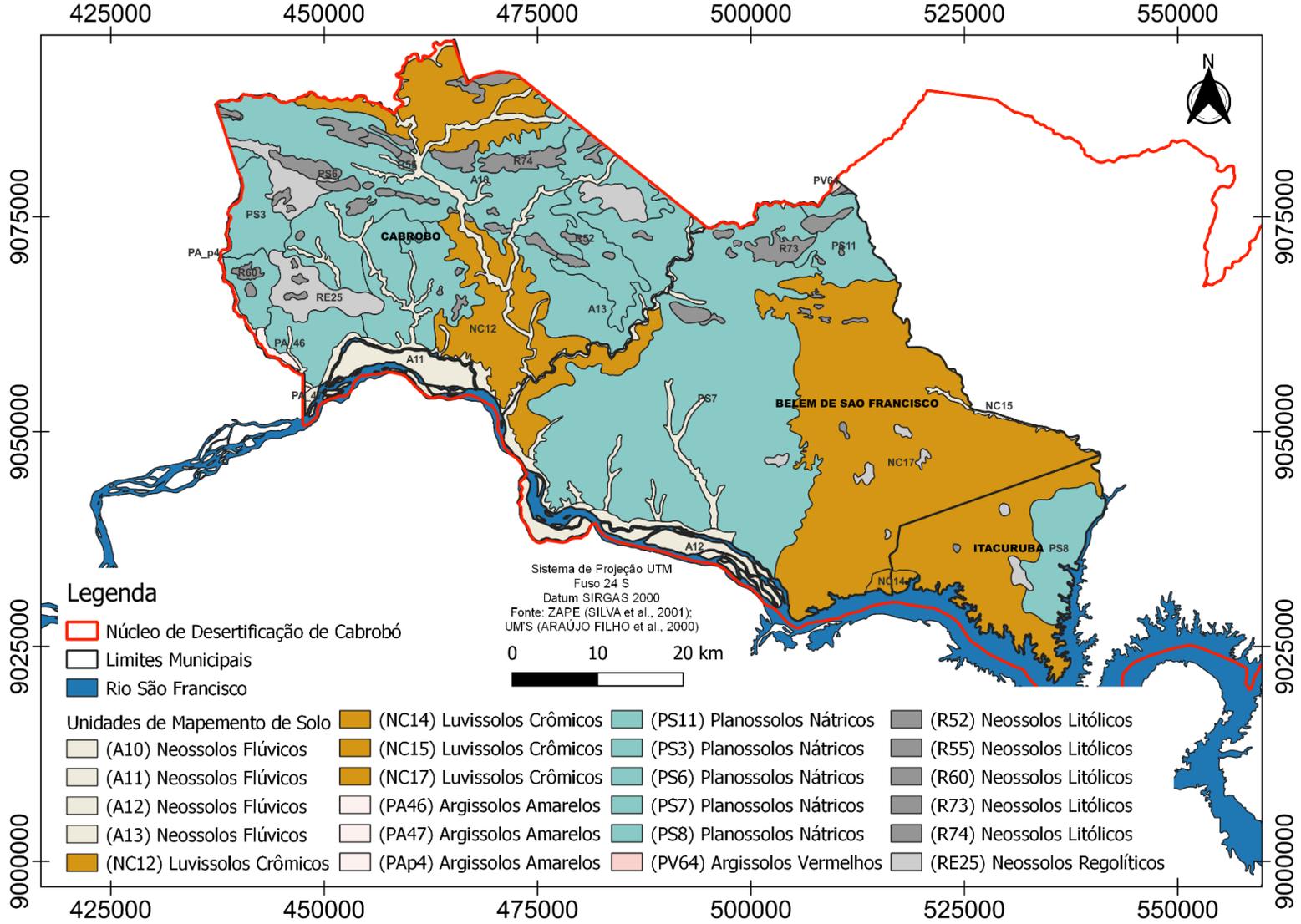
Diante da necessidade de intervenções no meio físico natural do semiárido nordestino que respeitem as limitações e potencialidades específicas regionais, objetivou-se fazer um mapeamento da aptidão agrícola em regime de sequeiro, nas classes de manejo A, B e C (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994) para a área dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba dentro do contexto do núcleo de desertificação de Cabrobó no estado de Pernambuco.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, localizados dentro do contexto do NDC no Estado de Pernambuco. Os atributos analisados para determinar a aptidão agrícola das terras foram: deficiência de fertilidade, deficiência de água, deficiência de oxigênio, suscetibilidade a erosão e impedimentos à mecanização. A avaliação realizada considerou os níveis de manejo A (baixa tecnologia), B (média tecnologia) e C (alta tecnologia) da metodologia de Ramalho Filho e Beek (1994).

Para o mapeamento da aptidão agrícola das terras foi utilizada a base de dados do Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000) escala 1:100.000, em que foram coletados os dados das vinte três (23) unidades de mapeamento (UM) (Figura 10) (Anexo A) dos solos compreendidos dentro da área de estudo.

Figura 10 - Mapa das Unidades de Mapeamento de Solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba



Fonte: Elaboração do autor.

4.2.1 Sistema de Avaliação de Aptidão Agrícola Adotados no Estudo

4.2.1.1 Níveis de Manejo Considerados

Os níveis de manejo utilizados na análise da aptidão agrícola da área de estudo foram o A, B e o C, mesmo que o nível A não seja considerado conservacionista. Convém lembrar que de acordo com Ramalho Filho e Beek (1994), a classe de uso referente a pastagem natural e silvicultura está ligada a um uso da terra sem práticas de melhoramento e emprego de tecnologia, estando assim ligada ao nível de manejo A. Contudo, devido a realidade socioeconômica do semiárido se faz necessário considerar o nível de manjo A e os usos com pastagem e silvicultura.

4.2.1.2 Grupos, Subgrupos e Classes de Aptidão Agrícola

O sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras desenvolvido por Ramalho Filho e Beek (1994) oferece a vantagem de apresentar toda a classificação em um único mapa e, para facilitar a montagem e visualização, sua estrutura foi organizada em grupos, subgrupos e classes de aptidão agrícola.

Os grupos de aptidão agrícola identificam, no mapa, o tipo de utilização mais intensivo das terras. São identificados por meio de números que vão de 1 a 6. Os grupos 1, 2 e 3 correspondem a identificação das terras indicadas ao uso com lavouras e seus subgrupos, as melhores classes de aptidão para lavouras, conforme os manejos adotados; os grupos 4, 5 e 6 indicam respectivamente as terras destinadas para pastagem plantada, silvicultura e/ou pastagem natural e preservação da flora e fauna. Os grupos são representados por meio de algarismos em escala decrescente de acordo com as possibilidades de uso da terra. Dessa forma, as limitações ao uso aumentam do grupo 1 até o grupo 6 (Figura 11) (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994).

Figura 11 - Grupos de aptidão agrícola (1 a 6) e suas alternativas de utilização das terras de acordo com os graus de intensidade de limitação

Grupo de Aptidão Agrícola		Aumento da intensidade de uso →				
		Preservação da Flora e da Fauna	Silvicultura e/ou pastagem natural	Pastagem plantada	Lavouras	
Aumento de intensidade da limitação ↓ Diminuição das alternativas de uso	Aptidão restrita				Aptidão regular	Aptidão boa
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					

Fonte: Ramalho Filho; Beek (1994, p. 10).

No que se refere aos subgrupos de aptidão agrícola, Ramalho Filho e Beek (1994) compreendem que são definidos como o resultado do conjunto de avaliação de classe de aptidão relacionada com o nível de manejo, indicando o tipo adequado de utilização da terra (Tabela 1).

Tabela 1 - Diferenciação dos grupos e subgrupos de aptidão agrícola das terras de acordo com os níveis de manejo B e C

Grupo	Caracterização	Subgrupo
1	Terras com aptidão boa para lavouras de ciclo curto e/ou longo nos níveis de manejo B e/ou C.	1BC 1Bc, 1B(c), 1B 1bC,1(b)C, 1C
2	Terras com aptidão regular para lavouras de ciclo curto e/ou longo nos níveis de manejo B e/ou C.	2bc 2b(c), 2b 2(b)c, 2c
3	Terras com aptidão restrita para lavouras de ciclo curto e ou longo nos níveis de manejo B e/ou C.	3(bc) 3(b) 3(c)
4	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para pastagem plantada.	4P 4p 4(p)
5	Terras com aptidão boa, regular ou restrita para silvicultura.	5S 5s 5(s)
6	Terras sem aptidão para uso agrícola	6

Fonte: Ramalho Filho; Beek (1994, p. 18).

A última categoria abordada na metodologia de Ramalho Filho e Beek (1994) é a de classe de aptidão agrícola, que pode ser **boa**, **regular**, **restrita** e **inapta** para cada tipo de utilização indicado. As classes demonstram a aptidão agrícola para uma determinada forma de uso da terra em um nível de manejo, dentro de um subgrupo de aptidão, refletindo o grau de intensidade que as limitações afetam as terras.

As classes de aptidão agrícola da metodologia de Ramalho Filho e Beek (1994) foram fixadas a partir do boletim da FAO (1976), sendo apresentadas abaixo:

- **Classe boa:** terras sem limitações significativas ao uso agrícola, podem sustentar um regime de produção sob um determinado uso a partir de suas condições de manejo. Podem possuir limitações ao uso, contudo essas restrições não reduzem a produtividade ou benefícios e não aumentam os custos de produção.
- **Classe regular:** são terras que apresentam limitações moderadas para a produção agrícola em um determinado tipo de uso a partir de suas condições de manejo. As suas limitações reduzem a produtividade e/ou os benefícios, aumentando os custos de produção e a necessidade do emprego de insumos para que tenha produtividade atrativa. Essa classe oferece vantagens ao produtor, ainda que inferiores à das terras da classe boa.

- **Classe restrita:** são as terras que apresentam fortes limitações a produção agrícola sob um determinado tipo de uso, dada as condições da terra. Essas limitações podem reduzir a produtividade e/ou os benefícios da produção, aumentando a necessidade de emprego de insumos na produção, e também os custos, de modo que os custos de produção só seriam justificados marginalmente.
- **Classe inapta:** terras que apresentam condições que limitem a produção de tal forma, que excluem a possibilidade do tipo de uso em questão.

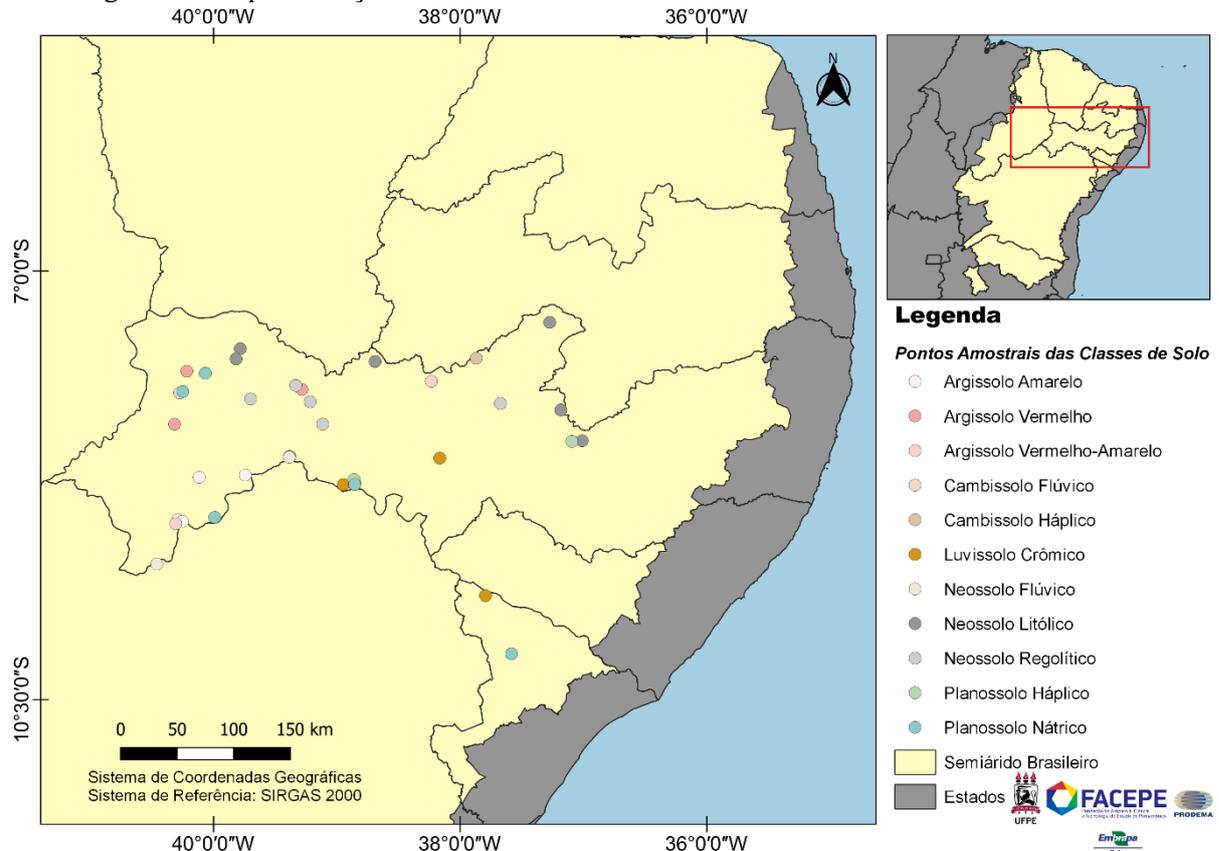
4.2.2 Parâmetros Analisados

4.2.2.1 Deficiência de Fertilidade

A análise do atributo deficiência de fertilidade para a área de estudo foi realizado com base na metodologia de Ramalho Filho e Beek (1994); Pereira e Lombardi Neto (2004) com as adaptações necessárias para o clima semiárido. Os procedimentos foram realizados a partir da análise dos atributos da disponibilidade de nutrientes e de elementos *fitotóxicos como alumínio (%)*, *salinidade (dS/m)* e *saturação por sódio (%) dentro do perfil das diferentes classes de solos presentes nas* unidades de mapeamento dos solos. Para essa análise foram considerados os valores dentro das camadas 0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm e 60-120 cm, pois dentro do contexto do semiárido há fenômenos que podem caracterizar fitotoxicidade, como a salinização, que ocorrem inicialmente abaixo dos horizontes superficiais (AMARAL, 2011).

A análise da deficiência de fertilidade foi realizada em cinco etapas. A primeira consistiu no levantamento de dados morfológicos e analíticos de perfis de solo contidos na área de estudo e de regiões adjacentes, pois para a área de estudo consta um número limitado de informações acerca dos perfis de solos. Dessa forma, optou-se pelo recurso de utilizar dados de solos de regiões adjacentes com mesma dinâmica geoambiental (em termos de condições climáticas, de vegetação, de material de origem, ou características similares entre o perfil e o que aponta as características dos solos das UM's) além dos dados dos solos localizados na área de estudo (Figura 12). Sendo a solução encontrada, haja vista que se trata de um levantamento relativamente generalizado. As fontes de informações foram: Pronasolos, Zoneamento Agroecológico de Pernambuco, Dissertações e Teses da UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco), EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e os principais portais de busca (Quadro 1).

Figura 12 - Espacialização dos Pontos Amostrais das Classes de Solo Utilizados no Estudo



Fonte: Dados da Pesquisa.

Quadro 1 - Bibliografia utilizada como suporte para obtenção de dados morfológicos e analíticos de perfis de solo

Fonte Consultada
Jacomine <i>et al.</i> (1972); Silva <i>et al.</i> (2001); Lopes Silva <i>et al.</i> (2001); Silva <i>et al.</i> (2006); Galindo <i>et al.</i> (2008); Oliveira <i>et al.</i> (2009); Santos <i>et al.</i> (2012); Queiroz <i>et al.</i> (2013); Santana (2015); Santos (2015); Souza <i>et al.</i> (2010); Câmara (2016); Santos (2019); Menezes (2020).

Na segunda etapa foi realizado o cálculo dos valores médios dos atributos Capacidade de Troca de Cátions (C T C, em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$), Saturação por Bases (V %), Saturação por Alumínio (m%), Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CEe) a 25° C (dS/m) e *saturação por sódio (%) para as camadas 0-15 cm, 15-30 cm, 30-60 cm e 60-120 cm*, dentro dos perfis individuais e depois a média das diferentes classes de solos.

A terceira etapa consistiu na análise dos parâmetros de fertilidade de cada classe de solo. A princípio foi analisada a disponibilidade de nutrientes a partir da escala de valores

estabelecidos por Pereira e Lombardi Neto (2004), em função da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) conjugada com a Saturação de Bases (V%) (Tabela 2).

Tabela 2 - Limitação Referente a disponibilidade de nutrientes

Saturação por Bases (V %)	Capacidade de Troca de Cátions (C T C, em cmol _c kg ⁻¹)		
	>5	3 – 5	2 – 3
Graus de Limitação			
50 – 100	0	1	2
25 – 50	1	2	3
10 – 25	3	3	4
0 – 10	4	4	4

Fonte: Oliveira; Berg (1985) apud Pereira; Lombardi Neto (2004, p. 16).

0 = Nulo; 1 = Ligeiro; 2 = Moderado; 3 = Forte; 4 = Muito Forte.

A análise da limitação referente a saturação por alumínio foi realizada a partir dos valores da Capacidade de Troca de Cátions (CTC) em conjunto com a Saturação de Alumínio presentes nos perfis de solo. Essa avaliação foi realizada a partir da escala de valores fixados por Pereira e Lombardi Neto (2004), presentes na tabela 3.

Tabela 3 - Limitação Referente a Saturação por Alumínio

Saturação por Alumínio (m%)	Capacidade de Troca de Cátions (C T C, em cmol _c kg ⁻¹)	
	5 – 10	1 - 5
Graus de Limitação		
0 – 10	0	0
10 – 30	1	1
30 – 50	2	1
50 – 70	3	2
70 – 100	4	3

Fonte: Oliveira; Berg (1985) apud Pereira; Lombardi Neto (2004, p. 17).

0 = Nulo; 1 = Ligeiro; 2 = Moderado; 3 = Forte; 4 = Muito Forte

A análise da fitotoxicidade referente a salinidade no perfil do solo foi realizada a partir da análise da Condutividade Elétrica do extrato de saturação (CEe) a 25° C (dS/m) das camadas com a escala de valores estabelecidos por Amaral (2011) (Tabela 4) que demonstra a resposta das plantas aos diferentes valores de salinidade.

Tabela 4 - Limitação referente à Salinidade

Condutividade Elétrica a 25° C (dSm⁻¹)	Resposta das plantas	Grau de limitação
0,0 a 2,0	Os efeitos da salinidade são geralmente negligenciáveis	Nulo
2,0 a 4,0	A produtividade de culturas muito sensíveis à salinidade pode ser reduzida	Ligeiro
4,0 a 8,0	A produtividade de culturas sensíveis à salinidade é reduzida	Moderado
8,0 a 16,0	Somente culturas tolerantes à salinidade produzem satisfatoriamente	Forte
>16,0	Somente poucas culturas muito tolerantes à salinidade produzem satisfatoriamente	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Amaral (2011, p. 61).

O elemento de fitotoxicidade da saturação por sódio foi analisado a partir de uma escala de valores estabelecidos por Pizarro (1978) apud Amaral (2011) (Tabela 5), onde os valores expressos em porcentagem (%) de sódio trocável demonstram o caráter sódico do solo.

Tabela 5 - Limitação Referente a Saturação por sódio

Classe	S (%)	Grau de Limitação
Não Sódicos	< 7	Nulo
Ligeiramente Sódicos	7 - 10	Ligeiro
Medianamente Sódicos	11 - 20	Moderado
Fortemente Sódicos	21 - 30	Forte
Excessivamente Sódicos	> 30	Muito Forte

Fonte: Adaptado de Pizarro (1978) apud Amaral (2011, p. 57).

A quarta etapa foi a determinação da limitação de fertilidade das diferentes classes de solo. Essa análise foi realizada com base no parâmetro mais limitante dentro de todos os valores analisados dentro das camadas.

A quinta etapa consistiu na definição das classes deficiência de fertilidade por unidade de mapeamento presentes nos municípios estudados. Em que a definição das classes foi realizada em duas fases. A primeira fase foi a definição da limitação referente à fertilidade de cada classe

de solo presente nas UM's, nesse sentido os solos foram classificados de acordo com o parâmetro mais limitante nas camadas analisadas. A segunda fase foi a definição da classe de limitação de fertilidade da UM, a partir da representatividade (%) de cada classe de solo nas unidades de mapeamentos.

4.2.2.2 Deficiência de Água

Para a análise da deficiência de água foram realizados os procedimentos metodológicos adotados por Barbosa Neto, Araújo e Araújo Filho (2017), onde foi elaborado um balanço hídrico climatológico normal desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1995) a partir das médias de precipitação dos anos de 1990 a 2020, e temperatura para postos localizados nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba.

Os dados de precipitação para os postos de Belém do São Francisco foram coletados junto ao portal “Hidroweb” da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2021); os dados de precipitação do posto de Cabrobó foram obtidos junto ao banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) (2021); e os dados de precipitação do município de Itacuruba foram obtidos junto a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) (2021).

Os dados pluviométricos dos municípios de Cabrobó e Itacuruba vieram com algumas falhas, isto é, em alguns meses não havia o registro dos índices médios de pluviosidade. Contudo, os dados foram preenchidos com o uso do Método da Ponderação Regional de Bertoni e Tucci (2001), que consiste no emprego de uma equação que cruza os registros pluviométricos de estações próximas, com o da estação com a inconsistência e permite o preenchimento dos dados faltantes (Equação 1).

$$Y = 1/3. (x1/xm1 + x2/xm2 + x3/xm3). ym$$

(1)

Onde:

Y: É a precipitação no posto a ser estimado;

x1, x2 e x3: equivalem aos valores da precipitação das três estações próximas no mês ou ano que se deseja preencher;

xm1, xm2 e cm3: são as precipitações médias nas três estações próximas;

ym: é a precipitação média no ponto a ser estimado.

Os dados de temperatura foram coletados junto ao Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Campina Grande-PB (DCAUFCG) (2021) (Tabela 6).

Para a realização do balanço hídrico optou-se pelo uso de dados de temperatura de estações próximas as estações onde foram coletados os dados de chuva, haja vista que não foi possível obter dados da temperatura das mesmas estações. Dessa forma, a escolha por esses dados foi realizada devido à escassez de dados para os municípios estudados, onde os dados de temperatura ofertado DCAUFCG possuem precisão e cobertura dentro dos municípios a serem estudados.

Tabela 6 - Médias mensais de temperatura e precipitação dos postos localizados nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba

Mês	Postos					
	Belém do São Francisco	Belém do São Francisco	Cabrobó	Cabrobó	Itacuruba	Itacuruba
	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)	T (°C)	P (mm)
Jan	27,6	76,3	27,1	84,2	27,4	40,0
Fev	27,3	83,9	26,8	92,3	27,1	71,0
Mar	27,0	87,8	26,7	102,0	26,8	94,4
Abr	26,4	52,9	16,1	70,5	26,3	40,5
Mai	25,3	26,6	25,2	34,2	25,2	22,1
Jun	24,4	11,2	24,4	13,0	24,2	12,5
Jul	23,8	10,6	23,8	14,2	23,6	14,4
Ago	24,5	4,2	24,5	4,4	24,2	7,8
Set	26,0	0,9	26,0	2,4	25,7	9,6
Out	27,6	9,3	27,6	8,5	27,3	13,9
Nov	28,0	20,7	28,2	25,7	27,7	18,0
Dez	27,6	46,0	27,8	47,1	27,4	37,0

Fonte: Dados da Pesquisa.

Os dados foram processados por meio da planilha de Excel elaborada por Rolim *et al.* (1998). Foram adotados valores de Capacidade de Água Disponível (CAD) específicos para cada UM. A CAD foi calculado a partir dos procedimentos e informações estabelecidos por Araújo Filho *et al.* (2022), que disponibilizaram valores de Água disponível (AD) em função dos principais grupamentos texturais relacionados às subordens e grandes grupos taxonômicos de solos do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). Os procedimentos adotados para o cálculo da CAD de cada UM foram divididos em duas fases. A primeira foi o cálculo médio de AD das unidades de mapeamento, a partir da média ponderada da AD das classes de

solos em função de sua representatividade nas UM's, onde elementos limitantes como pedregosidade, salinidade e sodicidade foram considerados. O segundo passo, foi o cálculo da CAD, a partir da multiplicação da AD das UM's pela profundidade média estimada dos solos das unidades de mapeamento. Os valores de CAD adotados nos balanços hídricos se encontram presentes na tabela 7.

Tabela 7 - Valores de capacidade de água disponível por unidade de mapeamento de solo

Unidade de mapeamento de solo (SIGLA)	Classe de Solo Predominante na UM	CAD mm (predominante na UM)
A10	Neossolo Flúvico	136
A11	Neossolo Flúvico	136
A12	Neossolo Flúvico	148
A13	Neossolo Flúvico	105
NC12	Luvissolo Crômico	103
NC14	Luvissolo Crômico	66
NC15	Luvissolo Crômico	66
NC17	Luvissolo Crômico	64
PA46	Argissolo Amarelo	112
PA47	Argissolo Amarelo	91
PA P4	Argissolo Amarelo	90
PS11	Planossolo Nátrico	44
PS3	Planossolo Nátrico	74
PS6	Planossolo Nátrico	73
PS7	Planossolo Nátrico	51
PS8	Planossolo Nátrico	53
PV64	Argissolo Vermelho	71
R52	Neossolo Litólico	55
R55	Neossolo Litólico	34
R60	Neossolo Litólico	61
R73	Neossolo Litólico	44
R74	Neossolo Litólico	44
RE25	Neossolo Regolítico	53

Fonte: Dados da Pesquisa.

4.2.2.3 Deficiência de Oxigênio

A metodologia utilizada para analisar a deficiência de oxigênio foi baseada em Barbosa Neto, Araújo e Araújo Filho (2017), onde foi mapeada de acordo com a situação de drenagem dos perfis de solo das unidades de mapeamento dos municípios estudados (ARAÚJO FILHO et al., 2000).

A classificação da drenagem foi realizada de acordo com as características morfológicas dos perfis de solos conjugada com a declividade da área da unidade de mapeamento. Os dados

dos solos foram obtidos junto ao Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000), já a situação de declividade foi obtida por meio de um Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido junto ao programa topodata (VALERIANO, 2008), e classificada segundo os critérios de Santos *et al.*, (2005). As classes de drenagem e seus graus de limitação foram determinadas de acordo com Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS *et al.*, 2018) (Tabela 8).

Classes de Drenagem*	Graus de Limitação
Excessivamente; Fortemente; Acentuadamente; e Bem Drenado	Nulo
Moderadamente Drenado	Ligeiro
Imperfeitamente Drenado	Moderado
Mal Drenado	Forte
Muito Mal Drenado	Muito Forte

Fonte: Ramalho-Filho; Beek (1995).

* Classes de drenagem, segundo Santos *et al.* (2018).

4.2.2.4 Suscetibilidade Erosiva

A análise da suscetibilidade erosiva dos solos foi baseada nos critérios definidos por Ramalho Filho e Beek (1994); Pereira e Lombardi Neto (2004), onde foram analisados os parâmetros de declividade conjugada com a erodibilidade (fator K) dos solos da área de estudo.

A princípio foi realizado o cálculo da erodibilidade (fator K) dos solos predominantes nas unidades de mapeamento dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba. Esse cálculo foi realizado com base no modelo proposto por Denardin (1990), com os dados analíticos de perfis de solos presentes nos municípios estudados e áreas adjacentes, obtidos junto a Dissertações e Teses da UFRPE, EMBRAPA e nos principais portais de busca (Quadro 1), (Figura 12). O cálculo do fator K foi realizado para os perfis de solo em sua profundidade até o material de origem, haja vista que no semiárido há processos erosivos de intensidade, que em alguns casos pode atingir a rocha.

Para o cálculo do fator k dos solos da área de estudo foi utilizado o modelo matemático de Denardin (1990) (equação 2):

$$K = (7,48 \cdot 10^{-6} \cdot M) + (4,48059 \cdot 10^{-3} \cdot VP) - (6,3117 \cdot 10^{-2} \cdot DMP) + (1,039567 \cdot 10^{-2} \cdot VR) \quad (2)$$

A equação de Denardin (1990) necessita do cálculo de variáveis **M**, **VP**, **DMP**, e **VR** (SILVA, 2021).

Para o cálculo de M (%) foi utilizada a equação de Denardin (1990) (apud SILVA, 2021; SALIS *et al.*, 2019; DEMARCHI *et al.*, 2014), de acordo com a equação 3:

$$M (\%) = (\text{areia fina} + \text{silte}) * [(\text{areia fina} + \text{silte}) + \text{areia grossa}] \quad (3)$$

Os valores de VP foram obtidos por meio da relação entre a classe textural e permeabilidade do solo, conforme realizado por Silva (2021) (apud WISHMEIER *et al.*, 1971). As classes de texturas foram adotadas de acordo com o Triângulo Americano de Textura do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, e depois foram definidas as classes de permeabilidade de acordo com a classificação de Wishmeier *et al.* (1971) (Tabela 9).

Tabela 9 - Código de permeabilidade das classes texturais dos horizontes de solo

Classe Textural¹	Classe de permeabilidade²	Permeabilidade
Muito argilosa, argilosa e argilo-siltosa	6	Muito lenta
Franco-argilo-siltosa e Argilo-arenosa	5	Lenta
Franco-argilo-arenosa e Franco-Argilosa	4	Lenta a moderada
Franca, franco-siltosa e siltosa	3	Moderada
Areia-franca e franco-arenosa	2	Moderada a rápida
Arenosa	1	Rápida

Fonte: ¹United States Department of Agriculture (1983); ²Wischmeier *et al.* (1971), apud Silva (2021, p. 33).

O cálculo de DMP foi realizado com a equação proposta por Arraes *et al.* (2010), (equação 4):

$$DMP: [(0,65*\text{areia grossa}) + (0,15*\text{areia fina}) + (0,0117*\text{silte}) + (0,00024*\text{argila})] / 100 \quad (4)$$

Para a realização do cálculo da variável VR foi utilizada a fórmula (equação 5) operada por Arraes *et al.* (2010).

$$VR = [\text{areia grossa} * (\text{Teor de matéria orgânica}/100)] \quad (5)$$

A definição das classes de erodibilidade, e da limitação referente ao fator k, foi utilizada a classificação adotada por Pereira; Lombardi Neto (2004); Bertoni e Lombardi Neto (1999) (apud ARRAES *et al.*, 2010), os graus de limitação encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Graus de limitação devidos à erodibilidade do solo

Valores de K (Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	Classe de erodibilidade	Grau de Limitação
<0,010	Muito baixa	Nulo
0,010 a 0,020	Baixa	Ligeiro
0,020 a 0,030	Moderada	Moderado
0,030 a 0,040	Alta	Forte
>0,040	Muito alta	Muito Forte

Fonte: Pereira; Lombardi Neto (2004, P. 21); Bertoni e Lombardi Neto (1999) (apud ARRAES *et al.*, 2010, p. 5).

Para a definição da limitação referente a suscetibilidade a erosão foram cruzados os dados referentes ao fator K médio nas unidades de mapeamento de solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba com os dados de declividade dessa região. Estes foram obtidos a partir do tratamento de um Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido junto ao programa topodata (VALERIANO, 2008), que foi classificado de acordo com os critérios de Santos *et al.*, (2005) no software “Qgis 3.22”, por meio da ferramenta “declividade”, com valores obtidos em porcentagem, definindo assim a limitação referente a suscetibilidade a erosão conforme na tabela 11.

Tabela 11 - Graus de limitação devidos à suscetibilidade à erosão

Declividade	Relevo	Fator K (Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)					
		Nulo	Ligeiro	Moderado	Forte	Muito Forte	
Classes	(% declivade)	Tipo	Graus de Limitação*				
A	0 a 3	Plano	0	1	2	3	4
B	3 a 8	Suave Ondulado	1	1	2	3	4
C	8 a 13	Moderadamente Ondulado	2	3	3	4	4
D	13 a 20	Ondulado	3	4	4	4	4
E	20 a 45	Forte Ondulado	4	4	4	4	4
F	>45	Montanhoso e escarpado	4	4	4	4	4

Fonte: Pereira; Lombardi Neto (2004, P. 22); e Ramalho-Filho; Beek (1995, p. 31).

* Graus de Limitação: 0 = Nulo; 1 = Ligeiro; 2 = Moderado; 3 = Forte; 4 = Muito Forte.

4.2.2.5 Impedimentos à Mecanização:

Para o mapeamento da limitação referente ao impedimento a mecanização foram considerados os atributos de pedregosidade e rochosidade das unidades de mapeamento conjugado à declividade das UM, conforme a metodologia de Ramalho Filho; Beek (1994); Pereira e Lombardi Neto (2004); Barbosa Neto, Araújo e Araújo Filho (2017), com as adaptações que se fizeram necessárias.

Convém, em primeiro lugar, separar a conceituação de pedregosidade e rochosidade, onde pode-se definir a pedregosidade como a proporção relativa de calhaus (2 a 20 cm) e matacões (>20 a 100 cm) sobre a superfície e/ou massa do solo, e a rochosidade como a exposição do substrato rochoso, lajes de rochas, parcelas de camadas delgadas de solos sobre rochas e/ou predominância de “boulders” com diâmetro maior que 100 cm, na superfície ou na massa do solo (IBGE, 2015).

A escala de valores e limitação atribuída a pedregosidade e rochosidade foi construída de acordo com Santos *et al.* (2005) baseado na adaptação realizada por Barbosa Neto, Araújo e Araújo Filho (2017) (Tabela 12). A análise da presença da pedregosidade e rochosidade nas UM dos municípios foi realizada a partir da base de dados do Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000), que disponibiliza na sua legenda geral e perfis de solos as informações acerca da presença de pedregosidade e rochosidade (Anexo A).

Tabela 12 - Graus de limitação referentes à rochosidade e/ou pedregosidade

Graus de Limitação	Rochosidade (%) (exposição rochosa (> 100 cm) em relação à massa do solo)	Pedregosidade (%) (fragmentos grosseiros (2 a 100 cm) em relação à massa do solo)
Nulo	Não Rochosa (0 a 2)	Não Pedregosa (0 a 1)
Ligeiro	Ligeiramente Rochosa (2 a 10)	Ligeiramente Pedregosa (1 a 3)
Moderado	Moderadamente Rochosa (10 a 25)	Moderadamente Pedregosa (3 a 15)
Forte	Rochosa (25 a 50)	Pedregosa (15 a 50)
Muito Forte	Extremamente Rochosa (>50)	Extremamente Pedregosa (>50)

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2005, P. 55 - 56); Barbosa Neto; Araújo; Araújo Filho (2017, p. 5).

Para a definição das classes de limitação à impedimento a mecanização foi utilizada a escala de valores desenvolvida por Pereira e Lombardi Neto (2004) (Tabela 13), onde as limitações referentes a rochosidade e pedregosidade associadas as classes de declividade

definidas por Ramalho Filho e Beek (1994) determinam os impedimentos à mecanização de uma determinada área.

Tabela 13 - Graus de limitação referentes ao impedimento à mecanização

Declividade		Relevo	Rochosidade e/ou pedregosidade				
			Nulo	Ligeiro	Moderado	Forte	Muito forte
Classe	()	Tipo	Graus de Limitação*				
A	0 a 3	Plano	0	1	3	4	4
B	3 a 8	Suave ondulado	1	2	4	4	4
C	8 a 13	Moderadamente ondulado	2	3	4	4	4
D	13 a 20	Ondulado	3	4	4	4	4
E	20 a 45	Forte ondulado	4	4	4	4	4
F	> 45	Montanhoso e escarpado	4	4	4	4	4

Fonte: Ramalho Filho; Beek (1994); Pereira; Lombardi Neto (2004, p. 23).

0 = Nulo; 1 = Ligeiro; 2 = Moderado; 3 = Forte; 4 = Muito Forte.

4.2.3 Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras

A avaliação da aptidão agrícola das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba foi realizada utilizando as informações da tabela 14 conforme consta em Ramalho Filho e Beek (1994) para regiões de clima semiárido, haja vista o clima predominante na área de estudo.

Dessa forma a avaliação foi realizada em função dos fatores limitantes que exercem as maiores restrições no meio físico natural da área de estudo. O resultado da análise de aptidão agrícola das unidades de mapeamento de solo dos municípios estudados gerou um mapa que foi elaborado no software livre “Qgis 3.22.4”.

Tabela 14 - Guia de avaliação da aptidão agrícola das terras voltado para regiões de clima semiárido utilizado para a avaliação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba - PE

Aptidão Agrícola			Graus de limitação das condições agrícolas das terras para os níveis de manejo A, B e C															Tipo de utilização Indicado
Grupo	Subgrupo	Classe	Deficiência de Fertilidade			Deficiência de Água			Excesso de Água			Suscetibilidade à Erosão			Impedimentos à Mecanização			
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
1	1ABC	Boa	N/L	N ₁	N ₁	L/M	L/M	L/M	L	L ₁	N/L ₁	L	N/L ₁	N ₁	M	L/M	N	Lavouras
2	2abc	Regular	L	L ₁	L ₂	M	M	M	M	L/M ₁	L ₂	L/M	L ₁	N/L ₂	M/F	M	L	
3	3(abc)	Restrita	M	L/M ₁	L/M ₂	M/F	N/F	M/F	F	M ₁	M ₂	M/F	M ₁	L/M ₂	F	M/F	M	
4	4P	Boa		M ₁			M			F			M/F ₁			M	Pastagem plantada	
	4p	Regular		M/F ₁			M/F			MF			F ₁			M/F		
	4(p)	Restrita		F ₁			F			MF			F/MF			F		
5	5S	Boa		M/F ₁			M			L ₁			F ₁			M/F	Silvicultura e/ou Pastagem natural	
	5s	Regular		F ₁			M/F			L ₁			F ₁			F		
	5(s)	Restrita		MF			F			L/M ₁			MF			F		
	5N	Boa	M/F				F		F			F			F			
	5n	Regular	F				F/MF		F/MF			F			MF			
5(n)	Restrita	MF				MF		MF			F			MF				
6	6	Sem Aptidão Agrícola															Preservação da flora e da fauna	

Fonte: Ramalho Filho; Beek (1994, p. 40).

Grau de limitação: N – Nulo; L – Ligeiro; M – Moderado; F – Forte; MF – Muito Forte; / - Intermediário.

Notas: Os algarismos sublinhados correspondem aos níveis de viabilidade de melhoramento das condições agrícolas das terras.

Terras sem aptidão para lavouras em geral, que devido ao excesso de água podem ser indicadas para arroz de inundação.

No caso de grau forte de suscetibilidade à erosão, o grau de limitação por deficiência de fertilidade não deve ser maior do que ligeiro a moderado para a classe restrita – 3(a).

A ausência de algarismos sublinhados acompanhando a letra representativa do grau de limitação indica não haver possibilidade de melhoramento naquele nível de manejo.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Deficiência de Fertilidade

O primeiro atributo analisado para o mapeamento da deficiência de fertilidade foi a disponibilidade de nutrientes, onde foram analisados, em conjunto, a Saturação por Bases (V%) e a Capacidade de Troca de Cátions – CTC ($\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$) dos solos das unidades de mapeamento de solo da área de estudo (Tabela 15).

Tabela 15 - Graus de limitação dos solos referente a disponibilidade de nutrientes

Unidade de Mapeamento	Grau de Limitação referente a disponibilidade de nutrientes	Área (Km²)	Área (%)
A12, A13, NC14, NC15, NC17, PS7, PS8, R55	Nulo	2319,89	59,189
A10, A11, NC12, PA46, PA47, PS6, PV64, R52, R60, R73, R74	Ligeiro	1148,27	29,297
PAP4	Moderado	0,08	0,002
PS11, PS3	Forte	321,27	8,197
RE25	Muito Forte	129,93	3,315

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvissolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

As unidades de mapeamento onde predominam os Neossolos Flúvicos mostram os menores graus de limitação referente a disponibilidade de nutrientes. Pode-se citar o exemplo das unidades A12 e A13 que possuem limitação nula, enquanto a A10 e A11 possuem limitação ligeira. Os valores médios de CTC encontrados nos Neossolos Flúvicos analisados foram superiores a $5 \text{ cmol}_c \text{kg}^{-1}$, de acordo com Lopes (1998), valores de CTC superiores a 5 indicam uma maior porcentagem de argila e/ ou de matéria orgânica no perfil do solo, além de poder reter uma maior quantidade de nutrientes. Associado à CTC, os valores médios de saturação por base nos perfis de solo representativos nas unidades de mapeamento A12 e A13 foram superiores a 75%, sendo classificados como solos eutróficos, que de acordo com Ronquim (2010), os solos eutróficos são solos com alta fertilidade natural.

As unidades de mapeamento onde os Planossolos são mais representativos, de modo geral apresentam poucas limitações no que se refere a disponibilidade de nutrientes, haja vista que os Planossolos são uma ordem de solo com elevados valores de CTC e saturação por bases (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992). Contudo nas unidades de mapeamento PS11 e PS3 eles estão associados a Neossolos Regolíticos distróficos, que são solos que possuem maior limitação com relação a disponibilidade de nutrientes (RONQIM, 2010). Essa limitação pode ser expressa nos valores da saturação por bases, onde o valor médio para a camada 0-15 cm ficou fixado em 15%.

As unidades de mapeamento onde os Luvisolos estão com maior representatividade mostram limitação variando de nula a ligeira. O que significa que esses solos, de modo geral, estão associados a outras classes de solo que também possuem alta fertilidade natural, na área de estudo. Isso pode ser visto nos valores de CTC e saturação por bases na UM NC15 que possui Luvisolos com valores médios de CTC chegando até $25 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ na camada 30 – 60 cm e saturação por bases 97% nessa mesma camada, associado a Planossolos Nátricos que na mesma camada possuem valores médios estimados de CTC em $11,11 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$, e saturação por bases de 93%. De acordo com Câmara *et al.*, (2021) os Luvisolos possuem uma alta fertilidade natural devido a elevada disponibilidade de nutrientes para as plantas, e a presença de minerais primários ricos em bases que podem ser facilmente intemperizados.

O segundo atributo relacionado a fertilidade a ser analisado foi a saturação por alumínio. O estudo desse atributo de modo geral demonstrou que na área de estudo a saturação por alumínio não é um grande impedimento ao uso agrícola (Tabela 16).

Tabela 16 - Graus de limitação dos solos referente a saturação por alumínio

Unidade de Mapeamento	Grau de Limitação referente a Saturação por Alumínio	Área (Km²)	Área (%)
NC14, NC15, NC17, PA47, PS7, PS8, R55, R74	Nulo	2228,87	56,87
PA46, PS11, PS3, PS6, PV64, R52, R60, R73, RE25	Ligeiro	969,69	24,74
A10, A11, A12, A13, NC12, PAP4	Moderado	720,89	18,39

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

Cerca de 18,39% da área de estudo compreende as unidades de mapeamento que possuem limitação moderada com relação a saturação por alumínio. Essa limitação na unidade de mapeamento NC12 está associada aos Argissolos Amarelos com caráter plíntico que estão associados aos Luvisolos. Os valores médios encontrados de saturação por alumínio em solos com essas características chegaram a 48,97% na camada 30-60 cm. A saturação por alumínio pode impactar a agricultura e ser um elemento fitotóxico, pois de acordo com Sobral *et al.* (2015) a presença de alumínio no solo pode inibir o crescimento radicular e prejudicar a disponibilidade de outros nutrientes no perfil.

O terceiro atributo analisado foi referente a salinidade do solo avaliada a partir da Condutividade Elétrica (CEe) a 25° C (dS/m) do solo para as diferentes camadas (Tabela 17). Cerca de 86,82% apresentaram a limitação ligeira com relação a salinidade. Essas unidades de mapeamento apresentaram predominantemente os Luvisolos e os Planossolos, que são duas classes de solo que naturalmente podem apresentar a salinidade (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

Tabela 17 - Graus de limitação dos solos referente a Salinidade

Unidade de Mapeamento	Grau de Limitação referente a Salinidade	Área (KM²)	Área (%)
PA47, R60, R73, R74	Nulo	163,82	4,18
NC12, NC14, NC15, NC17, PA46, PAP4, PS11, PS3, PS6, PS7, PS8, PV64, R52, R55, RE25	Ligeiro	3403,02	86,82
A10, A11, A12, A13	Forte	352,61	9,00

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

As unidades de mapeamento de solo que apresentaram os maiores valores de Condutividade Elétrica a 25° C (dS/m) foram as que predominaram os Neossolos Flúvicos, onde o grau de limitação foi fixado como forte em cerca de 9% da área de estudo. Os solos das unidades de mapeamento onde predominam os Neossolos Flúvicos podem estar sujeitos a salinização por meio do acúmulo de sais provenientes de áreas adjacentes sob o processo de drenagem natural ou de escoamento superficial. De acordo com Ribeiro, Ribeiro Filho e Jacomine (2016), no seminário nordestino é comum a salinização em horizontes superficiais de solos de áreas rebaixadas. Normalmente elevadas taxas de saturação por bases podem atribuir

à interpretação das propriedades do solo uma elevada fertilidade, contudo no caso de solos salinos a elevada percentagem de sódio afeta negativamente a sua fertilidade, sobretudo por não ser um elemento essencial para as plantas, e quando encontrado em excesso prejudicar atividades metabólicas dos vegetais mais sensíveis (SANTOS *et al.*, 2016).

As unidades de mapeamento onde os Planossolos se fazem mais presente podem estar sujeitas a salinização natural, justificando a limitação nos valores médios de 4,05 dS/m de CEE encontrados nas camadas 60 - 120 em Planossolos Háplicos. Um dos processos que podem ser envolvidos na salinização dos Planossolos diz respeito ao acúmulo de sais em áreas rebaixadas, sopés de encostas devido as restrições de drenagem subsuperficial destes solos (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). A salinidade do solo impõe efeitos nas propriedades químicas do perfil do solo, onde o excesso de sais solúveis aumenta a CEE da solução do solo, prejudicando o seu potencial osmótico (Ψ_s), o que o torna mais negativo, influenciando negativamente as atividades metabólicas das plantas de absorção de água e nutrientes (SANTOS *et al.*, 2016).

Por fim, o último atributo fitotóxico analisado foi o caráter sódico dos solos das unidades de mapeamento da área de estudo. Os resultados podem ser identificados na tabela 18, onde 79,66% da área de estudo possui forte limitação com relação a esse parâmetro. Inicialmente, convém conceituar como ocorre o processo sodificação do solo, onde o íon Na^+ da solução do solo em altas concentrações passa para o complexo de troca do perfil formando os solos conhecidos como salino-sódicos; num segundo momento esses solos são lavados, perdem os sais solúveis e ficam sódicos; com a manutenção da lavagem o sódio do CTC começa a ser substituído por hidrogênio e cálcio, num processo conhecido como solodização (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992; RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

Tabela 18 - Graus de limitação do solo referente a saturação por sódio

Unidade de Mapeamento	Grau de Limitação referente a Saturação por Sódio	Área (Km²)	Área (%)
NC12, NC14, PA46, PA47, PV64, R60, R73, R74	Nulo	551,97	14,08
A10, A11, A12	Moderado	245,37	6,26
A13, NC15, NC17, PAP4, PS11, PS3, PS6, PS7, PS8, R52, R55, RE25	Forte	3112,11	79,66

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

As unidades de mapeamento onde predominam e/ou estão associados os Planossolos Nátricos foram mapeadas com grau de limitação forte no que se refere a saturação por sódio, haja vista que foram encontrados valores médios de 15% saturação por sódio já na camada 15-30 cm, e valores superiores a 26,88% nas camadas inferiores. Compreende-se que a saturação por sódio é um atributo diagnóstico dos Planossolos Nátricos. Araújo Filho *et al.* (2000) ao descreverem os Planossolos Nátricos de Pernambuco afirmaram que a saturação por sódio nos horizontes subsuperficiais pode variar entre 20 e 40%, sendo menos elevada na superfície.

O excesso de sódio trocável no solo pode provocar alterações físicas no perfil, agindo diretamente na dispersão das argilas e assim modificando a estrutura do solo a partir do aumento de sua rigidez. Nesse sentido a taxa de infiltração e a condutividade hidráulica são reduzidas e esses impactos podem ser refletidos em aspectos físicos, onde a estrutura do solo facilita a erosão, e em aspectos químicos, onde redução da umidade do solo que restringe a dissolução e disponibilidade de nutrientes, prejudicando a fertilidade do perfil (SANTOS *et al.*, 2016).

A partir da análise dos atributos de disponibilidade de nutrientes, saturação por alumínio, salinidade e saturação por sódio pôde-se indicar o grau de limitação de deficiência de fertilidade para a área de estudo (Tabela 19). Para tal foi considerado o fator que indica a maior limitação para cada unidade de mapeamento de solo.

Tabela 19 - Grau de limitação dos solos referente a deficiência de fertilidade

Unidade de Mapeamento	Grau de Limitação referente a Deficiência de Fertilidade	Área (Km)	Área (%)
PA46, PA47, PV64, NC14; R60; R73; R74	Ligeiro	183,77	4,69%
NC12	Moderado	367,82	9,38%
A10, A11, A12, A13, NC15, NC17, PAP4, PS11, PS3, PS6, PS7, PS8; R52; R55	Forte	3237,93	82,61%
RE25	Muito Forte	129,93	3,32%

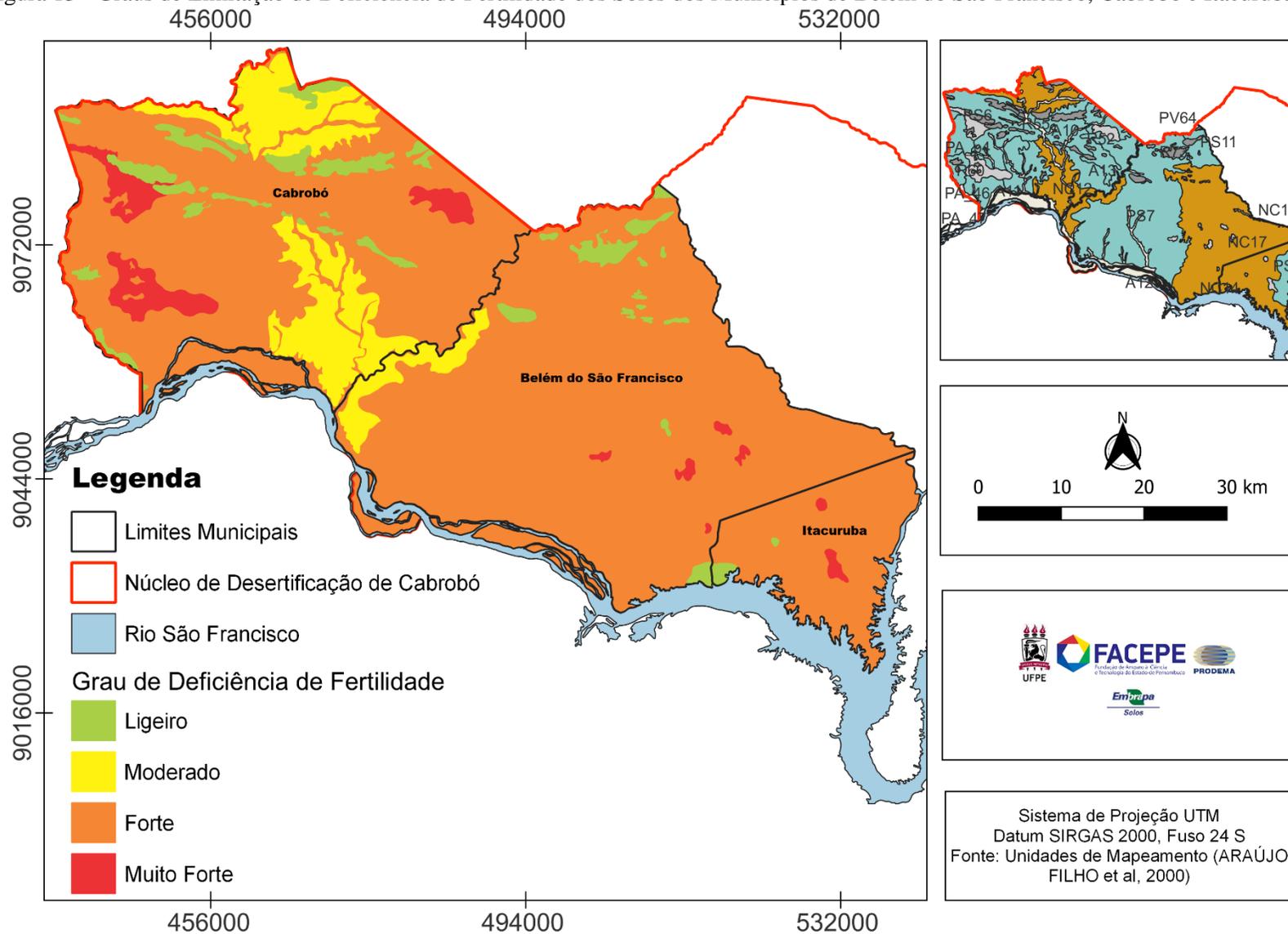
Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

A unidade de mapeamento RE25 que equivale a 3,32% dos municípios foi classificada com o grau de limitação muito forte, devido a disponibilidade de nutrientes presente nos Neossolos Regolíticos. Apesar desse nível de restrição, conforme a metodologia utilizada, estes solos por serem pouco profundos a profundos, muito permeáveis, permitem atividades agrícolas e são bastante cultivados, especialmente no Agreste de Pernambuco. As unidades de mapeamentos onde predominam os Neossolos Litólicos (R60, R73 e R74) foram classificadas com a limitação ligeira, haja vista que no semiárido, em geral, essa é uma classe de solo naturalmente fértil, e nessas UM's eles estão associados a Argissolos Vermelho-Amarelos que não induzem a uma limitação mais forte.

Os Neossolos Litólicos das UMs R52 e R55 estão associados a Planossolos Nátricos, que possuem limitação forte referente à saturação por sódio, classificando-as com limitação forte, no que se refere a deficiência de fertilidade. As unidades de mapeamento onde predominam os Planossolos Nátricos foram classificadas com a limitação forte devido a saturação por sódio encontrada nessa classe de solo. As unidades de mapeamento PA46 e PA47, onde predominam Argissolos Amarelos, e PV64, onde predominam Argissolos Vermelhos, foram classificadas com a limitação ligeira por um conjunto de fatores, passando por disponibilidade de nutrientes, saturação por alumínio e salinidade. A classificação da limitação à fertilidade da área de estudo foi espacializada na figura 13.

Figura 13 - Graus de Limitação de Deficiência de Fertilidade dos Solos dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



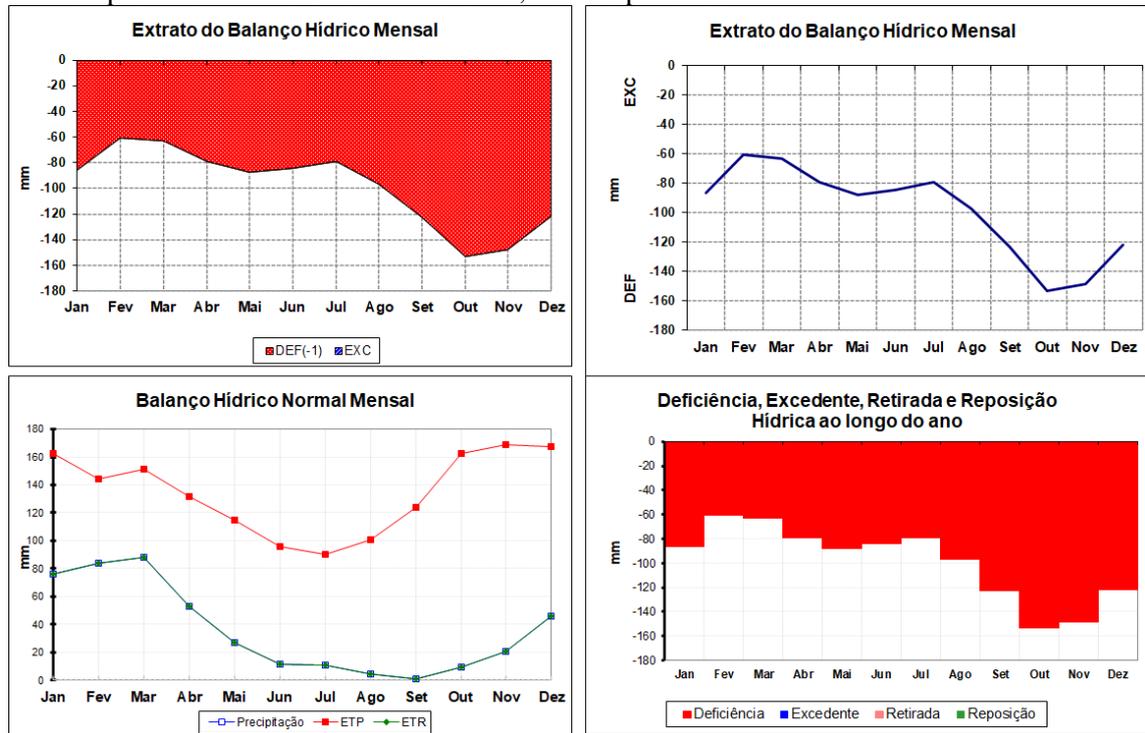
4.3.2 Deficiência de Água

A análise da deficiência de água foi realizada a partir de postos pluviométricos localizados nos municípios estudados. Na área de estudo de acordo com a escala de Koppen (1928) predomina o clima BSh, que pode ser definido como semiárido quente. Sua característica principal é a escassez hídrica e irregularidade na distribuição da chuva associada a baixa nebulosidade, forte insolação, elevada evapotranspiração, e temperaturas médias elevadas, onde o período chuvoso começa por volta de novembro e se encerra em abril (MEDEIROS *et al.*, 2018).

O município de Belém do São Francisco apresenta valores médios de precipitação anual de 430 mm. As unidades de mapeamento A10, A11, A12, A13, NC12, NC14, NC15, NC17, PS11, PS7, PV64, R52, R73, R74 e RE25 estão inseridas total ou parcialmente nesse município, nesse sentido a baixa precipitação associada a elevada média de temperatura e de evapotranspiração do município, e aos valores de CAD entre 44 e 148, resultam em uma considerável deficiência hídrica ao longo do ano, podendo superar -153 mm no mês de maior déficit (outubro), e -60 mm no mês de menor valores (fevereiro) em todas as unidades de mapeamento.

O extrato do balanço hídrico demonstrou os mesmos valores de deficiência hídrica em todas UMs localizadas no município de Belém do São Francisco (Figura 14). Esse resultado pode ser justificado, sobretudo, na baixa média de precipitação, e elevada média de temperatura mensal, que conduzem a altas taxas de evapotranspiração. Dentro desse contexto, forma-se um ambiente em condições delicadas para a agricultura, pois a baixa oferta de água no sistema pode inviabilizar a prática de lavouras em regime de sequeiro. Dessa forma, a acentuada deficiência hídrica anual em conjunto com a predominância da vegetação de caatinga hiperxerofila determinam que esse município seja classificado com a limitação Muito Forte para a deficiência hídrica dentro do sistema de classificação elaborado por Ramalho Filho e Beek (1994).

Figura 14 - Resultado do balanço hídrico climatológico das unidades de mapeamento de solo A10, A11, A12, A13, NC12, NC14, NC15, NC17, PS11, PS7, PV64, R52, R73, R74 e RE25 localizadas no município de Belém do São Francisco-PE, com os períodos de deficiência e excedente hídrico



Fonte: Dados da Pesquisa.

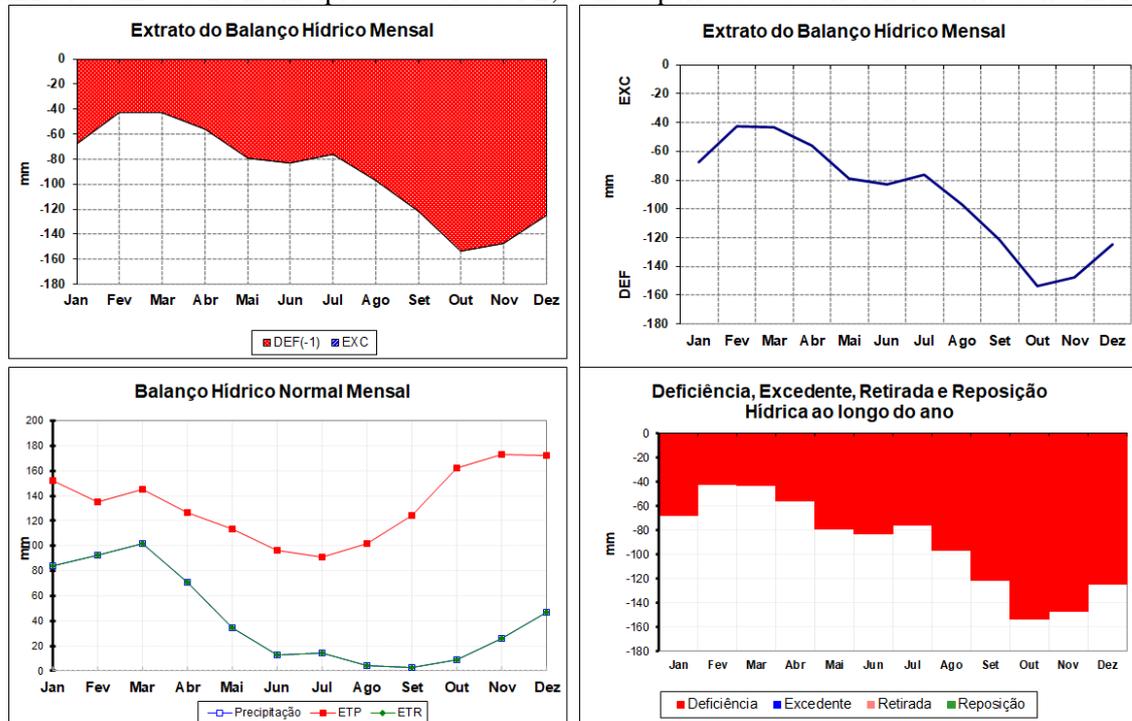
Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PS (7 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

O município de Cabrobó apresenta valores médios de precipitação anual em torno de 498 mm. As unidades de mapeamento de solo contidas total ou parcialmente no município incluem A10, A11, A12, A13, NC12, NC14, PA46, PA47, PAP4, PS11, PS3, PS6, PS7, R52, R55, R60, R73, R74, RE25. Apesar da capacidade de água disponível variar em cada UM, os gráficos dos balanços hídricos apresentam os mesmos valores deficiência hídrica, conforme os valores de precipitação e temperatura que são determinantes nessa região.

O extrato do balanço hídrico do município de Cabrobó encontra-se na figura 15, e a partir de sua análise, pode-se compreender que a baixa precipitação em conjunto com a alta média de temperatura e de evapotranspiração proporcionam a esse município uma elevada deficiência hídrica ao longo dos doze meses do ano. Essa deficiência quando traduzida para valores pode atingir no mês de outubro, o de maior déficit, os valores de -153 mm, enquanto no mês de fevereiro, que é o mês de menor déficit, os valores alcançam -43 mm, esses valores podem ser encontrados em todas unidades de mapeamento localizados nesse município. Dessa forma, na metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995) a limitação referente a deficiência de água do

município de Cabrobó é classificada como Muito Forte, haja vista o déficit hídrico anual e a vegetação de caatinga hiperxerofila predominante no município.

Figura 15 -Resultado do balanço hídrico climatológico das unidades de mapeamento de solo A10, A11, A12, A13, NC12, NC14, PA46, PA47, PAP4, PS11, PS3, PS6, PS7, R52, R55, R60, R73, R74, RE25 localizadas no município de Cabrobó-PE, com os períodos de deficiência e excedente hídrico

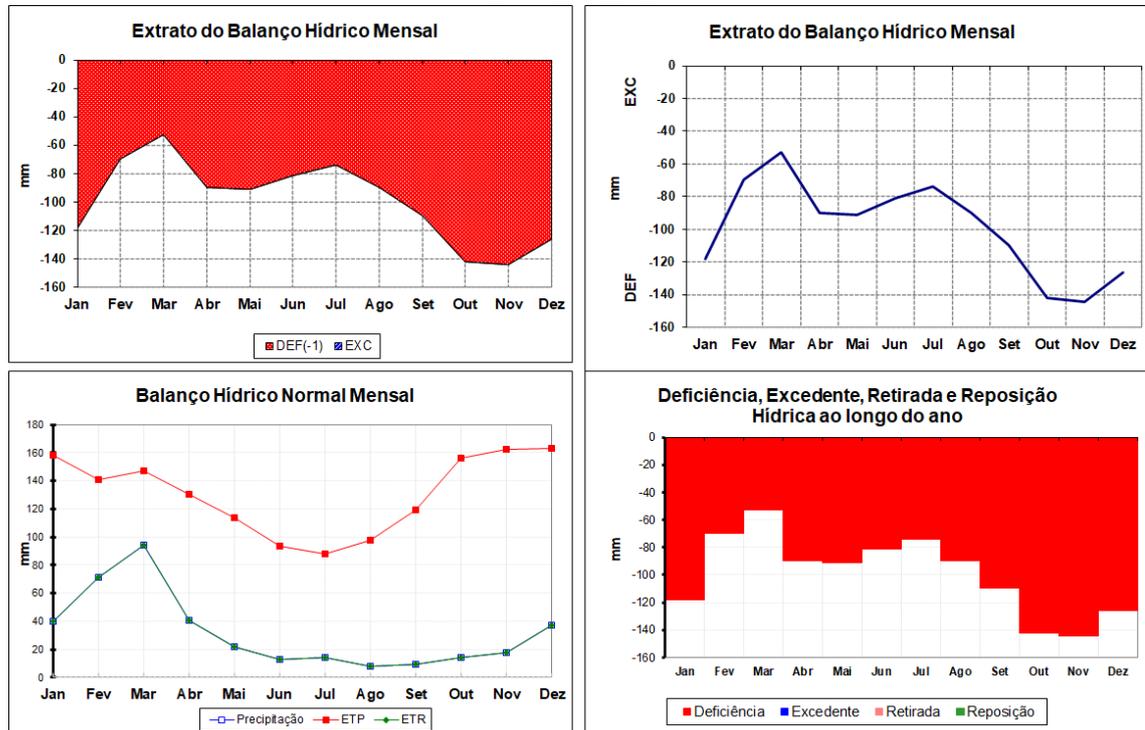


Fonte: Dados da Pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12 e 14) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7 e 11) – Planossolos Nátricos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

Os valores médios de precipitação anual do município de Itacuruba foram de 381 mm. As unidades de mapeamento de solo A13, NC14, NC17, PS8, R73 e RE25 fazem parte desse município. Mesmo com a variação da capacidade de água disponível em função da natureza dos solos, o resultado do extrato do balanço hídrico em Itacuruba foi similar em todas as UMs, onde a baixa taxa de precipitação anual em companhia da elevada média de temperatura e de evapotranspiração promovem nesse município uma elevada taxa de deficiência hídrica ao longo do ano. A deficiência hídrica desse município se torna mais acentuada no mês de novembro, onde os valores chegam a -144 mm, e menos acentuada no mês de março, quando os valores chegam a -52 mm (Figura 16). Sendo assim, esse município pode ser classificado com a limitação Muito Forte no que se refere a deficiência de água na metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995), pois o alto déficit hídrico associado a vegetação de caatinga hiperxerofila são características dessa classe de limitação.

Figura 16 - Resultado do balanço hídrico climatológico das unidades de mapeamento de A13, NC14, NC17, PS8, R73 e RE25 localizadas no município de Itacuruba-PE, com os períodos de deficiência e excedente hídrico



Fonte: Dados da Pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (13) - Neossolos Flúvicos, NC (14 e 17) – Luvisolos Crômicos, PS (8) – Planossolos Nátricos, R (73) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

4.3.3 Deficiência de Oxigênio

O mapeamento da limitação referente a deficiência por oxigênio foi realizado a partir da situação de drenagem das diferentes unidades de mapeamento de solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba. Isso, pode ser verificado na tabela 20.

Tabela 20 - Graus de limitação referente a deficiência de oxigênio dos solos

Unidade de mapeamento de solo (Sigla)	Drenagem predominante na Unidade de Mapeamento	Graus de limitação da deficiência de oxigênio	Área em (%)	Área em (Km²)
R55; RE25	Bem Drenado	Nulo	132,19	3,37%
R52; R60; R73; R74	Bem Drenado / Moderadamente Drenado	Nulo / Ligeiro	186,15	4,75%
A10; A11; A12; NC12; NC14; PA46; PA47; PV64	Moderadamente Drenado	Ligeiro	634,29	16,18%
A13; NC15; NC17; PAP4; PS3; PS6; PS7; PS8; PS11	Moderadamente Drenado / Imperfeitamente Drenado	Ligeiro / Moderado	2966,82	75,70%

Fonte: Dados da pesquisa.

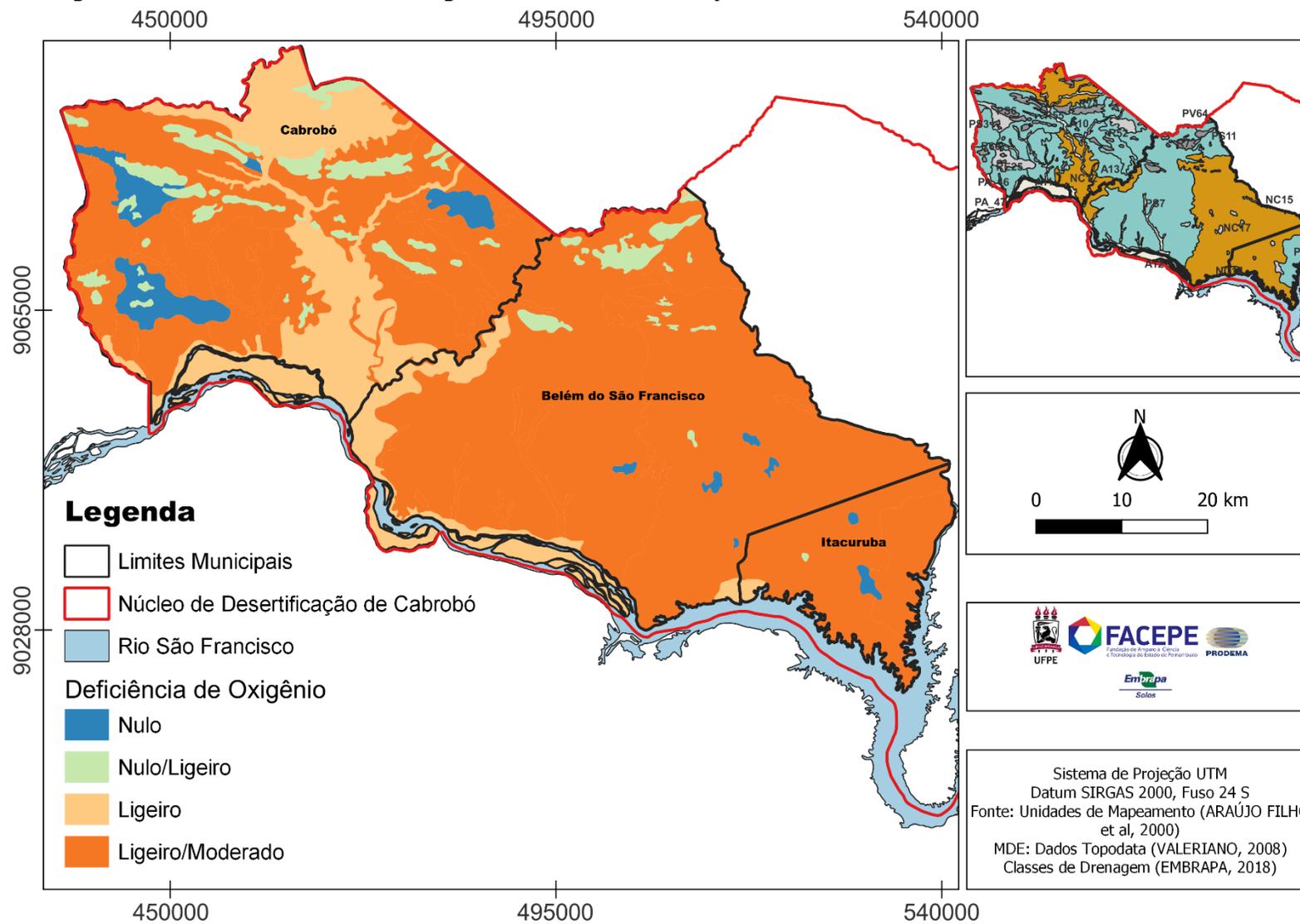
Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

Pôde-se verificar que cerca de 75,70% da área de estudo encontra-se com situação de drenagem inserida entre moderadamente drenado e imperfeitamente drenado. Dessa forma essas áreas foram classificadas com limitação intermediária entre Ligeiro e Moderado. Nessa situação encontram-se majoritariamente as unidades de mapeamento onde os Planossolos Nátricos predominam (PS3, PS6, PS7, PS8, PS11), ou estão associados a outras classes de solo (A13, NC15, NC17, PAP4) em área de relevo abaciado. De acordo com Câmara *et al.* (2021), os Planossolos apresentam restrições à prática agrícola devido a sua drenagem imperfeita.

As áreas classificadas como bem drenadas, e com limitação nula foram as unidades de mapeamento R55 e RE25, que representam cerca de 3,37% da área de estudo. Essas UMs possuem solos arenosos como é o caso dos Neossolos Regolíticos, que predominam na UM RE25, enquanto a UM R55 predominam os Neossolos Litólicos sob um relevo que pode ser classificado como suave ondulado à forte ondulado.

A situação de drenagem em 16,18% da área de estudo foi classificada como moderadamente drenada, com limitação a deficiência considerada como ligeira. Nessas UM's predominam os Luvisolos Crômicos (NC12, NC14) e Argissolos Amarelo/Vermelho-Amarelo/Vermelho (PA46; PA47; PV64) em área de relevo suave ondulado com a presença de caráter plúntico em alguns perfis. E os Neossolos Flúvicos (A10, A11, A12) com textura predominantemente arenosa em área de relevo plano, restringindo assim a drenagem em função da sua posição na paisagem. Os dados referentes a deficiência de drenagem foram espacializados na figura 17.

Figura 17 - Graus da Deficiência de Oxigênio dos Solos dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

4.3.4 Suscetibilidade à Erosão

A análise da suscetibilidade a erosão foi realizada na área de estudo a partir do cruzamento dos dados de erodibilidade (fator K) dos solos da área de estudo em conjunto com a declividade. Os resultados estão apresentados na tabela 21.

Tabela 21 - Fator de Erodibilidade (K) das unidades de mapeamento de solo nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Unidade de mapeamento de solo (SIGLA)	Classe de Solo Predominante na UM	Fator K (predominante na UM)	Erodibilidade
A10	Neossolo Flúvico	0,043	Muito Forte
A11	Neossolo Flúvico	0,038	Forte
A12	Neossolo Flúvico	0,047	Muito Forte
A13	Neossolo Flúvico	0,036	Forte
NC12	Luvissolo Crômico	0,025	Moderado
NC14	Luvissolo Crômico	0,026	Moderado
NC15	Luvissolo Crômico	0,028	Moderado
NC17	Luvissolo Crômico	0,030	Forte
PA46	Argissolo Amarelo	0,027	Moderado
PA47	Argissolo Amarelo	0,023	Moderado
PA P4	Argissolo Amarelo	0,024	Moderado
PS11	Planossolo Nátrico	0,031	Forte
PS3	Planossolo Nátrico	0,030	Forte
PS6	Planossolo Nátrico	0,032	Forte
PS7	Planossolo Nátrico	0,032	Forte
PS8	Planossolo Nátrico	0,025	Moderado
PV64	Argissolo Vermelho	0,028	Moderado
R52	Neossolo Litólico	0,026	Moderado
R55	Neossolo Litólico	0,027	Moderado
R60	Neossolo Litólico	0,024	Moderado
R73	Neossolo Litólico	0,023	Moderado
R74	Neossolo Litólico	0,023	Moderado
RE25	Neossolo Regolítico	0,025	Moderado

Fonte: Dados da pesquisa.

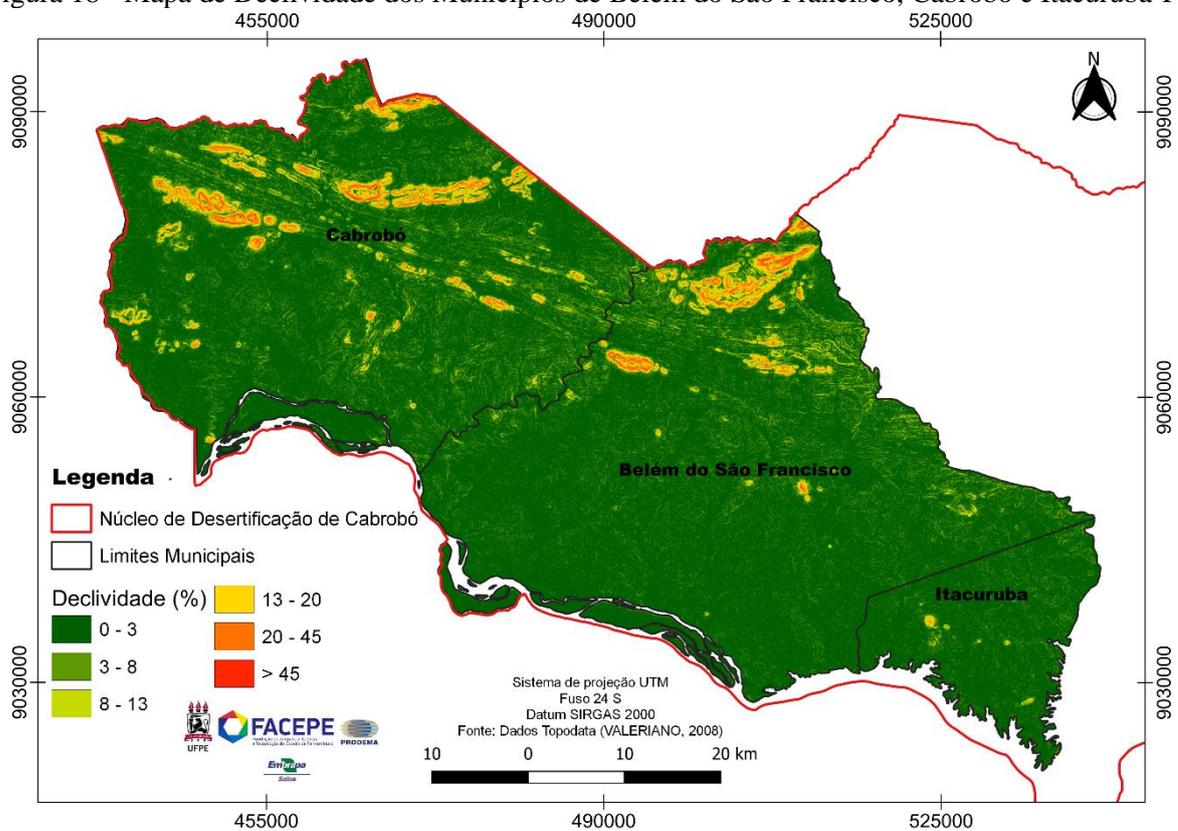
As unidades de mapeamento que apresentaram os maiores valores de erodibilidade foram as que predominam a classe de solo Neossolo Flúvico, onde as UM A11 e A13 apresentaram erodibilidade forte, e A10 e A12 apresentaram erodibilidade muito forte. Xavier *et al.* (2019) ao calcularem a erodibilidade dos solos predominantes nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó, Floresta e Itacuruba, encontraram os maiores valores de K dentro das UMs

onde predominam os Neossolos Flúvicos, pois são solos pouco desenvolvidos com predomínio de estratos arenosos o que pode favorecer a erosão.

As unidades de mapeamento onde predominam os Planossolos Nátricos (PS11, PS3, PS6 e PS7) possuem respectivamente valores médios de K de 0,031, 0,030, 0,032, e 0,032, classificando-as para a classe de erodibilidade forte, pois de modo geral estão associados a locais com pouca declividade. Os Planossolos são solos que normalmente apresentam limitações acerca de sua permeabilidade, pois nos seus horizontes subsuperficiais há um maior adensamento devido o acúmulo e tipo de argila, reduzindo assim a infiltração e favorecendo a erosão (OLIVEIRA; JACOMINE; CAMARGO, 1992; XAVIER *et al.*, 2019; CÂMARA *et al.*, 2021).

A análise da declividade enquanto fator de erosão na área de estudo foi realizada com base nos critérios de Ramalho Filho e Beek (1995). Os municípios se encontram dentro de um contexto onde predomina a declividade entre 0-3%, mas contendo algumas áreas mais acidentadas (Figura 18).

Figura 18 - Mapa de Declividade dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Conforme pode-se verificar na tabela 22 as unidades de mapeamento onde predominam os Neossolos Flúvicos (A10, A11, A12 e A13) a classe de declividade predominante em

porcentagem é de 0 – 3%, o que indica um relevo predominantemente plano. Enquanto nas UMs onde predominam os Neossolos Litólicos predominam declividades mais elevadas, a exemplo das UMs R52 e R55 onde predominam valores entre 3-8%, o que indica um relevo suave ondulado; já na UM R60 a declividade predominante gira em torno de 8-13% indicando um relevo moderadamente ondulado; e por fim nas UMs R73 e R74 o relevo predominante atinge valores entre 20-40%, sendo classificadas como forte ondulado.

Tabela 22 - Classes de declividade das unidades de mapeamento de solo nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Unidade de mapeamento de solo (SIGLA)	Classe de declividade predominante (%)	Relevo Predominante
A10	0 – 3%	Plano
A11	0 – 3%	Plano
A12	0 – 3%	Plano
A13	0 – 3%	Plano
NC12	0 - 3%	Plano
NC14	0 – 3%	Plano
NC15	0 – 3%	Plano
NC17	0 – 3%	Plano
PA46	0 – 3%	Plano
PA47	0 – 3%	Plano
PA P4	3 – 8%	Suave Ondulado
PS11	3 – 8%	Suave Ondulado
PS3	0 – 3%	Plano
PS6	3 – 8%	Suave Ondulado
PS7	0 – 3%	Plano
PS8	0 – 3%	Plano
PV64	8 – 13%	Moderadamente Ondulado
R52	3 - 8%	Suave Ondulado
R55	3 – 8%	Suave Ondulado
R60	8 – 13%	Moderadamente Ondulado
R73	20 – 45%	Forte Ondulado
R74	20 – 45%	Forte Ondulado
RE25	0 – 3%	Plano

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

As UMs onde predominam os Luvisolos Crômicos e os Planossolos Nátrico possuem relevo predominantemente plano (NC12, NC14, NC15, NC17, PS3, PS7, PS8) ou suave

ondulado (PS6, PS11). São áreas de declividade que normalmente poderiam ser associadas a um baixo potencial erosivo, contudo a natureza do solo deve ser levada em consideração. Dessa forma a tabela 23 apresenta a suscetibilidade a erosão das UMs da área de estudo levando em consideração a natureza do solo e a declividade.

Tabela 23 - Grau de limitação da suscetibilidade à erosão dos solos da área de estudo

Unidade de mapeamento de solo (SIGLA)	Grau de limitação da suscetibilidade à erosão	Área (Km²)	Área (%)
RE25	Ligeiro	130,31	3,32
NC12; NC14; NC15; PA46; PA47; PAP4; PS8; R52; R55	Moderado	508,76	12,98
A11; A13; NC17; PS11; PS3; PS6; PS7; PV64; R60	Forte	2968,75	75,74
A10; A12; R73; R74	Muito Forte	311,63	7,95

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

Ao avaliar a suscetibilidade a erosão para os municípios de Belém de São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, pôde-se verificar que 12,98% da área possui grau de limitação de caráter moderado. Entre as unidades de mapeamento de grau moderado se dá destaque para a UM PS8 onde predominam Planossolos Nátricos em área de relevo plano. Nessas regiões a suscetibilidade a erosão são influenciadas acima de tudo pela natureza dos solos, tal qual ocorre com as UMs NC12, NC14 e NC15, enquanto nas UMs PA46, PAP4, R52 e R55 ocorre uma associação entre natureza do solo e relevo para atingir tal limitação.

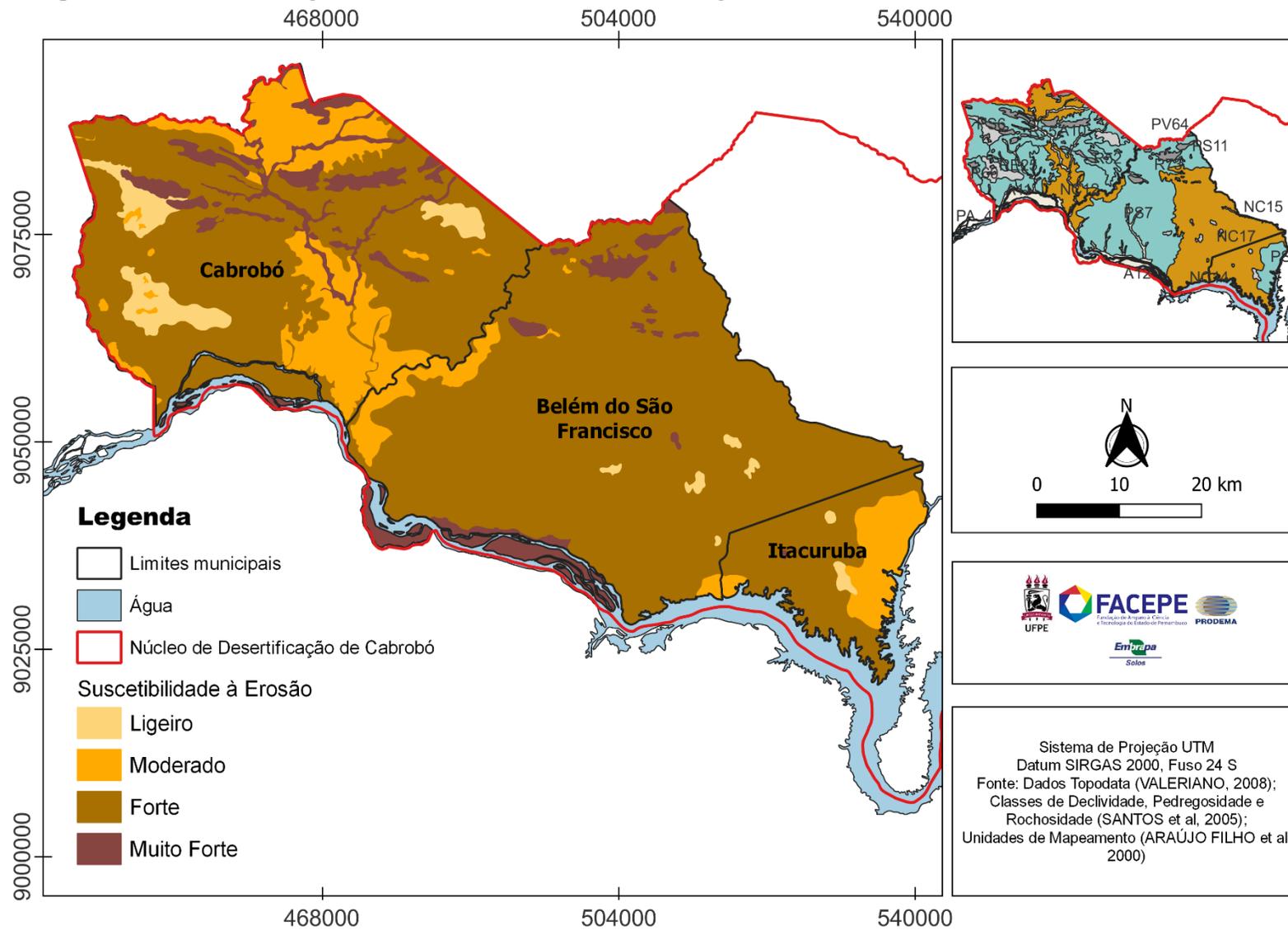
Ainda há áreas onde limitação referente a suscetibilidade a erosão foi classificada como forte e cerca de 75,74% da área de estudo recebeu essa classificação. O fator que mais influenciou essa classificação foi o fator K nas UMs A11, A13, NC17, PS11, PS3, PS6 e PS7, enquanto o relevo foi determinante nas UMs PV64 e R60.

Por fim, há áreas que foram classificadas com limitação muito forte no que se refere a suscetibilidade a erosão, onde essas regiões ocupam 7,95% da área de estudo. Nesse sentido, as

unidades de mapeamento A10 e A12 foram classificadas, sobretudo em função da natureza dos solos, enquanto o relevo foi determinante nas UM's R73 e R74.

Ao classificar as unidades de mapeamento de solo da área de estudo de acordo com a limitação a suscetibilidade a erosão pôde-se mapear (Figura 19), e verificar que a maior parte da área de estudo encontra-se com limitação variando entre Moderada e Forte, podendo perder material de solo caso ocorram práticas agrícolas sem medidas de mitigação à erosão.

Figura 19 - Graus de Limitação da Suscetibilidade Erosiva dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

4.3.5 Impedimentos à Mecanização

A partir das informações de rochosidade, pedregosidade, e do relevo dominante nas unidades de mapeamento de solo, pôde-se classificar o grau de limitação referente ao impedimento a mecanização para a área de estudo (Tabela 24).

Tabela 24 - Graus de limitação do relevo, pedregosidade e da rochosidade para a ocorrência dos impedimentos à mecanização dos solos nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Unidade de mapeamento de solo (SIGLA)	Tipo de Pedregosidade Predominante	Tipo de Rochosidade Predominante	Relevo Predominante	Grau de Limitação
A10	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
A11	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
A12	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
A13	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
NC12	Pedregoso 20%	Sem Rochosidade	Plano	Muito Forte
NC14	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
NC15	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
NC17	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
PA46	Epipedregoso 20%	Sem Rochosidade	Plano	Muito Forte
PA47	Epipedregoso (50%)	Afloramentos Rochosos (20%)	Plano	Muito Forte
PA P4	Pedregoso (40%) Epipedregoso (20%)	Sem Rochosidade	Suave Ondulado	Muito Forte
PS11	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Suave Ondulado	ligeiro
PS3	Epipedregoso (30%)	Sem Rochosidade	Plano	Muito Forte
PS6	Epipedregoso (25%)	Sem Rochosidade	Suave Ondulado	Muito Forte

PS7	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo
PS8	Sem pedregosidade	Afloramentos Rochosos (20%)	Plano	Muito Forte
PV64	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Moderadamente Ondulado	Moderado
R52	Sem pedregosidade	Afloramentos Rochosos (15%)	Suave Ondulado	Muito Forte
R55	Sem pedregosidade	Afloramentos Rochosos (20%)	Suave Ondulado	Muito Forte
R60	Sem pedregosidade	Afloramentos Rochosos (20%)	Moderadamente Ondulado	Muito Forte
R73	Sem pedregosidade	Afloramentos Rochosos (25%)	Forte Ondulado	Muito Forte
R74	Sem pedregosidade	Afloramentos Rochosos (25%)	Forte Ondulado	Muito Forte
RE25	Sem pedregosidade	Sem Rochosidade	Plano	Nulo

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

Ao avaliar o grau de impedimento a mecanização pôde-se conferir as unidades de mapeamento onde predominam os Neossolos Flúvicos (A10, A11, A12 e A13) o grau de impedimento a mecanização nulo, haja vista que nessas UMs não houve a presença de pedregosidade e rochosidade, e o relevo foi classificado predominantemente como plano. O grau de impedimento a mecanização nulo predominou na área de estudo, onde cerca de 64,22% da região recebeu essa classificação (Tabela 25). Dentro desse contexto as UMs NC14, NC15 e NC17 onde predominam os Luvisolos Crômicos; PS7 onde predominam os Planossolos Nátricos; RE25 onde predominam os Neossolos Regolíticos não apresentaram pedregosidade e rochosidade expressiva, além de estarem em área de relevo plano, sendo classificados com grau de limitação nulo.

Tabela 25 - Graus de limitação referente ao impedimento a mecanização nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Unidade de mapeamento de solo (SIGLA)	Grau de limitação de impedimento a mecanização	Área (%)	Área (Km²)
A10; A11; A12; A13; NC14; NC15; NC17; PS7; RE25	Nulo	2516,88	64,22%
PS11	Ligeiro	260,89	6,65%
PV64	Moderado	1,12	0,03%
NC12; PA46; PA47; PAP4; PS3; PS6; PS8; R52; R55; R60; R73; R74	Muito Forte	1140,55	29,10%

Fonte: Dados da pesquisa.

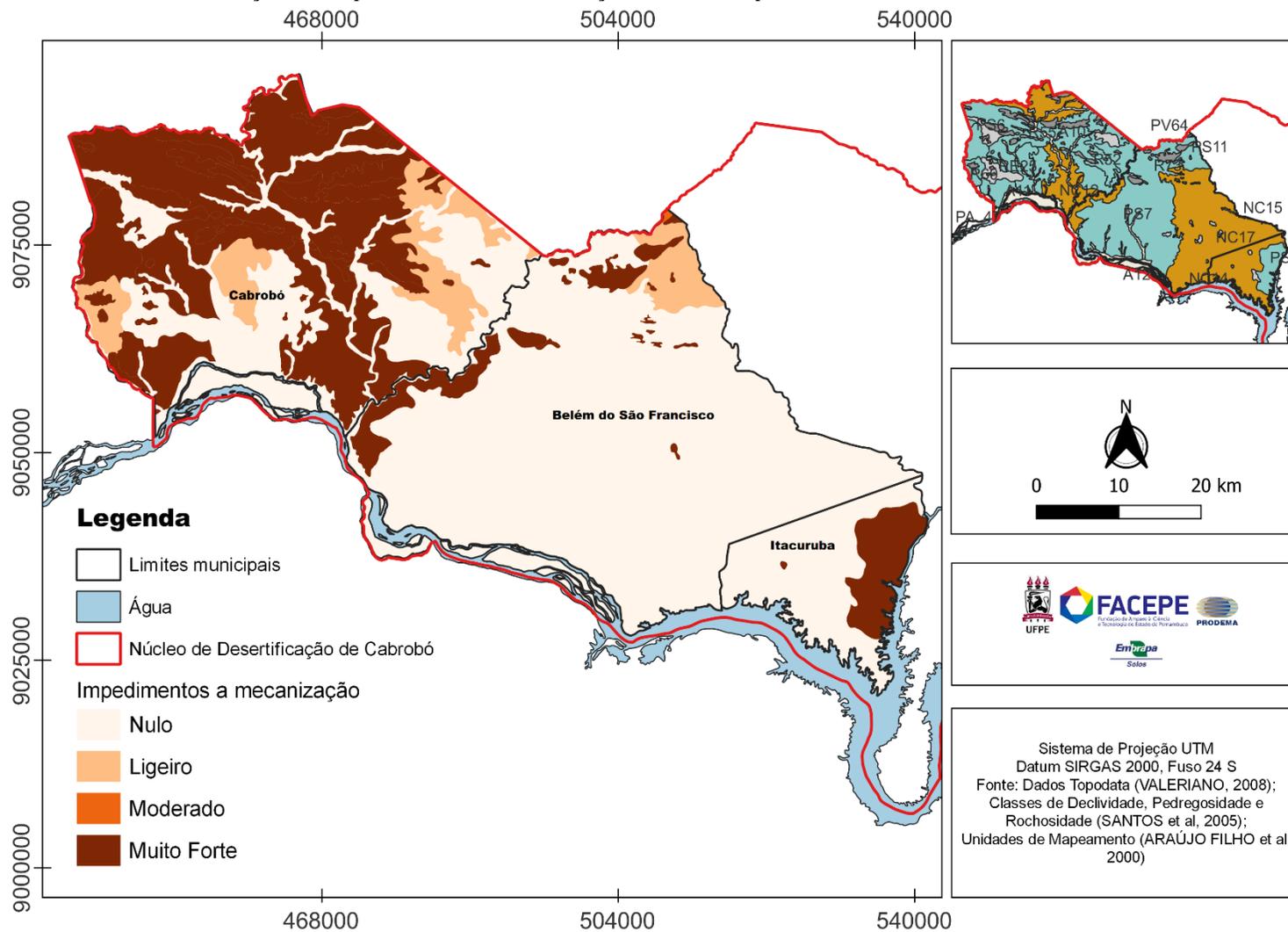
Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

A unidade de mapeamento PS11, onde se destaca o Planossolo Nátrico, não apresentou a presença expressiva de pedregosidade e rochosidade, contudo por estar localizada numa área de predominância de relevo suave ondulado foi classificada com limitação ligeira à mecanização. A UM PV64, com Argissolo Vermelho, ocupa cerca de 0,03% da área de estudo, não possui níveis expressivos de presença de pedregosidade e rochosidade. Contudo, o relevo classificado como moderadamente ondulado foi um fator determinante para a classificação como moderado para impedimentos a mecanização.

Cerca de 29,10% da área de estudo foi classificada com grau de limitação muito forte no parâmetro impedimento à mecanização. Dentro das unidades de mapeamento NC12 (Luvisolo Crômico); PA46, PA47 PAP4 (Argissolo Amarelo); PS3, PS6, PS8 (Planossolo Nátrico); R52; R55; R60 (Neossolo Litólico) o fator determinante para a classificação foi a presença expressiva de pedregosidade e/ou rochosidade, enquanto nas UMs R73 e R74 (Neossolo Litólico) foi o conjunto formado entre o relevo acidentado com a forte presença de pedregosidade e rochosidade.

Os dados da classificação do grau de impedimento a mecanização foram mapeados na figura 20 para a visualização da distribuição espacial desse parâmetro de análise da aptidão agrícola.

Figura 20 - Graus de Limitação do Impedimentos à Mecanização dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

4.3.6 Aptidão Agrícola das Terras

A partir da análise conjunta dos graus de limitação das condições agrícolas predominantes nas unidades de mapeamento de solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE pôde-se avaliar a aptidão agrícola das terras em regime de sequeiro conforme a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1995), e assim atribuir a melhor forma de utilização dos recursos do solo para a área de estudo (tabela 26).

Tabela 26 - Aptidão agrícola das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Unidades de mapeamento dos solos (Siglas)	Graus de limitação das condições agrícolas predominantes nas U.M das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba – PE					Subgrupo	Classe	Uso Indicado
	DF	DA	DO	E	M			
A10	F	MF	L	MF	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
A11	F	MF	L	F	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
A12	F	MF	L	MF	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
A13	F	MF	L/M	F	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
NC12	M	MF	L	M	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
NC14	L	MF	L	M	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
NC15	F	MF	L/M	M	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
NC17	F	MF	L/M	F	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PA46	L	MF	L	M	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PA47	L	MF	L	M	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PAP4	F	MF	L/M	M	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PS11	F	MF	L/M	F	L	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PS3	F	MF	L/M	F	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural

PS6	F	MF	L/M	F	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PS7	F	MF	L/M	F	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PS8	F	MF	L/M	M	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
PV64	L	MF	L	F	M	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
R52	F	MF	N/L	M	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
R55	F	MF	N	M	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
R60	L	MF	N/L	F	MF	5(n)	Restrita	Pastagem Natural
R73	L	MF	N/L	MF	MF	6	Sem aptidão agrícola	Preservação da Flora e da Fauna
R74	L	MF	N/L	MF	MF	6	Sem aptidão agrícola	Preservação da Flora e da Fauna
RE25	MF	MF	N	L	N	5(n)	Restrita	Pastagem Natural

Fonte: Dados da pesquisa.

Atributos de análise: DF – deficiência de fertilidade, DA – deficiência de água, DO – deficiência de oxigênio, E – susceptibilidade erosiva e M – impedimentos à mecanização. Graus de limitação: N – nulo, L – ligeiro, M – moderado, F – forte, / - Intermediário. Subgrupos: 5(n) - Terras com aptidão regular para a pastagem natural e à classe inapta para silvicultura, 6 – Terras sem aptidão para o uso agrícola.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

A metodologia de classificação da aptidão agrícola desenvolvida por Ramalho Filho e Beek (1995) atribui ao fator mais limitante a função de determinar a aptidão agrícola de uma região. No caso da área de estudo o fator de maior limitação em todas as unidades de mapeamento de solos é o da deficiência de água. Em toda área de estudo essa limitação possui grau muito forte. Dessa forma, os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE foram classificados com o uso indicado para pastagem natural de forma restrita, na classe 5(n), e para preservação da fauna e da flora, dentro do subgrupo 6. Haja vista que nessa região o regime hídrico é irregular e há grande deficiência hídrica (Tabela 27).

Tabela 27 - Zoneamento da aptidão agrícola das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, com os subgrupos de utilização.

Subgrupos	Área (km ²)	Área (%)
5(n)	3763,15	96,01
6	156,30	3,99

Fonte: Dados da pesquisa.

Subgrupos: 5(n) - Terras com aptidão restrita para a pastagem natural e à classe inapta para silvicultura, 6 – Terras sem aptidão para o uso agrícola.

A acentuada deficiência hídrica nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, impossibilitou a classificação de áreas para lavoura em todos os níveis de manejo, dessa forma, cerca de 96,01% da área de estudo foi indicada ao uso de pastagem natural. Lima (2016) realizou um levantamento da aptidão agrícola das terras no semiárido do Ceará e considerou o atributo deficiência hídrica como o principal fator de limitação da aptidão agrícola em terras localizadas no semiárido, em sua classificação cerca de 60,30% da sua área de estudo estava inapta para lavouras, e os 39,70% da área que possuíam aptidão para lavouras encontravam-se em classe regular e restrita. Ao determinar a aptidão agrícola das terras na microrregião de Mossoró-RN, Araújo *et al.* (2013) indicaram que a principal limitação foi a deficiência hídrica em todos os níveis de manejo.

As unidades de mapeamento R73 e R74 compreendem cerca de 3,99% da área de estudo, e foram classificadas como sem aptidão agrícola, onde o uso indicado foi fixado como preservação da fauna e da flora, pois nessas regiões a deficiência hídrica está associada a uma suscetibilidade a erosão classificada como muito forte. No estudo realizado por Lima (2016), cerca de 33,30% do Sul do Ceará foi classificado com o uso da terra indicada com preservação da flora e da fauna. Em estudo realizado na bacia hidrográfica do riacho Mulungu, no município de Belém do São Francisco-PE, Menezes, Araújo e Galvínio (2007), classificaram áreas com afloramentos rochosos e solos pedregosos como áreas destinadas à preservação ambiental.

Em estudo na região semiárida do estado de Alagoas Araújo *et al.* (2021), realizaram balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955) com a finalidade de compreensão da aptidão agrícola em regime de sequeiro e irrigado para a cultura do milho, e concluíram que a irregularidade da distribuição das chuvas associada a elevada evapotranspiração inviabiliza as lavouras, sendo necessário o uso da irrigação para suprir a demanda agrícola.

O uso da terra com lavouras, ou em pastoreio baseado em sequeiro no semiárido produz diversos impactos, como a erosão, redução do estoque de carbono do solo, redução da diversidade das espécies da caatinga etc., o que leva a degradação ambiental, e em alguns casos a desertificação (SCHULZ *et al.*, 2018; SCHULZ *et al.*, 2017; BRASIL, 2005). O uso do solo em regime de sequeiro no semiárido nordestino também pode ser influenciado negativamente

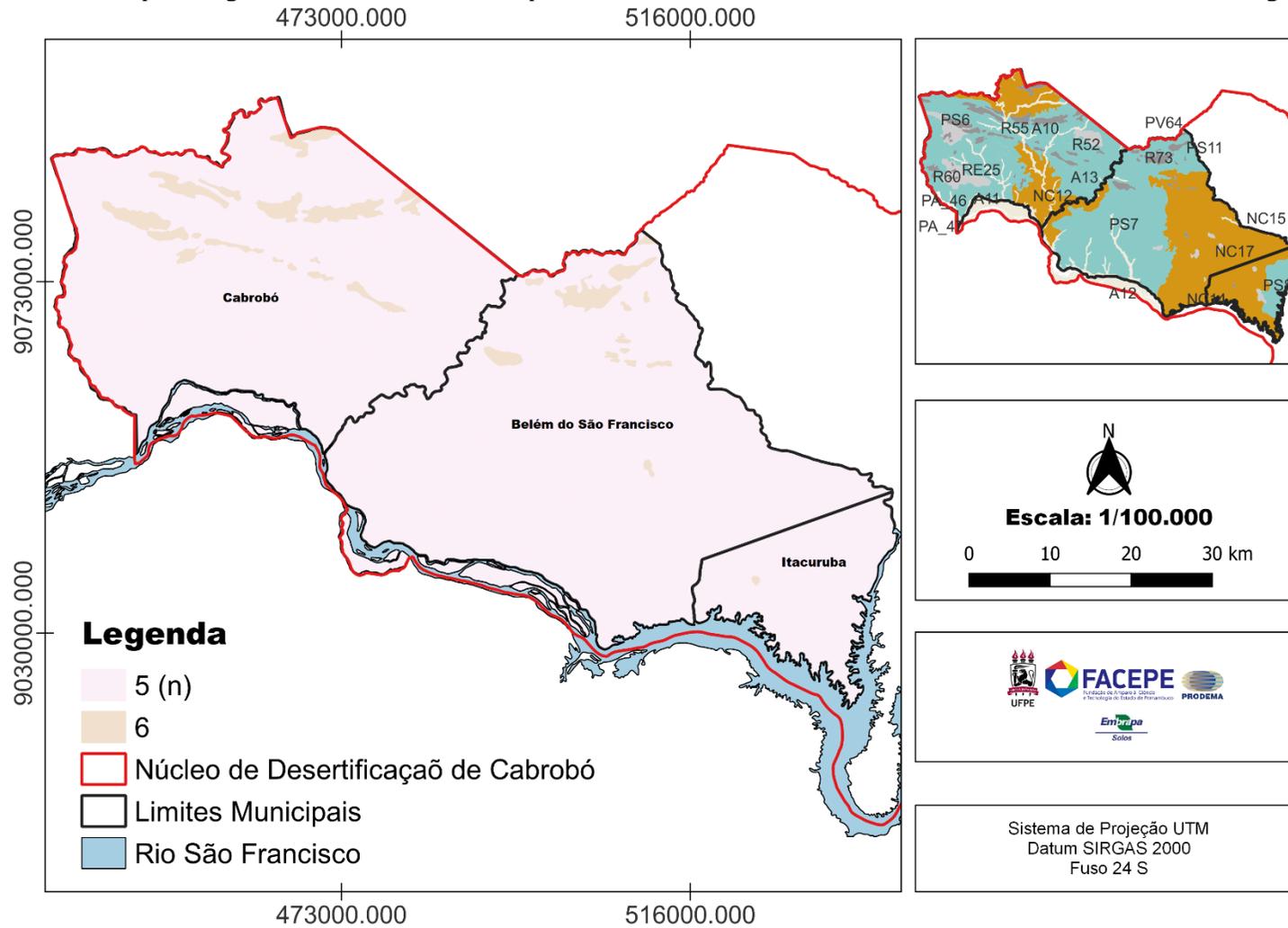
pelas mudanças climáticas, onde nas próximas décadas poderá haver uma elevação das temperaturas nas regiões Norte e Nordeste do Brasil e redução significativa do regime hídricos, o que poderá desencadear impactos sociais e ambientais (JONG *et al.*, 2018).

No semiárido a seca é um fator agravante da vulnerabilidade econômica e social, pois inviabiliza a produção agrícola em regime de sequeiro (dependente de chuva) e torna a irrigação uma técnica indispensável para a sobrevivência de lavouras independentemente do tamanho da operação (SILVA; SILVA, 2015). Na área de estudo a inviabilização das práticas agrícolas em regime de sequeiro pode significar degradação ambiental, caso ocorram essas práticas. De acordo com Ribeiro (2007), apesar da importância para a economia regional a agricultura de sequeiro tem potencializado desequilíbrios ambientais de proporções gigantescas no semiárido nordestino, sobretudo durante períodos de seca, dessa forma a inclusão da irrigação se torna ferramenta indispensável para a sobrevivência dos produtores no semiárido nordestino.

Os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba podem aproveitar as águas do rio São Francisco e de sua transposição, haja vista que são banhados por esse rio na parte Sul da área de estudo. Unidades de mapeamento como as PA46, PA47, PV64, NC14 que possuem limitação de fertilidade ligeira podem ser aproveitadas sob o regime de irrigação com certo nível de aproveitamento, caso a técnica seja realizada de maneira adequada. Contudo, convém lembrar que a irrigação também pode produzir impactos negativos no semiárido, como a salinização e a erosão, levando também a desertificação, dessa forma, é necessário, também um levantamento do potencial agrícola para a área de estudo considerando a irrigação como uma técnica de melhoramento do potencial agrícola, para assim saber o real potencial da região para atividades considerando o solo como recurso natural.

Portanto, a área de estudo foi classificada com dois subgrupos de utilização, 5(n): Terras com aptidão restrita para a pastagem natural; e 6: Terras sem aptidão para o uso agrícola, dentro dos níveis de manejo A, B e C, e que devem ser destinadas para preservação ambiental, de acordo com os atributos físicos da região. Por fim, a classificação foi espacializada na figura 21.

Figura 21 - Zoneamento da aptidão agrícola das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, com os subgrupos de utilização



Fonte: Dados da pesquisa.

Subgrupos: 5(n) - Terras com aptidão regular para a pastagem natural e inapta para silvicultura; 6 – Terras sem aptidão para o uso agrícola.

4.4 CONCLUSÕES

O atributo que impôs a maior limitação à prática agrícola dentro dos níveis de manejo B e C foi a deficiência de água, indicada pela presença da caatinga hiperxerófila da região, que para todos os municípios inviabiliza a prática agrícola sustentável em regime de sequeiro.

Dessa forma, o uso das terras mais apropriados para todos os municípios em regime de sequeiro é com pastagem natural de forma restrita pelas condições climáticas e, em menor proporção, por condições topográficas, e para preservação da fauna e da flora, haja vista que a vegetação da caatinga hiperxerófila é adaptada às limitações da região, e pode não conseguir se regenerar e evitar a perda do solo caso seja suprimida.

A área de estudo margeia o rio São Francisco, que pode suprir sua água para contornar a limitação forte a muito forte da deficiência hídrica regional. Sendo assim, é recomendado que se faça uma análise do potencial das terras para a irrigação na área de estudo, para que se possa verificar a possibilidade de uso dessa tecnologia.

5 ARTIGO 2: POTENCIAL DE TERRAS PARA A IRRIGAÇÃO NOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE

5.1 INTRODUÇÃO

O aumento populacional aumenta a demanda pela produção e distribuição de alimentos, dessa forma, busca-se ampliar as áreas agricultáveis por todo o globo terrestre. A expansão da fronteira agrícola conta, sobretudo, com o aparato tecnológico para tornar produtivas áreas que tradicionalmente eram limitadas, no que tange a agricultura, sendo a irrigação uma das principais técnicas responsáveis por mudar o panorama agrícola de regiões áridas e semiáridas, e complementar as necessidades hídricas de regiões úmidas ao redor do globo (MEDEIROS *et al.*, 2016).

No semiárido Nordeste a escassez hídrica, muitas vezes, inviabiliza práticas agrícolas em regime de sequeiro (dependente de chuvas), dessa forma, a irrigação acaba se tornando uma solução para que práticas agrícolas sejam desenvolvidas nessa região (AMARAL *et al.*, 2014). A irrigação, porém, não pode ser tratada como a única solução para que ocorram práticas agrícolas sustentáveis no semiárido, pois muitas vezes essa técnica pode causar, ou agravar o processo de salinização do solo. A salinização do solo é um fenômeno que consiste na concentração de sais solúveis no perfil do solo, provenientes dos minerais primários formadores das rochas, por intemperismo químico, tendo a água como principal agente catalizador (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016).

O processo de salinização pode ocorrer naturalmente ou de maneira induzida, sendo definida como salinização primária aquela que ocorre naturalmente quando as condições geossistêmicas são propícias, sendo fatores condicionantes a alta taxa de evapotranspiração, drenagem deficiente e lençol freático enriquecido por sais, etc. Enquanto a salinização secundária e/ou induzida é aquela que ocorre por meio do manejo inadequado do solo e da água (RIBEIRO; RIBEIRO FILHO; JACOMINE, 2016). Os processos de salinização e/ou sodificação secundária dos solos podem ocorrer quando houver acumulação de sais provenientes da água da irrigação, elevação do lençol freático que pode transportar sais da área mais profunda do solo para os horizontes superficiais, ou sistema de drenagem com problemas para realizar o escoamento superficial da água (AMARAL *et al.*, 2014).

A fertilidade do solo está associada a disponibilidade de nutrientes e a baixa presença de elementos fitotóxicos que impedem o pleno desenvolvimento das plantas. Nesse sentido, a alta concentração de sais solúveis e/ou sódio é considerado um fator que afeta negativamente a

fertilidade natural do solo, impactando a agricultura e o equilíbrio natural em regiões semiáridas (SANTOS *et al.*, 2016). De acordo com Santos e Santos (2019), em áreas salinizadas, inicialmente, a salinização pode não produzir impactos significativos sobre a agricultura, contudo na vegetação nativa os impactos são imediatos e reduzem a biodiversidade, sobretudo de espécies lenhosas da caatinga.

Alguns processos de degradação do solo no semiárido nordestino estão associados à práticas agrícolas sem planejamento e gerenciamento adequado. Nesse sentido, a agricultura irrigada está inserida, pois mesmo promovendo diversos benefícios socioeconômicos ela pode gerar impactos negativos no meio físico natural e gerar assim efeitos contrários ao seu objetivo original, pois o uso de técnicas de irrigação mal supervisionadas em perímetros irrigados ou em áreas de cultivos pode promover o processo de salinização e ampliar as áreas degradadas e sem capacidade produtiva (SILVA; SILVA, 2015).

O manejo inadequado do solo associado a técnicas de irrigação sem o devido planejamento compromete a qualidade ambiental do solo, tornando-o impróprio para o cultivo a partir da diminuição da fertilidade natural e da salinização, o que ocasiona o abandono das terras pelos agricultores (SILVA; SILVA, 2015). O abandono de áreas desmatadas no semiárido deixa o solo exposto as intemperes da natureza, ampliando as áreas vulneráveis a processos erosivos e conduzindo para a perda de qualidade ambiental (BABOSA NETO *et al.*, 2017).

Tendo em vista a necessidade de racionalização do uso da terra e da irrigação no semiárido brasileiro, foi criado o “Sistema Brasileiro de Classificação de Terras Para Irrigação: Enfoque na Região Semiárida (SiBCTI)” (AMARAL, 2011). Essa metodologia é produto de esforços coletivos de técnicos da CODEVASF (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba), da EMBRAPA solos e também contou com a colaboração de universidades e instituições de todo Brasil em sua construção.

A produção do SiBCTI partiu da necessidade de criação de um sistema de classificação da aptidão de terras para irrigação voltado para o semiárido brasileiro, haja vista que o sistema utilizado até então, o do Bureau of Reclamation - BUREC, tinha suas limitações de aplicabilidade na realidade brasileira. Dessa forma, o SiBCTI foi construído com grande influência do sistema do BUREC e a partir de diversos debates, eventos científicos, trabalhos de campo e colaboração aberta visando o aperfeiçoamento da metodologia (AMARAL, 2011).

Tendo em vista que em diversos empreendimentos de irrigação no semiárido brasileiro ocorreu problemas com salinização devido ao uso incorreto das técnicas de irrigação, o SiBCTI foi estruturado de modo a subsidiar a agricultura irrigada para evitar a superirrigação e assim mitigar os efeitos da salinização no semiárido (AMARAL, 2011).

O SiBCIT é um sistema especialista, e está estruturado a partir da análise de atributos em quatro planos de informações, sendo obtidos por meio de variáveis pedológicas, necessidades específicas das plantas, qualidade e custo da captação da água de irrigação e os tipos de sistemas de irrigação (AMARAL, 2011). De acordo com Amaral (2011), a metodologia classifica as terras de acordo com suas limitações e potencialidades específicas, podendo ser utilizada em estudos de pré-viabilidade de irrigação, em escala de detalhe, ou em estudos mais generalizados. Para esse sistema, uma terra é considerada apta para a irrigação se ela possuir a capacidade de reembolsar os custos colocados no projeto de irrigação e produzir benefícios contínuos ao irrigante.

O SiBCTI (AMARAL, 2011) classifica as terras de acordo com os parâmetros limitantes para a irrigação, sendo a classe definida pelo fator mais limitante, a partir de uma situação de referência (classe 1) dentro de alto nível tecnológico e as classes subsequentes correspondem a uma porcentagem dessa situação, sendo elas:

Classe 1: terra que, quando explorada em alto nível tecnológico, com determinada cultura, em determinado sistema de irrigação apresenta a mais alta produtividade sustentável e baixo custo de produção;

Classe 2: terra que, ao ser explorada em alto nível tecnológico, com determinada cultura, em certo tipo de sistema de irrigação, possui um ou mais fatores de limitação que afetam os custos de desenvolvimento e/ou de produção de modo que a média de produtividade seja aproximadamente 90% da situação de referência.

Classe 3: terra que, ao ser explorada em alto nível tecnológico, com determinada cultura, em certo tipo de sistema de irrigação, possui um ou mais fatores de limitação que afetam os custos de desenvolvimento e/ou de produção de modo que a média de produtividade seja aproximadamente 75% da situação de referência.

Classe 4: terra que, ao ser explorada em alto nível tecnológico, com determinada cultura, em certo tipo de sistema de irrigação, possui um ou mais fatores de limitação que afetam os custos de desenvolvimento e/ou de produção de modo que a média de produtividade seja aproximadamente 50% da situação de referência.

Classe 5: terra que, ao ser explorada em alto nível tecnológico, com determinada cultura, em certo tipo de sistema de irrigação, possui um ou mais fatores de limitação que afetam os custos de desenvolvimento e/ou de produção de modo que a média de produtividade seja aproximadamente 25% da situação de referência. É uma classe que demanda que ocorram estudos mais aprofundados para seu uso sustentável sob irrigação.

Classe 6: terra que, ao ser explorada em alto nível tecnológico, com determinada cultura, em certo tipo de sistema de irrigação, possui um ou mais fatores de limitação que afetam os custos de desenvolvimento e/ou de produção de modo que a média de produtividade seja aproximadamente 10% da situação de referência.

São dezoito parâmetros relacionados aos solos, sendo avaliados sob diferentes camadas e profundidades, e são padronizados no sistema em forma de letras em caixa alta com a cor vermelha, a saber: profundidade (**Z**) até a camada semipermeável e impermeável; textura do perfil de solo (**V**); capacidade de água disponível (**C**); cátions $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (**Y**); valor T (**T**); alumínio trocável (**M**); pH em água (**H**); saturação por sódio trocável (**S**); condutividade elétrica (**E**); condutividade hidráulica (**K**); velocidade de infiltração básica (**I**); profundidade da zona de redução (**W**); mineralogia da fração argila (**A**); espaçamento requerido entre drenos (**D**); declividade (**G**); pedregosidade (**P**); rochosidade (**R**); e posição na paisagem (**B**) (AMARAL, 2011).

Com relação aos parâmetros relacionados a água, são sete, padronizados com letras minúsculas em cor azul. No SiBCTI a água do rio São Francisco é considerada de excelente qualidade e não apresentam riscos para os parâmetros a serem analisados. Os parâmetros analisados das águas são relacionados a sua qualidade e risco de salinização e seu custo de captação, sendo eles: condutividade elétrica (**e**); razão de adsorção de sódio (RAS) (**s**); cloretos (**c**); ferro (**f**); boro (**b**); diferença de cota (**h**); e distância da captação da água (**d**) (AMARAL, 2011).

O SiBCTI atua com a possibilidade de uso de três sistemas de irrigação, que deve ser escolhido de acordo com os planos de informações da região escolhida, sendo: 1. Localizada: microaspersão, gotejamento, jato pulsante; 2. aspersão: convencional, pivô central, canhão hidráulico, entre outros; e 3. superfície: sulco, inundação, corrugação, entre outros (AMARAL, 2011).

O SiBCTI avalia a aptidão para irrigação a partir das informações de perfis de solo, obtendo, assim, a classe de terra do tipo de solo ou da unidade taxonômica. Tendo em vista que os levantamentos de solo geram mapas pedológicos com unidades de mapeamento contendo um ou mais componentes (associações de solo), Araújo Filho *et al.* (2021), desenvolveram uma metodologia capaz de obter o potencial de terras para irrigação das UMs, viabilizando assim, o mapeamento do potencial para a irrigação em qualquer escala de mapeamento.

Assim, pode-se compreender que o manejo inadequado do solo no semiárido, sobretudo de técnicas de irrigação, pode impactar negativamente os atributos químicos e físicos do solo. Em Belém do São Francisco as limitações à agricultura estão relacionadas, sobretudo, a

deficiência de nutrientes e altos níveis de salinidade em função da irrigação excessiva sem uso adequado de técnicas de drenagem (SILVA; MACIEL; ARAÚJO, 2005). Dentre as áreas de agricultura irrigada presentes no município de Belém do São Francisco, destaca-se o perímetro irrigado de Manga de Baixo (PIMB), com mais de 93 hectares, inaugurado no ano de 1987 (COSTA; ALBUQUERQUE, 2020). Contudo, o Perímetro Irrigado de Manga de Baixo pode apresentar áreas afetadas pela salinização (SOARES *et al.*, 2016). Em um estudo realizado numa parcela do município de Belém do São Francisco-PE, Xavier *et al.* (2020) encontraram resultados que demonstram que a interação sistêmica dos fatores ambientais promove intensos processos erosivos.

No município de Cabrobó, o manejo do solo utilizando técnicas de irrigação sem o respeito das limitações características daquela região tem ocasionado a salinização das terras agricultáveis e o seu abandono (SILVA; SILVA, 2015). Em Cabrobó a salinização está associada, sobretudo, à agricultura irrigada, onde, os solos com baixa permeabilidade são irrigados com água de baixa qualidade, especialmente com alto teor de sais, e assim o processo de salinização secundário é acelerado (LOPES; SOARES, 2016). Nesse sentido Soares *et al.* (2016) apontam que o emprego da irrigação por sulco e/ou inundação no cultivo de cebola e arroz sem técnicas de drenagem contribuem para a salinização dos solos irrigados em Cabrobó-PE.

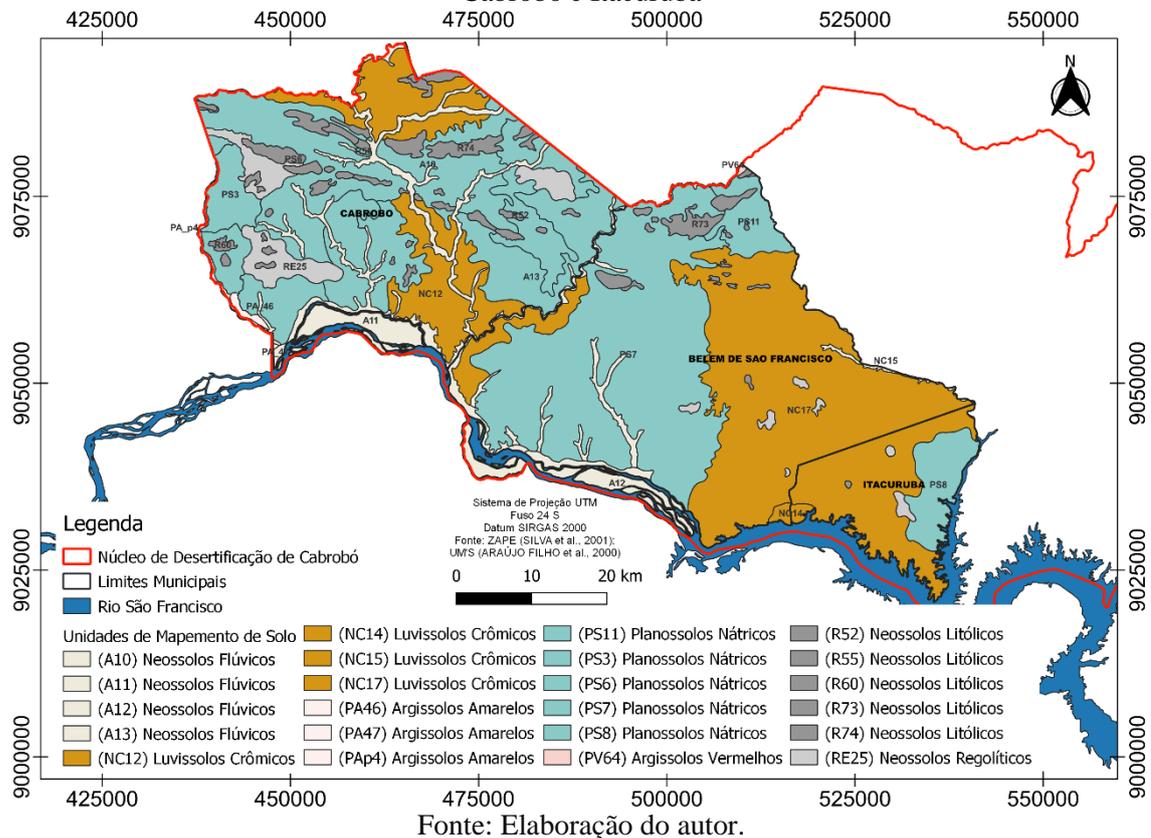
Itacuruba é um município bastante afetado com práticas agrícolas sem o devido planejamento, possuindo intensos processos erosivos em sua consequência. Nesse sentido, em estudo no município de Itacuruba, Barbosa Neto *et al.* (2020) estimaram as perdas de solo decorrente de erosão laminar em 34 Tg, onde foi indicado que esses intensos processos erosivos podem contribuir para a redução da cobertura vegetal local. Contudo, é necessário indicar que práticas agrícolas podem ser realizadas com o devido planejamento e uso de técnicas como a irrigação e projetos de drenagem. Ao estudar a gênese de Luvisolos e Planossolos em Itacuruba Câmara *et al.* (2021), demonstraram que os Luvisolos analisados possuíram atributos químicos, físicos e morfológicos que apontam para a possibilidade de práticas agrícolas condicionadas a projetos de irrigação e drenagem.

Dentro desse contexto, a literatura aponta que nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba as condições do solo podem sofrer impactos negativos em decorrência da irrigação e de práticas agrícolas sem o devido planejamento, embora apresentem potencial para projetos de irrigação. Tendo em vista a disponibilidade hídrica para a implementação de projetos de irrigação, o presente estudo tem como objetivo analisar o potencial das terras para irrigação dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba para irrigação.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

A classificação do potencial das terras para a irrigação dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba foi realizado a partir das metodologias de Amaral (2011) e Araújo Filho *et al.* (2021). Para a delimitação das áreas a serem mapeadas foram consideradas as unidades de mapeamento (UM) de solo do Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000) escala 1:100.000, onde foram coletados os dados das vinte três (23) UMs (Figura 22). Os procedimentos metodológicos foram separados em três (3) etapas.

Figura 22 - Mapa das Unidades de Mapeamento de Solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba



A primeira etapa consistiu na classificação das terras para irrigação por perfil de solo no software do SiBCTI (AMARAL, 2011), onde foram classificados os componentes individuais de solo de cada UM. Para a classificação foram consideradas as características dos solos encontradas no Levantamento de Reconhecimento de Baixa e Média Intensidade dos Solos do Estado de Pernambuco (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2000), e adotados valores médios de análises de solos realizadas na área de estudo ou em regiões adjacentes com características

geoambientais similares, pois a área de estudo conta com informações limitadas acerca dos perfis de solos. Por se tratar de um levantamento relativamente generalizado, optou-se por essa solução. As informações foram coletadas junto a: Dissertações e Teses da UFRPE, EMBRAPA e os principais portais de busca (Quadro 2) (Figura 12).

Quadro 2 - Bibliografia utilizada como suporte para obtenção de dados morfológicos e analíticos de perfis de solo

Fonte Consultada
Jacomine <i>et al.</i> (1972); Silva <i>et al.</i> (2001); Lopes Silva <i>et al.</i> (2001); Silva <i>et al.</i> (2006); Galindo <i>et al.</i> (2008); Oliveira <i>et al.</i> (2009); Santos <i>et al.</i> (2012); Queiroz <i>et al.</i> (2013); Santana (2015); Santos (2015); Souza <i>et al.</i> (2010); Câmara (2016); Santos (2019); Menezes (2020); Araújo Filho <i>et al.</i> (2021).

Nesse sentido, com relação ao solo, o potencial das terras para a irrigação foi classificado de acordo com a profundidade (**Z**) até a camada semipermeável e impermeável; textura do perfil de solo (**V**); capacidade de água disponível (**C**); cátions $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ (**Y**); valor T (**T**); alumínio trocável (**M**); pH em água (**H**); saturação por sódio trocável (**S**); condutividade elétrica (**E**); condutividade hidráulica (**K**); velocidade de infiltração básica (**I**); profundidade da zona de redução (**W**); mineralogia da fração argila (**A**); espaçamento requerido entre drenos (**D**); declividade (**G**); pedregosidade (**P**); rochiosidade (**R**); e posição na paisagem (**B**).

Os dados referentes a qualidade de água utilizados na classificação consideraram os valores das águas do rio São Francisco como referência (BATISTA *et al.*, 2016) (Tabela 28), (VIGILIO; CUNHA, 2019) (Tabela 29), onde foram coletados dados de: condutividade elétrica (**e**); razão de adsorção de sódio (RAS) (**s**); cloretos (**c**); ferro (**f**); boro (**b**); diferença de cota (**h**). Os valores de distância da captação da água (**d**), a diferença de cota (**h**), tomaram como referência a distância das UMs para as principais barragens localizadas na área de estudo e áreas adjacentes.

Tabela 28 - Parâmetros de qualidade física e química de água para irrigação de dois mananciais no Semiárido brasileiro

Fonte de água	Parâmetro											
	Ca ⁺²	Mg ⁺ ₂	Na ⁺	K ⁺	CO ₃ ⁻²	HC O ₃ ⁻²	C l ⁻	CE (dS m ⁻¹)	SDT (mg/L ⁻¹)	P H	RA S	Clas se
Rio São Francisco	0,32	0,56	0,1	0,1	0	0,23	0,3	0,07	48	6,4	0,2	C1S1

Fonte: Batista *et al.*, 2016.

Tabela 29 - Presença média de Ferro e Boro na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

Valores	Parâmetro	
	Ferro (mg/L)	Boro (mg/L)
	0,2	0,005

Fonte: Vigilio; Cunha, 2019.

A classificação foi realizada no software do SiBCTI a partir da opção de classificação geral, onde ela é realizada com base nos atributos dos solos e dos custos de captação de água, sem definir o sistema de irrigação e a cultura a ser irrigada (AMARAL, 2011).

A segunda fase foi a alocação das classes de terra para irrigação por componentes de cada UM. E por fim, a terceira fase foi a classificação do potencial global das terras das UMs dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba para a irrigação. Nesse sentido foi utilizada a metodologia desenvolvida por Araújo Filho *et al.* (2021), onde o somatório das aptidões das classes de terras de uma UM define a seu potencial global para irrigação. Dessa forma, foram avaliadas as 23 UMs presentes na área de estudo de acordo com a tabela 30, que estabelece as regras para a definição do potencial de irrigação das terras das UMs, delimitando-as em cinco classes de potencial e estabelecendo a convenção cartográfica.

Tabela 30 - Regras de decisão para o estabelecimento do potencial de terras para irrigação de unidades de mapeamento de solos (UM)

Classe de Potencial	Descrição	Legenda de cor (RGB)
Muito alto	Ambientes (UM) com classes de terra para irrigação atendendo a condição: classe 1 + classe 2 \geq 75%.	R = 38 G = 115 B = 0
Alto	Ambientes (UM) com classes de terra para irrigação atendendo a condição: classe 1 + classe 2 \geq 50% e $<$ 75%.	R = 152 G = 230 B = 0
Médio	Ambientes (UM) com classes de terra para irrigação atendendo a condição: classe 1 + classe 2 + classe 3 \geq 40%.	R = 255 G = 170 B = 0
Baixo	Ambientes (UM) com classes de terra para irrigação atendendo as condições: classe 1 + classe 2 + classe 3 \geq 20 % e $<$ 40%; ou classe 4 \geq 50%.	R = 255 G = 255 B = 115
Muito Baixo	Ambientes (UM) com classes de terra para irrigação atendendo a condição: ausência das classes 1, 2 e 3; e classe 4 $<$ 50%.	R = 204 G = 204 B = 204

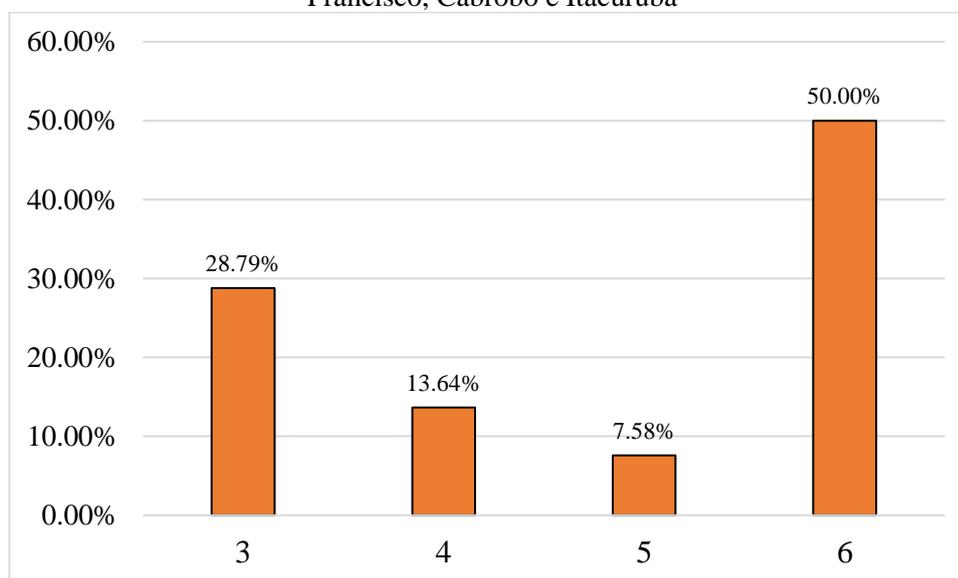
Fonte: Araújo Filho *et al.* (2021, p. 25).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Síntese das classes de gerais de terra para irrigação

A partir das avaliações das classes gerais de terra para irrigação, isto é, sem levar em consideração sistemas de irrigação e culturas específicas, foi possível determinar as proporções das classes de terra da área de estudo (Figura 23). O resultado das classificações pode ser encontrado dentro no anexo C.

Figura 23 - Proporção das classes gerais de terras para irrigação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba



Fonte: Dados da pesquisa.

Pode-se perceber o predomínio das terras dentro da classe 6 (50%), na área de estudo, em função dos solos predominantes nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba apresentarem limitações relacionadas a salinidade, sodicidade, pedregosidade, rochosidade, textura, profundidade, entre outras. Em mapeamento realizado na região de influência do canal das vertentes litorâneas da Paraíba (Canal Acauã-Araçagi), Araújo Filho *et al.* (2021), encontraram em seus resultados uma maior abrangência das terras dentro da classe 6 (42%). Dentro desse contexto, Francisco *et al.* (2022) classificaram o potencial das terras da bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba para o uso com agricultura irrigada, onde seus resultados indicaram a predominância da classe mais restritiva (classe 6) em 79,89% da sua área de estudo, em consequência da maior representatividade das ordens dos Luvisolos Crômicos seguido pelo Neossolos Litólicos e Planossolos Nátricos.

As terras classificadas dentro da classe 3 ocorreram em 28,79% dos solos analisados na área de estudo, sendo a segunda classe mais representativa. Pode-se encontrar nessa classe os Argissolos Vermelhos, Argissolos Vermelhos-Amarelos, Argissolos Amarelos e Cambissolos Háplicos. Em sua análise Francisco *et al.* (2022), classificaram cerca de 11,67% dos solos dentro da classe 3, sendo a segunda classe mais dominante, tal qual nos resultados de Araújo Filho *et al.* (2021), que a classe 3 foi fixada em 23% de sua área de estudo, e foi a segunda classe mais prevaiente. De acordo com Araújo Filho *et al.* (2021), a semelhança nos resultados de classificação das terras para irrigação pode ocorrer em função da semelhança climática, de embasamento geológico e da cobertura pedológica.

As terras incluídas dentro da classe 3 apresentam um ou mais fatores limitantes que afetam os custos de desenvolvimento e/ou produção de modo que a produtividade seja 75% da situação de referência (AMARAL, 2011). Dentro da área de estudo essas limitações são representadas por pela profundidade, salinidade, textura, declividade e presença de alumínio.

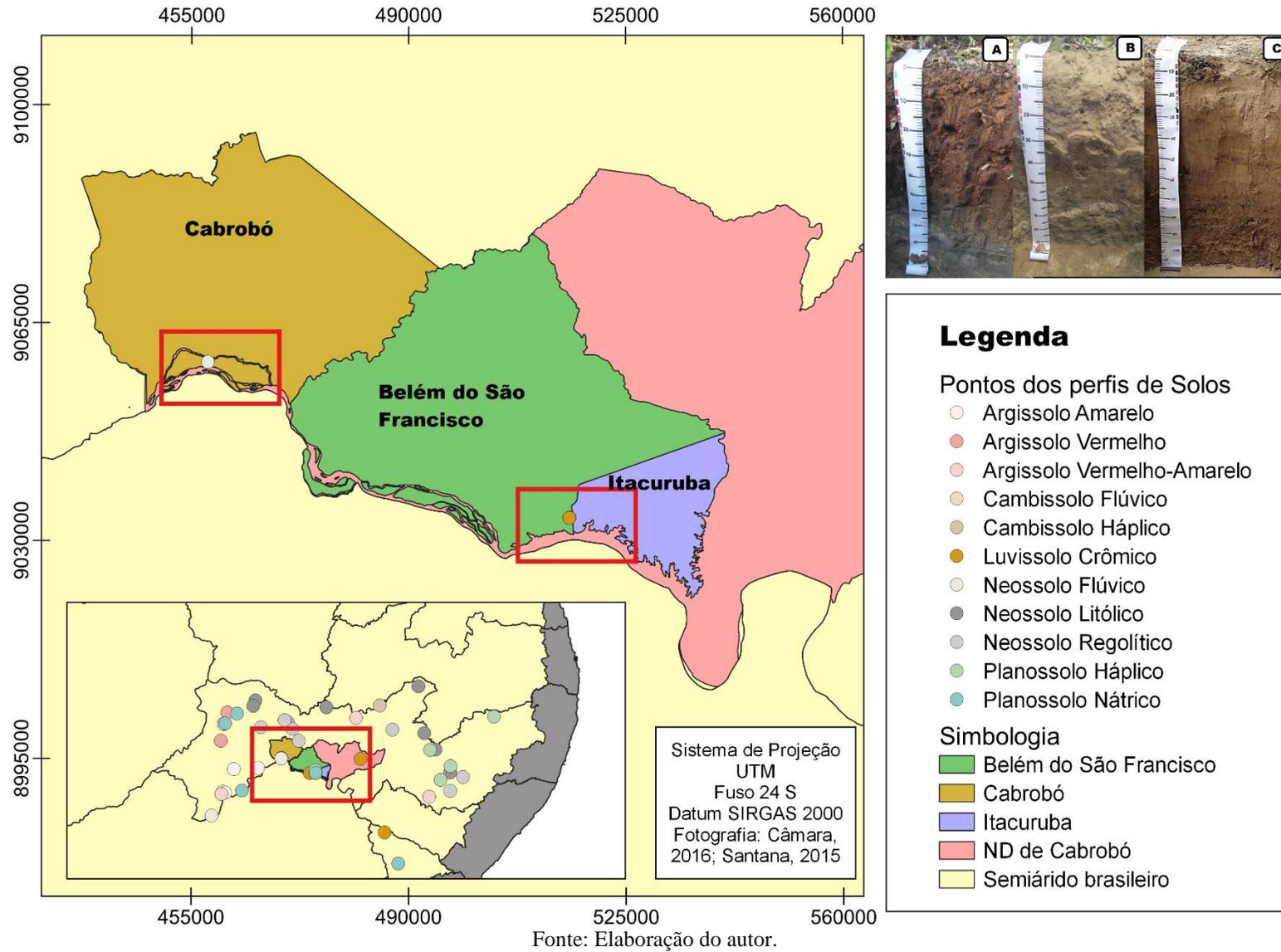
Os Luvisolos (Figura 24 A), na região do Sertão nordestino, por apresentarem um substrato rochoso (rocha semipermeável) iniciando numa profundidade média ao redor de 70 cm, têm sua profundidade efetiva limitada. Além disso, comumente ocorrem associados com pedregosidade e sodicidade, em função, especialmente, da sua limitada profundidade efetiva (OLIVEIRA; JACOMINE, 1992). A classe geral de terras para irrigação dessa classe de solos também fica limitada para classe 4.

Os Planossolos (Figura 24 B), na região do Sertão nordestino, apresentam forte limitação de drenagem dentro de 50 cm da superfície do solo, em função do horizonte B plânico que ocorre numa profundidade média de 20 a 40 cm de profundidade. Por isso, sua classe geral de terra para irrigação fica limitada para 5 ou 6. Os Neossolos Regolíticos, apesar de apresentarem textura na faixa arenosa, possuem uma profundidade efetiva, em geral, maior que 80 cm. Por isso, sua classe geral de terras para irrigação enquadra-se como 3.

Os Neossolos Litólicos, por definição, apresentam um substrato rochoso dentro de 50 cm de profundidade. Além disto, comumente ocorrem associados com pedregosidade e rochosidade. Por isso, sua classe de geral terra para irrigação fica limitada para 5 ou 6. O uso da técnica da irrigação no semiárido deve ser precedido de estudo de viabilidade, considerando os impactos, para que a escolha tanto da cultura, quanto do sistema de irrigação sejam condizentes com as limitações pedológicas, a fim de que o resultado não seja o desperdício econômico e degradação ambiental devido o aparecimento de áreas salinizadas (AMARAL, 2011). Dessa forma, a classificação das terras para a irrigação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba pode subsidiar a tomada de decisão e políticas públicas de uso

e ocupação do espaço geográfico, uma vez que se tem conhecimento das áreas onde a irrigação pode ocorrer de modo restrito devido as características ambientais.

Figura 24 - Localização espacial e fotografias de perfis amostrais de solo. 24A – Luvissole Crômico; 24B – Planossolo Nátrico; 24C – Neossolo Flúvico



5.3.2 Potencial Geral de Terras Para Irrigação das Unidades de Mapeamento de Solo

A partir da classificação da aptidão das terras para a irrigação (resultado se encontra no anexo C) das unidades de mapeamento de solo dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, pôde-se obter três classes de potencial geral para a irrigação, isto é, o potencial médio, o baixo e o muito baixo (Tabela 31).

Tabela 31 - Extensão territorial das classes do potencial geral de terras para irrigação dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Unidade de mapeamento (SIGLA)	Potencial das terras para a irrigação	Área (Km²)	Área (%)
A10, A11, A12, NC12, PA46, PA47, PAP4, PS3, PV64, RE25	Médio	811,78	20,71%
NC14, NC15, NC17	Baixo	969,48	24,74%
A13, PS11, PS6, PS7, PS8, R52, R55, R60, R73, R74	Muito Baixo	2138,19	54,55%

Fonte: Dados da pesquisa.

Unidades de Mapeamento: A (10,11,12 e 13) - Neossolos Flúvicos, NC (12, 14, 15 e 17) – Luvisolos Crômicos, PA (46 e 47) e PAP4 – Argissolos Amarelos, PS (3, 6, 7, 8 e 11) – Planossolos Nátricos, PV64 – Argissolos Vermelhos, R (52, 55, 60, 73 e 74) – Neossolos Litólicos, RE25 – Neossolos Regolíticos.

As terras com potencial médio para a irrigação ocupam cerca de 20,71% da área de estudo. O potencial médio das terras para a irrigação em uma unidade de mapeamento está relacionado a proporção de seus componentes, onde as classes 1, 2 e 3 de aptidão para a irrigação se encontram em uma proporção $\geq 40\%$, nesse contexto as classes 1 e 2 ainda devem somar juntas menos que 50% da área da UM. No potencial médio podem aparecer terras classificadas entre as classes 4 e 6, mas sua proporção deve ser inferior a 60% da unidade de mapeamento (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2021).

As unidades de mapeamento em que predominam os Luvisolos Crômicos (NC14, NC15 e NC17) foram classificadas com o potencial baixo, pois os Luvisolos Crômicos, de modo geral, foram solos classificadas dentro da classe 4 no SiBCTI, onde sua limitação está relacionada, sobretudo, a profundidade da camada semipermeável (Rocha em alteração), e condutividade elétrica. Dentro do contexto das UM's onde predominam os Luvisolos Crômicos, a NC12 foi classificada com potencial médio para irrigação, pois eles estão associados a Argissolos Amarelos e Vermelho-Amarelo (40% da UM) que foram classificados

dentro da classe 3 no SiBCTI em função de sua textura, saturação por alumínio e capacidade de água disponível. As unidades de mapeamento de solo onde predominam os Argissolos Amarelos (PA46, PA47, PAP4), e os Argissolos Vermelhos PV64, foram classificadas com o potencial médio para irrigação. Nessas UMs as principais limitações estão associadas a saturação por alumínio, textura e profundidade.

Os Planossolos Nátricos foram classificados na classe 6 em função da saturação por sódio, condições de drenagem e profundidade. Na unidade de mapeamento PS23 ocupam cerca de 50% da área, contudo essa UM foi classificada com o potencial médio, pois os Argissolos Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Regolíticos que estão associados aos Planossolos e nessa unidade de mapeamento foram classificados na classe 3, e ocupam juntos cerca de 50% da unidade de mapeamento. Na UM RE25 predomina os Neossolos Regolíticos, que foram classificados na classe 3 pelo SiBCTI. Eles ocupam cerca de 50% da unidade de mapeamento e possuem sua limitação mais forte relacionada a sua profundidade e textura. Sendo assim, essa UM foi classificada com o potencial médio para a irrigação. As UMs A10, A11 e A12 onde predominam os Neossolos Flúvicos (Figura 24 C) foram classificadas com o potencial para irrigação médio, pois o principal fator limitante a esses solos nessa UM foi a textura. Araújo Filho *et al.* (2021) classificaram com o potencial médio para irrigação unidades de mapeamento que possuíram restrições ambientais relacionadas a textura, pedregosidade e profundidade do perfil do solo.

As terras com potencial muito baixo para a irrigação ocupam cerca de 54,55% da área de estudo. A proporção dos componentes de solo em uma UM classificada com o potencial para irrigação muito baixo deve ter a predominância das classes 5 e 6 de aptidão para irrigação, onde elas ocupam mais de 50% da UM, enquanto as classes 1, 2, 3 e 4 devem ocupar menos de 50% da unidade de mapeamento (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2021). As unidades de mapeamento R52, R55, R60, R73 e R74, onde predominam os Neossolos Litólicos, foram classificadas com potencial muito baixo para irrigação em função de predominarem solos com pequena profundidade e com pouca capacidade de água disponível.

A unidade de mapeamento A13, onde predominam os Neossolos Flúvicos, foi classificada com o potencial muito baixo em função de solos com alta condutividade elétrica classificados como salinos. Nessas unidades de mapeamento já ocorre a salinização, e com o uso de técnicas de irrigação os solos podem se tornar sódicos, pois de acordo com Medeiros *et al.* (2016), as águas superficiais do semiárido nordestino apresentam baixa condutividade elétrica (CE), contudo possuem valores de cálcio abaixo dos de bicarbonato/carbonatos, que sofrem evaporação quando utilizados na irrigação, onde o cálcio pode se precipitar e aumentar

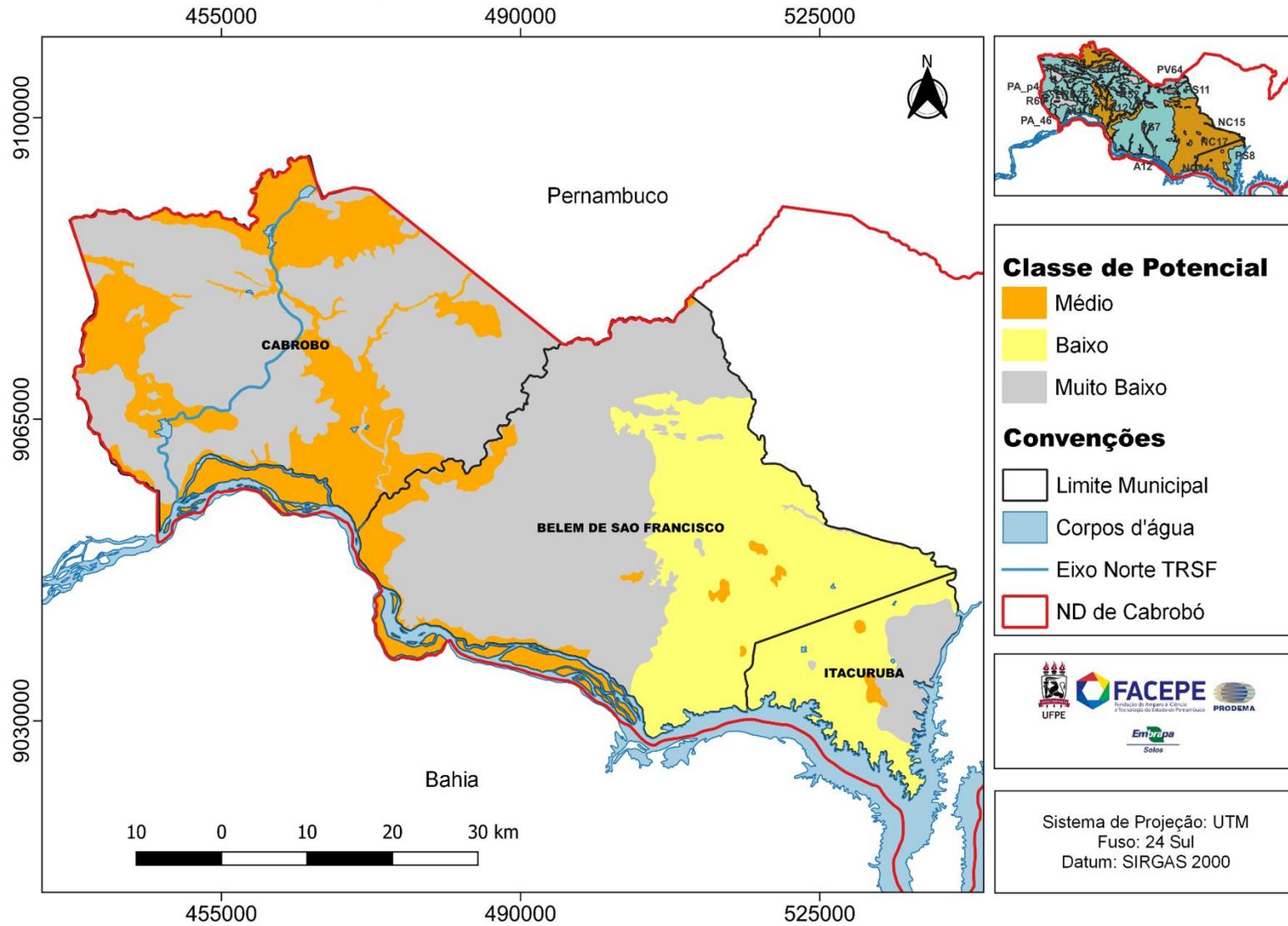
a concentração de Na^+ em relação a de Ca na solução do solo, aumentando dessa forma a porcentagem de sódio trocável no solo (PST).

As unidades de mapeamento PS6, PS7, PS8 e PS11, onde predominam os Planossolos Nátricos foram classificadas com o potencial muito baixo em função de sua saturação por sódio e da pequena espessura da camada permeável dos Planossolos. A saturação por sódio afeta a estrutura do solo a tornando mais rígida, e induz toxicidade às plantas por causa do excesso de Na^+ e OH^+ , reduzindo a fertilidade natural do solo (FERREIRA; SILVA; RUIZ, 2016). A prática agrícola em solos com alta saturação por sódio é um desafio em função de suas características físicas e químicas. No que tange a parte física, são solos adensados e pegajosos quando úmidos, e duros a extremamente duros quando secos. Dessa forma, o solo possui condição de aeração reduzida, o que impacta no crescimento radicular e metabolismo vegetal (SANTOS *et al.*, 2016).

A área de estudo foi classificada de acordo com as suas características ambientais para o potencial uso da técnica da irrigação na agricultura. Dessa forma, pôde-se identificar três classes de potencial à irrigação: médio, baixo e muito baixo. Os ambientes com o potencial médio para a irrigação normalmente podem apresentar solos inclusos das classes 1, 2 ou 3, e também, em menor proporção, dentro das classes 4, 5 ou 6. As unidades de mapeamento com potencial médio (A10, A11, A12, NC12, PA46, PA47, PAP4, PS3, PV64, RE25) possuem solos que podem ser irrigados, mas com limitações que podem dificultar ou inviabilizar a prática da irrigação, enquanto os ambientes com potencial muito baixo são menos recomendados para o uso da técnica de irrigação, pois são ambientes onde há o predomínio de terras consideradas não irrigáveis (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2021).

Portanto, pode-se compreender que o uso da irrigação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba deve ser realizado com cautela, sobretudo para que não ocorra a salinização, haja vista que os solos dessa região, predominantemente, são rasos ou pouco profundos e possuem, de modo geral, alta suscetibilidade a salinização. Sendo assim, os dados de potencial para a irrigação foram espacializados na figura 25.

Figura 25 - Espacialização do potencial geral de terras para irrigação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

5.3.3 Irrigação e Agricultura Familiar no Semiárido, Uma Possibilidade

A metodologia de classificação das terras para irrigação contempla a possibilidade de empreendimentos de irrigação com relativo emprego de capital, e nesse contexto a realidade socioeconômica da maioria dos agricultores dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba não se enquadram, uma vez que nessa região predomina a agricultura familiar (IBGE 2019).

De acordo com dados do Censo Agropecuário de 2017 nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba há um relativo predomínio da agricultura familiar, com relação aos seus empreendimentos agrícolas registrados (IBGE, 2019). No município de Belém do São Francisco 84,25% são de matriz familiar, em Cabrobó esses números se manifestam na ordem de 81,99%, e em Itacuruba 93,93% dos empreendimentos agrícolas são de agricultura familiar (IBGE, 2019).

A literatura aponta que a salinização na área de estudo está associada a fatores pedogenéticos, sobretudo com relação aos solos rasos e com alta saturação natural por sais, da qualidade da água, muitas vezes salinas, e do manejo da irrigação, com técnicas inadequadas para a natureza dos solos e da água empregada (SOARES *et al.*, 2016; LOPES; SOARES, 2016; SILVA; SILVA, 2015; SILVA; MACIEL; ARAÚJO, 2005).

As águas do rio São Francisco possuem qualidade superior as demais no semiárido, e não apresentando problemas com salinidade em seu conteúdo (AMARAL, 2011). As águas do PISF também podem ser inseridas nesse contexto, e pesquisas já apontam a qualidade dessa água para o consumo humano. Silveira *et al.* (2022) analisaram a qualidade da água do reservatório Nilo Coelho em Terra Nova, abastecido por águas do PISF, utilizando os parâmetros do IQA e concluíram que a água do reservatório está apropriada para o consumo humano.

Dessa forma, o aproveitamento das águas da Transposição do rio São Francisco pode ser realizado pelos agricultores para suas práticas agrícolas que ocorre em menor escala, sobretudo, no que tange a extensão territorial e em volume de água. Nesse sentido, a liberação da água do PISF já produz impactos no desenvolvimento da agricultura irrigada nas margens do Riacho Terra Nova, uma vez que a partir de sua perenização as áreas irrigadas passaram de 68,8 para 194,5 hectares, ocupados pela agricultura familiar (IDE; ANDRADE, 2017).

Em Belém do São Francisco, no Perímetro Irrigado de Manga de Baixo ocorre a agricultura irrigada familiar desde 1987. Em um estudo realizado em Manga de Baixo, Sousa *et al.* (2021) encontraram mudanças na pedogênese em um perfil irrigado há mais de 26 anos com as águas do Rio São Francisco, comparando com um perfil sem irrigação, em que, o uso

da terra o afetou química e fisicamente, no qual, foi observada a diminuição no conteúdo de sódio trocável (solodização) no perfil irrigado e o aumento de sais solúveis e de teor de sódio trocável no não irrigado, indicando que quando há o uso racional da técnica da irrigação, o solo pode ter ganhos em questão de qualidade.

Nesse sentido, quando realizada de forma correta, a irrigação pode gerar ganhos socioeconômicos positivos as populações dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, uma vez que para o pequeno agricultor um pouco de água já faz a diferença em sua produção. Dessa forma, o PISF pode gerar segurança hídrica e mitigar impactos negativos das mudanças climáticas. Portanto, recomenda-se o acompanhamento técnico dos agricultores para melhor aproveitamento dos recursos hídricos e do potencial agrícola dos solos da área de estudo.

5.4 CONCLUSÕES

Foi analisado o potencial das terras para irrigação dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba. Os solos da região apresentaram limitação no que tange a profundidade, textura, condutividade elétrica e saturação por sódio. Cerca de 50% dos perfis analisados apresentaram limitações que os classificaram dentro da classe 6; os solos com melhor potencial para a irrigação na área de estudo foram classificados dentro da classe 3, representando 28,79% dos perfis analisados.

A região de estudo foi enquadrada em três classes de potencial para o uso da técnica de irrigação conforme suas limitações: médio, baixo e muito baixo. Em termos de área, cerca de 20,71% (811,78 km²) de seu território apresentando potencial médio para o uso da técnica de irrigação, 24,74% (969,48 km²) apresenta potencial baixo e 54,55% (2138,19 km²) possui potencial muito baixo. Isso indica que a irrigação deve ser utilizada com o máximo de cuidado possível para que não se produzam impactos ambientais negativos nessa região, como a salinização do solo.

O semiárido é uma região com vegetação natural adaptada as condições do meio físico local, e sua substituição por algumas espécies não adaptadas a essas condições pode impactar negativamente, sobretudo com a exposição do solo a erosão. Dessa forma, é indicado que o uso da irrigação nas áreas de potencial médio seja realizado utilizando técnicas de drenagem e culturas com baixa demanda hídrica, a fim de evitar a superirrigação e salinização do solo.

A agricultura familiar, realizada de forma majoritária na área de estudo, pode ser impactada positivamente com o PISF, pois se não há viabilidade para regime de sequeiro, a irrigação pode ter uma relativa rentabilidade nas áreas de potencial médio com uma água de boa qualidade para irrigação. Portanto, recomenda-se que os órgãos competentes deem suporte técnico aos agricultores, para melhor aproveitamento dos recursos hídricos e do solo, a fim de evitar a salinização em função do manejo.

6 ARTIGO 3: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO USO DA TERRA DOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE

6.1 INTRODUÇÃO

As formas de uso, ocupação e apropriação dos recursos naturais ao longo da história têm produzido diversos impactos ambientais, e sociais, negativos. A impermeabilização do solo, a erosão, a poluição dos recursos hídricos, o desmatamento, a perda de biodiversidade, etc. são exemplos de impacto decorrente do manejo inadequado dos recursos do solo (ASSIS *et al.*, 2014).

Diversos fatores relacionados ao uso da terra podem estar conectados à degradação do solo, sobretudo em regiões com condições ambientais agravadas pelo clima semiárido. Nesse sentido, Coelho *et al.* (2014) afirmam que uma das causas da degradação ambiental no semiárido nordestino é a substituição da caatinga por atividades ligadas a prática da agricultura e da pecuária.

Conhecer a distribuição espacial das atividades de uso e ocupação da terra é fundamental para que o planejamento do ordenamento territorial seja eficiente e coerente com as limitações e potencialidades do meio físico natural. Nesse sentido, o monitoramento do uso e cobertura da terra, por meio de séries temporais é de vital importância para levantar informações acerca da evolução da paisagem e fomentar políticas de desenvolvimento sustentável (COELHO *et al.*, 2013; HAN; YANG; SONG, 2015; OLIVEIRA JÚNIOR; PEREIRA; SILVA, 2022).

O mapeamento do uso e ocupação do solo em séries históricas pode permitir que se analise os estados ambientais das paisagens, e identifique as principais formas de apropriação da natureza (OLIVEIRA JÚNIOR; PEREIRA; SILVA, 2022). Esses mapeamentos encontram nas geotecnologias um aliado para diagnósticos rápidos e confiáveis. Dentre as ferramentas geotecnológicas que são uteis para zoneamentos de uso e cobertura das terras destaca-se o Sensoriamento Remoto (SR) (PAULA; CABRAL; MARTINS, 2012).

Pode-se definir o SR como a técnica de obtenção de informações de um objeto ou alvo, sem o contato físico com o mesmo, onde, as informações são coletadas através da radiação eletromagnética gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por artificiais como o Radar (MENESES; ALMEIDA, 2012; ROSA, 2013; WEISS; JACOB; DUVEILLER, 2020). A aquisição de dados por meio do SR envolve um instrumento ou sensor, geralmente um satélite ou uma aeronave, que capta a radiação eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo. Os

objetos refletem ou absorvem a energia eletromagnética em comprimentos de ondas distintos, a depender das propriedades físico-química dos alvos (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A aquisição de dados pelo SR passa pelo sensor que deve possuir características próprias, de acordo com os objetivos propostos. Dentre as características de um sensor, pode-se destacar as quatro resoluções: Espacial, Temporal, Espectral e Radiométrica. A resolução espacial pode ser definida como a mínima distância entre dois objetos (alvos) que um sensor pode registrar como sendo objetos distintos; A resolução temporal está relacionada com o intervalo de tempo que um sensor capta informações de um mesmo local; A resolução espectral diz respeito a capacidade que um sensor possui para captar os intervalos de onda do espectro eletromagnético; A resolução radiométrica se refere a capacidade de um sensor em detectar e registrar as diferenças de reflectância dos objetos na paisagem (MENESES; ALMEIDA, 2012; ROSA, 2013).

Uma vantagem dos dados do sensoriamento remoto é a disponibilidade de uma variedade de escalas espaciais e temporais, onde séries de satélite como os da LANDSAT fornecem imagens desde a década de 1970 com atualizações constantes (LECHNER; FOODY; BOYD, 2020). A série LANDSAT é composta por oito satélites de observação da Terra que coletam imagens do planeta Terra como parte do Programa Nacional de Imagens Terrestres e do Serviço Geológico do Estados Unidos da América (USGS), tendo sido lançado o primeiro satélite da série em 1972 e o mais recente, Landsat 9, lançado em 2021. Os satélites Landsat 8 e 9 capturam uma imagem completa da Terra em 8 dias e têm os seus dados processados e hospedados no Centro de Observação e Ciência de Recursos Terrestres do USGS em Sioux Falls, Dakota do Sul (USGS, 2023).

O SR tem aplicação em diversas áreas da sociedade, uma vez que permite obter dados que identificam, localizam e caracterizam diversos fenômenos na superfície da Terra. Dessa forma, essa técnica tem aplicação nas ciências florestais, na ecologia, no monitoramento de uso e cobertura da terra, em estudos de fragmentação de biomas, em pesquisas de fatores químicos e físicos na água, solo e florestas, entre outros (LECHNER; FOODY; BOYD, 2020). O SR é uma ferramenta de alto potencial para o monitoramento e gestão dos recursos terrestres, pois possibilita a obtenção de dados, em pequena e grande escala espacial, com baixo custo e séries temporais (LU *et al.*, 2019).

A aplicação do SR em estudos ambientais pode ser realizada por meio de sua grande variedade de índices de vegetação, que têm sido desenvolvidos para o monitoramento da vegetação. A maior parte dos índices de vegetação envolve a combinação dos comprimentos de onda do Vermelho (0,6 - 0,7 μm) e infravermelho próximo (0,7 - 1,1 μm), para calcular a

resposta espectral da vegetação. Os índices de vegetação mais usados nas pesquisas são: *Atmospheric Resistant Vegetation Index* (ARVI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Ratio Vegetations Index* (RVI) e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) (ROSA, 2013).

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra, o SR e o geoprocessamento apresentam técnicas de classificação de imagens de satélite. Essa técnica se refere aos procedimentos de interpretação de imagens a partir de suas características, como textura e contexto, onde um grupo de pixels semelhantes são classificados dentro de uma categoria (MENESES; ALMEIDA, 2012; ROSA, 2013). A classificação de imagens pode ser realizada por meio de método semiautomático, por meio de classificação supervisionada em ambiente SIG nas plataformas livre Qgis ou no SPRING que atende eficientemente os objetivos da classificação de imagens (INÁCIO; BARBOZA; BRUNO, 2020).

No Brasil, o SR tomou impulso a partir dos anos 60 com o Projeto RADAMBRASIL, que teve como objetivo fazer um levantamento integrado dos recursos naturais do país. A extensão continental do território brasileiro foi fundamental para o país desenvolver um programa de Sensoriamento Remoto por Satélite, onde atualmente diversas instituições utilizam dessa tecnologia para obter informações de caráter geográfico e ambiental sobre o território brasileiro (ROSA, 2013).

A aplicação do SR no Brasil atualmente inclui diversos campos dentro da ciência. Pode-se citar estudos acerca da temperatura da superfície terrestre, como o de Hendges, Follador e Andres (2020) que avaliaram a relação entre os padrões de uso da terra e os valores de temperatura da superfície registrados pelo satélite Landsat 8 na zona rural de Francisco Beltrão-PR. Outra aplicação ao SR no Brasil se encontra no monitoramento de queimadas, podendo-se citar Silva *et al.* (2020), que monitoraram queimadas em Tocantins utilizando imagens do satélite Landsat 8. A nível nacional se pode citar a rede MapBiomias que é formada por ONGs, universidades e *startups* de tecnologia e produz mapas anuais de uso e cobertura do solo, além de monitorar a superfície de água e cicatrizes de fogo em escala mensal com dados desde 1985, funcionando desde janeiro de 2019 (MAPBIOMAS, 2023).

Nos últimos anos há um novo direcionamento nas investigações por meio de mapeamentos de uso e cobertura da terra, aonde a modelagem está voltada para a previsão de cenários futuros do uso e ocupação das terras (SILVA; BACANI, 2018). De acordo com Han, Yang e Song (2015), a partir da análise de modelos e simulação de padrões espaciais de uso da terra, pode-se prever a demanda futura de uso do solo. É importante ressaltar que a mudança no uso e cobertura da terra partem de um processo dinâmico que é construído por inúmeros fatores

e agentes, não sendo uma ação simples de ser descrita ou prevista, pois fatores políticos, econômicos, culturais, ambientais, humanos podem influenciar e tornar o uso da terra num sistema geográfico complexo (RICOBOM; CANEPARO, 2017).

A projeção de cenários futuros de uma paisagem pode ser realizada a partir de três métodos de análise, sendo eles: Cadeias de Markov, Avaliação Multicriterial e Autômato Celular (SILVA; BACANI, 2018; ABBAS *et al.*, 2021; MUHAMMAD *et al.*, 2022; KAMARAJ; RANGARAJAN, 2022). Entre as ferramentas que possibilitam a modelagem preditiva, pode-se destacar o “Molusce”, um plugin presente no Qgis que pode estimar o potencial de alterações no uso e cobertura da terra a partir do modelo de autômato celular, incluindo uma matriz de probabilidade de transição, esse instrumento utiliza algoritmos de: Redes Neurais Artificiais (RNA), Regressão Logística e Análise Multicritério (KAMARAJ; RANGARAJAN, 2022).

A simulação de cenário futuros de uso da terra envolve o uso do sensoriamento remoto para o mapeamento do histórico de uso e cobertura da terra de uma região, e de variáveis, como relevo, vias de acesso, corpos hídricos, que possibilitam ao software de geoprocessamento a geração de uma matriz de potencial de transição de uma classe de uso da terra para outra, e o desenvolvimento de produtos em forma de mapas de possibilidades de futuros usos da terra para uma região (BACANI *et al.*, 2016; SILVA; BACANI, 2018; DUARTE; SILVA; COSTA, 2022; MUHAMMAD *et al.*, 2022).

Estudos de análise das mudanças no uso e cobertura da terra e modelagem preditiva têm sido realizados no Brasil e no mundo. Nesse sentido, Silva e Bacani (2018) realizaram uma análise das mudanças ocorridas no uso da terra e na cobertura vegetal do Pantanal de Aquidauana, no Mato Grosso do Sul, entre os anos 1984, 1993, 2000 e 2015, onde utilizaram a cadeia de Markov para simular um cenário futuro para 2050. Outro estudo produzido no Brasil utilizou o software livre Qgis para modelar cenários futuros de uso da terra na parte superior da bacia hidrográfica do rio Juma, localizada no município de Apuí, ao sul do Estado do Amazonas (DUARTE; SILVA; COSTA, 2022). Lu *et al.* (2019), analisaram as mudanças no uso e cobertura da terra no município de Hefei, China, entre os anos de 1987 e 2017, e utilizando modelos automatizados com a cadeia de Markov para simular cenários de uso da terra para o ano de 2032.

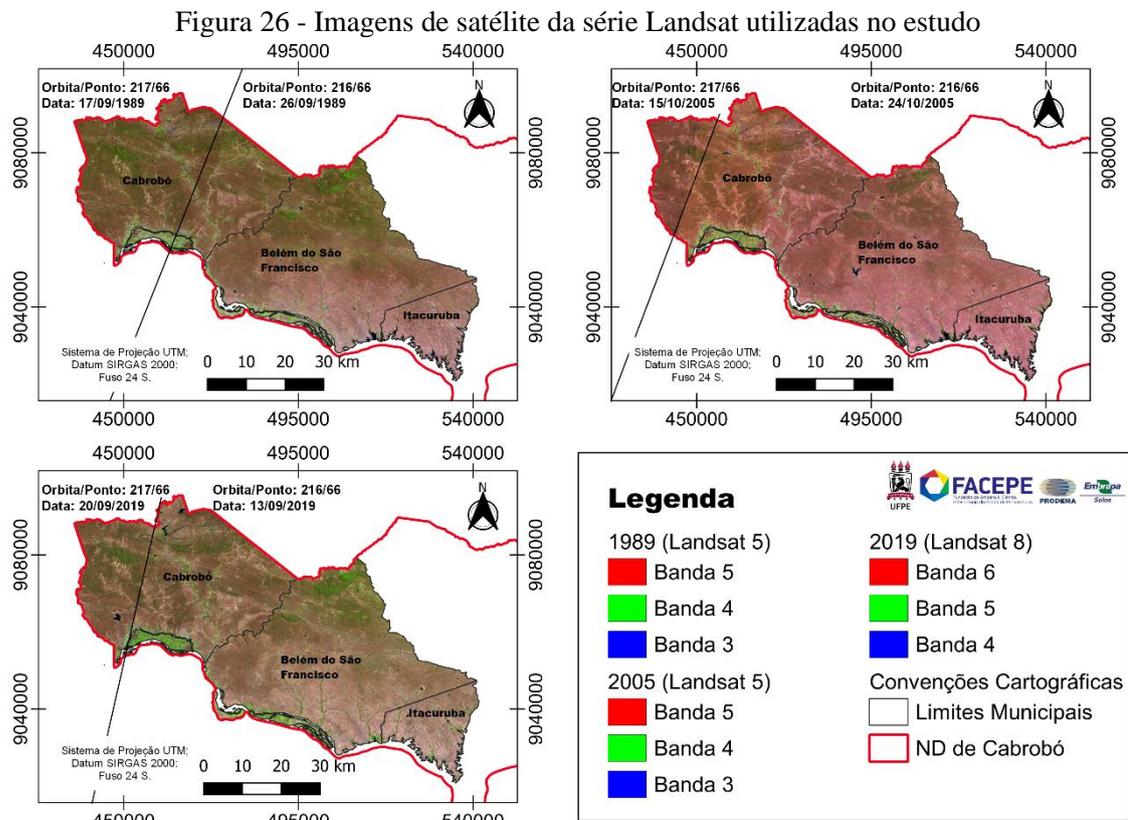
Os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba se encontram localizados dentro do NDC, em que suas condições ambientais, delicadas, podem ser agravadas, sobretudo, em função do uso incorreto dos recursos do solo (BRASIL, 2007). Dessa forma, é importante o conhecimento do histórico de ocupação do uso da terra e projeções de cenários futuros, para

que as políticas públicas de combate à desertificação possam se antecipar ante as tendências de uso do solo.

Portanto, o presente estudo tem como objetivo descrever o processo de uso e ocupação da terra dentro dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, e identificar as mudanças que poderão ocorrer em cenários futuros.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização da análise espaço-temporal do uso das terras dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE foi utilizada a metodologia adotada por Silva *et al.* (2016), e Duarte, Silva e Costa (2022), com as adaptações que se fizeram necessárias. Foram selecionadas imagens de satélites para o intervalo de 30 anos, referentes aos anos de 1989, 2005 e 2019. A área dos municípios é coberta por duas orbitas/ponto da série Landsat (Figura 26) e foi necessária a aquisição de duas imagens para cada período analisado.



Fonte: Elaboração do autor.

As imagens foram obtidas junto ao Serviço Geológico do Estados Unidos da América (2022), e o critério de seleção de imagens buscou levar em consideração as condições da vegetação local que apresenta queda das folhas no período seco (RODAL; COSTA; SILVA, 2008). Dessa forma, o período ideal para a aquisição das imagens de satélite é o final do período chuvoso que é quando a vegetação nativa possui melhores condições de serem capturadas pelos sensores. Contudo, a área de estudo está inserida nas cenas 216/66 e 217/66 da série LANDSAT sendo uma área de alta evapotranspiração, e conseqüentemente limitação na aquisição das imagens de satélite, pois de uma cena para a outra pode haver uma maior concentração de nuvens, o que poderia impossibilitar o reconhecimento das classes de uso do solo e da vegetação. As imagens selecionadas se encontram na tabela 32.

Tabela 32 - Característica das imagens de satélite adquiridas para o estudo

Satélite/Sensor	Orbita ponto	Data	Bandas
Landsat 5 / TM	217/66	17/09/1989	1, 2, 3, 4, 5 e 7
Landsat 5 / TM	216/66	26/09/1989	1, 2, 3, 4, 5 e 7
Landsat 5 / TM	217/66	15/10/2005	1, 2, 3, 4, 5 e 7
Landsat 5 / TM	216/66	24/10/2005	1, 2, 3, 4, 5 e 7
Landsat 8 / Oli Tirs	216/66	13/09/2019	1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7
Landsat 8 / Oli Tirs	217/66	20/09/2019	1, 2, 3, 4, 5, 6, e 7

Fonte: Dados da pesquisa.

O processamento das imagens de satélite foi realizado nos softwares Qgis 3.22.4 e 2.18. Onde, respectivamente, foram realizados os procedimentos de radiância espectral, refletância, mosaico, EVI (Enhanced Vegetation Index), classificação supervisionada, acurácia do mapeamento e modelagem preditiva.

A calibração radiométrica (CR) ou o cálculo da radiância espectral foi realizado no Qgis 3.22.4 por meio da ferramenta “calculadora raster”, onde foi empregada a equação proposta por Markhan e Baker (1987) (equação 6). Nesse sentido, a CR pode ser definida como a conversão do nível de cinza de cada pixel e banda em radiância monocromática, que representa a energia solar refletida por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (OLIVEIRA, 2012).

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

(6)

Onde: a= radiância espectral mínima; b= radiância espectral máxima; ND= intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255); i= bandas 1,2... e 7 dos satélites LANDSAT 5 e 7.

O cálculo da refletância foi realizado por meio da calculadora raster do software Qgis 3.22.4 por meio da equação de Allen *et al.* (2002) (equação 7). Esse procedimento é definido como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente (OLIVEIRA, 2012).

$$p_{\lambda i} = \frac{\pi * L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} * \cos Z * d_r}$$

(7)

Onde: $L_{\lambda i}$ = Radiância espectral de cada banda; $K_{\lambda i}$ = irradiância solar espectral de cada banda; Z= ângulo zenital solar; d_r = quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (r_0) e a distância Terra-Sol (r) em dado dia do ano (DAS) (OLIVEIRA, 2012).

Para determinar as mudanças de cobertura da vegetação nos anos de 1989, 2005 e 2019 foi utilizado o índice de realce da vegetação conhecido como EVI (“Enhanced Vegetation Index”). Foi realizada a opção pelo EVI pois se trata de um índice que possui fator de ajuste que minimiza os efeitos da atmosfera e do solo, e assim obtém boa resposta na diferenciação da vegetação no semiárido (OLIVEIRA; CHAVES; LIMA, 2009; CORREIA FILHO *et al.*, 2018). O EVI, foi calculado por meio da ferramenta da “calculadora raster” do Qgis 3.22.4, onde foi empregada a equação 8 (HUETE *et al.*, 2002).

$$EVI = G \left(\frac{NIR - RED}{NIR + C1 RED - CE A L} \right)$$

(8)

Onde: NIR= Infravermelho próximo; RED= Banda vermelha do visível; A= Banda Azul do visível; L=1; C1=6; C2=7,5 e o fator de ganho G=2,5 (HUETE *et al.*, 2002).

Para o mapeamento do uso das terras dos anos 1989, 2005 e 2019 foi realizada a classificação supervisionada das imagens de satélite por meio do método da Máxima Verossimilhança (MaxVer), no software Qgis 3.22.4, das bandas 5-4-3 e Landsat 5 e 6-5-4 Landsat 8, por meio da ferramenta “*Semi-Automatic Classification Plugin*”. Esse método de classificação trabalha com a análise das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes utilizando critérios estatísticos. Onde, parte da compreensão de que todas as bandas possuem distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica (MENESES; ALMEIDA, 2012). A classificação supervisionada contou com o auxílio dos dados de uso e cobertura da terra do Mapbiomas (2023), e das imagens do Google Earth (2023), para o treinamento das classes temáticas.

A validação estatística para a classificação supervisionada foi realizada a partir do índice *Kappa*, que pode ser obtido a partir de uma matriz de confusão. Esse índice varia de 0 (concordância nula) a 1 (concordância perfeita) (MENESES; ALMEIDA, 2012). O cálculo do índice *Kappa* foi realizado em dois passos, em que, no primeiro foi construída uma nuvem de pontos aleatórios sob os mapas de uso da terra a partir da ferramenta “Accuracy Assessment os Thematic Maps” (AcATaMa) no software Qgis 3.22.4. Depois os pontos foram classificados de acordo com as classes de uso da terra obtidas com o auxílio do Mapbiomas (2023), e das imagens do Google Earth Pro (2023), e em seguida foi obtida a acurácia global dos mapeamentos, no AcATaMa, conjugada com os dados referentes ao erro da matriz de confusão. O segundo passo foi o cálculo do índice *Kappa* em uma planilha a partir da fórmula obtida na equação 9 (FIGUEIREDO; VIEIRA, 2007). Na tabela 33 se encontra a qualificação do mapeamento do uso da terra a partir da interpretação do índice *Kappa* em razão do grau de concordância.

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c X_{ii} - \sum_{i=1}^c x_i + x_i}{n^2 - \sum_{i=1}^c x_i + x_i} \quad (9)$$

Onde:

K = Estimativa do coeficiente Kappa;

x_{ii} = Valor da linha i e coluna i ;

x_{i+} = Soma da linha i da matriz de confusão;

x_{+i} = Soma da coluna i da matriz de confusão;

n = Número total de amostras;

c = Número total de classes;

Tabela 33 - Qualificação do mapeamento de acordo com o índice Kappa

Índice Kappa	Concordância
0,00	Péssima
0,01 a 0,20	Ruim
0,21 a 0,40	Razoável
0,41 a 0,60	Bom
0,61 a 0,80	Muito Bom
0,81 a 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

A simulação de mudanças nos padrões de uso e ocupação das terras foi realizada no software livre Qgis 2.18, a partir da extensão “Molusce” (*Modules for Land Use Change Evaluation*), que é uma ferramenta com a capacidade de calcular a probabilidade de transição entre as classes de uso e ocupação do solo, e construir modelos de previsão utilizando Redes Neurais Artificiais (RNA), Regressão Logística e Análise Multicritério para descrição das transições de uso e ocupação da terra (DUARTE; SILVA; COSTA, 2022).

A simulação de cenários de uso da terra no Molusce demanda de algumas variáveis, bem como do padrão de alterações do uso da terra, obtido através da classificação supervisionada dos anos de 1989, 2005 e 2019, com imagens Landsat. As variáveis utilizadas foram a hipsometria, declividade, distância para as estradas, distância para os reservatórios de água, distância para os canais de drenagem, e distância para o eixo Norte do PISF.

A hipsometria, declividade e a distância para os canais de drenagem foram obtidas a partir de um Modelo Digital de Elevação (MDE), obtido junto ao programa topodata (VALERIANO, 2008). Onde, foi classificado de acordo com a altitude, no programa Qgis, para obter a hipsometria. A declividade foi obtida a partir da ferramenta “Declividade” no Qgis3.22.4. Enquanto o padrão de drenagem foi obtido a partir do plugin “r.watershed” do “Qgis 3.22.4” que delimita os canais de drenagem em formato vetorial. Após a obtenção do padrão de drenagem, o vetor foi transformado em raster no plugin “Rasterizar”, e depois o raster da drenagem foi tratado no plugin “Proximidade (distância raster)” para a obtenção das distâncias dos canais de drenagem na área de estudo.

Para a obtenção da distância das estradas foram obtidas as shapes das rodovias federais e estaduais junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) (DNIT, 2022). Os dados foram convertidos para o formato raster por meio do plugin “Rasterizar”, e por

fim, as distâncias para as estradas da área de estudo foram obtidas por meio do plugin “Proximidade (distancia raster)”.

A distância para os reservatórios de água, foi obtida por meio da vetorização dos corpos hídricos continentais da classificação supervisionada do ano de 2019, após a vetorização e recorte, os reservatórios foram convertidos para o formato raster por meio do “Rasterizar, e depois foram obtidas as distâncias para os corpos de água da área de estudo por meio do plugin “Proximidade (distância raster)”. A distância para o Eixo Norte da Transposição do Rio São Francisco foi obtida a partir da vetorização do canal na imagem Landsat de 2019, que depois foi convertido para o formato raster por meio da ferramenta “conversor”, e por fim, a distância foi obtida a partir do uso do plugin “Proximidade (distância raster)”.

Os dados foram inseridos dentro do plugin “Molusce” do software “Qgis 2.18”, onde foi realizada a calibração do modelo, a partir da comparação do mapa de 2019 com uma simulação gerada pelo “molusce”, que foi realizada considerando os mapas de 1989 e 2005 junto as variáveis da hipsometria, distância para as estradas, distância para os reservatórios de água, distância para os canais de drenagem, e distância para o eixo Norte do PISF. A validação do modelo foi realizada a partir do índice Kappa (Tabela 33), que avalia a precisão temática utilizando os elementos da matriz de confusão no seu cálculo, sendo gerado pelo próprio plugin, da simulação comparado com o mapa de uso da terra de 2019.

Por fim, a partir da entrada dos mapas de uso da terra de 1989 e de 2019 em conjunto com as variáveis de hipsometria, distância para as estradas, distância para os reservatórios de água, distância para os canais de drenagem, e distância para o eixo Norte do PISF, pôde-se gerar a simulação do uso da terra para o ano de 2049 dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Evolução espaço-temporal da cobertura vegetal

A partir do uso da técnica do EVI se pôde observar as mudanças de densidade da cobertura vegetal dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba no período entre 1989 à 2019. Nesse sentido, os resultados são apresentados na tabela 34 e foram espacializados na figura 27.

Tabela 34 - Distribuição da densidade da vegetação de acordo com o índice de realce da vegetação EVI dos anos de 1989, 2005 e 2019, nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba – PE.

Densidade da cobertura vegetal	1989 (%)	2005 (%)	2019 (%)
Rala a esparsa	19,64%	54,95%	50,86%
Esparsa a densa	49,27%	32,81%	31,31%
Densa	30,34%	11,53%	17,17%

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota-se que nas imagens analisadas pertencentes aos anos 2005 e 2019 há um aumento de 5,64% dentro da classe de densidade da cobertura vegetal densa. Esse número pode ser explicado por causa da variação do regime de chuvas na área de estudo, onde, sabe-se que a vegetação possui características hiperxerófila, e perde a folhagem dentro do período mais seco. Isso pode ser justificado com dados da ANA (2021), INMET (2021) e APAC (2021) (Tabela 35), onde no período que antecedeu a captura das imagens pelo sensor Landsat houve diferença nos índices de precipitação, que podem ser encontrados nos postos localizados na área de estudo. Dessa forma, os meses de julho, agosto e setembro de 2019 tiveram mais precipitação que os meses de agosto, setembro e outubro de 2005, essa diferença pode influenciar, sobretudo na densidade da vegetação. Dessa forma, Fonseca, Nascimento e Medeiros (2022) também apontam o ano de 2005 como um ano com eventos de seca no semiárido nordestino, em razão da presença de El niño com fraca intensidade.

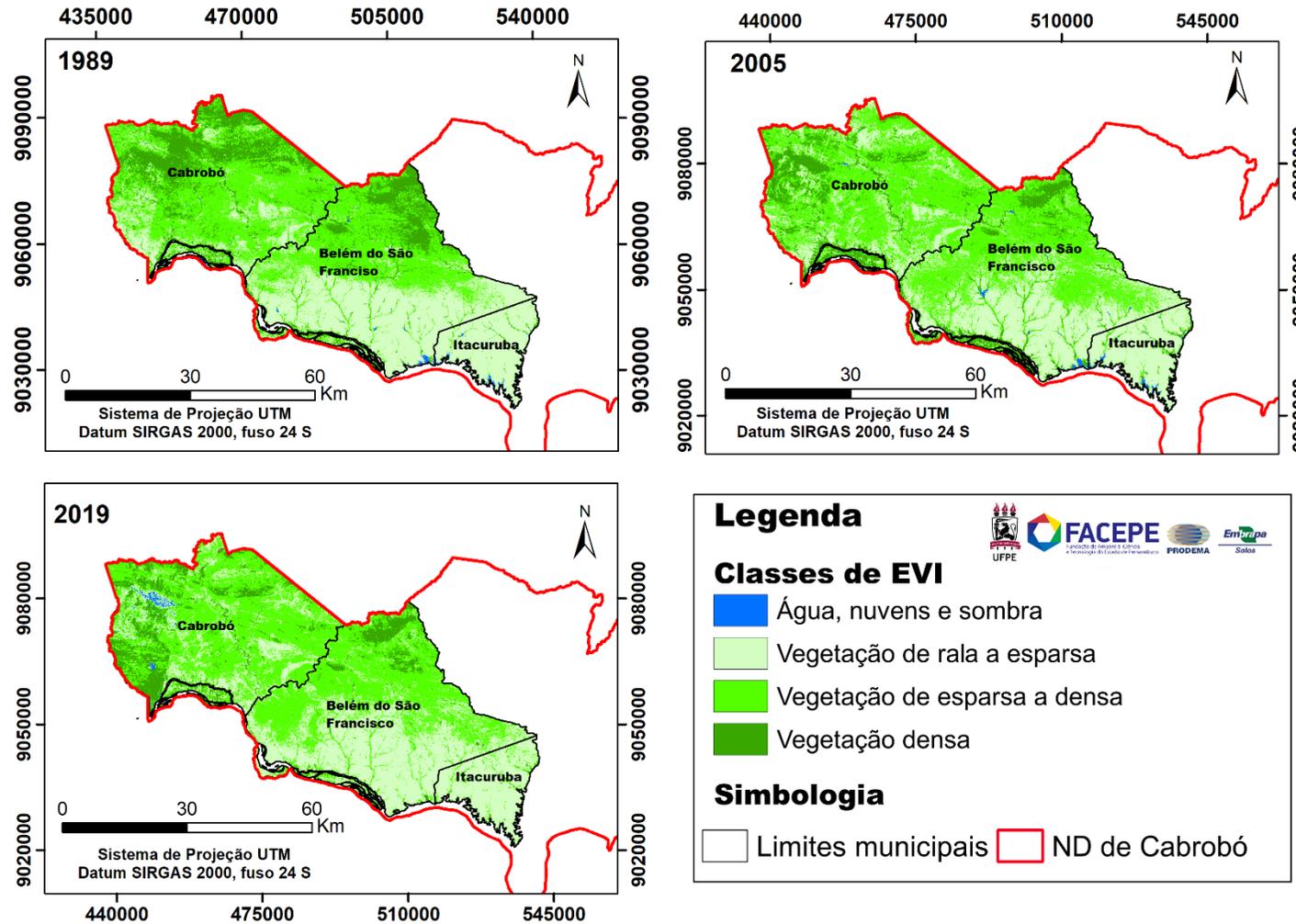
Tabela 35 – Precipitação média para os meses que antecederam a aquisição das imagens de satélite para os anos de 2005 e 2019

Ano	Belém do São Francisco		Cabrobó		Itacuruba	
	2005	2019	2005	2019	2005	2019
Jul	7,5	43	9,90	41,20	13,5	34
Ago	2	2	1,46	1,50	2,9	6,0
Set	0	0	0,70	0,00	9,4	0,0
Out	0	1.2	0,00	1,20	0,0	2,4

Fonte: Dados da Pesquisa.

A classe densa representava 30,34% da área de estudo no ano de 1989, enquanto no ano de 2019 representava 17,7% da cobertura da área de estudo. Dessa forma, pode-se entender que a vegetação densa diminuiu cerca de 13,17% ao longo do período estudado. No mapa de 1989 poderia ser encontrada cerca de 49,27% da área de estudo recoberta pela classe esparsa a densa, contudo essa classe foi reduzida para 32,81% no ano de 2005, até chegar no valor de 31,31% no ano de 2019, onde sofreu uma redução de cerca de 17,96% no período de tempo estudado.

Figura 27 - Índice de realce da vegetação (EVI) dos anos 1989, 2005 e 2019 aplicados na área dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba - PE



Fonte: Elaboração do autor.

Pôde-se observar que no ano de 1989 cerca 19,64% esteve inserida dentro da classe de vegetação de rala a esparsa, já no ano de 2005 essa classe representava cerca de 54,95% da área de estudo, por fim em 2019 por volta de 50,86% dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba estava incorporada a classe de vegetação de rala a esparsa. Assim, observa-se que no período analisado ocorreu um aumento expressivo de 31,22% de áreas de vegetação de rala a esparsa, o que indica que houve redução de vegetação nesse período na área de estudo. Em análise na área da bacia hidrográfica do Taperoá – PB, Francisco *et al.* (2012) encontraram um aumento de cerca de 23,94% de áreas em processo de degradação ambiental no período entre 1996 e 2009 associadas, sobretudo, a áreas com pouca cobertura vegetal.

Portanto, em municípios que possuem um meio físico natural vulnerável, e em algumas áreas processos de desertificação, a redução da cobertura vegetal pode corroborar para intensificação dos processos de degradação da terra, uma vez que o solo quando desprovido de sua cobertura vegetal se torna mais vulnerável, sobretudo, a processos erosivos (SANTOS; SANTOS, 2019).

6.3.2 Evolução espaço-temporal do uso da terra

A partir da classificação supervisionada se pôde obter as classes de uso e ocupação da terra para os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, para os anos de 1989, 2005 e 2019. A validação do mapeamento ocorreu pela obtenção do índice *Kappa*, que pode ser encontrado na tabela 36.

Tabela 36 - Validação estatística pelo Índice *Kappa* e por acurácia global

Ano	Índice <i>Kappa</i>	Qualidade	Acurácia Global
1989	0,73	Muito Bom	85%
2005	0,86	Excelente	91%
2019	0,83	Excelente	89%

Fonte: Dados da Pesquisa.

O mapeamento para o ano de 1989 apresentou índice *Kappa* de 0,73, onde sua qualidade foi considerada como muito boa. Os mapas de uso da terra realizados para os anos de 2005 e 2016 possuem respectivamente coeficiente *Kappa* equivalente a 0,86 e 0,83, onde se pode afirmar que a qualidade do mapeamento foi excelente. Nesse sentido, Silva e Bacani (2018) obtiveram índice de concordância *Kappa* de qualidade excelente para os mapeamentos de uso da terra no Pantanal de Aquidauana para os mapas dos anos 1994, 1993, 2000 e 2015. Em

mapeamento do uso da terra para a região de Hefei, China, Lu *et al.* (2019) obtiveram coeficiente Kappa excelente para os anos de 1987, 1992, 19997, 2002, 2007, 2011, 2012, 2014, 2017.

Os resultados da classificação do uso da terra para os anos de 1989, 2005 e 2019, nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba – PE podem ser encontrados dentro da tabela 37.

Tabela 37 - Distribuição das classes de uso da terra nos anos de 1989, 2005 e 2019, nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba - PE

Classe de Uso da Terra	1989 (%)	2005 (%)	2019 (%)
Área urbanizada	0,09	0,19	0,19
Solo exposto	2,71	5,02	5,96
Agricultura	7,05	7,79	8,04
Pastagem Natural	37,24	41,90	42,64
Área florestal	52,14	44,28	42,68
Corpos hídricos continentais	0,77	0,82	0,49

Fonte: Dados da pesquisa.

Nota-se que dentro do período analisado a classe área urbanizada não possuiu grande representatividade, seja em termos de crescimento (0,10%), seja em termos de área, uma vez que nesses municípios não há grande dinamismo dentro da vida urbana.

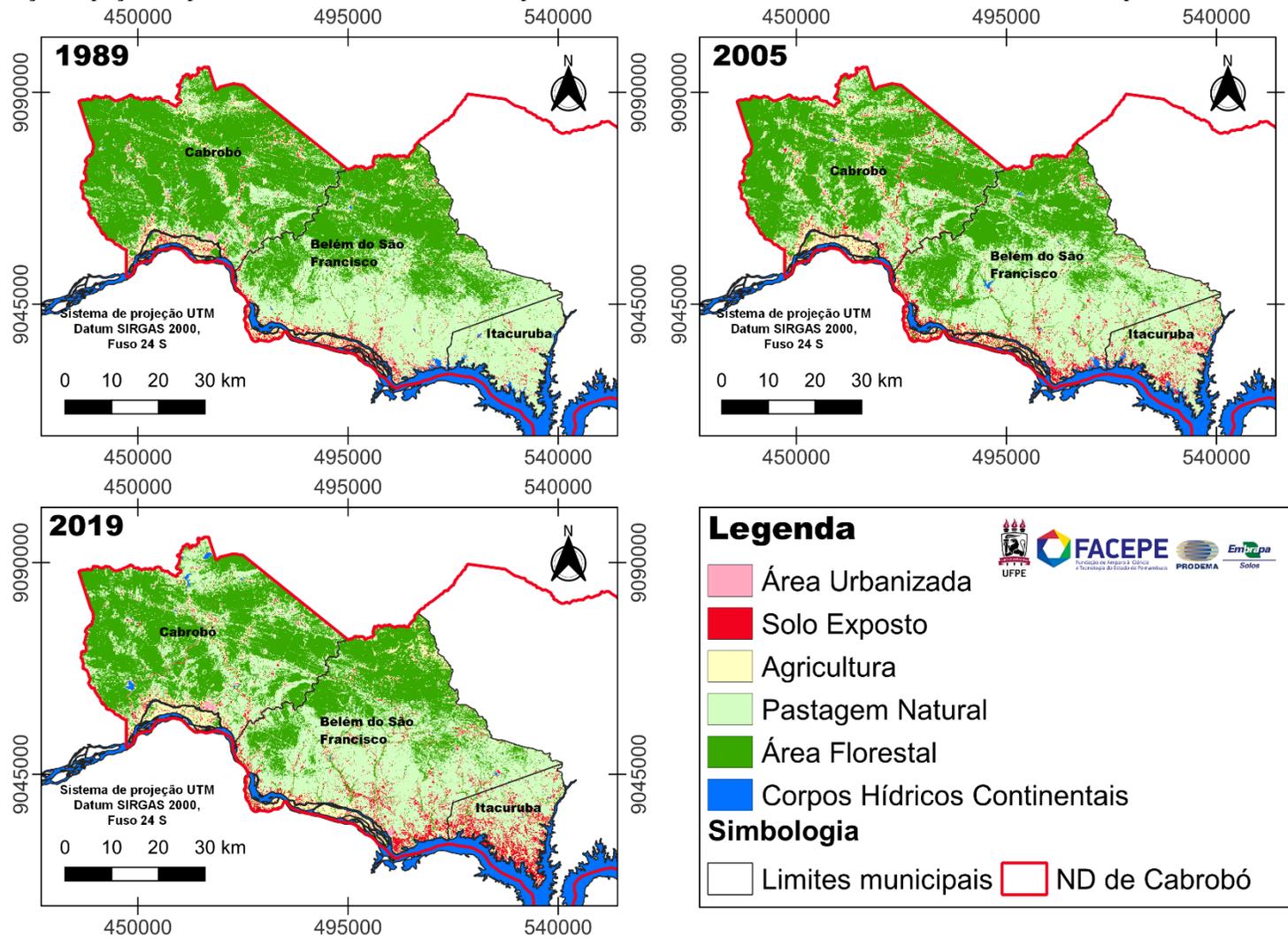
A classe que representa a agricultura em 1989 representava 7,05% da área de estudo, em 2005 chegou a ocupar cerca de 7,79%, para em 2019 compor 8,04% dos municípios estudados. Essas mudanças representam um aumento de 0,99% dessa classe no período estudado. A substituição da caatinga por áreas de agricultura pode resultar em degradação ambiental, sobretudo quando não respeitados os limites e as potencialidades do meio físico. O aumento das áreas agrícolas na região conta, sobretudo com a técnica da irrigação para sua implementação, e nesse sentido, Ide e Andrade (2017) constataram que em Cabrobó o PISF impactou na ampliação de áreas irrigadas no Vale do Riacho Terra, que foi perenizado com a liberação de água do PISF, onde antes da perenização havia 68,8 hectares irrigados, passou a ter cerca de 194,5 hectares após a perenização.

A prática de agricultura irrigada na área de estudo acontece, sobretudo, próximo a açudes e reservatórios de água, porém tem grande representatividade nas ilhas do leito principal do rio São Francisco. como o caso da ilha de Assunção que tem seus solos intensamente cultivados por práticas da agricultura familiar (SANTANA, 2015). Outra região onde há a prática de agricultura irrigada é o perímetro irrigado de Manga de Baixo, localizado no sul de Belém do São Francisco, que foi instalado pela Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São

Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) em 1987 e conta com cerca de 93 hectares de área total (COSTA; ALBUQUERQUE, 2020).

Percebe-se mudanças na classe de uso da terra de área florestal, que no ano de 1989 representava 52,14% da região estudada, já em 2005 recobria 44,28% dos municípios, e em 2019, 42,68% estava incorporada as áreas florestadas com pecuária. O que indica uma redução de 9,46% dessa classe de uso no período entre 1989 e 2019. Na figura 28 é possível observar o mapa da evolução do uso da terra na área de estudo durante o período de estudado.

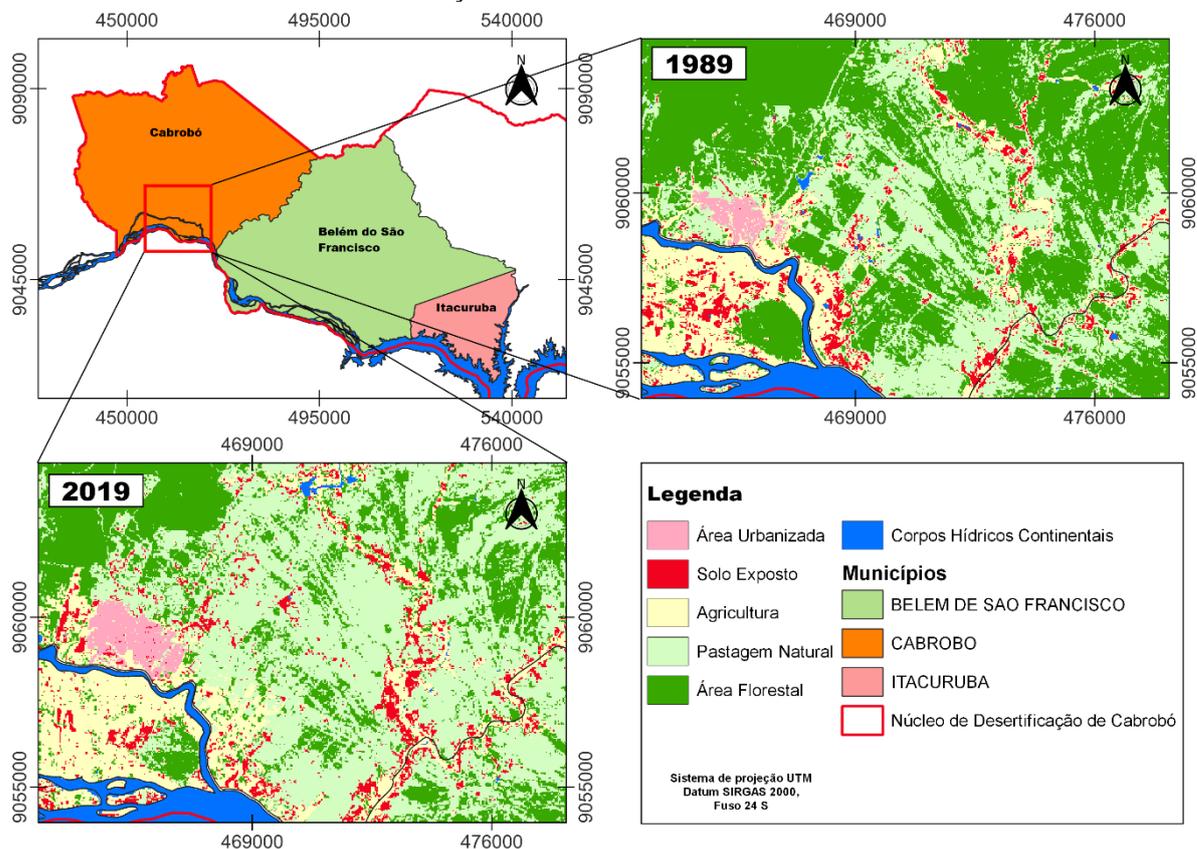
Figura 28 - Evolução espaço-temporal do uso da terra dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para os anos de 1989, 2005 e 2019



Fonte: Elaboração do autor.

Na área de estudo há áreas em que predominam a vegetação natural associadas ao pastoreio extensivo, e foram classificadas como pastagem natural. As áreas de pastagem natural ocupavam cerca de 37,24% da área de estudo em 1989, e foram ampliadas para 41,90% em 2005, e atingiram índices de 42,64% da área de estudo em 2019, resultando em um acréscimo de 5,4% no período analisado. Em estudo realizado em Canudos-BA, Oliveira Júnior, Pereira e Silva (2022) encontraram tendência de aumento das áreas relacionadas a pastagem, onde, pode-se manifestar num crescimento de 5,7% no período entre 1977 – 2017. A figura 29 demonstra a expansão das áreas de pastoreio sob áreas de vegetação natural dentro de um recorte no município de Cabrobó-PE.

Figura 29 – Recorte espaço-temporal de trinta anos dentro do município de Cabrobó-PE demonstrando a evolução do uso e cobertura da terra.



Fonte: Elaboração do autor.

A classe que representa o solo exposto em 1989 representava 2,71% da cobertura da área de estudo, possuindo um aumento 3,25% nos 30 anos analisados, onde em 2019 estava recoberto cerca de 5,96% dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE. Em estudo realizado no semiárido do estado de Sergipe, Fernandes *et al.* (2020), encontraram um aumento de 3,77% de áreas com solo exposto no período entre 1992 e 2017.

Com isso, nota-se que na área de estudo pode haver degradação ambiental relacionada ao uso do solo, uma vez que o aumento de áreas de solo exposto indica que a pressão antrópica pode estar causando impactos negativos na área de estudo. Pois, o solo exposto representa alguns dos piores impactos ambientais na caatinga, pois podem estar associados a processos erosivos, já que áreas de solo exposto, e com pouca cobertura vegetal apresentam altos potenciais erosivos; além de representarem perda da diversidade biológica em relação da flora, microrganismos do solo e a fauna (SANTOS; SANTOS, 2019).

6.3.3 Modelagem preditiva do uso e cobertura da Terra

A modelagem preditiva do uso da terra para o ano de 2049 partiu da calibração do modelo, que foi realizada a partir da comparação do mapa real de 2019 com uma simulação realizada no Molusce, que foi avaliada por meio do índice *Kappa*. Na tabela 38 se encontra o coeficiente *Kappa* e a porcentagem de previsões corretas obtidas na simulação de 2019.

Tabela 38 - Resultados para Simulação do uso da terra para os anos de 1989 a 2019 dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba

Ano de predição	Matriz de transição	Porcentagem de previsões corretas	<i>Kappa</i>
2019	1989 - 2005	78,24	0,61

Fonte: Dados da pesquisa.

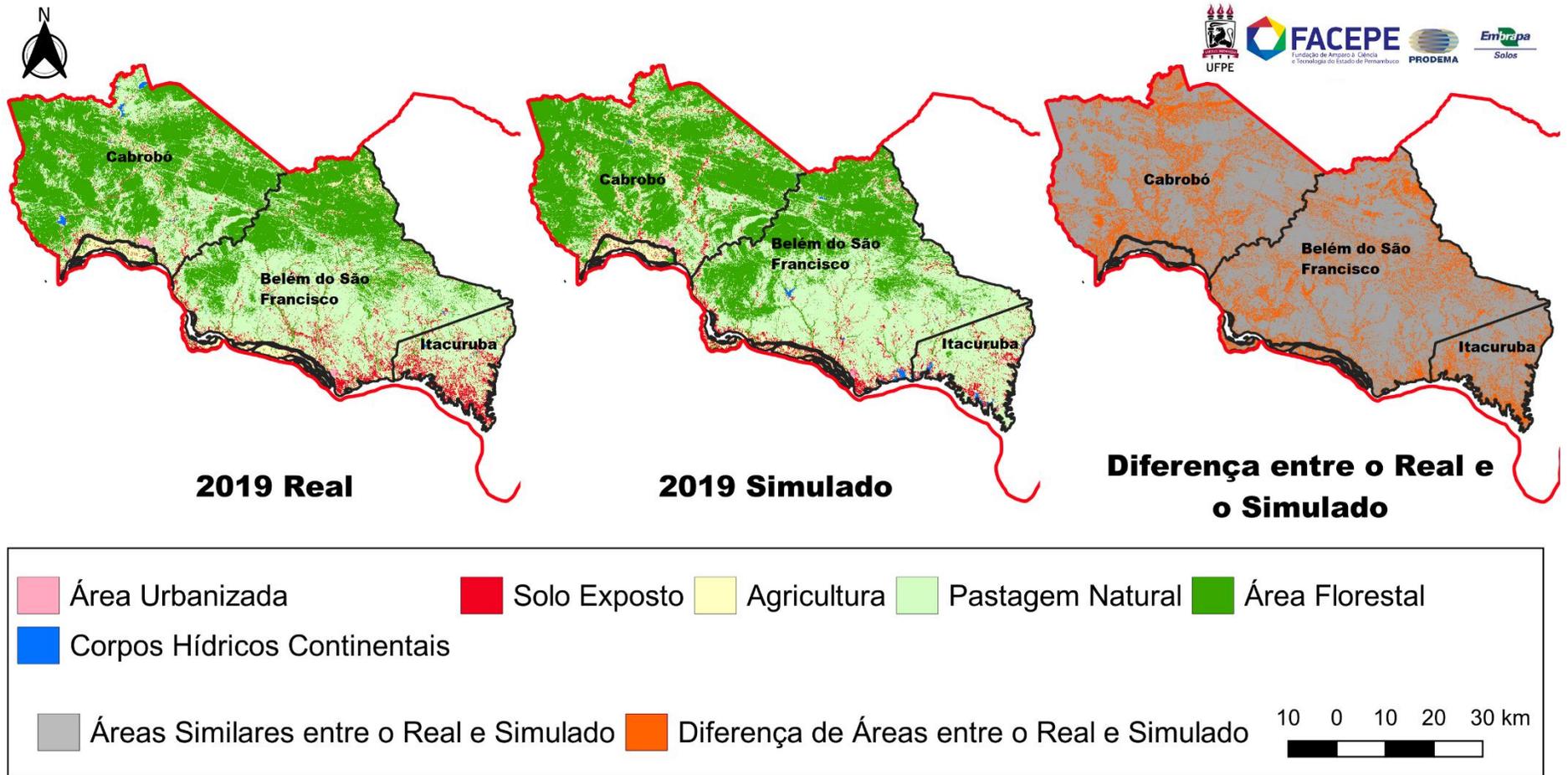
Os resultados da validação da predição indicaram um bom desempenho do modelo, haja vista que a porcentagem de previsões corretas para o uso da terra do ano de 2019 foi de 78,24%. Nesse sentido, utilizando o Molusce para simular o uso da terra para a bacia hidrográfica do rio Juma, localizada no município de Apuí, ao sul do Estado do Amazonas, Duarte, Silva e Costa (2022) em sua calibração do modelo encontraram porcentagem de previsões corretas de 80,42% para simulação do ano de 2015. Outro estudo que utilizou o Molusce em predição do uso da terra foi produzido por Muhammad *et al.* (2022), que encontraram em sua abordagem cerca de 65,80% de previsões corretas na simulação do uso da terra para o ano de 2020 no município de Linyi, China.

O índice *Kappa* obtido dentro da comparação entre a simulação do ano de 2019 com o mapa de uso da terra real de 2019 foi cerca de 0,61, o que indica um grau de concordância muito bom entre os dois mapas. Em simulação para o uso da terra do ano de 2015 para a bacia hidrográfica do rio Juma, localizada no município de Apuí, ao sul do Estado do Amazonas,

Duarte, Silva e Costa (2022) encontraram coeficiente *kappa* igual a 0,65, indicando um grau de concordância muito bom. Já Abbas *et al.* (2021) encontraram um grau de concordância excelente com um índice *kappa* de 0,94, simulando o uso da terra para o ano de 2020 na região da Baía de Guangdong-Hong Kong-Macau.

Na figura 30 se pode observar a comparação entre o uso da terra real para o ano de 2019 na área de estudo com o simulado, bem como as diferenças e similaridades entre o mapa real e o modelo.

Figura 30 - Comparação entre os mapas de uso da terra real de 2019 (real e simulado) e as diferenças entre ambos para os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE



Fonte: Elaboração do autor.

Dentre as principais diferenças que se pode visualizar, entre o mapa real de uso da terra para o ano de 2019 e o mapa simulado, destaca-se o Projeto de Integração do Rio São Francisco, em seu Eixo Norte e seus reservatórios. A transposição é uma obra com alto investimento político e financeiro visando mitigar os efeitos da seca no semiárido nordestino, e sendo assim, acaba se configurando como um desafio para a modelagem preditiva. Uma vez que, os modelos preditivos não possuem poder de prever mudanças bruscas na configuração espacial quando ocorrem intervenções severas, seja pelo poder público ou privado, que transformam áreas de uma classe em outra classe (RICOBOM; CANEPARO, 2017). Nesse sentido, a diminuição do espelho d'água do açude Riacho da Porta em Belém do São Francisco também pôde ser mostrada visualmente na diferença entre o mapa real de uso da terra de 2019 com o mapa simulado. Bem como o exponencial crescimento de áreas de solo exposto ocorrido entre os anos de 2005 e 2019.

A partir do molusce, pôde-se obter a matriz de probabilidade de mudança em cada classe temática de uso e cobertura da terra para os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, que se encontra na tabela 39. A escala de avaliação da probabilidade de mudança varia entre os valores de 0 a 1, onde quanto mais próximo de 1, maior a probabilidade de mudança (SILVA; BACANI, 2018).

Tabela 39 - Valores de Matiz de Probabilidade de Mudança de Cada Classe Temática de Uso da Terra dos Municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Classes	Área Urbanizada	Solo Exposto	Agricultura	Pastagem Natural	Área Florestal	Corpos Hídricos Continentais
Área Urbanizada	0,446	0,097	0,102	0,001	0,003	0,000
Solo Exposto	0,011	0,797	0,364	0,123	0,051	0,006
Agricultura	0,004	0,168	0,530	0,108	0,171	0,020
Pastagem Natural	0,001	0,062	0,046	0,802	0,088	0,001
Área Florestal	0,000	0,006	0,023	0,209	0,761	0,001
Corpos Hídricos Continentais	0,002	0,014	0,191	0,022	0,029	0,743

Fonte: Dados da Pesquisa.

As classes de uso da terra com maior probabilidade de mudanças são respectivamente pastagem natural, 0,802, solo exposto, 0,797, e Área florestal, 0,761. Essa tendência pode ser manifestada na forma de crescimento da classe pecuária, e redução na classe área florestal, ao longo do período entre 1989 a 2019 e com previsão de manutenção até 2049. Uma tendência similar foi encontrada por Silva e Bacani (2018), que encontraram em sua análise uma maior tendência de mudança nas classes vegetação nativa, e pastagem plantada. Nesse sentido, também aponta Muhammad *et al.* (2022), que em seus resultados encontraram maior potencial de mudança dentro das classes floresta e área verde.

Na tabela 40 se pode encontrar a evolução espaço temporal do uso da terra dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba para os anos de 1989, 2005, 2019 e para o modelo simulado para o ano de 2049.

Tabela 40 - Evolução do uso e cobertura da terra para os anos de 1989 a 2049 dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Classe de Uso da Terra	1989 (%)	2005 (%)	2019 (%)	2049 (%)
Área urbanizada	0,09	0,19	0,19	0,19
Solo exposto	2,71	5,02	5,96	5,73
Agricultura	7,05	7,79	8,04	8,32
Pastagem Natural	37,24	41,90	42,64	42,84
Área florestal	52,14	44,28	42,68	42,44
Corpos hídricos continentais	0,77	0,82	0,49	0,48

Fonte: Dados da Pesquisa.

É possível notar que a classe Área Urbanizada fica estagnada em 0,19% de representatividade territorial na área de estudo entre os anos de 2005 e 2019, e essa tendência mantida no modelo para o ano de 2049, indicando que a urbanização não se apresenta como um fenômeno muito presente nessa região. Com relação a classe Agricultura há um crescimento na ordem de 1,27% entre os anos de 1989 a 2049, possuindo uma tendência de crescimento maior no período entre 1989 – 2019, que no período entre 2019 – 2049. A classe referente a pastagem natural segue uma tendência similar, onde, no período entre 1989 e 2049 pode crescer cerca de 5,6%, com menor crescimento entre 2019 e 2049. Uma tendência similar a encontrada por Silva e Bacani (2018), que entre os anos de 1984 – 2015 encontraram mais crescimento na área de pastagem que no período entre 2015 – 2050.

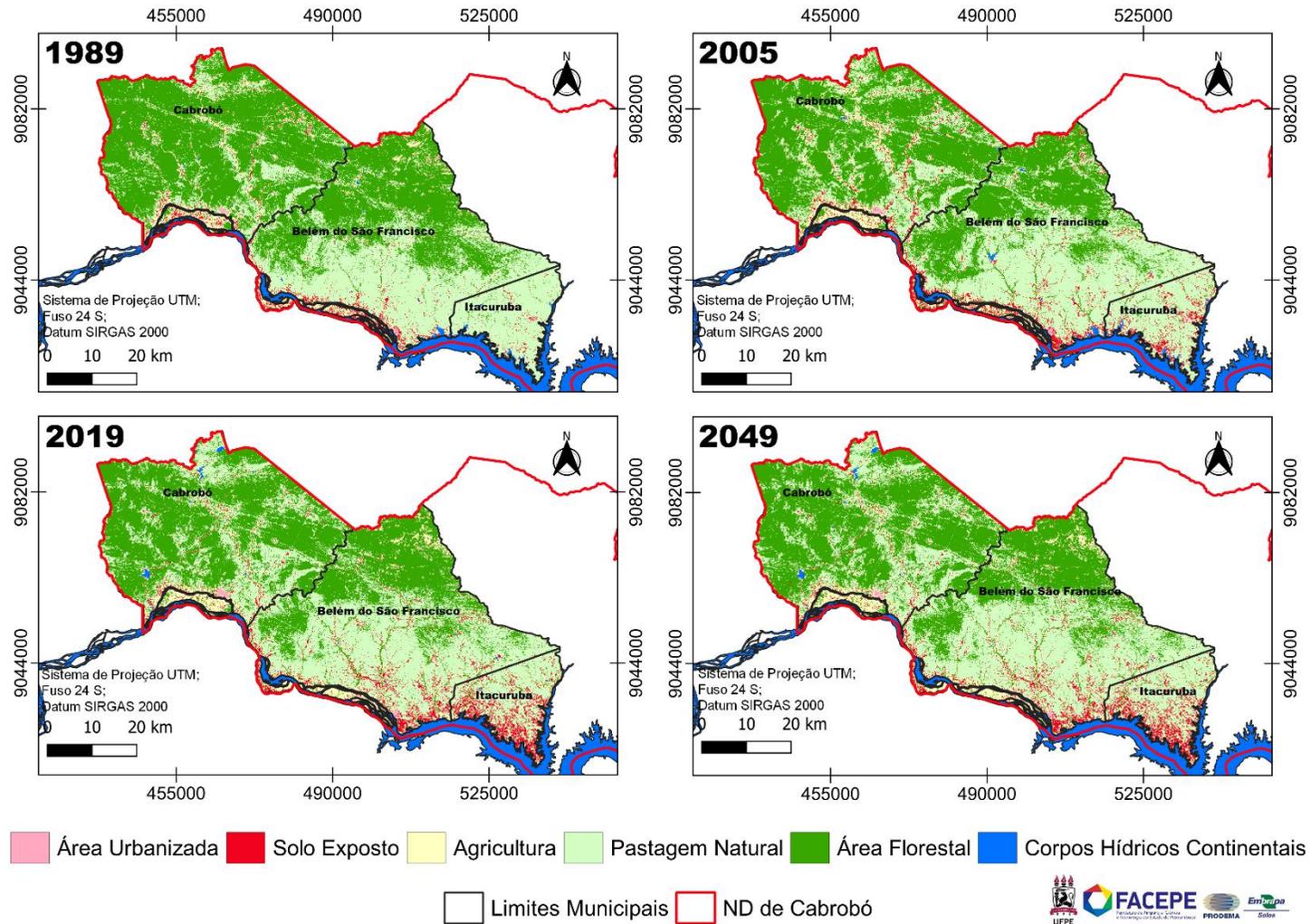
A classe que apresentou maior crescimento no período analisado e modelado foi a da pastagem natural, enquanto a que sofreu maior redução foi a da área florestal. Pois no modelo de 2049 poderá haver uma inversão com relação ao uso e cobertura de maior abrangência, onde,

as áreas de pastagem natural serão superiores as de área florestal. Dessa forma, pode-se notar que entre o período analisado e modelado há uma tendência de redução das áreas florestais, que pode ser representada na ordem de 9,7% entre 1989 e 2049. Também há de se notar que entre 2005 e 2019 há redução no ritmo do desmatamento, e esse ritmo mais lento permanece no período entre 2019 e o modelo de 2049, onde em números no período entre 1989 e 2019 a redução pode ser expressa na casa de 9,46%, e nos próximos 30 anos há uma perda de 0,24% de áreas florestais. Resultado que demonstra uma tendência similar ao encontrado por Duarte, Silva e Costa (2022), que ao analisarem o período entre 1995 a 2019 encontraram uma tendência de redução de 24,53% das áreas florestais, e nos cenários futuros entre os anos de 2019 e 2030 os resultados indicaram redução de 9,13%, e no cenário entre 2030 e 2040 demonstraram 7,48% de redução. Convém lembrar que mesmo em ritmo lento, o desmatamento continua sendo prejudicial ao meio físico natural, e uma tendência de desmatamento até 2049 representa o não cumprimento da meta 15.2 do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15, que estipula até o ano de 2020 a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de floresta, detendo o desmatamento e as restaurando (AGENDA 2030, 2015).

Ao analisar a classe solo exposto há um relativo crescimento entre 1989 a 2019, representado na ordem de 3,25%, com uma redução entre 2019 e o modelo de 2049, na ordem de -0,23%. Apontando para uma pequena recuperação de áreas de solo exposto, contudo a manutenção das áreas de solo exposto indica que pode haver degradação ambiental na área de estudo. Ao analisar a representação dos corpos hídricos na área de estudo se pode perceber uma certa estabilização, uma vez que há uma certa compensação na medida que reservatórios são construídos, em outros locais como ao Sul de Itacuruba as águas do reservatório de Itaparica apresentam um relativo recuo.

Portanto, os resultados da modelagem preditiva possuem coerência quando comparados com os resultados do passado, apontando as possíveis alterações no uso e cobertura da terra da área de estudo. Dessa forma, pode-se atentar para a redução da cobertura vegetal da área de estudo e a manutenção das áreas de solos exposto que demonstram que ainda há tendência de degradação ambiental para área de estudo para o futuro, uma vez que a redução da cobertura vegetal amplia o potencial erosivo, e o solo exposto influencia, sobretudo o albedo da região e também fica mais vulnerável a erosão, o que se torna um agravante a mais numa região com o meio físico natural tão vulnerável, como os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba. Na figura 31, se pode observar a evolução espaço temporal do uso da terra dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, para os anos de 1989 a 2019, com a simulação do cenário de uso da terra para o ano de 2049.

Figura 31 - Evolução espaço-temporal do uso da terra dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049



Fonte: Elaboração do autor.

6.4 CONCLUSÕES

O índice de vegetação permitiu o reconhecimento de um substancial crescimento da classe de vegetação de rala a esparsa, que pode ser traduzido em números para 31,22%. O aumento dessa classe veio acompanhado da redução das classes de esparsa a densa e densa, o que indica que durante o período entre 1989 a 2019 houve uma expressiva redução da densidade da vegetação na área de estudo.

Corroborando com essa ideia, no mapeamento de uso e cobertura da terra se pôde observar o aumento das áreas de solo exposto, na ordem de 3,25%, e redução das áreas florestais por volta de 9,46%. Isso indica que o uso da terra pode estar gerando impactos negativos ao meio físico natural na área de estudo.

A modelagem preditiva para o ano de 2049 na área de estudo, mostrou uma tendencia de manutenção da redução das áreas florestais e aumento das áreas de agricultura e de pecuária. O plugin “Molusce” do Qgis demonstrou eficiência na modelagem tanto da simulação para o ano de 2019, quanto para o ano de 2049.

A redução da cobertura vegetal e o aumento do solo exposto podem aumentar a suscetibilidade da área de estudo a processos erosivos, o que pode representar ao longo do tempo em perda da capacidade produtiva do solo e também contribuir com os processos de desertificação, uma vez que a área de estudo se encontra numa região propensa a esse fenômeno.

Espera-se que os resultados obtidos possam ser utilizados no planejamento espacial dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, uma vez que quando se conhece as tendencias de uso da terra, pode-se antecipar ações de mitigação aos processos que podem vir a degradar o meio físico natural da região.

7 ARTIGO 4: ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS CONFLITOS DE USO DA TERRA NOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE

7.1 INTRODUÇÃO

Desde a primeira revolução industrial a degradação ambiental está se intensificando em todo mundo. As transformações realizadas no meio físico natural visando as demandas da sociedade ocasionam diversos conflitos ambientais (RAMOS *et al.*, 2018), onde as alterações não planejadas no uso e cobertura do solo geram um grande vetor para a degradação ambiental, sobretudo quando são superior a capacidade de suporte do solo (VALLE JUNIOR *et al.*, 2013).

A expansão das áreas agrícolas, dos aglomerados urbanos, a exploração dos recursos naturais como a mineração são exemplos de ações antrópicas que promovem rápidas alterações na cobertura do solo e, se realizadas sem planejamento, geram impactos ambientais e socioeconômicos (SANTOS *et al.*, 2019). Dessa forma, o crescimento rápido da população aumenta a demanda pelos diferentes usos da terra, colocando sob pressão o solo, o que gera preocupações acerca do conflito de uso da terra (JIANG *et al.*, 2021).

No contexto brasileiro, o desenvolvimento da agricultura e da pecuária se baseou em sistemas de manejo intenso do solo, onde a degradação do solo pôde ser acelerada, pois de modo geral o potencial do solo para fins agrícolas não tem sido observado (SANTOS *et al.*, 2012). Assim, a degradação ambiental observada em diversas regiões do Brasil pode estar relacionada à pressão que o uso incorreto do solo exerce sob esse recurso.

Com relação ao semiárido do Nordeste do Brasil, a ocupação das terras remete ao período colonial, onde a ocupação territorial foi realizada por meio da expansão da atividade pecuária. Posteriormente, o algodão se tornou uma importante atividade econômica e tornando-se a ser um grande vetor para o desmatamento e degradação dos solos no sertão nordestino. Nas últimas décadas as atividades como a caprinocultura e a ovinocultura de menor porte estão ganhando espaço na pecuária e incrementado o contexto de substituição da caatinga pelo pasto (CEARÁ, 2010).

Ademais, o semiárido brasileiro é uma região em que o solo possui limitações e potencialidades variadas, sobretudo, com predomínio das restrições em função da condição climática semiárida. Os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, localizados no Sertão de Pernambuco, estão inseridos no NDC (BRASIL, 2007). É uma região

delimitada pelo fato da alta suscetibilidade a desertificação em função de fatores ambientais e antrópicos, incluindo as mudanças climáticas (ONU, 1997).

Elaborar um diagnóstico das áreas suscetíveis ao processo de desertificação é um desafio, pois envolve diversos fatores naturais e sociais. Nesse sentido, Vieira *et al.* (2015) realizaram uma diagnose de áreas sensíveis a desertificação no Nordeste brasileiro considerando os fatores da pedologia, geologia, geomorfologia, topografia, mudanças no uso e cobertura da terra, índice de aridez, pecuária, densidade demográfica rural, focos de incêndio, Índice de Desenvolvimento Humano e Unidades de Conservação.

Um dos fatores reconhecidos como responsável pela degradação das terras no semiárido é o intenso manejo da terra, em regime de exploração além da sua capacidade de resiliência (TOMASELLA *et al.*, 2018). Em estudo realizado nas regiões da sub-bacia do riacho Santa Rosa, nos municípios de Jaguaratama e Morada Nova no Ceará, e na sub-bacia do riacho Itacuruba/Tamanduá no município de Itacuruba em Pernambuco (SOUSA *et al.*, 2016), foi diagnosticado áreas em desertificação, em que as causas para a degradação do solo estão associadas aos diferentes usos e ocupações promovidos acima da capacidade de suporte dos recursos naturais.

As atividades de pecuária na caatinga podem impactar negativamente nos atributos geoambientais local. Nesse sentido, os resultados de um estudo realizado por Schulz *et al.* (2019) nos municípios de Itacuruba e Floresta-PE indicam que a prática da pecuária tem efeitos negativos na diversidade vegetal da caatinga. Já a agricultura, em geral, pode produzir impactos ambientais, sobretudo, no que se refere a salinização. Nesse contexto, Santos e Santos (2019) ao analisar os níveis de degradação da vegetação de caatinga e o estado atual de uso da terra no Projeto de Irrigação N-11 em Petrolina-PE encontraram diversos impactos ambientais associados ao uso da terra, com destaque para a erosão, perda da cobertura vegetal, redução da biodiversidade e salinização.

A literatura indica que os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba, localizados no Sertão pernambucano podem ter suas condições ambientais, já delicadas, agravadas em função do uso da terra acima de sua capacidade de resiliência. Nesse sentido há regiões onde o emprego da irrigação já está impactando negativamente a qualidade do solo. Em que, Lopes e Soares (2016) apontam que em Cabrobó-PE a salinização está relacionada, sobretudo a concentração de sais na água de irrigação associada, também a permeabilidade e drenagem dos solos. Nesse sentido, Soares *et al.* (2016) também apontam que a irrigação realizada por meio de sulco e/ou por inundação, sem o emprego de sistema de drenagem, levam ao aumento do teor de sais dos solos irrigados. Na ilha de Assunção em Cabrobó, a salinização

ocorre sobretudo, na porção central em áreas de depressão e com deficiência de drenagem (SANTANA, 2016).

Para evitar que o uso da terra provoque impactos ambientais negativos ao meio físico natural, é necessário o conhecimento acerca das características do solo e dos recursos naturais (POELKING *et al.*, 2015). Nesse sentido, Santos *et al.* (2012) afirmaram que um dos primeiros passos para a recuperação de áreas degradadas e a preservação do meio ambiente deve ser o planejamento do uso do solo com base conservacionista, levando em consideração os atributos do solo e dos recursos naturais da área.

As ferramentas das geotecnologias podem contribuir para a análise das potencialidades e limitações dos componentes da paisagem, através das técnicas da Cartografia Temática, Sensoriamento Remoto (SR), Sistema de Posicionamento Global (GPS) e os Sistemas e Informações Geográficas (SIG's). Tais ferramentas possibilitam registrar as alterações da paisagem ao longo do tempo e auxiliar no gerenciamento espacial por meio de dados espaciais derivados de diversas fontes (RAMOS *et al.*, 2018).

As geotecnologias podem ser um importante aliado no diagnóstico de conflitos entre o uso do solo e o seu potencial agrícola. Nesse sentido, Oliveira e Faria (2019) utilizaram uma análise dos conflitos entre o potencial de uso da terra e seu uso e cobertura na microrregião da Chapada dos Veadeiros-GO, onde os procedimentos metodológicos contaram com as geotecnologias em ambiente SIG como técnica para atingir os objetivos. Outro estudo que incorporou as geotecnologias como ferramentas foi realizado por Ramos *et al.* (2018) que identificaram conflitos decorrentes do uso da terra na bacia hidrográfica do Córrego Piraputanga-MT. Já Valle Junior *et al.* (2013), realizaram um diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na bacia do rio Uberaba com o auxílio de ferramentas em ambiente SIG, onde 17% de sua área de estudo se encontrava em conflito com os potenciais e limitações dos solos.

Pode-se reconhecer que os conflitos entre o uso atual do solo e o seu uso potencial podem gerar degradação ambiental quando o primeiro está em desacordo com o segundo. Dessa forma, o presente estudo tem como objetivo identificar os conflitos entre o uso atual e o uso potencial do solo, seja em regime de sequeiro, seja sob irrigação, na área dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, a fim de auxiliar na mitigação dos processos de desertificação.

7.2 MATERIAL E MÉTODOS

Para avaliar os conflitos entre o uso atual do solo e uso potencial da terra em regime de sequeiro e com irrigação nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, foram utilizadas as metodologias desenvolvidas por Oliveira e Faria (2019) e Barbosa Neto (2011) com adaptações.

A análise consistiu na tabulação cruzada das informações da aptidão agrícola das terras em regime de sequeiro (RAMALHO FILHO; BEEK, 1994) (Figura 21), e do potencial geral das terras para irrigação (ARAÚJO FILHO *et al.*, 2021) (Figura 25), com os mapas de uso da terra dos anos de 1989, 2005, 2019 e 2049 (Figura 31) por meio de álgebra de mapas no software Qgis 3.22.4.

Para a definição dos conflitos de uso de solo sob a aptidão agrícola em regime de sequeiro foi estabelecida uma regra para avaliar a compatibilidade entre a aptidão e o uso atual do solo, de acordo com os critérios adotados por Oliveira e Faria (2019); Valle Junior (2008); Barbosa Neto (2011); Pereira *et al.* (1998), com as adaptações necessárias. O sistema de regras utilizado para a classificação dos conflitos por grau de conflito, e tipo de conflito consta na tabela 41. Como a metodologia de Ramalho Filho e Beek (1994) trabalha a agricultura sob a ótica de sequeiro, ou seja, sem considerar o uso da irrigação, foi estabelecido que na definição dos conflitos de uso da terra sob esse prisma, a classe da agricultura seria considerada em sua totalidade de sequeiro.

Tabela 41 - Classificação de graus de conflito entre o uso da terra e a aptidão agrícola, e o tipo de conflito observado

Grau de Conflito	Tipo de Conflito Observado
Nulo	Áreas cobertas por vegetação natural ou água.
Ligeiro	Agricultura em áreas aptas para lavoura e pastagem plantada em áreas aptas para tal.
Moderado	Uso de pastagem natural em áreas aptas para tal, mas com restrições para silvicultura.
Forte	Agricultura em áreas aptas para pastagem.
Muito Forte	Qualquer uso antrópico em área sem aptidão agrícola, áreas de solo exposto e área urbanizadas.

Fonte: Adaptado de Oliveira; Faria (2019); Barbosa Neto (2011); Pereira *et al.* (1998).

Para realizar a classificação dos graus de conflito de uso da terra em regime de sequeiro os mapas de uso da terra (Figura 30) e de aptidão agrícola (Figura 21) foram reclassificados em

formato raster no Qgis 3.22.4 na ferramenta “r.recode”, onde foram delegados pesos para os grupos de aptidão agrícola e para as classes de uso atual da terra mapeados. Dessa forma, os pesos foram atribuídos de acordo com os critérios estabelecidos por Valle Junior (2008), com adaptação para as classes de Ramalho Filho e Beek (1994), em que as classes que possuem aptidão para lavouras recebem valores mais baixos, e as terras com menor potencial agrícola recebem valores mais altos. A álgebra de mapas foi realizada na ferramenta “Calculadora raster”, do Qgis 3.22.4, onde foi executada a função: Uso potencial (peso) – Uso atual (peso). Obtendo-se os conflitos (áreas de maior potencial de degradação ambiental).

A avaliação dos possíveis conflitos entre o potencial para irrigação e as classes de uso atual da terra, consistiu no cruzamento dos mapas potencial geral para irrigação da área de estudo com os de uso da terra. Foi elaborada uma regra geral para delimitar os critérios de classificação dos conflitos com base em Oliveira e Faria (2019); Valle Junior (2008); Barbosa Neto (2011); Pereira *et al.* (1998). Como para a classe pastagem natural não é utilizada a técnica da irrigação, essa classe de terra foi isolada de modo a não ser avaliada sob essa ótica. Na tabela 42 consta o sistema de classificação adotado.

Tabela 42 - Classificação de graus de conflito entre o uso da terra e o potencial geral para irrigação, e o tipo de conflito observado

Grau de Conflito	Tipo de Conflito Observado
Pastagem Natural	Áreas cobertas por pastagem natural.
Nulo	Áreas cobertas por vegetação natural ou água.
Ligeiro	Áreas cobertas com agricultura, assentadas sob potencial para irrigação muito alto, e alto.
Moderado	Áreas cobertas com agricultura, assentadas sob potencial para irrigação médio.
Forte	Áreas cobertas com agricultura, assentadas sob potencial para irrigação baixo
Muito Forte	Áreas cobertas com agricultura, assentadas sob potencial muito baixo.

Fonte: Adaptado de Oliveira; Faria (2019); Barbosa Neto (2011); Pereira *et al.* (1998).

Para a classificação dos conflitos de uso da terra com irrigação foram utilizados os mapas de uso da terra (Figura 31) e de potencial para irrigação (Figura 25). Os mapas foram reclassificados em formato raster no Qgis 3.22.4 na ferramenta “r.recode”, onde foram delegados pesos para as classes de potencial geral das terras para irrigação, e para as classes de uso atual da terra mapeados. Os critérios adotados para atribuir peso as classes de potencial de irrigação obedeceram a lógica elaborada por Vale Junior (2008), com adaptação para as classes

da metodologia de Araújo Filho *et al.* (2021), em que as classes que possuem maior aptidão para irrigação recebem valores mais baixos, e as terras com menor potencial valores mais altos. A álgebra de mapas que cruzou as informações foi realizada por meio da ferramenta “Calculadora raster”, do Qgis 3.22.4, e foi executada a função: Uso potencial (peso) – Uso atual (peso). Obtendo assim os conflitos entre uso atual da terra e potencial para irrigação para os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE.

7.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.3.1 Conflito de Uso Atual da Terra em Regime de Sequeiro

Ao cruzar os dados de uso atual da terra com o potencial dos solos, em regime de sequeiro, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, pôde-se obter os resultados dos tipos de conflito apresentados na tabela 43. Os conflitos de uso da terra em regime de sequeiro constam na figura 32.

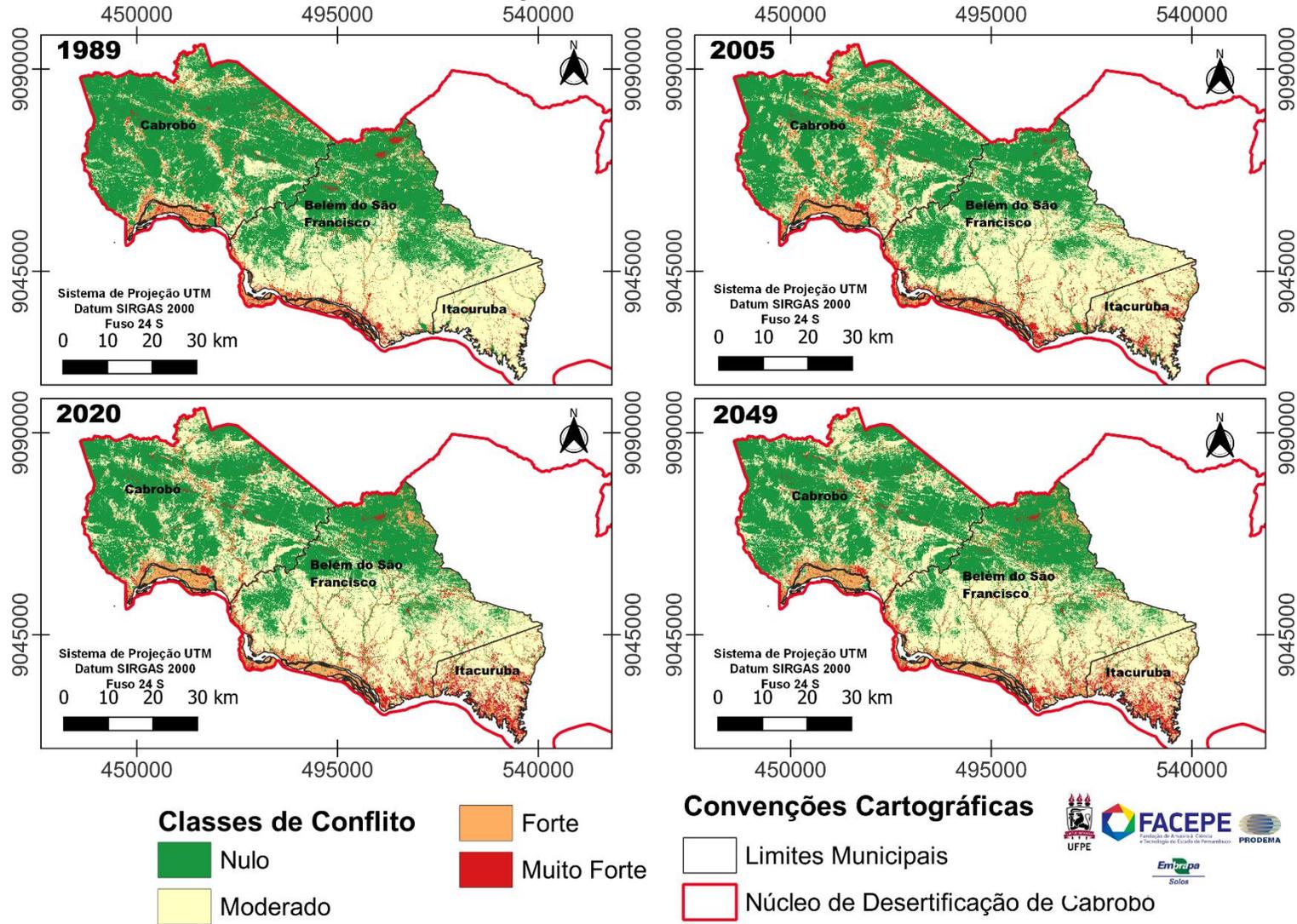
Tabela 43 - Classes de conflitos obtidas na classificação por tabulação cruzada entre o uso potencial do solo em regime de sequeiro e Uso e ocupação do solo para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049 nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba - PE

Classe de conflito entre o uso e o potencial dos solos	1989 (%)	2005 (%)	2019 (%)	2049 (%)
Nulo	52,94	45,12	43,20	42,97
Moderado	37,19	41,81	42,53	42,69
Forte	6,69	7,60	7,77	8,09
Muito Forte	3,18	5,47	6,50	6,25

Fonte: Dados da pesquisa.

No intervalo de trinta anos, entre 1989 e 2019, as áreas de conflito entre o potencial dos solos e o seu uso foram ampliadas, em detrimento das áreas em regime de preservação. As áreas com conflito nulo representavam cerca 52,94% da área de estudo em 1989, caindo para 45,12% em 2005, e em 2019 cobriam cerca de 43,20% dos municípios estudados. No modelo simulado para o ano de 2049 caíram para 42,97%, representando uma redução de 10,02%. Essa redução ocorre em função do aumento do desmatamento na área de estudo, uma vez que as áreas de conflito nulo são representadas no mapa de uso da terra como área florestal.

Figura 32 - Mapa de conflitos ambientais quanto ao uso e ocupação dos solos em regime de sequeiro, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049



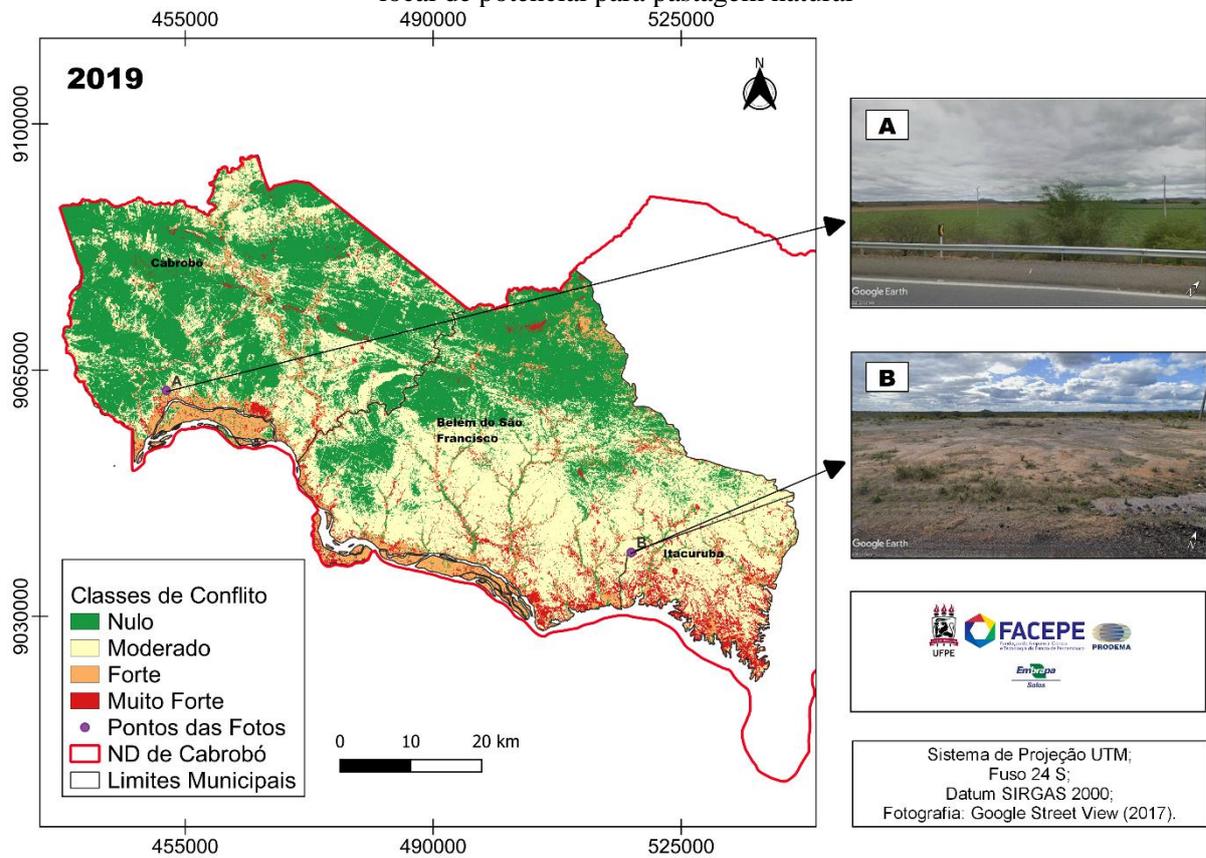
Fonte: Elaboração do autor.

O conflito de classe no nível moderado, teve um aumento expressivo durante os anos analisados. Pois, em 1989 representavam 37,19% da área de estudo, em 2005 estava em 41,81%, em 2019 compunha cerca de 42,53% da área de estudo, e no modelo do ano de 2049 representa 42,69%, contando com um aumento de 5,52% no período analisado. Esse conflito é manifestado pela presença da pastagem natural em áreas aptas para tal, mas com restrições a silvicultura. O pastoreio em regiões semiáridas pode impactar negativamente a cobertura vegetal do solo. Schulz *et al.* (2019) em estudo realizado nos municípios de Floresta e Itacuruba encontraram resultados que apontam que o pastoreio em alta intensidade reduziu significativamente a diversidade de árvores, nos extratos arbóreo e arbustivo, em comparação a áreas com nenhum ou pouco pastoreio.

Outro conflito que se pode observar o aumento dentro da área de estudo foi o da classe forte, onde estava representando cerca de 6,69% da área de estudo em 1989, em 2005 passou a ser 7,60% e atingindo 7,77% em 2019. No modelo previsto para 2049 essa classe atinge cerca de 8,09% da área de estudo, apresentando um crescimento de 1,40% no período analisado. Esse conflito pode ser representado pela agricultura estabelecida em áreas com aptidão para pastagem e pode ser observado na figura 33A localizada na rodovia BR-428, município de Cabrobó, onde há a presença de agricultura numa região de potencial para pastagem natural, dessa forma foi classificada com a classe de conflito Forte. Oliveira e Faria (2019), encontraram cerca de 4,75% de sua área de estudo com conflitos onde se pratica agricultura em áreas que deveriam ser destinadas à pastagem.

As áreas de conflito muito forte apresentaram um crescimento de 3,07 entre os anos de 1989 e o cenário previsto para o ano de 2049. Esse conflito pode ser representado por qualquer uso antrópico em área sem aptidão agrícola, áreas de solo exposto e área urbanizadas. Nesse sentido, é importante observar que a classe de uso da terra que mais influenciou esse crescimento foi as áreas de solo exposto, que cresceram, sobretudo, entre os anos de 1989 e 2019. Oliveira e Faria (2019), em estudo realizado na Microrregião Chapada dos Veadeiros encontraram em 2016 cerca de 7,52% de conflitos envolvendo uso antrópico em áreas sem aptidão agrícola. Valle Junior *et al.* (2013) ao estudar os conflitos entre o potencial de uso da terra e o uso atual na bacia hidrográfica do rio Uberaba encontraram conflitos extremos na ordem de 0,22% de sua área de estudo. Na figura 33B se observa uma área de solo exposto na BR-316, próxima aos limites de Belém do São Francisco e Itacuruba, sendo classificada como conflito Muito Forte.

Figura 33 – Mapa de conflitos ambientais quanto ao uso e ocupação dos solos em regime de sequeiro, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para o ano de 2019. 32 A – Área com uso agrícola em região com potencial para pastagem natural. 32 B – Área de solo exposto em local de potencial para pastagem natural



Fonte: Elaboração do Autor.

Portanto, é importante observar que nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE os conflitos de uso da terra em regime de sequeiro aumentaram entre os anos de 1989 a 2019, onde no ano de 2019 cerca de 56,8% da área de estudo se encontrou em algum tipo de conflito com o seu potencial de uso. Os resultados também indicam que a tendência é de que em 2049 esse número esteja em 57,03% dos municípios. Dessa forma, pode-se compreender que as áreas em que os conflitos se mostram mais acentuados são aquelas que estão mais vulneráveis a desertificação, uma vez que o uso do solo quando em conflito com o seu potencial tende a causar degradação ambiental.

7.3.2 Conflito de Uso Atual da Terra com o Potencial de Irrigação

Os resultados do cálculo dos conflitos entre o uso atual e o potencial dos solos, com a técnica da irrigação, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, podem ser encontrados na tabela 44.

Tabela 44 - Classes de conflitos obtidas por classificação por tabulação cruzada entre o uso potencial do solo para irrigação e Uso e ocupação do solo para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049 nos dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE

Classe de conflito entre o uso e o potencial dos solos	1989 (%)	2005 (%)	2019 (%)	2049 (%)
Nulo	52,94	45,12	43,20	42,97
Moderado	3,60	4,20	3,91	3,80
Forte	0,72	0,90	1,41	1,51
Muito Forte	5,50	7,88	8,84	8,88
Pastagem Natural	37,24	41,90	42,64	42,84

Fonte: Dados da pesquisa.

Ao longo dos trinta anos analisados, pôde-se notar o aumento das áreas de conflito entre o uso e o potencial dos solos para irrigação dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE. As áreas de conflitos juntas representavam 9,82% da área de estudo em 1989, e em 2019 passaram a ser de 14,16% dos municípios. Isso acontece devido as áreas em regime de preservação terem diminuído de 52,94% em 1989, para 45,12% em 2005, chegando a 43,20% em 2019, e podendo atingir 42,97% em 2049.

Nesse sentido, o conflito de classe em nível moderado, que representa áreas que tem potencial geral médio para irrigação e estão sob uso de agricultura, aumentou sua representatividade entre os anos de 1989 e 2019. Pois, em 1989 representava cerca de 3,60% da área de estudo, em 2005 cobria cerca de 4,20%, e em 2019 recuando levemente para 3,91% dos municípios estudados, e com a mesma tendência atingindo 3,80% em 2049.

Enquanto, a classe de conflito forte, esteve presente em 0,72% dos municípios em 1989, passou para 0,90% em 2005, alcançando 1,41% de cobertura no ano de 2019, e pode chegar a 1,51% no ano de 2049. Nesse diapasão, as áreas de conflito forte representam as áreas que estão sob uso agrícola em regiões de potencial geral para irrigação baixo. Nessas áreas a depender do nível tecnológico pode haver alto risco de salinização e baixo rendimento para os agricultores. Porém, convém lembrar que na área de estudo predomina a agricultura familiar e não os grandes empreendimentos agrícolas.

A classe muito forte em 1989 representou 5,50%, chegando a 7,88% em 2005, e tendo sido ampliada para 8,84% no ano de 2019, e pode chegar a 8,88% da área de estudo no ano de 2049. Essa classe representa as regiões onde há a presença da agricultura assentada sob solos com potencial geral muito baixo para irrigação, associado também a áreas de solo exposto, que já representam áreas possivelmente degradadas, e áreas urbanizadas. Nessas regiões os rendimentos da agricultura seriam muito baixos e também haveria grande risco de salinização,

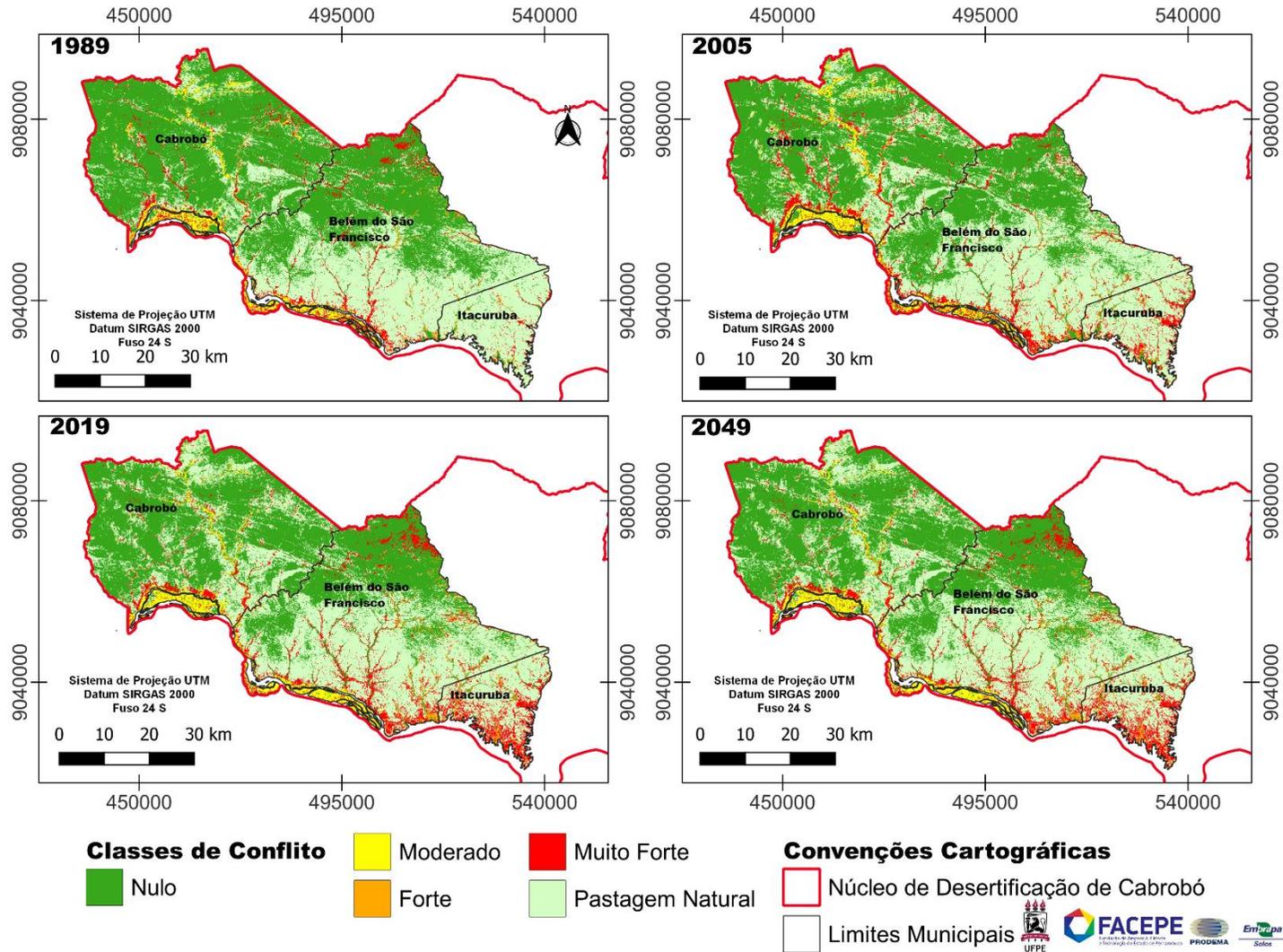
mesmo com a água de alta qualidade do rio São Francisco e com técnicas de drenagem, haja vista que em sua maioria os solos onde essa classe de conflito estão assentadas são solos salinos e sódicos naturalmente.

A figura 34 apresenta a espacialização dos conflitos entre o potencial para irrigação e o uso da terra nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049. Pode-se observar que os conflitos foram ampliados, onde a natureza nesses municípios impõe determinadas limitações para o uso da técnica da irrigação. Dessa forma, o seu uso entra conflito com o potencial do solo, e pode levar pressão sob os seus recursos, levando-o a degradação, contribuindo com os processos de desertificação.

Portanto, pode-se notar que sob o prisma da irrigação há a previsão do aumento de áreas em conflito na área de estudo, uma vez que em 2019 cerca de 10,25% da área se encontrou com conflitos na ordem de forte e muito forte, e com tendência de ampliação para o ano de 2049. Contudo, se o ordenamento territorial nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba incorporar as considerações acerca do potencial para irrigação, pode-se evitar o aumento dos conflitos e assim utilizar as áreas que possuem o maior potencial.

Convém ressaltar que na área de estudo predomina a agricultura familiar em detrimento de grandes empreendimentos comerciais. Isso significa que há limitações no que tange a capacidade de investimentos, contudo há também margem para atuação do Estado no sentido de dar suporte técnico e financeiro aos agricultores para o melhor aproveitamento das áreas que possuem maior potencial geral para irrigação, uma vez que com o PISF há maior possibilidade de irrigação com água de maior qualidade.

Figura 34 - Mapa de conflitos ambientais quanto ao uso e ocupação dos solos sob irrigação, dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE para os anos de 1989, 2005, 2019 e 2049



Fonte: Elaboração do autor.

7.4 CONCLUSÕES

Ao examinar os conflitos na área de estudo em regime de sequeiro, observou-se um crescimento dos conflitos de classe moderada em detrimento de áreas em regime de preservação ambiental, associados também ao aumento de conflitos de grau forte, e muito forte. Sob a técnica de irrigação também houve aumento das áreas de conflitos dentro das classes em nível moderado, forte e muito forte. De modo geral, os conflitos mais extremos estão associados sobretudo a áreas de solo exposto, o que aponta, possivelmente, para degradação do solo na área de estudo, uma vez que o solo exposto está mais vulnerável a fenômenos como a erosão.

A análise dos dados indica que ao longo dos últimos 30 anos o uso do solo, seja sob regime de sequeiro, seja com o uso da irrigação, tem aumentado a pressão sob os recursos naturais, e pode levá-los à degradação ambiental. Dessa forma, recomenda-se que o uso da terra seja realizado respeitando as limitações e potencialidades do solo, a fim de evitar sua degradação.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resultado da análise da aptidão agrícola em regime de sequeiro para os municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE apontou que cerca de 100% das unidades de mapeamento de solo não podem ser aproveitadas com lavouras de forma sustentável. Cerca de 96,01% são terras com aptidão restrita para a pastagem natural e 3,99% são terras recomendadas para preservação da flora e da fauna.

No que se refere ao potencial para irrigação, foram identificadas três classes dentro dos limites da área de estudo. Em torno de 20,71% das terras possui potencial médio para a irrigação, cerca de 24,74% foi classificada com potencial baixo, e aproximadamente 54,55% da região apresenta potencial muito baixo para o emprego da técnica da irrigação.

Com relação ao uso e cobertura da terra, entre os anos de 1989 e 2019 aumentou a presença das classes de uso relacionadas a agricultura (+0,99%) alinhada ao crescimento em maior ordem das áreas de pastagem natural (+5,4%) e em detrimento das áreas florestais (-9,46%), com incremento de +3,25% para a classe de solo exposto, o que indica que o uso do solo está gerando pressão a esse recurso. O uso do Qgis se mostrou eficiente na classificação das imagens, obtendo *kappa* muito bom e excelente para os mapas de uso da terra de 1989, 2005 e 2019.

O modelo com a previsão para o ano de 2049 aponta para uma tendência de manutenção do crescimento das áreas de agricultura (+0,28%) e pastagem natural (+0,20%) em detrimento das áreas florestais (-0,24%) entre os anos de 2019 e 2049. A matriz de probabilidade de mudanças das classes de uso da terra apontou para as classes de pastagem natural, solo exposto e área florestal como as de maior tendência de mudanças. O modelo de predição para o ano de 2019 obteve coeficiente *kappa* de 0,61, apontando para um grau de concordância muito bom com o mapa real de 2019. Dessa forma, o Qgis se mostrou como uma ferramenta com precisão para a realização de modelagem preditiva por meio do plugin “molusce”.

Tendo em vista as limitações e potencialidades do meio físico natural dos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE, e o uso e cobertura da terra predominante entre os anos de 1989, 2005, 2019, e modelo para o ano de 2049, nota-se a intensificação de conflitos entre o uso atual e o uso potencial dos solos, o que contribui com a degradação ambiental. Os conflitos de uso da terra podem levar à degradação do solo, já que sob o uso da irrigação nas lavouras o solo pode ser induzido a salinização, e a pastagem natural em alta intensidade leva ao sobrepastoreio. Portanto, o aumento das áreas de solo exposto demonstra a degradação ambiental em função das mudanças de uso do solo e retirada da cobertura vegetal.

Para o ecossistema da caatinga, a intensificação dos conflitos de uso da terra pode significar um aumento de sua degradação, onde tanto fauna quanto flora podem ser reduzidos cada vez mais.

Diante dessa realidade, a preocupação com a degradação da terra nos municípios de Belém do São Francisco, Cabrobó e Itacuruba-PE deve ser intensificada. Pois os conflitos de uso da terra contribuem com o processo da desertificação, uma vez que o uso do solo em muitas áreas dos municípios estudados está sob pressão. E essa preocupação pode ser redobrada, pois, a meta 15.3 dos ODS fixa o combate à desertificação e a luta para alcançar a neutralidade em termos de degradação do solo. No entanto, os resultados indicam que até o ano de 2019 a tendência é do aumento dos conflitos e da degradação ambiental. Por fim, a modelagem preditiva poderá contribuir para o entendimento de como o uso do solo estará no ano de 2049, considerando o cenário onde os conflitos que levam a degradação serão intensificados.

Cabe destacar que, as mudanças climáticas podem intensificar ainda mais as limitações às práticas em regime de sequeiro, e as águas do São Francisco podem gerar ganhos sociais enquanto medida mitigadora das mudanças climáticas. Contudo, o seu uso para irrigação deve ser realizado nas áreas de maior potencial, com técnicas de drenagem a fim de evitar a salinização na área de estudo. Dessa forma, recomenda-se a atuação do Estado no que se refere a suporte técnico aos agricultores no desenvolvimento da agricultura irrigada e também na organização do espaço produtivo da área de estudo a fim de ocupar as áreas de maior potencial e não submeter ao uso da irrigação áreas com menor potencial, gerando conflitos entre o potencial e o uso atual da terra.

REFERÊNCIAS:

- ABBAS, Z.; YANG, G.; ZHONG, Y.; ZHAO, Y. Spatiotemporal change analysis and future scenario of LULC using the CA-ANN approach: a case study of the Greater Bay Area, China. **Land**, v. 10, n. 6, p. 584, 2021.
- AGENCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Hidroweb**, 2021. Séries Históricas de Estações. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 15/11/2021.
- AGENCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento Pluviométrico**, 2021. Séries Históricas de Estações. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em: 16/11/2021.
- AGENDA 2030. **ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável**, 2015. Disponível em: <http://www.agenda2030.com.br/>. Acesso em: 06 de agosto de 2022.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). **Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation**, version 1.0, 97p., 2002.
- ALVES, J. E. D. Os 70 anos da ONU e a agenda global para o segundo quinquênio (2015-2030) do século XXI. **Revista Brasileira de Estudos de População**, v. 32, n. 3, p. 587-598, 2015.
- AMARAL, F. C. S.; et al. Potencial das terras do Projeto Jequitai (MG) para o cultivo da cana-de-açúcar sob três sistemas de irrigação. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento - Embrapa Solos**. Rio de Janeiro. 27 p, 2014.
- AMARAL, F. C. S. (Ed.) **Sistema Brasileiro de Classificação de Terras para Irrigação: enfoque na região semiárida**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011.
- ARAÚJO FILHO, J. C. de; BARROS, A. H. C.; GALVÃO, P. V. M.; TEIXEIRA, W. G.; LIMA, E. de P.; VICTORIA, D. de C.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de; XAVIER, J. P. de S.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; BACA, J. F. M.; MONTEIRO, J. E. B. de A.; OLIVEIRA, F. C. S. F. de; SILVA FILHO, A. D. da; BARROS, J. P. F. G. **Avaliação, predição e mapeamento de água disponível em solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2022 (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 282).
- ARAÚJO FILHO, J. C.; MARQUES, F. A.; SANTOS, J. C. P. dos; PARAHYBA, R. da B. V.; AMARAL, A. J.; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SIVAL NETO, L. de F. da. **Zoneamento pedoclimático da área de influência do canal das vertentes litorâneas da Paraíba: potencial de terras para irrigação**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2021 (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Solos).
- ARAÚJO FILHO, J. C.; BURGOS, N.; LOPES, O. F.; SILVA, F. H. B. B.; MEDEIROS, L. A. R.; MELO FILHO, H. F. R.; PARAHYBA, R. B. V.; CAVALCANTI, A. C.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SILVA, F. B. R.; LEITE, A. P.; SANTOS, J. C. P.; SOUSA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; LUZ, L. R. Q. P.; LIMA, P. C.; REIS, R. M. G.; BARROS, A. H. C. **Levantamento de reconhecimento de baixa e média intensidade dos solos do estado de**

Pernambuco. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 378 p. (Embrapa Solos. Boletim de Pesquisa, 11).

ARAÚJO, Edmaíris Rodrigues et al., Balanço sazonal de água no solo para manejo da irrigação de milho no semiárido de Alagoas. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 16, n. 3, p. 253-258, 2021.

ARAÚJO, J. A. de; SOUZA, R. F. de. Abordagens sobre o processo de desertificação: uma revisão das evidências no Rio Grande do Norte. **Geosul**, v. 32, n. 65, p. 122-143, 2017.

ARAÚJO, J. M. S.; OLIVEIRA, H. A. de.; BEZERRA, H. N.; SILVA, P. C. M. da. Determinação da aptidão agrícola da microrregião de Mossoró-RN. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, v. 21, n. 2, p. 148-158, 2013.

ARRAES, L. C; BUENO, C. R. P.; PISSARRA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, Uberlândia v. 26, n. 6, p.849-857, 2010.

ASSIS, J. M. O.; CALADO, L. O.; SOUZA, W. M.; SOBRAL, M. C. Mapeamento do uso e ocupação do solo no município de Belém de São Francisco – PE nos anos de 1985 e 2010. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 5, p. 859-870, 2014.

BACANI, V. M.; SAKAMOTO, A. Y.; QUÉNOL, H.; VANNIER, C.; CORGNE, S.. Markov chains–cellular automata modeling and multicriteria analysis of land cover change in the Lower Nhecolândia subregion of the Brazilian Pantanal wetland. **Journal of applied remote sensing**, v. 10, n. 1, p. 016004-016004, 2016.

BARBOSA NETO, M. V.; ARAÚJO, M. do S. B.; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SAMPAIO, E. V. de S. B.; ALMEIDA, B. G. de. Rill and sheet soil erosion estimation in an area undergoing desertification in the Brazilian semi-arid region. **Modeling Earth Systems and Environment**, v. 7, n. 2, p. 1183-1191, 2021.

BARBOSA NETO, M. V.; ARAÚJO, M.; ARAÚJO FILHO, José Coelho. Zoneamento do potencial agrícola dos solos de uma área de cultivo na Zona da Mata de Pernambuco. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2017.

BARBOSA NETO, M. V.. **Zoneamento da aptidão agrícola e uso dos solos da área do médio curso do rio Natuba – PE.** 2011. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

BARBOSA NETO, M. V.; ARAÚJO, M. S. B. de. Aptidão agrícola dos solos da bacia do rio Natuba-PE com a utilização de sistemas de informação geográfica. **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO–SBSR**, v. 15, p. 9195-9202, 2011.

BARBOSA, T. da C. S.; OLIVEIRA, V. P. V. de. Áreas suscetíveis à desertificação no Ceará: aspectos ambientais dos municípios de Tauá-CE e Irauçuba-CE Susceptible areas to desertification in Ceará: environmental aspects of the municipalities of Tauá-CE and Irauçuba-CE. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 7, p. 52330-52349, 2022.

BATISTA, P. H. D.; FEITOSA, A. K.; LEITE, F. E.; SALES, M. M.; SILVA, K. B. Avaliação da qualidade das águas dos rios São Francisco e Jaguaribe para fins de irrigação. **Agropecuária Científica no Semiárido**, v. 12, n. 1, p. 48-54, 2016. Disponível em:

<https://www.tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/09/Avalia%C3%A7%C3%A3o-da-qualidade-das-%C3%A1guas-dos-rios-S%C3%A3o-Francisco-e-Jaguaribe-para-fins-de-irriga%C3%A7%C3%A3o.pdf>.

BENNEMA, J.; BEEK, K. J.; CAMARGO, M. N. **Um sistema de classificação de capacidade de uso da terra para levantamento de reconhecimento de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura/FAO, 1964.

BERTONI, J. C.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo, 4. ed. São Paulo: Editora Ícone, Coleção Brasil Agrícola, 335 p.,1999.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília, DF, 2007. 134 p.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil**. Brasília, DF, 2005.

BUSSO, Carlos Alberto; FERNÁNDEZ, Osvaldo A. Arid and semiarid rangelands of Argentina. In: GAUR, M. K.; SQUIRES, V. R.. **Climate variability impacts on land use and livelihoods in drylands**. 1º edição. Nova York: Springer Cham, 2017. p. 261-291.

CÂMARA, E. R. G.; SANTOS, J. C. B. dos; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SHULZE, S. M. B. B.; CORREA, M. M.; FERREIRA, T. O.; SOUSA, J. E. S. de; SOUZA JÚNIOR, V. S. de et al., Parent rock–pedogenesis relationship: How the weathering of metamorphic rocks influences the genesis of Planosols and Luvisols under a semiarid climate in NE Brazil. **Geoderma**, v. 385, p. 114878, 2021.

CÂMARA, Elis Regina Guimarães. **Caracterização e pedogênese de luvisolos e planossolos no núcleo de desertificação de Cabrobó, Pernambuco**. 2015. Dissertação de Mestrado (Mestrado em ciência do solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

CASTRO, F. C.; SANTOS, A. M. dos; ARAÚJO, J. F.. Salinização dos Solos e Práticas Agrícolas na Comunidade Quilombola de Cupira em Santa Maria da Boa Vista, Pernambuco–Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, p. e174478-e174478, 2021.

CEARÁ. Secretaria de Recursos Hídricos. **Programa de Ação Estadual de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca, PAE-CE**. Fortaleza: Ministério do Meio Ambiente / Secretaria dos Recursos Hídricos, 2010.

COELHO, V. H. R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALMEIDA, C. N.; LIMA, E. R. V.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA, G. S. S.. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 64-72, 2014.

CORREIA FILHO, W. L. F.; SANTOS, T. V. dos; DIOGO, A. M.; AMORIM, R. F. C. de. Diagnóstico da Precipitação e EVI em Dois Eventos de Seca no Nordeste do Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 35, p. 102-112, 2018.

COSTA, F. R. da; ALBUQUERQUE, B. C. D. de. Perímetros irrigados, comunidade e sustentabilidade: uma revisão de literatura. **Cadernos Cajuína**, v. 5, n. 3, p. 498-513, 2020.

COSTA, P. V. M. da; OJIMA, R.. Transposição do rio São Francisco e a vulnerabilidade sociodemográfica: desafios ao bem-estar da população sertaneja. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, 2020.

D'ODORICO, P.; BHATTACHAN, A.; DAVIS, K. F.; RAVI, S.; RUNYAN, C. W.. Global desertification: drivers and feedbacks. **Advances in water resources**, v. 51, p. 326-344, 2013.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do ribeirão das perobas. **Revista Energia na agricultura**, Botucatu, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014

DENARDIN, J.E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1990. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, ESALQ, 1990.

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-PB. **Precipitação, Temperatura Média, Temperatura Máxima, Temperatura Mínima e Umidade Relativa do ar para os Estados do Nordeste do Brasil e Radiação Solar para a Paraíba**, 2021. Dados Climatológicos do Estado de Pernambuco. Disponível em: <http://www.dca.ufcg.edu.br/clima/dadospe.htm>. Acesso em: 17/11/2021.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **VGeo – Visualizador de Dados do DNITGeo**, 2022. Disponível em: <https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>. Acesso em: 03/11/2022

DICKER, G. et al. O combate à desertificação e a mitigação dos efeitos da seca: uma abordagem sobre o PAN-Brasil. **Big Push para a Sustentabilidade no Brasil**. Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) das Nações Unidas. 2020

DUARTE, Miqueias Lima; SILVA, Tatiana Acácio; COSTA, Heron Salazar. MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA, E PREVISÃO DE CENÁRIOS FUTUROS EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA NA REGIÃO SUL DO ESTADO DO AMAZONAS. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 71, p. 1097-1097, 2022.

ESTADOS UNIDOS. Department of agriculture. Soil conservation Service. Soil Survey Staff. **Soil Survey manual**. Washington. 1951. 503p. (USDA Agriculture Handbook, 18).

ESTEVES, P. M. da S. V.; ARAÚJO, S. M. S.. Abordagens científicas internacionais sobre desertificação: estudo bibliométrico utilizando dados da Web of Science (WOS) entre 2015 e 2020. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 6, 2021.

FAO. **A Framework for land evaluation**. Soils Bulletin 32. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1976. vii, 72 p. ISBN 92 5 100111 1.

FARIAS, P. L. C.; VIEIRA, B. H. R.. Atuação do estado de Pernambuco no combate aos efeitos da desertificação (Performance of the state of Pernambuco at the combat to effects of desertification). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 562-573, 2019.

FENG, Q.; MA, H.; JIANG, X.; WANG, X.; CAO, S.. What has caused desertification in China?. **Scientific reports**, v. 5, n. 1, p. 1-8, 2015.

FERNANDES, Milton Marques et al. Assessment of land use and land cover changes and valuation of carbon stocks in the Sergipe semiarid region, Brazil: 1992–2030. **Land use policy**, v. 99, p. 104795, 2020.

FERREIRA, P. A.; SILVA, J. B. L.; RUIZ, H. A. Aspectos físicos e químicos de solos em regiões áridas e semiáridas. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2º ed. Fortaleza-CE: INCTSal, P. 9 – 15. 2016.

FIGUEIREDO, Geíza Coutinho; VIEIRA, Carlos Antonio Oliveira. Estudo do comportamento dos índices de Exatidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 13, p. 5755-5762, 2007.

FONSECA, R. F.; NASCIMENTO, K. S. ; MEDEIROS, F. F.. CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA NA REGIÃO TROPICAL EM CONDIÇÕES DE EL NIÑO E LA NIÑA E SUA INFLUÊNCIA NA PLUVIOSIDADE DO SEMIÁRIDO NORDESTINO. **Educação, Ciência e Saúde**, v. 9, n. 1, 2022.

FRANCISCO, Paulo RM et al. Irrigation potential of land in the middle course of the Paraíba River using geotechnologies. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 12, n. 02, p. 45-55, 2022.

FRANCISCO, Paulo Roberto Megna et al. Detecção de mudança da vegetação de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 6, p. 1473-1487, 2012.

GALINDO, Izabel Cristina de Luna et al. Relações solo-vegetação em áreas sob processo de desertificação no município de Jataúba, PE. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 1283-1296, 2008.

GOMES, H. A.; SANTOS, E. J. (Org.). **Geologia e recursos minerais do estado de Pernambuco**. Recife: CPRM, 2001. 214p

GOOGLE EARTH. **Google Earth Website**, 2023. Disponível em: <https://earth.google.com/web/@-8.83249753,-38.78081382,721.34055412a,597582.46831879d,35y,0h,0t,0r>. Acesso em 04/01/2023

GRILLI, E.; CARVALHO, S. C. P.; CHITI, T.; COPPOLA, E.; D'ASCOLI, R.; MANTIA, T. L.; MARZAIOLI, R.; MASTROCICCO, M.; PULIDO, F.; RUTIGLIANO, F. A.; QUATRINI, P. CASTALDI, S.. Critical range of soil organic carbon in southern Europe lands under desertification risk. **Journal of Environmental Management**, v. 287, p. 112285, 2021.

HAN, Huiran; YANG, Chengfeng; SONG, Jinping. Scenario simulation and the prediction of land use and land cover change in Beijing, China. **Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 4260-4279, 2015.

HELLDÉN, U.; TOTTRUP, C.. Regional desertification: A global synthesis. **Global and Planetary Change**, v. 64, n. 3-4, p. 169-176, 2008.

HENDGES, Elvis Rabuske; FOLLADOR, Franciele Aní Caovilla; ANDRES, Juliano. Estudo de correlação entre o uso e cobertura da terra com a temperatura de superfície registrada pelo satélite Landsat 8. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 338-347, 2022.

HILL, J.; STELLMES, M.; UDELHOVEN, T.; RODER, A.; SOMMER, S.. Mediterranean desertification and land degradation: Mapping related land use change syndromes based on satellite observations. **Global and Planetary Change**, v. 64, n. 3-4, p. 146-157, 2008.

HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, n. 83, p. 195-213, 2002.

IBGE. **Banco de Dados e Informações Ambientais**, 2023. Banco de Dados. Disponível em: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso em: 17/01/2023.

_____. PANORAMA BELÉM DO SÃO FRANCISCO. **IBGE Cidades**, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/belem-do-sao-francisco/panorama>. Acesso: 22/08/2022a.

_____. PANORAMA CABROBÓ. **IBGE Cidades**, 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/cabrobo/panorama>. Acesso: 22/08/2022b.

_____. PANORAMA ITACURUBA. **IBGE Cidades**, Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/itacuruba/panorama>. Acesso: 22/08/2022c.

_____. Sistema IBGE de Recuperação Automática SIDRA. **Censo agropecuário 2017: resultados definitivos**. Rio de Janeiro, 2019.

_____. Coordenação Geral de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. Ed. Governo Federal, Rio de Janeiro. 2015.

IDE, Andre Keiiti; ANDRADE, Marcia Cristiane Kravetz. Impactos da perenização do Riacho Terra Nova na agricultura irrigada do município de Cabrobó/PE. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 6, 2017.

INÁCIO, D. R.; BARBOZA, D. V.; BRUNO, S. F.. Sensoriamento Remoto e uso e Cobertura da Terra: Uma Revisão sobre Monitoramento. **Revista FSA**, v. 17, n. 11, 2020.

INSTITUTO NACIONAL DO SEMIÁRIDO (INSA). **O semiárido Brasileiro – Instituto Nacional do Semiárido**, 2022. Descrição do Semiárido Brasileiro. Disponível em: <https://www.gov.br/insa/pt-br/semiariado-brasileiro>. Acesso em: 15/12/2022

JACOMINE, P. K. T.; CAVALCANTI, A. C.; BURGOS, N.; PESSOA, S. C. P.; SILVEIRA, C. O. da. **Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Estado de Pernambuco**. Recife: DNPEA: SUDENE, 1972. 2 v. (DNPEA. Boletim técnico, 26; SUDENE. Pedologia, 14).

JIANG, Song et al. Spatial-temporal pattern of land use conflict in China and its multilevel driving mechanisms. **Science of The Total Environment**, v. 801, p. 149697, 2021.

JIANG, Z.; LIAN, Y.; QIN, X.. Rocky desertification in Southwest China: impacts, causes, and restoration. **Earth-Science Reviews**, v. 132, p. 1-12, 2014.

JONG, Pieter et al. Hydroelectric production from Brazil's São Francisco River could cease due to climate change and inter-annual variability. **Science of the Total Environment**, v. 634, p. 1540-1553, 2018.

KAMARAJ, Manikandan; RANGARAJAN, Sathyanathan. Predicting the future land use and land cover changes for Bhavani basin, Tamil Nadu, India, using QGIS MOLUSCE plugin. **Environmental Science and Pollution Research**, p. 1-12, 2022.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes. 1928. Wallmap 150cmx200cm.

KOUBA, Y.; GARTZIA, M.; AICH, A. E.; ALADOS, C. L.. Deserts do not advance, they are created: Land degradation and desertification in semiarid environments in the Middle Atlas, Morocco. **Journal of Arid Environments**, v. 158, p. 1-8, 2018.

LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. **Biometrics**, p. 363-374, 1977.

LECHNER, Alex M.; FOODY, Giles M.; BOYD, Doreen S. Applications in remote sensing to forest ecology and management. **One Earth**, v. 2, n. 5, p. 405-412, 2020.

LEPSCH, I.F. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LIMA, J. A. G. **Adequação do sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras às condições edafoclimáticas do semiárido**. 2016. Dissertação de mestrado (Mestrado em Ciência do solo) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 2016.

LOPES, Alfredo Scheid. Manual internacional de fertilidade do solo. Piracicaba: **Potafos**, p. 79-85, 1998.

LOPES, Laryssa Sheydder de O.; SOARES, Rafael Celestino. Suscetibilidade à desertificação das terras secas de Gilbués (Estado do Piauí) e Cabrobó (Estado do Pernambuco), nordeste do Brasil. **Revista Geográfica de América Central**, v. 1, n. 56, p. 307-323, 2016.

LU, Y.; Wu, P.; MA, X.; LI, X.. Detection and prediction of land use/land cover change using spatiotemporal data fusion and the Cellular Automata–Markov model. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 2, p. 1-19, 2019.

LUCENA, J. A. **Dinâmica atmosférica e a precipitação pluvial no núcleo de desertificação de Cabrobó-PE**. 2017. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2017.

MAMED, D. D. O.; MARCHESAN, J.; BAZZANELLA, S. L. (2020). Natureza e desenvolvimento: questões para uma sociedade sustentável. **Natureza e desenvolvimento: questões para uma sociedade sustentável**. organizado por Danielle de Ouro Mamed, Jairo Marchesan, Sandro Luiz Bazzanella. - São Paulo, SP : Editora Liber Ars, 2020.

MAO, D.; WANG, Z.; WU, B.; ZENG, Y.; LUO, L.; ZHANG, B.. Land degradation and restoration in the arid and semiarid zones of China: Quantified evidence and implications from satellites. **Land Degradation & Development**, v. 29, n. 11, p. 3841-3851, 2018.

MAPBIOMAS. O projeto. **Mapbiomas Brasil**, 2023. Disponível em: <https://mapbiomas.org/o-projeto>. Acesso em: 04/01/2023.

MAPBIOMAS. Plataforma – MapBiomas Brasil. **Mapbiomas Brasil**, 2023. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 04/01/2023

MARKHAM, B. L. & BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

MARTÍNEZ-VALDERRAMA, J.; IBÁÑEZ, J.; BARRIO, G. D.; SANJUÁN, M. E.; ACALÁ, F. J.; MARTÍNEZ-VICENTE, S.; RUIZ, A.; PUIGDEFRÁBREGAS, J.. Present and future of desertification in Spain: Implementation of a surveillance system to prevent land degradation. **Science of the Total Environment**, v. 563, p. 169-178, 2016.

MATOSO, S. C. G.; ZAQUEO, K. D.; NÓBREGA, S. I. Applicability of the ‘Recommendations for Sustainable Land Use’ method for Brazilian tropical soils. **Tropical Conservation Science**, v. 9, n. 2, p. 699-717, 2016.

MEDEIROS, J. F. de; GHEYI, H. R.; COSTA, A. R. F. C. da; TOMAZ, H. V. de Q. Manejo do solo-água-planta em áreas afetadas por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2º ed. Fortaleza-CE: INCTSal, P. 319 – 333. 2016.

MEDEIROS, Raimundo Mainar; HOLANDA, Romildo Morant; ALEXANDRE, Mirella. Climate classification in Köppen model for the state of Pernambuco-Brazil. **Revista de Geografia** (Recife), v. 35, n. 3, 2018.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Brasília: CNPq, 2012.

MENEZES, Breno dos Santos. 2020. **Gênese e mineralogia de solos com horizonte B textural do estado de Sergipe**. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em engenharia agrônoma) – Universidade Federal de Sergipe, Nossa Senhora da Glória, Sergipe, 2020.

MENEZES, J. B.; ARAÚJO, M. do S. B. de; GALVÍNCIO, J. D. Aptidão agrícola dos solos de uma bacia no semi-árido de pernambuco, utilizando técnicas de geoprocessamento. **Revista de Geografia**. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 2007.

MUHAMMAD, R.; ZHANG, W.; ABBAS, Z.; GUO, F.; GWIAZDZINSKI, L.. Spatiotemporal change analysis and prediction of future land use and land cover changes using QGIS MOLUSCE plugin and remote sensing big data: a case study of Linyi, China. **Land**, v. 11, n. 3, p. 419, 2022.

OLIVEIRA JÚNIOR, I.; PEREIRA, A. J.; SILVA, B. C. M. N.. USO E COBERTURA DA TERRA NO TRÓPICO SEMIÁRIDO. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 69, p. 619-619, 2022.

OLIVEIRA, J.B.; JACOMINE, P.T.K.; CAMARGO, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil**. Funep. Jaboticabal, 201 p. 1992.;

OLIVEIRA, Lindomário Barros de et al. Morfologia e classificação de Luvissoles e Planossolos desenvolvidos de rochas metamórficas no semiárido do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p. 1333-1345, 2009.

OLIVEIRA, R. B. de; FARIA, K. M. S. de. Análise do conflito potencial de uso da terra na microrregião Chapada dos Veadeiros (GO): cobertura e uso versus aptidão agrícola. **Revista Elisée**. Porangatu–GO, v. 8, n. 1, p. 51-70, 2019.

OLIVEIRA, T. H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pós-graduação em geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2012.

OLIVEIRA, WM de; CHAVES, I. de B.; LIMA, ERV de. Índices espectrais de vegetação de caatinga em um neossolo litólico do semiárido paraibano. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 14, n. 2009, p. 2103-2110, 2009.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

PARK, C. H.; LI, X. R.; ZHAO, Y.; JIA, R. L.; HUR, J. S.. Rapid development of cyanobacterial crust in the field for combating desertification. **PLoS One**, v. 12, n. 6, p. e0179903, 2017.

PAULA, M. R.; CABRAL, J. B. P.; MARTINS, A. P. Uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento na caracterização do uso da terra da bacia hidrográfica da UHE Caçu–GO. **Revista Geonorte, Edição Especial**, v. 4, n. 4, p. 1482-1490, 2012.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F; TOCCHETTO, M. R, L. Aptidão agrícola das terras e agroecologia: ação combinada para uma agricultura sustentável. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA, 2.; SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE AGROECOLOGIA, 5.; SEMINÁRIO ESTADUAL SOBRE AGROECOLOGIA, 6., 2004, Porto Alegre. Agrobiodiversidade: base para sociedades sustentáveis: anais. Porto Alegre, 2004. 1 CD-ROM., 2004.

PEREIRA, N. R.; SCHUBACK, P. de A.; CARVALHO JUNIOR, W. C.. O uso de técnicas de geoprocessamento na detecção de áreas de incompatibilidade de uso, com base na aptidão agrícola das terras e o uso atual–estudo aplicado no município Engº Paulo Frotim. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 9, 1998.

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

PIRES, A. P. N.. Estrutura e objetivos da transposição do rio São Francisco: versões de uma mesma história. **GEOUSP Espaço e Tempo (Online)**, v. 23, n. 1, p. 182-197, 2019.

PIZARRO, F. **Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos**. Madri: Ed Agrícola Espanhola, 1978. 520 p.

POELKING, E. L. et al. Sistema de informação geográfica aplicado ao levantamento de solos e aptidão agrícola das terras como subsídios para o planejamento ambiental do município de Itaara, RS. **Revista Árvore**, v. 39, p. 215-223, 2015.

PRĂVĂLIE, R.. Drylands extent and environmental issues. A global approach. **Earth-Science Reviews**, v. 161, p. 259-278, 2016.

QUEIROZ, Alexandra Fernandes et al. Qualidade química e física de dois solos da região produtora de olerícolas em Casa Nova-BA. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 34., 2013. Florianópolis. Anais... Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2013., 2013.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPS, 1994.

RAMOS, A. W. P. et al. Análise da capacidade e conflito de uso da terra na bacia hidrográfica do Córrego da Piraputanga-MT, Brasil/Analysis of the capacity and conflict of land use in the Piraputanga-MT river basin, Brazil. **Caderno de Geografia**, v. 28, n. 55, p. 812-827, 2018.

REYNOLDS, J. F.; SMITH, D. M. S.; LAMBIN, E. F.; TURNER, B. L.; MORTIMORE, M.; BATTERBURY, S. P. J.; DOWNING, T. E.; DOWLATABADI, H.; FERNÁNDEZ, R. J.; WALKER, B.. Global desertification: building a science for dryland development. **science**, v. 316, n. 5826, p. 847-851, 2007.

RIBEIRO, Mateus R.; RIBEIRO FILHO, M. R.; JACOMINE, P. K. T. Origem e classificação dos solos afetados por sais. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2° ed. Fortaleza-CE: INCTSal, P. 9 – 15. 2016.

RIBEIRO, Mateus Rosas. A pedologia e o planejamento da irrigação no Nordeste do Brasil: uma avaliação crítica. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, v. 4, p. 83-88, 2007.

RICOBOM, A. E.; CANEPARO, S. C.. Metodologia para geração de mapeamentos preditivos utilizando a cadeia de Markov e autômatos celulares—área piloto: perímetro urbano de Paranaguá—Paraná—Brasil. **IV Simpósio Brasileiro de Geomática—SBG**, p. 300-308, 2017.

ROCHA FILHO, G. B; ARAÚJO FILHO, J. C.; CARVALHO, R. M. C. M. de O.; ARAÚJO, M. do S. B. de; FRUTUOSO, M. N. M. de A.; BRANDÃO, S. S. F.. Potencial agroecológico do município de Itacuruba, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 01, p. 172-184, 2016.

RODAL, M. J. N.; COSTA, K. C. C.; SILVA, A. C. B. L. Estrutura da vegetação caducifólia espinhosa (Caatinga) de uma área do sertão central de Pernambuco. **Hoehnea**, v. 35, n. 2, p. 209-217, 2008.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.6, p.133-137, 1998.

- RONQUIM, Carlos C. Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais. **Embrapa Territorial-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)**, 2010.
- ROSA, Roberto. **Introdução ao Geoprocessamento**. 1º edição. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia. 2013.
- ROSÁRIO, L.. Indicadores de desertificação para Portugal Continental. **DGRF-Direcção-Geral dos Recursos Florestais**: Lisbon, Portugal, 2004.
- SÁ, I. B.; ANGELOTTI, F. Degradação Ambiental e Desertificação no Semi-árido Brasileiro. In: Angelotti, F.; Sá, I. B.; Menezes, E. A.; Pellegrino, G. Q.. **Mudanças climáticas e desertificação no semiárido brasileiro**. 1º Edição. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2009, P. 53-76.
- SALIS, H. H. C. DE; COSTA, A. M. DA; VIANA, J. H. M. Estimativa da perda anual de solos na bacia hidrográfica do Córrego Marinheiro, Sete Lagoas- MG, por meio da RUSLE. **Boletim de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 101-115, 2019.
- SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, M. S. B.; SAMPAIO, Y. S. B. Impactos ambientais da agricultura no processo de desertificação no Nordeste do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 1, p. 90-112, 2005a.
- _____. Propensão à desertificação no semi-árido brasileiro. **Revista de Geografia**, v. 22, n. 2, p. 59-76, 2005b.
- SANTANA, Mayame de Brito. **Caracterização e classificação de solos na ilha de Assunção, Cabrobó – Pernambuco**. 2015. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.
- SANTOS, F. de A.; AQUINO, C. M. S. Panorama da desertificação no Nordeste do Brasil: características e suscetibilidades. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 2, n. 7, p. 144-161, 2016.
- SANTOS, F. de A.; AQUINO, C. M. S.. Panorama da desertificação no Nordeste do Brasil: características e suscetibilidades. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, p. 144-161, 2016.
- SANTOS, H. G.; JACOMINE, P.K.T.; ANJOS, L.H.C.; OLIVEIRA, V.A.; LUMBRERAS, J.F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J.A.; ARAÚJO FILHO, J.C.; OLIVEIRA, J.B.; CUNHA, T.J.F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356p.
- SANTOS, Jean Cheyson Barros dos et al. Caracterização de Neossolos Regolíticos da região semiárida do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 36, n. 3, p. 683-696, 2012.
- SANTOS, K. P. dos; SANTOS, A. M. dos. Uso da terra, cobertura vegetal e desertificação no Projeto de Irrigação N11-Petrolina-Pernambuco. **Terra plural**, v. 13, n. 2, p. 385-399, 2019.

SANTOS, L. A. C. et al. Conflitos de Uso e Cobertura do Solo para o Período de 1985 a 2017 na Bacia Hidrográfica do Rio Caldas-GO. *Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science*, v. 8, n. 2, p. 189-211, 2019.

SANTOS, Nielton Gonçalo Nunes dos. **Caracterização de solos do município de Sobradinho-BA para fins de uso, manejo e conservação**. 2015. Dissertação de Mestrado (Mestrado em engenharia agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro, 2015.

SANTOS, Pablo Grahl et al. Classificação de terras segundo sua capacidade de uso e identificação de conflito de uso do solo em microbacia hidrográfica. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, v. 11, n. 2, p. 146-157, 2012.

SANTOS, R. D.; LEMOS, R. C.; SANTOS, H. G.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. **Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo**. 5ª ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005. 100 p.

SANTOS, R. V. dos; CAVALCANTE, L. F.; VITAL, A. de F. M.; LACERDA, C. F. de; SOUZA, E. R. de; LIMA, G. S. de. Interação salinidade-fertilidade do solo. In: GHEYI, H. R.; DIAS, N. da S.; LACERDA, C. F. de; GOMES FILHO, E. (org.). **Manejo da Salinidade na Agricultura: Estudos Básicos e Aplicados**. 2º ed. Fortaleza-CE: INCTSal, P. 277 – 291. 2016.

SANTOS, Tiago de Oliveira. **Comunidades microbianas e estoque de carbono e nitrogênio em Luvisolo Crômico sob diferentes níveis de degradação no Semiárido do Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em ciência do solo) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. Classificação da aptidão agrícola das terras: um sistema alternativo. Guaíba: **Agrolivros**, 2007. 72p.

SCHULZ, K.; GUSCHAL, M.; KOWARIK, I.; ALMEIDA-CORTEZ, J. S. de; SAMPAIO, E. V. de S. B.; CIERJACKS, A.. Grazing reduces plant species diversity of Caatinga dry forests in northeastern Brazil. *Applied Vegetation Science*, v. 22, n. 2, p. 348-359, 2019.

_____. Grazing, forest density, and carbon storage: towards a more sustainable land use in Caatinga dry forests of Brazil. *Regional Environmental Change*, v. 18, n. 7, p. 1969-1981, 2018.

SILVA, A. K. de O.; SILVA, H. P de 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, B. C. G.; MACIEL, L. N. Q.; ARAÚJO, M. do S. B.. Limitações ao cultivo em áreas irrigadas de Belém de São Francisco, Estado de Pernambuco, Brasil. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 27, n. 2, p. 343-347, 2005.

SILVA, D. F. **Análise do potencial de perda de solo na área da bacia hidrográfica do Rio Jaboatão - PE**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em geografia) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2021.

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, F. B. R. e; RICÉ, G.R.; TONNEAU, J.P.; SOUZA NETO, N.C. de; LIMA BRITO, L.T. de; CORREIA, R.C.; CAVALCANTI, A.C.; BATISTA DA SILVA, F.H.B.; SILVA, A.B. da; ARAÚJO FILHO, J.C. de; LEITE, A.P. **Zoneamento agroecológico do Nordeste: diagnóstico do quadro natural e agrossocioeconômico**. Recife: Convênio EMBRAPA-CPATSA/ORSTOM-CIRAD,1993. 2v.

SILVA, F. B. R.; SANTOS, J. C. P.; SILVA, A. B.; CAVALCANTI, A. C.; SILVA, F. H. B. B.; BURGOS, N.; PARAHYBA, R. B. V.; OLIVEIRA NETO, M. B.; SOUSA NETO, N. C.; ARAÚJO FILHO, J. C.; LOPES, O. F.; LUZ, L. R. P. P.; LEITE, A. P.; SOUZA, L. G. M. C.; SILVA, C. P.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; BARROS, A. H. C. **Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco**: Recife, PE: Embrapa Solos – UEP Recife, 2001. (Embrapa Solos. Documentos, 35). 1 CD ROM.

SILVA, F. C. da S.; PINHEIRO, F. R.; SOUZA, I. V.; DUARTE, V. B. R.; SILVA, M. V. C. da.; PORTELLA, A.; GIONGO, M. Técnicas de sensoriamento remoto para delimitação de áreas queimadas no Tocantins através do processamento digital de imagens Landsat 8-TM. **Journal of Biotechnology and Biodiversity**, v. 8, n. 1, p. 006-011, 2020.

SILVA, Flávio Hugo Barreto Batista da et al. Principais solos do semi-árido do Nordeste do Brasil:" Dia de Campo". In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CURSO [SOBRE] MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 2., 2006, Juazeiro. Palestras... Juazeiro: MAPA; SFA-BA; Embrapa Semi-Árido; Embrapa Solos, 2006., 2006.

SILVA, Izaldo Pedro; BARBOSA NETO, Manuella Vieira. Aptidão agrícola dos solos da área da bacia hidrográfica do rio Goiana no estado de Pernambuco. **Acta Geográfica**, v. 14, n. 36, p. 78-99, 2020.

SILVA, L. F.; BACANI, V. M. Detecção de mudanças e modelagem preditiva do uso da terra e da cobertura vegetal do Pantanal de Aquidauana-MS. **Geosp – Espaço e Tempo**, v. 22, n. 2, p. 437-456, 2018.

SILVA, Maria Sonia Lopes et al. Caracterizacao de um solo submetido a irrigacao por pivo central no Semi-Árido do Brasil. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO, 15., CONGRESSO CUBANO DE LA CIENCIA DEL SUELO, 5., 2001, Varadero, Cuba. Resumos... Varadero: Sociedad Cubana de la Ciencia del Suelo, 2001., 2001.

SILVA, P. C. G.; MOURA, M. S. B.; KIILL, L. H. P.; BRITO, L. T. L.; PEREIRA, L. A.; SÁ, L. B.; CORREIA, R. C.; TEXEIRA, A. H. C.; CUNHA, T. J. F.; GUIMARÃES FILHO, C.. Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SÁ L. B.; SILVA, P. C. G. da. **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. 1º edição. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010, p. 17-49.

SILVEIRA, N. T.; SILVEIRA, H. T.; TIBÚRCIO, I. M.; GALVÍNCIO, J. D.. Avaliação da qualidade da água do reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 06, p. 2866-2877, 2022.

SIVAKUMAR, M. V. K. Interactions between climate and desertification. **Agricultural and forest meteorology**, v. 142, n. 2-4, p. 143-155, 2007.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNIO, J. D. Indicadores climáticos de desertificação na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, 2018.

SOARES, D. B.; MOTA FILHO, F. de O.; PASSOS, C. R. F.; BORGES FILHO, E. F. de A.. Degradação dos solos por sais em Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 05, p. 1621-1628, 2016.

SOARES, D. B.; MOTA FILHO, F. O.; NÓBREGA, R. S. Sobre o processo de desertificação. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 1, p. 174-178, 2011

SOBRAL, Lafayette Franco et al. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solos. **Embrapa Tabuleiros Costeiros-Documents (INFOTECA-E)**, 2015.

SOUSA, A. K. de O. et al. Análise comparativa da diversidade florística de dois núcleos de desertificação no semiárido nordestino. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 2, p. 950-960, 2016.

SOUSA, M. G.; ARAÚJO, J. K. S.; FERREIRA, T. O.. ANDRADE, G. R. P.; ARAÚJO FILHO, J. C.; FRACETTO, G. G. M.; SANTOS, J. C. B.; FRACETTO, F. J. C.; LIMA, G. K.; SOUZA JUNIOR, V.. Long-term effects of irrigated agriculture on Luvisol pedogenesis in semi-arid region, northeastern Brazil. **Catena**, v. 206, p. 105529, 2021.

SOUZA, Rômulo Vinícius Cordeiro Conceição de et al. Caracterização de solos em uma topoclimossequência no Maciço de Triunfo-Sertão de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1259-1270, 2010.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE – SUDENE. **Delimitação do Semiárido – 2021**. Recife, PE: SUDENE, 2021.

SYMEONAKIS, E.; KARATHAANANIS, N.; KOUKOULAS, S.; PANAGOPOULOS, G.. Monitoring sensitivity to land degradation and desertification with the environmentally sensitive area index: The case of lesvos island. **Land Degradation & Development**, v. 27, n. 6, p. 1562-1573, 2016.

TAVARES, V. C.; ARRUDA, Í. R. P. de; SILVA, D. G. da. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J.R. **The water balance**: publications in climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104 p.

TOLKIEN, J. R. R.. **O Senhor dos Anéis: O Retorno do Rei**. 1º Edição. Rio de Janeiro: Harper Collins Brasil, 2019.

TOMASELLA, J.; VIEIRA, R. M. S. P.; BARBOSA, A. A.; RODRIGUEZ, D. A.; SANTANA, M. de O.; SESTINI, M. F. 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.

TOPODATA. **Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil**, 2021. Mapa Índice Topodata. Disponível em: <http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>. Acesso em: 07/12/2021.

UNITED NATIONS CONVENTION TO COMBAT DESERTIFICATION (UNCCD). **Global Land Outlook: First Edition**. Bonn: UNCCD, 2017.

United States Geological Survey (USGS). Landsat Satellite Missions. **U. S. Geological Survey**, 2023. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>. Acesso em: 03/01/2023

United States Geological Survey (USGS). **EarthExplorer**, 2022. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 22/07/2022

VALERIANO, M.M. **Topodata: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. INPE-15318-RPQ/818.

VALLADARES, G. S.; ROCHA JÚNIOR, A. F.; AQUINO, C. M. S.. Caracterização de solos no núcleo de desertificação de Gilbués, Piauí, Brasil, e sua relação com os processos de degradação. **Physis Terrae-Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente**, v. 2, n. 1, p. 115-135, 2020.

VALLE JUNIOR, R. F. et al. Diagnóstico do conflito de uso e ocupação do solo na bacia do rio Uberaba. **Global Science and Technology**, v. 6, n. 1, 2013.

VALLE JUNIOR, R. F.. **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 2008. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Processos de desertificação ocorrentes no Nordeste do Brasil: sua gênese e sua contenção**. Recife: Convênio SEMA/SUDENE, 1982.

VIEIRA, R. M. da S. P.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUEZ, D. A.; REZENDE, F. S. D.; CARRIELLO, F.; SANTANA, M. D. O. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: Current trends and future scenarios. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 1, p. 224-240, 2021.

VIEIRA, R. M. da S. P.; CUNHA, A. P. M. do A.; BARBOSA, A. A.; RIBEIRO NETO; G. G.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. dos S.; SANTOS, F. C.; SANTANA, M. de O. Análise das interações entre dados climáticos e o processo de desertificação no núcleo de desertificação de Cabrobó-PE, Brasil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 9, n. 2, p. 72-87, 2018.

VIEIRA, R. M. da S. P.; TOMASELLA, J.; ALVALÁ, R. C. S.; SESTINI, M. F.; AFFONSO, A. G.; RODRIGUES, D. A.; BARBOSA, A. A.; CUNHA, A. P. M. A.; VALLES, G. F.; CREPANI, E.; OLIVEIRA, S. B. P., SOUZA, M. S. B.; CALIL, P. M.; CARVALHO, M. A.; VALERIANO, D. M.; CAMPELLO, F. C. B.; SANTANA, M. O. Identifying areas susceptible to desertification in the Brazilian northeast. **Solid Earth**, v. 6, n. 1, p. 347-360, 2015.

VIGLIO, Eduardo Paim; CUNHA, Fernanda Gonçalves da. **O Atlas Geoquímico da Bacia do rio São Francisco**: Minas Gerais. Belo Horizonte: CPRM, v. 238, 2019.

WEISS, Marie; JACOB, Frédéric; DUVEILLER, Grgory. Remote sensing for agricultural applications: A meta-review. **Remote sensing of environment**, v. 236, p. 111402, 2020.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971

XAVIER, J. P. de S.; TAVARES, K. C. de; LISTO, D. G. da S.; LISTO, F. de L. R. Erosões lineares no semiárido pernambucano: avaliação de uma parcela erosiva em microescala na depressão São Franciscana. **Revista de Geociências do Nordeste**, v. 6, n. 2, p. 106-111, 2020.

XAVIER, JP de S. et al. Estimativa da erosividade da chuva por diferentes métodos e seu impacto na equação universal de perdas de solo, no semiárido pernambucano. **Embrapa Solos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2019.

XIE, L. W.; ZHONG, J. CHEN, F. F.; CAO, F. X.; LI, J. J.; WU, L. C.. Evaluation of soil fertility in the succession of karst rocky desertification using principal component analysis. **Solid Earth**, v. 6, n. 2, p. 515-524, 2015.

XUE, L.; REN, H.; LI, S.; LENG, X.; YAO, X.. Soil bacterial community structure and co-occurrence pattern during vegetation restoration in karst rocky desertification area. **Frontiers in microbiology**, v. 8, p. 2377, 2017.

YANG, Z.; GAO, X.; LEI, J.; MENG, Z.; ZHOU, N.. Analysis of spatiotemporal changes and driving factors of desertification in the Africa Sahel. **Catena**, v. 213, p. 106213, 2022.

ANEXO A - QUADRO COM A LEGENDA COMPLETA DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLO DOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE (Legenda adaptada de Araújo Filho et al. (2000))

Unidade de mapeamento de Solos	Características
A10	NEOSSOLO FLÚVICO textura arenosa/média + CAMBISSOLO Háptico Ta e Tb textura média, substrato sedimentar fluvial, ambos solódicos e não solódicos, sódicos e não sódicos. + CAMBISSOLO FLÚVICO salino e/ou sódico textura média e arenosa/média; todos Eutróficos, A fraco e moderado, caatinga hiperxerófila de várzea com e sem carnaúba relevo plano (50-30-20 %).
A11	NEOSSOLO FLÚVICO salino e/ou sódico + CAMBISSOLO FLÚVICO solódico e não solódico, ambos textura média e arenosa/média + CAMBISSOLO HÁPLICO Ta e Tb solódico e não solódico textura média sedimentos fluviais; todos Eutróficos A fraco e moderado, caatinga hiperxerófila de várzea com e sem carnaúba relevo plano (40-30-30 %).
A12	NEOSSOLO FLÚVICO textura arenosa/média + CAMBISSOLO FLÚVICO textura média e arenosa/média, ambos solódicos e não solódicos + NEOSSOLO FLÚVICO salino e/ou sódico textura média e arenosa/média; todos Eutróficos, A fraco e moderado, caatinga hiperxerófila de várzea com e sem carnaúba relevo plano (50-25-25 %).
A13	NEOSSOLO FLÚVICO salino e/ou sódico + CAMBISSOLO FLÚVICO solódico e não solódico, ambos eutróficos textura média e arenosa/média caatinga hiperxerófila de várzea com e sem carnaúba relevo plano + PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado; todos A fraco e moderado (40-35-25 %).
NC12	LUVISSOLO CRÔMICO vertissólico e não vertissólico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho e cascalhento substrato granito e gnaïsse + ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO Eutrófico e Distrófico plintossólico e não plintossólico prof. e pouco profundo textura média/média e argilosa + ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO pedregoso (concrecionário e /ou não); todos A moderado, caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e plano (40-20-20-20 %).
NC14	LUVISSOLO CRÔMICO vertissólico e não vertissólico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento substrato gnaïsse, granito e xisto; ambos A moderado, caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado (65-35 %).
NC15	LUVISSOLO CRÔMICO vertissólico e não vertissólico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento substrato gnaïsse, xisto e granito, ambos relevos suaves ondulado e ondulado + PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO relevo suave ondulado e plano; todos A moderado, caatinga hiperxerófila (55-25-20 %).
NC17	LUVISSOLO CRÔMICO vertissólico + PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento substrato gnaïsse, granito e xisto; todos A moderado caatinga hiperxerofila relevo suave ondulado e plano (50-25-25 %).

PA46	ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO e VERMELHO, ambos Eutróficos raso e pouco profundo textura média/média e argilosa com cascalho a cascalhento epipedregoso e não, relevo suave ondulado + LUVISSOLO CRÔMICO vertissólico e não vertissólico, relevo suave ondulado e plano + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaisse, filito e diorito; todos A fraco e moderado caatinga hiperxerófila (40-20-20-20 %).
PA47	ARGISSOLOS AMARELO e VERMELHO-AMARELO raso e pouco profundo textura média/média e argilosa com cascalho a cascalhento epipedregoso e não + NEOSSOLO LITÓLICO textura média com cascalho a cascalhento substrato gnaisse, granito, xisto e filito; ambos Eutróficos A fraco e moderado caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e plano + Afloramentos Rochosos (50-30-20%).
PA P4	ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO pedregoso (concrecionário e/ou não) relevo suave ondulado e plano + ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO Eutrófico e Distrófico plintossólico e não plintossólico, profundo e pouco profundo, textura arenosa e média/argilosa epipedregoso e não, relevo plano e suave ondulado + PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO relevo plano e suave ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento relevo suave ondulado e plano, substrato gnaisse e granito; todos A fraco e moderado, caatinga hiperxerófila (40-20-20-20 %).
PS11	PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO + NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutrófico e dDstrófico, solódico e não solódico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura arenosa e média com cascalho a cascalhento substrato gnaisse e granito; todos A fraco e moderado, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e plano (50-30-20 %).
PS3	PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO + ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO Distrófico e Eutrófico, raso e pouco profundo, textura média / média e argilosa epipedregoso + NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutróficos pouco profundos, solódico e não solódico; todos A fraco e moderado, caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado (50-30-20 %).
PS6	PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO + ARGISSOLO AMARELO e VERMELHO-AMARELO Eutrófico, raso e pouco profundo, textura média/média e argilosa com cascalho a cascalhento epipedregoso + NEOSSOLO LITÓLICO Eutróficos textura média com cascalho a cascalhento substrato gnaisse e granito; todos A fraco e moderado, caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e plano (50-25-25 %).
PS7	PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO + NEOSSOLO LITÓLICO Eutróficos, textura média com cascalho a cascalhento, substrato gnaisse, granito e xisto + LuviSSolos Crômicos vértico e não vértico; todos A fraco e moderado caatinga hiperxerófila, relevo suave ondulado e plano (45-30-25 %).
PS8	PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento substrato gnaisse, granito e xisto + LUVISSOLO CRÔMICO vertissólico; todos A fraco e moderado caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado + Afloramentos Rochosos (30-25-25-20 %).

PV 64	ARGISSOLO VERMELHO Eutróficos raso e pouco profundo, textura média/média e argilosa com e sem cascalho a cascalhento + LUVISSOLO CRÔMICO vertissólico e não vertissólico + NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento substrato xisto e gnaisse.; todos A fraco e moderado caatinga hiperxerofila relevo suave ondulado (40-30-30 %)
R52	NEOSSOLO LITÓLICO textura média com cascalho a cascalhento substrato gnaisse, granito e granodiorito + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO raso e pouco profundo textura média/média e argilosa com cascalho a cascalhento, ambos Eutróficos, relevo suave ondulado e ondulado + PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO relevo plano e suave ondulado; todos A fraco e moderado caatinga hiperxerofila + Afloramentos Rochosos (40-25- 20-15 %).
R55	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico textura média com cascalho a cascalhento relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaisse, granito, xisto e sienito + PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO relevo plano e suave ondulado; ambos A fraco e moderado caatinga hiperxerofila + Afloramentos Rochosos (50-30-20 %).
R60	NEOSSOLO LITÓLICO textura média com cascalho a cascalhento relevo ondulado e forte ondulado substrato gnaisse, granito e migmatito + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO raso e pouco profundo textura média/média e argilosa com cascalho a cascalhento relevo suave ondulado a forte ondulado, ambos Eutróficos A fraco e moderado caatinga hiperóxerófila + Afloramentos Rochosos (45-35-20 %).
R73	NEOSSOLO LITÓLICO Eutróficos e Distrófico textura arenosa e média relevo ondulado e forte ondulado substrato gnaisse, quartzito, granito, xisto e migmatito + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutrófico raso e pouco profundo textura média/média e argilosa com cascalho a cascalhento relevo suave ondulado a forte ondulado, ambos A fraco e moderado caatinga hiperxerófila + Afloramentos rochosos (50-25-25 %).
R74	NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico e Distrófico textura arenosa e média relevo ondulado a montanhoso substrato gnaisse, quartzito, granito, xisto e migmatito + ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Eutróficos raso e pouco profundo textura média/média e argilosa com cascalho a cascalhento relevo suave ondulado a forte ondulado, ambos A fraco e moderado caatinga hiperxerofila + Afloramentos Rochosos (50-25-25%).
RE25	NEOSSOLO REGOLÍTICO Eutróficos e Distrófico solódico e não solódico relevo plano e suave ondulado + NEOSSOLO LITÓLICO eutróficos textura arenosa e média com cascalho a cascalhento relevo suave ondulado e plano substrato granito e gnaisse + PLANOSSOLO HÁPLICO e PLANOSSOLO NÁTRICO relevo plano e suave ondulado; todos A fraco e moderado caatinga hiperxerofila (50-25-25 %).

ANEXO B - ATRIBUTOS DAS UNIDADES DE MAPEAMENTO DE SOLOS, CLASSES DE TERRA E O RESPECTIVO POTENCIAL GERAL PARA IRRIGAÇÃO DOS MUNICÍPIOS DE BELÉM DO SÃO FRANCISCO, CABROBÓ E ITACURUBA-PE

UM	Classe de Solo	Área (%)	Classificação	Potencial Irrigação
A10	Neossolo Fluvico	50	3VE	Médio
	Cambissolo Háptico	30	3ES	
	Cambissolo Flúvico	20	6ES	
A11	Neossolo Flúvico	40	5ES	Muito Baixo
	Cambissolo Flúvico	30	6ES	
	Cambissolo Háptico	30	3ES	
A12	Neossolo Flúvico	50	3VE	Médio
	Cambissolo Flúvico	25	6ES	
	Neossolo Flúvico	25	5ES	
A13	Neossolo Flúvico	40	5ES	Muito Baixo
	Cambissolo Flúvico	35	6ES	
	Planossolo Nátrico	25	6SZ	
NC12	Luvissolo Crômico	40	3ZE	Médio
	Neossolo Litólico	20	6ZC	
	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo	20	3VM	
	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo	20	3VP	
NC14	Luvissolo Crômico	65	3ZE	Médio
	Neossolo	35	6ZC	

Litólico					
NC15	Luvissolo Crômico	55	3ZE	Médio	
	Neossolo Litólico	25	6ZC		
	Planossolo Nátrico	20	6SZ		
NC17	Luvissolo Crômico	50	3ZE	Médio	
	Planossolo Nátrico	25	6SZ		
	Neossolo Litólico	25	6ZC		
PA46	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo	40	3MZ	Médio	
	Argissolo Vermelho	10	3EM		
	Argissolo Vermelho-Amarelo	10	3MZ		
	Luvissolo Crômico	20	3ZE		
	Neossolo Litólico	20	6ZC		
PA47	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo	50	3MZ	Médio	
	Neossolo Litólico	30	6ZC		
	Afloramentos Rochosos				
PAP4	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo	40	3VP	Médio	
	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho-Amarelo	20	3VP		
	Planossolo Nátrico	20	6SZ		
	Neossolo Litólico	20	6ZC		

PS11	Planossolo Nátrico	50	6SZ	Muito Baixo
	Neossolo Regolítico	30	4IV	
	Neossolo Litólico	20	6ZC	
PS3	Planossolo Nátrico	50	6SZ	Médio
	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho- Amarelo	30	3ZP	
	Neossolo Regolítico	20	3ZV	
PS6	Planossolo Nátrico	50	6SZ	Muito Baixo
	Argissolo Amarelo + Argissolo Vermelho- Amarelo	25	3ZP	
	Neossolo Litólico	25	6ZC	
PS7	Planossolo Nátrico	45	6SZ	Muito Baixo
	Neossolo Litólico	30	6ZC	
	Luvissolo Crômico	25	3ZE	
PS8	Planossolo Nátrico	30	6SZ	Muito Baixo
	Neossolo Litólico	25	6ZC	
	Luvissolo Crômico	25	3ZE	
	Afloramentos Rochosos	20		
PV64	Argissolo Vermelho	40	3ZG	Médio
	Luvissolo Crômico	30	3ZE	
	Neossolo Litólico	30	6ZC	
R52	Neossolo Litólico	40	6ZC	Muito Baixo
	Argissolo Vermelho- Amarelo	25	3ZM	

	Planossolo Nátrico	20	6SZ	
	Afloramentos Rochosos	15		
R55	Neossolo Litólico	50	6ZC	
	Planossolo Nátrico	30	6SZ	Muito Baixo
	Afloramentos Rochosos	20		
R60	Neossolo Litólico	45	6ZC	
	Argissolo Vermelho- Amarelo	35	3ZM	Muito Baixo
	Afloramentos Rochosos	20		
R73	Neossolo Litólico	50	6ZC	
	Argissolo Vermelho- Amarelo	25	5GZ	Muito Baixo
	Afloramentos Rochosos	25		
R74	Neossolo Litólico	50	6ZC	
	Argissolo Vermelho- Amarelo	25	5GZ	Muito Baixo
	Afloramentos Rochosos	25		
RE25	Neossolo Regolítico	50	3ZV	
	Neossolo Litólico	25	6ZC	Médio
	Planossolo Nátrico	25	6SZ	