



PLANTERR

**Universidade Estadual de Feira de Santana
Departamento de Ciências Humanas e Filosofia
Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial
Mestrado Profissional – PLANTERR**



SUÉLEN DE AZEVEDO BRITO

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COMO
SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DA
REGIÃO FISIAGRÁFICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO**

Feira de Santana/BA
2023

SUÉLEN DE AZEVEDO BRITO

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COMO
SUBSÍDIO AO PLANEJAMENTO TERRITORIAL DA
REGIÃO FISIAGRÁFICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial (Mestrado Profissional) como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Planejamento Territorial pela Universidade Estadual de Feira de Santana.

Orientação: Prof. Dr. Washington da Jesus Sant'Anna de Franca Rocha

Feira de Santana/BA
2023

Ficha catalográfica - Biblioteca Central Julieta Carteado – UEFS

Brito, Suélen de Azevedo

B877a Análise da vulnerabilidade à erosão como subsídio ao planejamento territorial da região fisiográfica do Médio São Francisco/ Suélen de Azevedo Brito. – 2023.
101f. : il.

Orientador: Washington de Jesus Sant'Anna de Franca Rocha
Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual de Feira de Santana. Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial - PLANTERR, 2023.

1. Bacia hidrográfica do Rio São Francisco. 2. Impacto ambiental.
3. Álgebra de mapas. 4 . Processo de Análise Hierárquica. I. Rocha, Washington de Jesus Sant'Anna de Franca, orient. II. Universidade Estadual de Feira de Santana. III. Título.

CDU: 556.51:504

Rejane Maria Rosa Ribeiro CRB-5/695

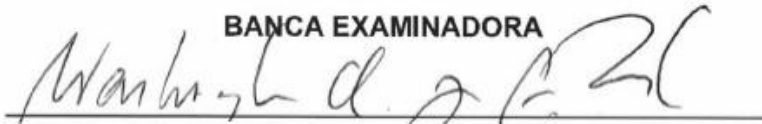
SUÉLEN DE AZEVEDO BRITO

**ANÁLISE DA VULNERABILIDADE À EROSÃO COMO SUBSÍDIO AO
PLANEJAMENTO TERRITORIAL DA REGIÃO FISIAGRÁFICA DO MÉDIO
SÃO FRANCISCO**

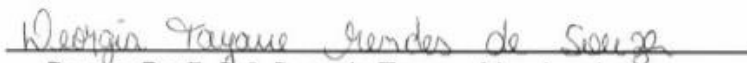
Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Territorial (PLAN TERR) da Universidade Estadual de Feira de Santana como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de mestre em Planejamento Territorial.

Aprovada em 19 de junho de 2023.

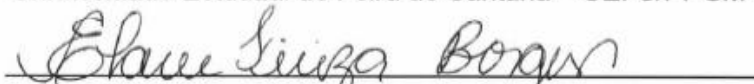
BANCA EXAMINADORA



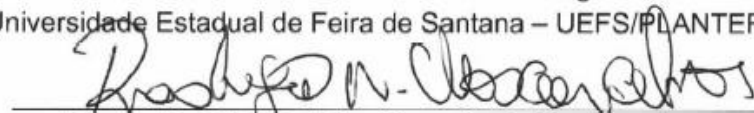
Orientador: Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'Anna da Franca Rocha
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/PLAN TERR



Banca: Prof^ª. Dr^ª. Deorgia Tayane Mendes de Souza
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/PPGM



Banca: Prof^ª. Dr^ª. Elane Fiúza Borges
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/PLAN TERR



Banca: Prof. Dr. Rodrigo Nogueira de Vasconcelos
Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS/PPGM

Dedico este trabalho a Deus, por ser a
fortaleza da minha vida.

AGRADECIMENTOS

De Início, quero expressar minha gratidão e respeito a Deus, por sempre me erguer nos momentos mais difíceis, principalmente na pandemia que passamos do Covid 19, no qual me impulsionou na caminhada dando a força que eu precisava para seguir.

Sou grata à minha família pelo apoio que sempre me deram para prosseguir os caminhos que escolhi durante toda a minha vida.

Agradeço a Diniz, meu esposo, pela paciência, conselhos, amor e incentivo. Tenho certeza que se eu não tivesse você o processo teria sido bem mais difícil. Obrigada por entender todas as noites que fui dormir de madrugada por conta desse mestrado.

Um agradecimento especial ao meu orientador Prof. Dr. Washington de Jesus Sant'Anna de Franca Rocha que aceitou o desafio de orientar este trabalho. O senhor sempre foi minha clareza nos momentos de indecisão e minha calma nos momentos mais tensos. Foi sua inteligência, competência e paciência que me incentivaram a ultrapassar todos os desafios que surgiram no percurso dessa pesquisa. Professor, ao senhor dedico toda minha admiração e gratidão.

Agradeço a todos os meus colegas do PLANTERR, turma 8, pela oportunidade do convívio, mesmo de forma virtual, pelos debates enriquecedores e pela cooperação mútua durante estes anos. Vocês sempre foram um ponto seguro, aonde eu sempre fui procurar refúgio e apoio para conseguir passar por minhas tribulações.

Agradeço à Profa. Dra. Elane Fiúza, à Profa. Dra. Deorgia Souza e ao Prof. Dr. Rodrigo Vasconcelos, por aceitarem fazer parte de minha banca examinadora, dando grandes contribuições para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Aos meus colegas Sival Ribeiro de Sena e Rodrigo dos Santos, agradeço imensamente por me ajudar nos processos metodológicos dessa pesquisa, em especial nos processamentos dos dados no Sistema de Informações Geográficas.

Quero agradecer de forma especial, ao prof Medson Janer da Silva (UNEB), que sempre vibrou com as minhas conquistas e esteve presente em todos os processos da construção desta dissertação.

Agradeço ao meu sogro, Júlio Barreto, por me fornecer algumas imagens capturadas ao longo dos anos em seus trabalhos desenvolvidos na área de estudo. Muito obrigada pela parceria e apoio.

RESUMO

As intervenções humanas na Bacia hidrográfica do Médio São Francisco, são realizadas em grande escala por ser uma região de elevada importância socioeconômica e possuir uso múltiplo, com expressivo potencial energético, agropecuário e agroindustrial, nos quais intensificam os processos erosivos nos terrenos e o assoreamento nos corpos d'água. Diante disso, este trabalho visou mapear e analisar as áreas vulneráveis aos processos erosivos, na região fisiográfica do médio São Francisco, inserida na Bahia. Utilizou-se a metodologia de análise multicritério com apoio de geotecnologias e sistema de informações geográficas (SIG), para processar dados que constituem as variáveis explanatórias ou critérios. O processo de análise foi concretizado em duas etapas, sendo a primeira constituída pela confecção dos mapas dos critérios de declividade, geologia, pedologia, intensidade pluviométrica e uso e ocupação da terra, atribuindo pesos (na escala de 0 a 1) para realizar a normalização das suas respectivas classes temáticas, com base nos pressupostos da lógica Fuzzy. Seguiu-se a realização da ponderação de importância relativa entre os critérios, a partir de conhecimento extraído da literatura e na opinião de especialistas que trabalham com esse tema. Na segunda etapa, foi realizada a agregação de critérios múltiplos, por meio da Combinação Linear Ponderada, que gerou a carta síntese de vulnerabilidade à erosão. Os resultados mostram que as classes de vulnerabilidade muito baixa e muito alta apresentaram menores abrangências, com 4,9% e 0,5% respectivamente. Já a classe de vulnerabilidade baixa apresentou maior abrangência com 49%, seguida pela classe de vulnerabilidade média com 24,9% e a classe de vulnerabilidade alta distribuída em 20,8% da área. Os territórios de identidade que apresentaram nível de vulnerabilidade mais elevada foram os do Rio Grande, Rio Corrente e Irecê, sendo encontradas nessas regiões atividades agrícolas e pecuárias intensivas. Já o território que apresentou menor vulnerabilidade à erosão foi o Sertão do São Francisco. Recomenda-se a realização de planejamento territorial e desenvolvimento de políticas públicas levando em consideração as áreas críticas encontradas em cada território da área de estudo.

Palavras-chave: Álgebra de Mapas; Processo de Análise Hierárquica; Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco; Impacto Ambiental.

ABSTRACT

Human interventions in the Middle São Francisco watershed are carried out on a large scale because it is a region of high socioeconomic importance and has multiple uses, with significant energy, agricultural and agroindustrial potential, in which the erosion processes in the land and the silting up of the land intensify. water bodies. Therefore, this work aimed to map and analyze the areas vulnerable to erosion processes, in the physiographic region of the middle São Francisco, located in Bahia. The multicriteria analysis methodology was used with the support of geotechnologies and geographic information system (GIS) to process data that constitute the explanatory variables or criteria. The analysis process was carried out in two stages, the first consisting of making maps of the slope, geology, pedology, rainfall intensity and land use and occupation criteria, assigning weights (on a scale of 0 to 1) to carry out the normalization of their respective thematic classes, based on the assumptions of Fuzzy logic. This was followed by weighting the relative importance between the criteria, based on knowledge extracted from the literature and on the opinion of specialists who work with this topic. In the second stage, the aggregation of multiple criteria was carried out, through the Weighted Linear Combination, which generated the summary letter of vulnerability to erosion. The results show that the very low and very high vulnerability classes had lower coverage, with 4.9% and 0.5% respectively. The low vulnerability class had the greatest coverage with 49%, followed by the medium vulnerability class with 24.9% and the high vulnerability class distributed in 20.8% of the area. The identity territories that showed the highest level of vulnerability were those of Rio Grande, Rio Corrente and Irecê, with intensive agricultural and livestock activities being found in these regions. The territory that presented less vulnerability to erosion was the Sertão do São Francisco. It is recommended to carry out territorial planning and development of public policies taking into account the critical areas found in each territory of the study area.

Key-words: Map Algebra; Hierarchical Analysis Process; São Francisco River Basin; Environmental impact

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Exemplo de função de pertinência para conjunto Fuzzy.	32
Figura 2 – Mapa de localização da região fisiográfica do Médio São Francisco com relação ao estado da Bahia, Brasil.	37
Figura 3 - Biomas pertencentes à região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	39
Figura 4 - Fluxograma representativo da estrutura geral da modelagem AHP.	49
Figura 5– Fluxograma do procedimento geral da construção da carta síntese de vulnerabilidade à erosão utilizando a modelagem AHP.	52
Figura 6 - Mapa de localização das estações pluviométricas usadas para produzir a intensidade pluviométrica da região fisiográfica do Médio São Francisco/BA.	58
Figura 7– Mapa com as Classes e Subordem do solo da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	64
Figura 8- Mapa Pedológico normalizado da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	65
Figura 9- Mapa resumido das classes de litologia da Região Fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	66
Figura 10- Mapa geológico normalizado da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	67
Figura 11- Mapa de declividade normalizado da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	69
Figura 12 - Imagem da região do Destrido de Santo Inácio, Gentio do Ouro: A – Formação rochosa e vegetação da caatinga; B – panorâmica da região de Santo Inácio com a Lagoa de Itaparica ao Fundo.	70
Figura 13 - Mapa da Intensidade Pluviométrica normalizado da Região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	71
Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	72
Figura 15 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo normalizado da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.	73
Figura 16 - Mapa de vulnerabilidade à erosão da Região Fisiografia do Médio São Francisco, Bahia, Brasil.	75
Figura 17 -Classes de vulnerabilidade à erosão ilustrada de forma separada na Região Fisiográfica do Médio São Francisco.	76

Figura 18 - Áreas com plantações de cebola na faixa de APP do Lago de Sobradinho..... 78

Figura 19 - Agricultura no território do Rio Grande: A – Plantação de Algodão com pivô central em Luís Eduardo Magalhães; B – Plantação de Algodão no sequeiro em Barreiras; C – Plantação de soja no sequeiro em Formosa do Rio Preto; D – Plantação de milho com pivô em São Desiderio..... 80

Figura 20 - Produção de Cebola em Lapão; B – Produção de Cenoura em Ibipê; C – Produção de tomate em João Dourado, Produção de Uva em Presidente Dutra. 83

Figura 21 - Área do Baixio de Irecê: A – Canal do Baixio de Irecê; B – Plantação de Limão Thaiy; C e D: Áreas prontas para o plantio com pivô central funcionando. 84

Figura 22 - Pasto de capim brachiaria sob pivô para criação bovina em Barra; B – Pasto natural com criação de ovinos em João Dourado; C – Pasto com criação bovina em João Dourado; C – Pasto para criação bovina em Palmas de Monte Alto..... 86

Figura 23 - Processos erosivos: A - Processo de ravinamento, localizado em uma propriedade no povoado de Mocozeiro, no município de Irecê- área com declividade moderada; B - voçoroca na sub-bacia do Baixão de Gabriel/BA; C - Fendilhamento no solo, município de São Desiderio; D – Rachadura na superfície de um gleissólico no Baixio de Irecê..... 87

Figura 24 - Lagoa de Itaparica, Gentio do Ouro, BAHIA: A – Lagoa seca em 2017; B – Lagoa cheia em 2020..... 88

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 - Exemplos de vulnerabilidade usados em pesquisas sobre os fenômenos naturais.	22
Quadro 2 - Formato de uma matriz quadrada (n x n) de critérios.	33
Quadro 3 - Valores de peso para a ponderação da importância relativa das variáveis do estudo.	34
Quadro 4 - Metadados utilizados na pesquisa.	49
Quadro 5 - Características dos critérios para a metodologia de normalização de dados.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GFW - Global Forest Watch

ANA- Agência Nacional de Águas

RFMSF - Região Fisiográfica do Médio São Francisco

PRONASOLOS - Programa Nacional de Levantamento e Interpretação de Solos no Brasil

CBHSF - Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco

RC - Razão de Consistência

IC - índice de consistência

IR - é o índice Randômico.

AHP - Processo de Análise Hierárquica

CEI - Estudos Econômicos e Sociais da Bahia

S - valor final do escore;

WI - peso do fator e

XI - valor normalizado do fator.

W – Alto Vetor

IDW - Ponderação do Inverso da Distância

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

APA- Área de Proteção Ambiental

CBPM- Companhia Baiana de Pesquisa Mineral

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária

INMET- Instituto Nacional de Meteorologia

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW- Distância do Inverso ao Quadrado

INPE- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

INEMA- Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

SRTM- Shuttle Radar Topography Mission

SIG- Sistema de informações Geográfica

SEI- Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia

UTM- Universal Transversa de Mercator

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Escala de vulnerabilidade.....	53
Tabela 2 - Valores de risco utilizados na normalização dos critérios do mapa de uso e cobertura da terra da Região fisiográfica do Médio São Francisco pertencente ao Estado da Bahia.....	54
Tabela 3– Valores de Risco para os tipos de relevo estabelecidos para a aplicação no mapa de declividade da fração da Bahia Hidrográfica do Médio São Francisco.	55
Tabela 4– Valores de risco para os tipos de solo estabelecidos para a aplicação no mapa de declividade da fração da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco.....	56
Tabela 5 - Valores resumidos de risco atribuídos às classes de geologia da área de estudo pertencente à Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco/BA.....	57
Tabela 6 - Pluviosidade média anual e a duração do período chuvoso no Brasil.....	59
Tabela 7 - Valor de risco atribuído às classes de intensidade pluviométrica da área de estudo pertencente à região fisiográfica do Médio São Francisco/BA.	59
Tabela 8 - Matriz quadrada de comparação pareada, pesos de importância e o índice de consistência.....	61
Tabela 9 - Índice Randômico para razão de consistência.....	62
Tabela 10 - Valores obtidos para validação da matriz pareada.	62
Tabela 11 - Área de abrangência dos valores de risco no mapa de solo da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.....	65
Tabela 12– Área de abrangência dos valores de risco no mapa de geologia da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.....	68
Tabela 13– Área de abrangência dos valores de risco no mapa de declividade da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.....	69
Tabela 14– Área de abrangência dos valores de risco no mapa de intensidade pluviométrica da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.....	71
Tabela 15- Área de abrangência dos valores de risco no mapa de uso e ocupação da terra da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.....	74
Tabela 16 - Área e porcentagem das vulnerabilidades por territórios de identidade da RFMSF.	77
Tabela 17- Valores de risco atribuídos às classes de geologia da área de estudo pertencente à Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco/BA.	99

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1 INTRODUÇÃO E PROBLEMÁTICA	15
1.2 JUSTIFICATIVA	17
1.3 OBJETIVO GERAL.....	19
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2. REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE OS CONCEITOS TRABALHADOS	20
2.1 IMPACTO E RISCO AMBIENTAL	20
2.2 VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADES AMBIENTAL.....	22
2.3 PROCESSOS EROSIVOS E SEDIMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS ..	24
2.4 GESTÃO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS E ORGANIZAÇÃO TERRITÓRIOS	26
2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SUA IMPORTÂNCIA PARA O PLANEJAMENTO TERRITORIAL	28
2.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO	30
2.5.1 Teoria dos Conjuntos Fuzzy	31
2.5.2 Processo de Análise Hierárquica (AHP) para ponderação de critérios	33
3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
3.1 LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO FISIAGRÁFICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO	36
3.2 CARACTERIZAÇÕES GERAIS DA REGIÃO FISIAGRÁFICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO E DOS SEUS TERRITÓRIOS DE ABRANGÊNCIA	38
3.2.1 Territórios de Identidade da Região Fisiográfica do Médio São Francisco	39
3.2.1.1 Bacia do Rio Grande	40
3.2.1.2 Velho Chico	41
3.2.1.3 Bacia do Rio Corrente	42
3.2.1.5 Irecê	43
3.2.1.6 Bacia do Paramirim	44

3.2.2.7 <i>Chapada Diamantina</i>	44
3.2.2.8 <i>Sertão Produtivo</i>	45
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	47
4.1 USO DA MODELAGEM FUZZY E AHP PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA SÍNTESE DE VULNERABILIDADE À EROSÃO	48
4.1.1 Uso e Cobertura da Terra	53
4.1.2 Declividade	54
4.1.4 Mapa Geológico	57
4.1.5 Mapa de Intensidade pluviométrica	58
4.2 PONDERAÇÃO E COMBINAÇÕES DOS CRITÉRIOS.....	60
5. RESULTADOS E DISCURSÕES	63
5.1 MAPAS DOS FATORES NORMALIZADOS.....	63
5.1.1 Mapa pedológico	63
5.1.2 Mapa geológico	66
5.1.3 Mapa declividade	68
5.1.4 Mapa Pluviométrico	70
5.1.5 Mapa uso e ocupação da Terra	72
6.2 CARTA SÍNTESE DE VULNERABILIDADE À EROSÃO	74
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
8. REFERÊNCIAS	91

1. INTRODUÇÃO

1.1 INTRODUÇÃO E PROBLEMÁTICA

O aumento da apropriação do espaço pelo homem, acompanhado das mudanças de hábitos no nível de consumo devido à revolução industrial, ocasionaram uma exploração mais intensa dos recursos naturais existentes no planeta Terra (PAGLIARINI, 2018). Essas alterações afetam os ecossistemas naturais, com alteração dos seus estágios clímax, ou seja, saem do estado estável, ao transformá-los em sistemas com retroação positiva, devido às intensas explorações, são sujeitos ativos para a ocorrência dos impactos negativos sobre o ambiente, em diferentes escalas e intensidades (BOTKIN; KELLER, 2011).

A degradação dos solos é um dos principais impactos causados pelo uso inadequado da população sobre o ambiente, a erosão é um dos componentes de maior interferência nessa atividade (GUERRA, 2014). Botkin e Keller (2011) estimaram que o desmatamento de áreas verdes influenciou o aumento de erosão e proporcionou a perda de 562 milhões de hectares no mundo, com perda anual entre 5 a 6 hectares.

No Brasil, entre o período de 2001 a 2019, foi registrada pelo Global Forest Watch (GFW) uma perda de 56,5 ha de cobertura arbórea, com uma redução de 11% na cobertura arbórea desde o ano 2000 (GFW, 2020). Dessa forma, a partir do solo desestabilizado, sem sua cobertura vegetal, há o acréscimo da frequência de deslizamentos, quantidade de escoamento e introdução de cargas maiores de sedimentos nos rios (BOTKIN; KELLER, 2011). As perdas anuais de solo brasileiros em áreas ocupadas por lavouras e pastagens ultrapassam 500 milhões de toneladas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Em decorrência dessas erosões e posteriores sedimentações dos recursos hídricos, podem ocorrer alterações nas bacias hidrográficas. Exemplos desses impactos são visíveis nas bacias hidrográficas nordestinas, em especial na região semiárida, resultante de uso não planejado do solo para agricultura e pecuária e da supressão ilegal da vegetação (PAGLIARINI, 2018).

A partir do ano de 1980 o Brasil intensificou as discussões em relação à necessidade de mudança de estilo, com propósito de alcançar um desenvolvimento sustentável. Nessa conjuntura, foram desenvolvidos programas de gestão ambiental com o objetivo de esquematizar e classificar ações e metodologias que possibilitem o uso, da melhor forma possível, dos recursos naturais ao longo dos anos (PAGLIARINI, 2018). Para o uso sustentável dos recursos naturais, torna-se necessário um gerenciamento adequado. A Lei

Federal nº 9.433/97 (BRASIL, 1997) instituiu como unidade básica de gestão, a bacia hidrográfica, uma vez que nela é possível mensurar os impactos ambientais e corrigi-los dentro desse limite.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2006) é certo que todo o bioma Caatinga e Cerrado estão ocupados pelas atividades da pecuária, por meio da criação bovina, caprina e ovina, onde no Cerrado, entre as regiões da Sub-bacias do Alto e Médio São Francisco, prevalece a pecuária bovina; por outro lado, no bioma Caatinga, entre o Médio ao Baixo São Francisco, prevalece em maior quantidade à pecuária caprina, seguida da ovina e bovina (BRASIL, 2006). Assim, o uso intensivo da pastagem colabora para a compactação dos solos pelo pisoteio dos animais, com a modificação da capacidade de infiltração do solo e aumento do escoamento superficial (ANA, 2006).

A ocupação agrícola na Região Fisiográfica do Médio São Francisco (RFMSF) se deu com maior intensidade a partir do século XX, depois que perceberam o potencial existente no Cerrado para atividades agrícolas (BRASIL, 2006). Em 2015, foram produzidos nessa região 10 milhões de toneladas entre soja, milho, algodão, cana-de-açúcar, e outros produtos, como mandioca, banana, feijão, cebola, etc. No meio dessas culturas a produção de soja e de algodão foram as mais expressivas na região, nas quais a soja correspondeu a 4,6% da produção nacional em 2015, com aumento de 199% no total produzido entre 2000 e 2015 e o algodão alcançou 30% da produção nacional nesse período (CASTRO; PEREIRA, 2019). Entre os municípios da RFMSF, produtores de algodão, destacam-se São Desidério (40%), Formosa do Rio Preto (16%), Riachão das Neves (12%), Luís Eduardo Magalhães (10%) e Barreiras (10%) (CASTRO; PEREIRA, 2019).

Essas diversas atividades realizadas ao longo da Bacia, principalmente com relação ao uso da água e do solo, exercem na região grande pressão sobre os recursos naturais (ANA, 2006). Dito isso, é necessária a realização de estudos para identificar quais são as regiões no decorrer da bacia hidrográfica que apresentam intensificação dos processos erosivos, suas fontes provedoras e as alterações ambientais que são exercidas nessas regiões.

Ao se pensar em uma ação para minimizar esses problemas, a gestão ambiental tem potencial de ser executada de diversas maneiras entre os vários exemplos, pode ser citado o manejo apropriado dos elementos naturais, estudos de impactos e zoneamentos ambientais e inclusive mapeamento de vulnerabilidade ambiental de qualquer área a ser definida (PAGLIARINI, 2018).

Para realizar uma análise de vulnerabilidade ambiental é necessário o uso de tecnologias de geoprocessamento, nas quais são utilizadas ferramentas que auxiliam nos

pareceres para o planejamento ambiental e o controle do uso adequado dos recursos hídricos. Com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG) podem ser realizadas as análises dos fatores e fenômenos do espaço geográfico com riqueza de detalhes, além de possuir maior rapidez para atualização de seus dados (CREPANI *et al.*, 2011).

Ao final, para os possíveis resultados da pesquisa têm como hipóteses dois grupos de áreas consideradas suscetíveis à erosão, o primeiro composto por regiões que possuem maiores riscos à erosão devido às características do meio físico (erosão natural), como por exemplo, tipo de solo, clima, declividade, entre outros; o segundo grupo formado de acordo com as influências de atividades antrópicas (erosão acelerada) que provocam o aumento de uma possível erosão natural. Essas erosões, em especial a acelerada, originam diversos impactos negativos no ambiente em que se encontram, alguns deles são os assoreamentos dos rios e lagoas e a formação de ravinas e voçorocas nas áreas de maiores tensões, além da perda da matéria orgânica do solo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Barbosa (2008) entende que ao longo de três séculos de integração do bioma Caatinga e Cerrado aos sistemas econômicos nacionais e globais resultou na extinção de tribos indígenas, perda da biodiversidade, interrupção do ciclo hidrológico, perda e redução da fertilidade das terras agrícolas e processo de degradação/desertificação acelerado.

Aspectos apresentados por Lima, (2004), a partir de um panorama histórico do semiárido, constatou-se que a introdução da pecuária e a agricultura intensiva que utiliza de forma excedente a água, sem considerar as condições climáticas, faz parte da resposta encontrada para o aproveitamento irregular dos recursos naturais.

A erosão do solo por ser um dos processos de degradação ambiental mais significativo tem sido há bastante tempo um dos assuntos estudados com maior intensidade no meio acadêmico, de tal forma que já é claro a importância para o planejamento e gestão dos recursos naturais o mapeamento e avaliação da vulnerabilidade à erosão do solo. Autores como: Tricart (1977); Wischmeier & Smith (1978); Renard *et al.* (1991); Saaty (1991); Flanagan & Laflen (1997); Prasannakumar *et al.* (2012) e Falcão (2013) foram alguns dos pesquisadores que desenvolveram metodologias executadas por meio do geoprocessamento sobre o tema.

Recentemente no Brasil, uma equipe de pesquisadores e analistas da EMBRAPA Solos disponibilizou para a sociedade na plataforma tecnológica do Programa Nacional de

Levantamento e Interpretação de Solos no Brasil (PronaSolos) mapas de áreas suscetíveis e vulneráveis à erosão hídrica de todo o território brasileiro. Esse método foi elaborado tendo um dos objetivos subsidiar o setor produtivo e o poder público na priorização e seleção de áreas para programas ou ações de conservação, recuperação ou reinserção de áreas com potencial produtivo (EMBRAPA, 2021).

Ao se tratar da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco. Órgãos Estaduais e Federais, como por exemplo, a Agência Nacional de Águas (ANA) e o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (CBHSF), realizam direcionamentos para estudos na região e na construção de planos, entre eles o de recursos hídricos, mas suas pesquisas ainda possuem grande abrangência, não sendo estudos destinados apenas para a vulnerabilidade à erosão da bacia hidrográfica em questão. Já há estudos realizados por pesquisadores, como: Silva (2014); Lobão, Franca-Rocha, Silva (2011); Oliveira *et al.* (2014) e Souza, Borges e Santos (2015) que desenvolveram pesquisas sobre a vulnerabilidade a erosão de pequenas áreas localizadas dentro da BHRSF, ou seja, foram desenvolvidas pesquisas em alguns municípios e sub-bacias. Com isso, foi possível observar a incipiência de trabalhos que contemplam áreas mais abrangentes da Bacia Hidrográfica.

A concepção de Medeiros *et al* (2007), após realizarem trabalhos mais aprofundados na região, apontou que a Bacia hidrográfica do Rio São Francisco sofre aceleração de seus processos erosivos devido às intervenções humanas. De acordo com os mesmos autores, o total de material particulado transportado pela extensão do rio São Francisco entre os anos de 1938 a 1973 eram de 69×10^5 t/ano, após a construção de 33 barragens, nove no decorrer do curso do rio, o material particulado transportado reduziu para $2,28 \times 10^5$ t/ano. Dessa forma, houve uma trágica diminuição da transferência dos sedimentos para o mar, aumento do assoreamento e da erosão na bacia hidrográfica.

O uso e ocupação da terra na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, em especial na Região fisiográfica Médio São Francisco, são realizados em grande escala por ser uma Bacia de grande importância socioeconômica e possuir uso múltiplo, com grande potencial energético, agropecuário e agroindustrial, sem falar do turismo e seus impactos negativos localizados (ANA, 2005).

Assim, a justificativa para a realização deste trabalho vem da necessidade de aprofundar e estimular análise integrada da paisagem baseada em estudos que apontem o grau de vulnerabilidade à erosão dos ambientes nos projetos de planejamento territorial e gestão de recursos naturais. Também se justifica em virtude da importância econômica e social que a região fisiográfica do médio São Francisco tem com relação aos estados que ela está inserida.

A importância do trabalho se deve à carência de informações que são necessárias para o desenvolvimento sustentável da área de estudo e por utilizar um método bastante conhecido e empregado por grandes pesquisadores, no qual concerne aos resultados uma credibilidade importante para apoiar trabalhos futuros. Assim, a abrangência dessa análise servirá para que a partir disso os investimentos em ações de preservação, fiscalização e mitigação de danos ambientais possam ter seus resultados fortificados. Com isso, os gestores poderão propor soluções capazes para as situações encontradas.

1.3 OBJETIVO GERAL

Mapear e analisar os níveis de vulnerabilidade ambiental à erosão na bacia hidrográfica do rio São Francisco, Região Fisiográfica do Médio São Francisco.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar e selecionar as variáveis que condicionam os processos erosivos naturais e antrópicos;
- Elaborar carta síntese que identifique a distribuição geográfica dos efeitos dos processos erosivos naturais e antrópicos, considerando seus componentes individuais;
- Agrupar os diferentes tipos e níveis de vulnerabilidade à erosão encontrados ao longo do perímetro da bacia hidrográfica do médio São Francisco;
- Discutir sobre os territórios de identidades mais propícios à ocorrência de erosão, com o intuito de conhecer as áreas ambientalmente mais vulneráveis para esse fenômeno e ações de planejamento ambiental.

2. REFERENCIAL TEÓRICO SOBRE OS CONCEITOS TRABALHADOS

2.1 IMPACTO E RISCO AMBIENTAL

Antes de entender os conceitos de impacto e risco ambiental é importante ter estabelecido os significados de ecossistema e paisagem. Tricart (1977) em sua obra de Ecodinâmica usa a definição de ecossistema proposta por Tansley em 1934, descrita como “um conjunto de seres vivos mutuamente dependentes uns dos outros e do meio ambiente no qual eles vivem”. Segundo o mesmo autor, há uma interdependência dos diversos componentes presentes no ecossistema, nos quais desempenham papéis importantes para a formação da morfodinâmica. Assim, esses princípios estabelecem uma perspectiva sistêmica, ao levar em consideração a incorporação de todos os processos ocorrentes em uma paisagem, responsáveis pelo seu afeiçoamento (TRICART, 1977).

Os ecossistemas são estruturados de forma mais ou menos ordenada, racional e compreensível e, deste modo, oferecem abordagem que exige identificação das estruturas presentes e dos elos entre os componentes estruturais (GREGORY, 1992, p. 219). Christofletti (1995) define Ecossistema como qualquer unidade que inclui organismos que interagem com o meio ambiente físico, através de fluxo de energia entre os componentes vivos e abióticos, sem existir delimitação de sua espacialidade.

No livro Ecodinâmica, publicado na década de 90, além de Jean Tricart, definir o conceito de ecossistema, abordou também sobre o tema de paisagem, conceitua-a sobre uma perspectiva evolucionista, a partir da interatividade entre elementos bióticos e abióticos, somado a eles a ação antrópica, ao gerar graus de equilíbrio e desequilíbrio morfogenéticos e pedogenéticos (TRICART, 1977). Já Bertrand (1960) propõe uma concepção geossistêmica, ao definir a paisagem como uma área espacialmente delimitada, resultante da sinergia entre elementos abióticos, bióticos e antrópicos, os quais possuem relações entre si e estão em constante evolução.

Assim, pode ser concluído que a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos incongruentes. É, em uma determinada região, o resultado da combinação dinâmica e instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, ao realizarem trocas de energia, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução (BERTRAND, 2004).

Os componentes da natureza podem frequentemente sofrer alterações e ter suas características de estabilidades e equilíbrio rompidas, com inconstância no sistema. Ao serem

realizadas intervenções que desrespeitam as vulnerabilidades do sistema, pode ocasionar alterações na sensibilidade da paisagem em função do rompimento de seus limites, ao originar a fragilização desses componentes (SPÖRL, 2007).

Frequentemente quando se utiliza o termo “impacto ambiental” visa caracterizar algum tipo de dano à natureza, ao gerar algum prejuízo à fauna e à flora, porém essa definição atende apenas a uma parcela de tal conceito, no qual, na grande maioria é usado para relacionar aos impactos somente negativos (SÁNCHEZ, 2008).

No Brasil, a definição de impacto ambiental é estabelecida através da Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA 001/86, que traz em seu Art. 1º uma definição mais ampla para impacto ambiental, sendo ela qualquer mudança das características químicas, física e biológicas do meio ambiente, estabelecidas através das atividades antrópicas, que direta ou indiretamente alteram a saúde, segurança e bem-estar da sociedade (BRASIL, 1986).

Nesse sentido, Sánchez (2008) define o impacto ambiental, como “a alteração da qualidade ambiental que resulta da modificação de processos naturais ou sociais provocados por ação humana”. Para Guerra & Guerra (2011, p. 350), impacto ambiental é um termo utilizado para caracterizar as diversas mudanças que ocorrem no ambiente que afetam a estabilidade dos ecossistemas. Além disso, o mesmo autor afirma que os impactos podem ser negativos ou positivos, mas à medida que as sociedades progridem no ambiente natural, fica implícito que o impacto ambiental é extremamente negativo, em sua maioria.

O risco ambiental tem seu conceito frequentemente confundido com o de impacto ambiental. Isso se dá por serem definições intimamente relacionadas, entretanto existem diferenças significativas entre ambos. Conforme exposto por Santos (2015), impacto corresponde a uma intervenção em um determinado ambiente, podendo essa ser positiva ou negativa, já o risco assume sempre um efeito negativo.

A definição do conceito de risco é relacionada pela Organização das Nações Unidas (ONU) como a probabilidade de resultados danosos ou perdas esperadas (mortes, feridos, danos nas propriedades, afetação dos meios de subsistência, interrupção nas atividades económicas e danos no ambiente) resultantes da interação entre as perigosidades naturais ou induzidas pelo ser humano e as condições de vulnerabilidade (ONU, 2004). Assim, pode-se confirmar que a existência do risco ambiental depende diretamente da probabilidade de ocorrência de um processo perigoso, que pode vir a manifestar por meio de um acontecimento natural ou não (DAUPHINÉ, 2001).

Nessa perspectiva, para a realização desse trabalho, o conceito adotado para risco ambiental foi sobre a possibilidade de um evento de qualquer grandeza (esperado ou não) ocorrer em um sistema, ao alterar o seu estado inicial, como por exemplo, as erosões, os deslizamentos de encostas, o assoreamento de cursos de água e as inundações (SPÖRL, 2007).

2.2 VULNERABILIDADE E SUSCETIBILIDADES AMBIENTAL

Com base nas propostas de Leone e Vinet (2006) e Dauphiné (2005), Almeida (2010) as técnicas de análise de vulnerabilidade podem seguir dois caminhos, uma abordagem disciplinar e uma abordagem Global/Sistêmica. Segundo os autores, no primeiro caso, a vulnerabilidade pode ser definida ao infinito e dependendo da complexidade do que está sendo estudado, enquanto na análise dos riscos ambientais à vulnerabilidade pode ser definida como física, social, institucional, ambiental, pode ser cultural, funcional e econômico (Quadro 1).

Quadro 1 - Exemplos de vulnerabilidade usados em pesquisas sobre os fenômenos naturais.

Tipo de Vulnerabilidade	Características
Vulnerabilidade física (ou estrutural, ou corporal)	Realizam análise das construções, das redes de infraestrutura e das possíveis perdas humanas.
Vulnerabilidade humana ou social	Ponderam os resultados de experiência sobre as capacidades de resposta, adaptações, desempenhos e suas implicações socioeconômicas e territoriais. Há também a percepção das ameaças ou da memória do risco, o conhecimento dos meios de proteção, os tipos de comportamentos potenciais.
Vulnerabilidade institucional	Funciona como fator indireto da vulnerabilidade social, referente a agilidade das respostas das instituições com relação as crises.
Vulnerabilidade ambiental e Patrimonial.	Analisa as degradações sobre os componentes ambientais – vegetação, solos, recursos hídricos, fauna e aspectos culturais provocados por fenômenos naturais.
Vulnerabilidade funcional e Econômica.	Mensura as disfunções no que tange os processos econômicos, rupturas nas redes de comunicação e transporte, entre outros.

Fonte: Almeida, 2010 baseado em Leone e Vinet (2006).

São diversos os conceitos existentes sobre o termo vulnerabilidade na área ambiental, tais definições chegam a ser confundidas com o conceito de risco ambiental e suscetibilidade, dificultando assim o entendimento do uso dos termos nos casos que se aplicam.

Um desses conceitos é definido por Metzger *et al.* (2006) e Schoter *et al.* (2004) que fizeram relação ao grau de susceptibilidade de um sistema às consequências negativas derivadas de mudanças globais. Já Tixier *et al.* (2005) relacionam a vulnerabilidade a partir do grau de exposição de pessoas e ambientes naturais a gases tóxicos, lançamento de efluentes e outros tipos de pressões que partem de uma unidade industrial, ao considerar características do ambiente (densidade populacional, uso e ocupação da terra). Villa e McLeod (2002), por sua vez, limitam a vulnerabilidade em processos intrínsecos e extrínsecos que ocorrem em um sistema, visto que o primeiro é gerado devido as características bióticas do meio e resistência ou capacidade de recuperação após um dano, e o segundo procedimento é causado através da exposição a pressões ambientais atuais e futuras.

Com relação à vulnerabilidade de um geossistema, Tricart (1977) afirma que o conceito de vulnerabilidade está entrelaçado ao estado natural e se refere ao menor ou maior grau de estabilidade / instabilidade dos componentes físicos e bióticos com relação à dinâmica das ações morfopedogenéticas e de fitosuccessão, existentes em cada unidade ecodinâmica. Sendo assim, consequências recorrentes das atividades integrantes da paisagem natural.

Lima *et al.* (2000), constitui a vulnerabilidade ambiental pela a relação entre os fatores dos meios físicos (solo, rocha, relevo, clima e recursos hídricos), biótico (tipo de vegetação) e antrópico (uso e ocupação do terra), que tornam o relevo mais ou menos instável ou sujeito aos processos erosivos. Assim, além dos atributos naturais também são considerados os impactos das atividades humanas sobre a dinâmica dos sistemas naturais. Santos (2006) complementa essa definição, ao argumentar que a vulnerabilidade ambiental estar em áreas com maior risco de exploração humana, definida como o nível de exposição de um determinado ambiente aos diversos fatores, como impactos e riscos ambientais, que levam a efeitos adversos.

Como base nas definições acima, neste trabalho o conceito sobre vulnerabilidade ambiental consiste no grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de sofrer intervenções, ou de ser alterado tendo que lidar com os efeitos das interações externas físicas, bióticas e antrópicas (AQUINO; PALETTA; ALMEIDA, 2017).

Os estudos de vulnerabilidade ambiental são importantes no planejamento ambiental. O mapeamento do ambiente natural e suas potencialidades e fragilidades permite melhor fixação de prioridades e medidas a serem utilizadas no espaço físico territorial, além de servir de base para o zoneamento e fornece subsídios para a administração territorial (SPÖRL; ROSS, 2004, p 40). Assim, as vulnerabilidades naturais e ambientais podem ser importante fonte de informação para a gestão territorial, pois não apenas refletem a dinâmica e a

degradação dos espaços naturais, mas também revelam potencialidades, limites e riscos às atividades antrópicas (OLÍMPIO; ZANELLA, 2012).

No âmbito das geociências aplicadas, o significado do termo suscetibilidade pode ser reduzido à predisposição ou propensão do solo para o desenvolvimento de fenômenos ou processos físicos ambientais (FELL *et al.*, 2008; JULIÃO *et al.*, 2009; SOBREIRA e SOUZA, 2012 ; BRESSANI e COSTA, 2013).

Áreas com características de relevo que favorecem a ocorrência de deslizamentos como encostas predominantemente altas, podem ser consideradas vulneráveis a esse tipo de processo, independentemente da precisão do tempo ou escala dos eventos que possam ocorrer. Portanto, uma vez que a declividade surge como um dos fatores que contribuem para o desenvolvimento do processo, ela deve ser incluída nos parâmetros necessários para a análise de suscetibilidade. Assim, existe uma clara relação entre fatores de predisposição e tendências do solo para processos que são a base para a compreensão e aplicação do conceito de vulnerabilidade (BITAR, *et al* 2014).

2.3 PROCESSOS EROSIVOS E SEDIMENTOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Entre os recursos naturais existentes no planeta Terra, o solo e a água possuem maior disponibilidade, sendo essenciais para o desenvolvimento de quase todas as atividades humanas. Mesmo esses elementos constituídos por tamanha importância social e econômica, há um desrespeito referente à conservação dos mesmos, por isso há a necessidade de constituir políticas que preservem esses bens naturais, nos quais enfrentam diariamente degradação ambiental, ao serem utilizados de formas inadequadas (SPERANDIO *et al.*, 2012).

O solo é formado pelo o processo de intemperismo, decomposição sofrida pelas rochas ao longo do tempo relacionada a agentes físicos e químicos que causam desintegração e alteram sua composição e mineralogia, há também contribuição dos fatores biológicos que dão intensidade a esses agentes (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008).

Os processos que envolvem de forma concomitante a desagregação, o transporte e a deposição dos solos, subsolo e/ou rocha em estado de decomposição, decorrentes da ação das águas (pluviais e fluviais), geleiras ou ventos dão origem a erosão do solo (GIAMPÁ, GONÇALES, 2013). As ações erosivas podem ser oriundas de fenômenos naturais (erosão geológica) ou podem ser provocadas por atividades antrópicas (erosão acelerada) (FERREIRA, 2008).

A erosão hídrica é uma das ações mais atuantes na superfície terrestre com o seu início ainda no ciclo hidrológico, consiste na incidência das precipitações sobre determinada bacia hidrográfica, onde parte da água é detida pela vegetação e o restante atinge a superfície do solo, por meio desse atrito a água exerce papel separador, umedece os agregados do solo e reduz suas forças de coesão. A depender da intensidade da chuva pode ainda causar compactação do solo, ao reduzir a taxa de infiltração da água, conseqüentemente, aumenta o escoamento superficial, sendo esse mais um fator da formação acelerada de erosão (PRUSKI, 2006; SANTOS, 2011).

O solo erodido gera a produção de sedimentos e é transportado até certo ponto da bacia hidrográfica ou fração do rio em um período determinado, além de se tratar de um resultado líquido da erosão e deposição dos processos dentro de uma bacia, depende também de todos os fatores que atuam sobre a superfície da passagem que definem a erosão, ao abranger o clima, área de drenagem, intensidade das chuvas, classe de solos, geologia, topografia, cobertura vegetal, características das encostas e uso da terra (LIN *et al.*, 2007).

De acordo com as condições do solo no momento em que ocorre o escoamento superficial, pode acarretar dois tipos de erosão hídrica: a erosão laminar, que consiste na retirada de forma homogênea das camadas superficiais dos solos; e a erosão linear que ocasiona na superfície do terreno linhas de fluxo de água para o escoamento e que em seguida podem dar origem às ravinas, sulcos e voçorocas (FERREIRA, 2008).

Nos locais sob a ação de processo erosivo, principalmente a erosão acelerada, ocorrem diversos impactos negativos, tais como: perda gradual na capacidade produtiva dos setores agrícolas, devido à remoção dos horizontes superficiais mais férteis; modificação ou destruição dos habitats das microfaunas edáficas; alteração das redes de drenagem das bacias hidrográficas com sedimentos, nutrientes e poluentes de origem difusa, formando assim os assoreamentos e a eutrofizações dos rios e lagos, além da perda da qualidade das águas (SPÖRL, 2007; SPERANDIO *et al.*, 2012).

O ambiente alterado pelas atividades humanas pode, com uma limitação em sua capacidade, ser recuperado de forma natural. Entretanto, para facilitar e/ou acelerar essa recuperação das áreas degradadas presentes no meio ambiente existem diversas ações, algumas delas são: medidas de melhoria no meio físico, com a finalidade de restabelecer a vegetação ou a qualidade da água para restaurar as comunidades bióticas entre outras. Para a realização dessas atividades é adotado o termo “recuperação de áreas degradadas” (SÁNCHEZ, 2008).

2.4 GESTÃO AMBIENTAL EM BACIAS HIDROGRÁFICAS E ORGANIZAÇÃO TERRITÓRIOS

A gestão ambiental foi pensada com o objetivo de minimizar os impactos negativos e buscar a sustentabilidade dos ecossistemas antrópicos, por meio da estabilidade de suas interações com os ecossistemas naturais (SEIFFERT, 2011).

De acordo com Philippi Jr e Romério (2014) a gestão ambiental começou quando se iniciou adaptação ou alterações no ambiente natural, com o intuito de habituar-se às necessidades da população, tanto para o coletivo como individual, dessa forma pode ser exemplificado como modelo o ambiente urbano com suas diversas variedades de conformação e escala.

Para esse sistema dar certo é necessário pensar em algumas variáveis, como: a heterogeneidade dos recursos retirados do ambiente natural; a frequência de extração desses produtos, com tempo que permite ou não a sua regeneração; modo de tratamento e destinação final dos seus resíduos e afluentes; e a política de gestão adotada que levará a determinada decisão podendo interferir em longo prazo na população da área de estudo de forma negativa ou positiva (PHILIPPI JR; ROMÉRIO, 2014).

No Brasil a bacia hidrográfica foi definida como unidade de estudo e gestão a partir da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, que teve como objetivo incorporar princípios e normas para a gestão de recursos hídricos.

Após a criação da Lei, aumentou a importância de se conhecer o conceito de bacia hidrográfica e suas subdivisões. São diversas as definições criadas até o momento, nas quais a maioria é semelhante entre si, tendo como direcionamento uma determinada rede de drenagem. Mas, ao definir sub-bacias e microbacias, subdivisões de uma bacia hidrográfica, os autores acrescentam definições que abrangem do meio físico ao ecológico.

A bacia hidrográfica pode, entre as diversas formas, ser conceituada por suas características geomorfológicas e sua abordagem sistêmica. No primeiro caso, de acordo com Frakler (2014), é definida por uma área que realiza a captação natural da água de precipitação da chuva, impulsionando-a para um único ponto de saída, denominado de exutório. Para formação de uma bacia hidrográfica é necessário à união de um conjunto de superfícies vertentes constituídas pela superfície do solo e de uma rede de drenagem formada pelos cursos da água que consistem até chegar a um leito único no ponto de saída (FINKLER, 2014). É a partir do escoamento da água da chuva para as partes mais baixas que são formados os riachos e rios, e parte da água que infiltra, dão origem aos lençóis freáticos. Os

rios, ao longo de seus percursos recebem água de outros tributários, transformam-se em rios maiores até desembocarem no oceano (BARRELLA, 2001).

Já a abordagem sistêmica a caracteriza como sistemas abertos, compostas por variáveis independentes que se oscilam frequentemente em volta de um ideal, recebem energias por meio de agentes climáticos e perdem por meio de deflúvio. Dessa forma, se houver modificação no sistema, na entrada e saída de energia, é possível uma alteração significativa que é capaz de diminuir os danos causados e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico, mesmo se os danos forem causados por ações antrópicas (LIMA E ZAKIA, 2000).

Com relação aos estudos realizados com abordagem sobre território, alguns foram concretizados pelos geógrafos Claude Raffestin (1993), Rogério Haesbaert (2002), Milton Santos (2004), José Carlos Duarte (2009) e Marcos Aurélio Saquet (2013), nos quais possuem concepções e abordagens distintas. Raffestin (1993), uns dos primeiros a discutir sobre o assunto, elaborou o conceito baseado nas relações sociais de controle e dominação, ou seja, com relação ao poder, explica que território antecede o espaço geográfico e sobre ele se constitui, assim *“um espaço onde se projetou trabalho, seja energia ou informação, e que, por consequência, revela relações marcadas pelo poder”* (1993, p. 143-4).

Já na visão de Haesbaert (2002), o termo território estar além do poder estatal (jurídico-político), mas a união do poder com outros dois conceitos: cultural, ao destacar suas relações simbólicas e subjetivas; e a extensão econômica, ao analisar a perspectiva material. Duarte (2009), afirma que sua construção é estabelecida por meio de um conjunto de relações socioeconômicas, culturais e políticas, historicamente desenvolvidas e especializadas. Resulta-se, em locais onde a população constrói a sua identidade e cria seu patrimônio social, desenvolvendo atividades de trabalho econômico e social, além de perspectiva ambiental. Por sua vez, Saquet (2013), amplia mais ainda a discussão, ao afirmar que o conceito de território é formado por múltiplas variáveis.

[...] O território significa natureza e sociedade; economia, política e cultura; ideia e matéria; identidades e representações; apropriação e dominação e controle; descontinuidades; conexões e redes; domínio e subordinação; degradação e proteção ambiental; terra, formas espaciais e relações de poder, diversidade e unidade (SAQUET, 2013, p. 24).

Assim, a definição de Duarte (2009) e Saquet (2014), foi suficiente para unir os conceitos de poder, economia e cultura, além de acrescentar ao tema a parte de degradação e proteção ambiental, fatores importantes e necessários para o desenvolvimento territorial.

Em 2010, através do Decreto Estadual nº 12.354, de 25 de agosto de 2010, seguido pela Lei Estadual nº 13.214, de 29 de dezembro de 2014, que lhe revogou parcial e tacitamente, o Estado da Bahia aprovou o uso do território de identidade como a nova forma de divisão administrativa do Estado. De acordo com Duarte (2009), essa nova formulação altera o foco da dimensão econômica em um eixo norte-sul (Norte, Nordeste, Centro-oeste, Sudeste e Sul) para uma execução leste-oeste (exemplo: do Planalto da Conquista à Serra Geral e Chapada Diamantina Meridional), baseada em laços cotidianos e no fluxo de pessoas em busca de serviços e relações comerciais.

A Lei Estadual nº 13.124/2014 que dispõe sobre os princípios, diretrizes e objetivas da Política de Desenvolvimento Territorial do Estado da Bahia, estabelece o conceito de Território de Identidade como:

[...] entende-se por Território de Identidade a unidade de planejamento de políticas públicas do Estado da Bahia, constituído por agrupamentos identitários municipais, geralmente contíguos, formado de acordo com critérios sociais, culturais, econômicos e geográficos, reconhecido pela sua população como o espaço historicamente construído ao qual pertencem, com identidade que amplia as possibilidades de coesão social e territorial, conforme disposto no Plano Plurianual do Estado da Bahia (BAHIA, 2014).

Nessa mesma perspectiva, a Secretaria de Planejamento do Estado da Bahia (SEPLAN), para estabelecimento da elaboração de Planos Plurianuais, caracteriza território de identidade como um espaço físico, identificado geograficamente, composto por critérios ambientais, econômicos, sociais, culturas, políticos e institucionais multidimensionais, tais como o ambiente, a economia, a sociedade, a cultura, a política e as instituições. Com grupos sociais relativamente distintos, que se relacionam interna e externamente por meio de processos particulares, através da diferenciação de um ou mais elementos que indicam identidade, coesão social, cultural e territorial (SEPLAN; 2014).

2.5 SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SUA IMPORTÂNCIA PARA O PLANEJAMENTO TERRITORIAL

Entre as atividades das sociedades organizadas, a obtenção de dados sobre estudos ambientais relacionados à distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi realizada entre as mais importantes. Há muito tempo as coletas dos dados eram feitas apenas em documentos e mapas em papel, dessa forma era impossível realizar análises combinatórias de diversos mapas e dados. Na década de 60, tornou-se possível

armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o uso do Geoprocessamento (CÂMARA; DAVIS, 2001).

De acordo com Câmara e Davis (2001), o termo Geoprocessamento é usado para área de conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais coleta e tratamento de informações espaciais para um objetivo específico e que influencia de maneira crescente as áreas de Cartografia, Geografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia, Planejamento Urbano e Regional, entre outras.

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (GIS), são de grande importância para auxiliar na prática de análises complexas a partir da integração de representações de dados espaciais (SPÖRL, 2007). Entre as várias definições existentes na literatura, o SIG pode ser compreendido como “tecnologias para investigação dos fenômenos ambientais que combinam os avanços tecnológicos da cartografia, banco de dados automatizados, sensoriamento remoto e modelagem” (SPÖRL, 2007).

Por meio deles podem ser realizadas visualizações, quantificações, análises, manipulações e gerenciamento de dados geográficos, com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies dos fatores e fenômenos do espaço geográfico (CREPANI *et al*, 2011), nos quais são feitos através da identificação de áreas de agrupamentos estatisticamente significativos, capazes também de calcular densidade, localizar pontos de incidência e interpolar pontos (OLIVEIRA *et al*, 2016).

No que diz respeito aos dados de entrada, Machado & Vettorazzi (2003) descrevem suas diversas fontes, constituídas por: imagens de satélite, mapas topográficos, mapas de solo, hidrografia, imagem de Drone, e outras. O SIG pode ainda, ser usado em três maneiras distintas, como o uso na produção de mapas, suporte para análise espacial de fenômenos e banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial (MACHADO; VETTORAZZI, 2003).

Com relação à estrutura geral de um SIG é possível dar ênfase a cinco componentes importantes destacados nos estudos de Câmara e Davis (2001): interface com usuário; entrada e integração de dados; funções de consulta e análise espacial; visualização e plotagem; e armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos). A organização desses componentes é feita de forma hierárquica, ou seja, nessa interface a máquina é operada e controlada pelo homem.

O uso eficiente do SIG pode ser uma ferramenta importante para o planejamento territorial na realização de projetos que exigem processamentos rápidos e eficientes, de

amplas bases de dados, como é o caso dos estudos de vulnerabilidade à erosão, para fins de planos de ordenamento territorial. Além disso, é possível a obtenção de uma manipulação ágil e real do SIG e imagens de satélites para atualização de mapas temáticos, necessário para a avaliação final da fragilidade ambiental (SPÖRL, 2007).

2.6 ANÁLISE MULTICRITÉRIO DE APOIO À DECISÃO

Em uma análise multicritério é importante de início conhecer o termo decisão, que de acordo Ramos (2000) é determinada como uma escolha entre alternativas, que podem representar diferentes níveis, classificações e presunções sobre um fenômeno. Assim, uma decisão pode iniciar com a percepção da necessidade de uma mudança e terminar na escolha de um rumo de ação, nos quais são etapas complexas e abrangentes (ENSSLIN, 1997).

Um processo de decisão em um ambiente complexo, normalmente envolve dados duvidosos e/ou inacabados, múltiplos critérios e vários agentes de decisão e, de modo geral, envolve múltiplos objetivos, que são incoerentes entre si. Um critério serve de base para tomada de decisão por representar uma condição que se pode quantificar ou avaliar (RAMOS, 2000).

De acordo Corseuil (2006), pode ser definido os critérios segundo sua natureza restritiva ou relativa. Os restritivos (restrições), realizam limitações entre as alternativas que são consideradas. Já os critérios de natureza relativa (fatores), apresentam certo nível de aptidão para uma alternativa específica. Outro parâmetro considerado nos processos de tomada de decisão é a Regra de decisão, na qual os critérios são eleitos e combinados para se chegar a um determinado consenso (EASTMAN, 2003).

No ponto de vista de Philippi, Roméro, Bruna (2004), a tomada de decisão busca alcançar a opção que apresente a melhor execução, avaliação ou, ainda, o melhor acordo entre as expectativas do “decisor” e a sua flexibilidade em aceitar, quando se é analisada a relação entre elementos objetivos e subjetivos. Nessa circunstância, a expressão decisor está relacionada ao ator ou facilitador, que tem como objetivo explicar o processo de avaliação e/ou negociação inerente à tomada de decisão. Ao decisor é conferido de maneira formal o poder de decisão, com liberdade de intervir na construção e na utilização do modelo como ferramenta de avaliação (CORSEUIL, 2006).

A utilização da análise multicriterial, de acordo com Souza (2008), é realizada como um sistema de apoio à decisão, com base na combinação de uma série de variáveis ou critérios, segundo diferentes métodos. Ou seja, esse método é utilizado para resolver

problemas que não são solucionados com apenas um critério. Objetiva-se, assim, promover a hierarquização das possibilidades ou alternativas de resolução de um determinado problema, ao apoiar o gestor na tomada de decisão.

Conforme afirmações de Cordão (2009), um dos tipos de análise multicriterial pode ser a espacial, na qual representa uma aplicação especial dos procedimentos convencionais da análise multicriterial, dada a inclusão da oponente espacial dos dados. É um artifício que combina e transforma dados espaciais (entrada) em um resultado decisório (saída). Em análise ambiental, ao se abordar o manejo de múltiplos recursos, tem se a geração de problema de grande vulto, dada a multiplicidade de critérios e os objetivos que as questões ambientais impõem a qualquer tipo de decisão a respeito do gerenciamento de recursos múltiplos (SILVEIRA, 2004).

O método de construção de uma aplicação de análise multicritério requer a caracterização de alguns parâmetros, ou seja, o peso dos critérios, a padronização ou normalização dos valores e o método de combinação dos critérios de intervenção (FALCÃO, 2013).

2.5.1 Teoria dos Conjuntos Fuzzy

A lógica fuzzy, também conhecida como nebulosa, é uma lógica não-binária criada para a utilização com dados imprecisos (ALMEIDA, 2016). Dessa forma, é uma das técnicas que mais se aproxima do raciocínio humano e a lógica de um computador (ALMEIDA, 2016). Zadeh introduziu pela primeira vez a teoria dos conjuntos Fuzzy na década de 1960 para lidar com conceitos imprecisos (FISHER; ROBINSON, 2016), os quais, são descritos por Gonçalves (2007, p. 1) como:

[...] informação imprecisa expressa por um conjunto de regras linguísticas. Se um operador humano for capaz de articular sua estratégia de ação como um conjunto de regras da forma se...então, um algoritmo passível de ser implementado em computador pode ser construído. O resultado é um sistema de inferência baseado em regras, no qual a Teoria de Conjuntos Fuzzy e Lógica Fuzzy fornecem o ferramental matemático para se lidar com as tais regras linguísticas.

Assim, os conjuntos fuzzy, são utilizados para descrever classes que por diferentes motivos não possuem ou não podem definir limites estritos (bordas) entre elas, por isso são definidas de forma imprecisa. O uso de conjuntos fuzzy é apropriado sempre que é tratado de ambiguidade, abstração e contradição em modelos matemáticos ou conceituais (ou seja,

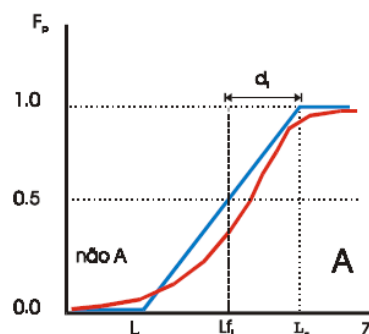
termos qualitativos e/ou subjetivos) de fenômenos empíricos (BURROUGH; MCDONNELL, 1998 apud CÂMARA, 2001). Com isso, a técnica fuzzy se tornou uma metodologia fundamental para pesquisas que não têm como realizar a aplicação de modelos matemáticos devido à falta de dados estatísticos (DOURADO; ANDRADE; CARNEIRO, 2017).

De acordo com Da Costa, Abramczuk e Martinez Júnior (2007), algumas das vantagens de utilizações da lógica fuzzy são: realizar análise qualitativa (incorporando no modelo variáveis linguísticas), como baixo, médio, alto, provável improvável; interpretação por números fuzzy e manipulação pela aritmética pertinente; trabalha com poucos fatores e poucas regras de decisão; permite maior número de variáveis; resolve problemas de forma simples e rápida.

A classificação de conjuntos fuzzy é definida por qualquer número real no intervalo de 0 a 1. Nesse conjunto, os objetos analíticos são diferentes do conceito descrito se seus valores estiverem próximos de 0, e os critérios de objetos mais semelhantes aos objetos analíticos são aqueles com valores mais próximos de 1 (FISHER; ROBINSON, 2016).

Para representar com precisão um conjunto fuzzy, o conceito de função de pertinência (F_p) pode ser usado. Ao determinar o valor do atributo z , a função determina se o elemento que está em avaliação pertence a uma das coleções que estão em análise. O exemplo da Figura 1 mostra uma função de pertinência que pode ser usada para classificar qualquer tipo de entidade em um conjunto fuzzy. No eixo x , a letra " z " representa a mudança nos atributos do elemento, utilizada como parâmetro para classificação. No eixo y , as letras " F_p " correspondem ao intervalo de valores possíveis para a função de pertinência. Entre o limiar inferior (L_i) e o limiar superior (L_s), a função apresenta um valor entre 0 e 1, e a região entre (L_{fi}) e (L_s) é denominada região de transição (Figura 1)(CÂMARA, 2001).

Figura 1 - Exemplo de função de pertinência para conjunto Fuzzy.



Fonte: Câmara *et al.* (2001).

Um conjunto com funções de pertinência, conforme mostrado na Figura 1, é caracterizado pela indefinição de limites ou limiares entre as classes. Por exemplo, o conjunto das camadas do solo e cobertura vegetal, são exemplos de conjuntos que podem ser chamados de conjuntos fuzzy (Câmara, 2001). Esse exemplo pode ser usado para definir uma função linear crescente, que representa uma taxa de aumento constante, ou seja, para um mesmo intervalo de valores do eixo z, a taxa de aumento não muda.

2.5.2 Processo de Análise Hierárquica (AHP) para ponderação de critérios

A ponderação de critérios ou fatores é utilizada para determinar a importância relativa em critérios por meio da atribuição de pesos a cada fator contribuinte. Uma das dificuldades existente nesse método é o modo de se quantificar a importância relativa de cada um dos critérios, por ser muitas vezes encontradas num processo de apoio à decisão que envolve múltiplos critérios, sem falar que cada um deles possui graus de importância variáveis para diferentes atores envolvidos no processo decisório (RAMOS, 2000). Conforme Ramos (2000), são diversos os métodos de atribuição de pesos a fatores empregados no meio científico, entre os vários exemplos, existe a aplicação no ordenamento de critérios, em escalas de pontos, na distribuição de pontos e em comparação pareada ou par a par.

A metodologia de comparação pareada para atribuição de pesos, critérios relativos ou fatores foi proposta por Thomas Saaty na década de 70, a qual emprega uma técnica denominada de Processo de Análise Hierárquica - AHP (Analytic Hierarchy Process). Este método é eficiente por aplicar uma comparação par a par, por uma ordenação de decisão composta por níveis hierárquicos, que permitem uma visão global das relações inerentes ao processo, assim as diferentes influências exercidas por cada variável física aos processos erosivos dentro da bacia (RAFFO, 2012). Para estabelecer a importância relativa de cada fator da hierarquia são elaboradas matrizes quadrada ($n \times n$) de comparação para cada nível, onde os resultados das matrizes são ponderados entre si, na qual as linhas e colunas contêm os fatores (DIAS, 2012). Uma mesma ordem é estabelecida para localização dos fatores, ao longo das linhas e das colunas (Quadro 2).

Quadro 2 - Formato de uma matriz quadrada ($n \times n$) de critérios.

	C1	C2	..	Cn
C1	V11 = 1		..	V1n
C2	V21	V22 - 1	..	V2n

⋮
Cn	Vn1	Vn2	..	Nnn=1

Fonte – Adaptado de Falcão, 2013.

De acordo com Sena (2008), esse método toma decisões com base em critérios qualitativos e quantitativos compostos por diferentes perspectivas. Essa técnica apresenta como um de seus princípios a decomposição de problemas complexos em problemas mais simples construídos por hierarquias de tomada de decisão.

Ao fazer isso, as técnicas de AHP requerem o refinamento de uma hierarquia de tomada de decisão composta por níveis hierárquicos ou classes que fornecem uma visão geral dos relacionamentos inerentes ao processo. A importância relativa de cada elemento hierárquico é definida por uma matriz de comparação para cada nível, na qual os resultados da matriz são ponderados entre si. (SILVA *et al.*, 2009).

Uma escala de referência é necessária para que sejam estabelecidas as comparações pareadas para todos os fatores. Saaty (1980) propôs uma escala que contém nove valores numéricos, com as respectivas definições e seus valores intermediários entre julgamentos, como mostrado no Quadro 3, em que o valor um 1 revela o mínimo, enquanto o nove 9 é relacionado ao máximo de importância. Após a determinação do valor para cada fator é realizada a comparação pareada (*pairwise comparison*), que confere valores de importância relativos (peso), ordenados em uma matriz de comparação ou pareadas (SILVA; NUNES 2009).

Quadro 3 - Valores de peso para a ponderação da importância relativa das variáveis do estudo.

Valor de peso ou da importância	Definição e Explicação
1	Importância Igual - as duas variáveis contribuem igualmente para o fenômeno.
3	Importância moderada - uma variável é ligeiramente mais importante que a outra.
5	Importância essencial - uma variável é claramente mais importante que a outra.
7	Importância demonstrada - um fator é fortemente favorecido e sua relevância foi demonstrada na prática.
9	Importância extrema - A evidência que diferencia as variáveis é da maior ordem possível.
2, 4, 6 e 8	Valores intermediários entre julgamentos.

Fonte: Souza, Borges e Santos (2015), Adaptado de Saaty (1991).

Conforme Oliveira *et al.* (2009), depois de constituídas as comparações pareadas, o modelo AHP informa uma razão de consistência (RC), que indica a probabilidade de que as

comparações tenham sido geradas aleatoriamente. O valor informado é utilizado para determinar o grau de coerência. Segundo Saaty e Vargas (1991), é razoável que se aceite os valores obtidos para os pesos dos fatores sempre que se alcance uma Razão de Consistência (RC) inferior a 0,1. Caso o valor alcançado ultrapasse 0,1, o processo de avaliação deverá ser refeito, reavaliará a ponderação realizada e fará um novo preenchimento da matriz e a geração de um novo valor para essa razão de consistência até alcançar o resultado esperado.

A utilização de ferramentas de suporte à decisão como AHP ajudam a organizar e estabelecer um modelo racional de combinação de dados. Assim, tal técnica vem sendo aplicada com êxito em estudos de vulnerabilidade a erosão há várias décadas (SCHMIDT, 1994; FALCÃO, 2013; RIBEIRO *et al*, 2016; SOUSA, 2017).

3. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

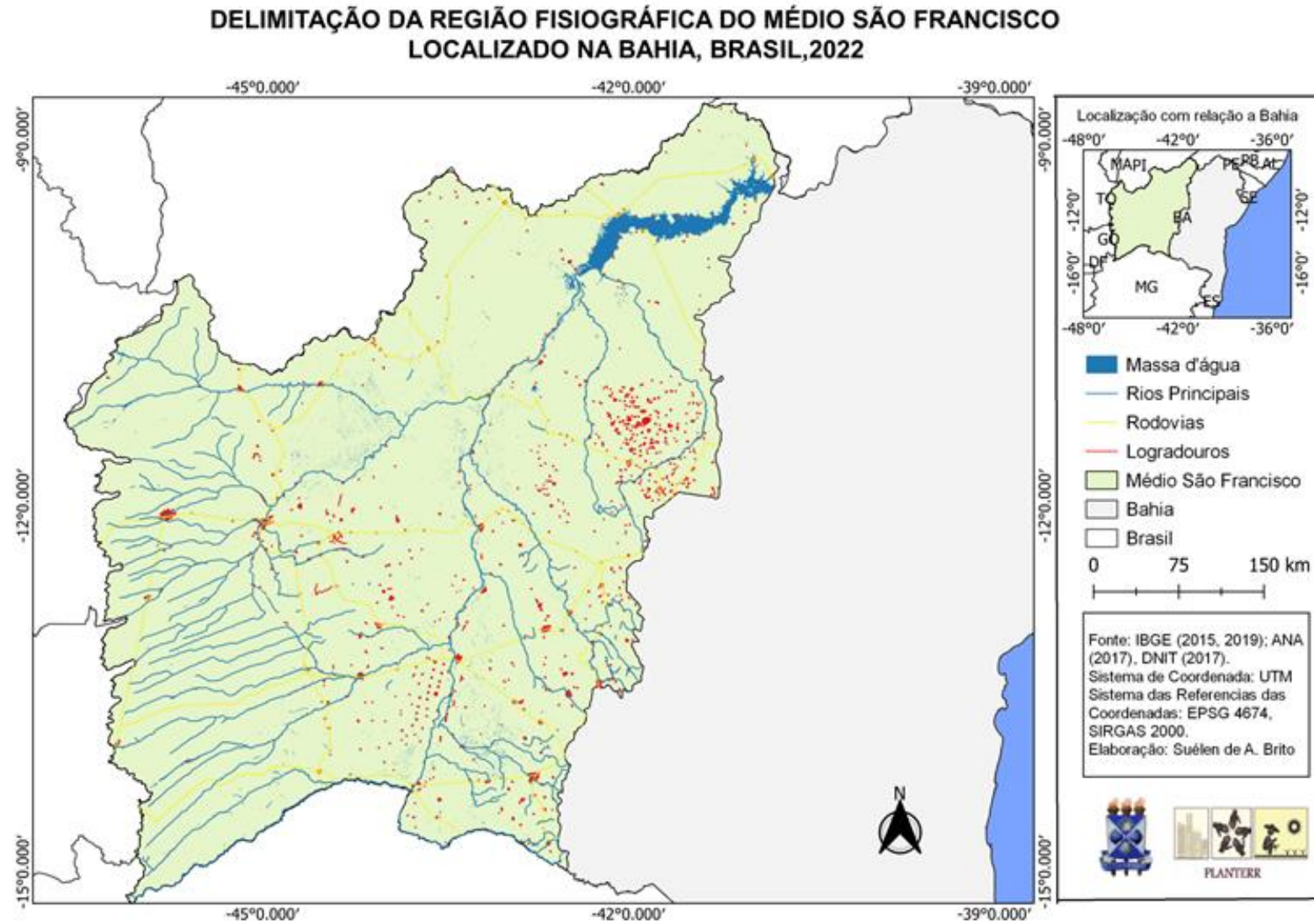
3.1 LOCALIZAÇÃO DA REGIÃO FISIAGRÁFICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO

O território baiano, de acordo com a Resolução n 43 do Conselho Estadual dos Recursos Hídricos - CONERH (2009), encontra-se totalmente inserido em duas Regiões Hidrográficas Nacionais: a do Atlântico Leste e a do Rio São Francisco.

A Bacia hidrográfica do rio São Francisco é uma das mais significativas do Brasil e a mais importante do Nordeste. Tem aproximadamente 639.000 km² de extensão, ocupa uma área equivalente a 8% do território nacional com abrangência entre 507 municípios espalhados em sete Unidades Federativas (Bahia, Minas Gerais, Pernambuco, Alagoas, Sergipe, Goiás e Distrito Federal) (CBHSF, 2015). E é dividida em quatro regiões fisiográficas (Alto, Médio, Submédio e Baixo São Francisco).

A região fisiográfica do médio São Francisco (RFMS) é o trecho com tamanho maior da Bacia, abrange 63% do seu território entre 228 municípios. Em sua margem esquerda inclui as sub-bacias dos rios Paracatu, Urucuia, Pardo, Pandeiros, Carinhanha, Corrente e Grande, como contribuintes. Já na margem direita encontram-se as sub-bacias dos rios Pacuí, Verde Grande, Carnaíba, Paramirim, Verde e Jacaré (CBHSF, 2015). A área selecionada para o desenvolvimento dessa pesquisa é a região fisiográfica do médio São Francisco localizada no estado da Bahia (Figura 2), com área aproximada de 261.164,23 km², tendo como seus principais municípios Barreiras, Guanambi, Irecê e Bom Jesus da Lapa, de um total de 100 municípios baianos. Barreiras é o maior município, com 137 mil habitantes, seguido por Guanambi, com 78 mil. Apesar de se destacarem e serem municípios com grande extensão territorial, não são municípios populosos, em comparação a outras regiões.

Figura 2 – Mapa de localização da região fisiográfica do Médio São Francisco com relação ao estado da Bahia, Brasil.



Fonte: IBGE (2015, 2019); ANA (2017); DNIT (2017). Elaboração: Suélen de A. Brito.

3.2 CARACTERIZAÇÕES GERAIS DA REGIÃO FISIAGRÁFICA DO MÉDIO SÃO FRANCISCO E DOS SEUS TERRITÓRIOS DE ABRANGÊNCIA

De acordo com a classificação de Köppen, o Médio São Francisco possui um clima predominante Aw (quente e úmido), com estações secas entre maio e outubro. Ocorre também presença de outra variação climática, como a BShw (semiárido tropical) com curta estação chuvosa no verão e precipitações concentradas nos meses de dezembro e janeiro. Com temperaturas mais elevadas na região entre os meses de maio a outubro (CBHSF, 2015).

A vazão do Médio São Francisco é, em média, de 1.519 m³/s, 53% do total da bacia, e inclui rios importantes na margem esquerda do São Francisco, como o Paracatu, Grande e Urucuia (MMA, 2006). O oeste baiano possui recursos hídricos de superfície que constituem na maior e mais importante fonte de alimentação de água do Médio São Francisco, em sua margem esquerda, realiza a contribuição de aproximadamente 75% do aporte hídrico do referido rio, no Estado da Bahia (MMA, 2006). Possui várias sub-bacias hidrográficas que contribuem para sua vazão, como por exemplo: Rio Paracatu; Rios Verdes e Jacaré; Rio Corrente; Rio Carinhanha; Rio Grande; margem esquerda da Lagoa de Sobradinho, entre outras.

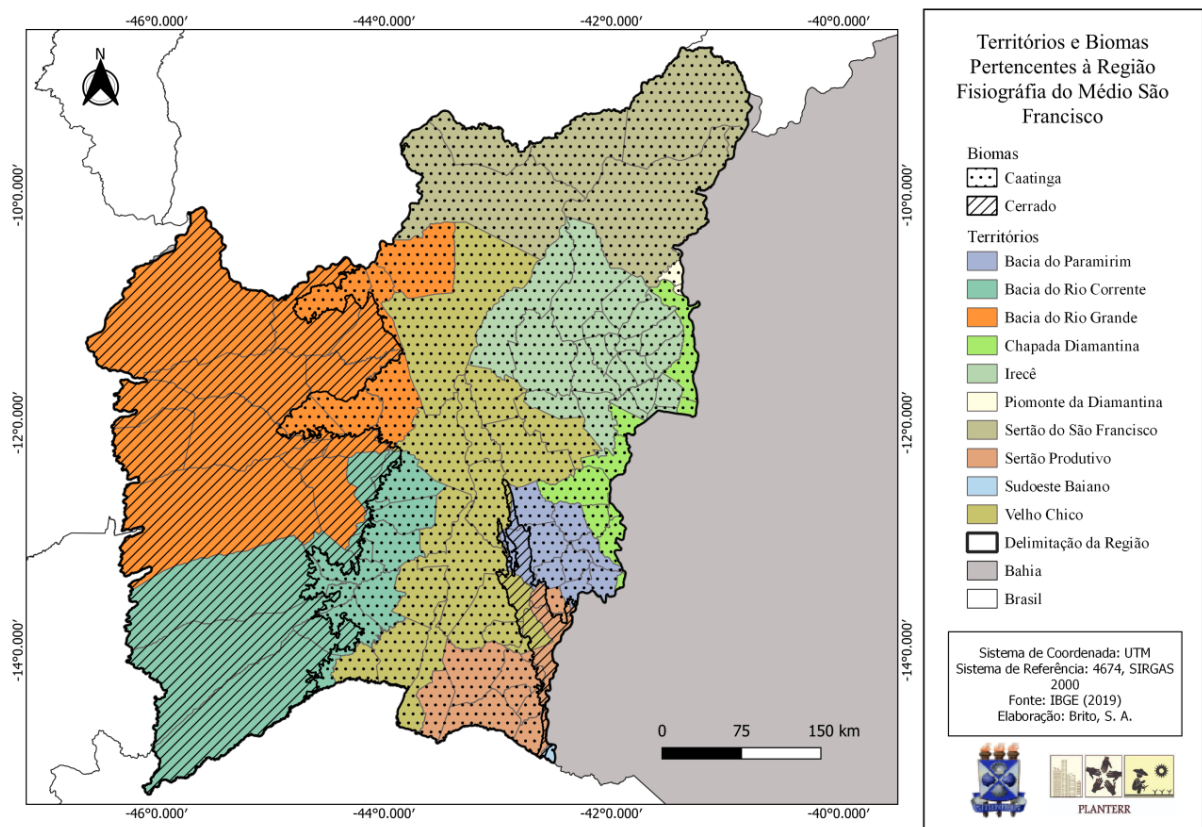
Com relação às características geológicas, a área de estudo possui uma vasta diversidade e com uma ampla gama de idades, é distribuição de forma relativamente igualitária entre os afloramentos do Neoproterozóico (24%), Cenozóico (32 %) e Mesozóico (26%) (SBHFS, 2015). De acordo com a Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (CBPM, 2010) a Região do Médio São Francisco, geologicamente pertence à Formação Tombador, do Grupo Chapada Diamantina. Nessa região há uma predominância das rochas de natureza sedimentar, seguidas das rochas metamórficas, metas sedimentares, metaígneas e as rochas ígneas em menor quantidade (SBHSF, 2015).

Na região de Jacobina e de Gentio do Ouro na Bahia, estão concentradas as maiores reservas de minérios, possui um polo de exploração de minerais como ouro, quartzitos, diamantes, ametistas e rocha ornamental, o que traz inúmeros problemas ambientais para a região.

Os tipos de solos dominantes na região do Médio São Francisco são os Latossolos (43,9%), Neossolos (31,1 %) e Cambissolos (43,9%). Nessa região não existem solos do tipo espodossolo, luvisso e vertissolo. Em linhas gerais predominam solos com aptidão para a agricultura irrigada (SBHSF, 2015).

Os biomas característicos da região são o da Caatinga e o do Cerrado (Figura 3). O ecossistema da caatinga é exclusivo do Brasil, abrange nove Unidades da Federação com área total de 1.000.000 km². A sua flora é formada por cerca de 930 espécies (exemplos: cactos, bromélias e leguminosas), com estratégias diversificadas para sobreviver nos períodos caracterizados por condições climáticas mais severas (PEIXOTO, 2016). Já o ecossistema do cerrado é o segundo em extensão territorial no País, é distribuído em aproximadamente 24% (207 milhões) da região brasileira. As formações vegetais desse bioma vão desde campos abertos até formações densas de florestas, com aproximadamente 12 mil tipos de espécies vegetais (PEIXOTO, 2016).

Figura 3 - Biomas pertencentes à região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: IBGE (2019). Elaboração: Suélen de A. Brito (2022).

3.2.1 Territórios de Identidade da Região Fisiográfica do Médio São Francisco

O estado da Bahia se organiza por meio de planos diretores de desenvolvimento sustentável. Atualmente, encontra-se dividido em 27 Territórios de Identidade. Sendo esses reconhecidos pelo Governo da Bahia através da identificação das prioridades temáticas a

partir da realidade de cada espaço, com o objetivo de potencializar um desenvolvimento equilibrado e sustentável entre as regiões (SETRE, 2022).

A área de estudo contempla dez Territórios de Identidade (Figura 3), Bacia do Paramirim; Bacia do Rio Corrente; Bacia do Rio Grande; Chapada Diamantina; Irecê; Piomonte da Diamantina; Sertão do São Francisco; Sertão Produtivo; Sudoeste Baiano; e Velho Chico. Entre esses, os que apresentam menores interferências para região são o Sudoeste Baiano, com uma área inserida na região fisiográfica de 154,27 km²; e o Piomonte da Diamantina com área de 437,85 km², presentes em menores dimensões, os quais não ganharam destaques no decorrer das discussões desta pesquisa, pois não apresentam relevância significativa quando comparados aos outros territórios.

Assim, para entender melhor os perfis dos Territórios de Identidade localizados na região fisiográfica do Médio São Francisco, no estado da Bahia, serão apresentadas, de forma individualizada informações relativas às suas características gerais.

3.2.1.1 Bacia do Rio Grande

Encontra-se totalmente inserido na região fisiográfica do Médio São Francisco, no Extremo Oeste Baiano, entre as coordenadas aproximadas de 10°6' a 13°27' de latitude sul e 43°21' a 46°37' de longitude oeste (IBGE, 2019), com área de 75.736,94 quilômetro quadrados, o que corresponde a aproximadamente 29% da região de estudo. Sua formação administrativa abrange os municípios de Angical, Baianópolis, Barreiras, Buritirama, Catolândia, Cotegipe, Cristópolis, Formosa do Rio Preto, Luís Eduardo Magalhães, Mansidão, Riachão das Neves, Santa Rita de Cássia, São Desidério e Wanderley (SEESB, 2015).

Com relação às condições climáticas varia do tipo Úmido (com chuvas anuais superiores a 1.700 mm) no extremo oeste da região, ao clima Semiárido (chuvas anuais inferiores a 800 mm) junto à calha do rio São Francisco; ocorrem no seu trecho médio os tipos Úmido a Subúmido, com predominância do Subúmido a Seco. Assim, resulta na região nordeste o clima subúmido a seco, e área de clima semiárido em Buritirama e Mansidão. Na porção central, entre Formosa do Rio Preto e Baianópolis, prevalece o clima úmido a subúmido, com estação seca bem definida e chuvas de primavera/verão e o extremo oeste o clima úmido (SEESB, 1998).

A drenagem, em especial na fração sul do Território, possui forma paralela, caso pouco visto nos territórios brasileiros, formada devido à existência do relevo escarpado e

direção da erosão dos vales. Destacam-se os rios Balsa, Bastardo Grande, Bom Jesus, Branco, Cabeceira de Pedras, da Estiva ou Galheirão, da Pratinha, das Fêmeas, das Pedras, de Janeiro, de Ondas, do Borá, do Livramento, do Ouro, do Santo, dos Porcos, Grande (Rio de maior relevância enquanto afluente do São Francisco, que dar o nome do território), Guará, Preto, Roda Velha, São Desidério, Sapão, Sassafrás (SEESB, 2018).

A vegetação predominante é a do bioma Cerrado. Dentre suas variações, ocorre o Cerrado Arbóreo Florestal, o Cerrado Gramíneo Lenhoso e o com aspecto de parque. Além disso, pode-se encontrar também a Floresta de Galeria, Floresta Estacional Semidecidual e Decidual Montana e Caatinga (SEESB, 2018).

3.2.1.2 *Velho Chico*

Possui todo o território inserido na região fisiográfica do Médio São Francisco, cortando-o na direção sul-norte. Está inserido no Vale Sanfranciscano, entre as coordenadas aproximadas de 10°14' a 14°42' de latitude sul e 42°4' a 44°27' de longitude oeste, com abrangência de 45.976,87 quilômetros quadrado (IBGE, 2019), na qual equivale aproximadamente 17,6% da área de estudo. Foi fundado administrativamente pelos municípios de Barra, Bom Jesus da Lapa, Brotas de Macaúbas, Carinhanha, Feira da Mata, Ibotirama, Igaporã, Malhada, Matina, Morpará, Muquém do São Francisco, Oliveira dos Brejinhos, Paratinga, Riacho de Santana, Serra do Ramalho e Sítio do Mato (BAHIA, 2012)

Todo o território enquadra-se na região semiárida, assim, há predominância do clima semiárido e em alguns trechos das bordas leste e oeste, o clima subúmido a seco, como em Brotas de Macaúbas, Riacho de Santana, Muquém do São Francisco e Feira da Mata.

O rio São Francisco é o recurso hídrico mais importante do território, no qual foi a inspiração para o seu nome, através do uso de uma perífrase (Velho Chico). É também importante para o estado, pois integra vários municípios e possui influência na dinâmica socioeconômica e cultural das regiões. Além do São Francisco, afluentes de magnitude percorrem o território: Rio Carinhanha (divisa com Minas), Rio Correntina, Rio das Rãs e Rio Paramirim.

As vegetações de Caatinga, Cerrado e Caatinga/Floresta predominam. No entanto, o surgimento da Caatinga é fragmentado, principalmente no leste, e quando associado às florestas, os fragmentos aparecem de forma mais contínua. A região do Cerrado é mais unificada e suas partes mais integradas à Barra.

3.2.1.3 *Bacia do Rio Corrente*

O Território da Identidade está inserido por completo na região fisiográfica do médio São Francisco, no extremo oeste do estado da Bahia, com coordenadas aproximadas entre a latitude 12°13' a 15°16' sul e a longitude 43°26' a 46°14' oeste. Abrange uma área de 45.622,77 quilômetros quadrados (IBGE, 2013), equivalente a aproximadamente 17% da área de estudo. Foi fundado administrativamente pelos municípios de Brejolândia, Canápolis, Cocos, Coribe, Correntina, Jaborandi, Santa Maria da Vitória, Santana, São Félix do Coribe, Serra Dourada e Tabocas do Brejo Velho (Superintendência de Pesquisas Econômicas e Sociais da Bahia, 2015).

O território faz parte da área de abrangência do Semiárido, entretanto os municípios de Jaborandi, Correntina, Canápolis e Santa Maria da Vitória não fazem parte do semiárido. Na direção leste-oeste, há uma mudança climática de semi-árido para úmido. Na região central estão presentes faixas subúmidas a secas e úmidas a subúmidas que dominam a região, no leste predominam climas semiáridos e subúmidos a secos. (SEESB, 1998).

A drenagem paralela é uma das características da hidrografia e é facilmente observada no oeste com topografia paralela íngreme. Os principais rios são Arrojadinho, Arrojado, Carinhonha, Correntina, das Éguas ou Corrente, do Meio, dos Anicos, Formoso, Guará, Itaguari e Pratudão, com exceção de alguns caminhos que ainda resistem. Os corpos d'água mais importantes são a Lagoa de Juazeiro em Tabocas do Brejo Velho, Pratudinho e Pratudão em Jaborandi e Formoso em Cocos e Jaborandi.

O Cerrado, a Floresta Estacional e a Floresta de Galeria compõem o mosaico vegetacional do território. O Cerrado é encontrado ainda na forma gramíneo-lenhosa e com aspecto de parque, nos vales. Há Floresta Estacional Semidecidual na porção nordeste do território.

3.2.1.4 *Sertão do São Francisco*

O Território de Identidade do Sertão do São Francisco está localizado principalmente no Vale Sanfranciscano da Bahia, com sua maior parte inserida na região fisiográfica do médio São Francisco, entre as coordenadas aproximadas de latitude 8°33' a 10°50' sul e longitude 38°26' a 43°54' oeste. A sua abrangência na área de estudo é de 40.507,39 quilômetros quadrados (IBGE, 2013), cerca de 15,5% da região estudada. Administrativamente é composto pelos municípios de Campo Alegre de Lourdes, Casa Nova,

Pilão Arcado, Remanso e Sento Sé que estão dentro da área de estudo e Canudos, Curaçá, Juazeiro, Sobradinho e Uauá que não fazem parte do espaço amostral analisado nesta pesquisa.

O território pertence à região de abrangência do semiárido. Há a predominância do clima semiárido, especialmente no oeste. Na região leste, além do clima semiárido, há também um clima seco, e no sudoeste da cidade de Pilão Arcado ocorre um clima subúmido a seco (SEESB, 1998).

A Bacia Hidrológica do São Francisco atinge as duas margens do rio entre os municípios de Pilão Arcado e Sobradinho. Além de São Francisco, os principais rios da região são o Rosário, Jacaré ou Vereda Romão Gramacho e Salitre.

A Caatinga Arbórea e Arbustiva, Cerrado Arbóreo Florestado, Floresta Estacional, Vegetação Secundária, Floresta de Galeria e Campos Rupestres formam o mosaico da vegetação do território. Áreas contínuas preservadas ocorrem em quase toda a extensão (SEESB, 2018).

3.2.1.5 Irecê

Ocupa um espaço de 26.132,19 Km² na área de estudo, equivalente a 10% do total, o Território de Irecê localiza-se no centro-norte da região fisiográfica do Médio São Francisco, com coordenadas aproximadas entre a latitude 10°10' a 12°18' sul e longitude 41°21' a 43°16' oeste, faz divisa ao oeste com o Território do Velho Chico, ao sul com o da Chapada Diamantina e a leste com o Território Piemonte da Diamantina. Administrativamente é composto pelos seguintes municípios: América Dourada, Barra do Mendes, Barro Alto, Cafarnaum, Canarana, Central, Gentio do Ouro, Ibipecta, Ibititá, Ipupiara, Irecê, Itaguaçu da Bahia, João Dourado, Jussara, Lapão, Mulungu do Morro, Presidente Dutra, São Gabriel, Uibaí e Xique-Xique (SEESB, 2015).

Integrado no Semiárido baiano, no qual prevalece um clima semiárido (SEESB, 1998). Há também uma parte semiúmida a seca entre o leste de Cafarnaum e Mulungu do Morro e entre o sul de Itaguaçu da Bahia e Barra do Mendes, com chuvas mais difundidas do que a parte semiárida (SEESB, 1999).

O território está quase totalmente inserido na região fisiográfica do médio São Francisco, pertencente à bacia do São Francisco, possui uma pequena parte localizada na região da bacia do Paraguaçu que passa pelos municípios de Barro Alto e Mulungu do Morro.

Uma série de ilhas fluviais compõem a paisagem ao longo do rio São Francisco, que atravessa a orla oeste da cidade de Xique-Xique, assim como grotas e ipueiras. Além do São Francisco, outros rios importantes no território são Jacaré ou Vereda Romão Gramacho e Verde (SEESB, 2018).

A vegetação neste local é formada por Remanescente de Caatinga Arbórea e Contato Caatinga-Floresta Estacional. A Floresta de Galeria está localizada nas várzeas e terraços do rio São Francisco. Há também refúgios ecológicos nas serras de Gentio do Ouro e Ipupiara.

3.2.1.6 *Bacia do Paramirim*

Localiza-se integralmente no Centro Sul Baiano, no chamado Polígono das Secas, entre as coordenadas aproximadas de 12°30' a 13°43' de latitude sul e 41°53' a 42°58' de longitude oeste, ocupa uma área na região de estudo de 8.826,74 km² (IBGE, 2011), que corresponde a aproximadamente 3,38% do todo. A Bacia do Paramirim é um dos menores Territórios de Identidade da Bahia, composto administrativamente pelos municípios de Boquira, Botuporã, Caturama, Érico Cardoso, Ibipitanga, Macaúbas, Paramirim, Rio do Pires e Tanque Novo (BAHIA, 2012). Está inserido quase inteiramente na Bacia do São Francisco, com apenas uma pequena porção do sudeste localizada na bacia do rio de Contas.

O território de identidade faz parte da área de abrangência do semiárido, e todos os municípios se enquadram na Região Semiárida. O clima é principalmente semiúmido a seco, e a região leste tem maior influência do clima semiárido. O rio Paramirim (nome do território) é a principal fonte hídrica da região. Os corpos d'água mais importantes são as represas de Macaúbas e Zabumbão, no município de Paramirim.

Reservas ecológicas nas serras, como em Rio do Pires e Érico Cardoso, além da Caatinga, florestas estacionais e áreas de Cerrado na parte sul do território, constituem a vegetação (BRASIL, 1981, 1982) (BAHIA, 2013).

3.2.2.7 *Chapada Diamantina*

O Território de Identidade Chapada Diamantina é composto administrativamente por 24 municípios, localizados majoritariamente no Centro Sul Baiano, entre as coordenadas aproximadas de 10°45' a 13°56' de latitude sul e 40°24' a 42°37' de longitude oeste (IBGE, 2011). Entre os municípios que compõem esse território, apenas 10 estão inseridos no espaço amostral deste trabalho, ocupa uma área de 7.045,20 km², que corresponde a quase 2,7% da

área total. Assim, os municípios que contemplaram a pesquisa são: Abaíra, Boninal, Bonito, Ibitiara, Morro do Chapéu, Novo Horizonte, Piatã, Rio de Contas, Seabra, Souto Soares.

Faz parte da área de abrangência do Semiárido, e todos os municípios se enquadram na Região Semiárida. Predomina o clima subúmido a seco, com ocorrência do clima semiárido, nas extremidades e área de Boninal, e clima úmido a subúmido, na porção sul.

Na extensão da Bacia do São Francisco, o Rio Jacaré ou Vereda Romão Gramacho é um afluente expressivo. A maior parte do território está localizada na bacia hidrológica do Paraguaçu, tendo ainda a bacia do rio de Contas como fonte hídrica.

A vegetação é composta por Caatinga, Cerrado, florestas estacionais, reservas ecológicas, nas quais indicam uma ampla gama de ambientes vegetados dentro do território. Os refúgios ecológicos, nas regiões mais acidentadas, são os mais completos. Morro do Chapéu registra muitos fragmentos de vegetação secundária (SEESB, 2015).

3.2.2.8 Sertão Produtivo

O território da identidade Sertão Produtivo é composto administrativamente por 24 municípios e está localizado no centro do sul do estado da Bahia, entre as coordenadas aproximadas de 13°30' a 14°50' de latitude sul e 40°55' a 43°40' de longitude oeste (IBGE, 2011). Dentre os municípios que compõem o território, o espaço amostral para este trabalho contempla apenas 08, abrange uma área de 10.683,63 quilômetros quadrados, que representa quase 4,1% da área total. Portanto, as cidades consideradas para este estudo são: Caetité, Candiba, Guanambi, Iuiu, Palmas de Monte Alto, Pindaí, Sebastião Laranjeiras e Urandi (BAHIA, 2012).

Este território se enquadra totalmente na Região Semiárida. O clima predominante é o semiárido, com tipos subúmidos a secos definidos nas regiões centrais. No leste de Urandi, o clima úmido a subúmido ocorre de forma localizada, com influência da Serra do Espinhaço e da Chapada Diamantina, respectivamente, e da vegetação predominante (fitoclima) (SEESB, 2015).

O rio São Francisco a oeste e a bacia hidrográfica do rio de Contas a leste fazem parte do Território. São bacias importantes no estado e tem o rio de Contas como principal corpo hídrico. No trecho da Bacia do São Francisco, afluentes como o Rio da Sambaíba e o Rio Verde Pequeno, que fazem fronteira com o estado de Minas Gerais, cortam o território de identidade. A abundância de espelhos d'água no território é considerável, contempla a

Barragem de Ceraíma, em Guanambi, e a Barragem Cova da Mandioca, em Urandi, como exemplos específicos.

A Caatinga Arbórea domina a área de identidade, com muitos espaços que entram em contato com outros biomas. No leste, Caetité tem Contato Cerrado/Caatinga Arbórea/Floresta Estacional e Cerrado Arbóreo. Há também exposição a Caatinga Arbórea/Floresta Estacional (entre Urandi e Palmas de Monte Alto) e predomínio de Floresta Estacional, Cerrado e Contato Caatinga/Floresta Estacional na porção oeste (SEESB, 2015).

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho científico exige uma metodologia de pesquisa para ser usada no desenvolvimento do trabalho. Dito isso, este estudo foi conduzido com base na abordagem quantitativa, que segundo Heerdt (2007) refere-se a um método que possibilita traduzir opiniões e números através da quantificação de seus valores, considera assim, que tudo é quantificável. Além disso, teve como base a pesquisa documental, de acordo com os procedimentos de coleta, ou seja, foram utilizados dados de fontes primárias.

Esta pesquisa foi originada por meio à inquietação da autora, ao observar o quão a erosão dos solos é significativa em regiões hidrográficas, afirmação vista em uma atividade de estágio desenvolvida como componente curricular para título de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Uma vez que no decorrer do estágio foi considerado, a partir das análises de uma carta síntese de vulnerabilidade à erosão, que uma lagoa marginal, denominada Lagoa de Itaparica, localizada em Xique-Xique/BA, no médio São Francisco, teve como um dos motivos para a sua seca hídrica, no ano de 2017, o aumento da erosão do solo ao redor do seu território. Por meio dessa atividade, surgiu o interesse de abranger o trabalho em uma área maior da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, escolhendo assim, a região do médio São Francisco localizado no estado da Bahia para o desenvolvimento desta pesquisa.

Para a realização do procedimento metodológico foi necessário, logo de início, um levantamento bibliográfico (livros, teses, dissertações, artigos científicos e consultas a banco de dados) em busca de referências a respeito da temática estudada e em relação à área da bacia hidrográfica de estudo, a fim de fundamentar de forma teórica e metodologicamente o trabalho. Para tanto, foram tratados conceitos de Vulnerabilidade à Erosão, Geoprocessamento, Gestão ambiental, Bacia Hidrográfica, Território de Identidade, Sistema de Informações Geográficas e modelagem Fuzzy e AHP, que foram caracterizados com o uso de fontes secundárias com base em autores como, por exemplo, Falcão (2013), Schmidt (1995), Crepani (2001), Sánchez (2008), Finkler (2014), Philippi Jr e Romério (2014), Ferreira (2008), entre outros.

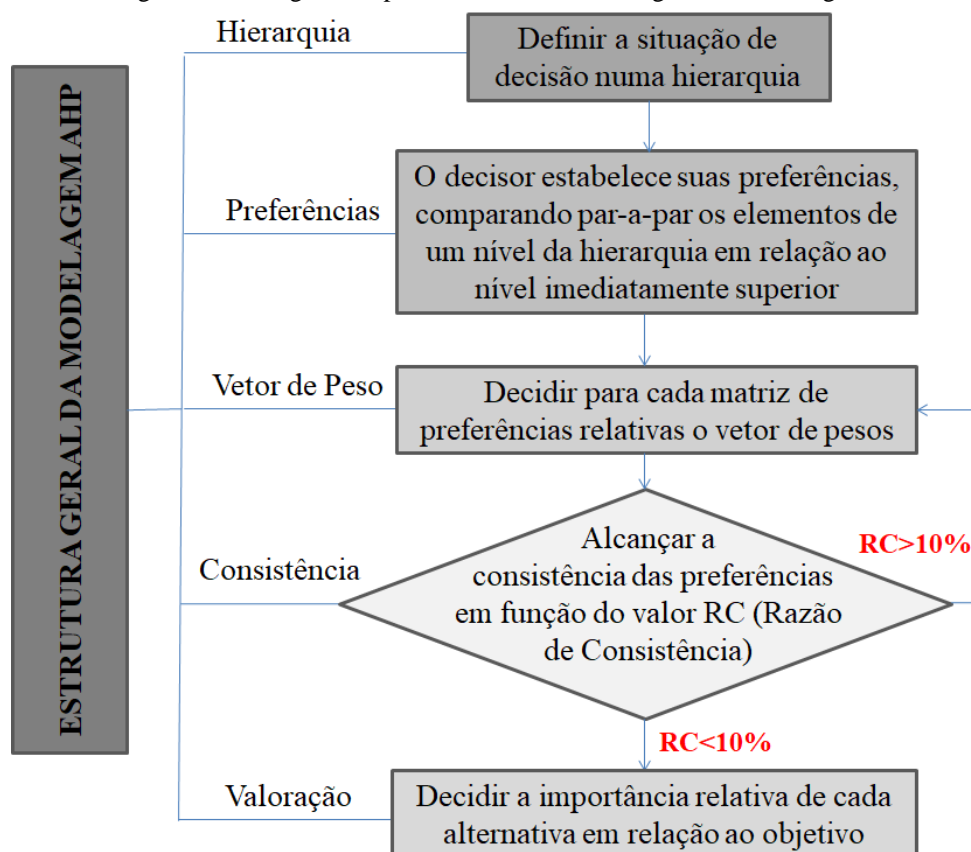
4.1 USO DA MODELAGEM FUZZY E AHP PARA A CONSTRUÇÃO DA CARTA SÍNTESE DE VULNERABILIDADE À EROSÃO

Além da pesquisa em fontes bibliográficas, o estudo foi desenvolvido em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Com base na pesquisa documental, foi realizado um levantamento de dados cartográficos no formato vetorial e raster, com o intuito de obter dados das características físicas da área estudada. Para tal fim, foram realizadas buscas de informações no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Mapbiomas e Agência Nacional de Águas (ANA). Nos quais, foram consultados para a obtenção do limite da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco, mapas atinentes à geologia, pedologia, relevo, hidrografia, uso e cobertura da terra e intensidade pluviométrica, que foram utilizados para a construção do mapa final de vulnerabilidade à erosão. Todos os processos de construção dos mapas foram realizados no software QGIS, versão 3.16.9.

O uso da modelagem AHP em conjunto com a lógica Fuzzy foram métodos analisados que mais se destacou para solucionar a problemática existente no atual estudo, com as suas aplicações foi possível definir os pesos da vulnerabilidade ambiental dos critérios delimitados com o uso da ponderação pareada. Esse trabalho foi ainda fundamentado no arcabouço conceitual de Ecodinâmica de Tricart (1977), que associa espacialmente os processos morfogenéticos e pedogenéticos para posterior análise de unidades de paisagem, tendo em vista seu contexto dos meios biológicos, físicos e uso da terra, com predomínio da morfogênese nos processos erosivos modificadores das formas de relevo e, quando prevalece a pedogênese, prevalecem os processos formadores de solos (AMARAL; ROSS, 2009).

As etapas de estruturação do problema, julgamentos comparativos e síntese das prioridades foram as principais ações desenvolvidas na metodologia AHP. Esse método possui em sua estrutura a possibilidade de incluir uma ampla ordenação de julgamentos, objetivos e subjetivos, de uma maneira intuitiva e consistente, que traduzem de forma clara a preferência das decisões, e pode ser usada como uma ferramenta normativa ou descritiva (SCHMIDT, 1995). As fases para o desenvolvimento da modelagem AHP estão exemplificadas com detalhes na Figura 4.

Figura 4 - Fluxograma representativo da estrutura geral da modelagem AHP.



Fonte: Adaptado de Schmidt (1995).

Os critérios (variáveis) para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à erosão do recorte da RFMSF foram definidos de acordo com a literatura (Falcão (2013), Crepani (2001); Ross (2009; 2012), Fushimi (2013; 2018)), assim, foram usadas as seguintes variáveis: Uso e Cobertura da Terra, Declividade, Pedologia, Geologia e Intensidade Pluviométrica. Além disso, coletou-se metadados nos formatos vetorial para a produção do mapa de localização da área de estudo (Quadro 4).

Quadro 4 - Metadados utilizados na pesquisa.

Dados	PRODUTOS CARTOGRÁFICOS I	ESCALA	FONTE DE AQUISIÇÃO
Limite municipal	Delimitação da área de estudo	1:250.000	IBGE (2019)
Rodovias	Caracterização do acesso	1:100.000	SEI (2008)
Hidrografia	Rede Hidrográfica	1:100.000	SEI (2008)
Uso e ocupação da terra	Mapa de usos e cobertura do solo	1:250.000	MapBiomias (2020)
Relevo	Mapa de declividade	30 m	INPE (2020).
Solo	Mapa de solos	1:5.000.000	Embrapa (2020)
Geologia	Mapa de litologia	1:1.000.000	CPRM (2021)
Clima	Mapa de intensidade pluviométrica		ANA (1995 a 2014)

Fonte: Suélen de A. Brito, (2023).

Com base em estudos realizados por Falcão (2013) às variáveis definidas para a construção dos mapas de critérios deste trabalho foram divididas em dois grupos, os relativos e os restritivos. Dessa forma, o critério restritivo foi utilizado para representar áreas inadequadas ao objetivo proposto e que precisaram ser removidas das etapas de combinação de fatores. Ao seguir esse critério, esse campo foi preenchido pelas áreas destinadas para corpos hídricos (corpos d'água). Já os critérios relativos possuem elevado grau de contribuição para a análise do processo de erosão, fizeram parte desse grupo o Uso e Ocupação da Terra, Tipo de Solo, Geologia, Declividade e Intensidade Pluviométrica.

Na análise multicritério, os dados (valores) envolvidos, por serem compostos, quase sempre, por unidades diferentes, impedem a sua agregação de forma imediata. Para realizar a uniformização das unidades consideradas, realizou-se uma normalização (padronização), para uma mesma escala, dos valores atribuídos a cada critério (CALIJURI; MELO; LORENTZ, 2002).

No entendimento de Ramos (2000), o uso da função fuzzy é mais apropriado quando se tem um procedimento de normalização de critérios para variáveis contínuas, a qual deverá ser escolhida e calibrada cuidadosamente. Em critérios que abrangem escalas nominais, é necessário atribuir, arbitrariamente, os valores normalizados, de acordo com a escala de normalização adotada.

Os mapas de critérios foram classificados também conforme a sua natureza, que pode ser categórica ou contínua, a primeira atribuída a mapas que possuem classes representadas nominalmente e a segunda para mapas que possuem classes representadas numericamente. Os dados de natureza categórica possuem igual, maior ou menor contribuição para o processo em análise, comparado aos demais critérios. Da mesma forma, uma classe contribui para o mesmo processo em igual, maior ou menor nível, comparada às demais classes do mesmo critério. Assim, cada uma das classes destes mapas categóricos é um subcritério ou um subfator, por exemplo, a classe sedimentar é um subcritério do critério tipo de geologia e a classe áreas urbanizadas é um subcritério do critério uso e ocupação da Terra (FALCÃO, 2013).

No Quadro 5, estão de forma exemplificadas os tipos de mapas, tipos de critério, a natureza dos critérios, a normalização e alguns exemplos de regras de decisão de ambos que foram utilizados para a elaboração dos mapas dessa pesquisa. Como por exemplos, para o mapa de intensidades pluviométrica foi adotado o critério relativo, a normalização usada foi a fuzzy e as regras são referentes as áreas com pouca precipitação, que oferecem uma

vulnerabilidade menor, em quanto as áreas com maiores precipitação apresentaram vulnerabilidade elevada.

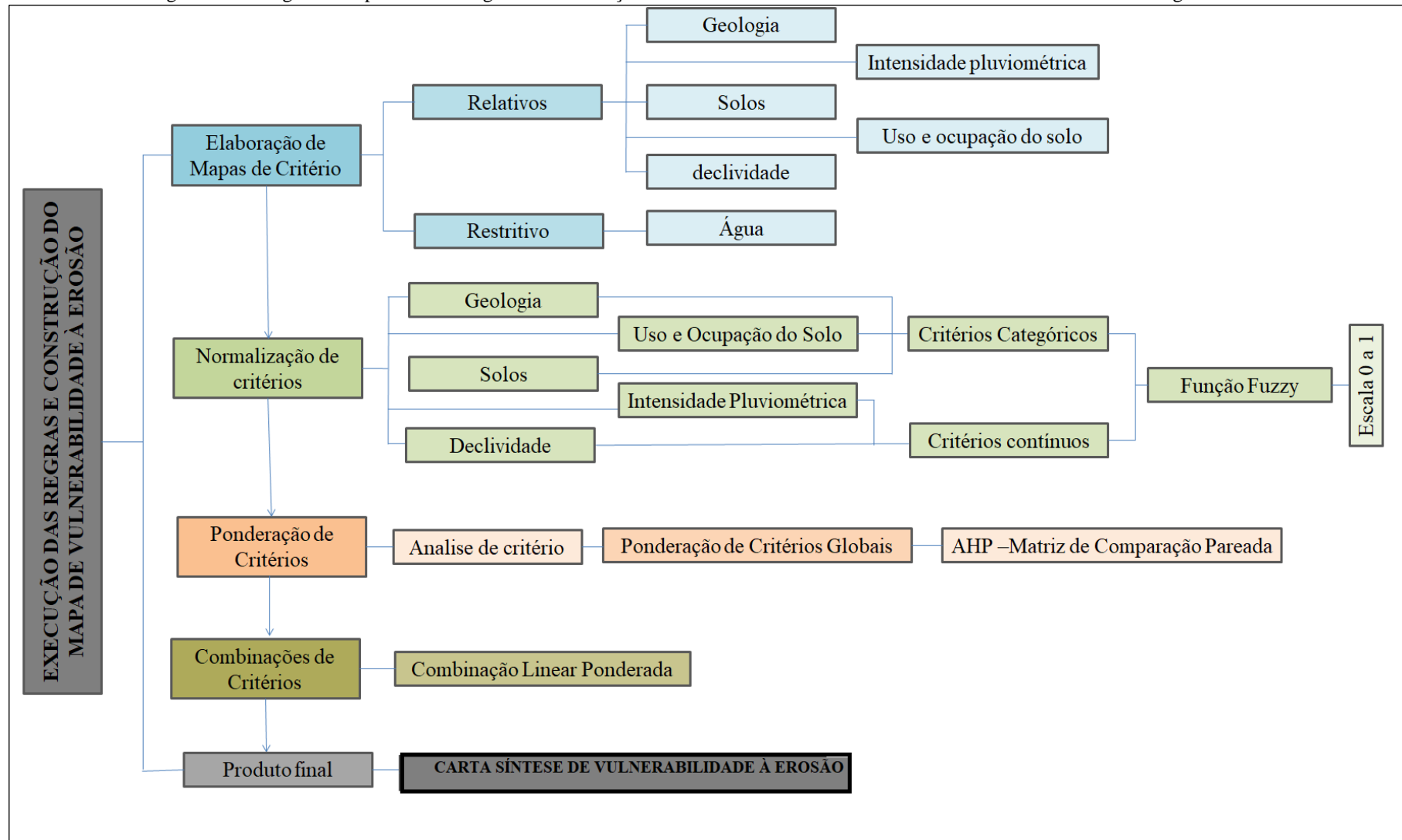
Quadro 5 - Características dos critérios para a metodologia de normalização de dados.

Mapa de Critério	Tipo de Critério	Natureza dos dados	Normalização	Regra de decisão
Uso e Ocupação da Terra	Relativo	Catagórico	Fuzzy	Exemplo: solo exposto pode oferecer maior risco à erosão.
Tipo de Solo	Relativo	Catagórico	Fuzzy	Exemplo: Solos do tipo <i>Argissolos</i> podem oferecer menores riscos a erosão
Tipo de Geologia	Relativo	Catagórico	Fuzzy	Exemplo: Rochas do tipo <i>sedimentar</i> podem oferecer maiores riscos à erosão.
Declividade	Relativo	Contínuo	Fuzzy	Exemplos: Áreas íngremes (declividade >45%) podem oferecer maiores riscos à erosão.
Intensidade pluviométrica	Relativo	Contínuo	Fuzzy	Exemplo: Áreas com poucas precipitações podem oferecer menor risco à erosão.
Corpos d'água	Restritivo	-	-	Rios, lagos, açudes, barragens.

Fonte: Adaptado de Falcão (2013).

Para melhor entendimento da aplicação da modelagem AHP e fuzzy utilizada neste estudo, são mostradas na Figura 5 todas as etapas em ordens sequenciais da sua aplicação, cujos procedimentos gerais foram os seguintes: 1ª Etapa - elaboração dos mapas básicos dos critérios relativos (Uso e Ocupação da Terra, Tipo de Solo, Geologia, Declividade e Intensidade Pluviométrica) e do critério restritivo (Corpos d'Água) considerados na abordagem multicritério; 2ª Etapa – execução das operações de normalizações (escala de 0 a 1) dos critérios com o uso da função *fuzzy*. 3ª Etapa - ponderação dos critérios e subcritérios. 4ª Etapa - combinação de critérios, através de uma combinação linear ponderada. 5ª Etapa - elaboração do mapa digital de níveis de risco ao processo de fragilidade à erosão da área estudada (FALCÃO, 2013).

Figura 5– Fluxograma do procedimento geral da construção da carta síntese de vulnerabilidade à erosão utilizando a modelagem AHP.



Fonte: Adaptado de Falcão (2013).

Para a normalização realizada por meio da modelagem Fuzzy foi utilizada a definições de intervalos de peso baseados em Crepani *et al* (2001), que se referem as vulnerabilidades com a constituição de cinco classes, divididas em Muito Baixa, Baixa, Média, Alta e Muito Alta, descritas com os seus intervalos na Tabela 1.

Tabela 1 - Escala de vulnerabilidade.

Vulnerabilidade	Intervalos Crepani	Intervalos Fuzzy
Muito Baixa	1 a 1,3	$0 \leq 0,2$
Baixa	1,4 a 1,7	$>0,2 \text{ a } \leq 0,4$
Média	1,8 a 2,2	$>0,4 \text{ a } \leq 0,6$
Alta	2,3 a 2,6	$>0,6 \text{ a } \leq 0,8$
Muito Alta	2,7 a 3	$>0,8 \text{ a } 1$

Fonte: Adaptado de Crepani *et al.* (2001).

4.1.1 Uso e Cobertura da Terra

Os raster base, de Uso e Ocupação da Terra, utilizado para a fração da bacia hidrográfica do médio São Francisco foi adquirido do projeto Mapbiomas – Coleção 7, ano 2022 (escala:1:250.000), da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. O Mapbiomas é uma iniciativa do SEEG/OC (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima) e é desenvolvido por uma rede multi-institucional formada por ONGs, universidades e empresas de tecnologia com o objetivo de mapear anualmente a cobertura e uso do solo do Brasil e monitorar as mudanças do território.

O mapeamento produzido pelo Mapbiomas é baseado nas imagens do satélite *Landsat*, com processo de classificação totalmente automatizado feito com amplos algoritmos de aprendizagem de máquina (machine learning), por meio da plataforma *Google Earth Engine* (GEE) é possível à realização de processamento das imagens na infraestrutura de computação em nuvem.

Após a obtenção do mapa no formato matricial (pixel de 30 x 30 m) foi realizado o tratamento da imagem, a princípio foi feito o recorte para a área de interesse e em seguida foi realizado a normalização dos critérios com o uso da modelagem Fuzzy. O recorte da área estudada teve como parâmetro as seguintes classes: Formação Florestal; Formação Savânica; Mangue; Formação Campestre; Outras Formações não Florestais, Campo Alagado e Área Pantanosa; Apicum; Afloramento Rochoso; Praia e Duna e Areal; Restinga Arborizada; Algodão; Café; Outras Lavouras Perenes; Silvicultura; Algodão; Cana; Arroz; Pastagem; Mosaico de Agricultura e Pastagem; Soja; Outras lavouras Temporárias; Outras áreas não vegetadas; Agricultura; Áreas Urbanas; e Mineração.

Antes da realização do processo de normalização dos critérios, foi feita uma análise e definido os valores de risco para cada classe encontrada no recorte, todos os valores distribuídos estão descritos na Tabela 2. Nessa etapa, foi atribuído o valor zero para o critério restritivo pertencente aos corpos d'água e para os demais critérios relativos foram distribuídos os valores de risco utilizando fuzzy, de acordo com o nível de interferência que cada classe tem com relação aos fatores erosivos, ou seja, foi atribuído um valor menor para as áreas com vegetação nativas, considera-se que nessas regiões há uma proteção maior ao solo pela vegetação que ameniza os processos erosivos, já para solo exposto foram atribuídos valores maiores, devido essas áreas possuírem um contato direto com os fatores físicos que provocam a erosão.

Tabela 2 - Valores de risco utilizados na normalização dos critérios do mapa de uso e cobertura da terra da Região fisiográfica do Médio São Francisco pertencente ao Estado da Bahia.

Classes	Valor Fuzzy	Vulnerabilidade
Rios e Lagos	0,00	-
Formação Florestal	0,10	Muito Baixa
Formação Savânica	0,15	
Mangue	0,20	
Formação Campestre	0,20	
Outras Formações não Florestais	0,20	
Campo Alagado e Áreas Pantanosas	0,20	
Apicum	0,20	
Afloramento Rochoso	0,30	Baixa
Praia e Duna e Areal	0,50	Médio
Restinga Arborizada	0,50	Muito Alta
Algodão	0,90	
Café	0,90	
Outras Lavouras Perenes	0,90	
Silvicultura	0,90	
Algodão	0,90	
Cana	0,95	
Arroz	0,95	
Pastagem	0,95	
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,95	
Soja	0,95	
Outras lavouras Temporárias	0,95	
Outras áreas não vegetadas	1,00	
Agricultura	1,00	
Áreas Urbanas	1,00	
Mineração	1,00	

Fonte – Adaptado de Falcão (2013) e Crepani (2001).

4.1.2 Declividade

O mapa de declividade foi confeccionado a partir dos dados *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) com resolução espacial de 30 metros do Projeto Topodata,

fornecidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020). Na fase de tratamento dos dados foi construído um mosaico, a partir de 26 folhas topográficas, para a obtenção da área de estudo. Em seguida, a imagem foi recortada com base no limite de abrangência da RFMSF.

Depois do recorte finalizado, foi produzido o mapa de declividade, a grade de declividade gerada teve seus valores em porcentagem. Em seguida foi realizada a reclassificação das classes de declividade, estabelecidas por meio da relação entre a morfometria e a morfografia do relevo de acordo com os intervalos propostos pela EMBRAPA (1979; 2006) e atribuídos valores de risco para cada intervalo de declividade, de forma crescente da classe de relevo plano para o escarpado (Tabela 3). Os parâmetros morfométricos classificam o relevo quanto às suas feições quantitativas enquanto que os parâmetros morfográficos correspondem à forma do relevo (IBGE, 2007).

Tabela 3– Valores de Risco para os tipos de relevo estabelecidos para a aplicação no mapa de declividade da fração da Bahia Hidrográfica do Médio São Francisco.

Classes de Relevo	Índices de Declividade (%)	Valor Fuzzy	Vulnerabilidade
Plano (1)	≤ 3	0,1	Muito Baixa
Suave Ondulado (2)	$> 3 \text{ a } \leq 8$	0,2	Muito Baixa
Ondulado (3)	$> 8 \text{ a } \leq 20$	0,4	Baixo
Forte Ondulado (4)	$> 20 \text{ a } \leq 45$	0,6	Médio
Montanhoso (5)	$> 45 \text{ a } \leq 75$	0,8	Alta
Escarpado (5)	> 75	1,00	Muito Alta

Fonte: Adaptado da EMBRAPA (2006) e Ross (1994).

Por fim, foi realizado o processo de normalização de critérios, a escala de normalização empregada foi uma função fuzzy, do tipo linear crescente. Para a função ser do tipo crescente usa-se uma regra de decisão, na qual considera que quanto maior o valor da declividade de uma área, maior é o seu potencial de risco à erosão. Portanto, os valores foram normalizados para uma escala de 0 a 1 (FALCÃO, 2013).

4.1.3 Pedológico

O mapa Pedológico foi gerado com base nos dados disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020) em formato *shapefile*, na escala de 1:5.000.000. A realização da normalização das classes foi feita conforme a maturidade dos solos. Assim, os solos jovens, poucos desenvolvidos e com processos erosivos de morfogênese, recebem valores de risco mais altos. Já nas situações opostas, as condições de estabilidade dos solos permitem a supremacia dos processos de pedogênese, sendo mais resistente à erosão e, por este motivo, recebem valores mais baixos (CREPANI *et al.*, 2001).

Os solos maduros e bem desenvolvidos costumam ser resultantes de processos pedogenéticos são, portanto, mais estáveis. Enquanto aqueles menos desenvolvidos costumam ser rasos, pedregosos e mais vulneráveis à erosão. As abordagens sobre os impactos resultantes da ação erosiva enfatizam bastante os processos de assoreamento de canais fluviais e formação de bancos e areia. As rochas são principal material de origem dos solos, porém, é preciso destacar que, a depender das condições ambientais as quais estão submetidas uma mesma rocha, pode dar origem a diferentes tipos solos. Com isso, a formação dos solos vai depender ainda de um conjunto de outros fatores, a exemplo do relevo, do clima, da vegetação e do tempo (SENA, 2021).

No estudo de Crepani, *et al.* (2001), eles usaram valores de risco entre uma escala de 1 a 3, de tal forma que as classes de Latossolos são classificadas com o valor 1, por serem unidades de paisagem naturais consideradas estáveis. As classes Neossolos e Plintossolos são consideradas pelos autores solos vulneráveis, e recebe o valor 3. Para os Argissolos, Planossolos entre outros, o autor atribuiu valor 2,5 ao considera-los Moderadamente Vulneráveis. Na Tabela 4 os solos identificados na parte da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco tiveram valores adaptados para uma escala de zero a um, através do processo de normalização dos critérios com o uso de Fuzzy.

Tabela 4– Valores de risco para os tipos de solo estabelecidos para a aplicação no mapa de declividade da fração da Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco.

Classes	Valor Fuzzy	Vulnerabilidade
Água	0	-
Latossolos Amarelos Distróficos	0,20	Muito Baixa
Latossolos Vermelho - Amarelos Distróficos	0,20	
Latossolos Vermelho - Amarelos Eutróficos	0,15	
Latossolos Vermelho Distróficos	0,20	
Latossolos Vermelho Eutróficos	0,15	
Argissolos Vermelho Eutróficos	0,55	
Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos	0,55	
Planossolos Háplicos Eutróficos	0,55	
Gleissolos Háplicos Tb Distróficos	0,8	Alta
Cambissolos Háplicos Tb Distróficos	0,8	
Planossolos Natrico Orticos	1,00	Muito Alta
Neossolos Fluvicos Ta Eutróficos	0,95	
Neossolos Litólicos Distróficos	1,00	
Neossolos Litólicos Eutróficos	0,95	
Neossolos Quartzarenicos Orticos	1,00	

Fonte: Adaptado de Crepani (2001).

4.1.4 Mapa Geológico

Para elaboração do mapa geológico, foram utilizados os dados em formato *shapefile* disponíveis no site da Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM, 2020), elaborados em escala 1:1.000.000. Após o recorte para a área de estudo, foram atribuídos os valores de risco à erosão para as classes encontradas de litologia, e realizada a normalização dos critérios entre os valores de 0 a 1 (Tabela 5).

Os valores de cada classe foram estabelecidos com relação à idade geológica, o tipo litológico e classe da rocha do tipo granítico e gnaíssico. As Formações mais antigas, são consideradas mais resistentes aos processos erosivos, logo receberam valores menores, entretanto as rochas de classes “rochas sedimentar” são consideradas mais susceptíveis ao processo erosivo por serem formadas por fragmentos de outras rochas, nesses casos foram atribuídos valores de risco mais elevados (NASCIMENTO; DOMINGUEZ, 2009).

Tabela 5 - Valores resumidos de risco atribuídos às classes de geologia da área de estudo pertencente à Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco/BA.

Classes	Valor Fuzzy	Vulnerab.
Migmatito; Ortognaisse; Metasienogranito; Metamonzogranito; Metavulcânica máfica, félsica e intermediária; Formação ferrífera bandada (BIF'S); Filito; Rocha metaultramáfica, metamáfica, metapelítica e calcissilicática, Metacalcário dolomito, Metachert, Augen gnaisse, Paragnaisse, Mármore.	0,2	Muito Baixa
Xisto, Paragnaisse, Rocha metaultramáfica, Metachert, Rocha metamáfica, Serpentinó, Talco xisto, Grafita xisto, Metabasalto, Rocha calcissilicática, Metachert, Metakomatiíto, Metagabro, Formação Manganésifera	0,4	Baixa
Metagranito, Metagranodiorito, Augen gnaisse, Metamonzogranito, Metasienito, Metagabronorito, Magnetitito, Metanortosito, Metapiroxenito, Metagabro; Metatonalito;	0,54	Média
Metariodacito; Metariolito; Metadacito; Granodiorito; Rocha metapiroclástica; Quartzó monzonito e sienito; e Ortognaisse.	0,56	
Carbonatito, Sövito, Piroxenito, Quartzó sienito, Albitito, Lamprófiro; Quartzito ferruginoso; Magnetitito, Metagabro, Metagabronorito; Filito; Magnesitito, Metacalcário magnesiano, Metacalcário dolomito, Rocha metaultramáfica, Metachert, Rocha metapelítica, Metacalcário; Metaconglomerado polimítico; Metaconglomerado; Metarenito; Quartzito feldspático e arcoseano; Mica quartzito; Biotita xisto; Metarcóseo.	0,58	
Quartzito feldspático; Metaconglomerado; Filito; Metasiltito; Ardósia; Conglomerado; Folhelho; Metarenito; Diorito, Diabásio, Gabro.	0,60	
Argilito; Siltito; Arenito; Ortoconglomerado; Paraconglomerado; Arenito conglomerático; Conglomerado polimítico; Calcarenito; Ritmito; Calcário estromatolítico; Lamito; Rocha pelítica; Marga; Arenito arcoseano; e Conglomerado.	0,74	Alta
Metagrauvaca feldspática; Filito; Muscovita quartzito; Xisto Quartzó monzonito; Quartzó sienito; Metasiltito; Ardósia; Metarenito; Metamarga; Metadiamictito; Quartzito feldspático, Metarcóseo; Metaconglomerado.	0,76	
Diamictito; Grauvaca; Rocha pelítica; Calcarenito; Siltito; Calcissiltito; Arcóseo; Calcilito; Argilito; Marga; Calcário; Calcarenito oolítico; Dolomito; Silexito; Folhelho; Ritmito; Varvito; e Tilito.	0,78	
Arenito, Siltito arenoso, Folhelho, Ortoconglomerado Arenito conglomerático, Rocha pelítica; Siltito.	0,80	
Arenito; Laterita; Depósitos de areia; Depósitos de argila; Depósitos de cascalho;	0,80	

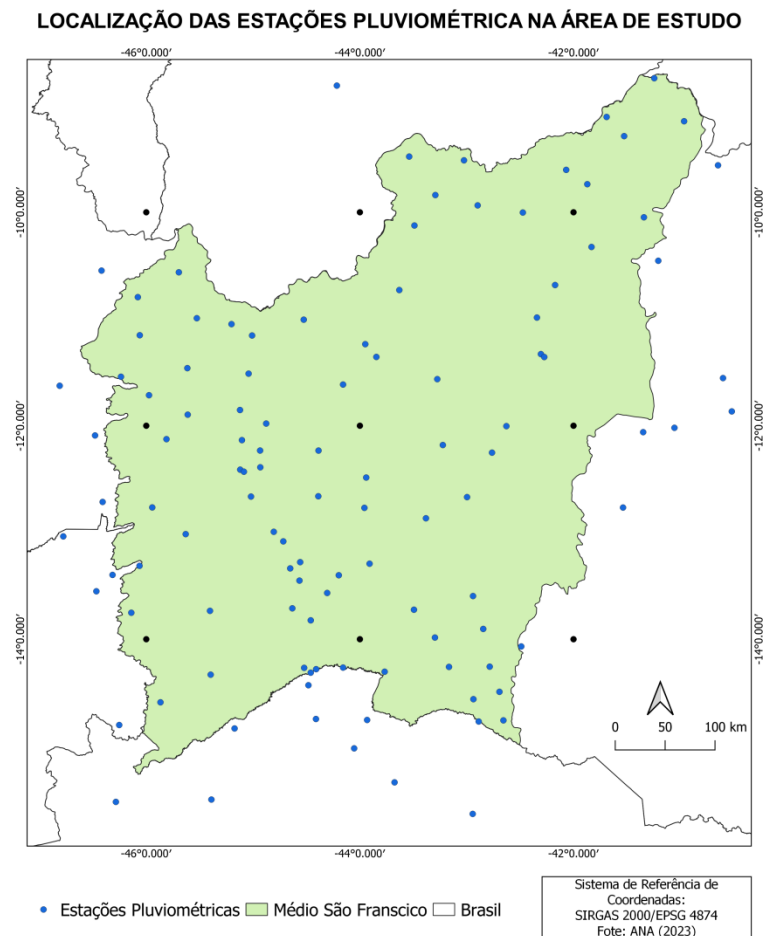
Depósitos de areia, Depósitos de cascalho, Depósitos de argila Aglomerado, Laterita.	0,96	Muito Alta
Depósitos eólicos; Brecha carbonática; Depósitos de argila; Depósitos de areia, Depósitos de cascalho.	0,98	
Depósitos de areia, Depósitos de cascalho; Depósitos de cascalho; Depósitos de argila.	1	

Fonte: Adaptado de Crepani (2001).

4.1.5 Mapa de Intensidade pluviométrica

A intensidade pluviométrica foi obtida a partir das análises de dados oriundos de séries históricas de precipitações pluviométricas entre o espaço temporal de 17 anos (2005 a 2022). Os dados pluviométricos foram coletados por meio da ferramenta ANA Data Acquisition, plugin acessível para o Qgis, no qual realiza o download automático de diversas estações pluviométricas e fluviométricas pertencentes ao banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA). Para a atual pesquisa foram consultadas 113 estações, distribuídas na região de estudo e regiões vizinhas (Figura 6).

Figura 6 - Mapa de localização das estações pluviométricas usadas para produzir a intensidade pluviométrica da região fisiográfica do Médio São Francisco/BA.



Fonte: ANA (2022) Elaboração: Suélen de A. Brito.

A área de influência de cada um dos postos foi gerada por meio da aplicação da metodologia de Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância (IDW), por ser uma interpolação espacial mais comumente usada. Este método consiste em uma média ponderada espacialmente com base em valores pontuais da vizinhança até o ponto que se deseja interpolar. Portanto, é possível combinar mudanças estimadas gradativamente com a distância (BABAK; DEUTSCH, 2009). Dessa forma, esse método é baseado em valores próximos e distâncias maiores de pontos quando interpolada, tem um peso menor na pontuação (SILVA *et al.*, 2019).

De acordo com Crepani, *et al* (2001) as intensidades médias costumam ser determinadas dividindo-se as precipitações médias anuais (em mm) pelo período considerado chuvoso (em meses). A tabela 6 destaca a pluviosidade média anual e os períodos chuvosos do território brasileiro (IBGE, 1993).

Tabela 6 - Pluviosidade média anual e a duração do período chuvoso no Brasil.

Região	Pluviosidade Média Anual (mm)	Duração do período chuvoso (meses)	Intensidade Pluviométrica (mm/mês)	
			Mínimo	Máximo
Norte	1400 a 3400	7 a 12	116,6	485,7
Nordeste	300 a 2000	1 a 3	100,0	2000,0
Sudeste	900 a 3600	6 a 12	75,0	600,0
Sul	1200 a 2000	9 a 12	100,0	222,2
Centro-Oeste	1000 a 3000	7 a 11	90,9	428,5

Fonte: IBGE, 1993 apud Crepani (2001) e Falcão (2013)..

A região do nordeste, conforme informações apresentadas na Tabela 6, possui um período chuvoso de 1 a 3 meses, com base nesse dado foi usado o valor máximo para encontrar a intensidade média do recorte da região fisiográfica do médio São Francisco. Dessa forma, os índices de intensidades pluviométricas foram obtidos dividindo-se os valores totais pluviométricos anuais correspondentes aos 17 anos de observações pelo período considerado chuvoso (3 meses). Após obter as intensidades pluviométricas em mm/mês, os valores foram normalizados para uma escala de zero a um, ao utilizar fuzzy, como demonstrado na Tabela 7.

Tabela 7 - Valor de risco atribuído às classes de intensidade pluviométrica da área de estudo pertencente à região fisiográfica do Médio São Francisco/BA.

Intensidades	Valor Fuzzy	Vulnerar.	Intensidades	Valor Fuzzy	Vulnerar.	Intensidades	Valor Fuzzy	Vulnerar.
78,02	0,28		162,84	0,40	Baixa	224,76	0,48	
83,83	0,28		163,81	0,40		226,66	0,52	
86,82	0,28		168,97	0,40		227,74	0,52	
98,56	0,28		170,05	0,40		228,25	0,52	
98,88	0,28		170,28	0,40		229,05	0,52	
102,16	0,32		171,91	0,40		229,76	0,52	

108,30	0,32	Baixa	172,22	0,40	Média	231,76	0,52	Média
109,64	0,32		174,30	0,40		231,85	0,52	
115,28	0,32		178,61	0,44		232,68	0,52	
117,45	0,32		179,05	0,44		234,29	0,52	
120,33	0,32		179,22	0,44		235,34	0,52	
120,35	0,32		180,25	0,44		235,78	0,52	
120,40	0,32		182,48	0,44		238,26	0,52	
121,87	0,32		183,82	0,44		240,90	0,52	
121,93	0,32		187,60	0,44		241,05	0,52	
123,56	0,32		188,05	0,44		241,78	0,52	
126,62	0,36		190,66	0,44		249,17	0,52	
127,49	0,36		191,22	0,44		252,27	0,56	
128,08	0,36		194,47	0,44		252,84	0,56	
130,12	0,36		197,48	0,44		253,59	0,56	
132,29	0,36		197,98	0,44		256,06	0,56	
138,38	0,36		201,03	0,48		260,04	0,56	
141,05	0,36		201,58	0,48		263,75	0,56	
141,21	0,36		203,28	0,48		266,92	0,56	
141,83	0,36		207,71	0,48		276,07	0,60	
141,88	0,36		207,80	0,48		279,69	0,60	
142,71	0,36		208,48	0,48		280,81	0,60	
142,76	0,36		209,60	0,48		281,05	0,60	
143,68	0,36		212,77	0,48		283,29	0,60	
144,25	0,36		212,82	0,48		287,84	0,60	
147,58	0,36		212,86	0,48		293,25	0,60	
149,02	0,36		212,91	0,48		300,64	0,64	
150,94	0,40		215,67	0,48		303,29	0,64	
152,08	0,40		215,89	0,48		348,35	0,68	
153,72	0,40	220,47	0,48	378,05	0,76			
153,95	0,40	221,48	0,48	408,40	0,80			
155,00	0,40	222,35	0,48	425,08	0,84			
160,22	0,40	223,82	0,48					

Fonte: Adaptado de Crepani (2001).

4.2 PONDERAÇÃO E COMBINAÇÕES DOS CRITÉRIOS

Após a normalização dos mapas de critérios com suas respectivas classes, determinou-se a ponderação da importância relativa desses componentes. Assim, foram utilizados com base nos estudos de Saaty (1990) valores que variam de 1 a 9, divididos entre importâncias iguais (1) até importâncias extremas (9) Para tal, baseou-se nos conhecimentos empírico já disponível gerados por Massa e Ross (2012), Ross (2012), Bispo *et al.* (2011), Spörl e Ross (2004), Crepani *et al.* (2001) e Ross (1994).

A comparação foi feita par a par, partir da construção de uma matriz quadrada de comparação pareada (Tabela 8), com o estabelecimento da hierarquia de menos suscetível para mais suscetível. Depois do preenchimento da matriz, houve a normalização dos valores das colunas e das linhas, para tanto, foi realizada a divisão de cada célula pelo valor da soma de suas respectivas colunas. A partir da média dos valores de cada linha normalizada foi atribuído o peso de cada componente em relação aos processos erosivos. A coerência dos

julgamentos foi avaliada pelo índice de consistência (RC) que, de acordo com Saaty (1990) deve ser menor do que 0,1 ou 10%.

Tabela 8 - Matriz quadrada de comparação pareada, pesos de importância e o índice de consistência.

CLASSES	Intensidade Pluviométrica	Uso e Ocupação da Terra	Declividade	Solo	Geologia
Intensidade Pluviométrica	1	3	4	5	6
Uso e Ocupação da Terra	1/3	1	2	3	5
Declividade	1/4	1/2	1	2	5
Solo	1/5	1/3	1/2	1	3
Geologia	1/6	1/5	1/5	1/3	1

Fonte: Adaptado de Ribeiro *et al* (2016) e Falcão (2013).

De início, foi necessário realizar a normalização da matriz para encontrar os valores do Auto Vetor (w), esse procedimento foi feito através da soma de cada linha e depois realizada a divisão do valor de cada soma pela soma total encontrada.

Em seguida, foi realizado os cálculos para encontrar o autovalor máximo ($\lambda_{\text{máx}}$), assim foi realizada a multiplicação da matriz de comparação (A) pelo Auto vetor (w), seguido da divisão desse novo vetor encontrado, Aw, pelo primeiro vetor w, e por fim a realização da média do resultado de cada linha (Equação 1):

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{1}{n} \sum \frac{Aw}{w} \quad (1)$$

Por fim, foi necessário fazer a avaliação da consistência dos julgamentos propostos pelo decisor. Se o valor da RC for maior que 0,10, a matriz de importância relativa deve ser revista para alterar os valores da comparação pareada (Saaty, 1980). A fórmula para realização do cálculo do RC pode ser vista na Equação 2 abaixo.

$$Rc = \frac{IC}{IR} \quad (2)$$

Em que o IC é o índice de consistência e IR é o índice Randômico. O IR é um valor tabelado (Tabela 9), cujo valor depende da dimensão da matriz (n). O IC é determinado pela razão entre $(\lambda_{\text{máx}} - n) / (n - 1)$.

Tabela 9 - Índice Randômico para razão de consistência

Tamanho da matriz	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice Randômico	0	0	0,252	0,89	1,11	1,25	1,35	1,4	1,45	1,49

Fonte: Saaty (1990).

A partir do desenvolvimento das fórmulas foi obtido o valor de aproximadamente 0,05 para a razão de consistência, sendo inferior a 0,10, assim os valores dados tornam-se coerentes para a matriz pareada com base nas regras propostas para o método. Os valores do auto vetor encontrados no desenvolvimento dos cálculos estão expostos na Tabela 10.

Tabela 10 - Valores obtidos para validação da matriz pareada.

CLASSES	AUTO VETOR (W) (PESO)	RC
Geologia	0,05	0,05
Solo	0,09	
Declividade	0,15	
Uso e ocupação da Terra	0,23	
Intensidade Pluviométrica	0,48	

Fonte: Suélen de Azevedo Brito (2023)

Para a geração dos mapas de fragilidade à erosão da área em estudo, utilizou-se a metodologia de classificação por múltiplos critérios, denominada Combinação Linear Ponderada. Nesse método o programa multiplica cada fator por seu peso e depois soma os resultados; esse cálculo é feito pixel a pixel com a finalidade de gerar um mapa muito mais detalhado. Dessa forma, um valor muito baixo atribuído a um critério pode ser compensado por valores mais altos aplicados a outros critérios (EASTMAN, 2003). A equação para a realização do método está descrita na Equação 3 abaixo.

$$S = \sum_i w_i x_i$$

(3)

Onde:

S = valor final do score;

wi = peso do fator e

xi = valor normalizado do fator.

5. RESULTADOS E DISCURSÕES

5.1 MAPAS DOS FATORES NORMALIZADOS

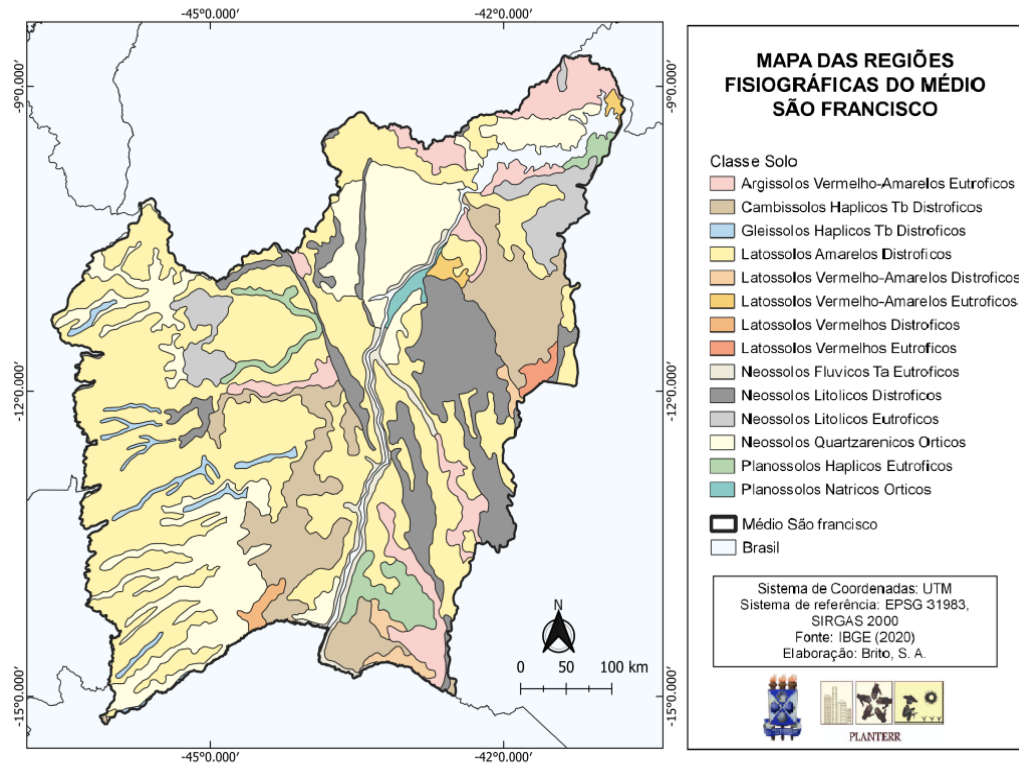
Para cada modelo de variável aplicado, obteve-se um mapa que sintetiza a vulnerabilidade à erosão da região fisiográfica do médio São Francisco, localizada nas limitações do estado da Bahia, a qual varia entre o intervalo de 0 a 1 (quanto mais próximo do 1 maior a sua influência sobre a erosão). Em cada mapa, as regiões representadas pela cor verde indicam menor vulnerabilidade à erosão, e quanto mais próxima ao vermelho, maior vulnerabilidade.

5.1.1 Mapa pedológico

São diversos os tipos de classes de solo apresentados no mapa pedológico (Figura 7), essa diversidade pode ser relacionada à grande extensão da área de estudo.

Os Latossolos Háplicos Distróficos estão distribuídos de forma homogênea praticamente em toda extensão da região fisiográfica, localizados em maior proporção na parte oeste e sudeste da área em análise. Esses solos são bem desenvolvidos, possuem elevada profundidade e textura argilosa com boas propriedades físicas e pouca diferença textural entre os perfis (EMBRAPA, 2019). Os argissolos podem apresentar maior tendência à erosão, causada pela diferença textural superficial, subsuperficial e declividade, mas também apresentam boas condições físicas de retenção de umidade e permeabilidade (EMBRAPA, 2019). Já os Planossolos (Háplicos e Nátricos), são os tipos que menos se destacam nesse estudo em relação a sua área de extensão.

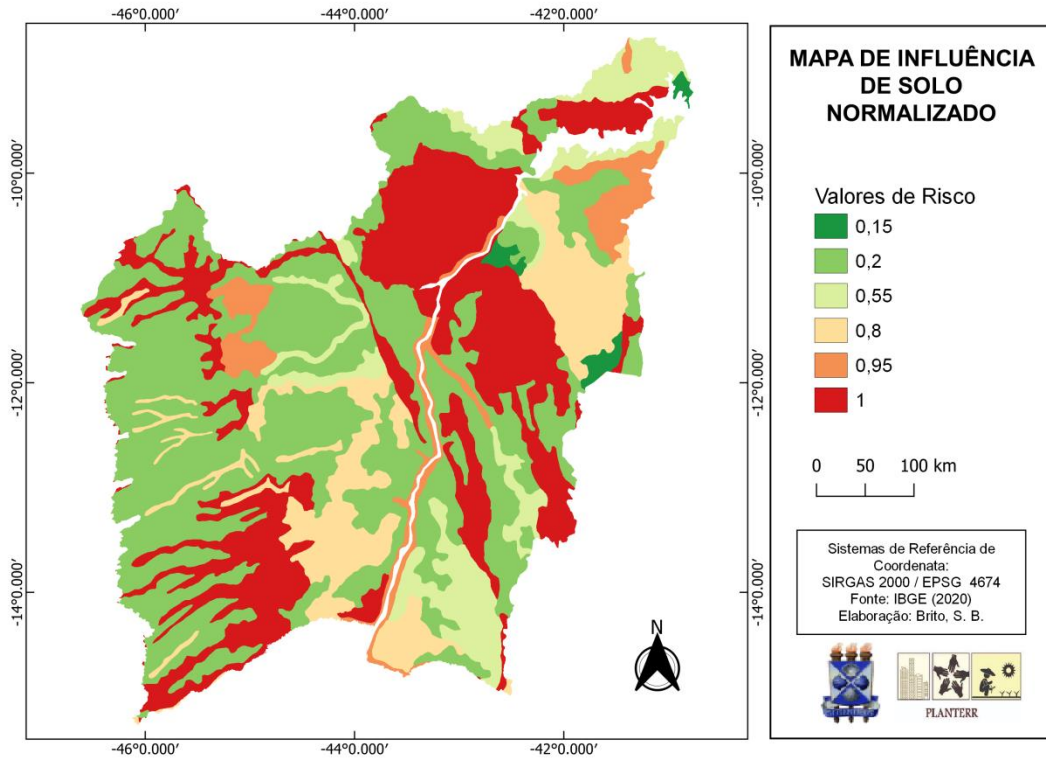
Figura 7– Mapa com as Classes e Subordem do solo da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: IBGE (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito.

No manual técnico de pedologia do IBGE (2007) estão agrupados os tipos de solo entre Classes, Subordem e Grande Grupo. Embora haja algumas diferenças entre essas categorias, neste trabalho, foram atribuídos os valores de risco através da normalização com base nas classes, com exceção das classes de Latossolos, atribuindo valores diferentes entre os distróficos e eutróficos (Figura 8).

Figura 8- Mapa Pedológico normalizado da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: IBGE (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito

Com relação aos percentuais ocupados por cada classe de vulnerabilidade, os valores estão apresentados na Tabela 11, com maior área para a classe com valor de risco 0,20 (44%), seguida pelo valor de risco 1, com 28%, distribuídos com maior intensidade nos territórios de Identidade de Irecê, Sertão do São Francisco, Velho Chico e Bacia do Rio Corrente. A região com maior porcentagem é composta pelas classes de Latossolos, tendo o valor mínimo de vulnerabilidade a erosão por possuírem ótimas estruturas. Já a segunda classe mais relevante das áreas de abrangência obteve o valor maior dos fatores de risco, composta pelos solos Neossolos e Gleissolos, nos quais de acordo com IBGE (2007), o primeiro apresenta solos jovens, em início de formação, com pouco desenvolvimento e o segundo corresponde aos solos minerais formados em condições de saturação com água.

Tabela 11 - Área de abrangência dos valores de risco no mapa de solo da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.

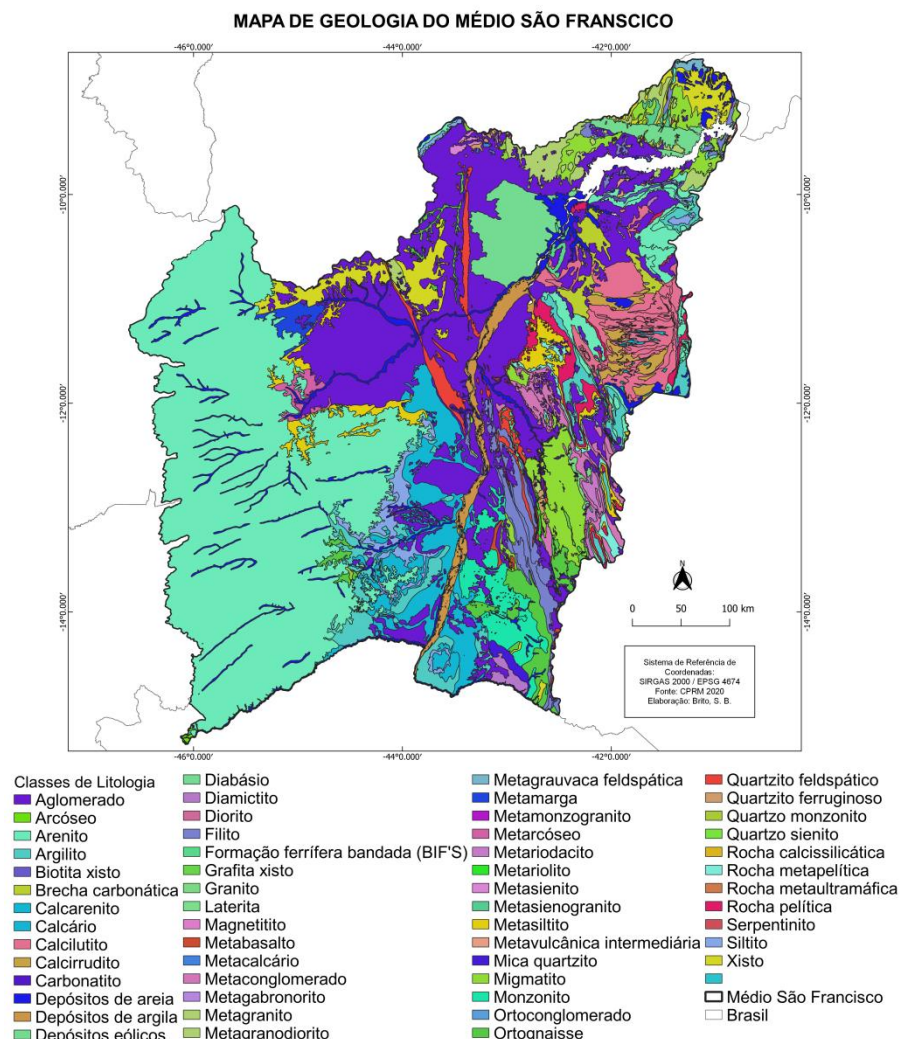
Valor de risco	Área em Km ²	Área em %
0,15	11015,12	1%
0,20	550249,5	44%
0,55	115950,7	9%
0,8	155128,1	12%
0,95	65056,68	5%
1	346739,2	28%

Fonte: IBGE (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito.

5.1.2 Mapa geológico

Para definir a vulnerabilidade das rochas à erosão foi levado em consideração a sua litologia. Além disso, foi analisada a história de formação da rocha, a morfologia, a metamórfica, a textura, as classes e subclasses, os tipos de minerais constituintes e a ligação existente entre os elementos. De forma geral, o mapa geológico da área da RFMSF, apresentado na Figura 9, revelou o predomínio das rochas com litologia do tipo arenito, da classe sedimentar e subclasse clástica, seguido das rochas com litologia de aglomerado combinado com laterita, depósitos de areia e depósitos de argilas da classe sedimentar e subclasse de sedimentos inconsolidados. Ambas foram classificadas com valores de alta vulnerabilidade. As classes de litologia que apresentaram vulnerabilidade menor estão espalhadas em regiões menores, representadas, em sua maioria pelos migmatito, ortognaisse e granito, pertencentes às classes de rochas ígnea/metamórfica.

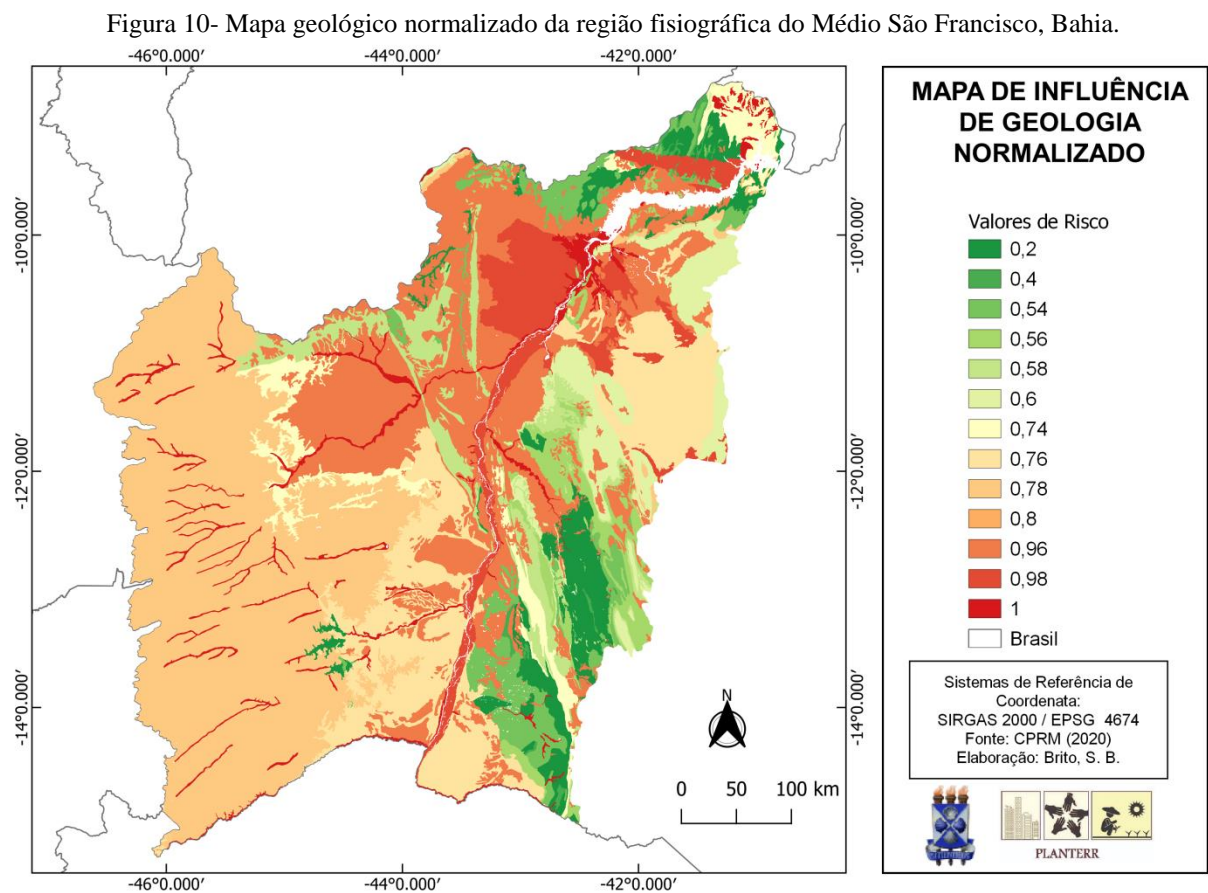
Figura 9- Mapa resumido das classes de litologia da Região Fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: CPRM (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito (2022).

As Rochas sedimentares possuem baixa resistência mecânica, são formadas a partir de processo de degradação de rochas já existentes, resultantes da consolidação de sedimentos, ou seja, provocados pela ação do intemperismo, erosão e posterior transporte de uma rocha preexistente ou, menos comumente, por acumulação química (CPRM, 2015). Já as rochas ígneas/metamórficas, ao contrário da sedimentar, são consideradas como as rochas mais resistentes contra o intemperismo, por serem feitas através do resfriamento e solidificação de um magma (CPRM, 2015).

O mapa com a normalização dos riscos geológicos a partir da classe da litologia (Figura 10), trás em seus resultados destaque para os valores de vulnerabilidade alto e muito alto, nos quais abrange o percentual de 79% da área de estudo e estão distribuídos nos setores oeste, sudeste e sul, na parte inferior do mapa, entre os territórios do Rio Corrente, Rio Grande, Velho Chico e Irecê. A maioria dos tipos litológicos desse resultado, pertence à escala das rochas sedimentares, conhecidas por possuir menor resistência, para o intemperismo, nas quais costumam apresentar falhas e fraturas por ser pouco resistentes à erosão (ROSS, 2011).



Fonte: CPRM (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito.

Com relação aos valores de menor vulnerabilidade, estão distribuídos com um percentual de 5,4% da área da RFMSF, são constituídos pelas rochas ígnea/metamórfica, distribuídos nas regiões do nordeste e sudoeste.

A Tabela 12, trás de forma detalhada, as divisões dos valores de risco e suas proporções no decorrer da região fisiográfica. Com valores de risco mais significativos de 0,78, equivalente a 32% da área e o 0,96 com abrangência de 21%.

Tabela 12– Área de abrangência dos valores de risco no mapa de geologia da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.

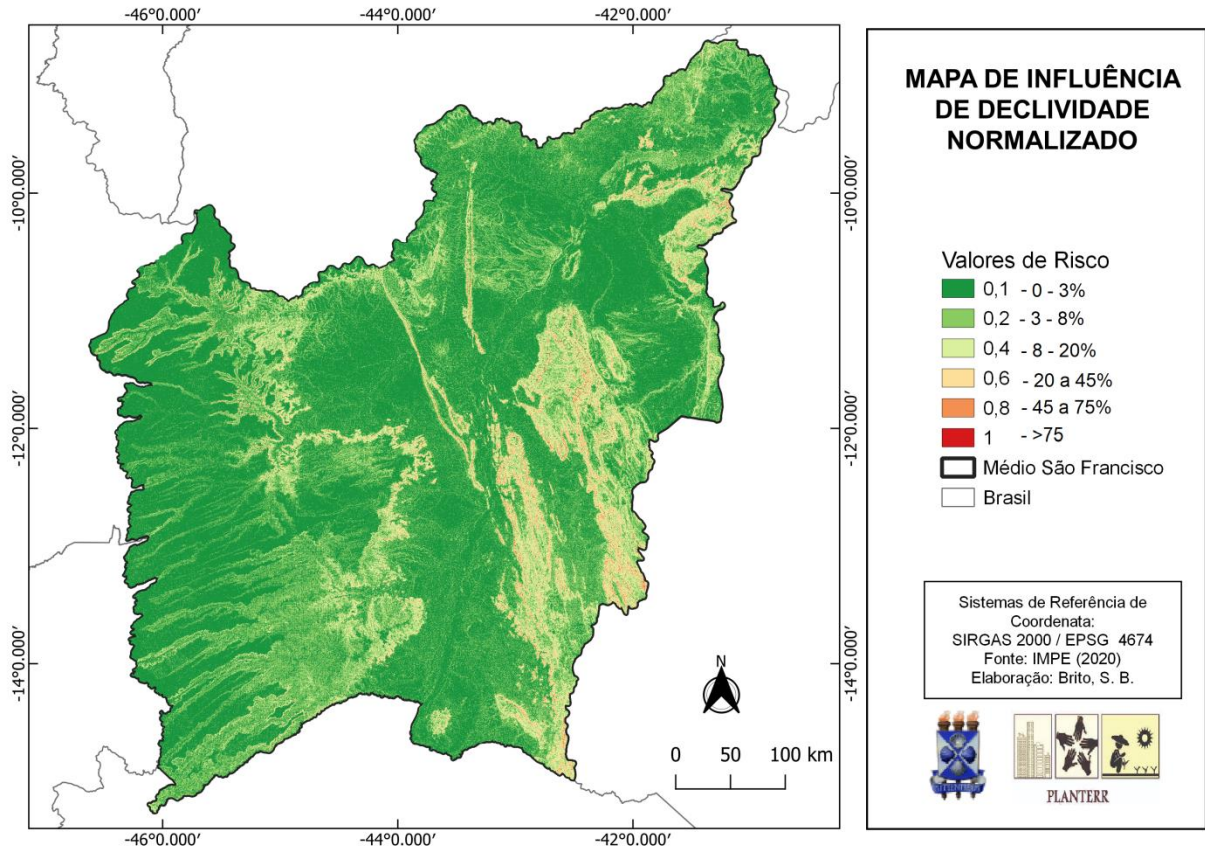
Valor de risco	Área em Km²	Área em %
0.2	71135797	5%
0.4	5399059	0,4%
0.54	60115827	4%
0.56	40606382	3%
0.58	62742545	5%
0.6	63152063	5%
0.74	53394659	4%
0.76	178259060	13%
0.78	438974701	32%
0.8	37888	0,003%
0.96	296074108	21%
0.98	79456010	6%
1	43946223	3%

Fonte: IBGE (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito.

5.1.3 Mapa declividade

O relevo da região fisiográfica do Médio São Francisco apresenta-se, na maior parte, dentro de baixas amplitudes de declividade, entre 0 a 20%, (Figura 11), apresentam baixos valores de vulnerabilidade. A vulnerabilidade a deslizamentos e erosão é baixa nessas áreas aplainadas ou de relevo suave, que favorece a infiltração da água da chuva e a formação do solo (SANTOS, 2007). Entretanto, a classe com o tipo de relevo escarpado não apresentou valores significativos para a análise.

Figura 11- Mapa de declividade normalizado da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: IMPE (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito.

Conforme exposto na Tabela 13, as classes de declividade que variam de 0 a 3% predominam os relevos plano, e ocupam mais da metade da RFMSF, com percentual de 58%, localizado em toda região da área de estudo. Com uma segunda maior abrangência, encontram-se os relevos suaves ondulados, com 28% da região estudada, representados pela cor verde clara no mapa. Com relação aos relevos ondulados e fortemente ondulados, possuem uma porcentagem de 13% e as montanhas e escarpados, classes mais vulneráveis à erosão, ocupam uma área de 1,1%, ambos localizados nas mesmas regiões da bacia.

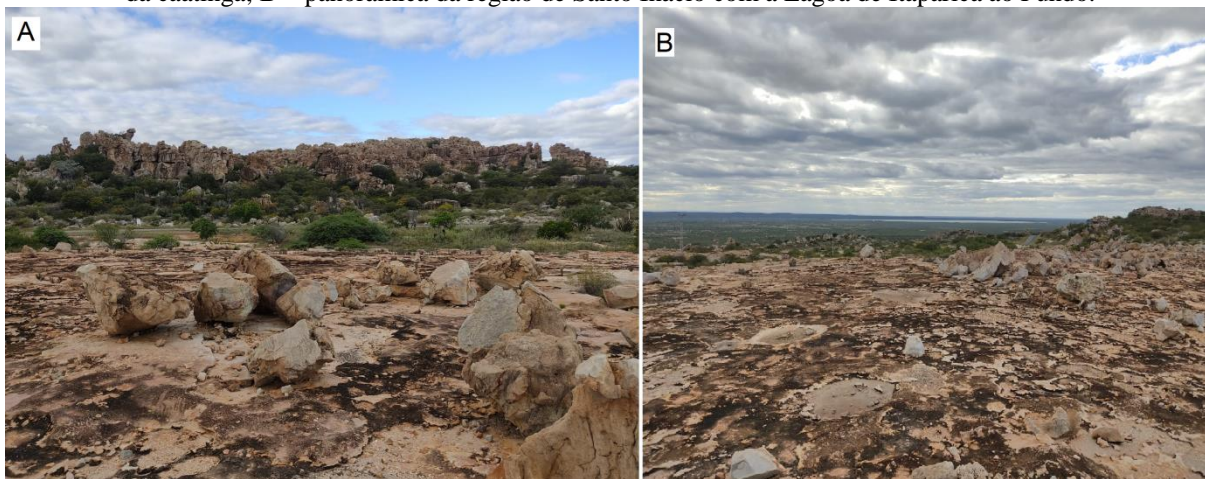
Tabela 13– Área de abrangência dos valores de risco no mapa de declividade da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.

Valor de risco	Área em Km ²	Área em %
0,10	146910,7	58%
0,20	70344,59	28%
0,40	23849,21	9%
0,60	9859,332	4%
0,80	1801,604	1%
1,00	216,1701	0,1%

Fonte: IMPE (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito.

As distribuições das declividades altas, de montanhas e escarpados, estão centralizadas com maior extensão no território de Irecê, mais precisamente entre os municípios de Gentio do Ouro (Figura 12), Ipujiara e Barra do Mendes. Presente também em maiores quantidades, no município de Brotas de Macaúbas, território do Velho Chico e no município de Santo Sé, território do Sertão do São Francisco.

Figura 12 - Imagem da região do Destrido de Santo Inácio, Gentio do Ouro: A – Formação rochosa e vegetação da caatinga; B – panorâmica da região de Santo Inácio com a Lagoa de Itaparica ao Fundo.



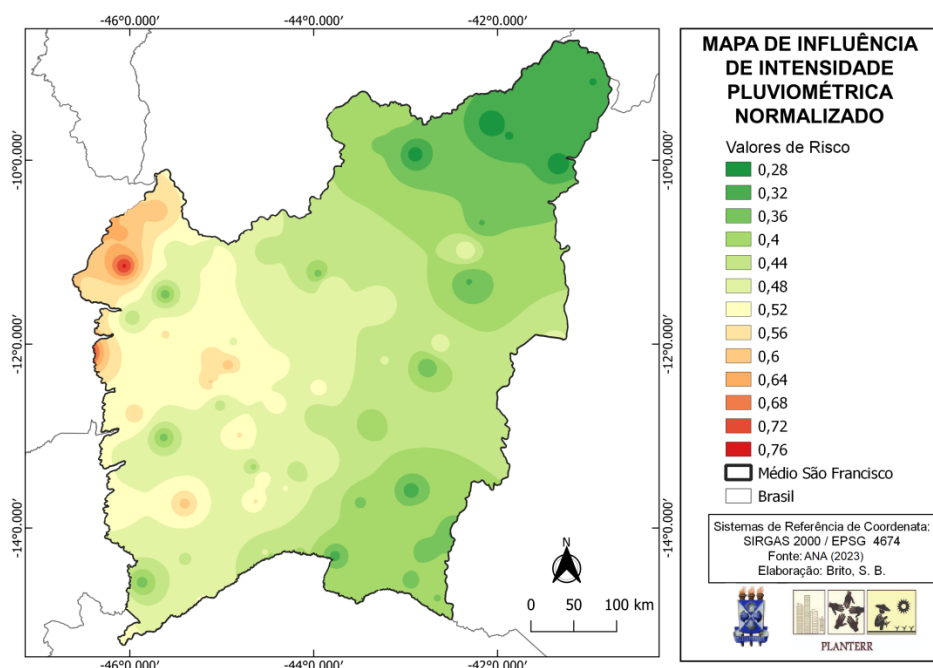
Fonte: Suélen de A. Brito, 2023. Arquivo pessoal.

Quanto maior a declividade, mais elevada é a vulnerabilidade, em razão do potencial de geração de escoamento superficial e, conseqüentemente, elevada vulnerabilidade à erosão e movimentos de massa. De acordo com Nascimento e Dominguez (2009), a declividade é um dos principais índices morfométricos utilizados na avaliação da vulnerabilidade.

5.1.4 Mapa Pluviométrico

Com base nos dados da distribuição média da precipitação no espaço temporal de 17 anos da área de estudo, a espacialização das classes de vulnerabilidade associada às Intensidades Pluviométricas, foi criado por meio da reclassificação dos intervalos entre 0 a 1 (Figura 13), com vulnerabilidade definidas em muito baixa, baixa, média, alta e muito alta.

Figura 13 - Mapa da Intensidade Pluviométrica normalizado da Região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: ANA (2021). Elaboração: Suélen de A. Brito.

As áreas com menor intensidade pluviométrica estão em quase toda a RFMSF. As regiões de maiores intensidades estão localizadas no oeste e sudeste com relação ao mapa, nos territórios de identidade da Bacia do Rio Grande e da Bacia do Rio Corrente. As áreas de abrangências mais relevantes, com relação à abrangência no mapa, possuem intensidades pluviométricas entre 175 a 300 mm, identificadas com valores de vulnerabilidade média, nas quais ocupam 42,94% da região. Em segundo lugar as intensidades pluviométricas entre 50 a 175 mm (vulnerabilidade baixa) são mais relevantes, ocupa uma área de 35,27% da região (Tabela 14). A vulnerabilidade alta está distribuída em 0,81% da área estudada e possui a menor ocupação espacial no mapa.

Tabela 14– Área de abrangência dos valores de risco no mapa de intensidade pluviométrica da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.

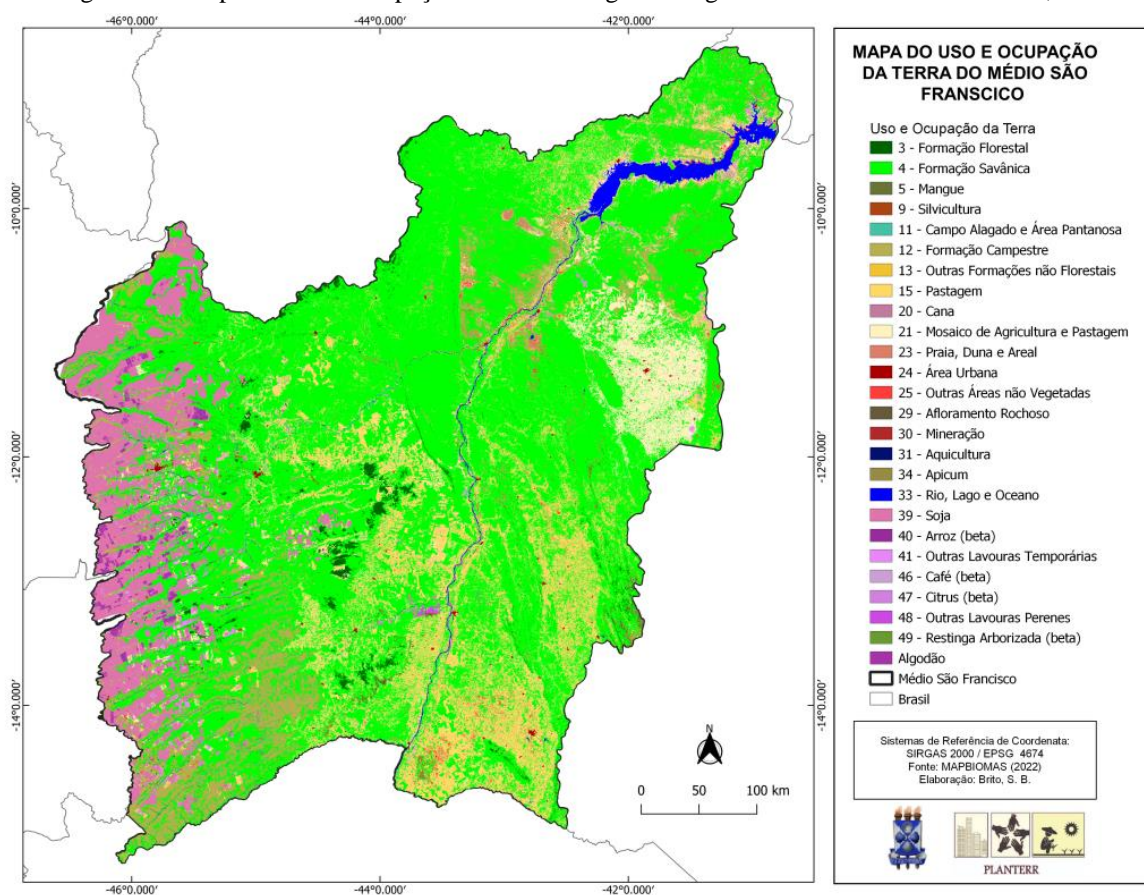
Valor de risco	Intervalos (mm)	Vulnerabilidade	Área (Km ²)	Área (%)
0,28	50 - 175	Baixa	120,1761	0,62%
0,32			1343,895	6,88%
0,36			1614,56	8,27%
0,4			3808,641	19,50%
0,44	175 - 300	Média	4510,371	23,10%
0,48			4552,767	23,32%
0,52			2564,654	13,13%
0,56			557,9901	2,86%
0,6			298,197	1,53%
0,64	300 - 425	Alta	108,4464	0,56%
0,68			30,3246	0,16%
0,72			15,588	0,08%
0,76			1,4067	0,01%

Fonte: IMPE (2020). Elaboração: Suélen de A. Brito.

5.1.5 Mapa uso e ocupação da Terra

Quanto ao Uso e Ocupação do Solo destacado na Figura 14, restou muito pouco das formações florestais na região fisiográfica do médio São Francisco. Já as formações Savânica representam a classe mais abrangente, localizada em quase todo o espaço territorial da RFMSF. Os territórios da Bacia do Rio Grande e Bacia do Rio Corrente, se destacam com as classes agrícolas com uma vasta diversidade de lavouras perene e temporárias. No território de Irecê, a atividade predominante são os mosaicos de agricultura e pastagem. No território do Sertão Produtivo e Bacia do Paramirim, há um destaque maior para a pastagem.

Figura 14 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: Mapbiomas (2021). Elaboração: Suélen de A. Brito.

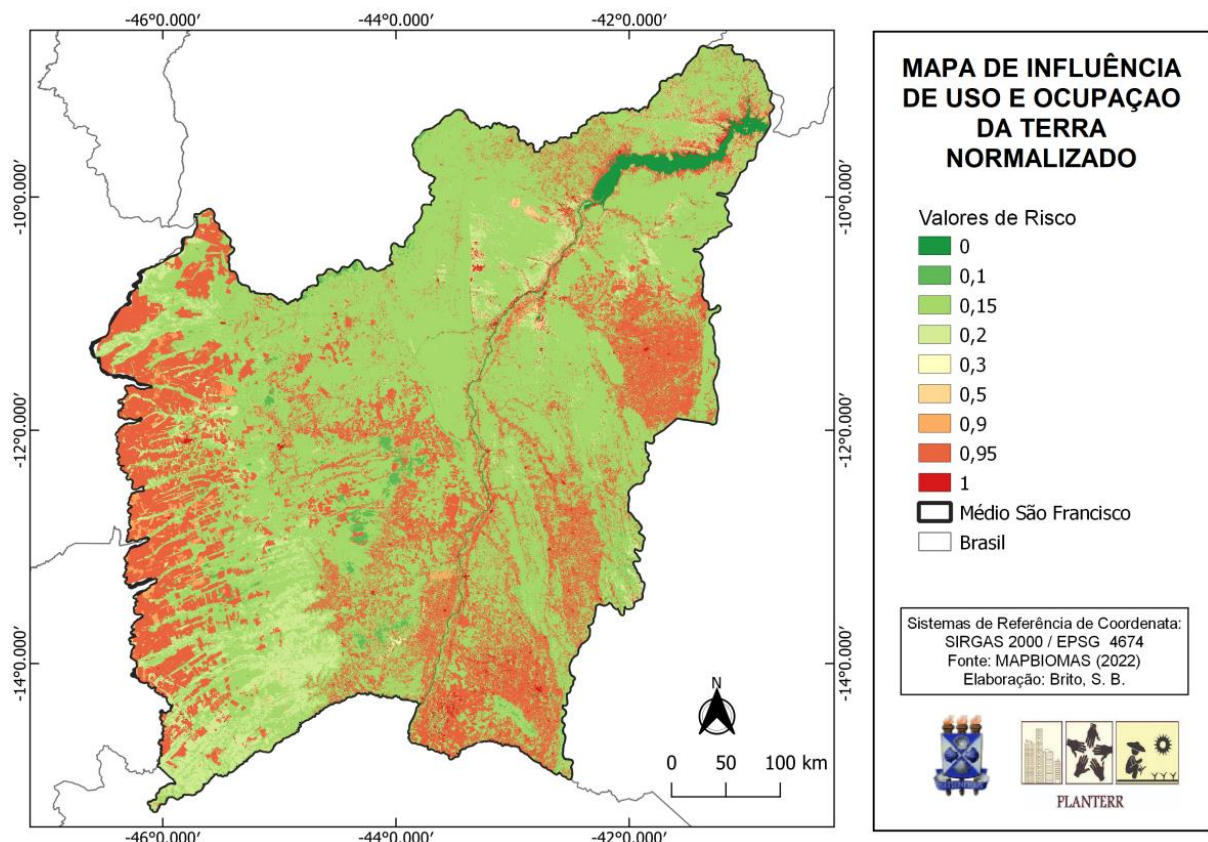
Ao analisar o mapa de uso e ocupação do solo, percebe-se que houve uma grande supressão da cobertura vegetal para converter em áreas de pastagens e cultivo agrícola em toda região, exceto no território de identidade do Sertão do São Francisco, localizado na região nordeste do mapa. A pastagem é característica na área de estudo devido à criação de bovinos e caprinos, ocupa aproximadamente 13,257% (34.589,41 km²) da área. O desmatamento e as queimadas, com vistas à expansão das atividades agrossilvopastoris, são consideradas práticas históricas na ocupação regional da Bacia (CBHSF, 2016).

Historicamente, a ocupação agrícola se deu intensamente a partir da década de 1970, com a certeza que há potencial para o plantio no cerrado (MMA, 2006). Na região de estudo essa classe ocupa mais de 17% das terras, aproximadamente 45.288,09 km².

A agricultura irrigada é uma das mais utilizadas no processo de desenvolvimento regional. Nos perímetros irrigados têm-se adotado, em sua maioria, culturas com maior valor econômico e maior resposta ao insumo água, representadas pelos grãos, frutas olerícolas, algodão e a cultura do café (MMA, 2006). A irrigação representa a grande maioria das outorgas emitidas nos Estados da Bahia (93,9%).

O mapa normalizado dos riscos do uso e ocupação da terra foi construído com base em todas as suas classes (Figura 15), trás em seus resultados destaque para os valores de vulnerabilidade muito baixa e baixa, nos quais abrange quase toda a área. Já os valores com maior vulnerabilidade estão em menor proporção, distribuídos nos setores oeste, sudeste e sul, na parte inferior do mapa, entre os territórios do Rio Corrente, Rio Grande, Velho Chico e Irecê.

Figura 15 - Mapa de Uso e Ocupação do Solo normalizado da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.



Fonte: Mapbiomas (2021). Elaboração: Suélen de A. Brito.

Na Tabela 15, estão descritos de forma resumida a porcentagem das áreas de cada classe de vulnerabilidade. Assim, é possível ver que os valores de vulnerabilidade mais abrangentes na área de estudo foi o muito baixa com porcentagem de 61,16%. Em seguida, está a vulnerabilidade muito alta, distribuída em 29,4% da região com maior densidade nas áreas que têm produção agrícola e pecuária (Tabela 14).

Tabela 15- Área de abrangência dos valores de risco no mapa de uso e ocupação da terra da região fisiográfica do Médio São Francisco, Bahia.

Valor	km²	Porcentagem
0	3209,115	1,20%
0.1	3592,639	1,34%
0.15	159212,5	59,35%
0.2	22730,11	8,47%
0.3	295,1208	0,11%
0.5	332,2269	0,12%
0.9	2284,57	0,85%
0.95	74016,03	27,59%
1	2573,014	0,96%

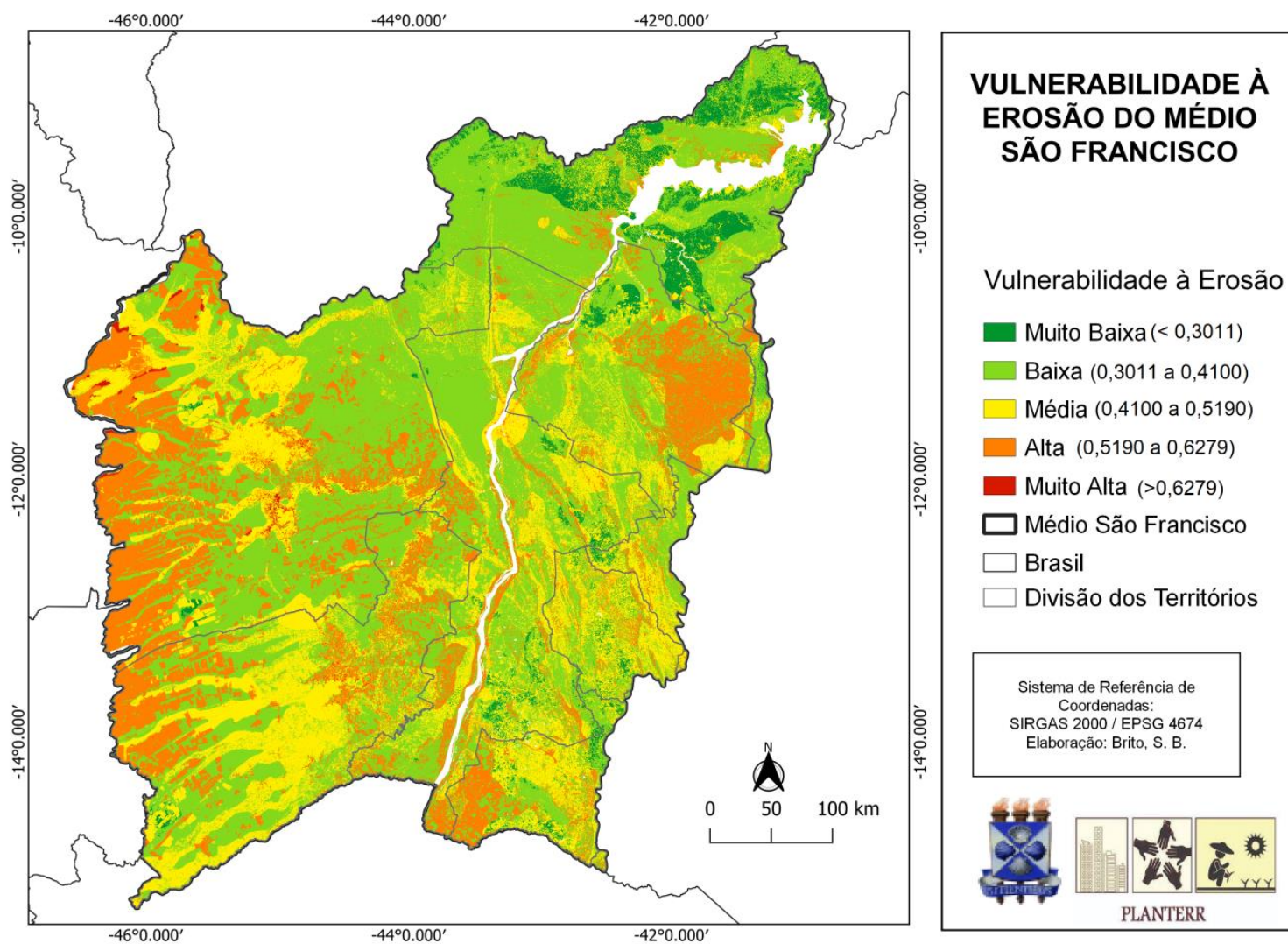
Fonte: Mapbiomas (2021). Elaboração: Suélen de A. Brito.

6.2 CARTA SÍNTESE DE VULNERABILIDADE À EROSÃO

Ao aplicar o método de integração Combinação Linear Ponderada foi gerado um plano de informações que corresponde ao mapa de riscos no processo de degradação à erosão da região fisiográfica do médio São Francisco.

Este mapa (Figura 16) exibe valores contínuos, compreendidos no intervalo de zero a um, relacionados à escala de normalização usada para todos os critérios ponderados na análise e com os intervalos definidos através do método discreto do interpolador do Qgis 3.19.9. Como já mencionado, os números mais baixos da escala correspondem a menores níveis de vulnerabilidade e os valores mais altos a níveis de vulnerabilidade elevados, que variam de 0,1921 a 0,7369. Os mesmos, não atingem os valores extremos, sendo uma das características mais importantes da metodologia de análise multicritério, a de estabelecer um balanceamento entre os critérios, devido à aplicação de pesos. Assim, um peso menor atribuído a um critério foi compensado com pesos maiores aplicados a outros critérios, de forma que os valores de mínimo (zero) e máximo (um) da escala não são atingidos.

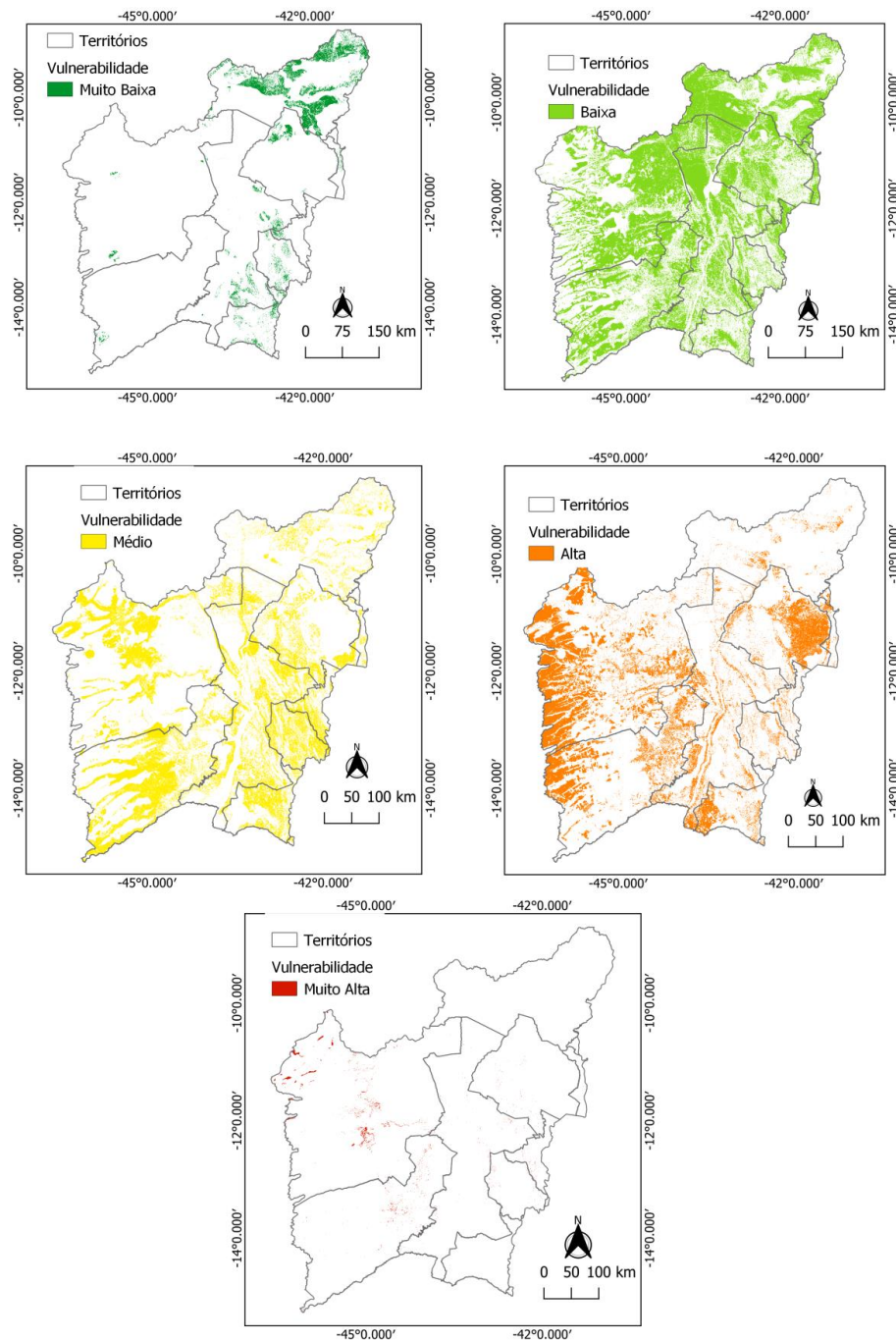
Figura 16 - Mapa de vulnerabilidade à erosão da Região Fisiografia do Médio São Francisco, Bahia, Brasil.



Elaboração: Suélen de A. Brito (2023).

A classe de vulnerabilidade muito baixa representa os números menores ou igual a 0,3011, a baixa valores maiores de 0,3011 e menor ou igual a 0,4100, já classe média contempla os valores maiores que 0,4100 e menores ou igual a 0,5190, a classe alta representa os valores maiores que 0,5190 e menores ou igual a 0,6279 e por fim a classe muito alta contempla os valores maiores que 0,6279. (A Figura 17 permite entender e visualizar melhor as classes supracitadas da RFMSF, com predominância das classes Baixa, Média e Alta.

Figure 17 -Classes de vulnerabilidade à erosão ilustrada de forma separada na Região Fisiográfica do Médio São Francisco.



Elaboração: Suélen de A. Brito (2023).

Na tabela 16, estão descritas as porcentagens das vulnerabilidades de forma separada com relação à área de estudo e seus territórios. Ao comparar os resultados, observa-se a discrepância dos valores de menores áreas ocupadas pelas classes de vulnerabilidade muito baixa (4,9%) e muito alta (0,5%). Com a vulnerabilidade muito baixa, distribuída com mais intensidade no território do Sertão do São Francisco ao norte do mapa, principalmente entre os municípios de Remanso, Sento Sé e Casa Nova. Já a vulnerabilidade muito alta localizada em maior quantidade ao Oeste, no Território do Rio Grande, entre os municípios de Formosa do Rio Preto e Barreiras (Figura 17).

Tabela 16 - Área e porcentagem das vulnerabilidades por territórios de identidade da RFMSF.

Territórios	Área do Território na Bacia (km)	Área do território na bacia (%)	M Baixa	Baixa	Média	Alta	M Alta
Bacia do Paramirim	42805,05	3,49%	0,2%	1%	2%	0,4%	0,0%
Chapada Diamantina	34033,71	2,78%	0,1%	1%	1%	0,3%	0,0%
Irecê	124945,3	10,20%	0,3%	5%	2%	3,0%	0,0%
Rio corrente	221297,4	18,06%	0,0%	8%	6%	4,1%	0,1%
Rio Grande	363460,1	29,67%	0,1%	14%	6%	9,0%	0,3%
Sertão do São Francisco	173811,9	14,19%	3,4%	9%	2%	0,5%	0,0%
Sertão Produtivo	51883,96	4,24%	0,3%	1%	2%	1,0%	0,0%
Velho Chico	212779,1	17,37%	0,5%	10%	5%	2,4%	0,0%
Total	1225017	100,00%	4,9%	49,0%	24,9%	20,8%	0,5%

Elaboração: Suélen de A. Brito.

No ponto de vista do planejamento territorial, o Sertão do São Francisco sofreu grandes impactos socioeconômicos e ambientais a partir da alteração do seu espaço na década de 70, com a construção da Barragem de Sobradinho, no Rio São Francisco. A partir do início das instalações desse empreendimento, houve a inundação de quatro cidades: Casa Nova, Pilão Arcado, Remanso e Sento Sé e muitas vilas. Onde houve o deslocamento de mais de 70.000 pessoas (SOUZA e RAMOS, 2010).

Além disso, Souza e Ramos (2010), afirmaram em suas pesquisas que ocorreu a introdução da agricultura irrigada e da agroindústria nesses municípios. Nas quais, provocaram importantes alterações culturais no Bioma Caatinga, ao trazer novas técnicas agrícolas e novas pesquisas. Atualmente, a base econômica dos municípios ribeirinhos do lago de Sobradinho, é constituída basicamente pelo setor primário. Na agricultura, destaca-se a caprinocultura e ovinocultura. Enquanto na agricultura predomina a pequena propriedade

com a maior parte da produção de cebola, melão e melancia, baseada na agricultura familiar (SILVA, *et al.* 2018).

Embora nesta pesquisa, através dos critérios e graus de importâncias escolhidos e os resultados apontarem predominância de áreas de baixa vulnerabilidade à erosão no território do Sertão do São Francisco, ainda existe muito uso indiscriminado da terra nessa região. Um estudo realizado por Silva *et al* (2018) sobre a “Identificação de conflitos de uso e cobertura da terra na área de proteção ambiental – APA do Lago de Sobradinho, Bahia”, afirma, em seus resultados, a presença da atividade antrópica em áreas de Preservação Permanente – APP, legalmente protegidas pela legislação ambiental brasileira, onde há ocupação por agricultura pastoril, plantio irrigado ou de sequeiro. Segundo os mesmos autores, as áreas utilizadas para irrigação são principalmente as margens do Lago Sobradinho, com cultivos em maior quantidade de cebola e melão, observados por eles em visitas de campo (Figura 18).

Figura 18 - Áreas com plantações de cebola na faixa de APP do Lago de Sobradinho.



Fonte: Silva *et al* (2018).

Arcoverde, Cortez e Pereira (2018) realizaram uma pesquisa com o objetivo de avaliar as alterações em alguns atributos físicos do solo em áreas sob o uso agrícola, em relação à vegetação nativa (caatinga) do Semiárido Baiano, por meio da estatística clássica e análise multivariada dos fatores em componentes. Encontraram, nos municípios de Remanso e Casa Nova, resultados mais elevados de teor de argila nas áreas agrícolas do que na Caatinga, possivelmente devido ao maior tempo de cultivo nessas áreas com adição de resíduos orgânicos, o que promoveu a incorporação de mais matéria orgânica no solo, por existir aumento no grau de floculação. Além disso, a Análise de componente Principal (ACP) comprovou que os atributos da estruturação analisados (DMP: Diâmetro médio ponderado; Ds: densidade do solo; Pt: porosidade total; ADA: argila dispersa em água; GF: grau de

floculação.) foram sensíveis às alterações impostas pelo manejo agrícola e pela textura extremamente arenosa da grande parte dos solos da região.

A classe de vulnerabilidade baixa, considerada como um meio ecodinamicamente estável é a que apresenta maior extensão (49,0%) (Tabela 17), ocupa mais da metade da área total da bacia hidrográfica, com distribuições geográficas em todo o espaço, com densidades maiores acentuadas no norte e noroeste da RFMSF (Figura 16), entre os territórios do Velho Chico, Sertão do São Francisco e Bacia do Rio Grande, nos municípios de Barra, Pilão Arcado, Mansidão Cotegipe e Santa Rita de Cássia. Essas áreas estão localizadas, em sua maioria, em topografia plana e levemente ondulada, indica baixa sensibilidade a processos erosivos durante períodos de baixa pluviosidade. Esse resultado foi obtido, principalmente, por existir formação savânica em grande extensão na região fisiográfica, combinada pela baixa precipitação, relevo planos e grande extensão composta por latossolos, que de acordo Crepane (2001) são solos bem desenvolvidos, considerados solos maduros com grandes profundidades e porosidade.

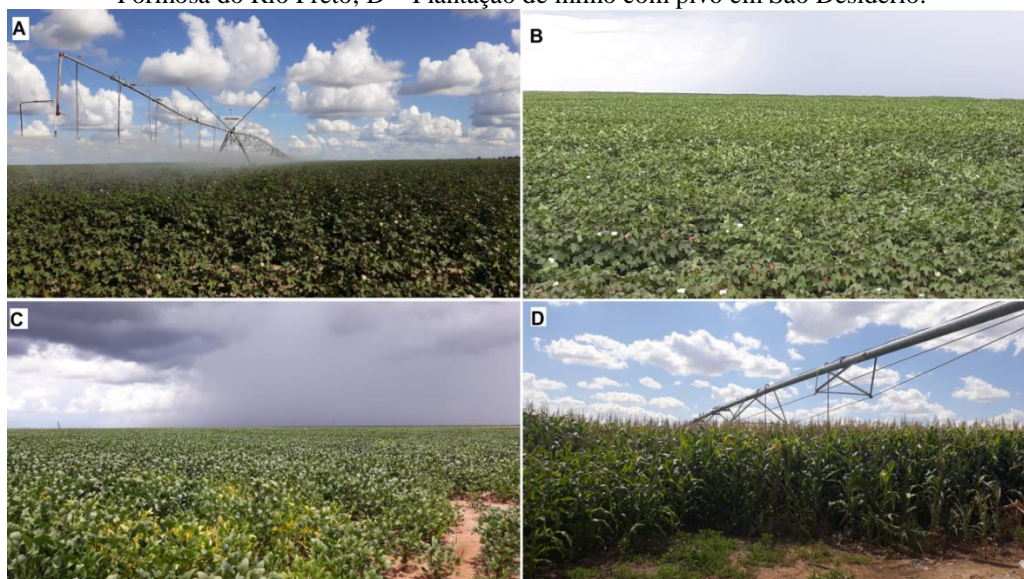
Dados parecidos foram encontrados por Trindade (2018), ao realizar em suas pesquisas, uma estimativa de perda de solos na Bacia Hidrográfica do Rio da Dona – BA, tendo como resultado uma baixa vulnerabilidade à erosão em mais de 50% da área total da Bacia. De acordo com Stein *et al.* (1987), mesmo que uma bacia hidrográfica esteja menos vulnerável a erosão, esse fenômeno ainda pode ocorrer devido à cobertura insuficiente do solo, retiradas para a produção de pastos, cultivo de lavouras perenes e temporárias. Segundo Coutinho (2017), é necessário considerar o uso e ocupação da terra e adotar medidas de conservação de acordo com a lei, para que a partir desse planejamento se consiga preservar os recursos naturais das bacias hidrográficas.

As áreas identificadas com vulnerabilidade média correspondem a 24,9% da RFMSF, estão distribuídas em quase toda extensão da área de estudo, mas em proporção maior nos territórios do Rio Corrente, Rio Grande e Velho Chico (Tabela 16), com destaque para os municípios de Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Correntina, Jaborandi e Cocos. Oliveira (2020), ao mapear e avaliar a fragilidade ambiental da bacia Hidrográfica do Rio Ipojuca, em Pernambuco, encontrou dados que representam 63,96% da área estudada com características moderadamente vulneráveis/estáveis. Com base nesse resultado, sugere que sejam tomadas medidas legais para o desenvolvimento das atividades com impactos ambientais nessas áreas, para que a vulnerabilidade não mude para moderadamente vulnerável ou mesmo vulnerável.

Ao seguir o ponto de vista de Oliveira (2020), há a necessidade de ter esse cuidado entre os territórios de destaques citados acima da RFMSF. Além disso, resultados parecidos aos dessa região, foram encontrados por Lage, Peixoto e Vieira (2008), em que ao realizar um estudo para descobrir os aspectos da vulnerabilidade ambiental na Bacia do Rio Corrente, Bahia, encontraram, na sua maioria, valores de vulnerabilidade de média a alta. Ao observar sobre a ótica do planejamento territorial, os autores afirmaram que os programas e projetos de desenvolvimento realizados pelo governo e pelo setor privado, na região da Bacia hidrográfica, não tiveram como princípios básicos a consideração referente às relações sociais/naturais. Como também, não houve fiscalização suficiente para a realização do controle de atividades de exploração explícitas e realização de estudos sobre a capacidade de sustentabilidade dos ecossistemas regionais (LAGE, PEIXOTO E VIEIRA, 2008).

A classe de vulnerabilidade alta com 20,8% e a muito alta da com 0,5%, contemplam maiores densidades os territórios do Rio Grande, Rio Corrente e Irecê. Essas áreas estão localizadas, em sua maioria, em terrenos com características planas ou suaves onduladas, mas podem ser encontradas com certa frequência em ambientes de montanhas e escarpados. No Território do Rio Grande, os valores de vulnerabilidade maiores estão localizados principalmente nos municípios de Formosa do Rio Preto, Riachão das Neves, Barreiras, Luís Eduardo Magalhães e São Desidério. Os quais, são grandes potência agrícolas (Figura 19), com destaque para o município de São Desidério por ocupar a liderança através da produção de algodão e Formosa do Rio preto, por liderar a produção de soja, ambos localizados no Oeste Baiano, além de serem grandes produtores de milho e outros grãos.

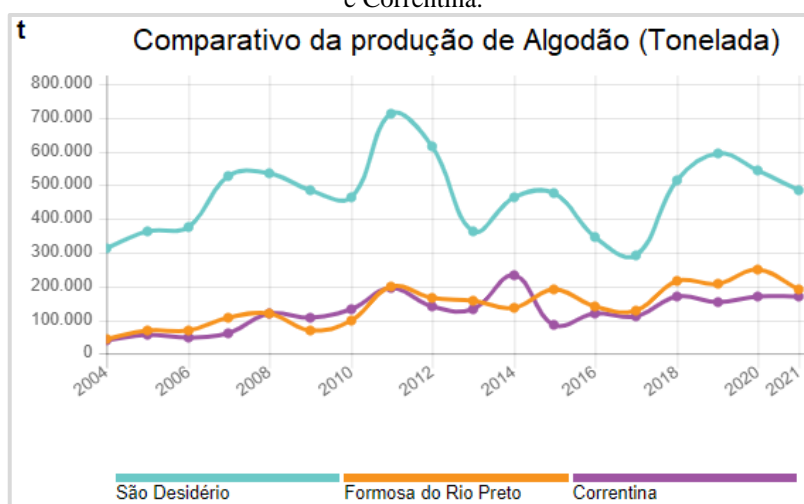
Figura 19 - Agricultura no território do Rio Grande: A – Plantação de Algodão com pivô central em Luís Eduardo Magalhães; B – Plantação de Algodão no sequeiro em Barreiras; C – Plantação de soja no sequeiro em Formosa do Rio Preto; D – Plantação de milho com pivô em São Desidério.



Fonte: Júlio Barreto (2020), arquivo pessoal.

No Gráfico 2, está ilustrado uma série histórica (entre os anos de 2004 a 2021) por meio de um comparativo da produção de algodão em São Desidério, Formosa do Rio Preto e Correntina, ambos pertencentes ao top três do ranking de produção de algodão em 2021, no estado da Bahia. Pode-se observar que em 2004 a produção da soja em São Desidério já apresentou valor elevado em comparação aos outros municípios, com a produção em seu maior pico de mais 700.000t no ano de 2011, enquanto Formosa do Rio Preto e Correntina não atingiram valores maiores que 300.000 (IBGE, 2023).

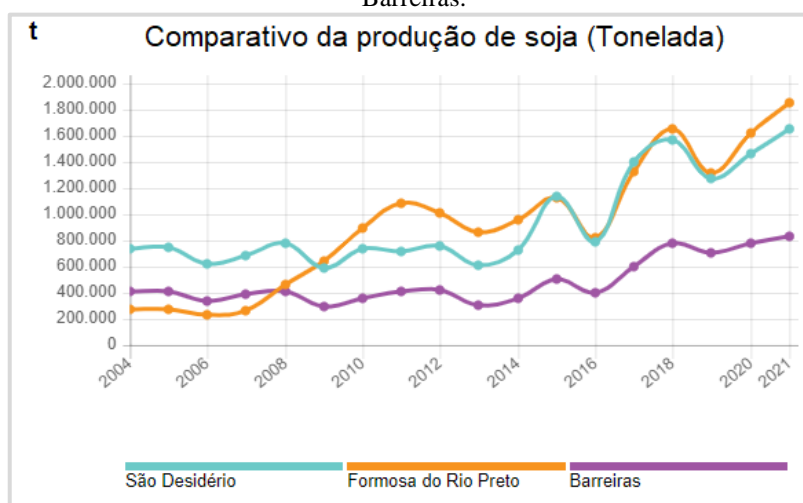
Gráfico 2 – Série Histórica da produção de Algodão entre os municípios de São Desiderio, Formosa do Rio Preto e Correntina.



Fonte: IBGE, 2023.

Com relação à produção de soja, outra potência da região, a série histórica entre os períodos de 2004 a 2021, foi feita por meio do comparativo dos municípios de Formosa do Rio Preto, São Desidério e Barreiras, ambos pertencentes de forma decrescente do Ranking de produção da soja na Bahia, segundo dados do IBGE (2023). A discrepância dessa cultura entre os municípios é inferior quando comparada à produção de algodão. Na soja, no ano de 2004 o município de São Desidério permaneceu na liderança com produção anual de aproximadamente 800.000 t. No decorrer dos anos, o município de Formosa do Rio Preto ganha destaque em sua produção chega a ultrapassar São Desidério, atinge um pico de produção de aproximadamente 1.800.000 t no ano de 2021 (Gráfico 3).

Gráfico 3 – Série Histórica da produção de Soja entre os municípios de São Desidério, Formosa do Rio Preto e Barreiras.



Fonte: IBGE, 2023.

Uma pesquisa realizada pela Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia (CEI), sobre as “Cidades do Agronegócio no Oeste Baiano”, afirma que nos territórios de Identidade de Rio Grande, Rio Corrente e os demais municípios do Oeste Baiano o dinamismo econômico tem sido estimulado pela introdução e expansão da cultura da soja, com o auxílio em todos os processos de políticas públicas para o planejamento territorial estimulada por subsídios governamentais que permitem o aumento de produtividade com a incorporação de tecnologias de ponta em sua cultura (CEI, 2017).

Devido às características climáticas adequadas e ao alto nível tecnológico do processo produtivo, o Oeste Baiano, nos últimos 40 anos, é o maior produtor de cereais do estado, principalmente para exportação. O grau de especialização regional fez com que essa produção, em 2021, segundo dados do IBGE, alcançasse 99,64% do valor total da produção agropecuária gerada na região da Bahia. No qual, representa aproximadamente 67% da produção agropecuária gerada nessa região (IBGE, 2023).

Além disso, o Algodão e a Soja, produzidos em maior escala nos territórios de Rio Grande e Rio Corrente, respondem por cerca de 80% do valor da produção do país. Entre os principais municípios produtores de soja, nos últimos tempos, Formosa do Rio Preto é o município que expande cada vez mais a produção, apresentando-se como o principal motor do crescimento (CEI, 2017).

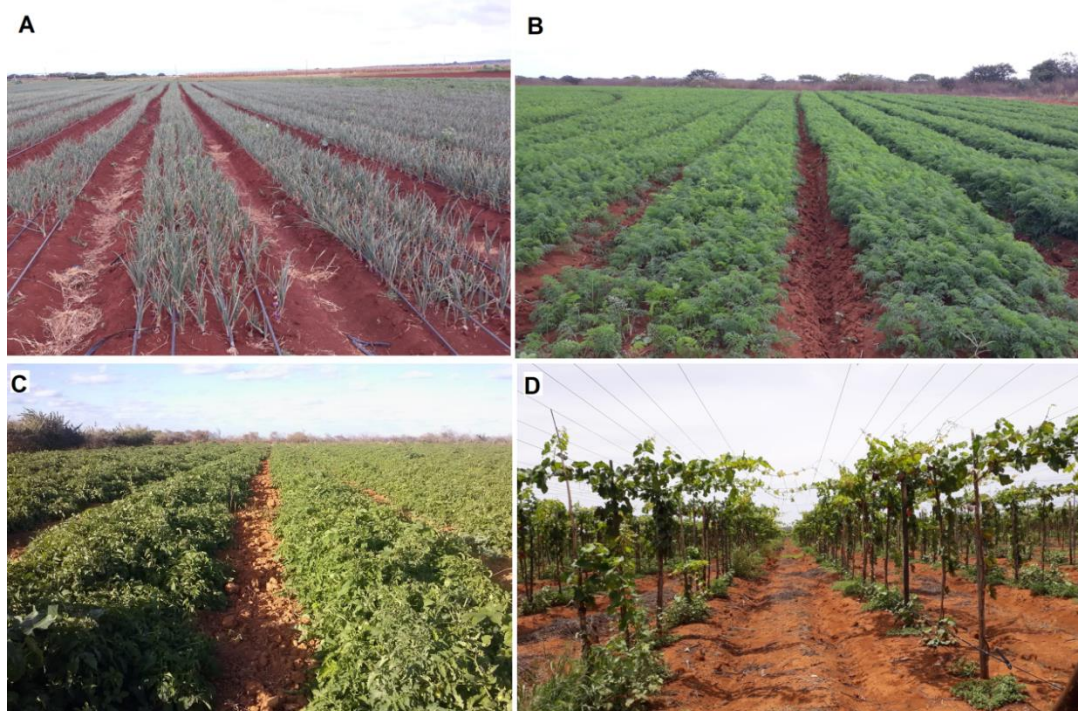
Lage, Peixoto e Vieira (2008), afirmam em seu trabalho sobre vulnerabilidade à erosão realizado na bacia hidrográfica do Rio Corrente que o estabelecimento da agricultura de exportação de soja, milho e algodão, por irrigação, através de pivô central e o aumento da

pecuária, elevaram os índices de destruição das matas ciliares, causaram o desaparecimento das veredas, o assoreamento e a intermitência de vários cursos d'água.

Conforme dados de um estudo desenvolvido por Santos (2007), sobre vulnerabilidade ambiental, no sudoeste do Rio Grande do Sul, destaca que desde a década de 1970, a expansão das atividades agrícolas, principalmente o cultivo da soja, levou à formação de solos arenosos por meio da mecanização agrícola. A automatização intensa registrada nessa década, juntamente com o aumento do uso de tratores, estimularam o processo de moagem a tal ponto que o maquinário pesado contribuiu para a formação de sulcos propensos à formação de calhas durante as fortes chuvas. Além da mecanização, mais recentemente tem sido associada ao cultivo tradicional de milho e soja na região.

No território de Irecê, os cultivos agrícolas são bem diversificados, com cultivos de cebola, tomate, cenoura, mamona, feijão, milho, uva, pinha, entre outros. Por haver pouca precipitação anual nessa região, os cultivos são realizados, em sua maioria, através do sistema de irrigação por gotejamento (Figura 20), pois é sistema hidráulico mais viável que a irrigação por pivô central, assim seu uso reduz os gastos de água utilizados de poços artesianos locais. Com isso, as perfurações de poços tubulares aumentaram nos últimos anos nessa região, com alteração de 1.000 perfurações no final da década de 1970 para 6.000 em 2004 (RAMOS *et al.*, 2007).

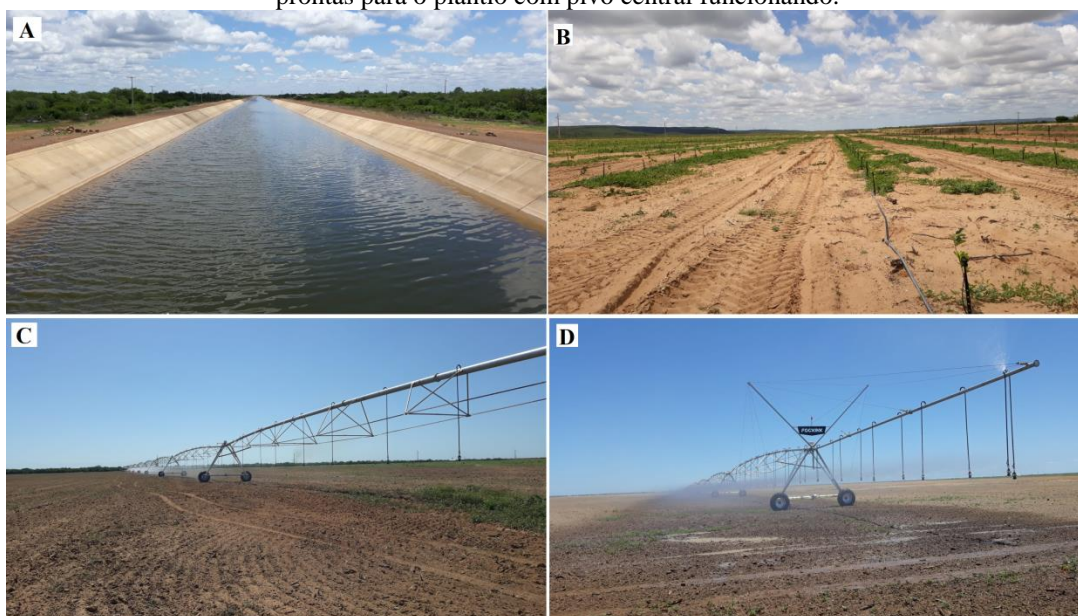
Figura 20 - Produção de Cebola em Lapão; B – Produção de Cenoura em Ibipeba; C – Produção de tomate em João Dourado, Produção de Uva em Presidente Dutra.



Fonte: Júlio Barreto (2022), arquivo pessoal; Suelen Brito (2023), arquivo pessoal.

Atualmente, sobre o ponto de vista do planejamento territorial, está em execução o Baixo de Irecê, projeto de irrigação, localizado entre os municípios de Xique-Xique e Itaguaçu da Bahia (Figura 21), que transportará água do Rio São Francisco para um total de 105 mil hectares, das quais 48 mil serão de área irrigável. O projeto foi dividido em nove etapas, nas quais as etapas iniciais um e a dois foram finalizadas, abrangeram uma área de 16 mil hectares irrigáveis que estão em fase de ocupação. As fases três a nove serão alocadas ao setor privado, correspondem a 50 mil ha, das quais 31.500 ha serão irrigadas e 19 mil ha não irrigadas. O Governo Federal fomentou a aquisição e a regularização fundiária da área do Projeto e implantou 42 quilômetros de canal, estação de bombeamento principal, adutoras, estação de pressurização e infraestrutura de energia, assim, são fornecidas as condições básicas necessárias para início da produção agrícola (CODEVASF, 2022).

Figura 21 - Área do Baixo de Irecê: A – Canal do Baixo de Irecê; B – Plantação de Limão Thaity; C e D: Áreas prontas para o plantio com pivô central funcionando.



Fonte: Júlio Barreto (2022).

A implementação do sistema de uso agrícola pode ter um impacto negativo sobre a terra porque utiliza um modelo que não prioriza o uso racional dos recursos naturais. Se um terreno considerado menos adequado for beneficiado sem avaliação prévia de sua estrutura e fertilidade, o solo poderá se deteriorar devido a utilização de um sistema de manejo inadequado, principalmente se a produção envolver solos frágeis, como o solo arenoso. (Sales *et al.*, 2010; Mota & Valladares, 2011).

Os solos do Território de Irecê, conforme os resultados encontrados neste trabalho são compostos, na sua maior extensão, por classes de Cambissolo Háplicos e Neossolos, ambos possuem vulnerabilidade muito alta para erosão, o primeiro Cambissolo é substituído

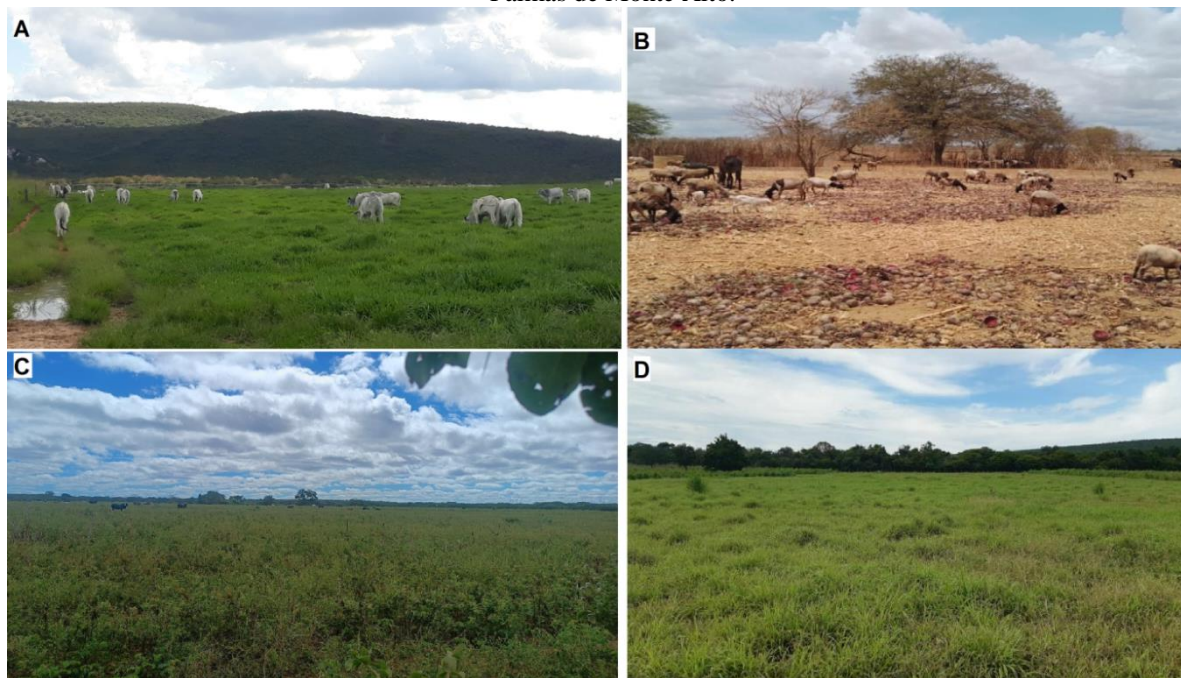
por material mineral com horizonte B (40 cm ou mais de espessura) composto por argila de atividade elevada e grandes níveis de saturação por bases, já o Neossolo são solos pouco evoluídos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, sem a evidência de qualquer tipo de horizonte B (EMBRAPA, 2011).

Ribeiro *et al* (2016) afirmam que a agricultura é recomendada para ambientes com baixa a muito baixa probabilidade de erosão. Por outro lado, terrenos abertos devem ser manejados com cobertura adequada para evitar perdas excessivas de solo (RIBEIRO *et al.*, 2016). De acordo com estudo realizado por Nepomuceno, Lobão e Vale (2011) a área mais sensível à desertificação na região de Irecê encontra-se em locais onde predominam a agricultura irrigada e a agropecuária, por sua própria natureza, é mais extrativa dos recursos naturais contribuí para a fragilidade desse sistema natural.

Dessa forma, ao analisar os resultados encontrados na RFMSF, faz-se necessário a realização de planejamento estratégico, o desenvolvimento de políticas públicas e fiscalizações dos órgãos responsáveis sobre o uso e ocupação das terras que abrangem as atividades agrícolas da área em questão, para que possa haver aumento da produção agrícola de forma sustentável.

As pastagens na RFMSF são utilizadas para a criação, em maior escala, de bovinos, seguidos por caprinos e ovinos (Figura 22). Conforme afirmam Ribeiro *et al.* (2016), as extensas áreas de pastagem ao longo da bacia aumentam com o processo de erosão. Além disso, Eugênio *et al.* (2011) descreveram que, além da compactação do solo, as pastagens podem ter um impacto negativo significativo na capacidade de regeneração natural. Portanto, é necessário tomar medidas relacionadas ao uso racional da terra, como pastagens bem manejadas que levem em consideração as características únicas de cada área, rotação de culturas, calagem de terras, preservação das matas ciliares, reflorestamento, entre outras para haver o controle da erosão do solo.

Figura 22 - Pasto de capim brachiaria sob pivô para criação bovina em Barra; B – Pasto natural com criação de ovinos em João Dourado; C – Pasto com criação bovina em João Dourado; D – Pasto para criação bovina em Palmas de Monte Alto.



Fonte: A - Júlio Barreto (2023), Arquivo Pessoal; B e C - Suélen Brito (2023), Arquivo Pessoal; D - Janivalto Santos (2023), Arquivo Pessoal.

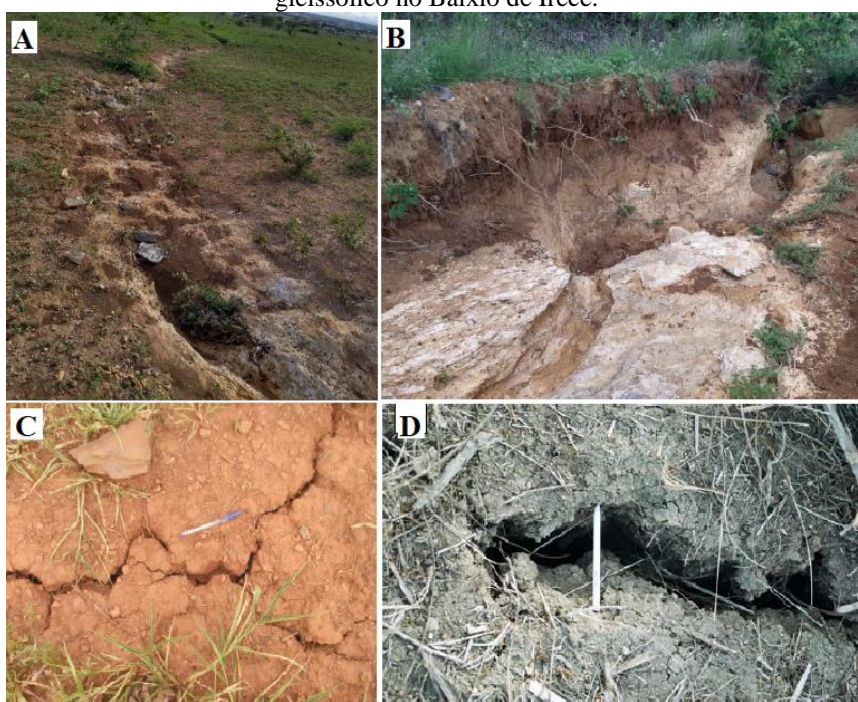
A Pastagem pode ser considerada umas das classes mais prejudiciais ao meio ambiente. De acordo com Guerra *et al* (2009) as consequências resultantes dessa atividade estão ligadas com a compactação dos solos, a formação de sulcos e ravinas que aos poucos se transformam em aberturas maiores nas superfícies terrestres.

Para Nepomuceno (2014), terreno plano total, baixa pluviosidade, supressão da Caatinga e ventos fortes durante os meses de seca, características essas existentes na área de estudo, são fatores que facilitam a erosão eólica em terrenos expostos sem que haja vegetação que impeça condições favoráveis para a movimentação das sementes. Já Araújo (2011), ao pesquisar sobre o semiárido, conclui que a degradação e posterior erosão são intensificadas pelas queimadas e desmatamentos, realizados para produção de lenha e execução de atividades agropecuárias.

Com base em indicadores físicos, biológicos, agrícolas e socioeconômicos, estudos realizados por Evangelista (2021) na microbacia do rio Baixão Verdinha, localizada no território de Irecê, mostram que a ocupação do solo e seus usos múltiplos há séculos, associados ao desmatamento do bioma Caatinga para o desenvolvimento de atividades agrícolas e pecuárias iniciaram um processo de desertificação, ao levar à degradação dos, já frágeis, recursos naturais devido às críticas condições climáticas.

Amaral, Silva e Melo (2006), Barbosa *et al* (2018), Abreu (2021) e Vangelista (2021), são alguns autores que já realizaram pesquisas sobre as características e degradação dos solos de algumas regiões pertencentes a RFMSF, ambos realizaram registros de áreas que sofreram ações erosivas (Figura 23) e relacionaram esses fenômenos, além das causas naturais da própria dinâmica local, ao desmatamento da Caatinga e ao uso do solo por atividades agrícolas e pecuária nos quais acabam acelerando os processos de erosão.

Figura 23 - Processos erosivos: A - Processo de ravinamento, localizado em uma propriedade no povoado de Mocozeiro, no município de Irecê- área com declividade moderada; B - voçoroca na sub-bacia do Baixão de Gabriel/BA; C - Fendilhamento no solo, município de São Desiderio; D - Rachadura na superfície de um gleissólico no Baixio de Irecê.

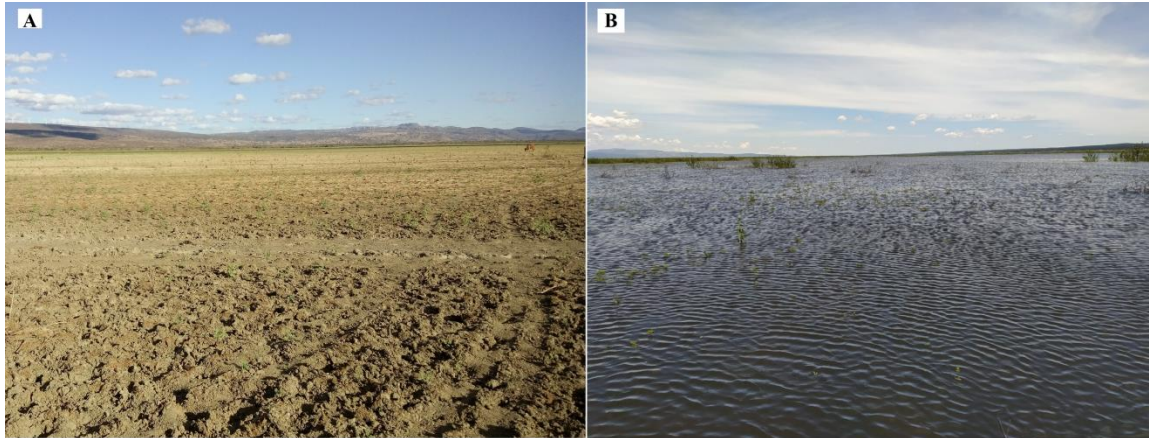


Fontes: A - Vangelista (2021); B - Abreu (2021); C - Barbosa *et al* (2018); D - Amaral, Silva e Melo (2006).

Além da agricultura e pecuária ser um dos critérios mais importantes para a evolução dos solos erodidos e conseqüentemente assoreamentos dos cursos d'água, Sival (2021), trás em sua pesquisa sobre as alterações temporais no uso e cobertura da terra na Lagoa de Itaparica, Bahia, a possibilidade de um dos motivos do assoreamento e seca hídrica da lagoa de Itaparica, no ano de 2017 (voltou ao seu nível máximo apenas em 2020) (Figura 24), além da baixa precipitação e das atividades agropecuária, estar relacionada às instalações de parques eólicos alocados na região da lagoa, sendo que até o período da pesquisa, já haviam 11 parques eólicos instalados, com início das obras em 2014, justamente nas áreas serranas situadas a sudeste, leste e nordeste da lagoa. Nesses locais, é que estão nas nascentes do rio Vereda do Sussuapara, o principal rio no fornecimento de água à Lagoa de Itaparica. Esses tipos de empreendimento ainda são poucos estudados e relacionados com a erosão, mas é uma

observação que é necessário um cuidado e planejamento maior, para que mesmo de acordo com as licenças ambiental, e considerada como uma fonte de energia renovável, não causem problemas relevantes para os recursos naturais e populações locais.

Figura 24 - Lagoa de Itaparica, Gentio do Ouro, Bahia: A – Lagoa seca em 2017; B – Lagoa cheia em 2020.



Fonte: A – Suélen de A. Brito, Arquivo Pessoal; B – CBHSF (2020).

Por fim, entre os resultados encontrados nesta pesquisa, infere-se que os territórios do Rio Grande, Rio Corrente e Irecê, são os que apresentaram maiores índices para alta vulnerabilidade à erosão na Região Fisiográfica do Médio São Francisco, já o que ofereceu os menores riscos a este processo é o Território do Sertão do São Francisco.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa mostrou que foi possível analisar os efeitos da vulnerabilidade ambiental à erosão na bacia hidrográfica do rio São Francisco, na região fisiográfica do médio São Francisco, a partir da identificação das variáveis que aceleram os processos erosivos. A carta síntese de Vulnerabilidade à erosão foi gerada através da aplicação do método da Combinação Linear Ponderada entre os mapas de critérios expressos em escala fuzzy (fuzzificados), reflete o conhecimento existente sobre o papel exercido pelos fatores intervenientes na dinâmica da região estudada. Com isso, o uso das geotecnologias mostrou-se indispensável no estudo do espaço geográfico, observado na precisão, segurança e agilidade na coleta, processamento e análise de dados, bem como na elaboração de mapas básicos e do mapa final de níveis de vulnerabilidade à erosão do espaço delimitado para a realização desse estudo.

Os critérios de Intensidade Pluviométrica e Ocupação do Solo têm participação preponderante no potencial de risco à erosão das terras da RFMSF, com peso de 48% e 23%, respectivamente. Já o critério declividade ficou com uma importância de 15%, o solo com 9% e a geologia com o menor valor, com peso de 5%.

A vulnerabilidade foi distribuída em cinco classes, com a muito alta e alta distribuída em 21,3% da área total do estudo, se destacam entre os territórios de Identidade de Rio Grande, Rio Corrente e Irecê. A classe de nível de risco médio abrange 24,9% da área total da RFMSF, ocupa o segundo local das classes com maior extensão e ocupa de maneira mais homogênea toda região, com menos densidade apenas no território do Sertão de São Francisco, pois o mesmo está composto, em sua maioria, com a classe baixa e muito baixa. Com a classe baixa existente em maior extensão, com 49% e a muito baixa com abrangência de 4,9%.

Diante disso, foi possível inferir, como demonstrado no mapeamento da vulnerabilidade à erosão, as situações constatadas nos territórios analisados, estão relacionadas a um conjunto de ações, que vem atingindo grandes avanços em setores com elevado grau de fragilidade natural, dentre elas, a supressão vegetal da caatinga e do cerrado, o avanço da agricultura, da pecuária e o aumento de queimadas. Além disso, fatores como as intensidades pluviométricas médias observadas, a retirada de água subterrânea destinada, principalmente a irrigação e a indústria, a realização da agricultura em solos impróprios e instalação de grandes empreendimentos nas declividades elevadas, também podem ter contribuído para esses resultados.

Em função disso, se medidas mais eficazes não forem adotadas, os níveis de vulnerabilidade observados na área de estudo podem ser alterados e haver um aumento significativo nas classes Alta e muito Alta. Dessa forma, é necessário à realização de um estudo direcionado para as áreas mais críticas com escalas espaciais maiores para aumentar o nível de detalhes e enriquecer os resultados e discussões.

Recomenda-se a realização do zoneamento dos territórios de identidade a partir dos indicadores de vulnerabilidade, para avaliação das potencialidades de uso alternativas dos seus espaços, bem como definição de áreas prioritárias para restauração florestal, com o intuito de proteger os recursos hídricos, a biodiversidade e a contenção de processos erosivos.

Ao considerar a necessidade da preservação dos recursos hídricos, proteção da biodiversidade e controle dos processos erosivos, os zoneamentos dos Territórios de Identidade da RFMSF devem ser feitos com base nos indicadores de vulnerabilidade encontrados nessa pesquisa, a partir da definição de áreas prioritárias de acordo com avaliações do potencial de usos alternativos do espaço e promoção da restauração florestal.

8. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Ludiane. **Vulnerabilidade Socioambiental dos Rios Urbanos: bacia hidrográfica do rio Maranguapinho, Região Metropolitana de Fortaleza.** Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2010.
- AMARAL, Rossângela.; ROSS, Jurandyr. As Unidades Ecodinâmicas na Análise da Fragilidade Ambiental do Parque Estadual do Morro do Diabo e entorno, Teodoro Sampaio/SP. **Revista GeoUSP**, São Paulo, 2009. 59-78p.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Diagnóstico analítico da Bacia do Rio São Francisco e da sua zona costeira.** Brasília: ANA, 2005.
- AQUINO, Afonso; PALETTA, Francisco; Almeida, Josimar. **Vulnerabilidade ambiental.** São Paulo: Blucher, 2017. p. 112
- ARAGÃO, Ricardo de *et al.* Avaliação do Modelo CHDM Utilizando dados de uma bacia experimental no semiárido nordestino. *In: VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, nº 1, 2002, Anais Maceió ABRH. Maceió, 2002.
- ARCOVERDE, Sável *et al.* . Atributos Físicos de Solos em Áreas Sob Diferentes Usos no Semiárido Baiano. **Revista Holos**, Vol. 04, 2018.
- ARCOVERDE, Sável; CORTEZ, Jorge; PEREIRA Janiellle. Atributos Físicos de Solos em Áreas Sob Diferentes Usos no Semiárido Baiano. **Revista Holos**. Vol. 05, 2018.
- BABAK, Olena.; DEUTSCH, Clayton. Statistical approach to inverse distance interpolation. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*. **Springer**, Vol. 23, n. 5, 2019. p. 543–553.
- BAHIA. Lei nº 13.214, de 29 de dezembro de 2014. **Dispõe sobre os princípios, diretrizes e objetivos da Política de Desenvolvimento Territorial do Estado da Bahia, institui o Conselho Estadual de Desenvolvimento Territorial – Cedeter e os Colegiados Territoriais de Desenvolvimento Sustentável – Codeter's.** Diário Oficial do Estado, Poder Executivo, Salvador, BA, a. XCIX, n. 21605, seção 1, p. 06-08, 30 de dezembro de 2014.
- BAHIA. Secretaria do Planejamento (SEPLAN), Secretaria do Meio Ambiente (SEMA). **Proposta Preliminar do Zonemanento Ecológico-Econômico da Bahia.** Decreto Estadual nº 14.530, 2013.
- BAHIA. Secretaria do Planejamento da Bahia – SEPLAN. **SPLAN.** Disponível em: <http://www.seplan.ba.gov.br/territorios-de-identidade/mapa>. Acesso em: 09 Mai. 2022.
- BAHIA. Secretaria do Trabalho, Emprego, Renda e Esporte – SETRE. **Consultas - Territórios de Identidade.** Disponível em: <https://geo.dieese.org.br/bahia/territorios.php>. Acesso em: 06 Mai. 2022.
- BARBOSA, M. P. Desertificação. **Apostila.** Universidade Federal de Campina Grande. 2008.

BARRELLA, W. *et al.* **As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes.** In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO; H.F. (Ed.) *Matas ciliares: conservação e recuperação.* 2.ed. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2001.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo.** 8ª ed. São Paulo: Icone, 2012, 355p.

BITAR, Omar. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação -- São Paulo : IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo ; CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília, DF : 2014.*

BOTKIN, Daniel; KELLER, Edward. **Ciência ambiental: terra, um planeta vivo.** Rio de Janeiro: LTC, 2011. 2263p.

BRASIL. CPRM (2019) Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). BRASIL. CONARH. **Conselho Nacional de Recursos Hídricos.** Resolução. Disponível em: <https://cnrh.mdr.gov.br/>. Acesso em: 07 de março de 2021.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Manuais técnicos em geociências divulga os procedimentos metodológicos utilizados nos estudos e pesquisas de geociências.** 2ª edição. Rio de Janeiro. 2007.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.** Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF 09/01/1997, P. 470. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm Acesso em: 10 de agosto de 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Caderno da Região Hidrográfica do São Francisco.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2006.

CALIJURI, Maria; MELO, André; Lorentz, Juliana. **Identificação de áreas para implantação de aterros sanitários com uso de análise estratégica de decisão.** Informação pública, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2002.

CÂMARA Gilberto *et al.* **Inferência geográfica e suporte à decisão.** São José dos Campos/SP: INPE. 2001.

CASTRO, César; PEREIRA, Carolina. **Revitalização da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco: histórico, diagnóstico e desafios.** Brasília: IPEA, 2019. 362p.

CBHFS. Lagoa de Itaparica volta a ter água depois de anos de seca. **CBHFS.** 2020. Disponível em: <https://cbhsaofrancisco.org.br/noticias/novidades/lagoa-de-itaparica-volta-a-ter-agua-depois-de-anos-de-seca>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

COLLISCHONN, Walter. *et al.* **Introduzindo a Hidrologia.** Instituto de Pesquisa Hidráulica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2009. P. 151.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO FRANCISCO - CBHSF. **Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do São Francisco**: resumo executivo do plano de recursos hídricos. 2016. Disponível em: <http://cbhsaofranciscoHolanda.org.br/planoderecursoshidricos/relatorios/>. Acesso em: 10 outubro 2020.

COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO - CODEVASF . **Baixio de Irecê** Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao>. Acesso: 20 de maio de 2023.

CORDÃO, M. J. de S. **Modelagem e otimização da disposição espacial de unidades de reservação em redes de distribuição de água utilizando geotecnologias**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2009.

CORSEUIL, Claudia. **Técnicas de geoprocessamento e de análise de Multicritérios na adequação de uso das terras**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu. 2006.

COUTINHO, Luciano. Estimativa de perdas de solo da bacia do Córrego Itabira, Cachoeiro de Itapemirim-ES. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR**, v. 18, Santos. Anais. 2017. p. 5841-5848.

CREPANI, Edison. *et al.* **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos, SP : INPE, 2001.

PHILIPPI, Arlindo; ROMÉRO, Marcelo; BRUNA, Gilda. **Curso de Gestão Ambiental**. Barueri, SP: Manole, 2004.

DAVIS, C. & CÂMARA, G. **Arquitetura de sistemas de informação**. In: CÂMARA, G., Carvalho, Luiz Moacyr de. Geodiversidade do estado da Bahia / Organização Luiz Moacyr de Carvalho [e] Maria Angélica Barreto Ramos. – Salvador: CPRM, 2010. 184 p.;

DAVIS, Clodoveu; MONTEIRO, Antônio. Introdução à ciência da informação. São José dos Campos: **INPE**, 2001. p. 41- 76.

DIAS, Valdirene. **Análise hierárquica processual (AHP) na modelagem da vulnerabilidade ambiental do minicorredor ecológico Serra das Onças (BA)**. Dissertação de Mestrado. Bahia. PPGM/UEFS, 2012.

DUARTE, José Carlos. Territórios de Identidade e multiterritorialidade, Paradigmas para a formulação de uma nova regionalização da Bahia. **V ENECULT - Encontro de Estudos Multidisciplinares em Cultura**. 2009.

EASTMAN, Ronald. Idrisi Kilimanjaro: Guide to GIS and Image Processing. Worcester: **Clark University**, 2003. 328p. Manual.

EMBRAPA-**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.Solos Brasileiros**.2019. Disponível em: <https://www.embrapa.br/tema-solos-brasileiros/solos-do-brasil>. Acesso em: 27 de agosto de 2021.

ENECULT - Encontro de Estudos Multidisciplinares em Cultura, 5. Salvador. Anais eletrônicos... Salvador, BA: UFBA, 2009. Disponível em: <http://www.cult.ufba.br/enecult2009/19536.pdf>. Acesso em: 19 Mai. 2022.

ENSSLIN, Sandra. **A estruturação no processo decisório de problemas multicritérios complexos**. Dissertação (Mestrado). EPS/UFSC, Florianópolis, SC, Brasil, 1997.

EUGENIO, Fernando *et al.* Identificação das áreas de preservação permanente no município de Alegre utilizando geotecnologia. **Revista Cerne**, Vol 17, 2011.

FALCÃO, Ermano. **Análise espacial, no município de Boa Vista-PB**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. 2013.

FARIAS, Emilly. *et al.* Evolução temporal no uso e ocupação do solo no município de Itanhém, Bahia. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, 2020. 9161–9130p.

FERREIRA, Rogério. **Mapeamento geomorfológico e de processos erosivos da bacia hidrográfica do Rio Botafogo – PE utilizando técnicas de geoprocessamento**. 2008. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar e Ambiental)– Programa de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2008.

FINKLER, Nicolas. *et al.* Cobrança pelo uso da água no Brasil: uma revisão metodológica. **Researchgate**, Curitiba, v. 33, p. 33-49, 2015.

FISHER P.F.; ROBINSON V. B. Fuzzy Modelling. In: Abrahart, R. J.; SEE, L. M. **GeoComputation**. Estados Unidos: CRC Press, 2014.p.283-305.

Geodiversidade do Estado da Bahia. Programa de Geologia do Brasil, Levantamento da **Geodiversidade. Serviço Geológico do Brasil**. Salvador. 2010. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/16625?show=full>. Acesso em: 25. Ago. 2021.

GFW - GLOBAL FOREST WATCH. **Perdemos um campo de futebol de floresta tropical primária a cada 6 segundos em 2019**. Disponível em: <https://blog.globalforestwatch.org/>. Acesso em: 22 de set. 2020.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALES, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2 ed. rev. e atualizada. São Paulo: oficina de textos, 2013. 154 – 158p

GOMES, A Alessandra. **Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento - área piloto de Parnamirim (PE)**. 2005. 165f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

GUERRA, Antônio. **Degradação dos solos: conceitos e temas**. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. do C. O. (Org.). **Degradação dos solos no Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2014. 15 – 51p

GUERRA, Antônio; GUERRA, Antônio José. **Novo dicionário geológico-geomorfológico**. 9ª ed., Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

HAESBAERT, Rogério. O mito da desterritorialização: do “fim dos territórios” à multiterritorialidade. **Bertrand Brasil**, Rio de Janeiro:, 2004.

HEERDT, Luiz. **Metodologia científica e da pesquisa**: livro didático. 5. ed. Palhaça: Unisul Virtual, 2007. 266p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística IBGE. PAM - Produção Agrícola Municipal. Acessado em 27 de maio de 2023. Disponível em: ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria. Acesso em: 05 de maio de 2023.

LAGE, Creuza; PEIXOTO, Heraldo; VIEIRA, Cláudia. Aspectos da vulnerabilidade ambiental na Bacia do Rio Corrente-BA. **Revista GeoTextos**, vol. 4, n. 1 e 2, 2008. p 11-36.

LIMA, Joedla. **Sociedade, Energia e Ambiente Semi-Árido**: Estudo da Bacia Hidrográfica do Açude Sumé. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Campinas. 2004.

LIN, Yu-Pin.; HONG, Nien; Wu Pei-Jjovem. Modeling and assessing land-use and hydrological processes to future land-use and climate change scenarios in watershed land-use planning, **Environ. Geol.**, v. 52, n. 3, p. 623 - 634, 2007.

LOBÃO, Jocimara; FRANCA-ROCHA, Washington; SILVA, Ardemírio. Geoprocessamento na Modelagem da Vulnerabilidade Natural à Erosão no Município de Morro do Chapéu-BA. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, n. 1, 2011. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/43722>. Acesso em: 30 maio. 2023.

Machado, R. E.; Vettorazzi, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do ribeirão dos Marins, SP. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 4, p. 735 - 741, 2003.

MELLO, Gláucia.; *et al.* Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 02, p. 315–322, 2006.

MOTA, Lydia; VALLADARES, Gustavo Vulnerabilidade à degradação dos solos da Bacia do Acaraú, Ceará. **Revista Ciência Agronômica**, vol 42, n 1, 2011. p. 39-50.

NASCIMENTO, Dária; DOMINGUEZ, José. **Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmomentee Canavieiras, Bahia**. *Revista Brasileira de Geociências*. Salvador, v. 39, n. 3,p. 395-408. 2009.

NAVAS, A.; *et al.* **Assessing soil erosion in a Pyrenean mountain catchment using GIS and fallout 137Cs**. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 105, n. 03, p. 493-506, 2005.

NEPOMUCENO, Maurílio; LOBÃO, Jocimara; do VALE, Raquel. **Uso e cobertura da terra como indicativo do processo de desertificação na região de Irecê – BA** Anais XV

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE p.6794

NEPOMUCENO, Murilo. **Análise geossistêmica da região de Irecê-BA**. 295 f. Dissertação (Mestrado em Geografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2014.

NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópica, na bacia do PeixeParanapanema. In: **SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO**, n 4. Anais. São Paulo, 1987. p 105-135.

OLIVEIRA, Josiane. *et al.*. Uso de ferramentas sig para análise de agrupamento florestal de araucária angustifolia em um fragmento de floresta ombrófila mista no Parque Nacional de São Joaquim-SC. **Revista Geografia Acadêmica**, v. 10, n. 2, p. 93-104, 2016.

OLIVEIRA, Paulo *et al.*. “Processo Analítico Hierárquico Aplicado a Vulnerabilidade Natural a Erosão.” **Geociências**, v. 28, n. 4, p. 417-424, São Paulo, UNESP, 2009. páginas 1, 2, 4, 5, 11, 12 e 14.

PAGLIARINI, Marcos. **Mapeamento da vulnerabilidade ambiental da Bacia do Rio Siemens, Região Sudoeste-PR**. 2018. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Francisco Beltrão, 2018.

PEIXOTO, A. L. *et al.* **Conhecendo a biodiversidade**. Brasília: MCTIC, 196 p. 2016.

PHILIPPI Arlindo; ROMÉRIO Marcelo. **Curso de Gestão Ambiental**. 2 ed. São Paulo: Manole, 2014.

RAFFESTIN, Claude. **Por uma geografia do poder**. São Paulo: Ática, 1993.

RAFFO, Jorge. **O processo analítico hierárquico e seu uso na modelagem do espaço geográfico**. Revista do Departamento de Geografia–USP, Volume Especial. 2012. p. 26 –37.

RAMOS, Rui. Localização Industrial – Um Modelo Espacial para o Nordeste de Portugal. Dissertação de Doutorado. **Universidade do Minho**. Braga, Portugal. 2000.

RIBEIRO, André. *et al.* Vulnerabilidade ambiental à erosão hídrica em uma sub-bacia hidrográfica pelo processo analítico hierárquico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 1, p. 16-31, 2016.

ROSS, Jurandy. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, V. 8, p. 63 – 74.

ROSS, Luciano (org.) **Geografia do Brasil**, Edusp, 6ª edição, São Pulo, Brasil, 2011.

SAATY, Thomas. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European Journal of Operational Research**, v. 48, 1990. p. 9 -26.

SALES, Rafael. *Et al.* Qualidade física de um Latossolo sob plantio direto e preparo convencional no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, n 3, 2016, p. 429-438.

SANTOS, Milton; SILVEIRA, Maria Laura. O Brasil: território e sociedade no início do século XXI. **Record**. 5ed. Rio de Janeiro, 2003.

SANTOS, Rozely (Org). **Vulnerabilidade ambiental**: desastres naturais ou fenômenos induzidos. Ministério do Meio Ambiente, Brasília: DF. 2007.

SAQUET, Marcos. **Abordagens e concepções de território**. São Paulo: Expressão Popular, 2013.

SCHMIDT, Angela. **Processo de Apoio à Tomada de Decisão Abordagens: AHP e MACBETH**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. 1995.

SILVA, Antonio *et al.* Comparison of interpolation methods for spatial distribution. **Revista de Engenharia Hidrológica**. Vol 24, Ed 3. 2019.

SILVA, Cristiano; NUNES, Fábio. Mapeamento de vulnerabilidade ambiental utilizando o método AHP: uma análise integrada para suporte à decisão no município de Pacoti/CE. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, n 14. Anais. Natal: INPE, 2009

Silva, Rosemary. Identificação de conflitos de uso e cobertura da terra na área de proteção ambiental – APA do Lago de Sobradinho, Bahia. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing** v.8, n.2, 2018. p 67-77.

SILVA, Madson. **Mudança no uso de solo e no aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do submédio Rio São Francisco**. 2014. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2014.

SILVEIRA, Vicente. **Geoprocessamento como Instrumento de Gestão Ambiental**. In: Arlindo Philippi Jr.; Marcelo de Andrade Romero; Gilda Collet Bruna. (Org.). Curso de Gestão Ambiental. 1ªed. São Paulo: Editora Manole Ltda., 2004, v. , p. 1-1045.

PHILIPPI, Arlindo; ROMÉRO, Marcelo; BRUNA Gilda. Análise Multicritério e Gestão Ambiental. In: **Curso de Gestão Ambiental**. Editores: Barueri, SP: Manole, 2004.

SOUSA, Juliana *et al.* Uso do AHP para identificação de perdas da qualidade em empresas de manufatura: um estudo de caso. **Exacta**, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 89-100, 2017. Disponível em: <http://periodicos.uninove.br/index.php?journal=exacta&page=article&op=view&path%5B%5D=6691>. Acesso: 03 de abril de 2022.

SOUSA, Ridelson. *et al.* Estudo da Evolução Espaço-Temporal da Cobertura Vegetal do Município de Boa Vista-PB, Utilizando Geoprocessamento. **Revista Caatinga**, v.21, n.3, Mossoró, 2008. p.22-30.

SOUZA, Jobabe; Borges, Isaura; Santos, Rosângela. Avaliação da Eficiência do Modelo AHP na análise de vulnerabilidade a erosão do município de Morro do Chapéu – BA. **XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Anais, João Pessoa, 2015.

SOUZA, Regina; RAMOS Alba. Rio São Francisco: cultura, identidade e desenvolvimento. rde - **revista de desenvolvimento econômico**. Ed. Esp. 2010

SPÖRL, Christiane. **Metodologia para elaboração de modelos de fragilidade ambiental utilizando redes neurais artificiais**. Tese (Doutorado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SANTOS, Jader. Relações entre Fragilidade Ambiental e Vulnerabilidade Social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 2, p.75-90, 2015.

SPÖRL, Christiane; ROSS, Jurandyr. Análise comparativa da fragilidade ambiental com aplicação de três modelos. **GEOUSP – Espaço e Tempo**. São Paulo, n. 15, 2004. p. 39-49.

STEIN, D. P. ; DONZELLI, P. L. ; GIMENEZ, A.F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. Perfil dos Territórios de Identidade / Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **SEI**. v 3, Salvador., 2018.. p.252.

TRINDADE, Laiana. **Estimativa de Perda de Solos na Bacia Hidrográfica do Rio da Dona – BA**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia – UFRB, Cruz das Almas. 2018.

SANTOS, Rozely. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 2007. p. 192.

APÊNDICE

Tabela 17- Valores de risco atribuídos às classes de geologia da área de estudo pertencente à Bacia Hidrográfica do Médio São Francisco/BA.

Classe	Valor Fuzzy	Classe	Valor Fuzzy	Classe	Valor Fuzzy	Classe	Valor Fuzzy
Migmatito, Ortognaisse	0,2	Monzonito, Quartzo monzonito, Quartzo sienito	0,54	Quartzito feldspático, Metaconglomerado	0,58	Calcilutito, Calcarenito, Marga	0,76
Metasienogranito, Metamonzogranito	0,2	Metagranodiorito	0,54		0,6	Calcário, Calcarenito oolítico, Dolomito, Silexito	0,76
Metavulcânica máfica e félsica, Metarritmito, Formação ferrífera bandada (BIF'S), Filito,	0,2	Ortognaisse, Augen gnaisse	0,54	Argilito, Siltito, Arenito	0,6	Calcilutito, Calcarenito, Calcissiltito	0,76
Rocha metaultramáfica, Rocha metamáfica	0,2	Monzonito, Quartzo sienito	0,54	Siltito, Argilito	0,6	Calcarenito, Arcóseo, Dolomito, Siltito, Folhelho, Argilito, Ritmito, Marga	0,76
Metavulcânica intermediária e félsica, Metacalcário dolomito, Metachert, Rocha metapelítica	0,2	Quartzo sienito, Granito	0,54	Ortoconglomerado, Paraconglomerado, Arenito conglomerático, Conglomerado polimítico	0,6	Siltito, Folhelho	0,76
Ortognaisse	0,2	Quartzo monzonito, Granodiorito, Monzonito, Granito	0,54	Arenito	0,6	Calcarenito, Siltito	0,76
Ortognaisse, Augen gnaisse	0,2	Carbonatito, Sövito, Piroxenito, Quartzo sienito, Albitito, Lamprófire	0,56	Argilito, Siltito, Calcarenito, Arenito, Ritmito, Calcário estromatolítico, Arenito conglomerático, Lamito	0,6	Argilito, Silexito, Ritmito, Marga	0,76
Migmatito, Ortognaisse, Paragnaisse	0,2	Quartzito ferruginoso, Xisto	0,56	Rocha pelítica, Arenito, Arenito conglomerático, Conglomerado polimítico	0,6	Siltito, Argilito, Arenito	0,76
Migmatito, Granito gnaisse, Ortognaisse	0,2	Magnetitito, Metagabro, Metapiroxenito, Metagabronorito	0,56	Arenito, Ortoconglomerado, Paraconglomerado, Arenito conglomerático	0,6	Calcarenito, Dolomito	0,76
Ortognaisse, Migmatito	0,2	Filito, Formação ferrífera bandada (BIF'S), Magnesitito, Metacalcário	0,56	Rocha pelítica, Arenito	0,6	Diamictito, Arenito, Varvito, Tilito	0,76

		magnesiano, Metacalcário dolomito, Rocha metaultramáfica, Metachert, Rocha metapelítica, Metarenito					
Rocha calcissilicática, Formação ferrífera bandada (BIF'S), Mármore, Metachert	0,2	Metacalcário, Xisto, Xisto carbonático, Quartzito feldspático	0,56	Argilito, Arenito, Siltito, Lamito, Calcário estromatolítico, Arenito conglomerático, Marga	0,6	Arcóseo, Argilito, Siltito	0,76
Xisto, Paragnaisse, Mármore	0,4	Formação ferrífera bandada (BIF'S)	0,56	Rocha pelítica, Arenito arcoseano	0,6	Arenito	0,78
Xisto, Rocha metaultramáfica, Metachert, Rocha metamáfica	0,4	Rocha metapelítica, Metarenito	0,56	Arenito, Rocha pelítica, Arenito arcoseano, Arenito conglomerático, Conglomerado	0,6	Arenito, Siltito arenoso, Folhelho, Ortoconglomerado	0,78
Serpentinito, Talco xisto	0,4	Metaconglomerado polimítico	0,56	Metagrauvaca feldspática	0,74	Arenito conglomerático, Rocha pelítica, Arenito	0,78
Formação ferrífera bandada (BIF'S), Filito, Xisto, Rocha metamáfica	0,4	Metaconglomerado, Metarenito	0,56	Filito, Xisto, Mármore, Muscovita quartzito	0,74	Siltito, Folhelho, Arenito	0,78
						Arenito	0,8
Grafita xisto, Metabasalto, Metachert, Formação ferrífera bandada (BIF'S)	0,4	Filito, Quartzito feldspático, Mica quartzito	0,56	Muscovita quartzito	0,74	Laterita, Depósitos de areia, Depósitos de argila, Depósitos de cascalho	0,8
Metabasalto, Xisto, Grafita xisto, Rocha calcissilicática, Mármore, Metachert, Formação ferrífera bandada (BIF'S), Metakomatiíto, Metagabro	0,4	Filito, Quartzito feldspático, Mica quartzito	0,56	Xisto	0,74	Depósitos de areia, Depósitos de cascalho, Depósitos de argila	0,96
Xisto, Formação ferrífera bandada (BIF'S), Mármore, Metachert, Formação Manganésífera	0,4	Mica quartzito, Filito, Quartzito feldspático, Metaconglomerado	0,56	Quartzo monzonito, Quartzo sienito	0,74	Aglomerado, Laterita, Depósitos de areia, Depósitos de argila	0,96
Metagranito, Metagranodiorito, Augen gnaisse	0,54	Biotita xisto, Mica quartzito	0,56	Metasiltito, Ardósia, Metarenito, Mármore, Metamarga	0,74	Depósitos eólicos	0,98

Metamonzogranito	0,54	Metaconglomerado polimítico, Metarcóseo	0,56	Metamarga, Metadiamictito, Metasiltito, Quartzito feldspático, Xisto	0,74	Brecha carbonática	0,98
Metasienito, Metagranito	0,54	Mica quartzito, Quartzito arcoseano	0,56	Metarcóseo, Metasiltito	0,74	Depósitos de argila, Depósitos de areia, Depósitos de cascalho	0,98
Metagabronorito, Magnetitito, Metanortosito, Metapiroxenito, Metagabro	0,54	Quartzito feldspático, Metaconglomerado, Filito	0,58	Metasiltito, Mármore, Metamarga	0,74	Depósitos de areia, Depósitos de argila	0,98
Metagranito, Metatonalito	0,54	Xisto, Filito	0,58	Filito, Metaconglomerado	0,74	Depósitos de areia, Depósitos de cascalho	1
Metariodacito, Metariolito, Metadacito	0,54	Metasiltito, Ardósia, Conglomerado, Folhelho, Siltito, Metarenito	0,58	Filito	0,74	Depósitos de areia, Depósitos de cascalho, Depósitos de argila	1
Granito, Granodiorito	0,54	Diorito, Gabro, Diabásio	0,58	Diamictito, Arenito, Grauvaca, Rocha pelítica	0,76		
Metariolito, Metadacito, Rocha metapiroclástica	0,54	Filito, Quartzito feldspático	0,58	Calcilutito, Calcarenito, Siltito, Calcissiltito, Arcóseo	0,76		
Metagranodiorito, Metamonzogranito	0,54	Diabásio, Gabro	0,58	Calcilutito, Calcarenito	0,76		

Fonte: Adaptado Crepani (2001).