



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

TASSO IVO DE OLIVEIRA NETO

**SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA DEPRESSÃO SERTANEJA DE
CRATEÚS (CEARÁ-BRASIL)**

FORTALEZA
2023

TASSO IVO DE OLIVEIRA NETO

SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA DEPRESSÃO SERTANEJA DE
CRATEÚS (CEARÁ-BRASIL)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- O52s Oliveira Neto, Tasso Ivo de.
 Suscetibilidade à Desertificação na Depressão Sertaneja de Crateús (Ceará - Brasil) /
 Tasso Ivo de Oliveira Neto. – 2023.
 133 f. : il. color.
- Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de
 Pós-Graduação em Geografia, Fortaleza, 2023.
 Orientação: Prof. Dr. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira..
1. Análise Ambiental. 2. Semiárido. 3. Indicadores Biofísicos. 4. Equação Universal de
 Perdas de Solo. 5. Ensaio Experimental. I. Título.

CDD 910

TASSO IVO DE OLIVEIRA NETO

SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO NA DEPRESSÃO SERTANEJA DE
CRATEÚS (CEARÁ-BRASIL)

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Geografia
Área de concentração: Dinâmica Territorial e Ambiental.

Aprovada em: 28 / 07 / 2023.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Profa. Dra. Marta Celina Linhares Sales
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcos José Nogueira de Souza
Universidade Estadual do Ceará (UECE)

Profa. Dra. Maria Losangela Martins de Sousa
Universidade do Estado do Rio Grande do Norte (UERN)

Prof. Dr. Diego Teixeira de Araújo
Instituto Federal do Ceará (IFCE)

AGRADECIMENTOS

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Geografia formação durante toda a trajetória acadêmica, desde a graduação até o doutoramento...
lê, viva meus mestres. lê, viva meus mestres, camará!

Aos colaboradores do Programa de Pós-Graduação em Geografia, Edilene e Erandi, pela ajuda durante o período em que estive dentro do Programa. lê, viva Erandi e Edilene. lê, viva Erandi e Edilene, camará!

À Profa. Dr^a. Vlândia Pinto Vidal de Oliveira, pela orientação, conselhos e reflexões acerca da problemática da pesquisa e pela oportunidade e acolhimento desde o início de minha jornada dentro das pesquisas... lê, viva a Vlândia. lê, viva a Vlândia, camará!

À minha família – Tarciano, Dacilda, Medeiros, Tássia, Tales, Victória, Emanuel – pelo amor e carinho recebidos em todos os momentos pessoais, que incentivaram o caminhar científico. lê, viva a família. lê, viva a família, camará!

À Yara, minha companheira, pela inestimável parceria ao longo desta incipiente vida, sobretudo acadêmica. lê, viva a Yara. lê, viva a Yara, camará!

À meus filhos, Benedito e Jamaru, pela força, luz e ensinamentos diários. lê, viva ao Benedito e Jamaru. lê, viva ao Benedito e ao Jamaru, camará!

Aos meus amigos-irmãos Jorge (Jorgim), Ricardo (Cadin), Savio (Papai), Diego, (Bodão), Henrique Sampaio, Gledson (Gleussão), Vitor (Vitão) sem os quais a trajetória não teria sido tão prazerosa. lê, viva aos amigos-irmãos. lê, viva aos amigos-irmãos, camará!

Aos meus amigos do LAPED, grato pelo apoio, contribuições, sugestões e críticas, além dos momentos de alegria nos trabalhos de campo. lê, viva aos amigos. lê, viva aos amigos, camará!

Ao Emiliano e a Maristela por todo apoio logístico, emocional, científico durante os trabalhos de campos, pelo tempo, pela estadia, pela força, muito obrigado. lê, viva ao Emiliano e a Maristela. lê, viva ao Emiliano e a Maristela, camará!

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio, através dos projetos CAPES PGPSE Proc.88887.123947/2016-00: Sistemas Ambientais costeiros e ocupação econômica do Nordeste; CAPES PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: *Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate*

change; e Programa CAPES/FUNCAP Proc. 88887.165948/2018-00: Apoio às Estratégias de Cooperação Científica do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFC. lê, viva à Capes. lê, viva a Capes, camará!

Á todos aqueles que direta e indiretamente apoiaram a pesquisa. lê, viva à todos. lê, viva aos todos, camará!

“o principal trabalho da Geografia, não é facilitar o pioneirismo em novas terras e a utilização de seus recursos [...] a Geografia é uma ciência experimental e de transformação [...]”

Gerasimov (1986 *apud* ROSS, 2009, p. 23).

RESUMO

A problemática da desertificação tem assolado extensas áreas das regiões áridas e semiáridas, acarretando sérios impactos relacionados à erosão, como a perda da biodiversidade e da capacidade produtiva dos solos. Dessa forma, objetiva-se analisar a morfodinâmica que influencia na problemática de desertificação na depressão sertaneja do município de Crateús (Ceará-Brasil). A Tese está estruturada na seguinte sistemática: conhecimento do objeto estudado, por meio da análise das partes que compõem o sistema ambiental, ou seja, a contextualização ambiental e o diagnóstico ambiental dos sertões/depressão sertaneja (Capítulo 03) e a análise da desertificação com base em indicadores biofísicos da desertificação e análise dos parâmetros de métodos (in)diretos para estimar perdas de solo (Capítulo 04). Certamente não é pretendido, aqui, esgotar o tema, que apresenta outros referenciais importantes com outras possibilidades de abordagem. O ensaio tem a pretensão de contribuir com as discussões levantadas, entendendo que nenhum pensamento é definitivo e que sua adoção incondicional significa uma falta de crítica, sendo que a crítica alimenta uma pesquisa notadamente reflexiva. Foram estabelecidas às seguintes etapas na pesquisa como: levantamento e coleta de dados bibliográficos e cartográficos acerca do quadro natural e socioeconômico; registro de campo; tratamento e análise das informações, com base na teoria sistêmica, considerando os fatores do potencial ecológico (geologia, geomorfologia, climatologia, hidrologia), os fatores da exploração biológica (solos e cobertura vegetal); bem como, as condições de ocupação e exploração dos recursos naturais. Para o estabelecimento das unidades homogêneas e para delimitar cartograficamente a compartimentação ambiental do município, foram utilizando trabalhos de Souza (2000, 2007), Souza, Oliveira, Granjeiro, 2002; Souza, *et al.*, 2009; Souza, Oliveira, 2011); na composição e análise dos indicadores propostos baseou-se nos estudos de Abraham, Solomón (2006); Oliveira (2011); Oliveira, Smedo e Oliveira (2014), Sousa (2016) e Silva (2018). Para o entendimento da dinâmica o solo, precedeu-se o trabalho de campo quali-quantitativo dos processos erosivos, e a análise dos parâmetros da *Universal Soil Loss Equation* (USLE) ou Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), com a utilização do monitoramento de áreas experimentais para a construção de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) que auxiliou na construção do mapeamento. A área de estudo abrangeu aproximadamente 2.100 km², cobrindo pouco mais de 70% do território crateuense,

compreendendo a Depressão Sertaneja de Crateús. Este sistema ambiental exhibe relevo plano a suave ondulado, esculpido em variados litotipos do embasamento cristalino, que engendra um padrão de drenagem dendrítico com rios intermitentes. As principais coberturas pedológicas são os planossolos e luvisolos, recobertos pela vegetação caatinga. O Índice Biofísico de Desertificação deste sistema ambiental teve como valor obtido 3,17, sendo considerado de razoável a satisfatório, exibindo características típicas de ambientes de transição, bem como tendência a instabilidade. De posse dos resultados das análises dos parâmetros da EUPS para a Depressão Sertaneja de Crateús, destaca-se que a declividade não apresenta grandes riscos à erosão, entretanto, os demais critérios estudados apresentam valores de média a alta potencialidade para os processos erosivos.

Palavras-chave: análise ambiental; semiárido; indicadores biofísicos; equação universal de perdas de solo; ensaio experimental.

RESUMEN

El problema de la desertificación ha devastado extensas áreas de regiones áridas y semiáridas, causando graves impactos relacionados con la erosión, como la pérdida de biodiversidad y la productividad del suelo. Por lo tanto, el objetivo es analizar la morfodinámica que influye en el problema de la desertificación en la depresión del sertão del municipio de Crateús (Ceará, Brasil). Esta tesis se estructura según el siguiente sistema: comprender el tema estudiado a través del análisis de los componentes que conforman el sistema ambiental, es decir, la contextualización ambiental y el diagnóstico ambiental del sertão/depresión del sertão (Capítulo 3); y analizar la desertificación con base en indicadores biofísicos de desertificación y los parámetros de métodos (in)directos para estimar la pérdida de suelo (Capítulo 4). Ciertamente, no se pretende aquí agotar el tema, que cuenta con otras referencias importantes con diferentes enfoques. Este ensayo pretende contribuir a las discusiones planteadas, entendiendo que ninguna idea es definitiva y que su adopción incondicional implica una ausencia de crítica, ya que la crítica impulsa notablemente la investigación reflexiva. Se establecieron los siguientes pasos de investigación: levantamiento y recolección de datos bibliográficos y cartográficos sobre el marco natural y socioeconómico; registros de campo; procesamiento y análisis de la información, con base en la teoría sistémica, considerando factores de potencial ecológico (geología, geomorfología, climatología, hidrología), factores de explotación biológica (suelos y cobertura vegetal); así como las condiciones de ocupación y explotación de los recursos naturales. Para establecer unidades homogéneas y delimitar cartográficamente la compartimentación ambiental del municipio, se utilizaron trabajos de Souza (2000, 2007), Souza, Oliveira y Granjeiro, 2002; Souza *et al.*, 2009; Souza, Oliveira, 2011); La composición y análisis de los indicadores propuestos se basaron en los estudios de Abraham, Solomon (2006); Oliveira (2011); Oliveira, Semedo y Oliveira (2014); Sousa (2016) y Silva (2018). Para comprender la dinámica del suelo, se realizó trabajo de campo cualitativo y cuantitativo sobre los procesos de erosión y el análisis de los parámetros de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), utilizando el monitoreo del área experimental para construir un Sistema de Información Geográfica (SIG) que ayudó en el mapeo. El área de estudio cubrió aproximadamente 2.100 km², cubriendo poco más del 70% del territorio de Crateús, abarcando la Depresión de Crateús Sertaneja. Este sistema ambiental

exhibe un relieve plano a suavemente ondulado, esculpido por varios litotipos del basamento cristalino, que genera un patrón de drenaje dendrítico con ríos intermitentes. Las principales coberturas del suelo son planosoles y luvisoles, cubiertos por vegetación de caatinga. El Índice de Desertificación Biofísica para este sistema ambiental fue de 3,17, considerado razonable a satisfactorio, exhibiendo características típicas de ambientes de transición, así como una tendencia hacia la inestabilidad. Con base en los resultados de los análisis de los parámetros EUPS para la Depresión de Crateús Sertaneja, cabe destacar que la pendiente no presenta riesgos significativos de erosión; Sin embargo, los demás criterios estudiados presentan valores de potencial medio a alto para procesos erosivos.

Palabras clave: semiarido; procesos morfodinámicos; ecuación universal de pérdida de suelo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Localização da Área de Estudo	18
Figura 2 -	Fluxograma metodológico da Pesquisa.....	20
Figura 3 -	Classes de Declive	37
Figura 4 -	Localização das Áreas Experimentais (AE) no Assentamento Palmares, em Crateús – CE	43
Figura 5 -	Detalhes de espaçamento e profundidade de 0,15 m na Área Experimental I	44
Figura 6 -	Área Experimental II	44
Figura 7 -	Vista geral da Área Experimental III com os pinos de erosão instalados com detalhes de espaçamento e profundidade de 15 cm	45
Figura 8 -	Mapa geológico de Crateús	49
Figura 9 -	Mapa Geomorfológico de Crateús	53
Figura 10 -	Superfície Aplainada, em primeiro plano, e o planalto da Ibiapaba, ao fundo	54
Figura 11 -	Distribuição da precipitação pluviométrica em Crateús	56
Figura 12 -	Mapa da Hidrologia de Superfície	59
Figura 13 -	Mapa de Solos de Crateú	61
Figura 14 -	Aspecto da Caatinga Arbustiva	63
Figura 15 -	Aspecto Carrasco	64
Figura 16 -	Mapa do Índice de Cobertura Vegetal	65
Figura 17 -	Estrada de Ferro e Estação Ferroviária, ao fundo	67
Figura 18 -	Compartimentação Ambiental de Crateús – Ceará	71
Figura 19 -	Planície Fluvial do rio Poti	73
Figura 20 -	<i>Front da Cuesta</i> da Ibiapaba, próximo ao distrito Tucuns	75
Figura 21 -	Pequenos Maciços e Cristas Residuais ao fundo	78
Figura 22 -	Superfície Aplainada, em primeiro plano, e o planalto da Ibiapaba, ao fundo	80
Figura 23 -	Queimada para preparar a terra para o plantio	82
Figura 24 -	Exposição de Rochas Metamórficas (Paragnaisses)	85
Figura 25 -	Relevo suave ondulado com seu uso e ocupação	87
Figura 26 -	Luvissolo na área da pesquisa	90
Figura 27 -	Sulcos de erosão em Luvissolo	90
Figura 28 -	Caatinga Arbustiva	92
Figura 29 -	Erosão em sulco em um Luvissolo exposto	97
Figura 30 -	Mapa de Declividade de Crateús	99

Figura 31 - Áreas não usadas atualmente	101
Figura 32 - Área com cultura de crescimento rápido e pastagem	102
Figura 33 - Solos expostos	102
Figura 34 - Pluviômetro instalado na área de pesquisa	103
Figura 35- Movimentação do solo na AEI.....	106
Figura 36 - Movimentação do Solo na AEII.....	109
Figura 37 - Movimentação do Solo na AEIII.	111

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Índice Biofísicos de Desertificação (IBFD)	39
Tabela 2 - Cronologia das Unidades Litológicas	50
Tabela 3 - Relação Geologia/Geomorfologia	52
Tabela 4 - PIB do município de Crateús, em 2011	68
Tabela 5 - Tipos de Uso e Ocupação das Terras de Crateús	69
Tabela 6 - Índice Biofísico de Desertificação para a Depressão Sertaneja de Crateús	84
Tabela 7 - Balanço Hídrico Normal de Crateús (CE)	88
Tabela 8 - Resultados dos critérios obtidos a partir da aplicação da EUPS	93
Tabela 9 - Série histórica de precipitação pluviométrica (mm) para o município de Crateús, com base nos postos localizados no município	94
Tabela 10 - Fator K	96
Tabela 11 - Valores de Uso e Manejo do solo (CP)	100
Tabela 12 - Precipitações Pluviométricas (mm) Média Anuais dos Postos coletados	130

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Climatograma de Crateús	55
Gráfico 2 - Tipologia do Regime Pluviométrico de Crateús (CE)	57
Gráfico 3 - Balanço Hídrico Normal de Crateús	88
Gráfico 4 - Fator R	95
Gráfico 5 - Precipitação na área de pesquisa a partir do pluviômetro instalado, durante o ano de 2022	103
Gráfico 6 - Erosividade Chuva na área de pesquisa	104

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	METODOLOGIA	20
2.1	Fundamentação Teórico-Metodológica	21
2.2	Materiais e Procedimentos Metodológicos	24
2.2.1	<i>Revisão de Literatura</i>	25
2.2.2	<i>Pesquisa de Campo</i>	34
2.2.3	<i>Materiais e Métodos Utilizados</i>	35
3	ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA DEPRESSÃO SERANEJA DE CRATEÚS	47
3.1	Contextualização Geoambiental	47
3.1.1	<i>Características Geológico-Geomorfológicas</i>	48
3.1.2	<i>Condições Hidroclimáticas</i>	54
3.1.3	<i>Aspectos Fitopedológicos</i>	58
3.1.4	<i>Aspectos do Uso da Terra</i>	66
3.2	Compartimentação Geoambiental: paisagens da princesa d'oeste	69
3.2.1	<i>Planícies Fluviais</i>	72
3.2.2	<i>Planalto da Ibiapaba</i>	74
3.2.3	<i>Tabuleiros Interiores</i>	77
3.2.4	<i>Maciços e Cristas Residuais</i>	78
3.2.5	<i>Depressão Sertaneja: os sertões de Crateús</i>	79
4	SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO E EROSÃO DOS SOLOS NA DEPRESSÃO SERTANEJA DE CRATEÚS	84
4.1	Indicadores de Desertificação	84
4.1.1	<i>IBFD 1 – Geologia</i>	85
4.1.2	<i>IBFD 2 – Geomorfologia</i>	86
4.1.3	<i>IBFD 3 – Índice de Aridez</i>	86
4.1.4	<i>IBFD 4 e 5 – Solo</i>	89
4.1.5	<i>IBFD 6 - Cobertura Vegetal</i>	91
4.2	Potencial de Erosão	92
4.2.1	<i>Erosividade da Chuva (R)</i>	93
4.2.2	<i>Erodibilidade do Solo (K)</i>	96
4.2.3	<i>Topografia (LS)</i>	98
4.2.4	<i>Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)</i>	100

4.3	Pinos de Erosão	102
4.3.1	<i>Área Experimental I</i>	105
4.3.2	<i>Área Experimental II</i>	107
4.3.3	<i>Área Experimental III</i>	110
5	CONCLUSÕES	115
	REFERÊNCIAS	117
	APÊNDICE A – DADOS PLUVIOMÉTRICOS POSTO FUNCEME ...	130
	APÊNDICE B – DADOS PLUVIOMÉTRICOS POSTO ADJACENTE AE II, III e IV	131
	ANEXO A – MAPA DE SOLO DE CRATEÚS	133

1 INTRODUÇÃO

A Terra está sujeita às pressões humanas que alteram, degradam, desalojam e fragmentam, significativamente, os ecossistemas terrestres, resultando frequentemente em paisagens biologicamente empobrecidas. Sabe-se, que a sociedade precisa dos elementos naturais para viver, o ar para respirar, a água para beber, os solos para cultivar e construir. Contudo, o que se observa é a utilização de forma predatória desses elementos, sem pensar na sua finitude. Dentre as transformações mais graves, consta a transformação de áreas florestadas em áreas desmatadas para os mais diversos tipos de usos pela sociedade.

A modificação da cobertura vegetal constitui-se no principal vetor de degradação ambiental, pois desencadeia uma série de processos que afetam tanto os ecossistemas naturais quanto as dinâmicas socioeconômicas. Quando a vegetação nativa é removida ou substituída por usos antrópicos, como a agropecuária, a urbanização ou a exploração mineral, há um rompimento no equilíbrio ecológico estabelecido ao longo do tempo. A cobertura vegetal exerce papel fundamental na proteção dos solos contra erosão, na regulação do ciclo hidrológico, na manutenção da biodiversidade e na mitigação das mudanças climáticas por meio da captura de carbono.

Aproximadamente, cerca de 40% das áreas agrícolas foram degradadas nos últimos cinquenta anos pela erosão, salinização, compactação, perda de nutrientes, degradação biológica ou poluição química (HEYWOOD; WATSON, 1995; VITOUSEK, *et al.*, 1997). Em áreas secas, mais de 50% do solo foi convertido em áreas agrícolas, nos últimos noventa anos (HOUGHTON, 1994) e cerca de 70%, das áreas secas usadas na agricultura foram degradadas. Além disso, estas terras são caracterizadas por possuir comunidades com pobreza crônica (HARE, *et al.*, 1992).

A Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (CNUCD) estabeleceu como metas a prevenção e o combate à degradação da terra e suas consequências nos países afetados pela seca grave e/ou desertificação. Pode-se citar como exemplo a Meta 13 dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), que se refere a ação contra a mudança climática visando a atuação na redução e no alerta deste impacto.

No Brasil, a região Nordeste é a que, comumente, sofre com esta problemática. Com base na nova definição dos limites do Semiárido Brasileiro -

também conhecido como sertão - esta região corresponde a uma área aproximada de 969.589 km², sendo composta por 1.427 municípios, com uma população de cerca 21 milhões de pessoas (SUDENE, 2022), tornando-o uma região bastante povoada. Araújo Filho (2013) afirma que em extensas áreas dos sertões, os solos já estão sendo atingidos pela erosão, pois a erosão laminar ou erosão em lençol está se tornando visível em diversas áreas.

Tal problemática ambiental em extensas áreas das regiões áridas e semiáridas, decorrente do uso indevido do solo, tem acarretado sérios impactos relacionados à erosão, como à perda da biodiversidade e da capacidade produtiva dos solos (LEPSCH, 2011). O avanço da degradação ambiental tem gerado o fenômeno da desertificação.

No Ceará, foram estabelecidas 03 áreas/núcleos susceptíveis à desertificação (ADS): Núcleo de Irauçuba/Centro-Norte, formado pelos municípios de Sobral, Miraíma, Itapajé, Santa Quitéria e Canindé; Núcleo dos Inhamuns, constituído pelos municípios de Independência, Tauá e Arneiroz; e Núcleo do Médio Jaguaribe, englobando os municípios de Morada Nova, Alto Santo, Jaguaratama, Jaguaruana e Jaguaribe, pois muitos deles apresentam tendência à ampliação dos processos de desertificação (CEARÁ, 2010).

Para Soares, Mota Filho e Nóbrega (2011), a desertificação tem relação direta com o manejo inadequado dos recursos naturais nas zonas áridas. Isto é, as intervenções humanas feitas sem o devido cuidado de conservação do solo agravam os problemas ambientais, como a erosão do solo.

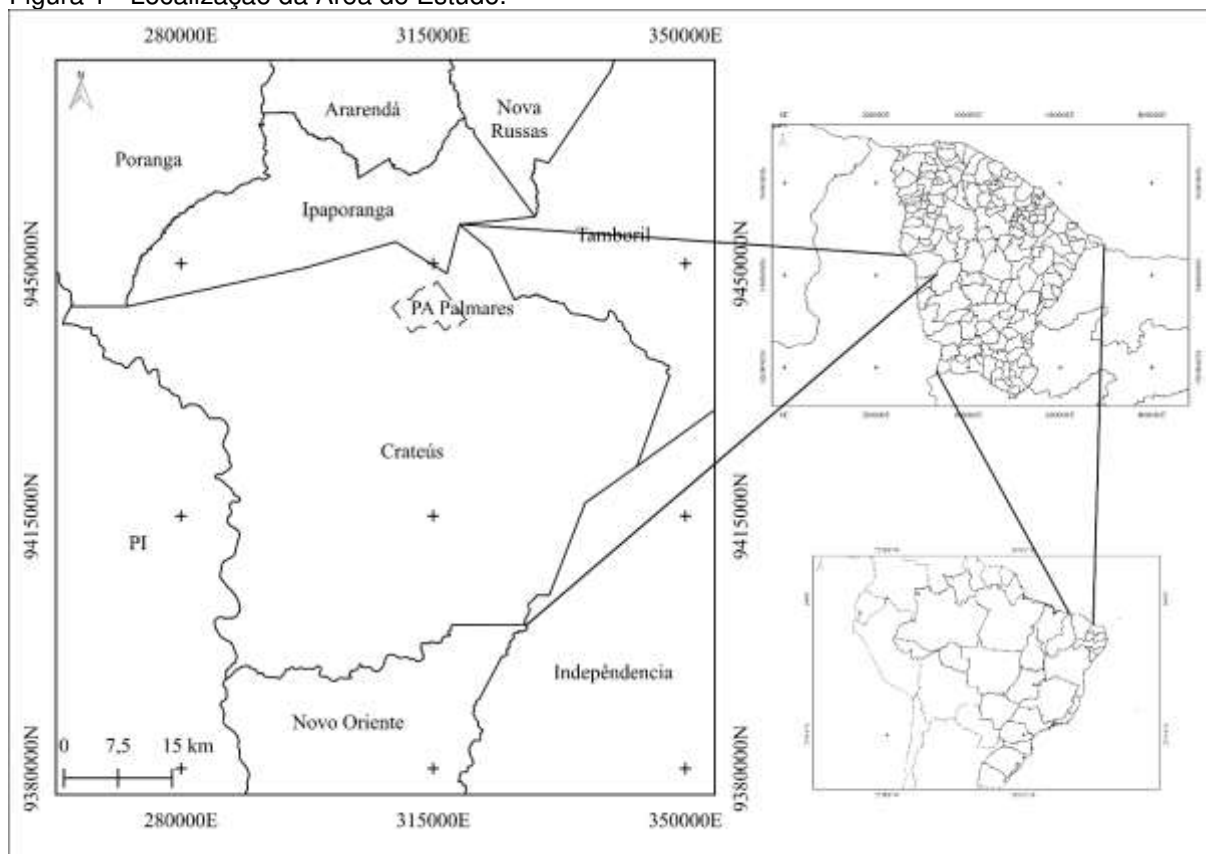
Dentro desse contexto, a pesquisa apresenta esta problemática como marco fundamental. Muita terra é perdida devido aos processos erosivos em função do uso inadequado dos solos, na depressão sertaneja de Crateús, objeto de estudo (Figura 01). Buscando uma delimitação para a pesquisa alguns questionamentos norteadores são levantados: Como se dá o mecanismo de avanço da desertificação na depressão sertaneja no município de Crateús? Qual o impacto da erosão do solo em diferentes tipos de manejo de solo?

São questões que necessitam do entendimento mais aprofundado do fenômeno da desertificação na região de Crateús. Além disso, enfatiza-se que será possível conhecer melhor a dinâmica ambiental, através do estudo dos processos erosivos dos solos e, por conseguinte, propor a adoção de práticas de conservação desses solos.

Dentro deste contexto, traça-se a seguinte hipótese: a depressão sertaneja de Crateús está submetida aos processos erosivos que causam desertificação, e que a erosão do solo vem sendo fator determinante na ampliação desse fenômeno.

Deste modo, tem-se como objetivo geral analisar a suscetibilidade a desertificação na depressão sertaneja do município (Figura 1) de Crateús (Ceará-Brasil), e como propósito complementar realizar a análise geoambiental de Crateús, visando a delimitação da depressão sertaneja; analisar a dinâmica ambiental e o estado de evolução da depressão sertaneja e reconhecer sua suscetibilidade à desertificação por meio de indicadores biofísicos e de parâmetro que influenciam nos processos de erosão.

Figura 1 - Localização da Área de Estudo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A Tese está estruturada na seguinte sistemática: conhecimento do objeto estudado, por meio da análise das partes que compõem o sistema ambiental, ou seja, a contextualização ambiental e o diagnóstico ambiental dos sertões/depressão sertaneja (Capítulo 03) e a análise da desertificação com base em indicadores

biofísicos da desertificação e análise dos parâmetros de métodos (in)diretos para estimar perdas de solo (Capítulo 04).

Do ponto de vista científico, o estudo torna-se relevante pois contribui para a compreensão da dinâmica ambiental regional, articulando indicadores biofísicos e parâmetros de análise de erosão do solo que podem ser replicados em outras áreas do Semiárido. A utilização de métodos permite não apenas identificar o estágio atual da degradação, mas também oferecer subsídios técnicos para políticas públicas voltadas à conservação do solo e ao manejo sustentável dos recursos naturais.

Portanto, o trabalho justifica-se por sua contribuição ao aprofundamento do debate acadêmico, à formulação de medidas de gestão ambiental e ao fortalecimento da consciência sobre a necessidade urgente de práticas conservacionistas no Semiárido, em especial na depressão sertaneja de Crateús.

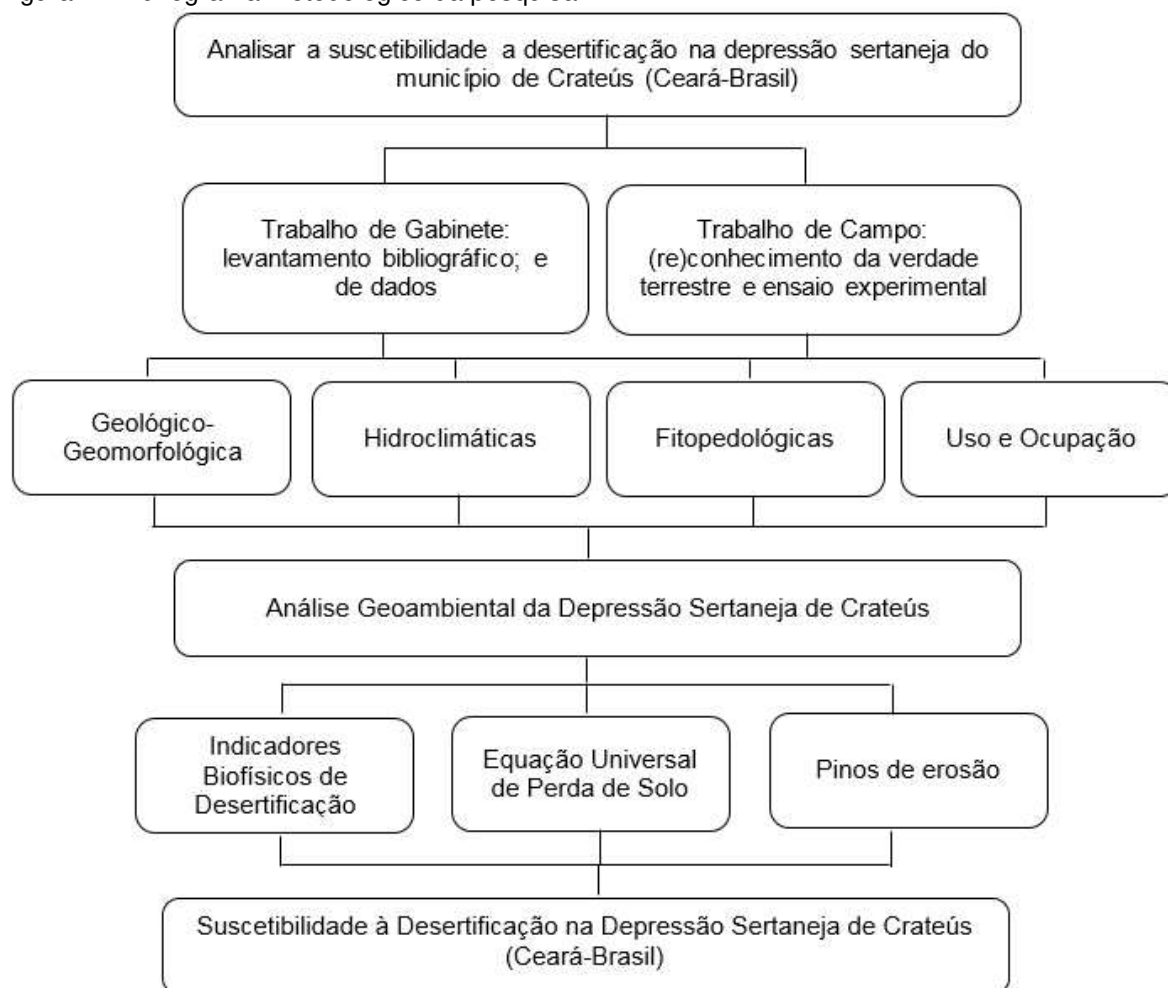
Certamente não é pretendido, aqui, esgotar o tema, que apresenta outros referenciais importantes com outras possibilidades de abordagem. O ensaio tem a pretensão de contribuir com as discussões levantadas, entendendo que nenhum pensamento é definitivo e que sua adoção incondicional significa uma falta de crítica, sendo que a crítica alimenta uma pesquisa notadamente reflexiva.

O presente trabalho foi realizado com apoio financeiro para manutenção da bolsa de auxílio, através dos projetos CAPES PGPSE Proc.88887.123947/2016-00: Sistemas Ambientais costeiros e ocupação econômica do Nordeste; CAPES PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change; e Programa CAPES/FUNCAP Proc. 88887.165948/2018-00: Apoio às Estratégias de Cooperação Científica do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFC.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa trata-se de natureza exploratória/explicativa, pois implica em proporcionar maior familiaridade com o problema estudado, tornando-o mais explícito. A forma escolhida de abordagem para realizar a pesquisa está dividida em duas fases: a primeira tem caráter qualitativo, descritivo, onde analisa as informações que não serão quantificadas (MARCONI, LAKATOS, 2003); uma outra, de caráter quantitativo, onde serão coletadas informações para a compreender a dinâmica da erosão dos solos. Vale salientar, que as duas fases da pesquisa em alguns momentos acontecem concomitantemente e acredita-se que o emprego dessas duas abordagens tende a apresentar resultados mais consistentes. Para fins de compreensão, a Figura 2 apresenta o fluxograma metodológico da pesquisa.

Figura 2 - Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A metodologia deve constituir uma preocupação que deve dispensar empenho na pesquisa. Entende-se como metodologia a lógica do procedimento científico, que tem caráter normativo e que possui claramente teoria, instrumentos e procedimentos usados numa investigação científica. Este termo refere-se ao emprego do conjunto de métodos, procedimentos e técnicas que a ciência põe em ação para alcançar os objetivos da pesquisa. Conforme Matias-Pereira (2012) remete a lógica dos procedimentos científicos e não se reduz, portanto, somente a metrologia¹ ou tecnologia da medida dos fatos científicos.

Com o intuito de esclarecer os passos da pesquisa, a seguir, será exposto o método, o referencial teórico, as técnicas e procedimentos operacionais, relacionando-os com os materiais a serem adotados. O Quadro 01 mostra a Matriz Metodológica (TELLES, 2001), isto é, a inter-relação entre os objetivos e os aspectos metodológicos, apresentando uma visão global da pesquisa e sua operação.

2.1 Fundamentação Teórico-Metodológica

O homem enquanto ser racional é capaz de pensar e refletir sobre problemas da realidade que pedem soluções. Do ponto de vista antropológico, segundo Minayo (2011), o homem sempre buscou o conhecimento da realidade. Essa realidade pode ser entendida por várias maneiras, como por exemplo, pelo conhecimento religioso, pelo conhecimento artístico ou pelo conhecimento empírico. Entretanto, tais formas de conhecimento não satisfazem alguns espíritos mais críticos e curiosos, pois não possibilitam sua adequada verificação.

O desenvolvimento da ciência veio preencher esta lacuna. Marconi e Lakatos (2003, p. 80) afirmam que a ciência é a “sistematização de conhecimentos, um conjunto de proposições logicamente correlacionadas sobre o comportamento de certos fenômenos que se deseja estudar”, para obter resultados que sejam submetidos à verificação. Desta maneira, o conhecimento científico se propõe a investigar e formular, mediante linguagem rigorosa e apropriada, leis, conceitos e teorias que regem os fenômenos.

¹Engloba todos os aspectos teóricos e práticos da medição, qualquer que seja a incerteza de medição e o campo de aplicação.

Quadro 01 - Matriz metodológica.

Objetivo Geral	Objetivos Específicos	Temas	Questionamentos	Hipótese	Operacionalização
Analisar a suscetibilidade e a desertificação na depressão sertaneja do município de Crateús (Ceará-Brasi	Realizar a análise geoambiental do município de Crateús, visando a delimitação da depressão sertaneja; analisar a dinâmica ambiental;	Análise Ambiental	Quais os sistemas ambientais de Crateús? Quais os limites da depressão Sertaneja de Crateús?	A depressão sertaneja de Crateús está submetida aos processos erosivos que causam desertificação, e que a erosão do solo vem sendo fator determinante na ampliação desse fenômeno.	Análise Ambiental (SOUZA, 2000, 2007; SOUZA, OLIVEIRA, GRANJEIRO, 2002; SOUZA, <i>et al.</i> , 2009; SOUZA, OLIVEIRA, 2011)
	Reconhecer sua suscetibilidade e à desertificação por meio de indicadores biofísicos	Desertificação	Esta depressão sertaneja sofre com efeitos dos processos da desertificação?		Indicadores de Biofísicos de Desertificação (ABRAHAM, SALOMÓN, 2006; OLIVEIRA, 2011; OLIVEIRA, SEMEDO, OLIVEIRA, 2014; SOUSA 2016; SILVA, 2018)
	Compreender o comportamento da erosão dos solos	Erosão dos Solos	A depressão sofre com a erosão laminar? Como ocorre em diferentes tipos de manejo?		Equação Universal de Perda de Solos (GUERRA, 1996; 2005; ARAÚJO, 2003; SALES, 2015; KEARNEY, <i>et al.</i> , 2018; RABELO, ARAÚJO, 2019; SIMPLÍCIO, <i>et al.</i> , 2021).

Fonte: Telles (2001), com adaptações.

A ciência moderna, com origem no início do século XVII, distingue-se de outros tipos de conhecimentos devido à formulação do método científico (BUNGE, 2004). O método está no centro da construção e da organização do conhecimento científico e assim a escolha do método, para a condução da pesquisa, apresenta-se essencial na elaboração de um trabalho. Pizzolatti e Rocha (2004) salientam que o trabalho científico sem clareza no método tem, por vez, poucas chances de superar os questionamentos iniciais e exigem maiores cuidados que impeçam o desvirtuamento da pesquisa.

Diversos autores discutiram o método científico (MARCONI, LAKATOS, 2003; BUNGE, 2004; PIZZOLATTI, ROCHA, 2004; SPOSITO, 2004; SEVERINO, 2007; GIL, 2008; MATIAS-PEREIRA, 2012; SOUZA, PEREIRA, 2017; COSTA,

SCARLATO, 2019; BENITEZ, 2020). Sousa (2013) utiliza uma metáfora bastante compreensível para elucidar o que é método: se precisamos construir um edifício, os conceitos são os tijolos, a teoria são os tijolos junto com a argamassa e o método a maneira de “assentar os tijolos”, isto é, a sequência de operações realizadas pelo intelecto para atingir certo resultado, neste caso construir as paredes. Refere-se ao trajeto intelectual, ao modo sistemático, ordenado de pensar e investigar, passível de ser repetido e verificado.

Não existe um único método científico, um método universal e aplicável a todos os ramos do conhecimento. Sabe-se que os tipos de objeto das ciências não são os mesmos e, assim, exige uma diversidade de métodos. Existem outros, como sugere Matias-Pereira (2012), entretanto, as principais bases lógicas à investigação são: método indutivo, método dedutivo, método dialético e método fenomenológico. Esclarece-se que, não nos preocupemos com a definição dos referidos termos, pois o método escolhido para realização deste trabalho foi o estruturalismo.

Para Garvin (1964 *apud* CÂMARA JUNIOR, 1967) o estruturalismo não é método, nem teoria, é uma posição científica geral para todos os campos do conhecimento. Contudo, discordando do autor, a teoria científica busca entender o mundo das experiências observadas e sensoriais, ou seja, buscam explicar como o mundo natural funciona, sendo “elenco unificado de princípios, conhecimentos e métodos aplicados para explicar o comportamento de algum conjunto específico de fenômenos empírico” (MATIAS-PEREIRA, 2012, p.33). Já o método, refere-se ao instrumento intelectual que possibilita a apreensão da realidade, que também possui elementos como conceitos, leis, teorias e categorias (SPOSITO, 2004).

O estruturalismo possui uma teoria para o processo de investigação, bem como a definição de conceitos que explicam e sintetizam os conhecimentos, formando um quadro de referência e sugerindo normas de procedimento científico e metodologia apropriada para a investigação. O roteiro de investigação deste método parte da averiguação de um fenômeno concreto, elevando-se ao nível do abstrato, por intermédio da constituição de um modelo que represente o objeto de estudo, retornando pôr fim ao concreto, dessa vez como uma realidade estruturada (MARCONI, LAKATOS, 2003).

O método estruturalista aparece na epistemologia para designar a corrente de pensamento que recorrem à noção de estrutura, isto é, conjunto de relações entre os elementos de um todo para explicar a realidade. Neste método, o fato isolado

possui significado, entretanto, o fato é estudado em si e em relação com o conjunto (estrutura), exigindo um estudo das conexões essenciais da estrutura, descrevendo uma rede de relações. Essas redes de relações, por sua vez, constituem os sistemas, onde o todo e as partes são interdependentes, de tal forma que as modificações que ocorrem num dos elementos constituintes implica na modificação de cada um dos outros e do próprio conjunto (GIL, 2008).

Influenciado pelo método estruturalista, Bertalanffy formulou a Teoria Geral dos Sistemas (TGS) na década de 1930. Entende-se que a ideia de sistema não é recente², tinha precursores e promotores simultâneos, porém, o referido autor delineou a teoria do sistema como dinâmico e deu descrições das propriedades do sistema. Assim, para entender um todo organizado (totalidade), precisamos conhecer as partes e as relações entre ele, definindo sistema como “*set of elements standing in interrelation among themselves*” (BERTALANFFY, 1972, p.417).

O conceito de sistema foi incorporado a Geografia, sobretudo com a Geografia Física, que busca compreender a inter-relação dos componentes bióticos (vegetais e animais) e abióticos (clima, relevo, etc.) do planeta e suas influências na caracterização dos diferentes espaços geográficos, ou seja, a compreensão do quadro físico, natural ou alterado pelo homem (MENDONCA, 2014). Trabalhado por geógrafos, tanto da extinta União Soviética quanto franceses, a TGS e o conceito de sistemas influenciaram para a formulação do conceito de geossistema, possibilitando os estudos integrados da natureza. Como positivo, trouxe uma abordagem metodológica possibilitando uma prática análise ambiental (NASCIMENTO, SAMPAIO, 2005), caracterizando os processos dinâmicos de troca de fluxos de matéria e energia entre as partes de um todo indissociável.

2.2 Materiais e Procedimentos Metodológicos

Os procedimentos metodológicos referem-se à maneira pela qual trabalhamos na elaboração da pesquisa. Para Galliano (1979), são técnicas que remetem ao modo de fazer de forma mais hábil, mas seguro, mais perfeita algum tipo de atividade, arte ou ofício. Desta forma, neste trabalho utiliza-se como procedimentos técnicos: revisão bibliográfica, trabalhos de campo e pesquisa de laboratório.

²No contexto da filosofia europeia, Aristóteles já discutia o termo sistemas: “o todo é mais que a soma das partes” (BERTALANFFY, 1972).

2.2.1 Revisão de Literatura

O primeiro passo foi à pesquisa bibliográfica, ou seja, recolher, selecionar, e interpretar as principais contribuições teóricas já existentes, como teses, dissertações e artigos científicos nas mais diversas plataformas de comunicação (bibliotecas físicas e virtuais). Segundo Gil (2008), a pesquisa bibliográfica remete a busca por materiais já publicados, sendo um dos elementos mais importantes da construção da pesquisa acadêmica, pois permite que o pesquisador conheça melhor o objeto estudado.

A revisão de literatura acerca do assunto abordado auxilia na fundamentação teórica, referendando-se em trabalhos anteriores que já trataram o tema pesquisado, possibilitando que se trabalhe, coerentemente, com o conjunto de teorias e conceitos elencados. Permite-se assim, que haja uma evolução no assunto estudado (MATIAS-PEREIRA, 2012). Com o intuito de estabelecer as bases teóricas para servirem de diretrizes para o estudo definiu-se temas principais para elucidar o desenvolvimento da pesquisa, sendo eles: análise ambiental, desertificação, erosão dos solos.

2.2.1.1 Análise Geoambiental

A análise geoambiental é uma ferramenta essencial para compreender a dinâmica dos sistemas ambientais e suas relações com as atividades humanas. Ela parte de uma abordagem sistêmica, considerando os componentes naturais do ambiente e sua hierarquização a fim de identificar áreas mais propensas ou não para ocupação, contribuindo assim para o zoneamento ambiental e o planejamento territorial.

A análise ambiental possui algumas outras denominações - análise ambiental integrada, análise geossistêmica, análise geoambiental ou análise de sistemas ambientais, todas possuindo o geossistema como unidade conceitual/estrutural de suas análises. Aqui, utiliza-se como sinônimo os termos geossistema e sistemas ambientais, de modo que ambos os termos remetem a recortes ou arranjos espaciais que têm similitude de condições geológicas, geomorfológicas, climáticas, hidrológicas, pedológicas, fitoecológicas.

As concepções de geossistemas influenciaram diversos geógrafos, que avançaram na discussão do conceito. Segundo Bertrand (2004) o geossistema resulta da combinação de fatores do potencial ecológico, da exploração biológica e das intervenções antrópicas. Para Sotchava (1977), geossistema remete a uma unidade dinâmica, com uma hierarquia e organização geográfica a ela inerente. Esta unidade dinâmica manifesta-se no espaço físico-territorial, possibilitando a distribuição (organização geográfica) dos seus componentes que asseguram sua integridade funcional, engendrando uma conotação espacial e caráter geográfico ao conceito.

No Brasil, o pensamento geográfico pautado no estudo do geossistema encontrou bastante aceitação em pesquisas científicas - Carlos Augusto Figueiredo Monteiro em Geossistemas (2000), Mateo Rodriguez, Edson Vicente da Silva e Agostinho Cavalcanti com a Geoecologia das Paisagens (2007) e Jurandyr Ross em Ecogeografia (2009); entre outros autores. Dentre os diversos princípios teóricos e metodológicos, optou-se por trabalhar com a Análise Ambiental que tem como base a adoção da concepção geossistêmica, (SOUZA, 2000, 2007; SOUZA, OLIVEIRA, GRANJEIRO, 2002; SOUZA, *et al.*, 2009; SOUZA, OLIVEIRA, 2011, OLIVEIRA NETO, 2016).

O geossistema é um sistema geográfico natural ligado a um território, que deriva das relações mútuas entre os componentes do potencial ecológico, da exploração biológica e destes com a ação humana (SOUZA, OLIVEIRA, 2011). Corroborando com Claudino-Sales (2004), o geossistema implica conceitualmente a relação sociedade e natureza. Souza e Oliveira (2011) salientam que este conceito enfatiza as inter-relações geográfico-espaciais, ou seja, analisa com enfoque interativo as inter-relações e a distribuição dos componentes do potencial natural e da exploração biológica, além da ação antrópica que produzem o espaço geográfico e a paisagem.

Para Santos e Souza (2014), a análise geoambiental parte da concepção dos geossistemas, que considera a organização e inter-relação dos diversos componentes do ambiente. A abordagem geossistêmica permite compreender a dinâmica e a organização do ambiente natural e suas alterações causadas por atividades humanas, promovendo uma visão integrada e sistêmica do território. Assim, o conceito de geossistema é fundamental para indicar áreas propícias ou não para diferentes usos e ocupações, contribuindo para o planejamento de áreas urbanas e rurais.

Ao estudar os geossistemas faz-se necessário compreender a estrutura e o arranjo espacial dos elementos que o compõem e seus processos, analisando as inter-relações e a distribuição dos componentes do potencial natural, da exploração biológica e da ação humana. Desta maneira, são realizados estudos setoriais para conhecimento da ordem geológica, geomorfológica, climatológica, hidrológica, pedológica, fitoecológica e uso e ocupação. De posse dessas informações, é possível ter a percepção de conjunto, ou seja, os mecanismos que integram harmonicamente a natureza, considerando a sua complexidade e heterogeneidade. Tais estudos são fundamentais para o entendimento síntese dos sistemas ambientais, ou seja, de sua estrutura.

Souza e Oliveira (2011) ressaltam a importância dos levantamentos temáticos para reconhecer esta realidade, pois, nestes estudos setoriais busca-se identificar e interpretar os diversos componentes geoambientais. Entretanto, salientam que estudos disciplinares conduzem ao reconhecimento da realidade ambiental, mas não permitem apreender o ambiente e avaliar os recursos naturais de um território na sua integralidade.

Sousa e Nascimento (2015) destacam que na análise ambiental conduzida de forma integrada, deve-se contemplar as inter-relações entre os componentes naturais e socioeconômicos que estruturam os geossistemas. Essa etapa permite identificar tanto as potencialidades de uso quanto as limitações impostas pelos recursos naturais, servindo como base para um planejamento ambiental sustentável. Posteriormente, é elaborado um diagnóstico das causas e consequências da degradação, no qual são avaliados os impactos ambientais e socioeconômicos mais relevantes, como erosão, poluição dos recursos hídricos, desmatamento e processos de desertificação. Essa análise possibilita compreender a origem dos problemas e suas implicações para o equilíbrio ambiental e para a qualidade de vida da população.

Na análise ambiental integrada, busca-se o caráter analítico e integrativo da inter-relações entre tais elementos e as suas dinâmicas (SOUZA; OLIVEIRA, GRANJEIRO, 2002). A análise ambiental integra dados analíticos obtidos e tem finalidade prática de servir como instrumento técnico de manejo dos recursos naturais, visando à proteção dos sistemas ambientais (SOUZA, OLIVEIRA, 2011). Afirmam estes autores que os pressupostos metodológicos para análise ambiental pautados no geossistema revelam de forma sintética as relações mútuas entre os componentes geoambientais.

Outro conceito bastante utilizado na análise ambiental é ecodinâmica. Para Tricart (1977), a base da ecodinâmica estabelece a relação entre a morfogênese e pedogênese com intuito de determinar o grau de instabilidade da paisagem. Assim, analisando os componentes morfogenético e pedogenético, podem-se estabelecer meios - meios estáveis, meios de transição, meios fortemente instáveis - que variam em função da ação preponderante de morfogênese ou pedogênese. Aguiar; *et al.* (2022) destacam que na avaliação ecodinâmica, a ação humana é considerada um dos fatores que influenciam a dinâmica do ambiente.

Especificamente, é reconhecida como uma influência que pode aumentar a instabilidade dos sistemas ambientais, especialmente em áreas de ocupação urbana e atividades humanas, como construção de moradias, agricultura e exploração de recursos naturais. Essas ações humanas contribuem para o processo de degradação da vegetação, alteração na morfologia e aumento da morfodinâmica, levando a configurações ambientais mais instáveis ou em processo de mudança. A classificação dos ambientes leva em conta o grau de influência humana e sua capacidade de alterar os processos naturais, o que é fundamental para a conservação dos sistemas ambientais.

2.2.1.2 Desertificação

O despertar para o fenômeno da desertificação não é recente. Dregne (1987 *apud* NASCIMENTO, 2013) já destacava a desertificação como um problema antigo para as populações situadas em regiões secas no mundo. Hare *et al.* (1992) salienta que esse fenômeno já assolou civilizações desde os tempos históricos mais remotos. Entretanto, a compreensão de que a desertificação está se intensificando, chamou a atenção global, sensibilizados principalmente com as grandes secas ocorridas na região saheliana, durante o século XX. A rigor, o termo desertificação foi referido na primeira metade do século XX, sendo usado para caracterizar áreas degradadas, devido ao mau uso dos recursos naturais (MATALLO JÚNIOR, 2009; SOARES, MOTA FILHO, NÓBREGA, 2011; RÊGO, 2012).

Desde o surgimento do termo, o conceito de desertificação apresentou uma pluralidade conceitual, gerando certa confusão em torno de seu conceito, de suas características e de suas causas. Entretanto, há um marco conceitual, a definição oficial difundida pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação e

Mitigação dos Efeitos da Seca, onde desertificação é “a degradação da terra³ nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, resultantes de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas” (BRASIL, 2007, p. 07). Esta definição trouxe avanços no conceito, devido à operacionalização para distinguir deserto, seca e desertificação.

Embora tenham a mesma raiz etimológica, deserto e desertificação têm significados diferentes. Os desertos são grandes espaços geográficos caracterizados pela pequena e irregular precipitação de chuvas, pela vegetação ausente ou escassa e pela oscilação térmica acentuada, podendo ser frio, temperado ou quente, formando uma faixa no hemisfério norte e, outra, no hemisfério sul (IBGE, 2004; GUERRA, GUERRA, 2008). O deserto é um fenômeno acabado, independente da ação humana, e resultante da evolução de processos que alcançaram certa estabilidade final, ou seja, o clímax ecológico de equilíbrio homeostático natural⁴. Enquanto, desertificação indica um fenômeno de transformação dinâmica cuja evolução ambiental aponta para direção do deserto, não significando que necessariamente atingirá este estágio final de maneira natural (NIMER, 1988).

A substantivação do termo deserto, desertificação, surge como ação de tornar desertos, isto é, um processo que pressupõe dinamismo. Aqui, entende-se desertificação como degradação ambiental⁵ em áreas áridas, semiáridas e subúmidas secas, fruto das variações climáticas e das atividades humanas e suas formas de uso e ocupação, resultando em áreas onde a produtividade agrícola é extremamente limitada, podendo resultar na formação de desertos (AB’SABER, 1977; NIMER, 1988; HARE, *et al.*, 1992; WARREN, MAIZELS, 1992; CONTI, 1995, 2008; RONGON, 1998; SCHENKEL, MATALLO JUNIOR, 2003; IBGE, 2004; NASCIMENTO, 2013; MATALLO JUNIOR, 2009; OLIVEIRA, 2006; BRASIL, 2007; GUERRA, GUERRA, 2008; REGO,

³ Por terra entende-se todo o sistema bioproductivo terrestre que compreende o solo, a vegetação e outros componentes da biota, bem como os processos ecológicos e hidrológicos que se desenvolvem dentro do sistema (BRASIL, 2007), ou seja, o geossistema ou sistema ambiental.

⁴ Para este fenômeno, Rubio (1995 apud NASCIMENTO, 2013) sugere o termo desertização, de uso exclusivo, para designar processos naturais de formação de desertos. Portanto, o conceito de desertificação é utilizado de maneira erroneamente para se referir à expansão dos desertos.

⁵ Entende-se por degradação ambiental qualquer alteração que resulte em perdas das características naturais do meio ambiente/sistema ambiental, decorrente da ação humana, entendendo o meio ambiente como o conjunto de leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas (BRASIL, 1981b; CUNHA, GUERRA, 1996; ARAÚJO, ALMEIDA, GUERRA, 2010; ALMEIDA, SOUZA, 2013; OLIVEIRA NETO, 2016).

2012). Deserto como lugares sem vida, de vazio ou ausência de homens, de precipitação pluviométrica escassa e irregular, de vegetação reduzida e esparsa.

A seca é um fenômeno que ocorre naturalmente quando a precipitação registrada é significativamente inferior aos valores normais, provocando um sério desequilíbrio hídrico que afeta negativamente os sistemas e produção dependentes dos recursos da terra (BRASIL 2007). Rêgo (2012) define seca como o déficit de chuva que afeta uma grande área por uma ou várias estações ou ano. Para Vasconcelos Sobrinho (1998 *apud* RÊGO, 2012), a seca é fenômeno periódico, climático, o homem não podendo interferir em suas causas e nem no seu surgimento, restringindo-se a minimizar seus efeitos ou a agravá-los.

A desertificação supõe fenômeno permanente, que brota pela ação do homem, estando frequentemente associado a períodos secos bastantes longos, às vezes, da ordem de décadas. Warren e Maizels (1992) fazem uma distinção entre os efeitos da seca e da desertificação: se os danos forem devidos a seca, bastarão paleativos a curto prazo, mesmo que seja repetido algumas vezes; constatando-se baixas continuas da produtividade, impõe-se estratégias a longo prazo.

A desertificação é um problema complexo, pois provém da interação entre um ambiente de terras secas e o respectivo uso e ocupação pelo homem. Sabe-se que ocorre quando o homem penetra num ambiente sem a compreensão das potencialidades e limitações ambientais, sendo, simultaneamente, agente e vítima da desertificação (HARE, *et al.*, 1992; REGO, 2012). Neste contexto, existem inúmeras tentativas de avaliar ou diagnosticar a desertificação, seja por meio de indicadores ou pontos de referência, buscando conhecer a dinâmica e o estado de desertificação. Além disso, surge a necessidade de obter uma metodologia de referência, que facilite a remediação e a comparação do fenômeno da desertificação (ABRAHAM, MONTANÃ, TORRES, 2006).

Desse modo, o indicador torna-se uma ferramenta útil para identificar, medir e comparar mudanças ocorridas em uma situação particular ou em um objeto particular para um período de tempo definido (MATALLÓ JÚNIOR, 2009). Mesmo sem haver consenso absoluto sobre a metodologia mais adequada para compreender a desertificação, o uso de indicadores tem sido amplamente adotado como uma ferramenta para identificar fatores e processos que induziram para a desorganização da terra e a instalação da desertificação.

A seleção dos indicadores de desertificação é baseada no diagnóstico ambiental, que busca compreender a condição e a dinâmica dos diferentes componentes do sistema ambiental, como o solo, a vegetação, a água e outros elementos relevantes para a avaliação da desertificação. Os indicadores de desertificação têm o intuito de analisar o comportamento desta problemática socioambiental, classificados segundo os níveis de conservação, e que possibilita a comparação com outras regiões, através de parâmetros biofísicos e socioeconômicos (SOUZA, SOUZA, SOUSA, 2022).

Os Indicadores Biofísicos de Desertificação (IBFD) utilizados nesta pesquisa foram baseados em diversos autores (ABRAHAM, SALOMÓN, 2006; OLIVEIRA, 2011; OLIVEIRA, SEMEDO, OLIVEIRA, 2014; SOUSA 2016; SILVA, 2018) que sistematizam variáveis relacionadas a geologia, geomorfologia, clima, solo e vegetação. Sabe-se das limitações impostas pela metodologia aplicada, contudo, torna-se ferramenta fundamental para avaliar e monitorar o estado e a tendência de desertificação.

Conforme discutido acima, a desertificação é um processo que ocorre em áreas com climas áridos, semiáridos e subúmidos secos, gerado na destruição do potencial produtivo da terra. Estas áreas secas são definidas com base no Índice de Aridez (IA) de Thornthwaite e Mather (1955), que analisam o balanço hídrico do solo. O índice de aridez (IA) de uma região depende da razão entre a quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água por meio da evapotranspiração potencial (ETP). A escala é a seguinte: hiperárido - $< 0,05$; árido - entre 0,05 e 0,20; semiárido - entre 0,21 e 0,50; subúmido seco - entre 0,51 e 0,65; e subúmido e úmido – maior que 0,65 (OLIVEIRA, 2006; BRASIL, 2007; NASCIMENTO, 2013).

Segundo Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998), o balanço hídrico é um sistema de monitoramento local da água no solo, num intervalo de tempo, que considera o balanço de entradas e saídas de água, ou seja, um método climatológico, que utiliza dados de precipitação (P) mensal e a evapotranspiração potencial (ETP) de um determinado sítio. No semiárido cearense, as principais formas de entradas são as precipitações, em forma de chuvas e orvalho, e a principal saída é a evapotranspiração. Por meio do balanço hídrico climatológico, que se refere ao regime hídrico de um determinado local, foi analisada a variabilidade do IA ao longo do ano.

2.2.1.3 Erosão dos Solos

Conforme a concepção de desertificação adotada, este fenômeno tem sido causado pelos sistemas de uso da terra ou por uma combinação de processos, incluindo atividades humanas. Um dos principais processos que contribuem para a desertificação é a erosão do solo causada por vento ou água: A remoção do solo pela ação do vento ou da água, resultando na perda de camadas férteis e na degradação da qualidade do solo. Esses processos contribuem para a degradação da terra e para a desertificação, comprometendo a capacidade do solo de sustentar a vida vegetal e animal, a produtividade agrícola e a saúde dos ecossistemas.

A erosão é um processo natural, que faz parte dos processos geológicos importantes no ciclo das rochas e nos sistemas da Terra. Tal processo⁶ faz parte do jogo de relações existentes nos sistemas ambientais. Esse, diz respeito aos processos morfodinâmicos, que se referem àqueles associados ao intemperismo atual, ou seja, relacionado à escala de tempo histórica. Segundo Ab'saber (1969), estes estudos referem-se ao terceiro nível dos estudos geomorfológicos, ou seja, ao estudo sobre fisiologia da paisagem/sistemas ambientais, compreendendo os processos morfoclimáticos e pedogenéticos atuais, em sua plena atuação.

A inclusão da ação humana, e suas diferentes formas de intervenções, como instrumento de modificação das formas do relevo ampliou o conceito de processos morfodinâmicos, melhorando a capacidade de compreendê-lo quanto à sua dinâmica (CASSETI, 2005). As transformações produzidas nos sistemas ambientais pela intervenção antrópica originam transformações que começam com a subtração da cobertura vegetal, a partir de então ocorrem alterações nas relações na dinâmica natural, expondo o solo aos impactos erosivos do vento e da água (HARE, *et al.*, 1992; CASSETI, 2005). Assim, o processo de apropriação dos sistemas ambientais pelo homem responde pelo desencadeamento de reações que resultam no comportamento do modelado, considerando os efeitos morfodinâmicos convertidos em impactos.

⁶ Existem outros processos que resultam nas diferentes formas de abordagens em Geomorfologia: morfoclimáticos - aqueles de significativa abrangência espacial, com tempo geológico de duração suficiente para elaborar determinados tipos de modelados específicos; e morfogenéticos entende-se a relação entre a modalidade de intemperismo e formas correspondentes, que podem variar tanto no tempo de elaboração como na extensão territorial, provocando maior ou menor associação na relação processo-forma (AB'SABER, 1969; CASSETI, 2005).

Segundo Guerra e Guerra (2008), a erosão refere-se à destruição das saliências ou reentrâncias do relevo. Porém, este conceito é muito restrito, concebendo a erosão apenas ao trabalho destrutivo. Entende-se que erosão é o conjunto de processos que desagregam e transportam solo e rochas (BERTONI, LOMBRADI NETO, 2014; PRESS, *et al.*, 2006). Desse modo, a partir da intervenção humana surge a erosão acelerada ou antropogenética, em geral, ocasionando um desequilíbrio ambiental, como por exemplo, a erosão do solo. Percebe-se que tal como a desertificação, a erosão do solo tem sua raiz, sobretudo, na ocupação do homem.

O solo representa a

coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por **materiais minerais** e **orgânicos** que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém **matéria viva** e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferência antrópicas (SANTOS, *et al.* 2013, p. 32, grifo nosso)

A matéria orgânica e grande parte dos nutrientes encontram-se concentrado nos poucos centímetros da camada superior do solo, sendo as primeiras constituintes do solo a serem carregadas. A erosão, no seu aspecto físico, é simplesmente a realização de uma quantidade de trabalho no desprendimento do material do solo e no seu transporte. Deste modo, a erosão da camada superficial do solo absorvedora de água, resultado do uso incorreto da terra, pode provocar o declínio progressivo da produtividade biológica e o depauperamento da terra (HARE, *et al.*, 1992; BERTONI, LOMBRADI NETO, 2014). Como mencionado anteriormente, a erosão do solo pode ocorrer tanto pela ação do vento como da água. Porém, este é o agente mais importante de erosão, devido ao transporte das partículas do solo.

Conforme afirma Christofolletti (1980), o escoamento de água na superfície terrestre aparece quando a quantidade de água precipitada é maior que a velocidade de infiltração. A erosão causada pela água pode ser das seguintes formas, sendo que as três últimas podem ocorrer ao mesmo tempo no mesmo terreno: por salpicamento, onde o impacto das gotas rompe os agregados do solo, desprendendo e transportando as partículas mais finas; laminar, que remove camadas delgadas da superfície do solo; em sulcos, devido ao escoamento da água concentrado em pontos do terreno mais ou menos profundos; e em voçorocas, sulcos bastante erodidos com

grandes cavidades em extensão e profundidade (BERTONI, LOMBRADI NETO, 2014). Segundo este autor, essa classificação remete, grosso modo, aos estágios correspondentes à progressiva evolução da erosão na superfície do solo.

O movimento do solo pela água ocorre de maneira complexa, pois é influenciado diversos fatores como quantidade, intensidade e duração da chuva, natureza do solo, cobertura vegetal, declividade da superfície do terreno, sendo determinada pela interação ou balanço de vários fatores, favorecendo alguns o movimento do solo e, outros, opondo-se a ele. Os esforços para prever matematicamente este movimento, ou seja, as erosões do solo pela água começaram no século passado. O desenvolvimento da tecnologia de predição de erosão começou com Cook (1936), que buscava identificar variáveis que afetam a erosão do solo pela água; com Zingg (1940), que publicou a primeira equação para o cálculo da perda de solo; com Smith (1941), que adicionou os fatores sistema de cultivo e práticas de apoio à equação; e com Browning, *et al.* (1947), que adicionaram fatores de erodibilidade e manejo do solo também à equação (RENARD, *et al.* 1997).

Assim, em 1954, Wischmeier e Smith desenvolveram a *Universal Soil Loss Equation* (USLE) ou Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). A EUPS quantifica a erosão do solo considerando os seguintes fatores: erosividade das chuvas e do escoamento, erodibilidade do solo, comprimento da encosta, inclinação da encosta, práticas de manejo da cobertura e práticas de conservação (WISCHMEIER, SMITH, 1978). Perceberam que diversos fatores contribuem para o aparecimento dos processos erosivos, direta ou indiretamente, dentre eles a erosividade da chuva, as propriedades do solo, a cobertura vegetal, a característica da encosta e a atividade humana. Após estas primeiras formulações, diversos estudiosos (GUERRA, 2005, 2008; MORGAN, 2005; GUERRA, MENDONÇA, 2011; KEARNEY, *et al.*, 2018; SIMPLÍCIO, *et al.* 2021; LIMA, *et al.* 2022, dentre tantos outros) concentraram seus esforços em conciliar as equações existentes de perda de solo.

2.2.2 Pesquisa de Campo

A pesquisa de campo, isto é, o procedimento sistemático para conhecimento e verificação dos dados coletados. A abordagem sistêmica exige a geração de modelos, que requer a determinação de parâmetros por observação e medida de campo. A modelização é um guia de observação, que nos manda de volta

ao campo para ser ajustado e reproduzir corretamente os fenômenos a seres estudados (TRICART, 2006).

O trabalho de campo é fundamental na aproximação do pesquisador da realidade sobre a qual está se pesquisando. Com base no método utilizado, esta ferramenta de pesquisa permite gerar modelos mais semelhantes à realidade e com representatividade suficiente. Segundo Minayo (2011), o trabalho de campo diz respeito à abrangência, em termos empíricos, do recorte teórico correspondente ao objeto de investigação.

Os trabalhos de campo servem de base para reconhecimento da realidade, caracterizar a área de estudo, interpretar condições geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, pedológicas e de uso e ocupação; fazer diagnóstico ambiental, analisar os indicadores de desertificação, verificar e validar as perdas de solo e as taxas de transporte de sedimentos. É a base de toda a investigação no campo social, imprescindível em qualquer processo de investigação científica (MATIAS-PEREIRA, 2012).

Ao todo foram realizados 10 trabalhos de campo: na primeira etapa da pesquisa, entre maio de 2019 e julho de 2021, com finalidade de reconhecimento da área de pesquisa e verificação das informações, munido de esboços de mapas base/temáticos, auxiliado por aparelho GPS, câmera fotográfica, ficha e caderneta de campo, que teve como objetivo coletar informações dos atributos físicos e reconhecimento das sub-bacias hidrográficas; e a segunda etapa entre novembro de 2021 e janeiro de 2023, para medições e acompanhamento das áreas experimentais que foram instaladas.

2.2.3 Materiais e Métodos Utilizados

As informações espaciais utilizadas para a construção da base cartográfica dos componentes ambientais dos municípios são os seguintes:

- Limites Municipal e Distrital (IBGE, 2020);
- Imagem de radar do satélite LandSat 08, de outubro de 2018, com resolução espacial de 30 metros, utilizando as bandas 4, 5, 6 (USGS, 2020);
- Imagem do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) de 2018, com resolução espacial de 30 metros (USGS, 2018);

- Mapa geológico, geomorfológico, pedológico, vegetacional e de uso e ocupação folha SB.24/25 Jaguaribe/Natal em escala de 1:1.000.000 do projeto RADAMBRASIL (BRASIL, 1981a);
- Mapas do Serviço Geológico Brasileiro (CPRM): Folha Crateús SB.24-V-C-III (COSTA, 2011), Mapa Geológico Folha Independência SB.24-V-D-I (FORGIARINI, BRAGA, 2011) e Mapa Geológico Folha Ipueiras SB.24-V-A-VI (BRAGA, *et al.*, 2013), todos em escala 1:100.000;
- Carta Topográfica Folha SB.24-V-C-III - Crateús em escala 1:100.000 (SUDENE, 1972).
- Mapa exploratório/reconhecimento de solos do Estado do Ceará em escala 1:600.000 (JACOMINE, ALMEIDA, MEDEIROS, 1973);
- Mapeamentos temáticos oriundos de levantamentos governamentais e pesquisa científicas: Ceará (1997); Souza (1988, 2000); Meireles (2007); Souza, *et al.* (2009), Pereira e Silva, 2007, entre outros autores locais.

Na confecção dos mapas a nível da amostragem decidiu-se pela escala de 1:100.000, mas para se enquadrar melhor na tese foram reduzidas para 1:400.000. Optou-se pela utilização do Datum Horizontal SIRGAS 2000, que recentemente, foi outorgado como oficial no Brasil (IBGE, 2005). O sistema de projeção adotado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM), pois o sistema de medida usado, linear em metros, facilita nos trabalhos de campo e em outras etapas da pesquisa, sendo registrado sempre números inteiros.

O Datum Vertical tem como ponto de origem o marégrafo de Imbituba (SC), estável por um longo período de observação que estabelece a altitude zero do Brasil (ROSA, 2004). Quanto aos equipamentos, destacamos o uso de receptores do Sistema de Posicionamento Global (GPS) para checagem de dados e informações, bem como, o uso de softwares Quantum Gis 2.18 Las Palmas, SAGA GIS 4.0 e do aplicativo GeoTracker para android, para extração e tratamento das informações e dados.

No tocante ao estudo geológico foram utilizadas as bases da CPRM (COSTA, 2011; FORGIARINI, BRAGA, 2011; BRAGA, *et al.*, 2013), devido à riqueza necessária de informações disponíveis para elaboração desta etapa. Para o entendimento das feições geomorfológicas buscou-se as bases em Souza (1988) e

Meireles (2007). A criação do Modelo Digital de Elevação (MDE) e da declividade do relevo foi gerada a partir das imagens SRTM e das classes (Figura 3) de Pereira e Lombardi Neto (2004), respectivamente. Com o procedimento, tomou-se a extração das curvas de nível da área do município, para a elaboração do mapa digital que serviu de base para elaboração do mapa de declividade no Software QGIS.

Figura 3 - Classes de Declive.

Declividade (%)	Tipo
0 a 3	Plano
3 a 8	Suave ondulado
8 a 13	Moderadamente ondulado
13 a 20	Ondulado
20 a 45	Forte ondulado
> 45	Montanhoso e escarpado

Fonte: Pereira e Lombardi Neto (2004).

Para caracterização climática da área, foram coletados dados pluviométricos de 2000 a 2019 em 09 postos da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME): Crateús, Ibiapaba, Tucuns e Vila Santo Antônio, em Crateús; Monte Sinai e Recife, em Independência; Emaús, em Novo Oriente; Oliveira, em Tamboril; e Ipaporanga, no município homônimo. Os dados foram analisados preenchendo eventuais falhas de dados pluviométricos por meio do método estatístico de regressão multivariada. A temperatura média foi calculada com base nos dados coletados do posto do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizado em Crateús (CE). O balanço hídrico, com base em Thorntwaite (1955), foi realizado na planilha Excel™, desenvolvida por Rolim Sentelhas e Barbieri (1998), a partir dos dados de precipitação e temperaturas mensais coletados.

A distribuição espacial das precipitações foi realizada no QGIS pelo método de Interpolação do peso pelo Inverso da Distância (IID) ou *Inverse Distance Weighting* (IDW). Para o entendimento do regime pluviométrico, buscou-se os critérios definidos por Galvani, Luchiari (2005). Adotando o range⁷ de 5 a 95%, tem-se 2 anos com os maiores e menores valores denominados *outliers*. Assim, aqueles anos em que o total de precipitações estiver entre os 5% menores serão denominados super secos e aqueles anos que encontrarem seus valores entre os 5% maiores serão denominados

⁷ Os 5% dos menores e os 5% dos maiores valores da série foram considerados *outliers*, ou seja, foram eliminados 02 anos da série, pois 5% de 19 é 0,95, aproximado para 1.

super úmidos. Em seguida, foram determinados os intervalos dos quartis, isto é, conjunto de dados para delimitação dos anos normais, secos e úmidos.

A delimitação das bacias hidrográficas e a extração da rede de drenagem foi desenhada com auxílio do QGIS 2.18, através do algoritmo *R.Watershed* e do *R.Stream.Extract*, a partir do MDE elaborado, respectivamente.

Para identificação dos tipos de solos predominantes na área de estudo, partiu-se do Levantamento Reconhecimento-Exploratório dos Solos do Ceará, realizado por Jacomine, Almeida e Medeiros (1973). Ademais, foram realizadas campanhas de campo e ao longo de percursos, cortes de estradas que cruzem diferentes padrões de drenagem, relevo, geologia e vegetação.

No que tange a vegetação, a distribuição fitogeográfica foi baseada em Fernandes (1990, 2006) e Ceará (1997). Para analisar a cobertura vegetal utilizou-se *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) que foi realizado no utilitário QGIS, por meio da ferramenta *Calculadora Raster* e inserção da fórmula para o cálculo do NDVI (Equação 1). Foi realizada uma verificação em campo para auxiliar quais tipos de cobertura vegetal representavam cada índice configurado nos mapas. Foram usadas imagens do satélite Landsat 08, elegendo como base as classes mapeadas por Melo, Sales, Oliveira (2011), Ribeiro, Albuquerque (2017) e Araújo (2022).

Equação 1 - Fórmula NDVI.

$$\text{NDVI} = (\text{Infra Vermelho} - \text{Vermelho}) / (\text{Infra Vermelho} + \text{Vermelho})$$

Fonte: Melo, Sales, Oliveira (2011).

Para elaboração da compartimentação dos sistemas ambientais utilizou-se a teoria geossistêmica para análise ambiental (SOUZA, 2000, 2007; SOUZA, OLIVEIRA, GRANJEIRO, 2002; SOUZA, *et al.*, 2009; SOUZA, OLIVEIRA, 2011, OLIVEIRA NETO, 2016), e suas bases teórico-metodológicas, possibilitando assim o desenvolvimento da pesquisa. Os sistemas ambientais foram compartimentados segundo critérios geomorfológicos, pois “os limites do relevo e as feições do modelado são mais facilmente identificadas e passíveis de uma delimitação mais rigorosa e precisa” (SOUZA, 2000, p.11), definido em mapeamento e trabalhos de campo para checagem.

Após o diagnóstico geoambiental da Depressão sertaneja, a avaliação ambiental da degradação ambiental/desertificação, foi realizada por meio da seleção de indicadores biofísicos de desertificação (ABRAHAM, SALOMÓN, 2006; OLIVEIRA, 2011; OLIVEIRA, SEMEDO, OLIVEIRA, 2014; SOUSA 2016; SILVA, 2018). Neste estudo, os indicadores selecionados foram: geologia, geomorfologia, índice de aridez, espessura e erodibilidade do solo, estrato e cobertura da vegetação (Tabela1). Cada atributo varia de 1 a 5, onde 1 indica o valor mínimo, que potencializa a desertificação, e 5 é o valor máximo, atuando no sentido de inibir a desertificação.

Tabela 1 - Índice Biofísicos de Desertificação (IBFD).

Indicador - Tema	Parâmetro		Valor
IBFD 1 - Geologia (Litotipos e Permeabilidade)	Cobertura não coesas	Sedimentos inconsolidados	5
	Depósitos sedimentares	Aluviões e Colúvios	4
	Rochas Sedimentares	Arenitos e Conglomerados	3
	Rochas Metamórficas	Metamorfismo baixo a médio	2
	Rochas Ígneas, granitos e granitos migmatizados		1
IBFD 2 - Geomorfologia (Declividade/Topográfico)	Plano	0 - 3%	5
	Suave Ondulado	3 - 8%	4
	Ondulado	8 - 15%	3
	Fortemente Ondulado	15 - 45%	2
	Montanhoso	> 45%	1
IBFD 3 – Índice de Aridez (Balanço Hídrico)	Subúmido e Úmido	Muito baixo	5
	Subúmido seco	Baixo	4
	Sermiárido	Moderado	3
	Árido	Alto	2
	Hiperárido	Muito alto	1
IBFD 4 - Solo (Espessura)	Muito Profundo	> 200 cm	5
	Profundo	100 - 200 cm	4
	Moderadamente Raso	50 - 100 cm	3
	Raso	22 - 50 cm	2
	Muito raso e afloramento rochoso	> 25 cm ou sem solo	1
IBFD 5 - Solo (Erosão)	Baixa susceptibilidade		5
	Erosão em sulcos		4
	Erosão em ravinas	Profundidade < 100 cm	3
	Ravinas/voçorocas	100 - 200 cm	2
	Voçorocas	Profundidade > 200 cm	1
IBFD 6 - Cobertura Vegetal (Estrato Vegetal)	Estrato Arbóreo	> 5 m	5
	Estrato Abóreo médio-alto	3 - 5 m	4

Estrato arbustivo médio	1 - 3 m	3
Estrato arbustivo baixo	0,5 - 1 m	2
Pastos/cultivos/sem vegetação		1

Fonte: Adaptado de Abraham, Salomón (2006); Oliveira (2011); Oliveira, Semedo e Oliveira (2014); Sousa 2016 e Silva (2018).

Os indicadores foram organizados de forma que os maiores valores correspondem às melhores potencialidades para a conservação ambiental. Portanto, de acordo com essa organização, o maior valor do Índice Biofísico de Desertificação (IBFD) indicará um maior estado de conservação. Em outras palavras, quanto menor o valor do IBFD, pior será o estado de conservação do ambiente. No intuito de estabelecer a maior ou menor susceptibilidade à desertificação, o Índice Biofísico de Desertificação (IBFD) foi obtido a partir da média aritmética dos valores atribuídos a cada indicador, estabelecendo o grau de suscetibilidade à desertificação: Muito baixo - > 3,36; Baixo - 3,20 – 3,36; Moderado - 2,80 – 3,19; e Alto - < 2,79 (OLIVEIRA, 2011; OLIVEIRA; SEMEDO; OLIVEIRA, 2014).

Para o entendimento da dinâmica do solo, a pesquisa buscou analisar os parâmetros físicos que influenciam na erosão do solo na depressão sertaneja do município de Crateús, por meio da análise dos critérios estabelecidos por Wischmeier e Smith (1978) para *Universal Soil Loss Equation* – USLE, ou Equação Universal de Perdas de Solo – EUPS (Equação 2).

Equação 2 - EUPS.

$$A = R K L S C P$$

Fonte: Wischmeier e Smith (1978).

Onde A é a perda de solo por erosão; R é o fator de erosividade da chuva ($\text{MJ.mm.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$); K é o fator de erodibilidade do solo ($\text{t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$); L é o fator topográfico, que representa o comprimento do declive do terreno natural (adimensional); S é o fator topográfico, que representa a declividade (adimensional); C é o fator que representa a cobertura vegetal e o uso do solo (adimensional); P é o fator que reflete práticas conservacionistas (adimensional).

O fator Erosividade da Chuva (R) é calculado pela equação do índice de erosão (Equação 3) desenvolvida por Lombardi Neto e Moldenhauer

(1992). Em que R é a média do índice de erosão (MJ.mm/ha.h.ano), p é a precipitação média mensal (milímetros); e P é a precipitação média anual (milímetros).

Equação 3 - Erosividade da Chuva - R.

$$R = 68,730 (p^2/P)^{0,841}$$

Fonte: Lombardi Neto e Moldenhauer (1992).

As médias pluviométricas mensais e anuais foram coletados nas estações meteorológicas da FUNCEME localizadas somente no município de Crateús, anteriormente trabalhadas para compreensão da dinâmica climática de Crateús (Tabela 10). De acordo com o valor encontrado será classificado o fator R, representando a intensidade da erosividade hídrica segundo Sales (2015), Oliveira Junior, *et al.* (2019), em fraca ($R < 2452$), moderada ($2452 < R < 4905$), moderada a forte ($4905 < R < 7357$), forte ($7357 < R < 9810$) e muito forte ($R > 9810$).

O fator Erodibilidade do Solo (K) foi estimado com base nas análises físico-químicas dos perfis das classes de solos em Jacomine, Almeida e Medeiros (1973). Foi utilizado o software ERODIB, desenvolvido pelo Professor Doutor José Gerardo de Oliveira (trabalho/comunicação pessoal), que calcula a erodibilidade utilizando a equação (Equação 4) de Römken, *et al.* (1987 *apud* ARAÚJO, 2003).

Equação 4 - Erodibilidade do Solo - K.

$$K = 7,594 (0,0034 + 0,0405 \exp \left(\left(-\frac{1}{2} \right) \left(\frac{\log(Dg) + 1,659}{0,7101} \right) \right))$$

Fonte: Aquino, Oliveira (2017).

Em que K é a erodibilidade do solo (ton.ha.h/ha.MJ.mm); Log é o logaritmo decimal; e Dg é a média geométrica do diâmetro das partículas primárias (milímetros), calculada de acordo com Shirazi & Boersma (1984). Com base no valor encontrado será qualificado o fator K, representando a suscetibilidade a erosão, segundo Sales (2015) e Aquino, Oliveira (2017), em muito baixa ($K < 0,009$), baixa ($0,009 < K < 0,015$), média ($0,015 < K < 0,030$), alta ($0,030 < K < 0,045$), muito alta ($0,450 > K > 0,60$) e extremamente alta ($K > 0,060$).

Buscando auxiliar nos dados de erodibilidade do solo, adotou-se o monitoramento do escoamento superficial/erosão, realizado por meio da técnica dos pinos de erosão. Para o estudo dos efeitos desta erosão foram adotadas as referências contidas em diversos estudos sobre esta temática (RENARD, *et al.*, 1997; ARAÚJO, 2003; GUERRA, 2002, 2005, 2008; MORGAN, 2005; GUERRA, MENDONÇA, 2011; KEARNEY, *et al.*, 2018; RABELO, ARAÚJO, 2019; SIMPLÍCIO, *et al.* 2021).

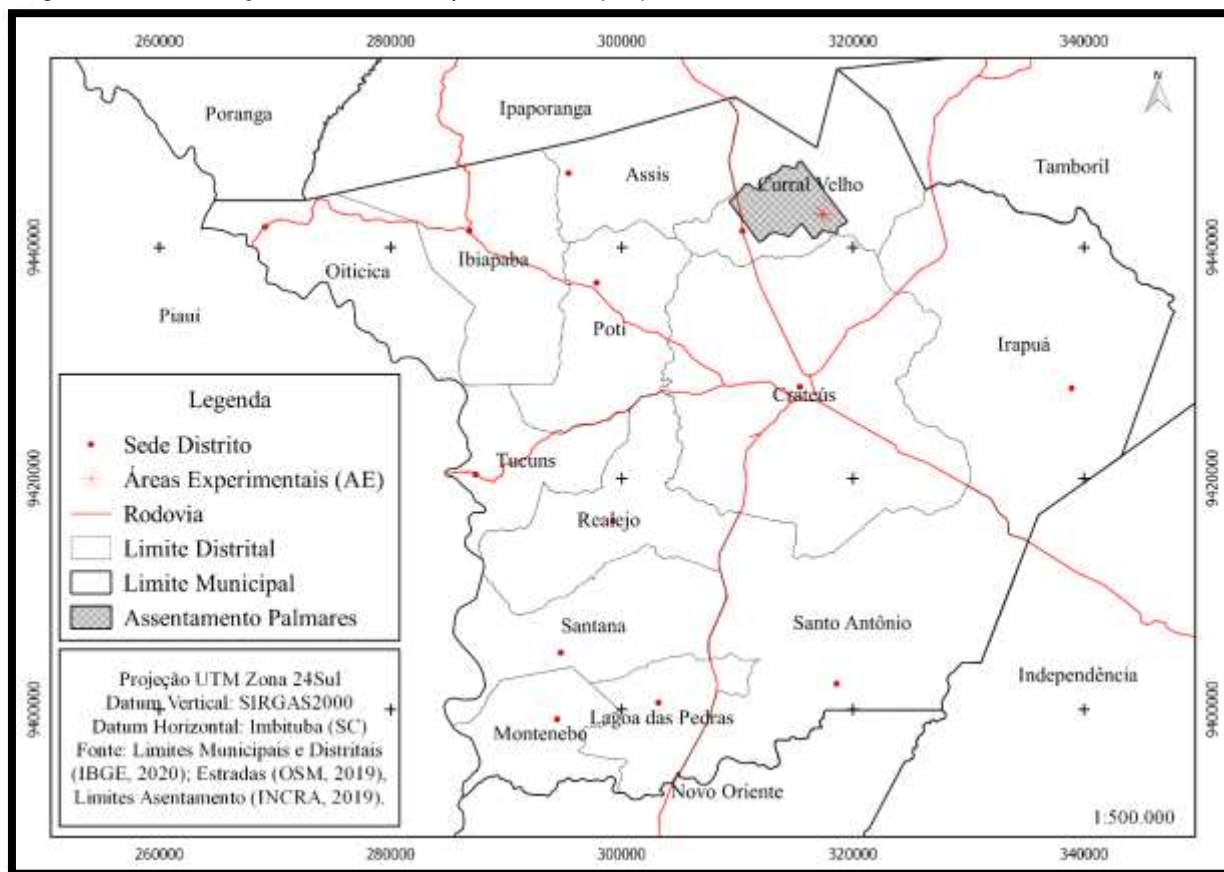
O fator Topográfico (LS) foi determinado através de uma equação proposta por Carvalho (1994 *apud* ARAÚJO, 2003). Na EUPS, o fator topográfico corresponde ao comprimento da encosta e a declividade do terreno. Mesmo reconhecendo a importância do comprimento da rampa, aqui optou-se por utilizar o mapa de declividade organizado para o município de Crateús, para avaliar a influência topográfica. Estes dados foram levantados com base nas classes de declive criados anteriormente com base em Pereira e Lombardi Neto (2004) e os dados da imagem SRTM, além de Jacomine Jacomine, Almeida e Medeiros (1973).

A análise do fator uso e manejo do solo (C) foi realizado a partir da classificação da vegetação realizada pelo método NDVI – método bastante utilizado para estimar biomassa, cobertura vegetal, mudanças no padrão de uso e cobertura vegetal – juntamente com o uso e ocupação construído na fase da contextualização ambiental, onde foram atribuídos valores segundo referenciais bibliográficas (ARAÚJO, 2003; DORNELLAS *et al.*, 2017; OLIVEIRA, P., *et al.*, 2023; OLIVEIRA, U., *et al.*, 2023), aliado aos trabalhos de campo, aos mapas e/ou imagens de satélite disponíveis. O fator P, refere-se a aplicação de práticas protecionistas, e é obtido através de literatura conforme Wischmeier, Smith (1978) e das unidades experimentais.

Para discutir o potencial de erosão dos solos foram selecionadas 03 Áreas Experimentais (AE) com diferentes tipos de manejo. As parcelas estão localizadas no Assentamento Palmares (Figura 4), localizado no distrito de Curral Velho, em Crateús. As condições ambientais são semelhantes – as parcelas experimentais estão localizadas em Luvisolos na depressão sertaneja desenvolvidos sob litologias Diatexito (metamórficas) e cobertos por Caatinga Arbustiva com declive suave ondulado, inserida numa sub-bacia do alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Poti. A escolha como local de estudo deveu-se as suas condições ambientais representativas

do sistema ambiental estudado, além de contar com uma infraestrutura básica de apoio logístico.

Figura 4 – Localização das Áreas Experimentais (AE) no Assentamento Palmares, em Crateús – CE.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Cada Área Experimental apresentava diferentes tipos de manejo: Área Experimental I – AEI, Caatinga sem uso atualmente, em repouso (Figura 5); Área Experimental II – AEII, área de cultivo rápido (Figura 6); e Área Experimental III – AEIII, solo exposto (Figura 7). Cada parcela possui 4 metros (0,004 km) de largura e 10 metros (0,010 km) de comprimento contendo 44 pinos de erosão, ou seja, um a cada m². Dessa forma, foi possível perceber a movimentação do solo para o ano hidrológico de 2022, quando este promoveu escoamento superficial. Os pinos foram fixados manualmente no solo com cerca de 15 cm abaixo da superfície e monitorados durante um período de 15 meses (01 de novembro de 2021 a 30 de janeiro de 2023).

Figura 5 - Detalhes de espaçamento e profundidade de 0,15 m na Área Experimental I.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 6 - Área Experimental II.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 7 - Vista geral da Área Experimental III com os pinos de erosão instalados com detalhes de espaçamento e profundidade de 15 cm.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Não obstante, sabe-se da dificuldade relacionado ao tempo de monitoramento relativamente curto, porém o experimento que compete à análise dos processos erosivos ficará no local para pesquisas sequenciais. A profundidade de cada pino foi medida (precisão de 01 cm) uma vez por mês durante o período em questão. Os pinos que forem danificados ou deslocados durante o monitoramento foram desconsiderados.

Essa malha de pinos instalados auxiliou para medição do deslocamento das partes de solo e avaliação da evolução da erosão em parcelas experimentais. Na Figura 03, observa-se uma das áreas onde foram instalados os pinos de erosão e na Figura 04, o detalhe de uma das áreas, a instalação e os pinos instalados. Os pinos utilizados na área são de latão (uma mistura de ferro com zinco), com dimensões de 30 cm de altura, 05 mm de diâmetro. Para manter medições ponderadas, buscou-se utilizar em todas as coletas, o mesmo medidor manual. O valor absoluto considerado foi simplesmente a extensão da alteração da altura do pino ou a diferença de zero, e indica a magnitude da erosão e da deposição ao longo do período de medição, conforme Kearney *et al.* (2018).

Para a avaliação da distribuição espaço-temporal da movimentação do solo foram trabalhados, processados e analisados dados de 03 campanhas de coleta de

campo para todas as áreas experimentais. Com base nas leituras das marcações dos pinos foram elaborados, com o auxílio do software SAGA GIS 4.0, mapas da dinâmica por meio de interpolação por *krigagem* (PEREIRA, 2021).

3 ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA DEPRESSÃO SERTANEJA DE CRATEÚS

Sendo assim, nesta parte da pesquisa busca expor quais os sistemas ambientais de Crateús e os limites da depressão Sertaneja neste município, elaborando um diagnóstico ambiental, integrando os dados provenientes da análise dos sistemas ambientais e do uso e ocupação do solo/exploração socioeconômica no município de Crateús. Situado nas coordenadas geográficas 5° 10' 42"S e 40° 40' 39"W, a sede do município de Crateús localiza-se na porção oeste do Estado do Ceará, fazendo divisa ao Norte com Tamboril e Ipaporanga; ao Sul com Novo Oriente e Independência; ao Leste com Independência e Tamboril; e a Oeste com Poranga e o Estado do Piauí.

Pertencente a região de planejamento Sertões de Crateús, está distante 293 km da capital Fortaleza, em linha reta. Seu território ocupa uma área de 2.985,41 km², que corresponde a 2,0% do território estadual. A divisão territorial do município é constituída por 13 distritos: Crateús, Assis, Curral Velho, Ibiapaba, Irapuá, Lagoa das Pedras, Montenebo, Oiticica, Poti, Realejo, Santo Antônio, Santana e Tucuns. Segundo dados do Censo 2010, Crateús possui uma população de 72.812 habitantes, sendo 52.644 habitantes na área urbana, cerca de 72,30%, e 20.168 habitantes na zona rural, em torno de 27,70%. (CEARA, 2014).

3.1 Contextualização Geoambiental

Para aprofundar o conhecimento do objeto de estudo, recorrendo ao método estruturalista com fundamentação teórico-metodológica geossistêmica, visando o conhecimento da depressão sertaneja de Crateús, faz-se necessário a contextualização ambiental de Crateús, realizada com base na análise dos componentes ambientais que compõem os sistemas ambientais.

Villàs (1992, p. 135) afirma que na análise integrada/análise ambiental pode-se subdividir os diversos componentes do sistema em subsistemas parciais, sendo possível agrupar os distintos elementos em conjuntos abióticos, bióticos e antrópicos, ou seja, em elementos naturais e elementos humanos com métodos e técnicas próprias das distintas disciplinas científicas que servem de suporte para a análise ambiental. Neste sentido, esta análise setorializada/semi-integrada partiu do potencial ecológico (geologia-geomorfológico, hidroclimático), passando pela

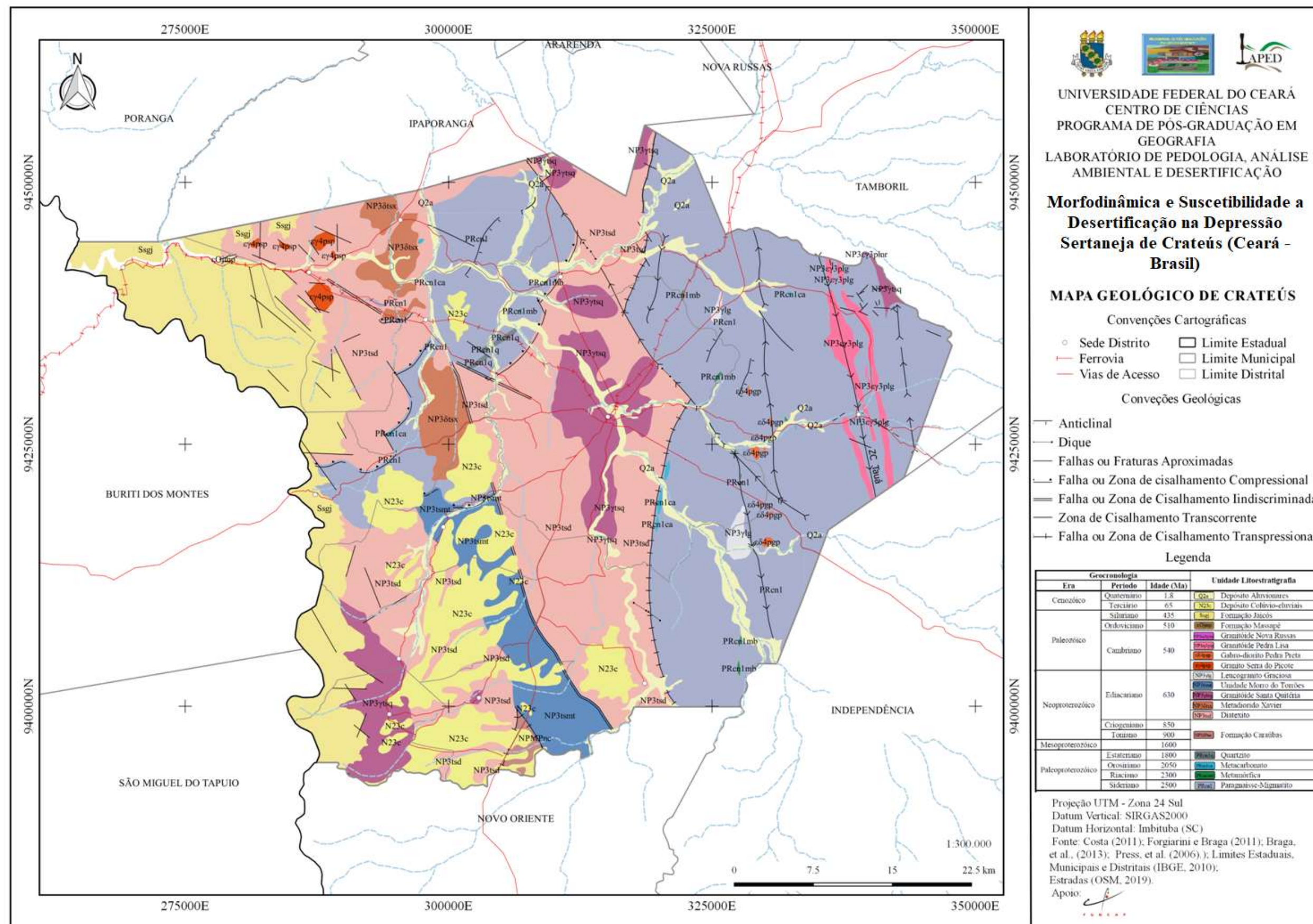
exploração biológica (edafológica), e finalizando nos aspectos do uso e ocupação pela ação humana.

3.1.1 Características Geológico-Geomorfológicas

O quadro estrutural de Crateús constitui-se de grande diversidade litológica, com rochas ígneas, metamórficas e sedimentares. Seus terrenos estão inseridos em grande parte do embasamento cristalino, incluindo porções sedimentares e áreas de deposição recente. Claudino-Sales e Pelvast (2007) afirmam que a estrutura geológica e os registros estruturais brasileiros apresentam marcas dos quatro grandes eventos de formação e separação dos continentes, desde o período Pré-Cambriano ao Paleozóico, ao passo que as margens dos crátons se chocaram, desapareceram e reconstituíram-se durante os eventos de abertura e/ou fechamento oceânico e seus sedimentos foram, e continuam sendo depositados e acumulados em diversas áreas.

A identificação das principais unidades litológicas de Crateús (Figura 8) teve como base as Cartas Geológicas das Folhas Independência, Ipueiras e Crateús do Serviço Geológico do Brasil, em escala de 1:100.000 (COSTA, 2011). A Tabela 2 apresenta a geocronologia e a litoestratigrafia encontrada em Crateús. Segundo Cavalcante, *et al.* (2003), a compartimentação tectônica de Crateús engloba duas províncias estruturais: Borborema e Parnaíba. O cráton da província da Borborema corresponde a um largo sistema de deformação e de dobramentos encontrados em estados brasileiros. Grande parte da área de pesquisa está inserida nesta província, que corresponde ao setor setentrional denominado subdomínio Ceará Central. Este subdomínio limita-se ao noroeste pela Zona de Cisalhamento Sobral Pedro II e a sudeste pela Zona de Cisalhamento Senador Pompeu (ZCSP), constituído por rochas do embasamento cristalino de idades arqueanas, neopaleoproterozóicas, cambrio-ordovicianas, além de depósitos cenozóicos.

Figura 8 - Mapa geológico de Crateús.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 2 – Cronologia das Unidades Litológicas.

Eón	Era	Período	Idade (Ma)	Unidade Litológica
Fanerozóico	Cenozóico	Quaternário	1,8	Depósito Aluvionares
		Terciário	65,0	Depósito Colúvio-eluviais
	Paleozóico	Siluriano	435,0	Formação Jaicós
		Ordoviciano	510,0	Formação Massapê
		Cambriano	540,0	Granitóide Nova Russas; Granitóide Pedra Lisa; Gabro-diorito Pedra Preta; Granito Serra do Picote; Dique ⁸ Guaribas
Proterozóico	Neoproterozóico	Ediacariano	630,0	Complexo Tamboril-Santa Quitéria; Leucogranito Graciosa;
		Criogeniano	850,0	
		Toniano	900,0	Formação Caraúbas
	Mesoproterozóico		1600,0	
	Paleoproterozóico	Estateriano	1800,0	
		Orosiriano	2050,0	Complexo Canindé do Ceará
		Riaciano	2300,0	

Fonte: Costa (2011); Forgiarini e Braga (2011); Braga, *et al.*, (2013); Press, *et al.* (2006).

A província de Parnaíba remete a sinéclise⁹ atulhada de sedimentos marinhos e clásticos Claudino-Sales e Pelvast (2007). Configura-se como um pacote sedimentar inclinado suavemente para o centro da bacia, com camadas mais recentes no centro e mais antigas nas bordas (COSTA, *et al.*, 2020). As estruturais são marcadas fortemente por fraturas, zonas de cisalhamento e na área de estudo apresenta a zona de cisalhamento.

Com base em Costa (2011), Forgiarini e Braga (2011), e Braga, *et al.* (2013), em ordem geocronológica da mais antiga para a mais recente, ocorrem as seguintes unidades litológicas: Complexo Canindé do Ceará (Paragnaisse, Metacalcário, Quartzito, Metamórfica), Formação¹⁰ Caraúbas, Complexo Tamboril-

⁸ Dique – intromissão de magma em forma alongada através das camadas da crosta terrestre.

⁹ Sinéclise - uma estrutura geológica desenvolvida em plataforma continental, na forma de ampla bacia com mergulhos muito fracos e convergentes de pacote, geralmente espesso, de camadas sedimentares, e produzida por lento abaullamento negativo da crosta ao longo de vários períodos geológicos. Fonte: <http://sigep.cprm.gov.br/glossario/verbete/sineclise.htm>

¹⁰ Formação: conjunto de rochas e de minerais que possuem características mais ou menos semelhantes, quer de origem, que de composição, que de idade. A formação geológica caracteriza uma idade sendo expressa, algumas vezes, pela fáceis.

Santa Quitéria (Metadiorito Xavier, Granitóide¹¹ Santa Quitéria; Diatexitos¹², Unidade Morro dos Torrões), Leucogranito Graciosa – todas do período pré-cambriano, Gabro-diorito Pedra Preta; Granito Serra do Picote; Dique Guaribas; Granitóide Nova Russas; Granitóide Pedra Lisa, todas pertencentes ao embasamento cristalino; Formação Massapê, Formação Jaicós, Depósitos¹³ Colúvio-eluviais e os Depósitos Aluvionares.

Vilàs (1992) elenca alguns aspectos que os estudos geomorfológicos nos diagnósticos ambientais abordam como a morfologia, a altitude, a orientação e as vertentes. Assim, procurou-se realizar a compartimentação topográfica regional, a caracterização das formas de relevo bem como os processos atuantes. A compartimentação topográfica cearense decorre, sobretudo, de eventos naturais que se verificaram na época geológica do Plio-Pleistoceno (SOUZA, LIMA, PAIVA, 1979), comportando relevos esculpidos em terrenos no embasamento cristalino e em áreas sedimentares (Tabela 3).

Tendo o período Tércio-Quaternário sido crucial para o desenvolvimento das formas atuais, as formas de relevo surgem e evoluem em decorrência de processos que ocorrem na superfície terrestre, tendo suas origens em forças externas e oriundas do interior do planeta. São permanentemente trabalhadas por processos erosivos ou deposicionais, desencadeados pelas condições climáticas, que promovem ao longo de grandes períodos de tempo, a degradação (erosão, dissecação) das áreas topograficamente elevadas e agradação (deposição, acumulação) nas áreas topograficamente mais baixas, além de eventuais interferências das forças endógenas que podem provocar soerguimentos ou rebaixamentos da superfície terrestre (MARQUES, 2008).

Segundo Souza (2000) os domínios morfoestruturais obedecem ao modo de arranjo das formas de relevo que tem traços comuns as características fisionômicas e genéticas. Deste modo, compreende-se que as influências estruturais se manifestam através da ocorrência de relevos próprios de núcleos cratônicos e de bacias sedimentares com marcas tectônicas-estruturais e influências climáticas de tempos remotos e atuais.

¹¹ Granitóide - Granitos com textura granular (GUERRA, GUERRA, 2008).

¹² Diatexitos [Conf.metatexitos]Migmatito homogêneo, granitóide, derivado de diatexia (alto grau de anatexia), sendo registrados, localmente, vestígios de estruturas pré-existentes.

¹³ Depósito: Conjunto de matérias sólidas acumuladas, ocorre de acordo com o acúmulo de rochas

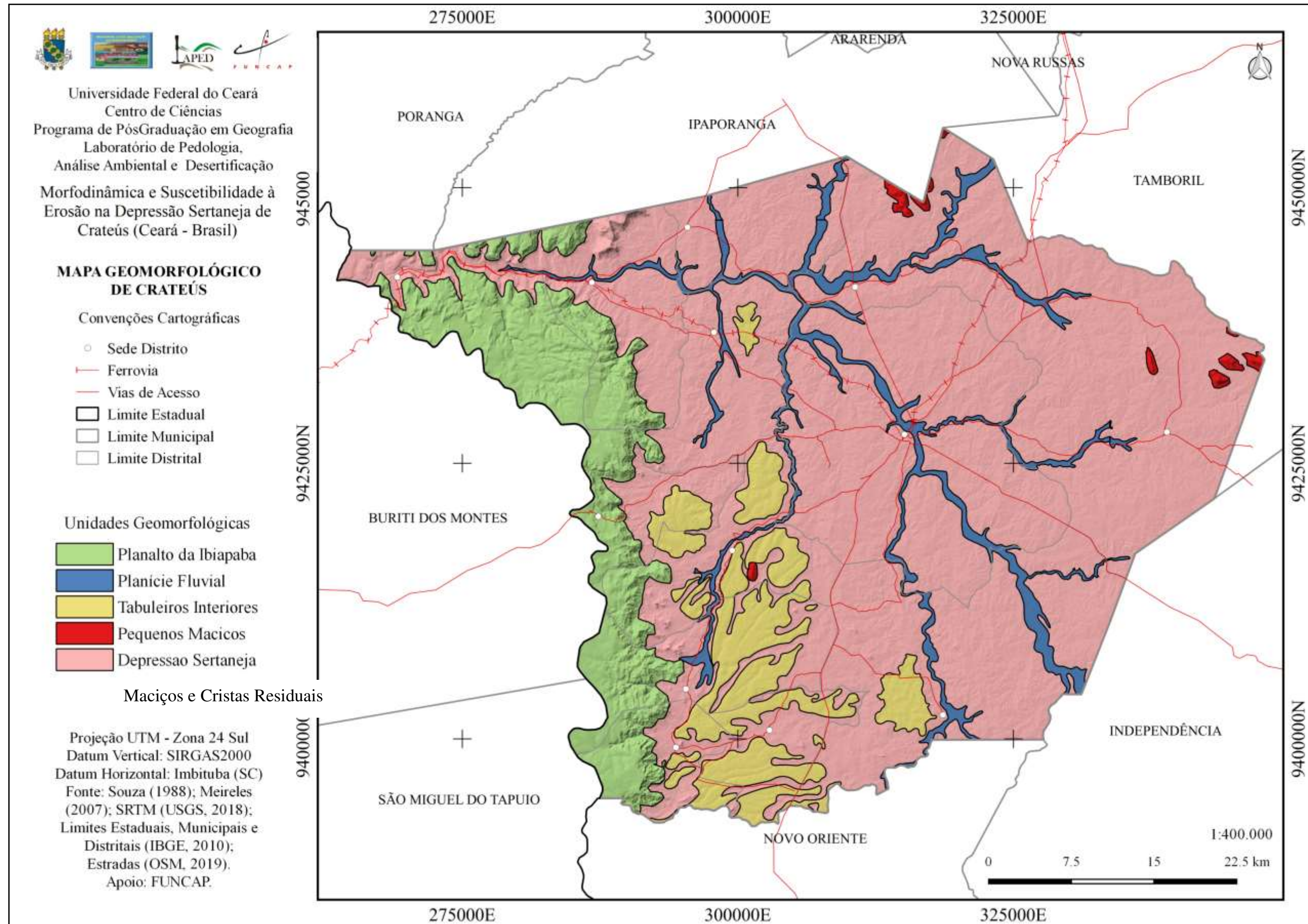
Tabela 3 - Relação Geologia/Geomorfologia.

Unidade Litoestratigráfica	Unidade Geomorfológica	Feições Geomorfológicas
Depósito Aluvionares	Planície Fluvial	Terraços
Depósito Colúvio-eluviais	Tabuleiro Interiores	Interflúvios Tabulares/Depósitos Coluviais
Formação Jaicós	Planalto da Ibiapada	<i>Front e Cuesta</i>
Formação Massapê		
Granitóide Nova Russas; Granitóide Pedra Lisa; Gabro- diorito Pedra Preta; Granito Serra do Picote; Dique Guaribas	Maciços Residuais/Cristas Residuais	Pequenos Maciços/Inselbergues
		Cristas Residuais
Complexo Tamboril-Santa Quitéria; Leucogranito Graciosa;	Depressão Sertaneja	Pediaplano
Formação Caraúbas		
Complexo Canindé do Ceará		

Fonte: Souza (2000), com adaptações.

Desse modo, com o auxílio do Modelo Digital de Elevação, que permitiu uma visualização em três dimensões da superfície de Crateús aliado as classes de declividade (Figura 3) de Pereira e Lombardi Neto (2004) verificou-se que na área de estudo a geomorfologia está estritamente ligada à ação conjunta da tectônica, da estrutura e dos aspectos climáticos e apresenta as seguintes feições (Figura 9): Maciços/Cristas Residuais e Planalto da Ibiapaba (erosivas); e Planície Fluvial e Tabuleiros Interiores (acumulativas) e Depressão Sertaneja (Figura 10).

Figura 9 - Mapa Geomorfológico de Crateús.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 10 - Superfície Aplainada, em primeiro plano, e o planalto da Ibiapaba, ao fundo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.1.2 Condições Hidroclimáticas

Zanella (2007) identifica três sistemas atmosféricos que agem na região nordeste: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Anticiclone do Atlântico-Sul (AAS) e El Niño/La Niña. Além destes, Ferreira e Mello (2005) apontam outros mecanismos que interferem no regime climático da região¹⁴: Frente Fria (FF), Linhas de Instabilidade (LI), Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), Complexos Convecivos de Mesoescala (CCM), Ondas de Leste (OL). Estes são os principais sistemas atmosféricos atuantes, causadores ou inibidores de chuvas, na região nordestes e suas principais características.

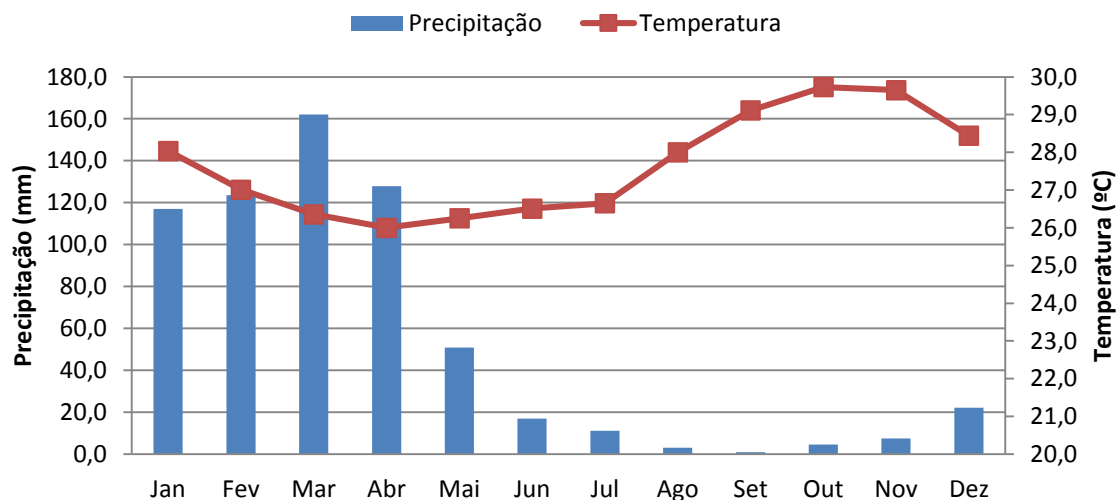
Foi estimado um modelo de distribuição espacial, pelo método IDW, de 2001 a 2019 das chuvas do município de Crateús por meio de isoietas (Figura 11), com as médias aritméticas dos últimos 19 anos de dados coletados em 09 postos pluviométricos da FUNCEME (Apêndice A). Percebeu-se a variação espacial da precipitação dentro de Crateús, com maiores índices pluviométricos a noroeste e leste. Zanella (2007) atribui esta variação na distribuição das chuvas a atuação dos

¹⁴ As brisas marítimas e terrestres resultam do aquecimento e resfriamento diferenciais entre a terra e a água, chegando a penetrar pouco mais de 100 km. Desta maneira, na área de estudo acredita-se que seu efeito seja quase nulo, pela ausência de grandes massas aquáticas/reservatórios hídricos presentes no seu entorno.

sistemas atmosféricos sobre aos fatores geográficos locais e regionais. De fato, percebe-se que a proximidade ao Planalto da Ibiapaba pode favorecer as precipitações, pois tal relevo devido sua altitude elevada em relação ao entorno, age como barreira causando chuvas orográficas.

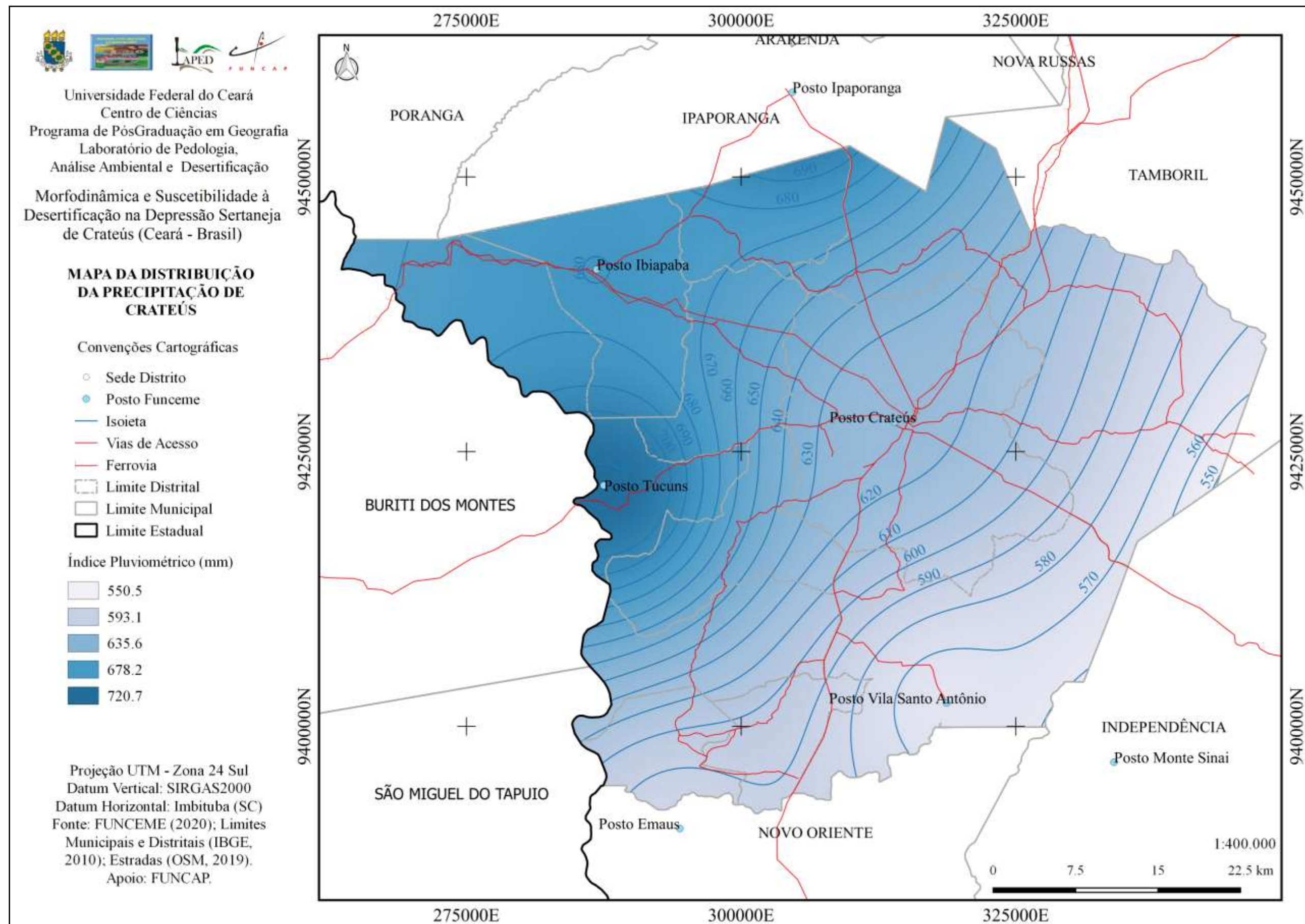
Observando o Gráfico 1, que mostra o climograma do município de Crateús, pode-se observar que as temperaturas pouco variam ao longo do ano, máxima de 29,7 °C e mínima de 26,0 °C. Deste modo, caracteriza-se por apresentar pequena variação térmica - amplitude de 3,7 °C, com quedas entre março e junho. Com base nos dados coletados nos postos do INMET, a temperatura média é 28°C, corroborando com perfil básico de Crateús (CEARA, 2014), onde afirma que a temperatura média de Crateús gira em torno de 26 a 28°C. Quanto à pluviosidade, Xavier (2001) traz como média pluviométrica de Crateús 798,4 mm e no perfil básico municipal de Crateús (CEARA, 2014) a precipitação está em torno de 731,2 mm. Contudo, com base nos dados coletados percebeu-se a média pluviométrica anual de 647,7 mm, tendo como base a média aritmética de 04 postos localizados no município.

Gráfico 1 - Climatograma de Crateús.



Fonte: INMET (2020), FUNCEME (2020).

Figura 11 – Distribuição da precipitação pluviométrica em Crateús.

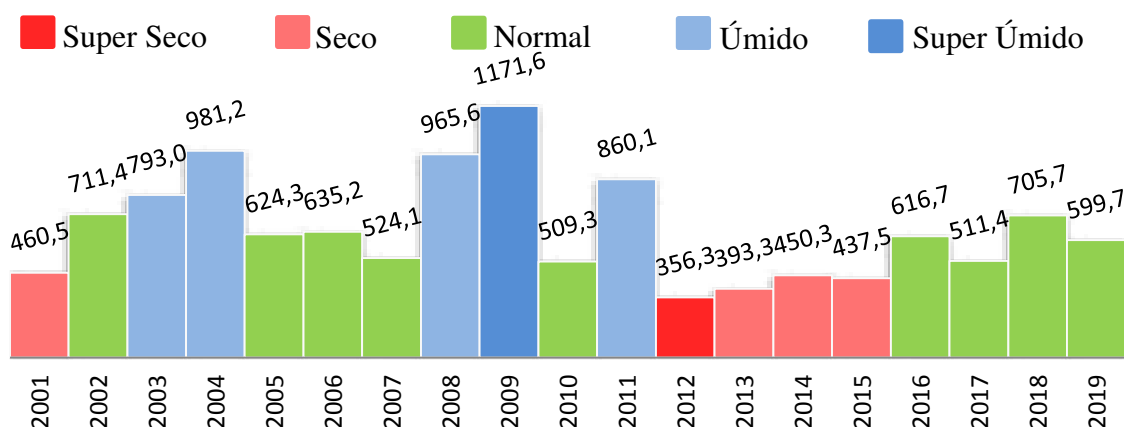


Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nesse contexto, dois períodos distintos marcam o clima semiárido: i. chuvas concentradas entre janeiro e maio (verão/outono), e muito pouco entre junho e dezembro (inverno/primavera). As chuvas e sua escassez coincidem, respectivamente, com o deslocamento da ZCIT, período mais ao sul, aproximadamente 2º a 4º S entre fevereiro e abril, e período mais ao norte, aproximadamente 14º N, entre agosto e outubro (FERREIRA, MELO, 2005). Tal sistema atmosférico torna-se o mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas. Zanella (2007) salienta que durante a maior parte do ano, o sistema atmosférico atuante é fruto do dipolo do atlântico, onde a ação do Anticiclone do Atlântico Sul é responsável pela estabilidade que resulta num grande período de estiagem.

Além da variação das precipitações durante o ano, pode-se observar no Gráfico 2, a irregularidade das chuvas durante o período analisado, apresentando grande variabilidade durante a série analisada. Baseado na classificação de regime pluviométrico proposto por Galvani e Luchiari (2005), foi possível determinar os anos super secos (abaixo de 393,3 mm), secos (entre 393,3 e 479,8 mm), normais (entre o 479,8 e 752,3 mm), úmidos (acima de 752,3 mm) e super úmido (acima de valores máximos). Esta irregularidade pluviométrica acentuada de um ano para outro esta relacionada ao fenômeno do El Niño, que ocorre periodicamente, caracterizando períodos de seca (ZANELA, 2007). Este fenômeno, considerando como situação climática anormal, tem em comum o fato de que os totais pluviométricos se situam sempre abaixo do comportamento da média de longo prazo, ou das normais pluviométricas (SOUZA, OLIVEIRA, 2002).

Gráfico 2– Tipologia do Regime Pluviométrico de Crateús (CE).



Fonte: Funceme (2020).

Dentro deste contexto, o município de Crateús está banhado pelas águas do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Poti (Figura 12). Esta é a única bacia hidrográfica que não está integralmente inserida no estado do Ceará e tem como outros tributários os rios Macambira e Pirangi (ZANELLA, 2007). Para fins de planejamento e gestão, a bacia do Parnaíba, em território cearense, foi dividida em duas regiões geográficas: Serra da Ibiapaba e Sertões de Crateús. Segundo a COGERH¹⁵, esta unidade de planejamento compreende uma área de 10.821 km², drenada pelo Rio Poti, sendo composta por 09 municípios e apresentando capacidade de acumulação de águas superficiais de 436.051.397 m³, com 10 açudes monitorados pela companhia.

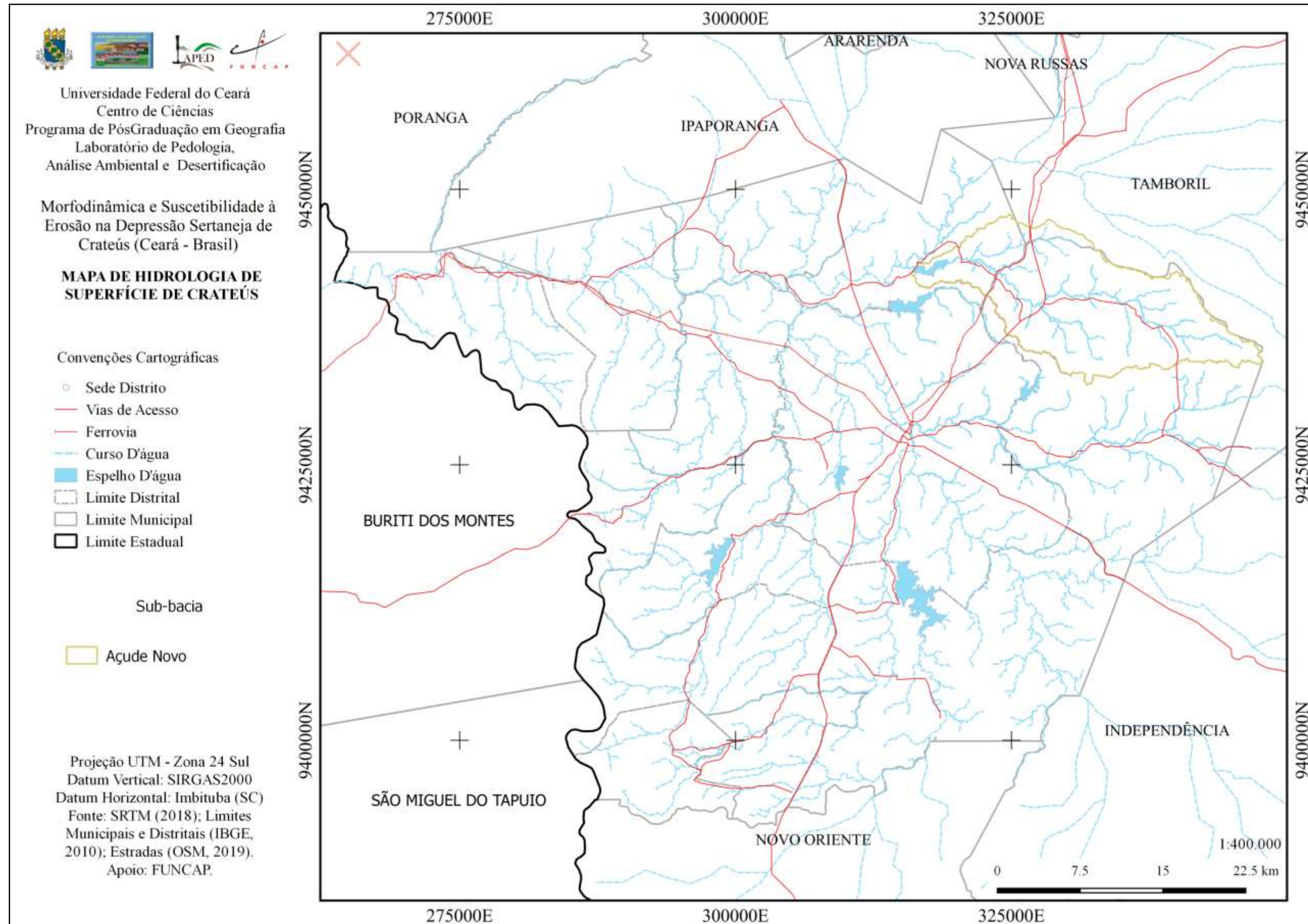
O rio Poti destaca-se como um importante coletor de drenagem de Crateús. Suas nascentes remetem ao dispersor de águas dos terrenos elevados da Serra dos Cariris Novos, no município de Quiterianópolis. O curso do rio apresenta aproximadamente 192,5 km de extensão em território cearense e tem como principal afluente o rio Diamante (MONTE, 2014). Em território cearense, o rio faz seu curso no sentido sul-norte e logo após a cidade de Crateús, inclina-se na direção leste-oeste, recebendo inúmeros tributários menores. O rio Poti dissecar a parte ocidental da borda da Província Parnaíba, localizado na divisa entre os estados do Ceará e Piauí, até desaguar no rio Parnaíba, na cidade de Teresina (BARRETO, COSTA, 2014).

3.1.3 Aspectos Fitopedológicos

Os solos e seus movimentos superficiais estão em equilíbrio com a vegetação que os recobre, com a fauna, a flora e o clima (WARREN, MAIZELS, 1992). Também é conhecida sua relevância para a humanidade, pois bons solos representam elementos naturais para a produção (BUCKMAN; BRADY, 1967).

¹⁵ Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/serto-es-de-crateus/>. Acesso, em 11/09/2020.

Figura 12 – Mapa da Hidrologia de Superfície



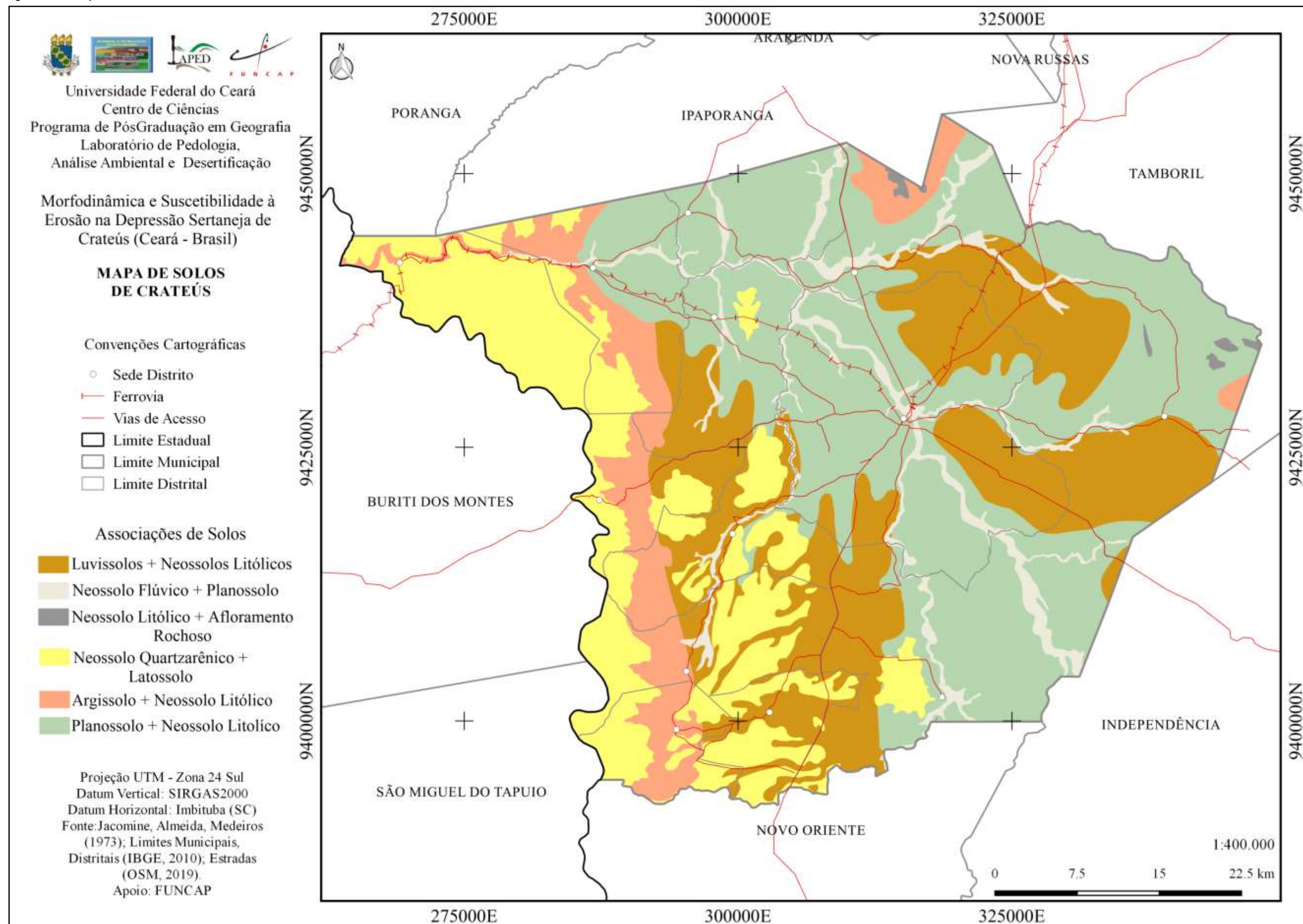
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para delimitação das principais classes de solos encontradas no município de Crateús, utilizou Jacomine, Almeida e Medeiros (1973), bem como trabalhos de campo preliminares realizados na área de estudo. As principais classes de solos - ao primeiro nível categórico¹⁶ do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos - SiBCS (SANTOS, *et al.*, 2013) – encontrados no município são: Luvissolos, Planossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos, Flúvicos e Quartzarênicos (Figura 13).

A vegetação representa o reflexo do jogo de interações mútuas entre os demais componentes ambientais. Dito isso, compreende-se como fruto da topografia, da conjunção de diferentes sistemas de circulação atmosférica, além das condições geológicas que contribuíram para o surgimento dos solos, de tal maneira que estes constituíram os fatores de desenvolvimento do conjunto vegetacional do Nordeste (FERNANDES, 1990). A cobertura vegetal possui estreita relação com os demais componentes bióticos, como produtor primário dos ecossistemas; e com sua influência sobre o clima, a água, a erosão (VILLÀS, 1992). Souza (2000) salienta que a cobertura vegetal do Ceará encontra-se altamente degradada, e já não apresenta suas condições naturais. Assim, buscou-se identificar aspectos do complexo vegetacional que recobre a área de estudo. Segundo Fernandes (1990) e Ceará (1997), os principais conjuntos vegetacionais que recobrem os solos de Crateús são: Caatinga, “Carrasco” e a Mata Ciliar.

¹⁶ O 1º nível categórico refere-se a presença ou ausência de determinados atributos, horizontes diagnósticos ou propriedades que são passíveis de identificação no campo, mostrando as diferenças no tipo e no grau de desenvolvimento dos processos que atuaram na formação do solo. O 2º nível categórico classifica os solos destacando propriedades e características diferenciadas (SANTOS, *et al.*, 2013).

Figura 13 - Mapa de Solos de Crateús.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O domínio das Caatingas é o representante típico da vegetação que recobre a área pesquisada, apresentando adaptações de seus componentes fitogeográficos aos ambientes secos (AB'SABER, 1977). Este bioma tem ocorrência exclusiva no Brasil, sendo classificado internacionalmente como savana, embora recentemente venha sendo discutido como pertencente às florestas tropicais (SOUZA, ARTIGAS, LIMA, 2015). Estudos recentes sobre mudanças climáticas indicam que o bioma Caatinga está entre os mais vulneráveis num cenário de aumento das temperaturas globais, colocando o Nordeste brasileiro em estado de alerta, uma vez que o bioma Caatinga é bastante vulnerável aos efeitos das mudanças climáticas (OYAMA; NOBRE, 2003).

Velloso, Sampaio e Pareyn (2002) afirmam que esta diversidade de ambientes dentro da Caatinga reflete um mosaico de variadas formações vegetacionais, que modificam de acordo com as condições ambientais presentes. Fernandes (2006) em seu estudo sobre a Fitogeografia Brasileira classifica este domínio como Província das Caatingas, pois apresenta as variações da fisionomia e da florística vegetal.

No município esta unidade fitoecológica é composta pelo padrão, basicamente, arbustivo (Figura 14). A Caatinga Arbustiva é decorrente de áreas que já sofreram com as consequências do mal uso, como queimadas, desmatamento e uso agropecuário (PEREIRA; SILVA, 2007). Entre as espécies mais comuns tem-se jurema-preta – *Mimosa hostilis* (Mart.) Benth., favela - *Cnidoscolus quercifolius* Pohl, pinhão-bravo – *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill, pereiro – *Aspidosperma pyrifolium* Mart., marmeleiro – *Croton blachetianus* Baill., mandacaru – *Cereus jamacaru* DC., entre outras.

O “Carrasco” recobre as áreas elevadas do Planalto da Ibiapaba. Conforme Pereira e Silva (2007), o carrasco apresenta um caráter caducifolia, constituído por um estrato arbustivo fechado (Figura 15). Fernandes (1990, p. 86) destaca que este tipo de vegetação “provém da destruição parcial do cerradão, assumindo aspecto de uma capoeira densa, com numerosos elementos isolados dessa formação vegetal”, ou seja, o carrasco assume individualidade própria qualificada pela estrutura e composição florística, além do ambiente, da topografia, da geologia, da climatologia e da florística. Entre suas principais espécies, destacam-se o *Anacardium humile* (cajuí), a *Jacaranda brasiliana* (caroba) e a *Parkia platycephala* (faveira).

Figura 14 - Aspecto da Caatinga Arbustiva.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Devido às melhores condições ofertadas, pelas partes marginais dos cursos fluviais, pelos solos aluviais mais férteis e de maior aporte hídrico, desenvolve-se uma vegetação ciliar, acompanhando o curso sinuoso daqueles principais drenos naturais que cortam o município de Crateús. Do extravasamento dos rios, em terrenos planos, pode-se resultar a formação de várzeas, onde a vegetação poderia ser considerada como uma extensão daquela ribeirinha (FERNANDES, 1990). Pereira e Silva (2007) salientam que esta formação vegetal estende-se pelos médios e baixos cursos das bacias fluviais do estado, bem como as margens de lagoas. Além de algumas espécies próprias da caatinga, como o juazeiro, o marmeleiro e o sabiá, esta vegetação é enriquecida por outras espécies provenientes das matas serranas onde nascem os rios e seus afluentes. Entre tais espécies, podem ser citadas o *Combretum leprosum* (mofumbo), a *Licania rígida* (oiticica) e o *Tripalis gardneriana* (pajeú).

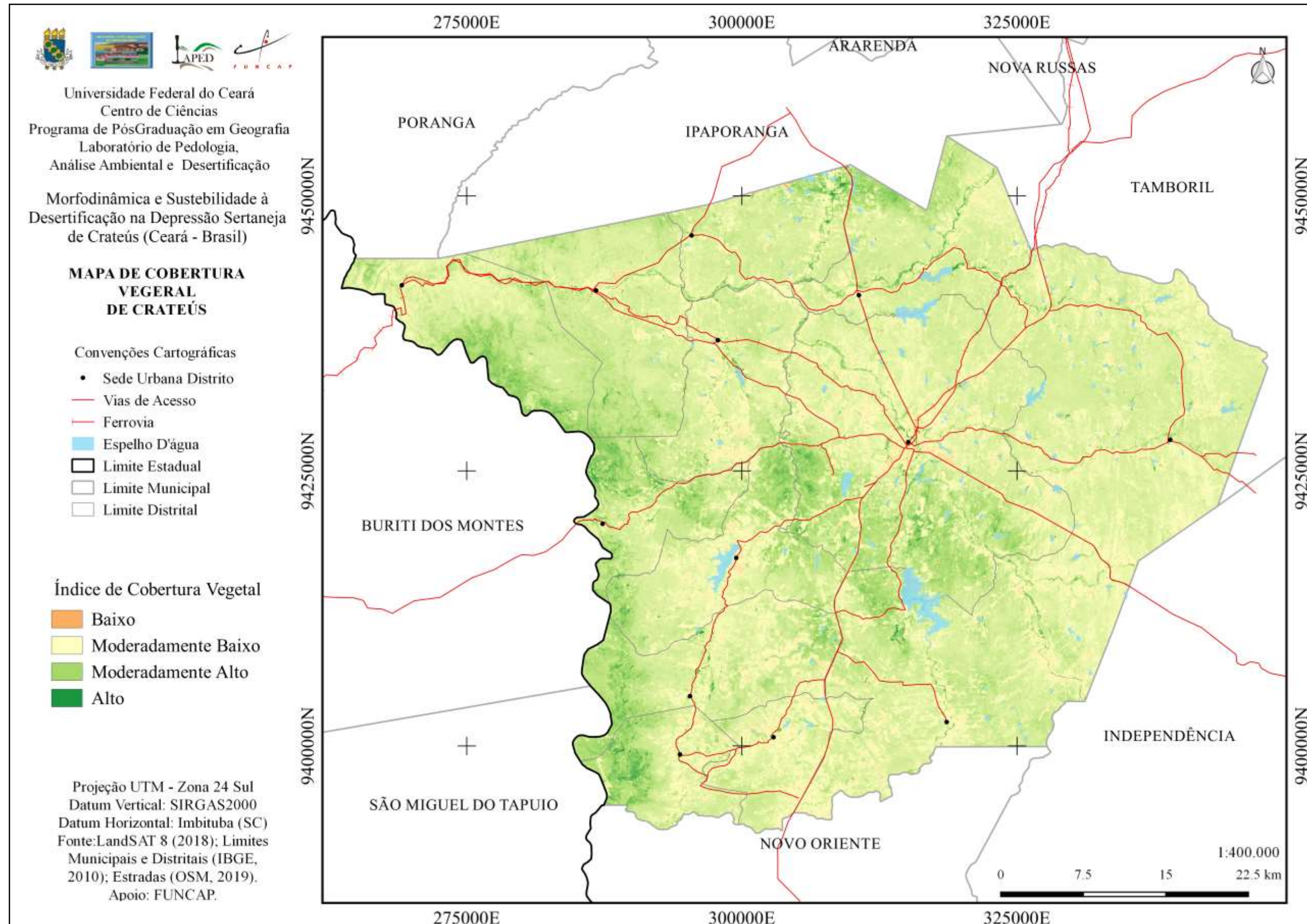
Figura 15 - Aspecto Carrasco.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012), os valores de NDVI muito próximos a -1 correspondem à superfície não vegetada, e, quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação. Deste modo, com base nos valores obtidos, foi elaborado o mapa de Índice de Cobertura Vegetal (Figura 16). Foi possível constatar-se que o índice “Alto” corresponde as áreas cobertas pelo Carrasco e pela Mata Ciliar. O índice “Moderadamente Alto” representa a Caatinga Arbustiva. O “Moderadamente Baixo” relaciona-se a Caatinga Arbustiva Aberta e áreas agrícolas e pastagens. E, por fim, o índice “Baixo” apresentou-se com áreas desprovidas de vegetação, como solo exposto.

Figura 16 - Mapa do Índice de Cobertura Vegetal



Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.1.4 Aspectos do Uso da Terra

Com base na historiografia cearense, a ocupação de Crateús remonta ao período colonial. Esta ocupação do território cearense pelos colonizadores aconteceu de forma tardia, se comparado a outras regiões do Nordeste (SOUZA, M., 2007). Segundo Girão (1989), as terras cearenses não provocavam grande interesse pela Coroa, nem pelo invasor. Capistrano de Abreu (1976 *apud* JUCÁ, 1989), reitera que com a difusão de fazendas para criação de gado e, posteriormente, o cultivo agrícola, o Ceará seria ocupado pelos colonizadores. Os rios foram os principais eixos dessa colonização, servindo de estrada e escoadouro para os mercados consumidores. Entretanto, as terras crateuense já estavam habitadas pelos povos Tapuia e, sobretudo, Karatis (IBGE, 1959).

Com a chegada dos colonizadores, os povos indígenas foram praticamente extintos. As vastas terras que compõem o atual município de Crateús inicialmente foram trilhadas por Domingos Jorge Velho. Com a compra das terras a margem esquerda do rio Poti por Luíza Coelho Rocha Passos, que delegou João Ribeiro Lima como seu procurador, foi criada a fazenda Piranhas¹⁷, constituindo a núcleo inicial de colonização. Banhado pelas águas da bacia do Rio Poti, Piranhas torna-se a instalação de fazendas de gado. O povoado de Piranhas é elevado à condição de Vila Príncipe Imperial, em 1832 (LIMA, 2010). Consoante a Souza, M. (2007) é neste contexto que surgem várias cidades cearenses, pois estas estão inseridas no processo de expansão econômica.

Para Souza, M. (2007), os núcleos populacionais evoluem para cidades quando encontravam facilidades para se tornarem centros de troca de mercadorias. O município de Crateús ganha projeção devida a sua posição geográfica aliado ao desenvolvimento do algodão e a implantação do sistema ferroviário. A construção da estrada de ferro (Figura 17) que fazia a ligação Fortaleza-Sobral-Camocim, possuía um ramal que ia até Crateús para em seguida ir em direção ao estado do Piauí. A partir disto, Crateús torna-se um dos centros agrícolas mais importantes do Estado, possuindo também um comércio bem movimentado.

As cidades do interior cearense que estavam mais bem servidas de transporte terrestre, com o processo de crescimento urbano, ampliaram sua

¹⁷ Durante muitos anos, Crateús foi chamada de Piranhas, em alusão ao peixe que havia em abundância nos seus rios e riachos (IBGE, 1959).

infraestrutura e diversificaram seus serviços, permitindo a ampliação da área de influência da cidade (SOUZA, 2007). Deste modo, novas transformações de ordem socioeconômica e, mormente, do sistema de transporte sedimentaram Crateús como um ponto de passagem, tornando-se com o tempo, distribuidora de serviços e bens para suas áreas vizinhas. Atualmente, o município constitui uma confluência de vias, como as BR 226 e BR 404; e as CE 469 e CE 266, além do ramal da Companhia Ferroviária do Nordeste.

Figura 17 - Estrada de Ferro e Estação Ferroviária, ao fundo



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A população de Crateús, segundo estimativa do IBGE em 2020, é 75.159 mil habitantes¹⁸. Em 1950, a população de Crateús era de 34.227 habitantes (IBGE, 1959). Acompanhando as elevadas taxas demográficas, estão os altos índices de crescimento da população urbana crateuense. Percebe-se o aumento da população

¹⁸ Panorama dos Municípios Brasileiros (IBGE, 2020). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/crateus/panoramaxhtml>. Acesso em 13/11/2020.

urbana, ocorrendo uma diminuição da população que vive no meio rural. A ampliação da mobilidade da população do campo para as cidades, esta ligado diretamente às questões agrárias e à incidência de secas. Com isso diversos problemas, como a pobreza, vêm sendo evidenciados devido ao rápido crescimento da população urbana (SOUZA, 2007).

Crateús se destaca como principal centro urbano do sertão sudoeste, tradicional centro de coleta regional e centro distribuidor de produtos industrializados para extensas áreas daquela região (SOUZA, 2007). Dessa maneira, começou a expandir suas atividades econômicas, o centro da cidade se desenvolveu com o estabelecimento de armazéns que comercializavam além dos artigos locais, produtos trazidos das cidades vizinhas que supriam a necessidade da população. Isto se reflete economicamente, pois o município de Crateús possui o maior PIB da região¹⁹. O setor de serviços representa 79,20% e as atividades industriais contribuem com 11,05% em relação ao conjunto do PIB (Tabela 04). A atividade agropecuária que originou o município, atualmente, contribui com 9,74% para o PIB.

Tabela 4 - PIB do município de Crateús, em 2011.

Discriminação	Município
PIB a preços de mercado (R\$ mil)	429.760
PIB <i>per capita</i> (R\$ 1,00)	5.890
PIB por setor (%)	
Agropecuária	9,74
Indústria	11,05
Serviços	79,20

Fonte: Perfil Básico Municipal (IPECE, 2014).

A atividade da agropecuária é desenvolvida, geralmente, no meio rural e sobre a depressão sertaneja. Segundo Elias (2007), a atividade no Ceará ocupa uma posição periférica na divisão do trabalho agropecuário brasileiro, salvo os perímetros irrigados públicos onde se processa uma produção diferenciada, com características específicas. De acordo com o IPECE²⁰, os principais produtos agrícolas de Crateús, em área colhida, em 2016 foram: milho, feijão, castanha de caju, mandioca, melancia, manga, banana e coco-da-baía. Quanto aos animais, destacam-se os ovinos, bovinos,

¹⁹ Perfil da Regiões de Planejamento – Sertão dos Crateús (IPECE, 2020). Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-regional.xhtml>. Acesso em 13/11/2020.

²⁰ Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-municipal.xhtml>. Acesso em 13/12/2020

caprinos e suínos, além de galináceos e eqüinos. Deste modo, na distribuição espacial da agropecuária cearense, Crateús caracteriza-se pela produção de grãos e a pecuária.

Dentro deste contexto, a partir das análises da discussão acima é possível considerar tipologias para o uso e ocupação do solo (Tabela 5). Assim, pode-se verificar como as terras crateuenses foram sendo apropriadas ao longo do seu processo de uso e ocupação. Tais atividades vêm sendo desenvolvidas sem manejo adequado, através de técnicas tradicionais, que promovem e aceleram os processos erosivos, desencadeando processos de degradação ambiental e consequente redução da biodiversidade.

Tabela 5 - Tipos de Uso e Ocupação das Terras de Crateús.

Classe	Tipologia Uso e Ocupação
Baixo – Ausência de Vegetação	Área de Ocupação Humana (Agropecuária e Urbanização)
Moderadamente Baixo – Caatinga Arbustiva Aberta	
Moderadamente Alto - Caatinga Arbustiva	Área de Vegetação Natural
Alto – Vegetação Subxerófila (Carrasco) e Mata Ciliar	

3.2 Compartimentação Geoambiental: paisagens da princesa d'oeste²¹

No âmbito da Geografia, mormente na Geografia Física, a paisagem é tida como categoria de análise concreta, sobretudo a partir da introdução da Teoria Geral dos Sistemas (TGS) de Ludwig Von Bertalanffy que possibilitou os estudos integrados. Pois, conforme Bernardes (2011), as categorias de análise são necessárias como formas fundamentais do pensamento para o conhecimento da realidade, sendo utilizadas para distinguir a maneira como os fenômenos se apresentam. Neste caso, buscando compreender o modo de ser de determinada paisagem. Para Bertrand (2004) o geossistema é uma unidade da paisagem e resulta da combinação local e única. Dessa maneira, Mendonça (2014) afirma que a paisagem deve ser entendida como um conceito integrador entre os aspectos físicos e humanos.

²¹ Alcinha atribuída a Crateús pela sua predominância na região.

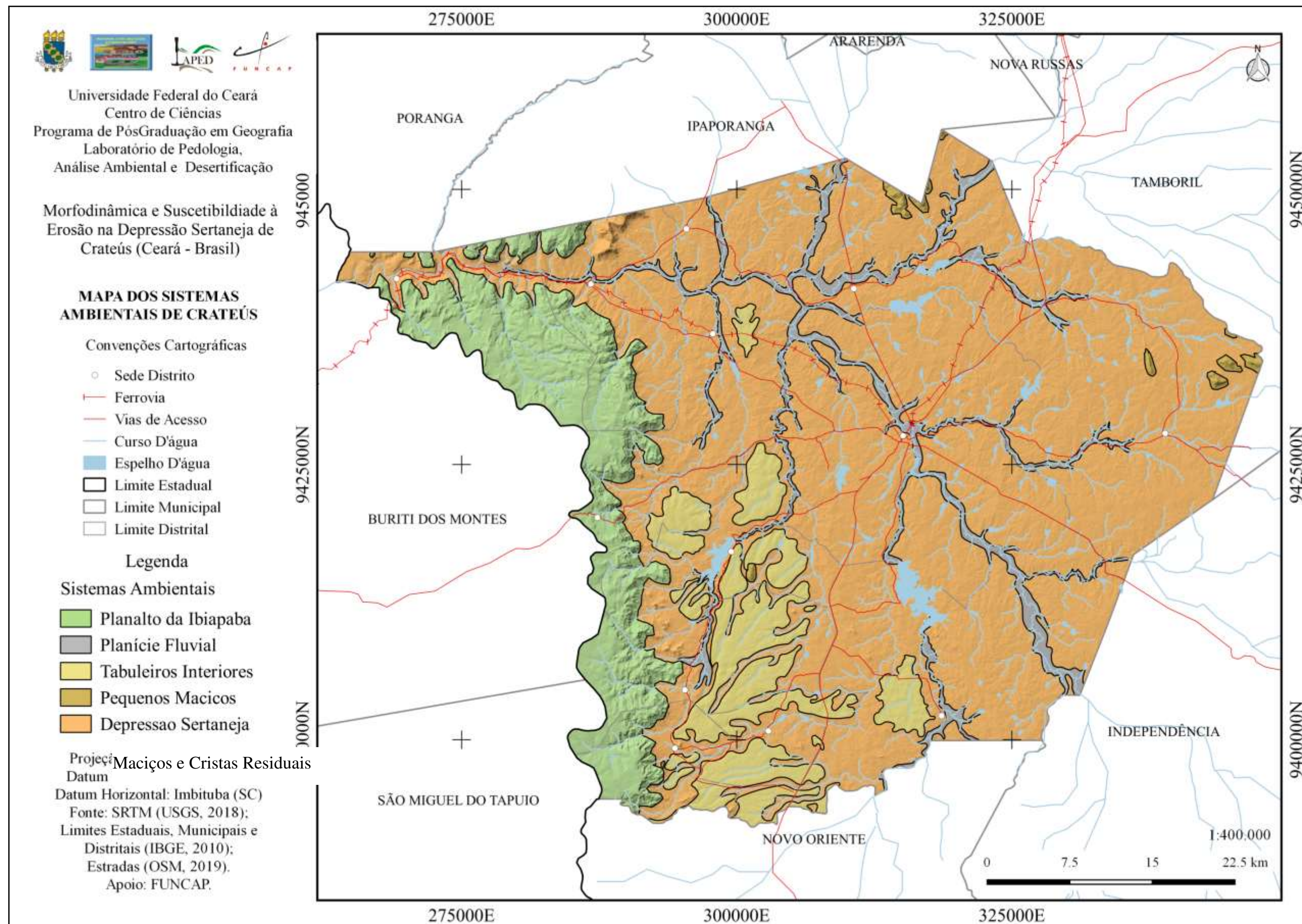
Desse modo, foram identificados os sistemas ambientais do município de Crateús (CE), podendo, assim, delimitar a Depressão Sertaneja, objeto de estudo. O diagnóstico do meio físico representa uma proposta de síntese da compartimentação ambiental por meio de um quadro sinóptico. Essa proposta é apoiada na análise das variáveis ambientais e nas relações mútuas dessas variáveis (SOUZA, *et al.*, 2009). Partindo das análises sobre as informações obtidas com os levantamentos feitos sobre os sistemas ambientais de Crateús, percebeu-se, mesmo que de maneira incipiente, a inter-relação dos seus componentes, dimensões e características de origem e evolução.

A análise ambiental baseada na capacidade de suporte dos sistemas ambientais utilizou as potencialidades e limitação como referências. As potencialidades indicam quais atividades são compatíveis com cada sistema ambiental, levando em consideração a disponibilidade dos recursos naturais. Por outro lado, as limitações representam as condições restritivas e destacam as deficiências dos recursos naturais. Essa abordagem permitiu uma avaliação mais abrangente e precisa do ambiente, que poderá auxiliar na tomada de decisões e no planejamento adequado das atividades.

Assim, o município apresenta clima semiárido com médias anuais em torno de 762 mm e temperatura média de 26,5 °C, concentradas entre janeiro e maio, sendo irregulares as chuvas no tempo e no espaço. A exceção está na divisa com o Estado do Piauí, onde devido à orografia os índices pluviométricos são mais elevados. Ademais, com o auxílio do trabalho de campo e com base na geomorfologia e geologia para realizar a compartimentação, foi possível identificar 05 sistemas ambientais no município: Planalto da Ibiapaba, Planície Fluvial, Tabuleiros Interiores, Maciços/Cristas Residuais e Depressão Sertaneja (Figura 18).

Os resultados mostram que a maior parte dos sistemas ambientais apresentam relevo plano a suave ondulado, com declividade de até 8%, com grandes manchas de cobertura vegetal, correspondendo ao plantio das culturas anuais alternadas com solos expostos. A análise ambiental do município de Crateús revela a presença de diversos sistemas ambientais com diferentes aptidões de uso e limitações naturais. Observe-se que as atividades socioeconômicas têm se desenvolvido de acordo com as oportunidades oferecidas pelos recursos naturais de cada sistema ambiental. No entanto, há sistemas subutilizados e outros superutilizados, o que resulta em uma complexa cadeia de impactos ambientais.

Figura 18 - Compartimentação Ambiental de Crateús - Ceará.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A maior parte do município possui potencial para uso da agropecuária com bases sustentáveis, especialmente na região da depressão sertaneja, nos tabuleiros interiores. Porém, existem áreas que necessitam intervenções capazes de minimizar os problemas ambientais. Os resultados dessa pesquisa oferecem uma contribuição valiosa para o desenvolvimento de programas de ordenamento territorial e zoneamento ecológico-econômico em Crateús. O planejamento adequado é um instrumento essencial para alcançar a sustentabilidade, e no caso específico de Crateús, é ainda mais relevante devido à presença de inúmeras atividades socioeconômicas impactantes e proteção natural dos sistemas ambientais presentes.

3.2.1 Planícies Fluviais

As planícies fluviais são constituídas por áreas de sedimentação dos rios, também conhecidas como várzeas, pois são os segmentos mais baixos das bacias hidrográficas, na cota de 200 m de altitude. Correspondem as áreas dos depósitos aluvionares quaternárias, apresentando relevos planos (0% a 3% de declividade), que acompanham longitudinalmente o curso d'água mais expressivo de Crateús - o rio Poti, e baixo curso de diversos outros riachos. As planícies fluviais são resultantes do entalhe dos rios e pelo processo de acumulação, formando superfícies aplainadas com maiores larguras a partir do médio curso de rios e riachos (SOUZA, 2000).

Os Neossolos Flúvicos ocorrem preferencialmente próximos dos aluviões, ocupando as partes marginais dos cursos d'água, com o rio Poti. Possuem horizonte A sobre horizonte C que apresente caráter flúvico dentro de 150 cm (SANTOS, *et al.*, 2013). Segundo Pereira, Silva (2007), estes solos apresentam uma sequência de várias camadas diferenciadas, principalmente, pela textura e pela granulometria e que não guardam relações genéticas entre si. Ainda, segundo estes autores, os Neossolos Flúvicos dispõem de boas condições de fertilidades natural, sendo dotados com bom potencial para o uso agrícola.

Devido às melhores condições ofertadas, pelas partes marginais dos cursos fluviais, pelos solos aluviais mais férteis e de maior aporte hídrico, desenvolve-se uma vegetação ciliar (Figura 19) acompanhando o curso sinuoso daqueles principais drenos naturais que cortam o município de Crateús. Do extravasamento dos rios, em terrenos planos, pode-se resultar a formação de várzeas, onde a vegetação poderia ser considerada como uma extensão daquela ribeirinha (FERNANDES, 1990).

Figura 19 - Planície Fluvial do rio Poti.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pereira e Silva (2007) salientam que esta formação vegetal estende-se pelos médios e baixos cursos das bacias fluviais do estado, bem como as margens de lagoas. Além de algumas espécies próprias da caatinga, como o juazeiro, o marmeleiro e o sabiá, esta vegetação é enriquecida por outras espécies provenientes das matas serranas onde nascem os rios e seus afluentes. Entre tais espécies, podem ser citadas o *Combretum leprosum* (mofumbo), a *Licania rígida* (oiticica) e o *Tripalis gardneriana* (pajeú). Neste ambiente, foram visualizados mecanismos de ocupação que apresentaram relevância na transformação na dinâmica da paisagem, como atividades de extrativismo, agricultura e pecuária.

Destacam-se em meio à depressão sertaneja como ambientes de exceção devido às condições ambientais melhores, como solos férteis e maior disponibilidade hídrica (SOUZA, 1988). Como resultado, observa-se significativo desmatamento nesse sistema, devido às suas condições ambientais compatíveis.

Dessa maneira, devido à sua propensão à instabilidade, podem ocorrer perturbações nos processos morfopedogenéticos. Nesse contexto, a área em questão apresenta potencialidades relacionadas às reservas hídricas substituídas, ao ecoturismo, ao patrimônio paisagístico, ao agroextrativismo e às lavouras irrigadas.

Porém, é importante ressaltar que essa área enfrenta várias restrições legais, uma vez que está protegida por leis ambientais. Além disso, a ocorrência de inundações sazonais pode representar um desafio adicional, limitando o suporte para construções e dificultando a mecanização.

3.2.2 Planalto da Ibiapaba

Este sistema ambiental ocupa a porção oeste do município, na divisa com o Estado do Piauí. Seus terrenos apresentam litologia sedimentar da Formação Serra Grande (Grupo Jaicós), onde predominam arenitos com coloração bege, granulometria média a grossa, e arenitos conglomeráticos. Situada ao sul do vale do rio Poti, corresponde a superfície suave ondulada (3 a 8%) no topo e forte ondulada e montanhosa na borda (20 a 45%). Apresenta um relevo dissimétrico com uma vertente íngreme voltada para o Ceará e com reverso suave, estando na cota altimétrica de 400 a 750 m.

De idade siluro-devoniana, pertencente ao Grupo²² Serra Grande²³ (Província Parnaíba), que é constituída predominantemente de arenitos, com coloração bege, granulometria média à grossa e arenitos conglomeráticos; apresentam estratificações cruzadas de médio porte, tabulares e acanaladas, e níveis de grânulos na base, que caracterizam um ambiente flúvio-eólico pretérito. O Planalto da Ibiapaba representa a borda oriental da bacia do Parnaíba, que abrange todo o limite oeste do município de Crateús. Para Claudino-Sales (2016), trata-se de uma estrutura sedimentar de idade paleozoica, que tem como forma um glint (Figura 20), isto é, uma feição que remete a feição cuestiforme, porém tendo parte da vertente e/ou sopé sustentada em rochas cristalinas. Contudo, classificou-se como o front da cuesta da Ibiapaba.

²² As grandes divisões do tempo geológico têm o nome de Eras. Em cada Era os sedimentos que se depositam têm o nome dos grupos.

²³ Grupo Serra Grande – sequência de rochas sedimentares, de idade siluro-devoniana, da porção inferior da bacia intracratônica do Parnaíba. Da base para o topo, o grupo é constituído pelas formações Ipu, Tianguá e Jaicós.

Figura 20 – *Front da Cuesta da Ibiapaba, próximo ao distrito Tucuns.*



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A rede de drenagem é intermitente com baixo potencial hidrológico de superfície e padrão de paralelo com fluxo hídrico na direção do rio Parnaíba, por meio de rios conseqüentes. Vale ressaltar, que alguns cursos d'água assumem posição contrária ao relevo drenando o planalto. As encostas do Planalto da Ibiapaba geram um sistema de drenagem, isto é, um tipo de drenagem intermitente, com padrão de drenagem²⁴ dendrítico. Em terrenos do embasamento cristalino, como neste caso, a drenagem apresenta padrão dendrítico de textura aberta, com um controle estrutural nas áreas mais fraturadas e com lineamentos (SOUZA, 2000; CUNHA, 2008).

Neste sistema ambiental encontram-se Neossolos Quartzarênicos, solos pouco profundos e muito profundos, com contato lítico a uma profundidade maior que

²⁴ O padrão de drenagem está associado ao tipo de solo e de rocha e à estrutura geológica da área estudada. Assim, padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos de água que podem ser influenciados na sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas (controle estrutural), pela resistência litológica variável (controle litológico), pelas diferenças de declive e pela evolução geomorfológica da região (TRAJANO, *et al.* Análise Morfométrica Médio Mamanguape)

50 cm, excessivamente drenados, com horizontes A-C (SANTOS, *et al.*, 2013). Apresentam, ainda, textura areia ou areia franca até no mínimo a profundidade de 150 cm. No município de Crateús, encontram-se distribuídos sobre os arenitos da Formação Jaicós. Estes solos são comumente recobertos pela vegetação de Carrasco.

Também são encontrados Argissolos que compreendem solos que apresentam horizonte B textural, com argila de baixa ou alta atividade, imediatamente abaixo do A ou E, ou caráter alítico (SANTOS, *et al.*, 2013). De acordo com Lepsch (2010), são solos bastante intemperizados e apresentam marcante diferenciação de horizontes, devido ao acúmulo de argila no horizonte B. Esta classe de solo é copiosamente heterogênea, pois compreendem muitos solos intermediários para outras ordens. No SiBCS, estão subdivididos em 05 subordens, contudo, na área de pesquisa, têm o Argissolo Vermelho-Amarelo (JACOMINE, ALMEIDA, MEDEIROS, 1973).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos, no estado do Ceará, são encontrados nos relevos mais elevados, áreas serranas cristalinas; e nos relevos planos dos tabuleiros costeiros (PEREIRA, SILVA, 2007). Em Crateús, encontram-se, quase que exclusivamente, na vertente sustentada em rochas cristalinas do planalto do Planalto da Ibiapaba. Segundo Jacomine, Almeida e Medeiros (1973), no município de Crateús os Argissolos Vermelho-Amarelos encontrados apresentam boa saturação por bases (eutrófico). Contudo, são muito susceptíveis a erosão, devido, principalmente, a mudança de textura e o relevo acidentado e revestidos pela Caatinga.

Devido à sua tendência à instabilidade, é possível que tenha causado inquietações nos processos morfopedogenéticos, em função das condições aos terrenos com fortes ondulações e declividades acima de 20% na borda do planalto. Além disso, apresenta outras, limitações como a alta suscetibilidade à erosão e o impedimento à mecanização para a agricultura. Essas áreas apresentaram uma menor representatividade dentro do sistema ambiental.

No que tange às potencialidades, o sistema em questão apresenta potencialidades relacionadas à fertilidade natural dos argissolos, as chuvas mais regulares e com maior volume, além da maior disponibilidade de recursos hídricos (sub)superficiais., a ocorrência de inundações sazonais pode representar um desafio adicional, limitando o suporte para construções e dificultando a mecanização

3.2.3 Tabuleiros Interiores

Este sistema ambiental também apresenta áreas dos depósitos cenozoicos, do período terciário-quaternário: Depósitos Colúvio-eluviais. São coberturas sedimentares inconsolidados, constituídas de sedimentos argilo-arenosos e arenoso, com fragmentos de quartzo e localmente seixos de arenito. Os Tabuleiros Interiores, situados a sudoeste do município, ocorrem nos níveis altimétricos da depressão sertaneja, não ultrapassando entre 300 e 400 m. Em geral, apresenta relevo plano e suave ondulado no caimento topográfico em direção aos cursos d'água. Desenvolve sobre a litologia dos depósitos colúvio-eluviais, que se encontram distribuídos ao longo da base dos relevos escarpados (SOUZA, LIMA, PAIVA, 1979). Sua gênese tem relação com processos erosivos que atuaram no Planalto da Ibiapaba, durante o Cenozóico, para a aggradação destes depósitos de sedimentos.

No que diz respeito às condições hidrológicas, a área apresenta uma boa disponibilidade de águas subsuperficiais devido às condições geológicas, que favorece o armazenamento de água. A drenagem superficial segue um padrão predominantemente paralelo, com direção Sudoeste-Nordeste, e possui uma densidade menor de cursos d'água em comparação a áreas com rochas cristalinas. As atividades realizadas nessa área resultam em uma supressão intensa da vegetação, levando à formação de uma extensa área com solos expostos. No entanto, mesmo diante desse cenário, ainda existem algumas áreas de caatinga bem preservadas, com árvores de grande porte.

As características dos solos (Neossolos já mencionadas acima), combinada com uma estrutura geológica desempenha um papel crucial no ciclo da água, reduzindo o escoamento e, conseqüentemente, os processos de erosão. A presença de vegetação de Caatinga também contribui para a redução da erosão, principalmente quando está mais próxima de seu estado natural. Durante as campanhas de campo, foram observados indícios de processos de erosão que corroboram com Melo, Sales e Celina (2011) e Araújo (2022), com o desenvolvimento de ravinas e até mesmo voçorocas.

Devido à sua tendência a estabilidade, é um ambiente que apresenta potencialidade, do ponto de vista, para o agroextrativismo, a pecuária, a ocupação urbana e a retirada de materiais para construção civil. Contudo, apresenta algumas

limitações como a baixa fertilidade dos seus solos, a deficiência hídrica devido à estiagem.

3.2.4 Maciços e Cristas Residuais

As Cristas Residuais (Figura 21) apresentam-se como litologias das unidades Serra do Picote e Granitóide Nova Russas. Esta é composta por biotita-granito sem deformação, coloração cinza, de granulação fina a média, ocorrem na forma de stocks e diques, e comumente apresentam estruturas nodulares de turmalina; composição granítica a granodiorítica, cálcio-alcálica de alto-K. Aquela corresponde a condições metamórficas de fácies anfibolito. A unidade Granitóide Pedra Lisa é constituída por ortognaisses/metagranitóides geralmente miloníticos e de tonalidades cinzentas a esbranquiçadas, de granulação fina a média, apresentam composições granítica a granodiorítica e quimicamente inseridos na série cálcio-alcálica de alto-K.

Figura 21 - Pequenos Maciços e Cristas Residuais ao fundo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Nestas estruturas do embasamento cristalino, especialmente por granitos e granitóides do pré-cambriano que efetivam o trabalho da erosão diferencial truncando rochas mais brandas aos efeitos seletivos do trabalho erosivo no curso da

história geológica. São limitados por declive acidentado, predominando uma superfície extremamente acidentada. Segundo Maia e Bezerra (2014), em zonas de cisalhamento, como por exemplo, a ZC Tauá, estes corpos graníticos são mais resistentes à erosão, originando sobressaltos topográficos. Deste modo, suas formas de relevo têm gênese e evolução devido a causas estruturais e erosivas, sendo caracterizada por cristas com topos aguçados e vertentes íngremes com altitudes superiores, variando entre 500 metros.

Os Neossolos Litólicos recobrem os terrenos deste sistema ambiental possuem fraca evolução pedogenética, de textura arenosa ou média, fase pedregosa e rochosa, apresentando drenagem moderada a acentuada. Sua ocorrência está relacionado às cristas residuais de relevo ondulado a forte ondulado e associado a afloramentos rochosos. Grosso modo, seu perfil é composto por um horizonte A subjacente sobre a rocha R ou sobre a camada de alteração desta C (PEREIRA, SILVA, 2007). Quimicamente, são de alta fertilidade natural, caracterizando-se como eutrófico. Contudo, apresenta fortes limitações ao uso agrícola, devido à pedregosidade, pouca profundidade, fortes declives e alta susceptibilidade a erosão. Também ocorrem associados a afloramentos rochosos e, por vezes, recobertos pela caatinga.

Trata-se de um ambiente de transição com tendência à instabilidade e com dinâmica ambiental regressiva. Dentro das potencialidades tem-se a fertilidade natural dos solos e a atividade da mineração. Porém, como limitações pode-se citar a suscetibilidade a erosão, a declividade, dificuldades no manejo,

3.2.5 Depressão Sertaneja: os sertões de Crateús

A Depressão Sertaneja destaca-se no município de Crateús (2.189,27 km² - 72% do território do município) e desenvolve-se sobre o embasamento cristalino pré-cambriano, constituído pelos Complexos Tamboril-Santa Quitéria e Canindé do Ceará, além da Formação Caraúbas. O Complexo Canindé do Ceará, unidade litológica mais antiga na área estudada do paleoproterozóico, ocupa, majoritariamente, a porção leste do município de Crateús. Segundo Cavalcante, *et al.*, (2003), apresenta composição diversificada de litotipos. Esta unidade é constituída por paragneisses em níveis distintos de metamorfismo-migmatização, incluindo ortogneisses e rochas metabásicas. Com base em Costa (2011), ocorrem na área pesquisa as seguintes

subunidades paraderivadas: Paragnaisse Migmatítico; Metacarbonato, Metamórfica e Quartzito.

Ocupando, majoritariamente a porção central do município ocorrem litologias do Complexo Tamboril-Santa Quitéria (CTSQ). Segundo Cavalcante, *et al.* (2003), este Complexo corresponde a uma associação granítico-migmatítica, envolvendo granitóides neoproterozóicos, cinzentos e rosados, de granulação variável e geometrias e dimensões diversas; para e ortognaisses migmatíticos, além de rochas calcissilicáticas, anfibolitos e, localmente, rochas ferríferas e metaultramáficas.

Estas litologias engendraram um relevo plano a suave ondulado (0 a 8%), onde a superfície é truncada pela morfogênese mecânica. Predominam rampas de pedimentos, que convergem da periferia do planalto da Ibiapaba para as planícies fluviais. Isto é, sua superfície é aplainada por processos de pediplanação, onde os níveis altimétricos variam entre 250 e 400 metros (Figura 22).

Figura 22 - Superfície Aplainada, em primeiro plano, e o planalto da Ibiapaba, ao fundo.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A depressão sertaneja remete à elaboração de vasto aplainamento, resultante de processos de pediplantação gerados pelas condições de semiaridez e recuo paralelo das vertentes, com caimento topográfico no sentido das planícies fluviais ou a partir das bases dos planaltos sedimentares ou dos maciços residuais, cristas (Figura 12) (SOUZA, LIMA, PAIVA, 1979; CHRISTOFOLETTI, 1980). Para

Maia e Bezerra (2014), a exumação no embasamento cristalino nas zonas de cisalhamento controla as feições da morfologia, formando vales e cristas. Nos setores onde o controle estrutural é menos evidenciado, setores mais dissecados vão sendo individualizados, formando superfícies aplainadas e exposição contínua do embasamento. O padrão de drenagem é dendrítico com rios intermitentes.

Devido às características do relevo local há predominância de Planossolos e Argissolos, associados a Luvisolos e Neossolos Litólicos. Os Argissolos compreendem solos que apresentam horizonte B textural, com argila de baixa ou alta atividade, imediatamente abaixo do A ou E, ou caráter alítico (SANTOS, *et al.*, 2013). De acordo com Lepsch (2010), são solos bastante intemperizados e apresentam marcante diferenciação de horizontes, devido ao acúmulo de argila no horizonte B. Esta classe de solo é copiosamente heterogênea, pois compreendem muitos solos intermediários para outras ordens. No SiBCS, estão subdivididos em 05 subordens. Na área de pesquisa, predominam os o Argissolo Vermelho-Amarelo (JACOMINE, ALMEIDA, MEDEIROS, 1973).

Os Luvisolos são solos pouco profundos a rasos, com cores que variam de vermelha a acinzentadas; têm com horizonte B textural ou nítico abaixo do horizonte A ou E; apresentam alta saturação por bases e grande quantidade de argila de atividade alta (SANTOS, *et al.*, 2013). Apresentam textura argilosa e média, o que pode engendrar certo fendilhamento nos períodos secos. São férteis, com horizontes bem diferenciados A, Bt, C.

Segundo o Levantamento Exploratório-Reconhecimento dos Solos do Estado do Ceará (JACOMINE, ALMEIDA, MEDEIROS, 1973), os luvisolos, encontrados em na depressão sertaneja de Crateús, apresentam caráter crômico, textura média cascalhenta ou argilosa com cascalho, e fase pedregosa em relevo suave ondulado, além de alta fertilidade natural. Conforme explicita Lepsch (2010), os Luvisolos Crômicos são comumente encontrados no Nordeste brasileiro, devido as condições climáticas, com chuvas escassas e mal distribuídas. Em contrapartida, estes solos são bastante utilizados para pecuária, lavoura de ciclo curto, mesmo com limitações quanto à deficiência de água e susceptibilidade a erosão (PEREIRA, SILVA 2007).

Os Planossolos são solos constituídos por material mineral, com horizonte A ou E, seguido de horizonte B plânico, que refere-se a mudança textural abrupta e com presença de estrutura prismática, colunar ou subangular (SANTOS, *et al.*, 2013).

De acordo com Lepsch (2010), este considerável aumento de argila, justifica a permanência de água acima do horizonte do horizonte B, e quando seco apresenta fendilhamento. Em Crateús, este tipo de solo pode ser visto às margens das áreas de inundação temporária e nas várzeas dos rios. Jacomine, Almeida e Medeiros (1973) identificaram Planossolos Háplicos com A fraco textura arenosa cascalhenta ou argilosa com cascalho. Estes solos têm alta saturação por bases e caráter solódico. A saturação por bases de Na está entre 6 e 15% no horizonte plânico , sendo quimicamente desfavoráveis devido aos altos teores de sódio.

A cobertura vegetal é caracterizada pela ocorrência da caatinga, com alto grau de alteração por parte das atividades humanas ali desenvolvidas, seja o extrativismo, a pecuária ou a agricultura. Em condições naturais e com estratégias apropriadas, os ecossistemas das terras secas conseguem manter um equilíbrio na troca de água e energia. No entanto, essa situação é rapidamente perturbada quando ocorre um uso inadequado da terra. Na Depressão Sertaneja, em Crateús foram visualizadas práticas da atividade agropastoril tradicional, como a queimada (Figura 23).

Figura 23 - Queimada para preparar a terra para o plantio.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O sistema de cultivo empregado é o de sequeiro, que constitui o uso da terra mais empregado pelos agricultores no sertão nordestino, tendo como principal característica a dependência da chuva (ARAÚJO FILHO, 2013). Tem como característica o caráter itinerante, que desmata e queima para plantio por até dois anos e pousio para recomposição vegetal e pedológica. A pecuária segue o modelo extensivo, onde a caatinga em parte do ano, é a única fonte de alimento para os rebanhos.

Este sistema apresenta-se como um ambiente de transição com tendência a instabilidade, principalmente nos setores mais degradados. Em relação às potencialidades, é importante destacar a boa fertilidade dos solos, relevo favorável para agropecuária e a possibilidade de extrativismo nesse sistema ambiental. No entanto, é necessário mencionar que as terras que compreendem esse sistema apresentam limitações significativas. Entre elas, merecem destaque pluviometria escassa e irregular, potencial diminuto de águas superficiais e subterrâneas e salinização.

4 SUSCETIBILIDADE À DESERTIFICAÇÃO E EROSÃO DOS SOLOS NA DEPRESSÃO SERTANEJA DE CRATEÚS

4.1 Indicadores de Desertificação

O IBFD foi aplicado no sistema ambiental da depressão sertaneja, que é a área do município de Crateús que representa a parte semiárida, e o valor obtido foi 3,17 (Tabela 08). O valor observado resulta em moderada susceptibilidade, exibindo características típicas de ambientes em transição, com tendência a instabilidade, resultando em moderada susceptibilidade a desertificação. De maneira geral, os IBFD analisados mostram que os tipos de rocha e a espessura dos solos, juntamente com a cobertura vegetal foram os fatores que alcançaram os maiores pesos dentre as possibilidades de ocorrência do fenômeno da desertificação.

Tabela 06 – Índice Biofísico de Desertificação para a Depressão Sertaneja de Crateús.

Indicador	Parâmetro	Valor
IBFD 1 - Geologia (Litotipos e Permeabilidade)	Rochas Metamórficas	2
IBFD 2 - Geomorfologia (Declividade/Topográfico)	Suave Ondulado	4
IBFD 3 - Zonação Climática (Pluviometria)	Zona Semiárida	3
IBFD 4 - Solo (Espessura)	Moderadamente Raso	3
IBFD 5 - Solo (Erosão)	Erosão em sulcos	4
IBFD 6 - Cobertura Vegetal (Estrato Vegetal)	Estrato arbustivo médio	3
IBFD		3,17
Desvio Padrão		0,75277

Segundo PAE/CE (CEARÁ, 2010), Crateús está inserido na Área Susceptível a Desertificação, tendo nível de ocorrência configurado como muito grave. Entretanto, os resultados do trabalho realizado não estão em concordância com os dados do mapeamento supracitado. De acordo com os valores obtidos, verifica-se que o Sertão de Crateús se encontra em uma Área de Suscetibilidade à Desertificação (ASD), onde a ocorrência dos processos de desertificação é moderada. Oliveira (2011), analisando Patamares Aplainados dissecados em Cabo Verde, encontrou um valor de IBFD de 2,57. No município de Independência, Silva (2018) registrou valores de IBFD variando de 2,38 a 2,88 nos sertões analisados. Numa pesquisa realizada, Peixoto, Pereira Neto e Guedes (2021), encontraram valores diversos nas diferentes

áreas analisadas, na Depressão Interplanáltica do Complexo Caicó, o valor do IBFD foi 2,5.

4.1.1 IBFD 1 - Geologia

O Índice Biofísico de Desertificação 01 apresentou características que refletem sua constituição litológica do embasamento cristalino, com o valor 2. As rochas presentes na Depressão Sertaneja de Crateús (Figura 24) demonstram baixa resistência aos processos de intemperismo devido sua constituição mineralógica granular. Outra característica se refere a permeabilidade devido a dificuldade na infiltração e armazenamento de água em subsuperfície.

Figura 24 - Exposição de Rochas Metamórficas (Paragneisses).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

O resultado obtido foi semelhante ao encontrado por Silva (2018), que analisou também rochas metamórficas e obteve um valor de índice igual a 2. Peixoto, Pereira Neto e Guedes (2021) constataram valor deste IBFD analisado igual a 1, na Depressão Interplanáltica do Complexo Caicó. Na pesquisa de Souza, Souza e Sousa (2022), ao analisar os sertões do Alto Santo, foi obtido um índice igual a 3; para os sertões de Iracema/Potiretama, um índice de 3,33; e para os Sertões de Pereiro/Ererê, um índice de 2,33. Albuquerque, Lima e Sousa (2023), em seu estudo sobre

Degradação Ambiental, analisaram que esses tipos de rocha apresentam menor resistência aos processos de intemperismo físico.

Pode-se observar uma relação deste IBFD com a composição litológica do terreno, influenciando suas características morfológicas, como textura, composição química e mineralógica. Além disso, uma composição litológica também afeta a taxa de intemperismo que os solos enfrentam em condições semiáridas. Na pesquisa de Pereira, Oliveira Junior e Lobão (2020), foi identificado um alto índice de suscetibilidade à desertificação, porém em ambientes que possuem a presença de arenitos e calcário, sendo consideradas frágeis à desagregação mecânica.

4.1.2 IBFD 2 - Geomorfologia

O Índice Biofísico de Desertificação 02 revela a presença de terrenos dissecados e áreas de aplainamento com base no mapa de declividade (Figura 32), apresentando valor 4. O sistema ambiental da Depressão Sertaneja exibe declividade variando entre 3 – 8%. Corroborando com Silva (2018), Albuquerque, Lima e Sousa (2023), os valores de topografia e de declividade, que expressam o potencial dos processos morfodinâmicos, torna este sistema ambiental menos propício aos processos de erosão devido ao índice topográfico, portanto, menos susceptível a desertificação.

Conforme explicita Pereira, Oliveira Junior e Lobão (2020), as classes de suscetibilidade alta e severa são predominantemente encontradas em relevos retilíneos e côncavos, devido às maiores chances de ocorrência de processos erosivos. Souza, Souza e Sousa (2022) salientam que as áreas planas e suaves onduladas favorecem aos tipos de ocupação humana, que causam transformações significativas na paisagem (Figura 25). Dessa maneira, podem inclusive interferir na dinâmica de outros elementos naturais.

4.1.3 IBFD 3 – Índice de Aridez

Conforme a bibliografia utilizada, o IA utilizado para calcular o Índice Biofísico 03, resultou no valor 0,33. Isto insere o sistema ambiental analisado em áreas semiáridas, configurando IBFD3 de valor 3. Souza, Souza e Sousa (2022) observam

que esses valores refletem a natureza semiárida e, conseqüentemente, a elevada suscetibilidade à desertificação.

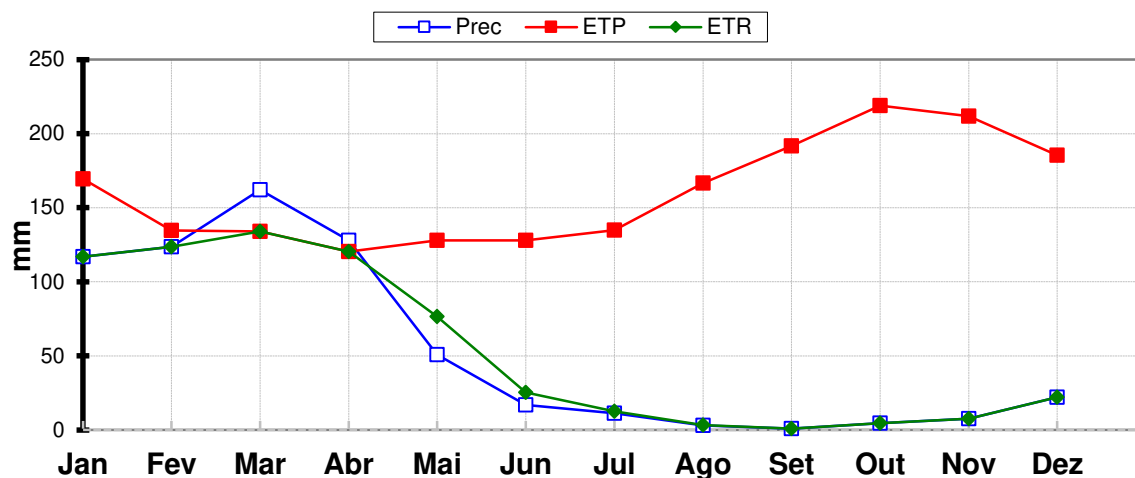
Figura 25 – Relevo suave ondulado com seu uso e ocupação.



Fonte: Autor (2021).

O balanço hídrico de Crateús pode ser visto no Gráfico 3, utilizando os valores obtidos (Tabela 7). O município apresenta alta taxa de ETP mensal e a precipitação média anual ($P = 647,7 \text{ mm}$) não excede a ETP, tendo nenhum excedente hídrico e deficiência hídrica na totalidade do ano. Observando o Balanço Hídrico Normal, pode-se observar que o ano já começa com déficit hídrico, havendo reposição nos meses de março e abril, contudo em seguida verifica-se retirada hídrica. Não há excedente hídrico, nem nos períodos mais chuvosos do município. Com o passar do ano, as precipitações diminuem, ao ponto de ficarem escassas, e a ETP chega aos seus maiores índices, havendo uma sequência de valores negativos e gerando uma alta perda potencial acumulada ($ETP = 1924,1 \text{ mm}$).

Gráfico 3 - Balanço Hídrico Normal de Crateús.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Tabela 7 - Balanço Hídrico Normal de Crateús (CE).

Tempo	T	P	ETP	ETR	DEF	RET	REP	EXC
meses	°C	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Jan	28,04	117,00	169,50	117,0	52,5	0,00	0,00	0,0
Fev	27,01	123,60	134,62	123,6	11,0	0,00	0,00	0,0
Mar	26,39	162,10	134,04	134,0	0,0	0,00	28,06	0,0
Abr	26,00	127,90	120,42	120,4	0,0	0,00	7,48	0,0
Mai	26,25	50,90	128,01	76,6	51,4	-25,71	0,00	0,0
Jun	26,51	16,90	127,97	25,2	102,8	-8,29	0,00	0,0
Jul	26,65	11,20	134,93	12,5	122,4	-1,35	0,00	0,0
Ago	28,00	3,10	166,68	3,3	163,4	-0,18	0,00	0,0
Set	29,11	0,90	191,68	0,9	190,8	-0,01	0,00	0,0
Out	29,73	4,50	218,84	4,5	14,3	0,00	0,00	0,0
Nov	29,65	7,50	211,87	7,5	204,4	0,00	0,00	0,0
Dez	28,44	22,10	185,51	22,1	163,4	0,00	0,00	0,0

Fonte: Thornthwaite e Mather (1995), FUNCEME (2020); INMET (2020).

Legenda: T – temperatura; P – precipitação; ETP – evapotranspiração potencial; ETR – evapotranspiração real; DEF - deficiência hídrica; RET – retirada; REP – reposição hídrica; EXC – excedente hídrico.

Esteves e Cruz (2022) afirmam que tais condições climáticas podem ocasionar o agravamento da degradação das terras, pois durante o período chuvoso, as cheias são mais violentas e torrenciais. Além da quantidade, a alteração interanual da precipitação com anos de seca, pode evidenciar ainda mais severidade climática. Costa (2022), Soares, Nóbrega e Galvíncio (2018), observaram em suas pesquisas que esta variabilidade climática tem mostrado que anos secos foram maiores em quantidades do que anos úmidos, na séria histórica analisada e em algumas áreas

suscetíveis à desertificação apresentaram tendência negativa de precipitação, com influencia no IA com a mudança de semiárido para árido.

Todo o uso das terras secas que não tomem em consideração as suas limitações e o conjunto de contrastes na produtividade e na vulnerabilidade que as acompanha, significará na utilização errônea e conduzirá a desertificação (HARE, *et al.*, 1992). Em ecossistemas secos, a escassez de água é a principal restrição a produtividade biológica, a desertificação provém usualmente da reduzida disponibilidade de água (WARREN, MAIZELS, 1992)

4.1.4 IBFD 4 e 5 - Solo

O Índice Biofísico de Desertificação 04 foi avaliado com base na espessura, dentre as demais características dominantes do solo. Devido à quantidade e complexidade dos fatores envolvidos nos processos de estudos dos solos, torna-se extremamente complicado e custoso quantificá-los diretamente no campo, sobretudo, em áreas com grandes extensões territoriais. Dessa maneira, buscou-se na obra de Jacomine, Almeida e Medeiros (1973) associado a comparações realizadas em perfis nos trabalhos de campo, a ponderação para valor 3. Em geral, os solos na depressão sertaneja são moderadamente rasos.

As classes de solos que predominam nos sertões de Crateús são os Luvissolos (Figura 26), Planossolos, Argissolos e Neossolos Litólicos. À exceção deste último solo, todos os demais ultrapassam com facilidade a medida de 50 cm de profundidade. Ademais, outras características físicas do próprio solo poderiam ser discutidas, pois, como afirmam Martins e Silva (2022), possuem relação direta ou indireta com a forma como este solo se comporta, seja para fins de produção econômica ou como resposta a uma determinada ação que foi realizada naquele meio, neste caso, sistema ambiental. Silva (2018) salienta que a suscetibilidade à erosão está relacionada também a outros fatores ambientais, como topografia, declividade, entre outros.

O Índice Biofísico de Desertificação 05 tem sua importância como ação dos processos morfodinâmicos sobre os solos aliado as formas de uso e ocupação. Analisado a partir da observação em campo, tendo como base o registro fotográfico, foi determinado o valor 4. Os sertões de Crateús apresentaram evidências de sulcos de erosão (Figura 27) numa incisão do escoamento superficial em função das

propriedades morfológicas dos solos, juntamente como declive e o uso da terra. Hare, *et al.*; (1991) asseveram que a estrutura e textura do solo, a topografia e os tipos de vegetação interferem na desertificação.

Figura 26 – Luvissole na área da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 27 - Sulcos de erosão em Luvissole.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Pontuações semelhantes e próximas foram encontradas por Peixoto, Pereira Neto e Guedes (2021) e Silva (2018), com valores de 3 e 4, respectivamente. A combinação de intensos processos morfodinâmicos com as características morfológicas dos solos tendem a potencializar os efeitos da desertificação. A maior espessura e textura dos solos, que dificultam a percolação e retenção da água, e a presença de uma vegetação com baixa capacidade de proteção produz um maior escoamento superficial. Pereira, Oliveira Junior e Lobão (2020) observaram a ocorrência de uma maior susceptibilidade à desertificação em decorrência da presença de Neossolos Quartzarênicos.

4.1.5 IBFD 6 - Cobertura Vegetal

O Índice Biofísico de Desertificação 06 corresponde ao estrato vegetal atual da cobertura vegetal, inserindo a relação com as formas de uso e ocupação do sistema ambiental. Com base no reconhecimento realizado na contextualização ambiental, foi possível evidenciar o recobrimento vegetal e enquadrá-lo com valor 3. Nos sertões de Crateús, o NDVI revelou que houve variação de baixo a moderada no Índice de Cobertura vegetal do estrato arbustivo (Figura 28). Este sistema ambiental apresenta-se bastante explorado por atividades humanas, que alteraram seu padrão fisionômico.

Peixoto, Pereira Neto e Guedes (2021) identificaram valores de razoáveis a satisfatórios, dispondo de atributos típicos de ambientes transitórios com presença de vegetação densa e desenvolvida. Albuquerque, Lima e Sousa (2023) discutem a importância das áreas com cobertura natural. Nesses locais que não foram encontradas ações de intervenção antrópica significativas no ambiente e a existência de algum processo de degradação ambiental pode ser considerado natural (degradação ambiental potencial). Após a aplicação dos indicadores biofísicos, é possível verificar os níveis ou índices de susceptibilidade de desertificação da depressão sertaneja são baixos.

Figura 28 – Caatinga Arbustiva.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2 Potencial de Erosão

A USLE é um modelo matemático que considera seis fatores cujo produto resulta na estimativa da quantidade de solo perdido por erosão laminar. Essa equação é um instrumento prático obtido por meio de análises estatísticas de dados experimentais e foi desenvolvida para auxiliar no planejamento de medidas de conservação do solo. Sabe-se, que a USLE apresenta algumas limitações, como o seu uso mais adequado em grandes áreas, uma vez que foi originalmente criada com base em observações em pequenas parcelas experimentais. No entanto, com o intuito de reconhecer os processos superficiais de perda de solo, foram analisados os parâmetros da EUPS relacionados as condições de declividade do terreno, a intensidade das precipitações, a cobertura vegetal e a capacidade do solo de resistência a erosão, que servem para perceber qualitativamente as áreas quanto a sua maior ou menor suscetibilidade à erosão laminar.

A Tabela 8 apresenta os resultados dos parâmetros da EUPS para a Depressão Sertaneja de Crateús. Foi possível perceber que a declividade não apresenta grandes riscos à erosão, entretanto, os demais critérios estudados apresentam valores de média à alta potencialidade para os processos erosivos.

Tabela 8 - Resultados dos critérios obtidos a partir da aplicação da EUPS.

Sistema Ambiental Depressão Sertaneja			
Área (m ²)	40		
Fator R (MJ.mm.ha ⁻¹ .h ⁻¹)	1.720,12		
Fator K (ton.ha.h/ha.MJ.mm)	0,027		
Fator LS (declividade - %)	5		
Fator CP (adimensional)	AE II	AE III	AE IV
	0,01	0,1	1,0

4.2.1 Erosividade da Chuva (R)

Com base nos estudos levantados na contextualização ambiental, foi possível estimar os valores de Erosividade das Chuvas para os Sertões de Crateús com base na precipitação. No período analisado de 2000 a 2019, a precipitação medial anual de Crateús foi de 647,84 mm por ano. A maior pluviosidade observada acontece entre os meses de janeiro a maio, que variam entre 50 e 160 mm por mês. Por outro lado, com os meses entre julho e dezembro são os meses de menores precipitações pluviométricas médias mensais. Isto irá refletir diretamente a ação temporal da erosividade da chuva.

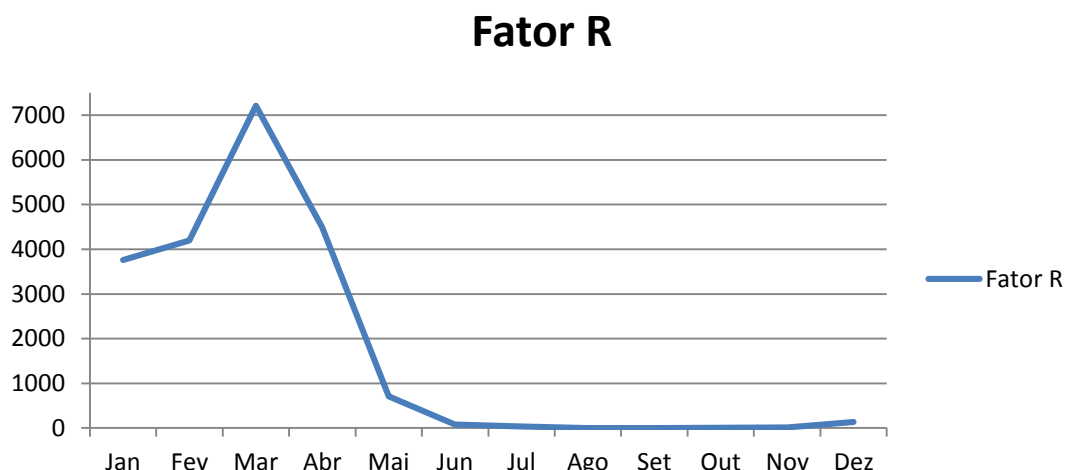
O valor da R media/anual nos sertões de Crateús giram em torno de 1700 MJ.mm/ha.h.ano, classificado como erosividade fraca. No entanto, os valores calculados da R, por meio dos postos pluviométricos, variaram bastante ao longo do ano. Os intervalos de valores podem ser observados na Tabela 9. Os maiores valores de R são encontrados no início do ano (Jan - Mai), chegando a atingir a classe de intensidade moderada, época que compreende a estação chuvosa, característica da distribuição irregular no tempo e no espaço (Gráfico 04). Esse fenômeno pode ser entendido a partir do sistema atmosférico ZCIT, que vai influenciar nas precipitações.

Tabela 9 - Série histórica de precipitação pluviométrica (mm) para o município de Crateús, com base nos postos localizados no município.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total Precipitação Anual (mm)
2001	24,8	128,2	129	113	13,3	40,1	11,3	0	1	0	0	0	460,7
2002	306,6	44,1	192,6	116,6	20,6	19,2	0,5	0	0	0	0	11,4	711,6
2003	98,4	159,1	347,6	98,5	23,6	63,2	2,6	0	0	0	0	0	793
2004	584,1	196,7	67,4	53,9	24,8	28,1	3,4	0	0	0	14,8	8,1	981,3
2005	140,9	26,6	262,4	54	101,3	26	0	5,6	0	0	0	7,5	624,3
2006	90,8	128,8	111	220,5	63,3	20,9	0	0	0	0	0	0	635,3
2007	0	281,9	96,1	67,5	29,9	2	0	0	0	0	0	46,8	524,2
2008	51,8	160,9	459,1	234,3	40,8	0,4	5,3	13,3	0	0	0	0	965,9
2009	100,4	152	194,1	457,1	232,6	15,1	10,3	0	0	0	0	10	1171,6
2010	74,4	0	81,4	122	12,5	0	47,7	0	1,4	32,8	0	137,1	509,3
2011	197,9	154,1	128,5	160,8	187,3	7,3	11,6	0	0	8	0	4,8	860,3
2012	45,8	85,1	68,5	36,9	6	8	82,4	13,3	0	7,1	3,3	0	356,4
2013	5,9	94,6	49,8	71,5	25	41,8	3,1	0	9,3	1	75,4	16	393,4
2014	35,8	77,8	217	41,3	16,8	1,3	0	10	0	18,9	20,6	11	450,5
2015	33,6	86,8	165,4	96,9	14,8	27,9	4,8	0	0	0	0	7,5	437,7
2016	325,5	51,2	130,2	41,7	9,1	3,8	10	0	6	3,3	3	32,9	616,7
2017	38,5	177,1	88	97	64,4	10,5	5,8	15,8	0	0	5	9,3	511,4
2018	32,1	187,5	118	186,2	15,8	1	13	0	0	15,1	20	117	705,7
2019	36,1	156,5	173,9	160	65	5,3	1,3	0	0	0	0,5	1,1	599,7
Precipitação Média Mensal (mm)	117,021	123,6	162,1	127,9	50,9	16,9	11,2	3,1	0,9	4,5	7,5	22,1	647,84
	moderada	moderada	moderada	moderada	fraca	fraca	fraca	fraca	fraca	fraca	fraca	fraca	Fator R média/anual (MJ.mm/ha.h.)
Fator R (MJ.mm/ha.h.ano)	3759,66	4194,29	7214,18	4491,2	711,30	78,41	34,43	2,63	0,22	5,55	15,44	134,0	1720,12

Fonte: FUNCEME (2020).

Gráfico 4 – Fator R.



Comparando com outras pesquisas em áreas de clima semiárido o valor encontrando foi distinto. Sales (2015) discutindo a erosividade das chuvas na região de Irauçuba (CE) encontrou valores de moderada a forte erosividade, que variam entre 4218 e 7481 MJ.mm/ha.h.ano. Aquino, Oliveira e Aquino (2017) verificaram no município de Gilbués (Piauí), valores de erosividade das chuvas entre 6.518,8 a 7.041,1 MJ.mm/ ha.h.ano. Oliveira Junior *et al.*, (2019) encontrou, no cariri cearense, erosividade anual das chuvas, representadas pelo fator R, para o período estudado correspondente a 7.045,03 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Xavier, *et al.*, 2019 estimaram valores de erosividade (fator R), no sertão pernambucano, que variam de 2.362 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ a 4.281 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

Entretanto, Silva, *et al.* (2020) analisando a erosividade de uma bacia hidrográfica, no Oeste Potiguar, considerou como baixa a ação da erosão hídrica. Sillero-Medina, Martinez-Murillo, Ruiz-Sinoga (2021), pesquisando o sul da Espanha, encontraram para uma bacia hidrográfica valores entre 1500 e 2 500 MJ mm⁻¹ ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Assim, como, SILVA, *et al.* (2022) observaram o valor médio da erosividade da chuva que representa o Fator R da USLE é de 3275 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, para o semiárido paraibano.

Enfim, percebeu-se que os Sertões de Crateús compreendem uma área com baixa impacto da Erosividade da Chuva, porém a identificação de períodos do ano em que sua é mais intensificada deve-se priorizar para pensar em ações conservacionistas e de manejo dos solos.

4.2.2 Erodibilidade do Solo (K)

O fator Erodibilidade do Solo (K) expressa a sua susceptibilidade à erosão, uma resposta as suas propriedades como textura, estrutura, porosidade, dentre outras características. Neste estudo, optou-se por utilizar os dados das descrições texturais dos horizontes superficiais nos perfis de solo descritos por Jacomine, Almeida, Medeiros (1973), que ocorrem no município de Crateús. Dessa maneira, foi possível determinar o K da EUPS dos solos presentes da depressão sertaneja. Conforme indicado na Tabela 10, os valores de erodibilidade dos solos variam de 0,011 a 0,033, indicando alta, média e baixa erodibilidade. De maneira geral, os solos presentes nos sertões de Crateús possuem textura média, arenosa ou cascalhenta.

Tabela 10 - Fator K.

Classe de Solo	Fator K (ton.ha.h/ha.MJ.mm)
Planossolo	0,011
Neossolo Litólico	0,023
Luvissolo –	0,027
Argissolo –	0,033

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os Luvissolos, nas áreas experimentais, são solos moderadamente profundos a rasos, tendo sequência de horizontes A, Bt e C, com espessura do A, Bt, variando normalmente entre 30 e 90 cm, textura arenosa ou média. A erosão laminar nestes solos, muitas vezes, chega a ser severa ou em sulcos (Figura 30) repetidos ocasionalmente ou com frequência. Os Argissolos apresentam sequência de horizontes A, Bt e C, com profundidade do A, Bt, na maioria dos perfis, superior a 100 cm. Essa relação textural enseja uma tendência natural a serem mais susceptíveis.

Os valores de erodibilidade encontrados nesse estudo, possivelmente foram influenciados pela textura (média a arenosa em ambos os solos). Na Figura 30, observa-se com maior clareza a influência dos percentuais de areia com silte sobre os valores de erodibilidade. De acordo com os resultados os solos que possuem maiores instabilidades a erosão são os Luvissolos e os Argissolos, com os Neossolos Litólicos e Planossolos respectivamente. Isso nos mostra que a maior parte da

Depressão Sertaneja de Crateús recoberta pelos Luvisolos sofre com a suscetibilidade moderada dos seus solos à erosão.

Figura 29 - Erosão em sulco em um Luvisolo exposto.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Os resultados obtidos para a Depressão Sertaneja de Crateús estão de acordo com a literatura para áreas semiáridas brasileiras. Araújo (2003) analisando a Bacia Hidrográfica do Açude Várzea do Boi, em Tauá, encontrou valores medidos entre $0,032 \pm 0,008 \text{ t.h.MJ}^{-1}.\text{mm}^{-1}$ do Fator K. Nascimento e Santos (2017) encontraram altas taxas de Neossolo Litólico, sendo o solo mais suscetível à erosão e uma bacia hidrográfica na Bahia. Damasceno, *et al.* (2023) depararam-se com Argissolos Vermelho Amarelo de valores $0,022895 \pm 0,061942 \text{ t ha}^{-1}\text{h/ha MJ mm}$, sendo considerados alto e extremamente alto, talvez a justificativa esteja no fato de Argissolos apresentarem uma mudança de textura entre os horizontes, sendo o horizonte superficial com um maior percentual de areia.

Albuquerque, *et al.* (2005), estudando Luvisolos calcularam os valores da erodibilidade (K), em $0,013 \text{ t h MJ}^{-1}\text{mm}^{-1}$. Pereira (2016) analisando áreas semiáridas cearense encontraram Luvisolos e Argissolos com valores de erodibilidade 0,0328 e 0,0258, respectivamente. Dornellas, *et al.* (2017) estudaram a erodibilidade dos solos e apontaram que a classe dos Neossolos litólicos e dos Luvisolos apresentam alto

risco à degradação devido a sua alta erodibilidade. Zuza (2019) observou valores baixos de erodibilidade para Luvissolos, na Paraíba.

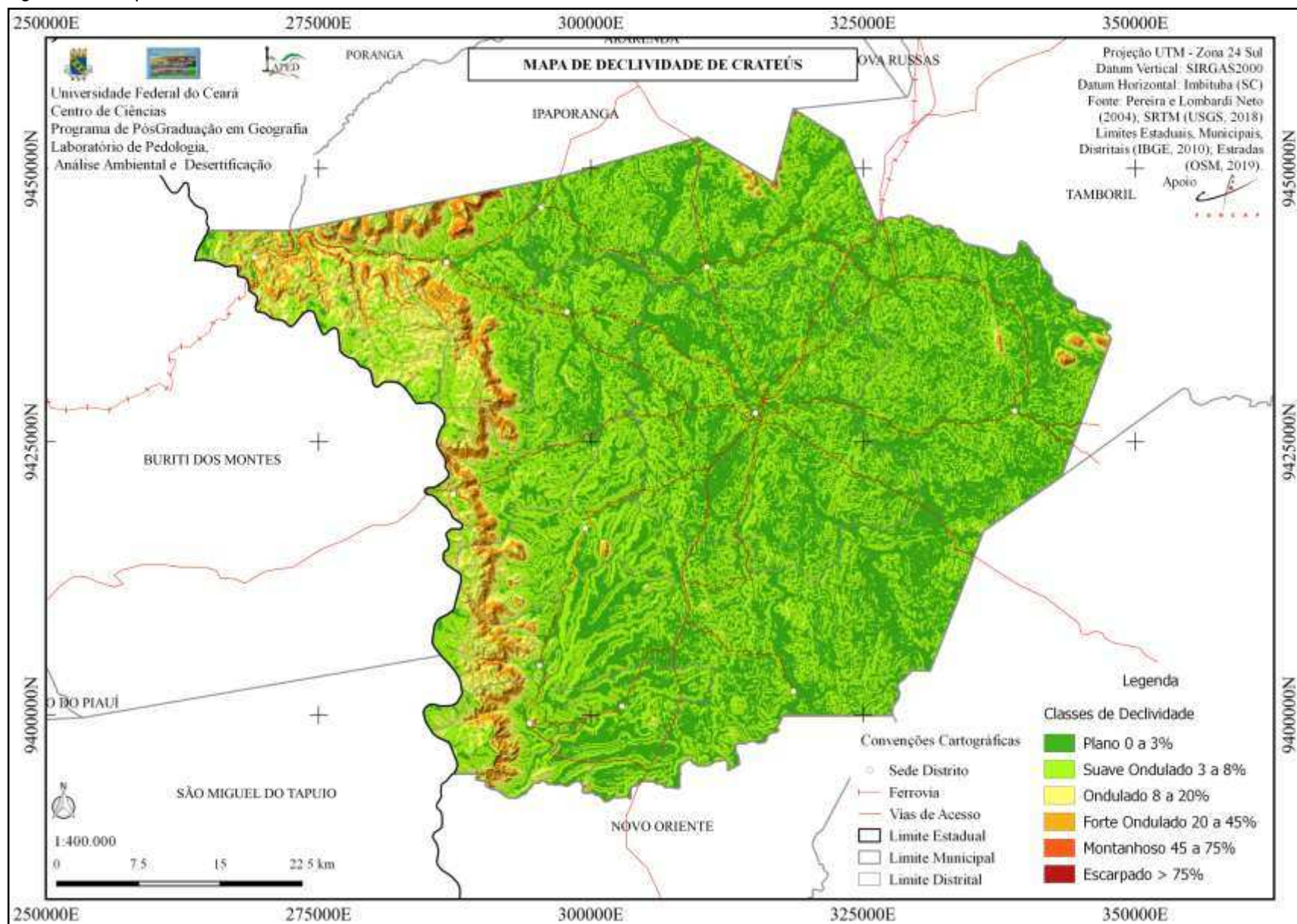
4.2.3 Topografia (LS)

O fator Topográfico (LS) refere-se ao comprimento e a declividade da encosta. Quanto mais íngreme a encosta maior a velocidade e a vazão de água. Entretanto, optou-se pela elaboração do Mapa de Declividade do Município de Crateús (Figura 31) como alternativa para analisar a influência da topografia para o risco de erosão na Depressão Sertaneja. É importante perceber que a declividade dos terrenos deste sistema ambiental apresenta-se como relevo suave ondulado, quase 70% da área municipal. Portanto, mais de 2/3 do município são constituídos por áreas com declividade baixa, engendrando condições de baixa suscetibilidade a erosão.

Nesta pesquisa, diante da utilização apenas das classes de declive, torna-se praticamente inviável a comparação dos resultados ora apresentados com os já dispostos na literatura. Contudo, corroborando com Miqueloni, Bueno, Ferraudó (2012), a topografia potencializa do processo erosivo. Dessa maneira, percebe-se que a declividade não é um fator que exerce papel central no potencial erosão dos solos. Entretanto, deve-se ter atenção, pois este fator pode acelerar significativamente os processos erosivos.

Dornellas *et al.* (2017) salienta que o relevo é importante condicionante dos processos erosivos na medida que regula a velocidade e a direção dos fluxos hídricos nas encostas. Nascimento e Santos (2017), Morais e Sales (2017), OLIVEIRA, U., *et al* (2023), discutiram a relação espacial do Fator LS com a declividade, pois nas suas pesquisas as áreas que apresentavam elevados índices de inclinação. OLIVEIRA, P., *et al* (2023) também observaram que áreas mais elevadas do município com declividade que ultrapassa os 45 graus, proporcionam uma maior instabilidade do solo num estudo em Caicó, Rio Grande do Norte.

Figura 30 - Mapa de Declividade de Crateús.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.2.4 Uso e Manejo do Solo e Práticas Conservacionistas (CP)

O recobrimento vegetal é visto como um dos principais fatores de proteção do solo contra a ação da erosão hídrica, por representar uma proteção natural do solo. Segundo Tricart e Kilian (1982), a redução e a modificação da cobertura vegetal é o principal vetor de degradação ambiental. Pois, a vegetação desenvolve-se sobre o solo, contribuindo com a matéria orgânica, bem como protetora dos efeitos dos processos erosivos.

O fator CP associa o efeito da cobertura vegetal e manejo do solo. O fator P associa-se as perdas de solo quando feito com práticas conservacionistas. O fator P é obtido através de literatura, conforme explicita Wischmeier, Smith (1978). Neste caso, uma vez que nenhuma prática de conservação foi visualizada nas áreas analisadas foi atribuído o valor 1. O fator C refere-se ao manejo do solo, sendo definido como a relação de perda de solo em determinadas condições.

Os valores do fator C foram obtidos a partir da literatura (ARAÚJO, 2003; DORNELLAS, *et al.*, 2017; OLIVEIRA, P., *et al.*, 2023; OLIVEIRA, U., *et al.*, 2023), existente e da correlação dos dados de uso e ocupação apresentados na contextualização ambiental. A Tabela 12 apresenta os valores do Fator C para cada tipo de uso e manejo do solo. A vegetação Arbustiva é caracterizada pelo menor valor, nestes espaços a utilização do solo é reduzida, com pouco ou quase nulo o desenvolvimento de atividades humanas (Figura 32). A vegetação apresenta-se mais conservada e a capacidade protetora da vegetação reduz os impactos da erosão sobre o solo.

Tabela 11 – Valores de Uso e Manejo do solo (CP)

Cobertura Vegetal	Uso do Solo	Fator C
Solo exposto	Solo desnudo	1,000
Caatinga Arbustiva Aberta	Cultura de Crescimento rápido, Pastagens	0,1
Caatinga Arbustiva	Áreas não usadas atualmente	0,010

Fonte: Araújo (2003); Melo, Sales, Oliveira (2011); Ribeiro, Albuquerque (2017); Dornellas, *et al.* (2017); Oliveira, P., *et al.* (2023); Oliveira, U., *et al.* (2023).

Figura 31 - Áreas não usadas atualmente.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

As áreas com uso de Culturas Rápidas e Pastagens caracterizam-se por vegetação esparsa e muitas vezes abertas da Caatinga, que correspondem as áreas expostas onde se pratica comumente a pecuária (Figura 33). O maior valor atribuído ao Fator C foi nas áreas que apresentam ações danosas do homem no ambiente, e que correspondem aos Solos Expostos ou desnudos de vegetação (Figura 34).

Dentro dos critérios estabelecidos para o fator CP estas são as áreas onde a intensa ação dos processos erosivos. Dessa maneira, é possível observar, os efeitos se manifestam devido à falta de cobertura vegetal, pois os solos ficam pouco protegidos contra os efeitos da chuva, resultando em maior desagregação e transporte das partículas da superfície do solo, contribuindo para um aumento da erosão. Os valores encontrados do fator CP são comparáveis a outros locais de vegetação semiárida degradada. No presente estudo, percebeu-se que a exposição da superfície do solo influencia significativamente o fator C.

Figura 32 - Área com cultura de crescimento rápido e pastagem.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 33 - Solos expostos.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.3 Pinos de Erosão

Nesta pesquisa, buscando compreender a movimentação dos solos nos tipos de uso e manejo do solo evidenciado, utilizou-se o monitoramento de 03 áreas

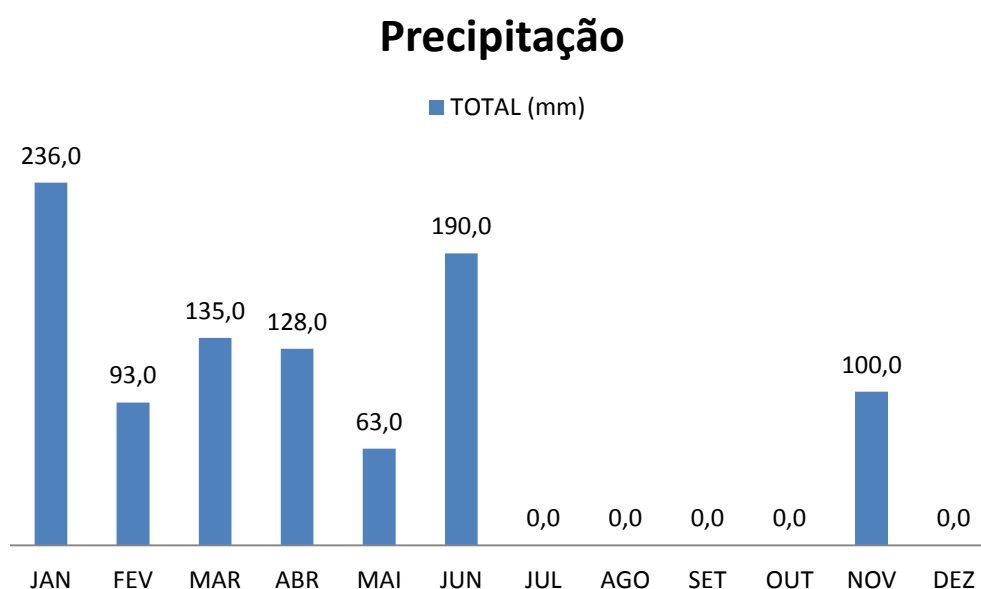
experimentais com diferentes formas de uso. Para auxiliar na pesquisa fez o registro diário das chuvas ocorridas, dentro do tempo analisado, com a utilização de um pluviômetro localizado na área adjacente das três áreas experimentais de pesquisa (Figura 34). Os dados coletados, diariamente sempre no mesmo horário ao longo do período (Gráfico 5), auxiliaram a avaliar a erosividade da chuva (Gráfico 6). Em função da Erosividade da Chuva, os valores evidenciam a alta variabilidade temporal deste fator durante o ano

Figura 34 – Pluviômetro instalado na área de pesquisa.



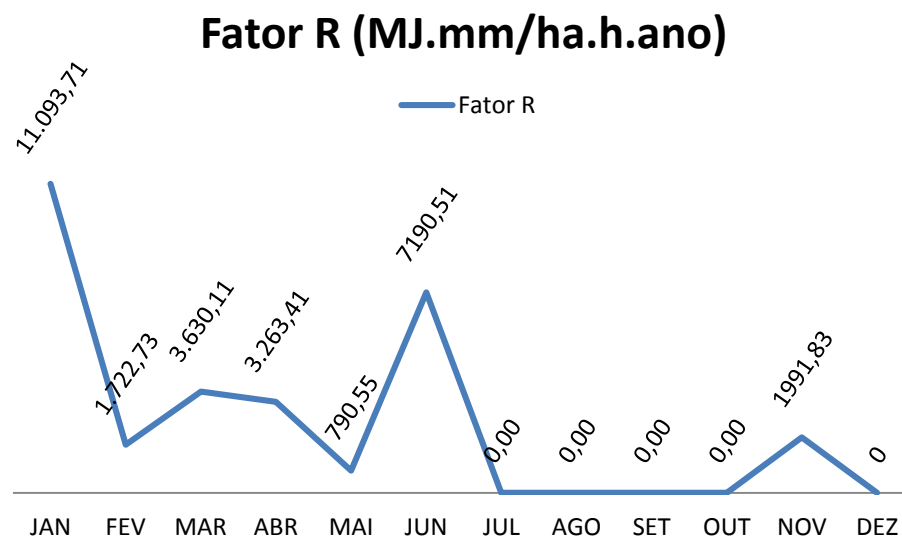
Fonte: Elaborado pelo Autor.

Gráfico 5 - Precipitação na área de pesquisa a partir do pluviômetro instalado, durante o ano de 2022.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Gráfico 6 - Erosividade Chuva na área de pesquisa



Fonte: Elaborado pelo Autor.

A análise dos dois gráficos sobre a Erosividade da Chuva (Fator R), no município de Crateús, revela distinções relevantes quanto à distribuição temporal e à intensidade dos valores calculados. O Gráfico 4 evidencia uma forte concentração da erosividade entre os meses de janeiro e abril, com destaque para o pico observado em março, quando os valores ultrapassam 7000 MJ.mm/ha.h.ano. A partir de maio, observa-se um decréscimo abrupto, seguido por valores próximos de zero entre junho e novembro, com discreta retomada em dezembro. Esse padrão sugere uma clara correspondência com o regime pluviométrico do Semiárido cearense, no qual a quadra chuvosa concentra-se, majoritariamente, no primeiro quadrimestre do ano. Assim, este gráfico reforça a percepção de que a erosividade das chuvas em Crateús é fortemente sazonal e que os processos erosivos tendem a ocorrer de forma mais intensa nos meses iniciais do período chuvoso.

Por outro lado, o Gráfico 6 apresenta maior variabilidade intra-anual, com pico expressivo em janeiro (11.093,71 MJ.mm/ha.h.ano), seguido de oscilações nos meses subsequentes. Embora fevereiro apresente um valor relativamente baixo (1.122,73), observa-se nova elevação em março e abril, e um segundo pico relevante em junho (7.109,51), além de um valor considerável em novembro (1.991,83). Entre julho e outubro, entretanto, os valores permanecem nulos, evidenciando a ausência de precipitações significativas no auge da estação seca. Esse comportamento sugere a ocorrência de eventos pluviométricos de alta intensidade e caráter extremo em

meses menos típicos do regime pluviométrico regional, os quais, embora esparsos, podem gerar elevado potencial erosivo.

Comparativamente, os dois gráficos demonstram, portanto, que, enquanto o primeiro evidencia a tendência geral de concentração da erosividade no início da quadra chuvosa, o segundo possibilita uma compreensão mais detalhada e dinâmica, ao indicar que a erosividade não se restringe ao primeiro quadrimestre, podendo manifestar-se em meses atípicos em função de eventos pluviométricos isolados. Durante o período estudado, no mês de novembro houve uma precipitação de 100 mm, concentrados em dois dias.

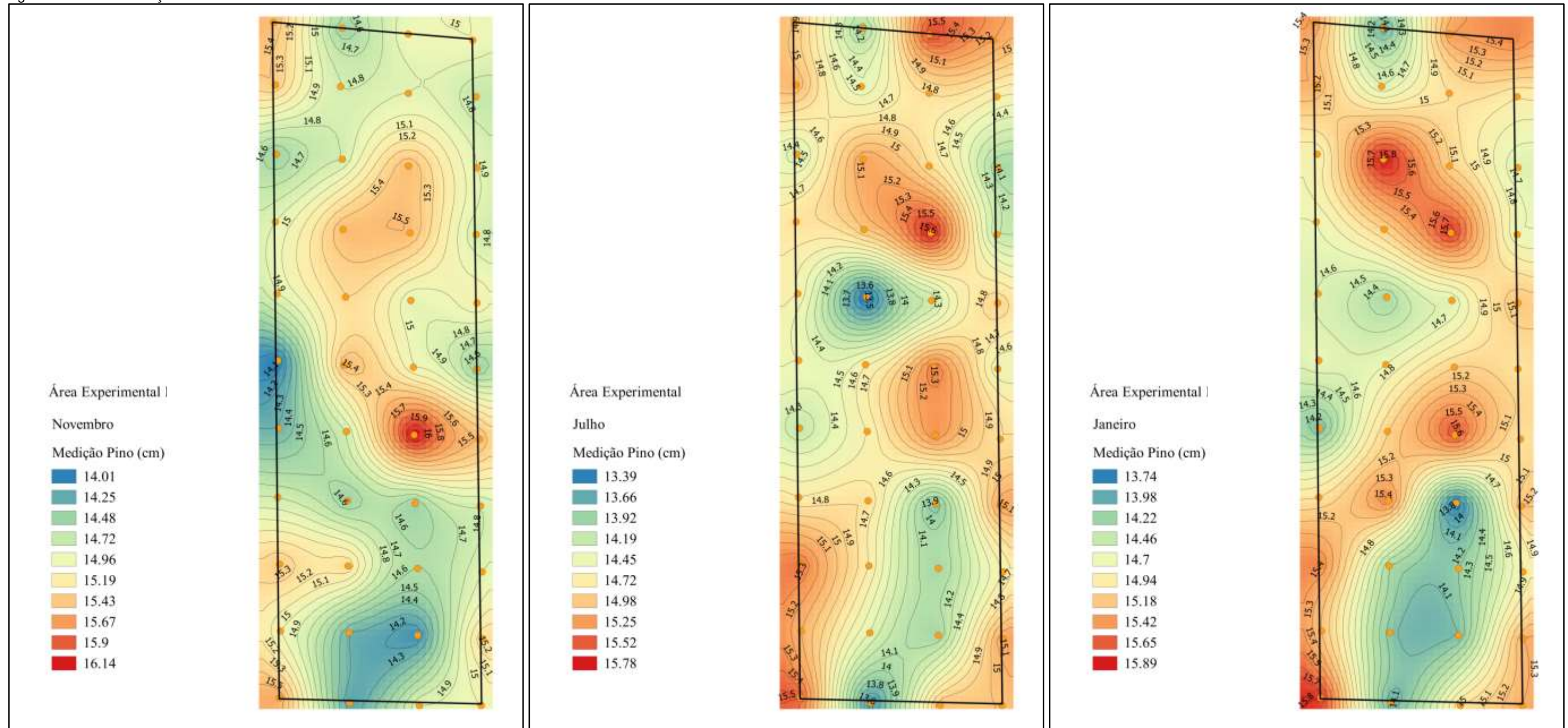
Desse modo, a percepção desta diferença é significativa, uma vez que o planejamento do uso e manejo do solo deve considerar tanto a concentração da erosividade no período chuvoso regular, quanto a possibilidade de ocorrência de episódios erosivos intensos em meses isolados. A identificação de tais padrões contribui para o delineamento de práticas conservacionistas adaptadas à realidade local, reforçando a necessidade de monitoramento contínuo da erosividade da chuva como ferramenta de mitigação da degradação dos solos no Semiárido.

Assim, os efeitos erosivos sobre o terreno foram evidentes e visíveis quando analisada as medições de novembro de 2021 e julho de 2022, quando a erosividade acumulada no período foi de 27.691 MJ.mm/ha.h. A AEIII foi a que teve a movimentação mais intensa, seguida pela AEII. A AEI foi a unidade quase não houve alteração nas medidas coletadas. De fato, entre os meses de julho de 2022 e janeiro de 2023, o padrão permaneceu quase inalterado. Essa exposição pode ser observada pelo mapeamento do padrão erosão-deposição nas três áreas experimentais, com base na tabulação de 03 trabalhos de campo (novembro/21, julho/22 e janeiro/23).

4.3.1 Área Experimental I

A Figura 35 apresenta a movimentação do solo na AEI, monitorada nos meses de novembro de 2021, julho de 2022 e janeiro de 2023, utilizando a técnica dos pinos de erosão. Essa metodologia permitiu identificar, de forma direta e especializada, tanto as perdas de solo associadas à erosão hídrica, quanto os acúmulos resultantes da deposição, possibilitando compreender a dinâmica erosiva ao longo do tempo.

Figura 35 - Movimentação do solo na AEI.



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Na primeira medição em novembro de 2021, os valores registrados de exposição dos pinos variaram entre aproximadamente 14,1 e 16,1 cm. Nota-se predominância de valores intermediários, com a presença de setores pontuais de maior profundidade, que podem estar associados à remoção de material pelo escoamento superficial, contrastando com áreas de acúmulo mais acentuado.

Em julho de 2022, há maior heterogeneidade espacial dos valores, com valores variando entre 13,3 e 15,7 cm. Esse período coincide com o final das chuvas do primeiro semestre, resultando em maior mobilidade superficial dos sedimentos. Observa-se alternância entre áreas de rebaixamento mais pronunciado e pontos de acúmulo, evidenciando que a energia das precipitações contribuiu para intensificar tanto os processos de remoção quanto de deposição.

Na última medição, em janeiro de 2023, os valores apresentam quase os mesmos valores anteriores, variando entre 13,7 e 15,8 cm. Comparativamente aos períodos anteriores, há uma tendência mais marcada de deposição, com predomínio de valores superiores a 15,0 cm. As áreas de erosão tornam-se mais restritas e pontuais, sugerindo relativa estabilização superficial. Esse comportamento pode estar relacionado ao entulhamento de material transportado nos meses anteriores ou à cobertura vegetal residual, que contribui para a redução da intensidade da erosão e favorece o acúmulo.

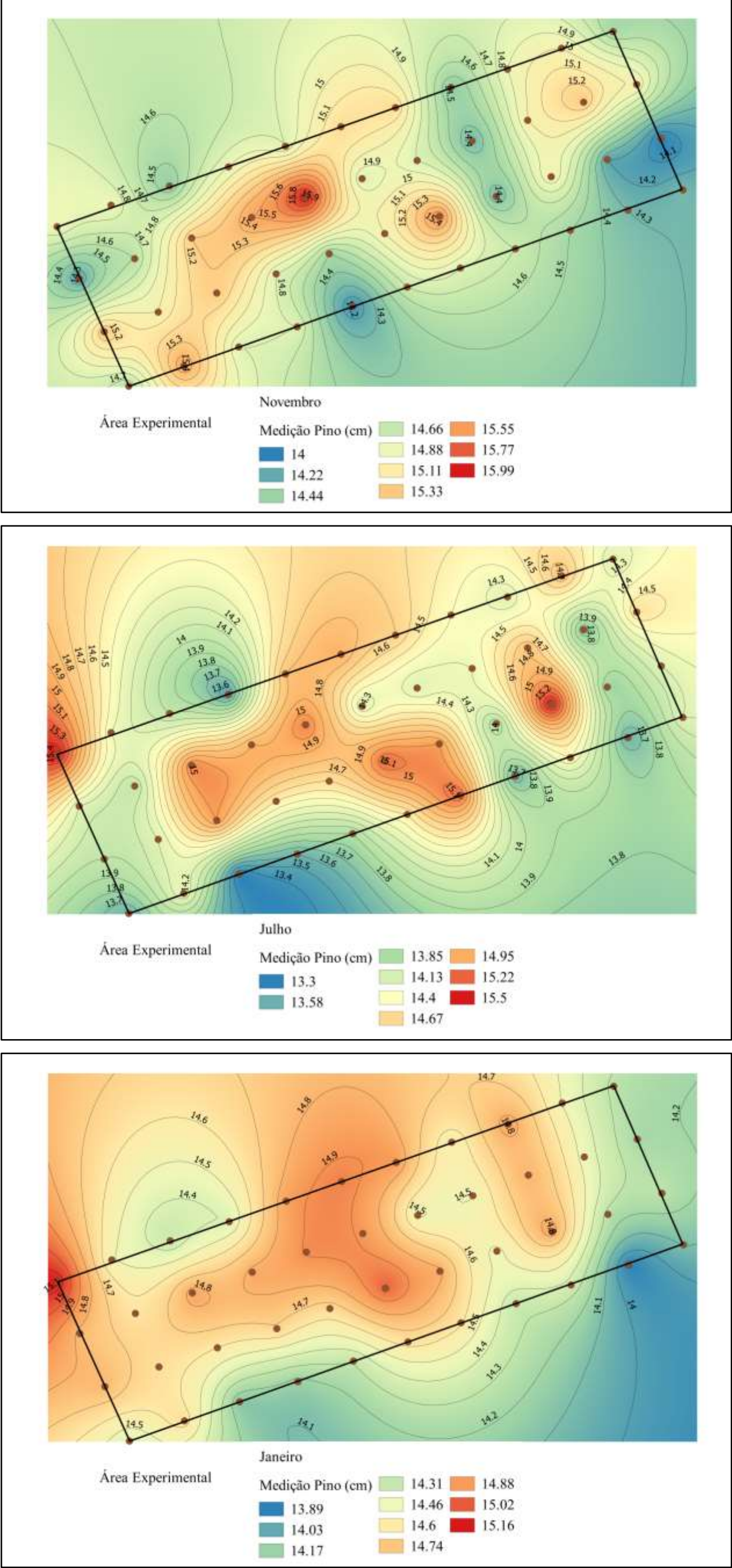
De forma comparativa, verifica-se que a dinâmica do solo não ocorre de forma linear, mas oscila entre fases de perda e deposição, respondendo diretamente à variabilidade sazonal das chuvas. Em novembro de 2021, mostra uma fase inicial com erosão localizada e deposição incipiente; julho de 2022 apresenta o quadro mais dinâmico, com forte redistribuição de material; e janeiro de 2023 evidencia uma tendência de maior deposição e estabilização da superfície.

Esta área experimental apresenta os menores contrastes espaciais de erosão e deposição. A cobertura vegetal nativa atua como barreira ao impacto das gotas de chuva e favorece a infiltração, reduzindo o transporte de partículas. As variações observadas são pontuais e tendem à estabilidade ao longo do tempo, indicando baixa suscetibilidade à degradação.

4.3.2 Área Experimental II

A Figura 36 apresenta a variação espacial da superfície do solo na AEII. No mês de novembro, os valores de exposição dos pinos registrados variaram entre 14 e 15,9 cm, com predomínio de áreas intermediárias, mas destacam-se zonas pontuais de acúmulo, especialmente nas extremidades, indicativas de remoção de solo. Em contraste, há setores centrais e próximos ao limite superior do polígono com valores mais elevados, evidenciando rebaixamento.

Figura 36 - Movimentação do Solo na AEII.



Fonte 1: Autor (2023).

Em julho, observa-se maior heterogeneidade espacial, com variação entre 13,3 e 15,5 cm. O mapa indica forte fragmentação entre áreas de perda e acúmulo, com zonas mais intensas de deposição distribuídas de maneira concentrada, principalmente no centro e canto superior direito. Já as áreas de menor profundidade (13,5 cm) aparecem em faixas contínuas, especialmente no limite inferior. Este cenário reflete o impacto do período chuvoso, quando a energia das precipitações intensifica os processos de erosão e deposição, aumentando a instabilidade do relevo superficial.

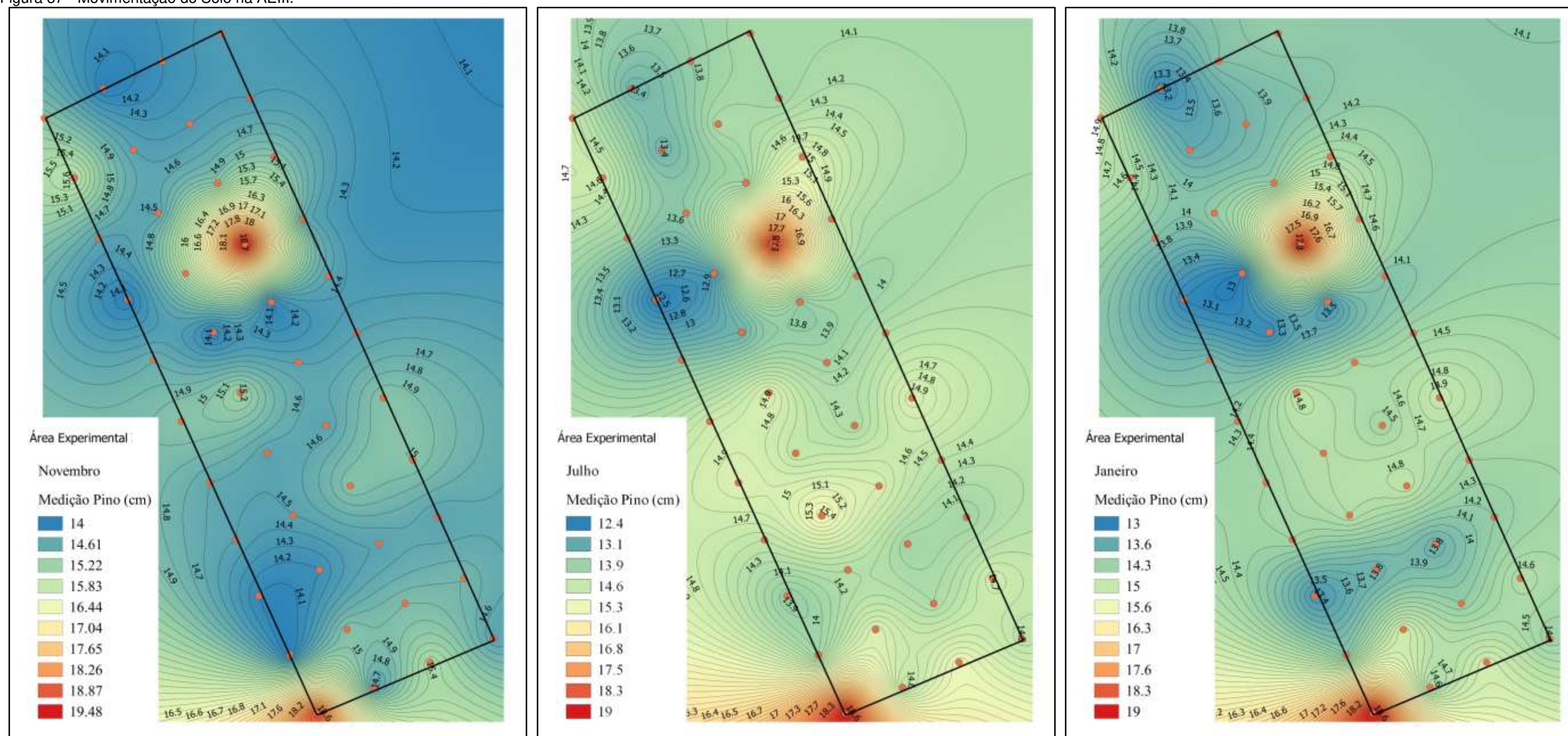
No mês de janeiro, há uma tendência de relativa estabilização da superfície, com os valores oscilando entre 14,3 e 15,8 cm. As áreas de perda se tornam predominantes (15,5 cm), distribuídas de forma mais contínua no centro e na porção esquerda da área. As zonas de deposição (14,5 cm) são menos expressivas e aparecem de forma pontual, sobretudo nos extremos. Esse comportamento pode estar associado tanto à deposição de sedimentos transportados nos meses anteriores quanto à redução da intensidade das chuvas, resultando em menor mobilidade superficial.

Esta área exibe instabilidade intermediária. O preparo do solo e o cultivo expõem periodicamente a superfície, ampliando a erosividade durante a estação chuvosa. Observa-se alternância entre erosão e deposição, com maior heterogeneidade em julho (auge das chuvas), mas relativa estabilização em janeiro, possivelmente associada à presença de restos culturais ou ao fim do ciclo chuvoso.

4.3.3 Área Experimental III

A Figura 37 mostra a movimentação do solo na Área Experimental III, caracterizada por solo exposto e em avançado processo de degradação. Em novembro de 2021, os valores de profundidade variam entre 14 e 19,4 cm, revelando forte heterogeneidade espacial. Observa-se a predominância de áreas com valores mais baixos (15,0 cm), especialmente na porção superior, indicativas de perda de solo. Em contrapartida, zonas com valores mais elevados (18,5 cm) localizam-se nas extremidades inferiores, evidenciando acúmulo significativo.

Figura 37 - Movimentação do Solo na AEIII.



Em julho, a variação é mais ampla, de 13,1 a 19,0 cm, com acentuação das diferenças entre áreas de erosão e deposição. O mapa evidencia setores de forte acúmulo (13,5 cm) distribuídos em diferentes pontos da área, contrastando com zonas de perdas (18,5 cm) nos extremos. A ausência de cobertura vegetal contribui para maior suscetibilidade à ação concentrada da chuva, resultando em processos erosivos mais intensos que os observados nas áreas em repouso ou cultivadas.

No mês de janeiro de 2023, os valores oscilam entre 13 e 19 cm, mantendo-se o padrão de instabilidade. Áreas de deposição ($\leq 14,0$ cm) permanecem dispersas, enquanto pontos de erosão ($\geq 18,0$ cm) concentram-se sobretudo nas bordas da área. Essa configuração demonstra a continuidade de processos erosivos ativos, sem tendência clara de estabilização, revelando o elevado grau de vulnerabilidade do solo exposto.

De maneira geral, a Área III apresenta as maiores amplitudes de variação entre erosão e deposição, com forte fragmentação espacial. Esse comportamento evidencia a ausência de mecanismos naturais de proteção (como cobertura vegetal) ou de manejo conservacionista, tornando a superfície altamente suscetível à degradação acelerada.

Percebeu-se que esta área experimental é a mais crítica, apresentando contrastes marcantes entre perdas e acúmulos, distribuídos de forma difusa e persistente ao longo dos meses. A ausência de cobertura vegetal resulta em maior energia do escoamento superficial, intensificando o processo erosivo. Não há sinais de estabilização temporal, apenas contínua redistribuição de sedimentos.

As três áreas configuram um gradiente de suscetibilidade à erosão: baixa vulnerabilidade na AEI, vulnerabilidade intermediária na AEII, e alta vulnerabilidade no solo da AEIII. Esse gradiente demonstra o papel central da cobertura vegetal e do manejo na conservação do solo no semiárido. Enquanto a vegetação nativa garante proteção natural contra a erosão, o uso agrícola intensivo e, sobretudo, a exposição completa da superfície sem manejo conservacionista, aceleram a degradação e ampliam o risco de desertificação em regiões como Crateús.

Este ensaio experimental valida os dados da EUPS. A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (USLE) à Depressão Sertaneja fornece parâmetros importantes para compreender o potencial erosivo local. O fator R ($1.720,12 \text{ MJ.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{ano}^{-1}$) indica elevada erosividade das chuvas na região, coerente com os gráficos anteriores que mostraram forte concentração da energia da

chuva entre os meses de janeiro e maio. Esse resultado revela que o clima semiárido, embora marcado pela irregularidade pluviométrica, possui eventos de alta intensidade capazes de mobilizar grandes volumes de solo em curtos intervalos de tempo.

O fator K (0,027 ton.ha.h/ha.MJ.mm) expressa uma erodibilidade moderada do solo, refletindo sua suscetibilidade intrínseca à desagregação. Associado ao fator LS (5%), que traduz declividades suaves a moderadas, o risco erosivo passa a depender principalmente do uso e manejo do solo, sintetizados pelo fator CP.

Contudo, é justamente nos valores de CP que se encontram as diferenças críticas entre as áreas experimentais. A AEI com Caatinga em repouso funciona como barreira eficaz contra a erosão, dissipando a energia das gotas de chuva e promovendo infiltração. Esse valor extremamente baixo explica a baixa variação observada nos mapas de movimentação do solo. Percebe-se que processos erosivos existem, mas em intensidade reduzida e espacialmente estabilizados.

Na AEII, com lavoura anual, o preparo do solo para plantio e a exposição sazonal da superfície aumentam a vulnerabilidade, elevando o valor do fator CP em uma ordem de grandeza em relação à AEI. Esse comportamento foi confirmado nos mapas de julho e novembro, onde se verificou maior instabilidade espacial, com pontos de perda e deposição distribuídos irregularmente. Embora a presença temporária de cobertura vegetal (cultivo e restos culturais) atenuem os impactos, a oscilação temporal da proteção acentua o risco erosivo.

Na AEIII, com solo exposto/degradado, representa a condição de máxima suscetibilidade à erosão, em que a ausência total de cobertura deixa o solo sujeito à ação direta da chuva e do escoamento superficial. O ensaio experimental mostrou a maior amplitude de variação entre áreas de erosão e deposição, além da persistência desse padrão ao longo dos meses, sem sinais de estabilização. Esse cenário evidencia que a degradação já instalada promove retroalimentação negativa, pois quanto mais solo se perde, mais difícil se torna a recuperação.

Por fim, observou-se que numa análise comparativa entre a EUPS e o Ensaio Experimental evidenciou que: a chuva é um fator de alta energia erosiva no Semiárido com R elevado, mas seu impacto efetivo depende da cobertura e do manejo do solo. O solo da região apresenta erodibilidade moderada (K), de modo que práticas de manejo adequadas podem reduzir substancialmente a perda de solo. O fator CP mostrou-se determinante para explicar as diferenças entre as três áreas experimentais. Áreas com cobertura natural apresentam perdas mínimas, áreas

agrícolas anuais sofrem perdas intermediárias, e solos expostos atingem perdas máximas. Vale salientar que a suavidade do declive favoreceu o movimento menos intenso do solo.

Esses resultados ressaltam a importância do monitoramento contínuo da erosão, pois permitem compreender a evolução espaço-temporal dos processos erosivos e subsidiar práticas conservacionistas adequadas ao Semiárido, como cobertura morta e manejo do escoamento superficial, fundamentais para mitigar a degradação dos solos na região de Crateús.

5 CONCLUSÕES

A partir dos resultados desta pesquisa, conclui-se que:

1. A análise ambiental integrada atendeu aos objetivos propostos na presente pesquisa de realizar o diagnóstico ambiental do município de Crateús.
2. A utilização dos sistemas ambientais, como unidade de análise para o fenômeno da desertificação e erosão dos solos, propiciou uma melhor compreensão da dinâmica ambiental, apresentando-se com grande relevância para estudos de diagnósticos do meio físico.
3. O sistema ambiental da Depressão Sertaneja ou Sertões de Crateús é caracterizado como um ambiente de transição, com tendência a instabilidade, especialmente nas áreas degradadas.
4. A partir da aplicação dos IBFD, foi possível verificar o nível moderado de suscetibilidade à desertificação na depressão sertaneja. Isso foi atribuído em função das características apresentadas pelos indicadores, encontrados, como a ocorrência de sulcos de erosão, recobertos por cobertura vegetal com estrato arbustivo, índice de aridez elevado, e um relevo preponderando de suave ondulado a plano.
5. Com base na análise dos resultados dos parâmetros da EUPS foi possível perceber que a declividade não apresenta grandes riscos à erosão, entretanto, os demais critérios estudados apresentam valores de média à alta potencialidade para os processos erosivos.
6. As precipitações causam grandes impactos, mormente, no início do ano, chegando a atingir a classe de intensidade moderada. Ademais, com a coleta de dados na AE foi possível perceber que a característica da distribuição irregular no tempo e no espaço, com a ocorrência de pluviometria na segunda parte do ano, que corresponde ao período de estiagem das chuvas.
7. Os solos presentes nos sertões de Crateús possuem textura média, arenosa ou cascalhenta, representando alta, média e baixa erodibilidade e, aliado, à falta de cobertura vegetal resultando em maior desagregação e transporte das partículas da superfície do solo, contribuindo para um aumento da erosão hídrica.
8. Sobre o ensaio experimental, percebeu-se que a vegetação nativa da Caatinga é altamente eficiente na conservação do solo, sendo fundamental

para mitigar os efeitos dos processos de desertificação; que a agricultura convencional, sem práticas conservacionistas, amplia significativamente a erosão, reforçando a necessidade de técnicas como cobertura morta; e que áreas já degradadas demandam ações urgentes de recuperação, como reflorestamento e técnicas de manejo e conservação do solo, pois seu estado atual acelera a perda de solo em níveis insustentáveis.

No que tange a hipótese inicialmente levantada “a depressão sertaneja de Crateús está submetida aos processos erosivos que causam desertificação, e que a erosão do solo vem sendo fator determinante na ampliação desse fenômeno” percebeu-se que a erosão do solo tem contribuído com o surgimento do fenômeno da desertificação nos Sertões de Crateús. Dessa maneira, com base nos resultados obtidos, acredita-se ser verdadeiro que os tipos de rocha e a espessura dos solos, juntamente com a cobertura vegetal, desempenham um papel significativo na ocorrência da erosão que influencia o fenômeno da desertificação. Essas conclusões são suportadas pelos dados analisados.

Acredita-se que a metodologia aplicada nessa pesquisa mostrou-se pertinente por apresentar elementos essenciais ao entendimento da desertificação, tendo como subsídio a análise ambiental. O uso integrado de metodologias pode facilitar o planejamento e a tomada de decisões para recuperação de áreas degradadas, onde são evidentes os processos de desertificação, bem como na proposição de medidas adequadas para o manejo e conservação dos ambientes semiáridos.

Enfim, acrescenta-se ainda que a partir da metodologia proposta neste estudo com base na análise dos parâmetros dos IBFD e da EUPS em áreas suscetíveis à desertificação, fica compreensível os seguintes: os indicadores que mais influenciaram negativamente na morfodinâmica; o nível de degradação em, que se encontra a Depressão Sertaneja de Crateús e possivelmente indicando uma resiliência ambiental satisfatória, apesar dos uso adverso a que ela foi submetida ao longo dos anos, sendo ainda possível deter e/ou mitigar os processos de degradação.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAM, E.; SALOMÓN, M. Indicadores y puntos de referencia de la desertificación utilizados en Argentina por diversos usuarios. *In*: ABRAHAM, E. M.; BEEKMAN, G. B. (ed.). **Indicadores de la América del Sur**. Mendoza, Argentina: IICA-BID, 2006.
- AB'SABER, A. N. Um Conceito de Geomorfologia a Serviço das Pesquisas sobre o Quaternário. **Geomorfologia**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 1-23, 1969.
- AB'SABER, A. N. Problemática da Desertificação e da Savanização no Brasil Intertropical. **Geomorfologia**, São Paulo (Instituto de Geografia/USP), n. 53, p. 01-19, 1977.
- AGUIAR, L. A.; *et al.* Métodos para Análise e Gestão Ambiental: avaliação ecodinâmica. **Naturae**, Aracaju, v.4, n.1, p.16-22, 2022.
- ALBUQUERQUER, A. W. de; *et al.* Determinação de Fatores da Equação Universal de Perda de Solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005.
- AQUINO, C. M. S. de.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Estimativa do Fator Erodibilidade (K) de Solos do Estado do Piauí Descritas em Jacomine (1986). **GeoTemas**, Pau do Ferros, v. 7, n. 1, p. 26-36, 2017.
- AQUINO, C. M. S. de.; OLIVEIRA, J. G. de.; AQUINO, R. P. de. Erosividade das Chuvas do Município de Gilbués, Pauí, Brasil. *In*: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 17, 2017, Campinas. **Anais [...]** Campinas: Unicamp, 2017.
- ARAÚJO, D. T. de. **Avaliação dos Processos de Degradação Ambiental/Desertificação no Município de Crateús – CE**. 2022. 147f. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2022.
- ARAÚJO, J. C. de. Assoreamento em Reservatórios do Semiárido: modelagem e validação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 38-56, 2003.
- ARAÚJO FILHO, J. A. de. **Manejo Pastoril Sustentável da Caatinga**. Recife: Projeto Dom Helder Câmara, 2013.
- BARRETO, L. L.; COSTA, L. R. F. da. Evolução Geomorfológica e Condicionantes Morfoestruturais do Cânion do Rio Poti – Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 15, n. 3, p. 411-424, 2014.
- BENÍTEZ, S. M. de H. El Método Científico y la Filosofía como Herramientas para Generar Conocimiento. **Revista Filosofía**, Bucaramanga, vol. 19, nº 1, enero – junio, 2020.

BERNARDES, A. Quanto às Categorias e aos Conceitos. **Revista Formação Online**, Presidente Prudente, v. 2, n. 18, 2011.

BERTALANFFY, L. V. The History and Status of General Systems Theory. **The Academy of Journal**, New York, v. 5, n. 4, p. 407-426, 1972.

BERTRAND, G. Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico. **R. RA'E GA**, Curitiba, n. 8, p. 141-152, 2004.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 9ª ed. São Paulo: Ícone, 2014.

BRASIL. **Projeto RadamBrasil Folhas SB. 24/25 Jaguaribe/Natal**: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro: MMA, 1981a.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Nova delimitação do Semiárido Brasileiro**. Brasília: DF, 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Convenção das Nações Unidas de combate a desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. 3ª ed. Brasília: MMA/PNUD/FGEB, 2007.

BRAGA, I. F.; *et al.* **Mapa Folha Ipueiras SB.24-V-A-VI Escala 1:100.000**. Fortaleza: CPRM, 2013.

BUCKMAN, H. O.; BRADY, N. C. **Natureza e Propriedade dos Solos**. Tradução de Antônio B. Neiva Figueiredo. Rio de Janeiro: Livraria Freitas Bastos, 1967.

BUNGE, M. **La Investigación científica**: su estrategia y su filosofía. 3ª ed. Buenos Aires: Siglo XXI Editores, 2004.

CÂMARA JUNIOR, J. M. O Estruturalismo. **Alfa - Revista de Linguística**, São Paulo, v. 11, p. 43-88, 1967.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Curitiba: Autoria Própria, 2005. Disponível em: <http://www.funape.org.br/geomorfologia/>. Acesso em: 05/08/2021.

CAVALCANTE, J. C.; *et al.* **Mapa Geológico do Estado do Ceará**. Fortaleza: CPRM, 2003. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/2355>. A acesso em 17/03/2020.

CEARÁ. Fundação Instituto de Planejamento do Ceará. **Atlas do Ceará**. Fortaleza: Edições IPLANCE, 1997.

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

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Básico Municipal 2014: Crateús**. Fortaleza: IPECE, 2014. Disponível em: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/categoria5/perfil-basico-regional, acesso em 07/04/2017.

CHRISTOFOLETTI, A. Vertentes: processos e formas. *In.*: CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ª ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1980.

CLAUDINO-SALES, V. de C. Geografia, Sistemas e Análise Ambiental. **GEOUSP – Espaço e tempo**, São Paulo, n. 18, p. 125-141, 2004.

CLAUDINO-SALES, V. de C.; PEULVAST, J. P. Evolução Morfoestrutural do Relevo da Margem Continental do Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 7, n. 20, p. 1-21, 2007.

CLAUDINO-SALES, V. de C. **Megageomorfologia do Estado do Ceará**: história da paisagem geomorfológica. São Paulo: Novas Edições Acadêmicas, 2016.

CONTI, J. B. **Desertificação nos Trópicos**: proposta de metodologia de estudo aplicada ao Nordeste brasileiro. 1995. 157 f. Tese (Livre-Docência em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CONTI, J. B. C. O Conceito de Desertificação. **Climatologia e Estudos da Paisagem**, Rio Claro, v. 3, n. 2, p. 39-52, 2008.

COSTA, E. B.; SCARLATO, F. C. Geografía, método y singularidades revisadas en lo empírico. **Geousp – Espaço e Tempo**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 640-661, dez. 2019.

COSTA, F. G. da. **Mapa Geológico Folha Crateús SB.24-V-C-III Escala 1:100.000**. Fortaleza: CPRM, 2011.

COSTA, J. G. J. da. **Avaliação da Desertificação no Município de Irauçuba-Ce Usando Séries Temporais de Variáveis Climáticas e Biofísicas**. 2022. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) –Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2022.

COSTA, L. R. F. da.; *et al.* Geomorfologia do Nordeste Setentrional Brasileiro: uma proposta de classificação. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 185-208, 2020.

CUNHA, S. B. da.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. *In.*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996.

CUNHA, S. B. da. Geomorfologia Fluvial. *In.*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. (Org.) **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

DAMASCENO, F. A. *et al.* Estimativa da Erodibilidade de Argissolos de Alagoas. **Revista Ambientale**, Arapiraca, v. 15, n. 1, p. 73-84, 2023.

DORNELLAS, P. da C. *et al.* Estimativa de Perdas de Solo na Bacia do Alto Rio Paraíba, Região Semiárida do Estado da Paraíba. **Revista Okara: Geografia em Debate**, João Pessoa, v. 2, n. 2, p. 338*350, 2017.

ELIAS, D. Reestruturação Produtiva da Agricultura Cearense: rumo à desintegração competitiva e à fragmentação do espaço agrário. *In.*: SILVA, J. B. da. *et. al.* **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2ª ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

ESTEVES, P. M. da. S. V.; CRUZ, F. S. Avaliação dos Impactos do processo de Desertificação no Seridó Ocidental a Partir de Indicadores Biofísicos e Sociais. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, nº 3, 2022.

FERNANDES, A. **Temas Fitogeográficos**. Fortaleza: Stylus Comunicações, 1990.

FERNANDES, A. **Fitogeografia Brasileira**: províncias florísticas. 3ª ed. Fortaleza: Realce Editora e Indústria Gráfica, 2006.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais Sistemas Atmosféricos Atuantes Sobre a Região Nordeste do Brasil e a Influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico da Região. **Revista Brasileira de Climatologia**, Presidente Prudente, v. 1, n. 1, p. 15-28, 2005.

FORGIARINI, L. L.; BRAGA, I. F. **Mapa Geológico Folha Independência SB.24-V-D-I Escala 1:100.000**. Fortaleza: CPRM, 2011.

GALLIANO, A. G. **O Método Científico**: teoria e prática. São Paulo: Editora Mosaico, 1979.

GALVANI, E.; LUCHIARI, A. Critérios para Classificação de Anos com Regime Pluviométrico Normal, Seco e Úmido. *In.*: Encontro de Geógrafos da América Latina, 10, 2005, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: Departamento de Geografia/FFLCH/USP, 2005.,

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 6ª ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GIRÃO, V. C. Da Conquista à Implantação dos Primeiros Núcleos Urbanos na Capitania do Siará Grande. *In.*: SOUZA, S. (Coord.) **História do Ceará**. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha, 1989.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas. *In.*: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia**: exercícios, técnicas e aplicações. 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e Monitoramento em Erosão dos Solos. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, V. 16, P. 37-37, 2005.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encontas. *In.*: GUERRA, A. J. T.; CUNHA,

S. B. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 8º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão e a Questão Ambiental. *In*: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Orgs.) **Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

HARE, F. K.; *et. al.* Desertificação: uma visão global. *In*: HARE, F. K. *et. al.* **Desertificação**: causas e consequências. Trad. Henrique de Barros e Ário Lobo de Azevedo. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

HEYWOOD, V. H.; WATSON, R. T. (Org.). **The Global Biodiversity Assessment**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995.

HOUGHTON, R. A. The Worldwide Extent of Land-Use Change. **BioScience**, Curitiba, vol. 44, no. 5, p. 305-313, 1994.

IBGE. **Enciclopédia dos Municípios Brasileiros – XVI Volume**. Rio de Janeiro: IBGE, 1959.

IBGE. **Manual Técnico de Geologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1998.

IBGE. **Vocabulário Básico de Recursos Naturais e Meio Ambiente**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2004.

IBGE. **Resolução Nº 1 de 25 de fevereiro de 2005**. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. Disponível em: http://geoftp.ibge.gov.br/metodos_e_outros_documentos_de_referencia/normas/rpr_01_25fev2005.pdf. Acesso em: 01/05/2020.

IBGE. **Limites Municipais**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Arquivo shapefile. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/15774-malhas.html?=&t=downloads>. Acesso em: 02/03/2020.

IBGE. **Séries Estatísticas**. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://seriesestatisticas.ibge.gov.br/series.aspx?vcodigo=CD77>. Acesso em 13/11/2020.

JACOMINE, P. K. T.; ALMEIDA, J. C.; MEDEIROS, L. A. R. **Levantamento Exploratório-Reconhecimento de Solos do Estado do Ceará**. Recife: EMBRAPA, 1973.

JUCÁ, G. N. M. O Papel da Pecuária e do Algodão. *In*: SOUZA, S. (Coord.) **História do Ceará**. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha, 1989.

KEARNEY, S. P.; *et al.*, Improving the Utility of Erosion Pins: absolute value of pin heighth change as na indicator of relative erosion. **Catena**, Mendoza, v. 163, p. 427-432, 2018.

LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

LIMA, C. L. S. **Etnicidade Indígena no Contexto Urbano: uma etnografia sobre os Kalabaça, Potiguara, Tabajara e Tupinambá de Crateús**. 2012. 271 f. Tese (Programa de Pós-Graduação em Antropologia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da Chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP). **Revista Bragantia**, Campinas, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MARTINS, M. V. E.; SILVA, M. L. do N. Propriedades Físico-estruturais do solo em área sob processo de degradação próximo às Margens do Rio Balsa-MA. **Research, Society and Development**, Itabira, v. 11, n.1, 2022.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. **Tópicos de Geomorfologia Estrutural**: nordeste brasileiro. Fortaleza: Edições UFC, 2014.

MARCONI, M. de A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARQUES, J. S. Ciência Geomorfológica. *In.*: GUERRA, A. J. T. CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos. 8ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

MATALLO JUNIOR, H. **Indicadores de Desertificação**: histórico e perspectivas. Brasília: UNESCO, 2001.

MATALLO JUNIOR, H. (Org.). **Glossário de termos e conceitos utilizados no contexto da UNCCD**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente - MMA, 2009

MATIAS-PEREIRA, J. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica**. 3ª ed. São Paulo: Atlas, 2012.

MEIRELES, A. J. A. As Unidades morfoestruturais do Ceará. *In.*: SILVA, J. B. da. *et. al.* **Ceará**: um novo olhar geográfico. 2ª ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Aplicação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para Análise da Degradação Ambiental da Microbracia Hidrográfica do Riacho do Cavalos, Crateús – CE. **RA'EGA – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 23, p. 520-533, 2011.

MENDONÇA, F. **Geografia Física: ciência humana?** 8ª ed. São Paulo: Contexto, 2014.

MIQUELONE, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise Espacial dos Fatores da Equação Universal de Perda de Solo em Área de Nascentes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1358-1367, 2012.

MINAYO, M. C. de S. O Desafio da Pesquisa Social. *In.*: MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa Social: teoria, método e criatividade**. 30ª ed. Petrópolis: Vozes, 2011.

MONTE, A. M. de S. A **Planície Fluvial do Rio Poti nos Municípios de Novo Oriente e Crateús – CE**: os barramentos e suas repercussões sociambientais. 2014. 125 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Teconologia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza, 2014.

MORAIS, R. C. de S.; SALES, M. C. L. Estimativa do Potencial Natural de Erosão dos Solos da Bacia Hidrográfica do Alto Gurguéia, Piauí-Brasil, com Uso de Sistema de Informação Geográfica. **Caderno de Geografia**, Belo Horizonte, v. 27, n. Especial 1, p. 84-105, 2017.

MORGAN, R. P. C. **Soil Erosion and Conservation**. 3ª ed. Oxford: Blackwell Science, 2005.

NASCIMENTO, F. R. do.; SAMPAIO, J. L. F. Geografia Física, Geossistemas e Estudos Integrados da Paisagem. **Revista da Casa de Geografia de Sobral**, Sobral, v. 7, n. 1, 2005.

NASCIMENTO, F. R. do. **O Fenômeno da Desertificação**. Goiânia: Editora UFG, 2013.

NIMER, E. Desertificação: mito ou realidade. **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, ano 50, n. 1, p. 07-39, 1988.

NASCIMENTO, R. Q.; SANTOS, J. Y. G. dos. Análise Qualitativa das Perdas de Solo na Bacia do Rio das Fêmeas – BA. *In.*: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Org.). **Geografia Física e as Mudanças Globais**. Fortaleza: Editora UFC, 2019.

OLIVEIRA, P. J. L. de; *et al.* Aplicação da USLE nos Serviços Ecossistêmicos de Controle de Erosão em Área Suscetível à Desertificação, NE-Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 02, p. 1088-1103, 2023.

OLIVEIRA, U. C. de.; *et al.* Distribuição Espacial da Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Itacolomi, Ceará, Brasil. **Ciência Geográfica**, Bauru, v. 27, n. 2, p.977-989.

OLIVEIRA, V. P. V. A Problemática da degradação dos recursos naturais no domínio dos Sertões Secos do Estado do Ceará-Brasil. *In.*: SILVA, J.B. da. *et al.* (Org.). **Litoral e Sertão, Natureza e Sociedade no Nordeste Brasileiro**. Fortaleza: Expressão Gráfica, 2006.

OLIVEIRA, V. P. V. Indicadores Biofísicos de Desertificação, Cabo Verde/África. **Mercator**, Fortaleza, v. 10, n. 22, 2011.

OLIVEIRA, V. P. V.; SEMEDO, J. M.; OLIVEIRA, H. P. V. de. Análisis comparativo de los indicadores de desertificación de la isla de Santiago-Cabo Verde (África) y en la región de los Inhamuns (Ceará-Brasil). **Zonas Áridas**, Lima, v. 15, n. 2p. 226-243, 2014.

OLIVEIRA JUNIOR, *et al.* Estudo da Erosividade no Município de Crato-CE, Semiárido, Brasil. *In.*: Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido, 5, 2019. Crato. Anais [...] Crato: Universidade Federal do Cariri, 2019.

OLIVEIRA NETO. T. I. de. **Análise Ambiental do Assentamento Angicos II (Tauá/Ceará)**. 2016. 99 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. A New Climate-Vegetation Equilibrium State for Tropical South America. **Geophysical Research Letter**, Washington, v. 30, n. 23, p.1-5, 2003.

PEREIRA, G. W. **Ferramentas Computacionais para Suporte à Decisão no Mapeamento de Atributos do Solo**. 2021. 108 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Viçosa, 2021.

PEREIRA, L. C.; LOMBARDI NETO, F. **Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**: proposta metodológica. Jaguariúna: EMBRAPA, 2004.

PEREIRA, E. C. B. **Determinação do Fator Erodibilidade do Solo (K) para uma Bacia Experimental no Semiárido Brasileiro Utilizando Geoprocessamento**. 2016. 53 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

PEREIRA, A. de J.; OLIVEIRA JUNIOR, I. de.; LOBÃO, J. S. B. Análise da Susceptibilidade à Desertificação em Ambiente de Caatinga. **GeoUERJ**, Rio de Janeiro, nº 37, 2020,

PEREIRA, R. C. M.; SILVA, E. V. da. Solos e Vegetação do Ceará: características gerais. *In.*: SILVA, J. B. da. *et al.* **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2ª ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

PIZZOLATTI, R. L.; ROCHA, F. G. A Importante e Difícil Opção por um Método na Pesquisa. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 05, n. 13, p. 56-64, 2004.

PRESS, F. *et al.* Intemperismo e Erosão. *In.*: PRESS, F. *et al.* **Para Entender a Terra**. Trad. Rualdo Meneget. 4ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento Remoto**

da Vegetação. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2012.

RABELO, D. R.; ARAÚJO, J. C. de. Estimativa e Mapeamento da Erosão Bruta na Bacia Hidrográfica do Rio Seridó, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 361-372, 2019.

RÊGO, A. H. **Os Sertões e os Desertos:** combate à desertificação. Brasília: FUNAG, 2012.

RENARD, K. G.; *et. al.* **Predicting Soil Erosion by Water:** a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation. Washington: U. S. Departamento de Agriculture (USDA), 1997.

RIBEIRO, K. V.; ALBUQUERQUE, E. L. S. Caracterização do Uso da Terra no Alto Curso da Bacia Hidrográfica do Rio Poti (Ceará) através de Técnicas de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 10, n. 03, p. 650-665, 2017.

ROGNON, P. La Désertification. **Aménagement et Nature**, Paris, n. 129, p. 39-52, 1998.

ROLIM, G.S.; SENTELHAS, P.C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p133-137, 1998.

ROSA, R. **Cartografia Básica.** Uberlândia: Laboratório de Geoprocessamento/Instituto de Geografia/Universidade Federal de Uberlândia, 2004.

SALES, M. C. L. Potencial de Erosão das Terras no Núcleo de Desertificação de Irauçuba Estimada por Meio dos Parâmetros da EUPS. *In.*: OLIVEIRA, J. G. B. de.; SALES, M. C. L. (Org.) **Monitoramento da Desertificação em Irauçuba.** Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015.

SANTOS, H. G. dos; *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 3ª ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2013.

SANTOS, J. de O.; SOUZA, M. J. N. de. Abordagem Geoambiental Aplicada à Análise da Vulnerabilidade e dos Riscos em Ambientes Urbanos. **Bol. Goia. Geogr.**, Goiânia, v. 34, n. 2, p. 215-232, maio/ago. 2014

SCHENKEL, C. S.; MATALLO JUNIOR, H. (Org.). **Desertificação.** 2ª ed. Brasília: UNESCO, 2003.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do Trabalho Científico.** 23ª ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SILLERO-MEDINA, J. A.; MARTÍNEZ-MURILLO, J. F.; RUIZ-SINOYA, J. D. Incremento de La Erosividad de La Lluvia y sus Efectos em La Estimación de

Pérdida de Suelo: comparación entre dos cuencas Del sur de España. **Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles**, Madrid, v. 89, 2021.

SILVA, B. da N.; *et al.* Avaliação de Extremos da Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apod/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 35, n. Especial, p. 871-879, 2020.

SILVA, E. G. B. da. **Degradação das Terras Secas nos Sertões de Santa Quitéria e Independência – Ceará**: contribuições ao monitoramento ambiental. 2018. 180 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SILVA, T. J. R. D. da.; *et al.* Análise Estatística da Precipitação e da Erosividade das Chuvas no Semiárido Paraibano, Nordeste do Brasil. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica**, João Pessoa, v. 15, n. 2, p. 941-956, 2022.

SIMPLÍCIO, A. A. F.; *et al.* Erosion at hillslope and micro-basin scales in the Gilbués desertification region, Northeastern Brazil. **Land Degradation & Development**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 1487–1499, 2021.

SOARES, D. B.; MOTA FILHO, F. de O.; NÓBREGA, R. S. Sobre o Processo de Desertificação. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 4, n.1, p. 174-188, 2011.

SOARES, D. B.; NÓBREGA, R. S.; GALVÍNCIO, J. D. Indicadores Climáticos de Desertificação na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, Pernambuco. **Revista Brasileira de Climatologia**, Campinas, v. 22, 2018.

SOTCHAVA, V. B. O Estudo de Geossistemas. **Métodos em Questão – Instituto de Geografia (USP)**, São Paulo, n. 16, p.1-51, 1977.

SOUSA, M. L. de. **Susceptibilidade à degradação/desertificação na Sub-bacia Hidrográfica do riacho Feiticeiro (Ceará/Brasil) e na Microbacia da Ribeira Grande (Santiago/Cabo Verde)**. 2016. 215 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SOUSA, M. L. de; NASCIMENTO, F. R. do. Estudos Geoambientais de Bacias Hidrográficas em Áreas Suscetíveis à Desertificação no Nordeste do Brasil. **Cuadernos de Geografía - Revista Colombiana de Geografía**, Bogotá, vol. 24, n. 1, ene-jun., 2015.

SOUZA, A. C. N. de; SOUZA, S. D. G. de; SOUSA, M. L. M. de. Paisagens Semiáridas e Desertificação: indicadores geobiofísicos de relevo, clima e recursos hídricos na Sub-bacia Hidrográdica do rio Figueiredo, Ceará. **Revista Geosaberes**. Fortaleza, v. 13, p. 55-74, 2022.

SOUZA, B. I. de.; ARTIGAS, R. C.; LIMA, E. R. V. de. Caatinga e Desertificação. **Mercator**, Fortaleza, v. 14, n. 1, p. 131-150, 2015.

SOUZA, C. Y. V. de; PEREIRA, F. da S. G. Geografia: assuntos científicos e métodos de análise. **Revista Cerrados**, Montes Claros, v. 15, n. 2, p.347-367, jul-dez, 2017.

SOUZA, M. L. de. Apresentação: socioespacial, sócio-espacial...(Ou: sobre os propósitos e o espírito deste livro). In.: SOUZA, M. L. de. **Os Conceitos Fundamentais da Pesquisa Sócio-Espacial**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013.

SOUZA, M. J. N. de; LIMA, F. A. M.; PAIVA, J. B. Compartimentação Topográfica do Estado do Ceará. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 9, n. 1, p. 77-86, 1979.

SOUZA, M. J. N. de. Contribuição ao Estudo das Unidades Morfo-Estruturais do Estado do Ceará. **Revista de Geologia**. Fortaleza, v. 1, n. 1, p 73-91, 1988.

SOUZA, M. J. N. de. Bases Naturais e Esboço do Zoneamento Geoambiental do Estado do Ceará. In.: LIMA, Luiz Cruz. MORAIS, Jäder Onofre de. SOUZA, Marcos José Nogueira de. **Compartimentação Territorial e Gestão Regional do Ceará**. Fortaleza: FUNECE, 2000.

SOUZA, M. J. N. de. Compartimentação Geoambiental do Ceará. In.: SILVA, J. B. da. *et. al.* **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2ª ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

SOUZA, M. J. N. de; OLIVEIRA, V. P. V. Semiárido do Nordeste do Brasil e o fenômeno da seca. In: HUBP, J. L.; INBAR, M. (Org.). **Desastres Naturales en América Latina**. México: Fondo de Cultura Económica, 2002.

SOUZA, M. J. N. de; OLIVEIRA, V. P. V. de. Análise Ambiental: uma prática da intedisciplinaridade no ensino e na pesquisa. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**. Fortaleza, v. 7, n. 2, p. 42-59, nov. 2011.

SOUZA, M. J. N. de; OLIVEIRA, V. P. V. de.; GRANJEIRO, C. M. M. Análise Geoambiental. In.: ELIAS, D. (Org.). **O Novo Espaço da Produção Globalizada: o baixo Jaguaribe**. Fortaleza: FUNECE, 2002.

SOUZA, M. J. N. de; *et al.* **Diagnóstico Geoambiental do Município de Fortaleza: subsídios ao macrozoneamento ambiental e a revisão do plano diretor participativo – PDPFor**. Fortaleza: Prefeitura Municipal de Fortaleza, 2009.

SOUZA, M. S. de. Ceará: bases de fixação do povoamento e o crescimento das cidades. In: SILVA, J. B. da.; *et. al.* **Ceará: um novo olhar geográfico**. 2ª ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

SPOSITO, E. S. **Geografia e Filosofia**: contribuição para o ensino do pensamento geográfico. São Paulo: Editora UNESP, 2004.

SUDENE. **Carta Topográfica Folha SB-24-V-C-III – Crateús Escala 1:100.000**. Rio de Janeiro: SUDENE/CRUZEIRO DO SUL S.A., 1972.

SUDENE. **Delimitação do Semiárido – 2021**. Recife: SUDENE, 2021. Disponível

em: <https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiariorelatorionv.pdf>. Acesso em: 05/03/2020.

TELLES, R. A efetividade da “Matriz de Amarração” de Mazzon nas Pesquisas em Administração. **Revista de Administração**, São Paulo, v. 36, n. 4, p. 64-72, 2001.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

TRICART, J.; KILIAN, J. **La Eco-geografía e la Ordenación del Medio Natural**. Barcelona: Editorial Anagrama, 1982.

TRICART, J. O Campo na Dialética da Geografia. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 19, p. 104-110, 2006.

USGS. **Crateús, Ceará**. Denver: USGS, 2018. Imagem de SRTM. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 02/03/2020.

USGS. **Crateús, Ceará**. Denver: USGS, 2020. Imagem de Satélite Landsat 08, Órbita 218, pontos 63 e 64, Data da imagem: 10/10/2018. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 02/03/2020.

WARREN, A.; MAIZELS, J. K. Mudança Ecológica e Desertificação. *In*: HARE, F. K. *et al.* **Desertificação: causas e consequências**. Trad. Henrique de Barros e Ário Lobo de Azevedo. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

VELLOSO, A. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; PAREYN, F. G. C. (Ed.) **Ecorregiões para o Bioma Caatinga**. Recife: Associação de Plantas do Nordeste, Instituto de Conservação Ambiental The Nature Conservancy do Brasil, 2002.

VILÀS, J. R. Análisis y diagnosis. *In*: CAPDEVILA, M. de. B. i. Manual de **Ciencia del Paisaje: teoría, métodos y aplicaciones**. (Org.). Barcelona: Masson, 1992.

VITOUSEK, P. M.; *et al.* Human Domination of Earth's Ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

WARREN, A.; MAIZELS, J. K. Mudança Ecológica e Desertificação. *In*: HARE, F. K. *et al.* **Desertificação: causas e consequências**. Trad. Henrique de Barros e Ário Lobo de Azevedo. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

WISCHMEIER, W.H.; SMITH, D. D. **Predicting Rainfall Rrosion Losses** - a guide to conservation planning. Washington: U. S. Departament of Agriculture, 1978.

XAVIER, J. P. de S.; *et al.* Estimativa da Erosividade da Chuva por Diferentes Métodos e Seu Impacto na Equação Universal de Perdas de Solo, no Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 12, n. 3m p,859-875, 2019.

XAVIER, T. de M. B. S. **Tempo de Chuva: estudos climáticos e de previsão para o Ceará e Nordeste Setentrional**. Fortaleza: ABC Editora, 2001.

ZANELLA, M. E. As Características Climáticas e os Recursos Hídricos do Ceará. *In.*: SILVA, J. B. da. CAVALCANTE, T. C. DANTAS, E. W. C. (Orgs.). **Ceará**: um novo olhar geográfico. 2ª ed. Fortaleza: Edições Demócrito Rocha, 2007.

ZUZA, J. F. C. **Erodibilidade em Entressulcos e Encrostamento Superficial em Solos do Semiárido sob Aplicação de Gesso Agrícola**. 2019. 62 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2019.

APÊNDICE A – DADOS PLUVIOMÉTRICOS POSTO FUNCEME

Tabela 12 - Precipitações Pluviométricas (mm) Média Anuais dos Postos coletados.

Latitu de	Longit ude	Município	Posto	200 1	200 2	200 3	2004	200 5	200 6	200 7	2008	2009	201 0	201 1	201 2	201 3	201 4	201 5	201 6	201 7	201 8	2019
- 5,226 88	- 40,9173 0		Tucuns	522 ,4	722 ,5	723 ,5	903, 3	681 ,6	671 ,8	614 ,5	1057 ,0	1365 ,0	761 ,6	994 ,0	616 ,2	715 ,2	462 ,0	234 ,0	628 ,6	787 ,0	686 ,8	583, 0
- 5,175 36	- 40,6785 5	Crateús	Crateús (Sede)	453 ,0	598 ,8	813 ,0	1121 ,0	547 ,5	629 ,0	436 ,0	859, 5	1114 ,5	376 ,0	843 ,0	177 ,0	334 ,0	526 ,5	601 ,5	607 ,5	419 ,0	712 ,0	670, 6
- 5,049 25	- 40,9226 1		Ibiapaba	504 ,5	799 ,5	891 ,5	1157 ,5	685 ,0	591 ,0	614 ,0	971, 0	1212 ,0	508 ,5	976 ,5	368 ,0	404 ,0	388 ,5	459 ,5	546 ,5	480 ,5	767 ,0	605, 0
- 5,406 75	- 40,6362 5		V. Sto. Antônio	362 ,0	725 ,0	744 ,0	743, 0	583 ,0	649 ,0	432 ,0	975, 0	995, 0	391 ,0	627 ,0	264 ,0	120 ,0	424 ,0	455 ,0	684 ,0	359 ,0	657 ,0	540, 0
- 5,455 86	- 40,4991 1	Independê ncia	Monte Sinai	356 ,0	804 ,0	461 ,0	729, 0	406 ,5	621 ,9	394 ,0	1035 ,0	826, 4	697 ,0	683 ,0	183 ,0	352 ,0	114 ,0	625 ,1	595 ,3	392 ,8	643 ,0	499, 6
- 5,300 80	- 40,2642 2		Recife	368 ,4	402 ,2	526 ,1	726, 0	358 ,5	479 ,6	675 ,5	709, 5	804, 0	256 ,9	499 ,9	237 ,5	199 ,4	326 ,5	269 ,0	313 ,0	318 ,0	645 ,0	354, 0
- 5,509 36	- 40,8557 5	Novo Oriente	Emaús	423 ,1	834 ,0	820 ,6	407, 6	141 ,6	717 ,6	537 ,0	907, 6	870, 6	273 ,0	858 ,0	371 ,0	465 ,5	314 ,5	566 ,3	998 ,5	180 ,0	844 ,0	575, 0
- 4,903 86	- 40,7616 1	Ipaporang a	Ipaporanga	530 ,6	700 ,8	876 ,0	928, 0	516 ,7	637 ,0	645 ,0	893, 0	1238 ,0	656 ,0	887 ,0	354 ,0	420 ,7	426 ,6	474 ,0	637 ,4	414 ,6	954 ,1	1327 ,0
- 5,063 33	- 40,2922 2	Tamboril	Oliveira	338 ,0	532 ,0	624 ,2	767, 2	617 ,4	889 ,4	518 ,8	693, 0	950, 0	351 ,0	622 ,0	228 ,9	314 ,0	545 ,9	520 ,0	583 ,0	353 ,7	648 ,0	744, 0

Fonte: FUNCEME (2020).

Fator R	11093 ,7	1722, 74	3630, 11	3263, 42	790,5 58	7190, 52	0	0	0	0	1991, 83	0
------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	---	---	---	---	-------------	---

2473,57
37

[illegible]