



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS DE PORTO NACIONAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO ACADÊMICO EM
GEOGRAFIA**

HUDSON DAMASIO ALVES

**DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA DO ASTROBLEMA DA SERRA
DA CANGALHA SOB A ÓTICA DA GEOCONSERVAÇÃO**

**Porto Nacional, TO
2023**

Hudson Damasio Alves

**Diagnóstico Físico-Conservacionista do Astroblema da Serra da Cangalha sob a ótica da
Geoconservação**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Geografia da Universidade Federal do
Tocantins - UFT, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Geografia.

Orientador: Dr. Fernando de Moraes

**Porto Nacional, TO
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- A474d Alves, Hudson Damasio.
 Diagnóstico Físico-Conservacionista do Astroblema da Serra da Cangalha
 sob a ótica da Geoconservação. / Hudson Damasio Alves. – Porto Nacional,
 TO, 2023.
 128 f.
 Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
 – Câmpus Universitário de Porto Nacional - Curso de Pós-Graduação
 (Mestrado) em Geografia, 2023.
 Orientador: Fernando de Moraes
 1. Serra da Cangalha. 2. Geoconservação. 3. Cratera de Impacto. 4.
 Diagnóstico Físico-Conservacionista. I. Título

CDD 910

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Hudson Damasio Alves

**Diagnóstico Físico-Conservacionista do Astroblema da Serra da Cangalha sob a ótica da
Geoconservação**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação
Stricto Sensu em Geografia da Universidade Federal do
Tocantins - UFT, como parte dos requisitos para
obtenção do título de Mestre em Geografia.

Data de aprovação: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Fernando de Moraes, UFT

Prof. Dr. Rodolfo Alves da Luz, UFT

Prof. Dra. Elisângela Martins de Carvalho, UFMS

Prof. Dr. Sandro Sidnei Vargas de Cristo

Aos meus pais: Edson Damasio (in memoriam)
e Gildete Alves da Silva - grandes
incentivadores dos sonhos e da coragem.

Aos meus irmãos por todo amor e carinho de
sempre.

*Naquela mesa ele sentava sempre
E me dizia sempre o que é viver melhor
Naquela mesa ele contava histórias
Que hoje na memória eu guardo e sei de cor
Naquela mesa ele juntava gente
E contava contente o que fez de manhã
E nos seus olhos era tanto brilho
Que mais que seu filho
Eu fiquei seu fã.*

(Naquela Mesa / Sérgio Bittencourt)

AGRADECIMENTOS

Na primeira vez que escrevi estes agradecimentos meu pai estava vivo. Hoje, escrevo com saudades. Sinto saudades de assistir futebol, de brincar, de conversar com meu velho. A morte é inevitável, mas é intragável. Choro pela ausência, mas me sinto lisonjeado pela presença, pela cumplicidade, pela alegria, pela paixão por viver, e por tudo que meu pai nos proporcionou. Agradeço por ter tido o melhor de todos ao meu lado.

Agradeço à Gildete Alves da Silva, minha mãe. Agradeço pelo amor, carinho, sensibilidade, conselhos e por todo incentivo. Meus pais sempre incentivaram os sonhos e coragem. Me sinto privilegiado por tê-los ao meu lado.

Aos meus irmãos pelo companheirismo, amizade, carinho, pelos almoços de domingo e por serem fortes nestes dias difíceis.

Ao professor Dr. Fernando de Moraes por ter aceitado a orientação, por toda paciência, aprendizado e entusiasmo. Assim como toda sua dedicação, disponibilidade e conselhos.

Ao Programa de Pós Graduação em Geografia de Porto Nacional pelo suporte e pela compreensão.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa através do processo nº 88887.643564/2021-00.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para construção desta etapa de modo positivo, direta ou indiretamente.

RESUMO

As crateras de impacto são estruturas raras com grande valor científico e educacional distribuídas em todo o planeta. Estima-se que pouco menos de 200 astroblemas são catalogados, destes, 12 estão em solo brasileiro: Domo de Araguainha – MT/GO, Vargeão – SC, Colônia – SP, Vista Alegre – PR, Cerro do Jarau – RS, Riachão – MA, São Miguel Tapuio – PI, Piratininga – SP, Santa Marta – PI, Inajah – PA, Curuçá – AM e a Serra da Cangalha – TO. A Serra da Cangalha localiza-se na região nordeste do Tocantins, em Campos Lindos. Nesta região, concentra-se grande foco de cultivos de monoculturas. Assim, o Astroblema da Serra da Cangalha situa-se num contexto marcado por transformações da paisagem. Dessa forma, as alterações mencionadas põem em risco a diversidade abiótica da Cratera de Impacto. Diante deste cenário, objetivou-se averiguar o estágio de degradação da Cratera de Impacto da Serra da Cangalha por meio da aplicação do Diagnóstico Físico- Conservacionista (DFC). A área de estudo abrange o astroblema e seu entorno, contabilizando 4785,95 km² distribuídos nos municípios Campos Lindos, Riachão, Carolina e Goiatins. Este trabalho divide-se em Compartimentação Topográfica e Aplicação do DFC. A caracterização, parte inicial da compartimentação, levou em consideração os aspectos físicos da paisagem. Soma-se a isso o emprego de índice morfométricos, a saber: Índice de Dissecação do Relevo, Índice de Concentração de Rugosidade e Índice de Posição Topográfica. Dessa maneira, fez-se a interpretação dos dados aferidos levando em consideração as informações de geologia, geomorfologia, pedologia, declividade, e de uso e cobertura. Posteriormente, com vistas a conservação e/ou preservação da Serra da Cangalha, aplicou-se o DFC para aferir as condições de conservação da estrutura e o seu entorno. Isto feito, os resultados relacionados aos compartimentos topográficos indicam predomínio de topos tabulares associados as Coberturas Detritos-Lateríticas; topos convexos nas regiões rugosas do astroblema e porções dissecadas das rebordas da Serra da Gado Bravo; terraços e planícies fluviais apresentam-se em áreas com média concentração de rugosidade da Chapada da Cangalha. A aplicação do DFC mostrou-se eficiente para averiguar os estágios de degradação da paisagem. Nesta etapa, fez-se a setorização da área em estudo com base em limites políticos municipais, assim cada setor diz respeito a um dos municípios mencionados anteriormente. Os resultados do DFC indicam os setores B e C com maior número de unidade com riscos a degradação, os dados de uso e cobertura corroboram para este resultado. O setor A abriga a cratera de impacto, e por conseguinte, faz-se averiguação aguçada quanto às alterações da paisagem. Nota-se incremento considerável de agricultura temporária e de pastagens nas imediações do astroblema, no compartimento do anel rebaixado do astroblema e na Chapada da Cangalha. A Serra da Cangalha localiza-se em contexto de tensionamentos. Os setores que apresentam maior grau de risco a degradação dispõem-se em compartimentos aplainados, pouco rugosos com ausência de cristas. Por outro lado, os compartimentos rugosos e muito dissecados apresentam pouca alteração da cobertura vegetal. Dado o contexto, entende-se a necessidade assegurar o geopatrimônio. Assim, este trabalho contribui para compreender o contexto de degradação da estrutura e o seu entorno. Dessa forma, advoga-se em favor de práticas geoconservacionistas para com a Serra da Cangalha. Ainda que exista discussões para implementação de uma Unidade de Conservação (Monumento Natural da Serra da Cangalha), é de suma importância levar em consideração o contexto de rápida expansão das atividades antrópicas e agilizar as discussões para implementação da UC.

Palavras-chaves: Serra da Cangalha. Geoconservação. Cratera de Impacto. Geodiversidade. Diagnóstico Físico-Conservacionista. Geoprocessamento.

ABSTRACT

Impact craters are rare structures with great scientific and educational value distributed throughout the planet. It is estimated that just under 200 astroblems are catalogued, of which 12 are on Brazilian soil: Domo de Araguainha – MT/GO, Vargeão – SC, Colônia – SP, Vista Alegre – PR, Cerro do Jarau – RS, Riachão – MA, São Miguel Tapuio – PI, Piratininga -SP, Santa Marta – PI, Inajah – PA, Curuçá – AM and Serra da Cangalha – TO. Serra da Cangalha is located in the northeast region of Tocantins, in Campos Lindos. This region has a large concentration of monoculture crops. Thus, the Serra da Cangalha Astrobleme is located in a context marked by landscape transformations. Therefore, the aforementioned changes put the abiotic diversity of the Impact Crater at risk. Given this scenario, the objective was to investigate the degradation stage of the Serra da Cangalha Impact Crater through the application of Physical-Conservationist Diagnosis (DFC). The study area covers the astrobleme and its surroundings, accounting for 4785.95 km² distributed in the municipalities of Campos Lindos, Riachão, Carolina and Goiatins. This work is divided into Topographic Compartmentation and Application of the DFC. The characterization, the initial part of the compartmentalization, took into account the physical aspects of the landscape. Added to this is the use of morphometric indexes, namely: Relief Dissection Index, Roughness Concentration Index and Topographic Position Index. In this way, the measured data was interpreted taking into account information on geology, geomorphology, pedology, slope, and use and coverage. Subsequently, with a view to conserving and/or preserving Serra da Cangalha, the DFC was applied to assess the conservation conditions of the structure and its surroundings. This done, the results related to topographic compartments indicate a predominance of tabular tops associated with Debris-Lateritic Covers; convex tops in the rough regions of the astrobleme and dissected portions of the edges of Serra da Gado Bravo; terraces and river plains are present in areas with a medium concentration of roughness in Chapada da Cangalha. The application of the DFC proved to be efficient in investigating the stages of landscape degradation. At this stage, the area under study was sectorized based on municipal political limits, so each sector concerns one of the municipalities mentioned above. The DFC results indicate sectors B and C with the highest number of units at risk of degradation, the use and coverage data corroborate this result. Sector A houses the impact crater, and therefore, careful investigation is carried out regarding changes to the landscape. A considerable increase in temporary agriculture and pastures can be noted in the vicinity of the astrobleme, in the compartment of the astrobleme's lowered ring and in Chapada da Cangalha. Serra da Cangalha is located in a context of tension. The sectors that present a higher degree of risk of degradation are arranged in flat compartments, with little roughness and the absence of ridges. On the other hand, the rough and highly dissected compartments show little change in vegetation cover. Given the context, the need to ensure geoheritage is understood. Therefore, this work contributes to understanding the context of degradation of the structure and its surroundings. In this way, we advocate in favor of geoconservationist practices towards Serra da Cangalha. Although there are discussions to implement a Conservation Unit (Natural Monument of Serra da Cangalha), it is extremely important to take into account the context of rapid expansion of human activities and speed up discussions to implement the UC.

Key-words: Serra da Cangalha. Geoconservação. Cratera de Impacto. Geodiversidade. Diagnóstico Físico-Conservacionista. Geoprocessamento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo	20
Figura 2 - Esboço de uma Definição Teórica de Geossistema	28
Figura 3 - Taxonomia da Paisagem por Bertran (2004)	29
Figura 4 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos	35
Figura 5 - Fluxograma do IDR	38
Figura 6 - Inversão do MDE pela Calculadora raster do QGIS	39
Figura 7 - Aquisição do entalhamento do vale.....	40
Figura 8 - Reclassificação das variáveis por meio de regras na Calculadora Raster.....	41
Figura 9 - Tabela de atributos do Índice de Dissecação do Relevo.....	41
Figura 10 - Procedimentos metodológicos para aquisição do ICR	43
Figura 11 - Representação da distribuição dos valores do TPI para as formas de relevo.....	44
Figura 12 - Cálculo do NDVI de 1990.....	47
Figura 13 - Pontos de trabalho de campo.....	48
Figura 14 - Unidades Taxonômicas propostas por Ross (1992).....	50
Figura 15 - Localização da Bacia Sedimentar do Parnaíba.....	51
Figura 16 - Mapa de Geomorfologia da área de estudo.....	54
Figura 17 – Chapada da Cangalha.....	55
Figura 18 - Pediplanos retocados próximos ao astroblema.....	56
Figura 19 - Perfis topográficos da área de estudo	57
Figura 20 - Mapa do Índice de Dissecação do Relevo.....	59
Figura 21 - Mapa do Índice de Concentração de Rugosidade.....	62
Figura 22 - Mapa do Índice de Posição Topográfica.....	64
Figura 23 - Distribuição das formas de relevo na área em estudo.....	66
Figura 24 - Combinação das curvaturas.....	67
Figura 25 - Formas de vertente.....	69
Figura 26 - Setorização com base em limites políticos.....	73
Figura 27 - Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 1990.....	75
Figura 28 - Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 2000.....	76
Figura 29 - Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 2010	78
Figura 30 - Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 2021	79
Figura 31 - Registro fotográfico de Silvicultura na área em estudo	80
Figura 32 - Classe de Pastagens no anel rebaixado do astroblema.....	81
Figura 33 - Mapa de geologia da área em estudo	94
Figura 34 - Secção Geológica Esquemática.....	96
Figura 35 - Mapa geológico simplificado do Astroblema	97
Figura 36 - Mapa de solos.....	99
Figura 37 - Mapa de Potencial Erosivo da área em estudo	102
Figura 38 - Declividade da área em estudo	107

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Percentual de classes de dissecação	58
Gráfico 2 - Distribuição das classes temáticas em km ²	77
Gráfico 3 - Decréscimo da Formação Savânica	82
Gráfico 4 - Balanço hídrico dos setores A e D	89
Gráfico 5 - Balanço hídrico dos setores B e C.....	90
Gráfico 6 - Representação dos valores da formula descritiva final	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Fatores potenciais naturais de degradação física	33
Quadro 2 - Matriz de dissecação proposta por Ross (1992)	37
Quadro 3 - Matriz de classificação de Curvatura Vertical e Horizontal.....	68
Quadro 4 – Síntese da compartimentação topográfica da área em estudo.....	71
Quadro 5 - Índices para determinação do parâmetro CO	82
Quadro 6 - Índice de proteção da vegetação	85
Quadro 7 - Parâmetro de CA para os Setores	87
Quadro 8 - Classificação qualitativa dos valores do balanço hídrico e respectivos símbolos	90
Quadro 9 - Índices para parâmetro balanço hídrico da área em estudo.....	91
Quadro 10 - Classificação dos índices de erosividade para o Estado do Tocantins.....	91
Quadro 11 - Índices e subíndices de erosividade da chuva dos setores A, B, C e D	92
Quadro 12 - Valores atribuídos às variáveis	101
Quadro 13 - Escalonamento dos índices de PE, qualificação e símbolo	103
Quadro 14 - Classe de PE para os setores e respectivos símbolos	104
Quadro 15 - Classificação e simbologia de Densidade de Drenagem	105
Quadro 16 - Valores DD e símbolo DFC.....	105
Quadro 17 - Classes de declividade em conformidade com os índices de Beltrame (1994)	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição das classes do ICR	61
Tabela 2 - Setores da área de estudo	72
Tabela 3 - Dados das classes de uso e ocupação da terra da área em estudo	80
Tabela 4 - Uso e Cobertura nos Setores A e B	83
Tabela 5 - Uso e Cobertura nos Setores C e D	83
Tabela 6 - Grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual por setor da bacia.	84
Tabela 7 - Índice de proteção para o Setor A	85
Tabela 8 - Índice de proteção para o setor B	86
Tabela 9 - Índice de proteção para o Setor C	86
Tabela 10 - Índice de proteção para o Setor D	86
Tabela 11 - Balanço hídrico dos setores A e D	88
Tabela 12 - Balanço hídrico dos setores B e C	89
Tabela 13 - Erosividade da chuva dos setores A, B, C e D.....	92
Tabela 14 - Distribuição das formações geológicas.....	95
Tabela 15 - Potencial erosivo para área total.....	104
Tabela 16 - Potencial erosivo para os setores.....	104
Tabela 17 - Declividade da área total.....	108
Tabela 18 - Declividade média dos setores	109
Tabela 19 - Síntese dos índices calculados em cada parâmetro de todos os setores	110
Tabela 20 - Cálculo dos valores de unidades de risco de degradação da área de estudo.....	111

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agencia Nacional de Águas
CIDIAT	Centro Interamericano de Desarrollo e Investigación Ambiental y Territorial
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DFC	Diagnostico Físico-Conservacionista
DGI	Divisão de Geração de Imagens
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICR	Índice de Concentração de Rugosidade
IDR	Índice de Dissecação do Relevo
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPT	Índice de Posição Topográfica
FM	Formação (Geológica)
MARNR	Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
MDE	Modelo Digital de Elevação
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
ONG	Organização Não Governamental
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
UC	Unidade de Conservação
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMARIO

1	APRESENTAÇÃO DA PESQUISA	17
1.1	Introdução	17
1.2	Localização da área	19
1.3	Objetivos	21
1.3.1	Objetivo Geral.....	21
1.3.2	Objetivos Específicos	21
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	22
2.1	Geodiversidade e Geoconservação	22
2.2	Análise integrada da Paisagem	27
2.3	Diagnóstico físico conservacionista (DFC)	29
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	35
3.1	Parâmetros Geomorfométricos	36
3.1.1	Índice de Dissecção do Relevo.....	37
3.1.2	Índice de Concentração de Rugosidade	42
3.1.3	Índice de Posição Topográfica	43
3.1.4	Curvatura.....	44
3.1.5	Hipsometria e Declividade.....	45
3.2	Uso e ocupação da terra	45
3.3	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	46
3.4	Trabalho de campo	47
4	COMPARTIMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA	49
4.1	Morfometria e Morfoesculturas	50
4.2	Classificação Geomorfométrica das formas de relevo	58
4.2.1	Índice de Dissecção do Relevo	58
4.2.2	Índice de Concentração de Rugosidade	61
4.2.3	Índice de Posição Topográfica	63
4.3	Curvatura: formas de vertentes	67
4.4	Síntese da área em estudo	70
5	APLICAÇÃO DO DIAGNÓSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA	72
5.1	Setorização da área de estudo	72
5.2	Vegetação: Cobertura Original (CO) e Cobertura Atual (CA)	74
5.2.1	Uso e Cobertura da terra de 1990 a 2021.....	74
5.2.2	Determinação do parâmetro de Cobertura Original (CO)	82
5.2.3	Determinação do parâmetro de Cobertura Atual (CA).....	85
5.3	Clima: Balanço Hídrico (BH) e Erosividade da chuva (E)	87
5.3.1	Determinação do parâmetro de Balanço Hídrico dos setores da bacia (BH).....	87
5.3.2	Determinação do parâmetro de Erosividade da chuva (E)	91
5.4	Características geológicas e pedológicas: Suscetibilidade da textura à erosão, associada à declividade (PE) e Densidade de drenagem (DD)	92
5.4.1	Determinação do parâmetro de Suscetibilidade à erosão, associada à declividade (PE) 100	
5.4.2	Determinação do parâmetro de Densidade de Drenagem (DD).....	105
5.5	Características de relevo: Declividade média (DM)	106
5.5.1	Determinação do parâmetro de Declividade média (DM).....	106
6	FORMULA DESCRITIVA FINAL DO DFC	110
6.1	Cálculo do valor crítico do processo de degradação	111
6.2	Avaliação da aplicação do DFC	112

7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	114
	REFERÊNCIAS.....	117
	ANEXO A – REGRAS PARA RECLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO	
	ÍNDICE DE DISSECAÇÃO DO RELEVO	127
	ANEXO B - ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES A PARTIR DOS	
	POLÍGONOS DE THIESSEN.....	128

1 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

1.1 Introdução

As discussões sobre exploração das paisagens em função das demandas antrópicas têm ganhado força desde a década de 1990. Nesta abordagem, entende-se a sociedade como agente plasmador de alterações sensíveis ao ambiente. Assim, discussões sob esta égide são balizadas a partir de temas relacionados aos impactos ambientais, conservação e preservação das paisagens.

A exploração desordenada dos recursos naturais gera impactos ambientais, ou seja, consequências das ações da sociedade que alteram dinâmicas naturais, ocasionam poluições de corpos hídricos e dos solos, desmatamentos, arenização, perda da biodiversidade e destruição do patrimônio geológico. Ante este contexto, percebe-se na literatura maior apreço pelos assuntos relacionados à biodiversidade. De todo modo, pesquisadores têm se dedicado à conservação e/ou preservação dos patrimônios geológicos, principalmente após a segunda metade da década de 1990.

A Geoconservação, termo que é atribuído aos estudos e ações que têm por objetivo a conservação dos patrimônios geológicos tem ganhado notoriedade, principalmente com Gray (2004) e Brilha (2005). E com isso as discussões deste tópico interessam cada vez mais à sociedade. Os patrimônios geológicos ou geopatrimônios são feições abióticas com valores atribuídos, e estes podem ser: científico, educacional, cênico ou intrínseco.

Estruturas raras como as crateras de impacto, de modo consequente são percebidas como geopatrimônios com alto valores científicos e educacionais. De acordo com Earth Impact Database (EID), atualmente têm-se 190 crateras catalogadas em todo o mundo, em solo brasileiro são 12 crateras: Domo de Araguainha – MT/GO, Vargeão – SC, Colônia – SP, Vista Alegre – PR, Cerro do Jarau – RS, Riachão – MA, São Miguel Tapuio – PI, Piratininga -SP, Santa Marta – PI, Inajah – PA, Curuçá – AM e a Serra da Cangalha – TO.

A cratera de impacto da Serra da Cangalha, localizada no município de Campos Lindos, na porção nordeste do estado do Tocantins, apresenta-se como patrimônio geológico com inestimável valor científico e educacional.

O astroblema do tipo complexo tem 13,5 km de diâmetro e foi formado por um bólido com tamanho estimado em 20 mil toneladas entre 220 a 250 M.a. A estrutura apresenta diversidade de elementos que ratificam a importância científica e educacional: seixos fraturados em seu anel interno; geoides com fraturamento radial dispersos ao longo do anel exterior; ejeto

vítrea em profundidade; além das rochas metamorfizadas visíveis na crista do astroblema (BRENHA, ROCHA, ZUCOLOTTO, 2011).

Os elementos supracitados constituem etapas para averiguação de possíveis estruturas de impacto, e estes devem ser preservados. A cratera em questão, encontra-se em um município associado ao agronegócio desde a sua implementação na década de 1990, atualmente é um dos maiores produtores de soja do estado. Lima (2014) salienta que o município, implementado em 1993, já fora pensado e criado dentro de um contexto marcado por grandes empresários do ramo do agronegócio. Assim sendo, os anos subsequentes à sua implementação caracterizam-se por grandes incentivos governamentais e privados num esforço conjunto para a consolidação da exploração dos recursos naturais daquela área.

O período que antecede a emancipação do município caracterizou-se pelo descaso da esfera pública para com a região. Entretanto, após incentivos governamentais as áreas ocupadas por monoculturas nesta região apresentaram crescimento significativo entre os anos de 1990 a 2021, com destaque para o município de Campos Lindos. O incremento da agricultura mecanizada e de agrotóxicos contribuem para a poluição, perda de solos e compactação dos solos, e impactos negativos na esfera social do município (CIFUENTES, 2013).

Frente o contexto de pressão antrópica presente na região, o estado do Tocantins elencou a estrutura geológica (Serra da Cangalha) como área a ser protegida nos termos do Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e Sistema Estadual de Unidades de Conservação do Tocantins (SEUC).

As primeiras visitas técnicas ocorreram no ano de 2011, assim como a realização de oficinas, consultas públicas e confecção da justificativa técnica em 2013. Atualmente, a criação da Unidade de Conservação se encontra em estágio de implementação; contudo, esta etapa vem sendo postergada. De toda forma, a implementação da UC na modalidade de Monumento Natural leva em consideração o valor inestimável da feição e o contexto agropastoril da região como grande dissipador de alterações da paisagem em função dos grandes investimentos empregados tanto pela esfera pública como privada (SEMADES, 2013).

O contexto em que se encontra o astroblema da Serra da Cangalha implica em riscos ao geopatrimônio, sua diversidade abiótica e biótica. Dessa maneira, é fundamental assegurar estratégias de conservação direcionadas à cratera de impacto e o seu entorno (SANCHEZ e BRILHA, 2017)

Isto posto, objetivou-se aplicar o Diagnostico Físico-Conservacionista com as devidas adaptações à paisagem da Serra da Cangalha e seu entorno, para averiguação do estágio de

conservação do geopatrimônio. Além de fazer uma compartimentação topográfica da área em questão, visto que a maioria dos trabalhos de geociências realizados na área de estudo apresentam enfoque eminentemente geológico.

1.2 Localização da área

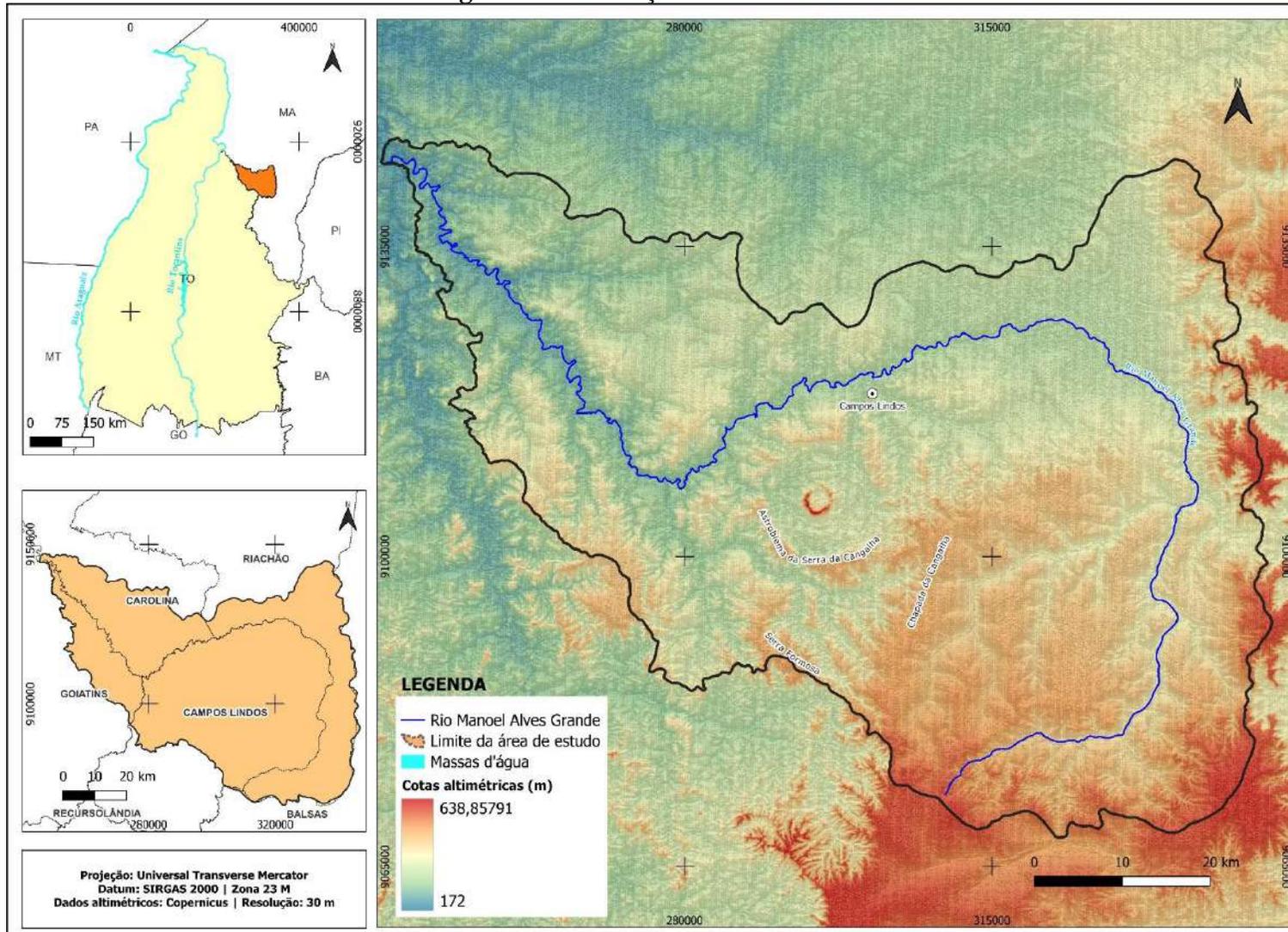
A área abrange porções das unidades federativas do Tocantins e Maranhão. O polígono tem 4785,95 km² distribuídos nos municípios Campos Lindos (47,29%), Riachão (25,99%), Carolina (17,34%) e Goiatins (9,38%). Contudo, o astroblema da Serra da Cangalha está inserido exclusivamente no município de Campos Lindos. O centro da estrutura de impacto localiza-se na latitude 8°4' 35.52" S, e longitude 46°51' 22.57" W (Figura 1).

A estrutura torna-se objeto de discussões para implementação de uma Unidade de Conservação no ano de 2005, com conclusão do “*Estudo para seleção das áreas de maior potencial para conversão em Unidades de Conservação*”. As tratativas para criação da UC seguiram ao longo dos anos, sendo que em 2008 o Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), junto da ONG The Nature Conservancy (TNC), conduziram um estudo intitulado “*Um mosaico de Unidades de Conservação para o Leste do Estado do Tocantins – Parte 3 – Parque Estadual Serra da Cangalha*” (SEMADES, 2013).

Para delimitação da área de estudo, admitiu-se o exultório indicado por Seplan (2004), com latitude 7°44'3.69"S, e longitude 47°18'21.84"W. Dessa forma, a área de estudo compreende a Cratera de Impacto da Serra da Cangalha e seu entorno, ou seja, a área drenada pelo alto curso do rio Manoel Alves Grande.

A delimitação da área em estudo foi realizada de modo híbrido no QGIS 3.22.8, as correções vetoriais basearam-se nas Cartas Topográficas: Craolândia - SC-23-V-A-II, Serra da Cangalha - SC-23-V-A-III, Rio das Balsas - SC-23-V-B-I, Goiatins - SB-23-Y-C-V, Rio Sereno - SB-23-Y-C-VI, Balsas - SB-23-Y-D-IV.

Figura 1- Localização da área de estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar o estágio de conservação na área do astroblema da Serra da Cangalha e seu entorno, sob a ótica da Geoconservação mediante aplicação de Diagnóstico Físico-conservacionista – DFC.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a paisagem do astroblema e seu entorno através da cartografia da paisagem;
- Realizar a compartimentação topográfica da paisagem da cratera e seu entorno;
- Realizar análise multitemporal da cobertura vegetal da cratera de impacto da Serra da Cangalha e seu entorno.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geodiversidade e Geoconservação

A Geodiversidade pode ser compreendida como o substrato para o desenvolvimento da vida, além de ser condição fundamental para o entendimento da história da Terra. Dessa forma, resguardar os elementos abióticos se mostra imprescindível. A exploração de recursos naturais de maneira desordenada resulta em alterações das dinâmicas ambientais e degradação dos geopatrimônios.

No contexto de exploração da paisagem, a urbanização, desmatamentos, implementação de extensas plantações de monocultura são agentes sintagmáticos destas mudanças em várias porções do Brasil. Cifuentes (2013) aponta impactos socioambientais em decorrência da expansão das monoculturas, as alterações vão desde o desmatamento à contaminação do solo, rios e das pessoas. A degradação dos componentes que compõem o arcabouço para o desenvolvimento da vida e exploração de recursos naturais afeta e perturba os elementos vivos e toda a comunidade correlata (SHARPLES, 2002).

É de suma importância a conservação e/ou preservação dos geopatrimônios com elevado valor científico, intrínseco ou educacional. Nesse sentido, elenca-se a geoconservação como estratégia para resguardar os geopatrimônios, uma vez que seu objetivo é conservar feições abióticas de indubitável valor científico, educacional, cultural e/ou de beleza cênica. Mansur (2018) assinala que em virtude das alterações promovidas pela sociedade, surge a necessidade de se promover discussões sobre a preservação da Geodiversidade.

Ao longo das últimas décadas pesquisadores tem se debruçado no intuito de contribuir para construção do termo. A Conferência de Malvern sobre a Conservação Geológica e Paisagística, realizada no Reino Unido em 1993, se apresenta como marco nas discussões de conservação dos elementos abióticos. No evento em questão nota-se a introdução do termo “Geodiversidade” (OLIVEIRA e RODRIGUES, 2014). Após esta data vê-se a difusão de trabalhos com vistas ao tema, com significativas contribuições de Sharples (1995), Eberhard (1997), Sharples (2002), Gray (2004), Kozłowski (2004) Brilha (2005) e outros estudiosos contemporâneos.

Sharples (1995) constata o papel preponderante da biodiversidade em discussões de conservação, contudo faz ressalvas e indica a necessidade de construir banco de dados com informações dos tipos, condições, vulnerabilidade tendo a Geodiversidade como ponto de partida. Assim como compreende a necessidade de convergência entre biodiversidade e Geodiversidade em estudos, ordenamento e ações de conservação da paisagem.

Nieto (2001) percebe pouco uso do termo no âmbito legislativo espanhol e internacional, sendo a preferência por biodiversidade um elemento marcante das discussões. Outro ponto a se destacar é o sentido atribuído ao termo, muitas vezes vinculado a variedade de elementos e não necessariamente à concepção de valoração dos elementos abióticos.

Diante disto, Nieto (2001) contribui para a construção epistemológica, e define Geodiversidade como substrato físico natural de uma região, sobre a qual repousam as atividades orgânicas, incluindo as antrópicas. O autor admite o ser humano como agente ativo, e conclui que as modificações em decorrência das atividades humanas exercem alterações nas dinâmicas naturais. Sharples (2002) é categórico em delimitar que a discussões e ações de conservação dos seres vivos vinculam-se à biodiversidade, enquanto que a Geodiversidade admite os elementos abióticos como objetos de estudo. Todavia, alerta para a necessidade de integração entre biodiversidade e Geodiversidade para a conservação e/ou preservação das paisagens.

Concatenando com Nieto (2001), Sharples (2002) entende a Geodiversidade como a diversidade de estruturas e configurações geológica, de relevo e solos que dão sustentação para a vida na Terra, ressaltando que estes elementos abióticos possuem papel fundamental para o entendimento das dinâmicas do planeta.

Em concordância com as definições anteriores, Gray (2004) admite a Geodiversidade como diversidade geológica (rochas, minerais, fósseis), características geomorfológicas (forma da terra, processos), e acrescenta as configurações dos solos incluindo as relações, propriedades, interpretações e sistemas às discussões.

Alguns autores entendem que a Geodiversidade é constituída por rochas, minerais e fósseis; outros admitem maior abrangência ao termo, de modo que, insere-se também as comunidades de seres vivos. A Royal Society for Nature Conservation (Sociedade Real para a Conservação da Natureza do Reino Unido), compreende que a Geodiversidade é constituída pela variedade de ambientes e fenômenos geológicos que esculpem as paisagens naturais em que repousam a vida na Terra (BRILHA, 2005).

No contexto brasileiro, a Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM) estabelece Geodiversidade como feições da paisagem necessárias para o desenvolvimento da vida. Tais estruturas são dotadas de valores, sejam eles atrelados a cultura, turismo, economia, estética, e aos campos científicos e educacionais (CPRM, 2006).

Ao longo das últimas décadas, as contribuições para a construção do termo Geodiversidade intensificaram-se significativamente, de modo que, Pereira, Rios, Garcia

(2016) a definem como elementos abióticos do meio natural, incluindo os processos das dinâmicas interna e externa da Terra, que resultam nas diversas manifestações do substrato geológico. Nascimento, Azevedo, Mantesso-Neto (2008) ratificam o termo como sendo substrato essencial para o desenvolvimento e evolução das mais variadas formas de vida. A grosso modo, consiste em toda a variedade de minerais, rochas, fósseis e paisagens existentes, ou seja, apresenta-se como o palco da vida.

Dentro dos mais variados componentes da Geodiversidade têm-se feições com valores ímpares, os geopatrimônios. O ato de conservar se resguarda na conduta de valorização de algo, seja de caráter econômico, cultural, sentimental ou qualquer outro (BRILHA, 2005).

Nesse sentido, Nascimento, Azevedo, Mantesso-Neto (2008) entendem o patrimônio geológico como uma parcela da Geodiversidade dotada de valores, podendo ser: intrínsecos, científicos, estéticos, econômicos, funcionais e educativos. Nascimento, Mansur, Moreira (2015) ratificam o enfoque em conservar feições da Geodiversidade que apresentam grande valor científico e educativo.

Em função da deterioração dos patrimônios geológicos, o debate e implantação de ações com vistas à conservação dos geopatrimônios mostra-se indispensável. Mansur (2018) aponta a criação do Parque Nacional de Yellowstone, em 1872, como um marco histórico para a geoconservação. A partir deste momento iniciou-se maiores esforços para assegurar elementos abióticos dotados de valores excepcionais.

Para Brilha (2005), a Geoconservação apresenta-se como ferramenta de gestão, e admite como objetivo primordial a conservação dos geopatrimônios. Sharples (2002) advoga em favor de uma abordagem holística de gestão do geopatrimônio com égides fincadas na geoconservação. De modo a assegurar os geopatrimônios, diversidade de rochas, formas de relevo e solos imbuídos de valores, assim como conservar os elementos abióticos e processos ecológicos naturais. Mansur (2018) atribui a raridade e singularidade como valor a ser considerado no ato de conservar feições abióticas. Estas estruturas apresentam-se como elementos-chave para o entendimento da Terra.

Isto posto, admite-se as crateras de impactos como feições com grande valor científico, sendo necessário direcionar ações para conservação. Existe registro de centenas de astroblemas em todo o mundo, 12 destas feições estão localizadas na América do Sul, sendo oito em território brasileiro (CRÓSTA, 2004; SANCHEZ e BRILHA, 2017).

A Cratera de impacto da Serra da Cangalha é a única feição, deste tipo na região norte do Brasil. O astroblema é uma cratera de impacto do tipo complexa, e conta com 13 km de

diâmetro, sendo a segunda maior feição deste tipo no Brasil. A estrutura apresenta alto valor científico em virtude da grande diversidade de elementos megascópico e macroscópico, além de apresentar bom estado de conservação (SÁNCHEZ e BRILHA, 2017).

Sachez e Brilha (2015) percebem iniciativas de geoconservação de astroblemas no Brasil, haja visto o reconhecimento da Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP) das crateras de impactos como feições de interesse nas discussões de implementações e estudos de Geoparques no país. Até o presente momento, a SIGEP reconhece as Crateras do Domo da Araguainha – MT, Vargeão – SC, Colônia – SP, Vista Alegre – PR e Cerro do Jarau – RS como geossítios.

Estratégias de Geoconservação têm sido direcionadas para os geopatrimônios. A Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais desenvolve o Projeto Geoparque do Serviço Geológico do Brasil, e admite como objetivo a identificação, valoração e construção de estratégias com objetivos geoconservacionistas. O projeto segue diretrizes do Global Geoparks (UNESCO), e conta com o desenvolvimento de propostas para as mais diversas feições de grande interesse científico, educacional, geoturístico ou cultural (SCHOBENHAUS e SILVA, 2012; MANSUR et al., 2013; SANCHÉZ e BRILHA, 2015).

Atualmente há 177 Geoparques Mundiais da Unesco situados em 46 países, em território brasileiro são três: Geoparque Mundial do Araripe, Geoparque Seridó e Geoparque Caminhos dos Cânions do Sul. São geossítios delimitados geograficamente geridos sob a égide da geoconservação e educação de modo sustentável (UNESCO, 2021).

E no contexto de crateras de impacto, destaca-se a proposta de elaborada por Thomé Filho, Crósta, Paula (2012) para criação do Geoparque Astroblema de Araguainha - Ponte Branca. A proposta prevê o roteiro geoturístico pelos 15 geossítios selecionados, assim como estratégias de proteção das feições com valores educacionais, geoturísticos e de interesse da pesquisa científica.

Iniciativas no âmbito legislativo ocorrem em nível federal, estadual e municipal, de modo que as leis preveem a conservação e/ou preservação de componentes relevantes da paisagem. Em âmbito nacional, o Estado brasileiro através da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000 institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC). Este mecanismo estabelece critérios para criação, implantação e gestão de UCs em níveis federais, estaduais e municipais.

De acordo com a lei supracitada, as Unidades de Conservação estão dispostas em dois grupos, o primeiro, as Unidades de Proteção Integral – ou seja, que admitem apenas uso indireto

dos recursos naturais, salvo casos previstos na lei. O segundo grupo mostra-se mais flexível quanto a exploração de recursos, e são compreendidas como Unidades de Uso Sustentável.

As Unidades de proteção Integral são: Estação Ecológica; Reserva Biológica; Parque Nacional; Monumento Natural; Refúgio de Vida Silvestre. Enquanto que Unidades de Uso Sustentável compreende as modalidades: Área de Proteção Ambiental; Área de Relevante Interesse Ecológico; Floresta Nacional; Reserva Extrativista; Reserva de Fauna; Reserva de Desenvolvimento Sustentável; Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Na esfera estadual o Tocantins instituiu o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza (SEUC) por meio da Lei nº 1.560, de 5 de abril de 2005. O SEUC prevê a criação, implantação e gestão de unidades em âmbito estadual e municipal. Assim como o SNUC, o SEUC classifica as UCs em dois grupos, sendo: Unidades de Proteção Integral e Unidade de Uso Sustentável.

Para além das questões legislativas, é de suma importância construir uma concepção de responsabilidade, de valorização e conservacionista dos astroblemas como geopatrimônio para com todos os entes da sociedade (VALENZUELA e BENADO, 2018). Kenkmann et al. (2011) pontuam as estruturas de impacto como elementos geológicos e geomorfológicos de grande importância para compreender a história e evolução das paisagens. Em função da exploração de recursos naturais através de grandes empreendimentos, algumas destas estruturas se encontram sob ameaça de degradação.

De acordo com Sánchez e Brilha (2017), o astroblema da Serra da Cangalha abriga alta diversidade de elementos com valor científico em diferentes escalas, e em bom estado de integridade. Desse modo, emerge a necessidade de desenvolver estratégias de geoconservação. Garcia (2015) pondera que apesar da complexidade dos estudos sob a ótica da Geodiversidade, estes são imprescindíveis para identificar e proteger os geopatrimônios com valores que correspondem aos discutidos por Gray (2004) e Brilha (2005).

Por conseguinte, conclui-se que Geodiversidade engloba aspectos importantes para o entendimento dos processos geológicos, geomorfológicos e pedológicos das paisagens. De acordo com Sánchez e Brilha (2017), a cratera de impacto da Serra da Cangalha abriga alta diversidade de elementos com valor científico em diferentes escalas, e em bom estado de integridade.

Diante do indubitável valor científico e educacional do astroblema da Serra da Cangalha, suscita-se a realização de estudos para subsidiar o planejamento do geopatrimônio e seu entorno com vistas para sua conservação e mitigação de impactos ambientais. Os estudos

ambientais admitem diversos espectros para se tratar da conservação dos componentes naturais da paisagem. Um desses é a elaboração de um diagnóstico das condições de conservação e levantamento das ameaças à dinâmica natural destes geossistemas.

2.2 Análise integrada da Paisagem

A ciência geográfica admite o estudo das paisagens naturais como indispensável, dado que é de grande interesse o entendimento das dinâmicas naturais e a condição transformadora da sociedade. Ao longo das últimas décadas emergiram novas abordagens a partir de diferentes bases epistemológicas na Geografia, as quais contribuíram para as mais variadas análises.

O surgimento de uma abordagem moderna da Paisagem na Geografia emerge no início do século XIX, sob influência de intelectuais como Immanuel Kant, Johann Wolfgang von Goethe, Paul Vidal de La Blache e Alexander von Humboldt (VITTE, 2010; 2011). A categoria admite diferentes interpretações e tem como objetivo a compreensão de elementos e interações que compõem uma dada porção do espaço.

Em Goethe, percebe-se o foco nas dinâmicas que compõem a natureza, de modo a ser compreendida através de seus elementos plasmadores das formas de relevo. Para tal, emprega-se o método descritivo a partir de contínua observação e correlação, admitindo a visão do todo como ponto primordial (VITTE, 2007). O autor prossegue e destaca que neste ponto, as descrições que alcançam as formas não estão fincadas em preceitos mecanicistas. Assim, admite-se a dinamicidade entre os componentes das formas sob o filtro da contemplação, observação e correlação.

Humboldt trouxe sistematização ao termo, e a paisagem passou a ser compreendida como junção de elementos, que podem ser compreendidos através da mensuração e experimentação. O intelectual alemão instrumentaliza reflexões pretéritas, e contribui para a construção de noções de espacialidade dos processos naturais (MAXIMIANO, 2004; VITTE, 2008).

As discussões seguiram ao longo do século XIX, principalmente por parte das escolas alemã, russa, francesa e norte-americana. Bertrand (2004) aponta para avanços na construção do termo Paisagem cunhadas a partir da ecologia. Estes avanços notabilizaram-se por reunir elementos das paisagens até então trabalhados de formas dispersas por geógrafos e outros intelectuais, além de abordar o aspecto antrópico. Segundo Maximiano (2004), o desenvolvimento dos estudos da categoria no início do século XX recebem maiores contribuições dos soviéticos.

O conhecimento geográfico assim como de outras ciências é influenciado por paradigmas. Rodrigues (2001) reconhece a Teoria Geral dos Sistemas, elaborada por Ludwig von Bertalanffy em 1950, como grande referência para os trabalhos de Geografia Física. Ao longo destas discussões, cunhou-se o conceito de “geossistema”, o qual Cavalcanti (2013) atribui a Viktor Borisovich Sochava. O conceito advoga em favor de uma visão integrada dos componentes de cada paisagem, indo na contramão das subdivisões de áreas científicas que ocorriam até então; neste ponto percebe-se maior interdisciplinaridade.

Troppmair e Galina (2006) destacam que estas subdivisões mencionadas, quando pulverizadas, deixam de ser Geografia e passam a ser outra coisa que não Geografia. Diante deste cenário, o paradigma geossistêmico reagrupa estas disciplinas para trabalhar “a sistematização e a integração do ambiente com seus elementos, conexões e processos como um potencial a ser utilizado pelo homem” (TROPPMAIR e GALINA, 2006, p.80).

Cavalcanti (2013) sublinha que o termo também surge na escola francesa, todavia sob outro espectro, tendo Georges Bertrand como seu grande expoente, que em 1968 publica o trabalho “Paisagem e Geografia Física Global: esboço metodológico”. A abordagem francesa esteve associada a uma concepção de escala espaço-temporal muito bem definida, ainda que Sochava entendesse que os geossistemas podem admitir qualquer tamanho.

Bertrand (2004) enfatiza que a combinação de aspectos físicos relativamente estáveis compõe os geossistemas. Os fatores em questão são geomorfológicos, climáticos, hidrológicos, soma-se a isto a exploração biológica (vegetação, fauna e solo) e ação antrópica (Figura 2).



Fonte: Adaptado de Bertrand (2004)

O enfoque geossistêmico mostra-se versátil, na medida em que abarca a paisagem como unidade e totalidade, suas interações e fluxos de energias, além de considerar relações de

interdependência com outras porções do espaço (NEVES, OLIVEIRA, MARQUES NETO, 2021). Diante deste cenário, Bertrand (2004) sugere níveis taxonômicos de abordagem da paisagem. Onde, para o autor a Paisagem pode ser sintetizada em seis unidades: Zona, Domínio, Região Natural, Geossistema, Geofácies, Geótopo (Figura 3). Os limites apresentam-se como aproximação para com a realidade geográfica, e as taxonomias situam-se espacialmente e no tempo.

Figura 3 - Taxonomia da Paisagem por Bertran (2004)

UNIDADES DA PAISAGEM	ESCALA TEMPORO-ESPACIAL (A. CAILEUX J. TRICART)	EXEMPLO TOMADO NUMA MESMA SÉRIE DE PAISAGEM	UNIDADES ELEMENTARES				UNIDADE TRABALHADA PELO HOMEM (3)
			RELEVO (1)	CLIMA (2)	BOTÂNICA	BIOGEOGRAFIA	
ZONA	G I grandeza G. I	Temperada		Zonal		Bioma	Zona
DOMÍNIO	G. II	Cantábrico	Domínio estrutural	Regional			Domínio Região
REGIÃO NATURAL	G. III-IV	Picos da Europa	Região estrutural		Andar Série		Quarteirão rural ou urbano
GEOSSISTEMA	G. IV-V	Atlântico Montanhês (calcário sombreado com faixa higrófila a <i>Asperula odorata</i> em "terra fusca")	Unidade estrutural	local		Zona equipotencial	
GEOFÁCIAS	G. VI	Prado de ceifa com <i>Molinio-Arrhenatheretea</i> em solo lixiviado hidromórfico formado em depósito morânico			Estádio Agrupamento		Exploração ou quarteirão parcelado (pequena ilha ou cidade)
GEÓTOPO	G. VII	"Lapiês" de dissolução com <i>Aspidium lonchitis</i> em microsolo úmido carbonatado em bolsas		Microclima		Biótopo Biocenose	Parcela (casa em cidade)

Fonte: Bertrand (2004)

2.3 Diagnóstico físico conservacionista (DFC)

A humanidade tem alterado consideravelmente as paisagens naturais em função de suas atividades econômicas, sociais e culturais, de modo que a construção civil, grandes obras de engenharia, mineração e atividades agropastoris exercem interferências substanciais nas dinâmicas naturais. A exploração dos recursos naturais decorrente da apropriação desordenada resulta numa relação conflitante, implicando na degradação dos solos, poluição dos corpos hídricos, perturbação das dinâmicas erosivas e perda de vegetação (CAVALCANTI, 2018).

Ante a exploração dos recursos, cabe a necessidade de discussão com vistas à geoconservação. Rodrigues e Bento (2018) evidenciam a difusão de conceitos e debates imbuídos de uma perspectiva de valorização e conservação dos elementos abióticos. Os autores concluem que, diante da degradação ambiental, os avanços tecnológicos devem ser entendidos como ferramentas para análises estatísticas, de levantamentos e modelagens.

Neste ponto, destaca-se o papel das geotecnologias como um conjunto de técnicas e ferramentas para obtenção, processamento e análise de dados obtidos por sensores remotos (passivos ou ativos) utilizados para as mais diversas aplicações (FLOREZANO, 2005; ROSA, 2005). Entre as aplicações estão os estudos ambientais, monitoramento e ordenamento das paisagens além de subsidiar o planejamento em diferentes níveis de escalas, desde o global ao local.

Da década de 1970 em diante os temas relacionados a impactos ambientais emergem na Geografia. No mesmo período, os estudos geográficos absorvem a abordagem sistêmica, de modo a considerar as conjunções, trocas de energias e interdependências das paisagens, apoiando-se em parâmetros que expressem as dinâmicas ambientais de estado e funcionamento dos sistemas para compreensão das porções do espaço (NUNES et al., 2006).

Soma-se a isto, o desenvolvimento e disponibilização de novas tecnologias para fins civis e acadêmicos. Na primeira metade da década de 1970, os Estados Unidos iniciam o primeiro programa espacial de sensores remotos para uso civil, o programa Landsat. Outros sensores foram desenvolvidos por diferentes nações e instituições, como é o caso do SPOT em 1978, desenvolvido pela França, ou mesmo CBERS em 1984 numa cooperação entre China e Brasil, o IKONOS em 1999, QuickBird, e mais recente WorldView (ROSA, 2005).

Os sensores mencionados tratam-se de satélites imageadores com finalidades e resolução diversas, mas que via de regra, fornecem imagens da superfície terrestre por meio das ondas eletromagnéticas capturadas de forma passiva. O desenvolvimento destas ferramentas se estende aos sensores ativos, como é o caso de radares usados para levantamento de informações geofísicas do Brasil através do Projeto RadamBrasil.

A partir da década de 1990, percebe-se grandes avanços e maior uso das geotecnologias de modo geral. Informações coletadas, processadas e armazenadas passaram a ser utilizadas para estudos ambientais e de planejamento. Neste mesmo período, os estudos geográficos apropriam-se destas ferramentas. Os avanços na computação, novos softwares, metodologias e abordagens somam-se ao enfoque nos temas relacionados a conservação e preservação das paisagens (BREUNIG et al., 2019).

Neste contexto, as geotecnologias se consolidam como fundamentais quando se pensa em impactos ambientais. Estas ferramentas foram utilizadas por Mantovani e Pereira (1998) para endossar a necessidade de conservação, preservação e monitoramento das formações florestais brasileiras, mais especificamente no bioma Cerrado e do Pantanal localizado no Mato Grosso. Os autores mencionados concluíram na época que aproximadamente 1/3 de bioma

cerrado estava antropizado, ou seja, de modo direto ou indireto o ser humano havia causado mudanças sensíveis nestas paisagens.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) estabelece como impacto ambiental, “alterações físico-químicas ou biológicas advindas por meio de atividades antrópicas que afete direta ou indiretamente a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota e/ou recursos ambientais” (CONAMA 1986, art. 1º). Estas alterações podem e são estudadas e monitoradas por pesquisadores e institutos tendo as geotecnologias como subsídios.

Os impactos ambientais em decorrência das ações antrópicas são fenômenos que devem ser analisados e contidos (BELTRAME, 1994). Mapas de uso e ocupação, de fragilidades ambientais são bons exemplos de como as geotecnologias podem ser aplicadas para atingir o pressuposto de Beltrame (1994). A mesma autora, apresenta o Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) como instrumento abrangente e prático para a obtenção de valores que avaliem o estado de conservação de uma unidade de estudo, em especial as bacias hidrográficas.

Carvalho (2004) indica que o DFC foi inicialmente desenvolvido pelo Centro Interamericano de Desenvolvimento de Águas e Terras (CIDIAT/Venezuela) em conjunto com o Ministério do Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (MARNR) da Venezuela, e aperfeiçoado por Beltrame (1994). Esta metodologia sob uma ótica conservacionista apresenta-se como instrumento necessário para o planejamento e ordenamento das paisagens, sobretudo paisagens dotadas de valores geocientíficos.

Neves (2012) ressalta a importância da aplicação do DFC, visto que se constitui como a execução de ações de análise e ordenamento com vistas à exploração dos recursos da paisagem amparado numa perspectiva de minimização dos distúrbios dos processos socioambientais.

Esta metodologia foi desenvolvida na primeira metade da década de 1990, e em consequência da disponibilização de novas tecnologias, desenvolvimentos de novos softwares e digitalização de muitos dados, o DFC absorveu algumas mudanças ao longo do tempo. Estas alterações apresentam-se nos aspectos metodológicos para aquisição dos parâmetros.

De todo modo, Carvalho (2004) entende que essa metodologia tem como objetivo determinar o potencial de degradação ambiental de uma bacia, levando em consideração os fatores naturais como subsídio ao planejamento e manejo dos recursos naturais. Dessa forma, torna-se “necessário indicar parâmetros potenciais que serão expressos em forma numérica, estabelecendo o risco de degradação e possibilitando uma análise qualitativa quanto à preservação desses recursos” (CARVALHO, 2004, p. 43).

Em decorrência da disponibilização de imagens satélites com melhor resolução, tornou-se possível aplicar o DFC em áreas menores com maior detalhamento. Em grande parte, pesquisadores que aplicam o DFC adotam o programa Landsat (30 m de resolução) para aquisição dos Fatores potenciais de vegetação, esta escolha justifica-se em função da boa resolução temporal e espacial. Contudo, pode-se usar dados de programas espaciais mais recentes e com melhorias na resolução espacial, tal como Déstro (2010) usa imagens do satélite CBERS-2, os sensores sino-brasileiros têm resolução de 20 m.

Evidente que se pode utilizar resoluções mais detalhadas como os dados do QuickBird, ou do WorldView, que contam resoluções de 2,48 m e de 1,84 m, respectivamente. Entretanto, perde-se abrangência temporal, tendo em vista que são sensores recentes. Ainda assim, estes satélites podem ser utilizados para auxiliar a construção de chaves de interpretação, ou para melhor compreensão da paisagem.

Dados de Brasil (1973), refinados e digitalizados por IBGE (2021), também contribuem para a aquisição dos parâmetros DFC relacionados às características geológicas, geomorfológicas e pedológicas. Quanto aos parâmetros de declividade média, nota-se automatização dos procedimentos para aquisição e adaptação às classes de declividade sugeridas por Embrapa (2009). Enquanto Beltrame (1994) baseia-se em Lemos e Santos (1982) como sugestão de classes de declividade, Ferreira (2015), Santos e Aquino (2017) adotam o de EMBRAPA (2009).

Os autores mencionados optaram pela classificação de declividade do relevo proposto pela EMBRAPA (2009), onde: 0 a 3% Plano; 3 a 8% Suave Ondulado; 8 a 20% Ondulado; 20 a 45% Forte Ondulado; 45 a 75% Montanhoso; > 75% Escarpado. A classificação sugerida por Beltrame (1994) está dividida em quatro classes de declividade, sendo: suave ondulado (até 8%); ondulado (9 a 20%); forte ondulado (21 a 45%); e escarpado (acima de 45%).

Os parâmetros potenciais de degradação física para a realização DFC, conforme a metodologia de Beltrame (1994), são: vegetação, clima, características geológicas/pedológicas e características de relevo (Quadro 1).

Quadro 1- Fatores potenciais naturais de degradação física

Fatores potenciais de degradação física		Aspectos
I-	Vegetação	a- Grau de semelhança entre a cobertura atual e a cobertura inicial (Parâmetro CO); b- Grau de proteção vegetal fornecido ao solo (Parâmetro CA).
II-	Clima	a- Erosividade da chuva (Parâmetro E); b- Balanço hídrico dos setores da bacia (BH Parâmetro).
III-	Características geológicas e pedológicas	a- Suscetibilidade da textura à erosão associada à declividade (Parâmetro PE); b- Densidade de drenagem (Parâmetro DD).
IV-	Características de relevo	a- Declividade média (Parâmetro DM).

Fonte: Adaptado de Beltrame (1994)

Neves (2012) esclarece que o parâmetro de **Cobertura vegetal original (CO)**, aspecto do fator de vegetação, corresponde à vegetação que originalmente deveria existir, enquanto que o parâmetro de **Cobertura vegetal atual (CA)** define o grau de proteção do solo em função do uso e cobertura identificados. O fator de **Erosividade da chuva (E)** corresponde à quantidade de solo que se perde em função da erosão pela chuva. Beltrame (1994) indica que a **Declividade média (DM)** se caracteriza por representar o relevo dos setores de uma bacia hidrográfica. Logo, o parâmetro **Balanço hídrico (BH)** relaciona-se à entrada e saída de água nas porções estudadas.

O parâmetro de **Potencial erosivo (PE)** está associado à suscetibilidade dos solos em ser erodido a depender da formação geológica, processos geomorfológicos, pedologia e declividade dos solos (NEVES, 2012). Conforme Beltrame (1994), a determinação do parâmetro de **Densidade de drenagem (DD)** concede ao pesquisador o conhecimento do potencial da bacia em permitir maior ou menor escoamento superficial de água. De modo que, orienta maior ou menor intensidade de processos erosivos na dinâmica dos canais.

A avaliação do estágio de degradação das paisagens apresenta-se como ferramenta fundamental no âmbito do planejamento ambiental. O DFC mostra-se versátil e eficiente, sendo aplicado em diferentes ambientes e contextos (CARVALHO, 2004; FERREIRA, 2015; SANTOS, 2017; NEVES, 2012). A metodologia admite adaptações e alguns pesquisadores têm adequado o DFC às particularidades de cada paisagem em que se aplica.

Araújo Júnior et al. (2002) e Déstro (2010) fazem o uso combinado do DFC com parâmetros morfométricos para identificar, quantificar e discutir conflitos de uso em bacias hidrográficas. Os autores fizeram uma pequena alteração na metodologia, ao invés de setorizar a bacia hidrográfica do mesmo modo que Beltrame (1994), Ferretti (2004) e Ferreira (2015), os pesquisadores admitem dez microbacias como setores. Desse modo, foi possível verificar o

estágio de degradação, assim como as aptidões de cada microbacia e as incongruências entre uso e aptidão.

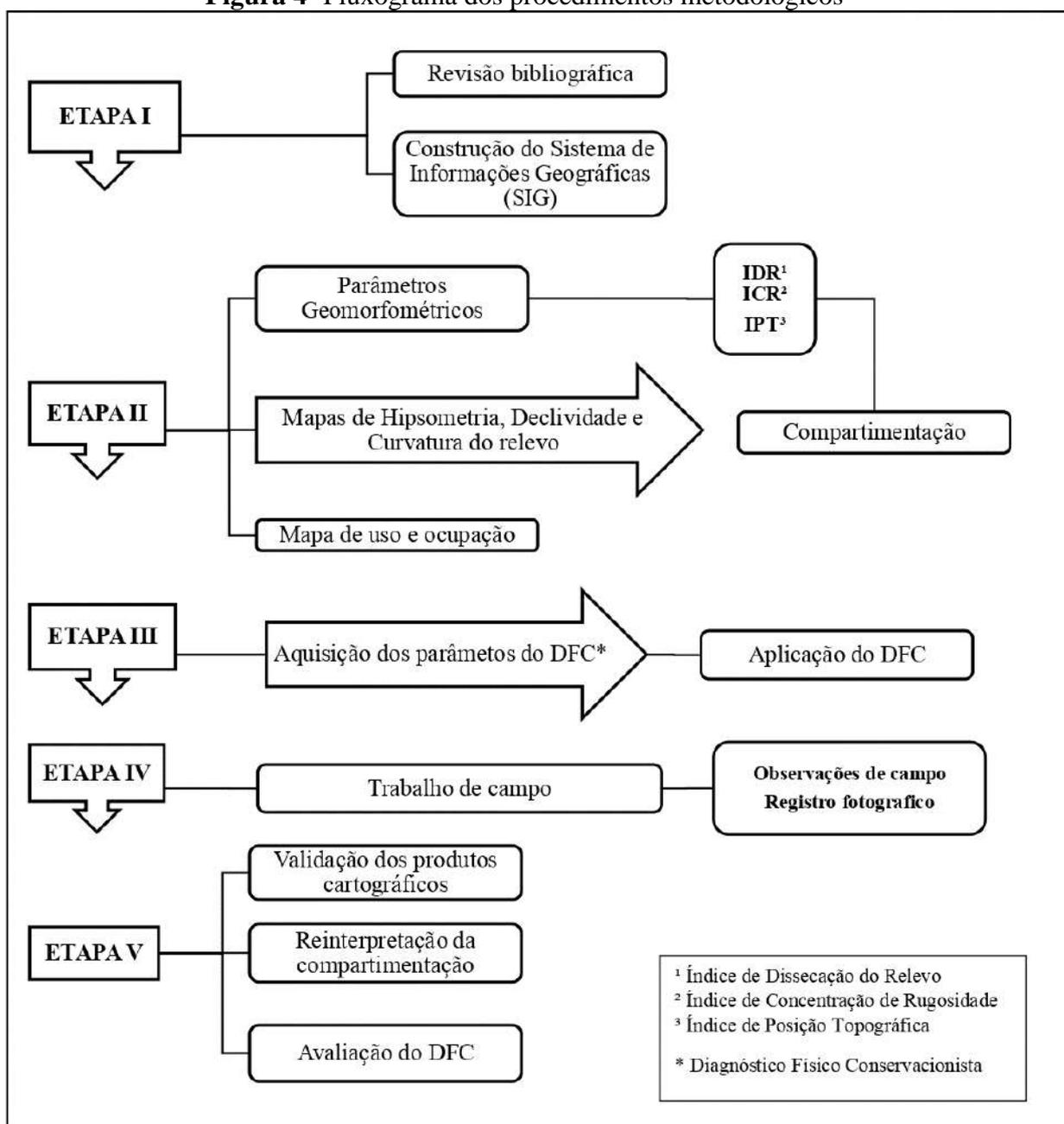
Ainda na perspectiva de conciliar o DFC às discussões de impacto ambiental, principalmente nas questões relacionadas aos conflitos de uso, Santos e Aquino (2017) aplicam a metodologia no nordeste brasileiro, em áreas suscetíveis a desertificação. A partir do DFC, os autores verificaram que atividades antrópicas contribuíram para o aumento do risco de desertificação na respectiva área em estudo. A metodologia mostra-se eficaz e flexível, na medida em que comporta alterações em virtude das diferentes paisagens.

Beltrame (1994) apresenta o Diagnóstico Físico Conservacionista (DFC) como ferramenta metodológica para averiguação do estágio de conservação ambiental. Isto posto, o desenvolvimento de estudos ancorados numa visão do DFC mostra-se como alternativa importante para o diagnóstico das condições de conservação das paisagens. Concatenando com o exposto, Araújo Junior et al. (2002) e Scapini (2006) atribuem eficiência ao DFC, tendo em mente que esta ferramenta se mostra imprescindível para analisar impactos, além de fornecer base de dados consistentes para o planejamento das paisagens.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho está organizado em atividades de laboratório e de campo, sistematizado em etapas de execução: a) revisão de literatura, caracterização da área e construção de Sistema de Informações Geográficas (SIG); b) confecção de produtos cartográficos, uso de índices morfométricos para compartimentação topográfica; c) setorização da área estudada, aquisição dos parâmetros para aplicação do DFC; d) trabalhos de campo, validação de produtos cartográficos; e) avaliação da aplicação do Diagnóstico Físico Conservacionista e reinterpretação da compartimentação topográfica (Figura 4).

Figura 4- Fluxograma dos procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.1 Parâmetros Geomorfométricos

O entendimento das configurações e evolução das paisagens apresenta-se como indispensável à medida em que o processo de ocupação, e de exploração dos recursos tem nos aspectos físicos bases fundamentais quanto ao ordenamento territorial. Diante disto, a ciência geomorfológica se encarga de estudos direcionados à gênese e evolução do relevo.

Marques (2018) assinala que o interesse e, conseqüentemente, os estudos do relevo baseiam-se em observações pretéritas das sociedades humanas. Observações estas que vão desde a escolha dos lugares para moradia à locomoção, cultivos de alimentos e definição de limites políticos. O autor entende o relevo como substrato para o desenvolvimento das atividades antrópicas, e aponta as configurações e processos atuantes como determinantes no ato de valorização das paisagens num espectro socioeconômico.

O planejamento ambiental da Paisagem é fundamental, e para tal deve-se compreender as configurações desta. Estudos geomorfológicos aliados a aquisição de índices morfométricos são importantes ferramentas para entendimento das configurações e de energia do relevo.

A partir da primeira metade da década de 1970 emergiram diversas técnicas de quantificação e representação do relevo. A disseminação de novas ferramentas de sensoriamento remoto contribuíra para popularização de metodologias com bases matemáticas e de modelagens com vistas às mais diferentes abordagens geomorfométricas. A quantificação dos elementos do relevo em ambiente digital expande-se nas décadas subsequentes com a confecção de mapas de hipsometria, declividade, e de vertentes a partir de MDEs (SILVA, OKA-FIORI, SILVEIRA, 2017).

Entre as diversas ferramentas de quantificação do relevo a partir de Modelos Digitais de Terreno ou MDEs, destacam-se o Índice de Dissecção do Relevo (IDR), Índice de posição Topográfica (IPT) e Índice de Concentração de Rugosidade do Terreno (ICR). As abordagens mencionadas possibilitam aos analistas a confecção de produtos cartográficos que subsidiam a compreensão dos processos atuantes e energia de relevo.

A aquisição destes índices constitui base para compartimentações topográficas. Assim, esta etapa tem como objetivo aferir os índices morfométricos supracitados, para posterior compartimentação topográfica do astroblema da Serra da Cangalha e seu entorno, levando em consideração a ordem taxonômica proposta por Ross (1992).

Os produtos cartográficos relacionados aos índices de dissecção do relevo e de concentração de rugosidade do terreno, sombreamento do relevo, declividade e de hipsometria

foram gerados a partir do MDE Copernicus em ambiente QGIS 3.22.8. O Índice de Posição Topográfica foi aferido no software ArcMap 10.3 a partir do MDE supracitado.

As imagens da missão coordenada pela European Space Agency (ESA), o Modelo Digital de Elevação Copernicus, têm resolução espacial de 30 m. Os dados Copernicus foram adquiridos no software QGIS por meio do plugin “OpenTopography DEM Downloader”. As informações utilizadas para os mapas de geologia, geomorfologia e pedologia pertencem à base contínua do estado do Tocantins (SEPLAN, 2012) e às cartas topográficas e temáticas de Brasil (1973) e IBGE (2021).

3.1.1 Índice de Dissecação do Relevo

Inspirado nos trabalhos do RadamBrasil, Ross (1992) indica o ICR como ferramenta útil para identificação de padrões homogêneos de energia de relevo, segmentação das paisagens e compreensão dos processos atuantes na superfície. De acordo com o mesmo autor, o índice considera a dimensão interfluvial média (eixo x) e o entalhamento do vale (eixo y) num plano bidimensional. A soma destas variáveis corresponde aos valores de dissecação do relevo.

De modo que, quanto maior a dimensão interfluvial, menor será o entalhamento do vale. A matriz de dissecação de Ross (1992; 1994) compreende valores de 11 a 55 (Quadro 2).

Quadro 2 - Matriz de dissecação proposta por Ross (1992)

Dimensão interfluvial média ----- Graus de entalhamento dos vales	Muito grande (1) >1500 m	Grande (2) 1500 m	Média (3) 700 m	Pequena (4) 300 m	Muito Pequena (5) <100 m
Muito Fraco (1) < 10 m	11	12	13	14	15
Fraco (2) 10 a 20 m	21	22	23	24	25
Médio (3) 20 a 40 m	31	32	33	34	35
Forte (4) 40 a 80 m	41	42	43	44	45
Muito Forte (5) > 80 m	51	52	53	54	55

Fonte: Ross (1992)

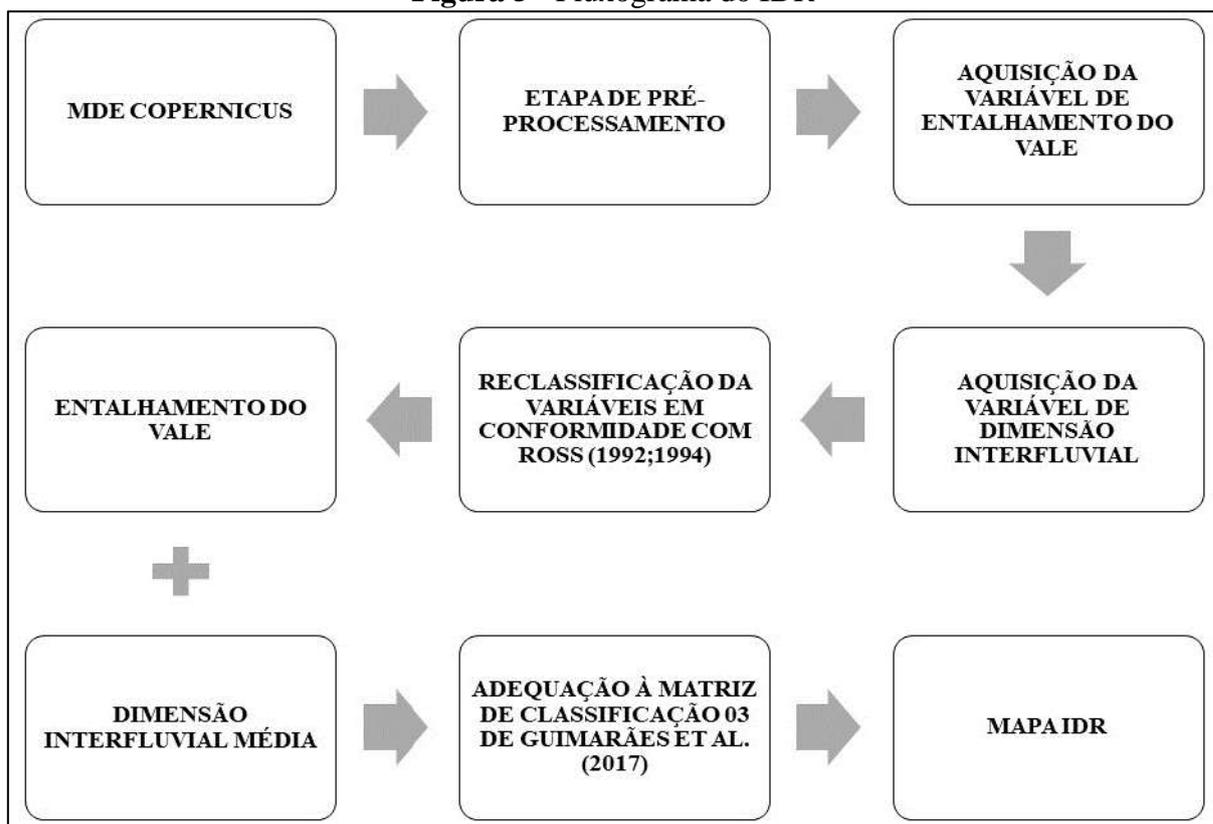
Assim sendo, o valor 11 corresponde as dissecações Muito Fraca. Valores de 12, 21, 22 indicam dissecação Fraca. Porções Moderadas são representadas pelos 13, 23, 31, 32, 33. Dissecação Forte engloba os valores de 14, 24, 34, 41, 42, 43, 44. Enquanto que as dissecações Muito Fortes são representadas por 15, 25, 35, 45, 51, 52, 53, 54, 55.

Guimarães et al. (2017) propõem a automatização desta abordagem, permitindo aos analistas a possibilidade de calcular os parâmetros de entalhamento do vale e dimensão

interfluvial em ambiente computacional. Isto posto, os processos metodológicos para aquisição deste índice foram realizados seguindo as orientações destes autores. Para evitar erros e ruídos da camada raster, o MDE foi submetido à etapa de pré-processamento indicada por Guimarães et al. (2017). Dessa forma, criou-se o buffer de 2 km a partir dos limites da área de estudo, além de corrigir os pixels do MDE com a ferramenta “r.fill” do QGIS 3.22.8.

Todos os procedimentos metodológicos foram feitos no software mencionado, e estão divididos da seguinte maneira (Figura 5):

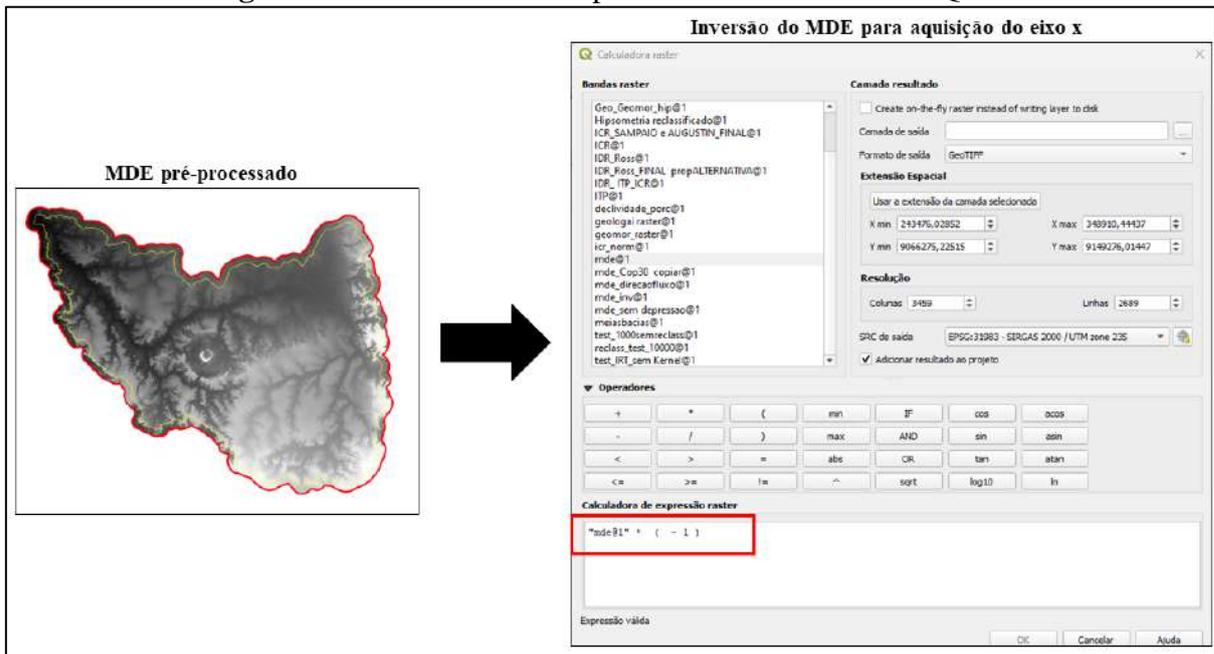
Figura 5 - Fluxograma do IDR



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

I) Aquisição da variável de Entalhamento do vale: para tal, gerou-se a camada raster com diversidade altimétrica considerando a superfície de referência e os valores atribuídos a cada unidade de pixel. Assim sendo, inverte-se as bases para o topo por meio da Calculadora Raster multiplicando o MDE preenchido por -1 (GUIMARÃES et al., 2017) (Figura 6).

Figura 6 - Inversão do MDE pela Calculadora raster do QGIS

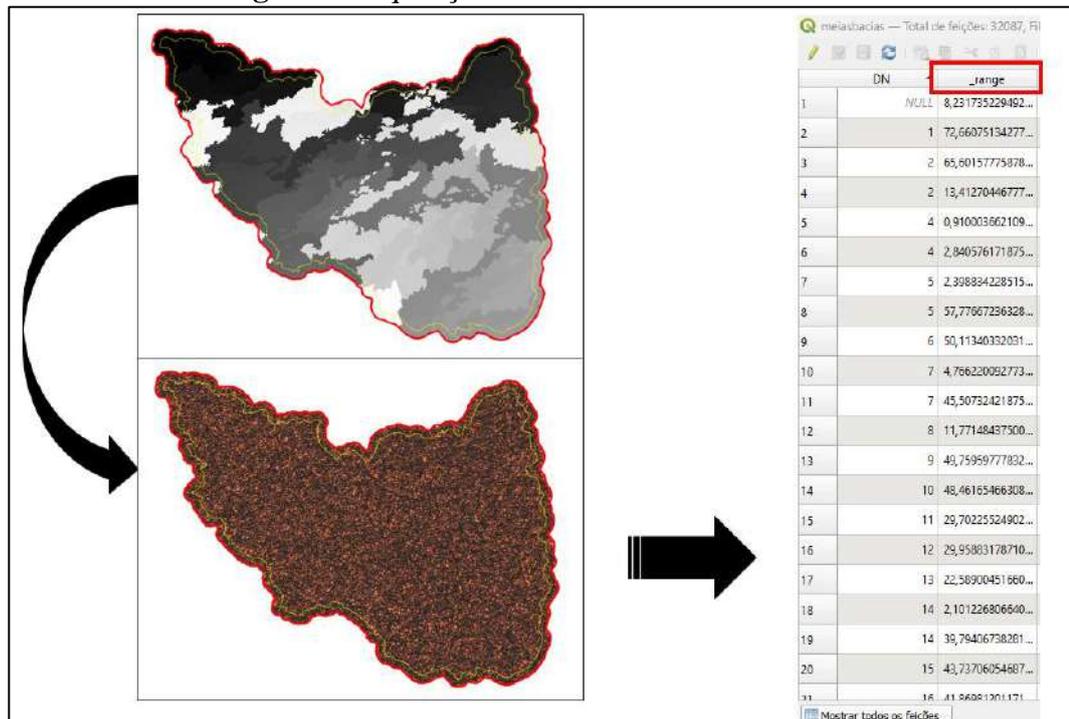


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Sobre o MDE invertido aplicou-se a ferramenta Flow.direction, dessa forma obteve-se a direção de fluxo. Posteriormente aplicou-se a ferramenta de preenchimento de dados, o “Preencher sem dados” do QGIS. O intuito deste procedimento reside em evitar ruídos e erros na camada gerada.

A partir dos dados de direção de fluxo preenchidos, extraiu-se as meias-bacias em formato raster. Isto feito, a camada raster foi vetorizada (polígonos), e posteriormente atribuiu-se valores de altimetria coletados no MDE com depressões preenchidas para camada vetorial. Nesta etapa, utiliza-se “Estatísticas Zonais”. A coluna “_ranger” da tabela de atributos da camada vetorial resultante corresponde aos valores de amplitude altimétrica – entalhamento do vale (Figura 7):

Figura 7- Aquisição do entalhamento do vale



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

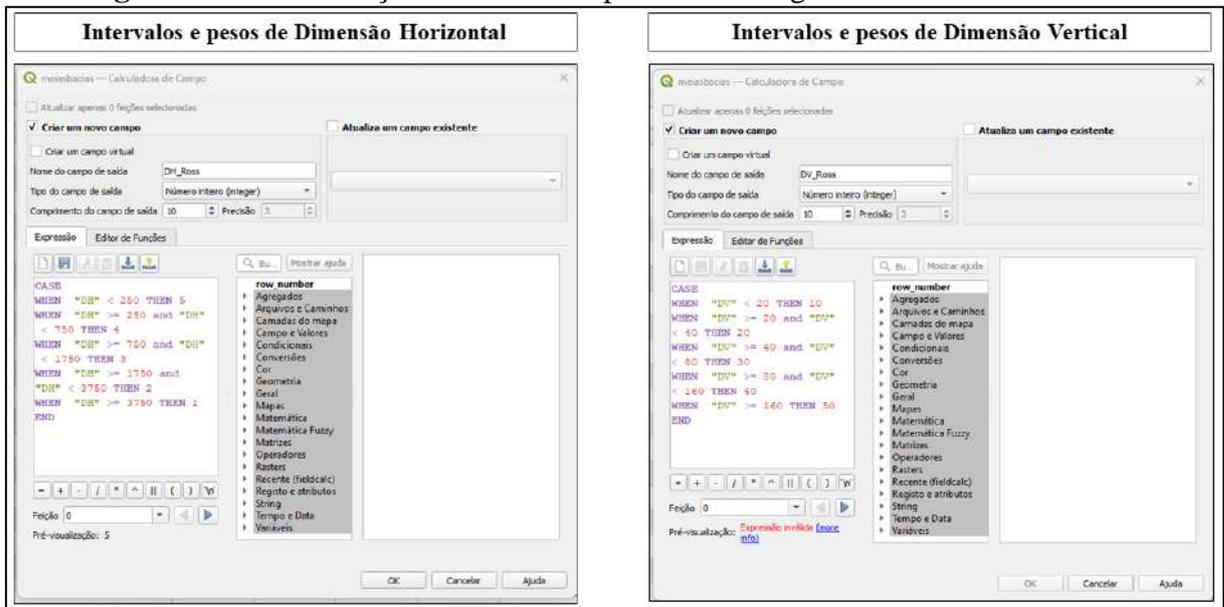
II) Aquisição da variável de Dimensão interfluvial: Todo os procedimentos de aquisição desta etapa foram aferidos na Calculadora de Campos do QGIS.

Na Tabela de Atributos da camada vetorial (gerada na etapa I) criou-se a coluna “área_m2” para calcular a área em metros quadrados de cada meia-bacia, do mesmo modo cria-se “perímetro”. Para obtenção da dissecação horizontal foi necessário calcular o comprimento e largura média das meias-bacias. Assim sendo as operações na Calculadora de Campo admitem as orientações de Christofletti (1980). O comprimento foi calculado através da razão da coluna “perímetro” por 2. Enquanto que a largura média foi obtida por meio da razão da coluna “área_m2” pelo comprimento das meias-bacias, o resultado corresponde aos valores de dimensão interfluvial.

As variáveis de entalhamento do vale e dimensão interfluvial estão representadas pelas colunas “_ranger” e “Larg_media”, para fins de organização as colunas foram renomeadas para DV (Entalhamento do vale) e DH (Dimensão interfluvial);

III) Reclassificação das variáveis em conformidade com Ross (1992; 1994) por meio de regras na Calculadora Raster (Anexo A). Nesta etapa, indicou-se os intervalos e pesos em consonância com Ross (1992) (Figura 8).

Figura 8- Reclassificação das variáveis por meio de regras na Calculadora Raster



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A etapa **IV** constituiu-se na soma das colunas DV_Ross e DH_Ross, a operação foi realizada na Calculadora de Campos do QGIS (Figura 9). Após a somatória, converte-se a camada vetor em raster. A reclassificação da matriz do IDR foi realizada em conformidade com a proposta 03 de Guimarães et al. (2017).

Figura 9- Tabela de atributos do Índice de Dissecação do Relevo

	DN	_range	area	perimetro	com_bac	lar_med	DV	DH	DH_Ross	DV_Ross	IDR_Ross
1	NULL	8,231735239492...	8355	488	244	34	8	34	5	10	15
2	1	72,66075134277...	238591	3534	1767	135	73	135	5	30	35
3	2	65,60157775878...	285939	4631	2316	123	66	123	5	30	35
4	2	13,41270446777...	928	122	61	15	13	15	5	10	15
5	4	0,910003662109...	7427	427	214	35	1	35	5	10	15
6	4	2,840576171875...	928	122	61	15	3	15	5	10	15
7	5	2,398834228515...	6499	366	182	36	2	36	5	10	15
8	5	57,77667236328...	290582	5160	2590	112	58	112	5	30	35
9	6	50,11340832031...	375066	4875	2438	154	50	154	5	30	35
10	7	4,766220092773...	928	122	61	15	5	15	5	10	15
11	7	45,30732421675...	263662	3778	1689	140	46	140	5	30	35
12	8	11,77148437500...	47348	1706	853	56	12	56	5	10	15
13	9	49,75959777832...	506904	5302	2651	191	50	191	5	30	35
14	10	46,46165466306...	329582	3413	1707	193	48	193	5	30	35
15	11	29,70225524902...	31566	1280	640	49	30	49	5	20	25
16	12	29,95883178710...	129977	1950	975	133	30	133	5	20	25
17	13	22,59300451660...	36208	1463	732	49	23	49	5	20	25
18	14	2,101226806640...	928	122	61	15	2	15	5	10	15
19	14	39,79406738281...	581187	5728	2864	203	40	203	5	30	35
20	15	43,73706054687...	282235	4205	2103	134	44	134	5	30	35
21	16	41,86981201171...	206106	4205	2103	98	42	98	5	30	35

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Quanto à reclassificação, Mantovani e Bueno (2021) ratificam a eficiência da proposta de Guimarães et al. (2017). Soma-se a isto o fato de que a supracitada classificação mostrou-se mais ajustada à realidade da unidade de estudo em apreço. As classes estão agrupadas da seguinte maneira: Muito Fraca representada pelos valores de 11, 12, 13, 21, 22; Fraca discriminada através dos valores 14, 15, 23, 24, 25, 35; Moderada corresponde aos valores 32, 33, 34; enquanto que os valores de 31, 41, 42, 43, 44, 51, 52 e 53 indicam a classe de dissecação Forte; e a classe Muito Forte é representada por 45, 54 e 55.

3.1.2 Índice de Concentração de Rugosidade

Avanços mais recentes no âmbito das ferramentas de geoprocessamento têm fomentado o desenvolvimento de novas técnicas de geomorfometria. A dissipação das geotecnologias e suas aplicações aos estudos de geomorfologia propiciou ambientes férteis para metodologias com vistas a compartimentações do relevo no Brasil.

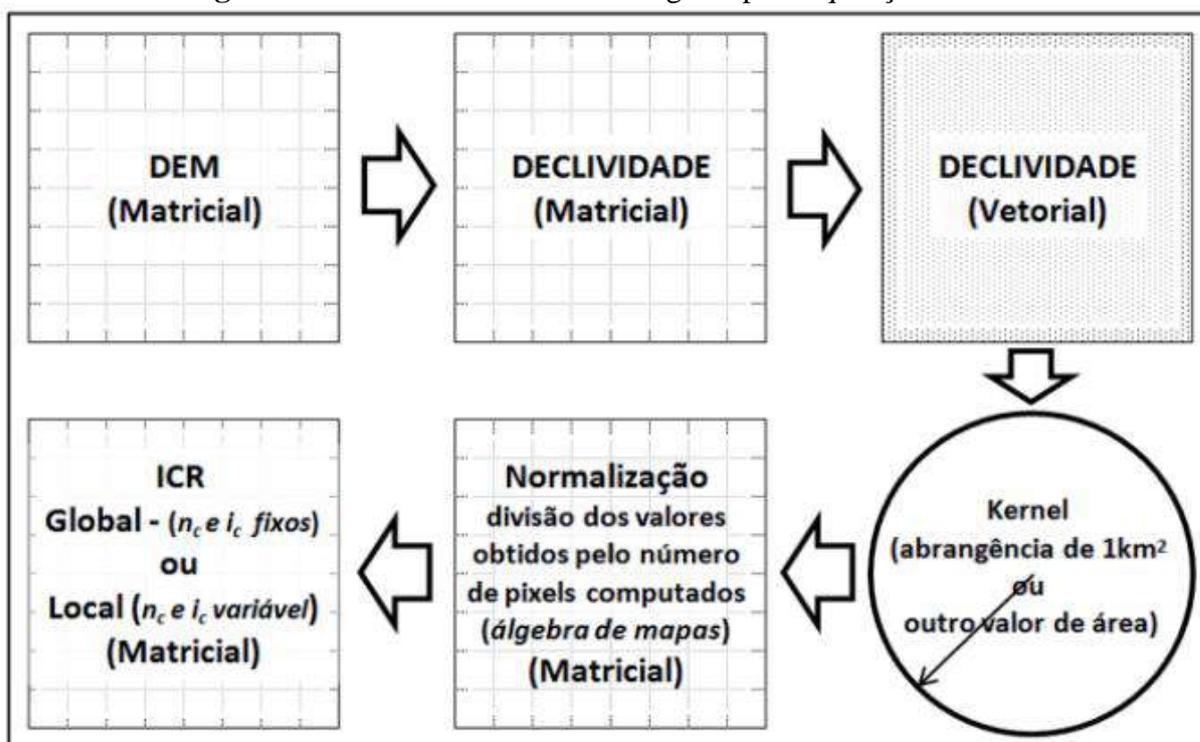
Sampaio e Augustin (2008) apontam subjetividades presentes nos trabalhos de compartimentação topográfica das paisagens, em especial na proposta de representação das dissecações do relevo de Ross (1992). Tais fragilidades metodológicas apresentam-se nas etapas de aquisição de dados e nos processos metodológicos relacionados à definição de indicadores espaciais de dimensão horizontal e vertical. Diante disto, os autores apresentam o Índice de Concentração de Rugosidade (ICR) como alternativa.

O desenvolvimento de novas ferramentas permite aos analistas suprimir, ou pelo menos diminuir as subjetividades apontadas por Sampaio e Augustin (2008). O ICR baseia-se nas abordagens de parametrização do relevo propostas por Hobson (1972), admitindo como objetivo o cálculo dos padrões de distribuição espacial de declividade num plano tridimensional.

Para aferir este índice utilizou-se o software QGIS e as informações altimétricas do Modelo Digital de Elevação Copernicus, seguindo os pressupostos metodológicos de Sampaio e Augustin (2014). Desse modo, o MDE – Cop30 foi transformado em mapa de declividade por meio do comando Gdal Declividade, resultando numa camada raster com a espacialização da declividade do terreno expressa em porcentagens.

A etapa posterior consistiu na conversão do raster de declividade em camada vetorial. Isto feito, aplicou-se o estimador de densidade Kernel com raio de 564 m, correspondendo ao ICR Local de Sampaio e Augustin (2014) (Figura 10).

Figura 10 - Procedimentos metodológicos para aquisição do ICR



Fonte: Sampaio e Augustin (2014)

Para normalização dos dados, a camada resultante foi convertida para o formato raster por meio do comando Rasterizar. Os dados matriciais gerados foram agrupados em 5 classes a partir de quartis, obtendo-se as concentrações de rugosidade Muito Baixo, Baixo, Médio, Alto e Muito Alto.

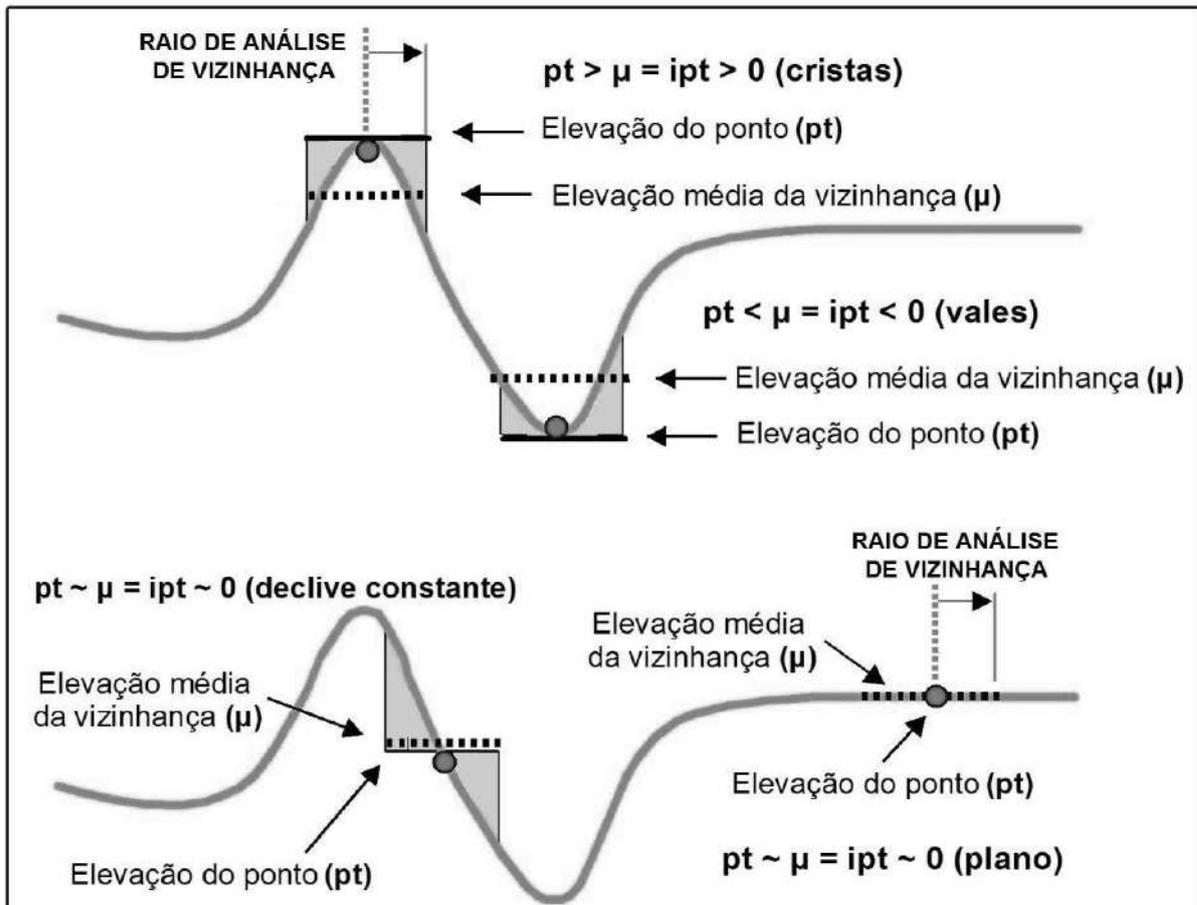
3.1.3 Índice de Posição Topográfica

No contexto de desenvolvimento de novas ferramentas e abordagens geomorfométricas para compreensão das paisagens, Silveira e Silveira (2017) apontam o Índice de Posição Topográfica como alternativa para classificação quantitativa de arranjos e padrões do relevo. O índice desenvolvido por Weiss (2001) considera a diferença altimétrica de uma unidade central (z) em relação à sua vizinhança (\check{z}). Para tal, emprega-se a Equação (1).

$$IPT = z - \check{z} \quad (1)$$

Os valores calculados variam próximos a zero, sendo: valores negativos associados a regiões rebaixadas, como vales e depressões; valores próximos ou iguais a 0 correspondem às planícies, e ou regiões com baixo gradiente altimétrico (áreas planas); e os valores positivos discriminam as cristas e escarpas (Figura 11).

Figura 11- Representação da distribuição dos valores do TPI para as formas de relevo



Fonte: Silveira e Silveira (2017)

Neste trabalho, admite-se o raio anelar de 8 células (240 m) em consonância com Silveira e Silveira (2017). Para aferir o Índice de Posição Topográfica, fez-se o uso da ferramenta Spatial Analyst do ArcGis 10.3. A camada raster resultante foi discretizada considerando o desvio padrão e dividida em sete classes morfológicas. Realizou-se a etapa anterior no campo “Simbologia – Classificar” do mesmo software.

3.1.4 Curvatura

Para definição das formas de relevo e caracterização das vertentes, utilizou-se as informações do Projeto TOPODATA (VALERIANO, 2008). Os dados dizem respeito: curvatura vertical organizada em cinco classes; curvatura horizontal em cinco classes. De posse destas informações, fez-se a intersecção de dados e posterior análise das formas de relevo e vertentes com vistas à compartimentação topográfica e caracterização da área de estudo.

3.1.5 Hipsometria e Declividade

O mapa de hipsometria foi gerado a partir do MDE Copernicus, e as classes hipsométricas foram distribuídos em 5 intervalos altimétricos por meio do comando “Reclassificar por Tabela” do QGIS. No mesmo ambiente GIS foram gerados os mapas de relevo sombreado e de declividades do terreno.

A declividade foi calculada em porcentagem através da ferramenta QGIS “Declividade” em consonância com Embrapa (2009). Resultando em classes de declividades divididas da seguinte maneira: Plano (0% a 3%); Suave ondulado (3% a 8%); Ondulado (8% a 20%); Forte ondulado (20% a 45%); Montanhoso (45% a 75%); e Escarpados (>75%).

3.2 Uso e ocupação da terra

As informações de Uso e Ocupação da terra foram obtidas na plataforma digital do MapBiomas por meio do Google Earth Engine, os dados correspondem a Coleção 7.1. As informações de uso e ocupação foram submetidas a etapa de validação e refinamento. A etapa de adequação dos dados dividiu-se em dois momentos: a) em laboratório, os dados foram submetidos à interpretação da classificação considerando aspectos de cor, textura, simetria, rugosidade dos alvos; b) trabalhos de campos foram realizados para ajustes das chaves de interpretação e validação de uso e ocupação da terra na área em estudo.

Usou-se as imagens dos satélites Landsat-5 TM (Thematic Mapper) e Landsat 8 OLI (Operational Land Imager), ambas com resolução espacial de 30 metros. Foram consideradas as imagens de 1990, 2000, 2010 e 2021. A área encontra-se sobre quatro cenas de ambos os sensores. Dessa forma, foi necessário construir mosaicos das cenas 221/65, 221/66, 221/65 e 222/65 no software QGIS. As imagens selecionadas estão compreendidas entre os meses de junho a agosto, período com pouca cobertura de nuvens. A aquisição deu-se na Divisão de Geração de Imagem do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

A interpretação dos alvos e definição de chave de interpretação basearam-se nos preceitos estabelecidos pelo Manual Técnico de Uso da Terra do Instituto Brasileiro (IBGE, 2013). Assim, o passo seguinte desta etapa consistiu na edição matricial dos dados MapBiomas.

As informações e metodologia mencionadas foram empregadas para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2021. Todo o procedimento foi realizado no QGIS. As classes obtidas foram: Área Urbanizada, Agricultura Temporária, Campo Alagado, Corpo d’água, Formação Campestre, Formação Florestal, Formação Savânica, Pastagem, Silvicultura.

3.3 Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada calcula a presença de vegetação verde com e sem vida por meio de técnicas de geoprocessamento. O NDVI tem sido empregado em diversos contextos, e junto de outros parâmetros e análises constituem ferramentas fundamentais para ordenamento das paisagens (MELO, SALES e OLIVEIRA, 2011).

O índice calcula a densidade de vegetação por meio da razão entre a diferença dos valores matriciais contidos nas bandas do infravermelho próximo e vermelho, e pela soma dessas mesmas bandas.

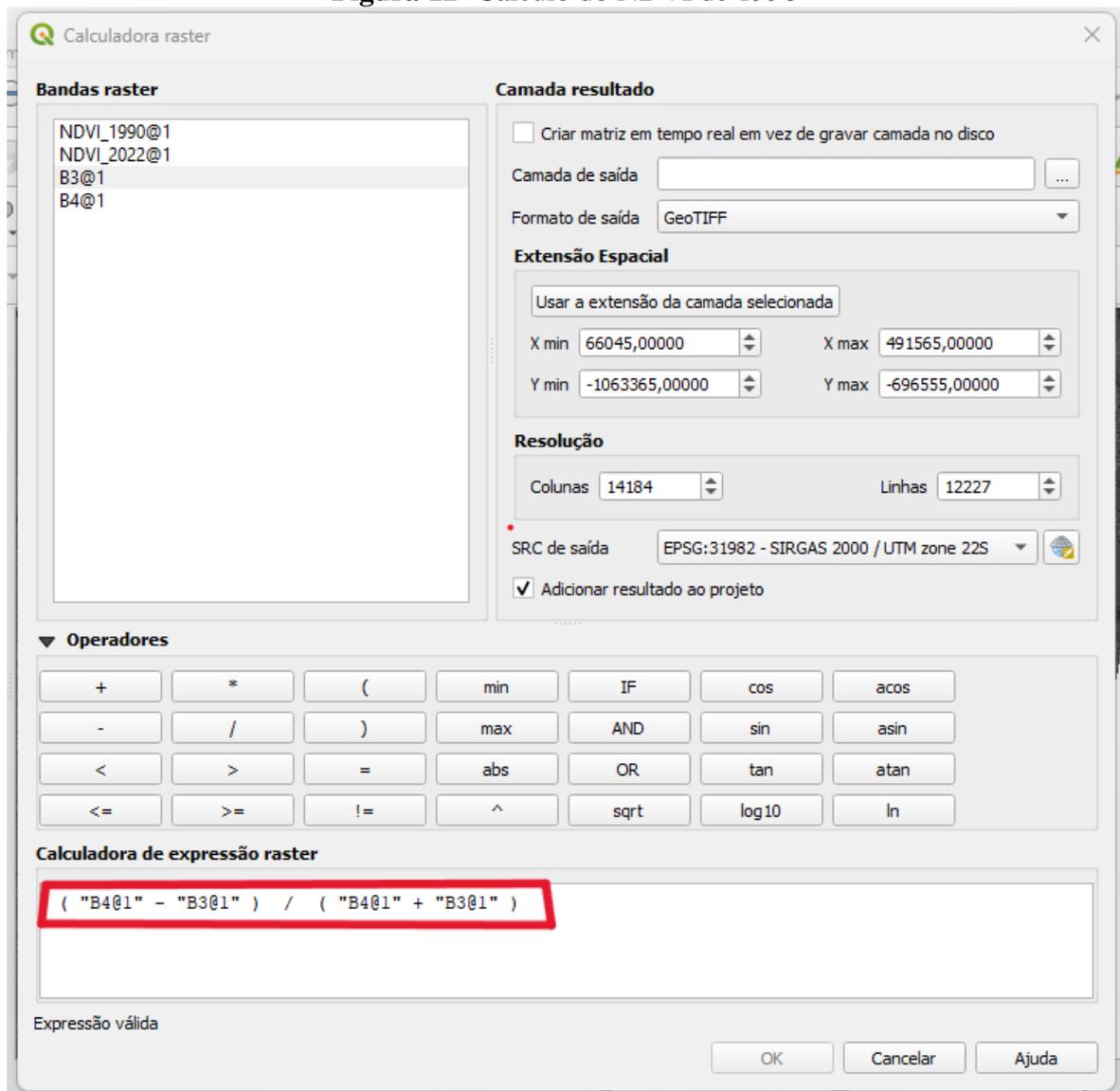
O índice proposto por Rouse (1973) é calculado através da Equação 2:

$$\text{NDVI} = \frac{(\text{NIR}-\text{R})}{(\text{NIR}+\text{R})} \quad (2)$$

Onde: NDVI corresponde ao índice calculado; NIR diz respeito a banda espectral do infravermelho próximo, faixa que a vegetação reflete maior quantidade de energia; e a banda do vermelho, R (JENSEN, 1996; FLOREZANO, 2002). Neste trabalho, os sensores utilizados foram o Landsat 5 e 8, com imagens de 1990 e de 2022. Desta forma, as bandas que corresponde à Equação 2 são: 3 e 4 (Landsat 5) e 4 e 5 (Landsat 8). Este procedimento foi realizado com a “Calculadora Raster” do QGIS (Figura 12).

Os valores matriciais resultantes foram discretizados e dispostos em dez intervalos de classes. O índice apresenta valores distribuídos entre -1 a 1. Valores próximos de 0,1 e 0,2 representam ausência de vegetação, 0,2 a 0,5 pouca concentração de vegetação, valores acima de 0,5 se caracterizam por vegetações típicas de formações florestais (MOREIRA, 2011).

Figura 12- Cálculo do NDVI de 1990

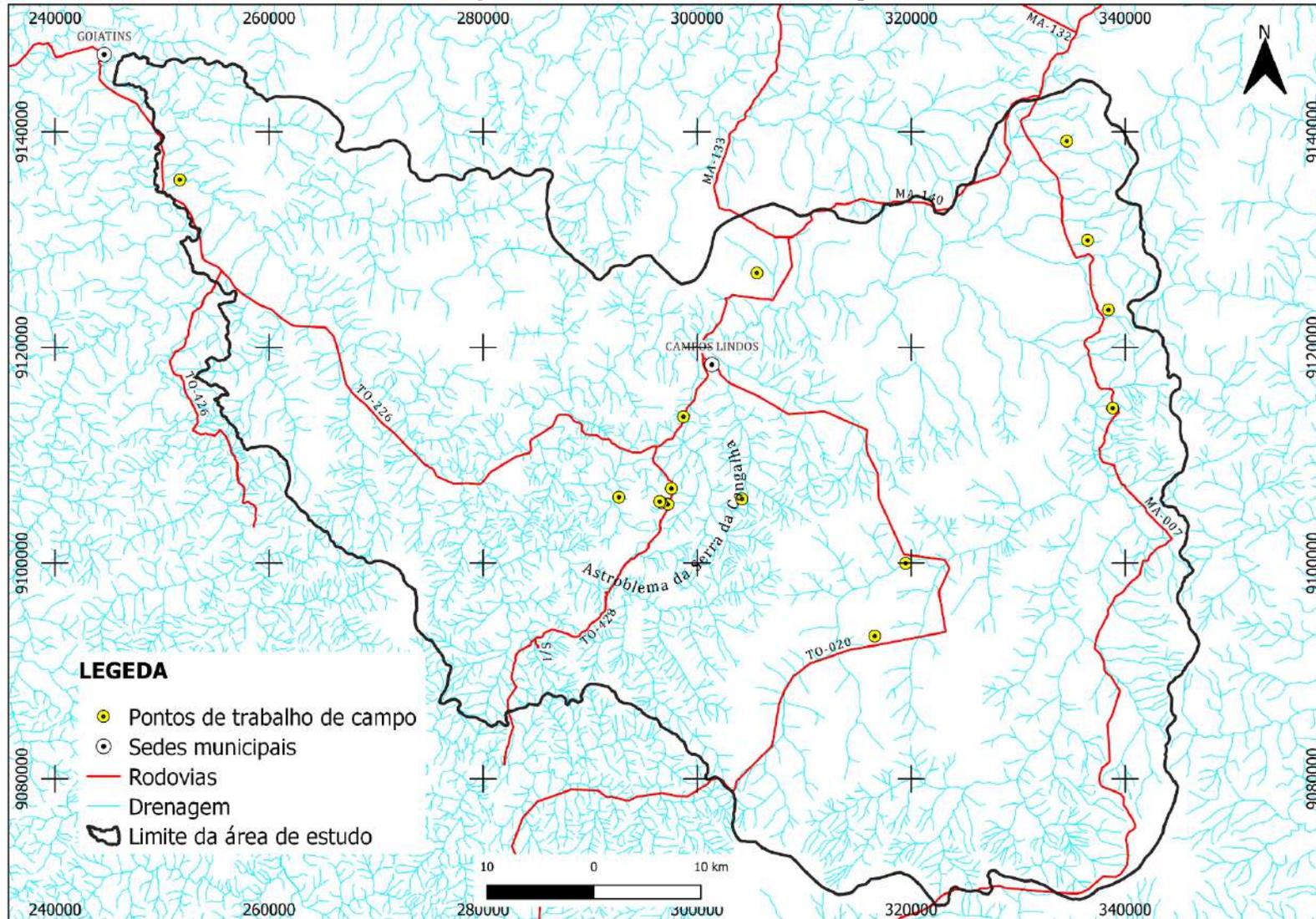


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.4 Trabalho de campo

O trabalho de campo foi realizado a partir de caminhamento livre em conformidade com Cavalcanti (2018). Os pontos observados em campo mostraram-se relevantes para validação das classes de uso e ocupação e refinamento da compartimentação topográfica. Assim, coletou-se as coordenadas geográficas dos pontos por meio dos softwares Google Earth Pro e Avenza Maps 4.2.2 (Figura 13).

Figura 13- Pontos de trabalho de campo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

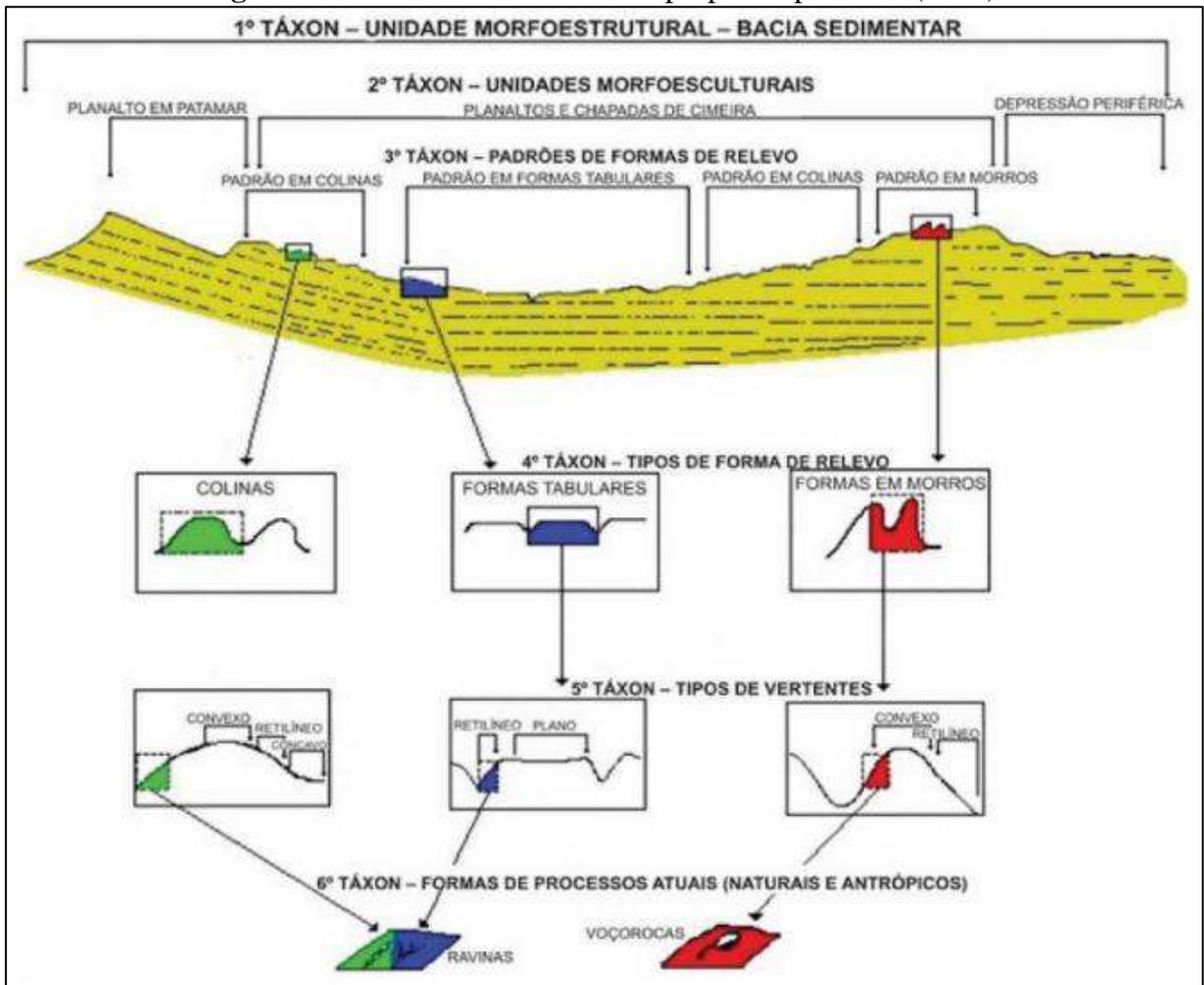
4 COMPARTIMENTAÇÃO TOPOGRÁFICA

A Geomorfologia admite como objetivo as investigações acerca das formas e processos atuantes sobre o relevo da crosta terrestre. Assim, a ciência geomorfológica direciona-se para o estudo das formas e os processos endógenos e exógenos que moldam e esculpem as paisagens naturais. Ante as mais diversas perspectivas geomorfológicas, destacam as abordagens que vão desde a compartimentações topográficas aos estudos de fisiologia da paisagem.

A compartimentação topográfica, assim como indica Ab'Sáber (1969), constitui-se no primeiro nível de abordagem geomorfológica das paisagens. O objetivo deste capítulo compreende a compartimentação através de informações dos aspectos físicos e técnicas de geomorfometria. Para tal, considerou-se os mapas de hipsometria, geologia, geomorfologia, pedologia e os mapas dos índices morfométricos IDR, IPT, ICR. As informações dos aspectos físicos mencionados foram compiladas de Brasil (1973), Adepelumi, Flexor e Fontes (2005), Kenkmann et al. (2011), Seplan (2012), Vasconcelos (2013), Vasconcelos et al. (2013), IBGE (2021), assim como cartas topográficas 1:250.000 e cenas MDE Copernicus.

A partir de bases em Penck (1953), Ross (1992) considera os processos endógenos e exógenos como fundamentais para as configurações das paisagens, e assim propôs abordagem taxonômica do relevo. Esta organização divide-se em 6 táxons (Figura 14). O Primeiro e segundo táxon correspondem aos aspectos morfoestruturais e morfoesculturais, respectivamente. Enquanto que o terceiro diz respeito aos padrões de forma de relevo. O quarto táxon descreve os tipos de forma de relevo, os tipos de vertente estão agrupados no quinto táxon, e o sexto táxon equivale às formas de processos atuais.

Figura 14 - Unidades Taxonômicas propostas por Ross (1992)

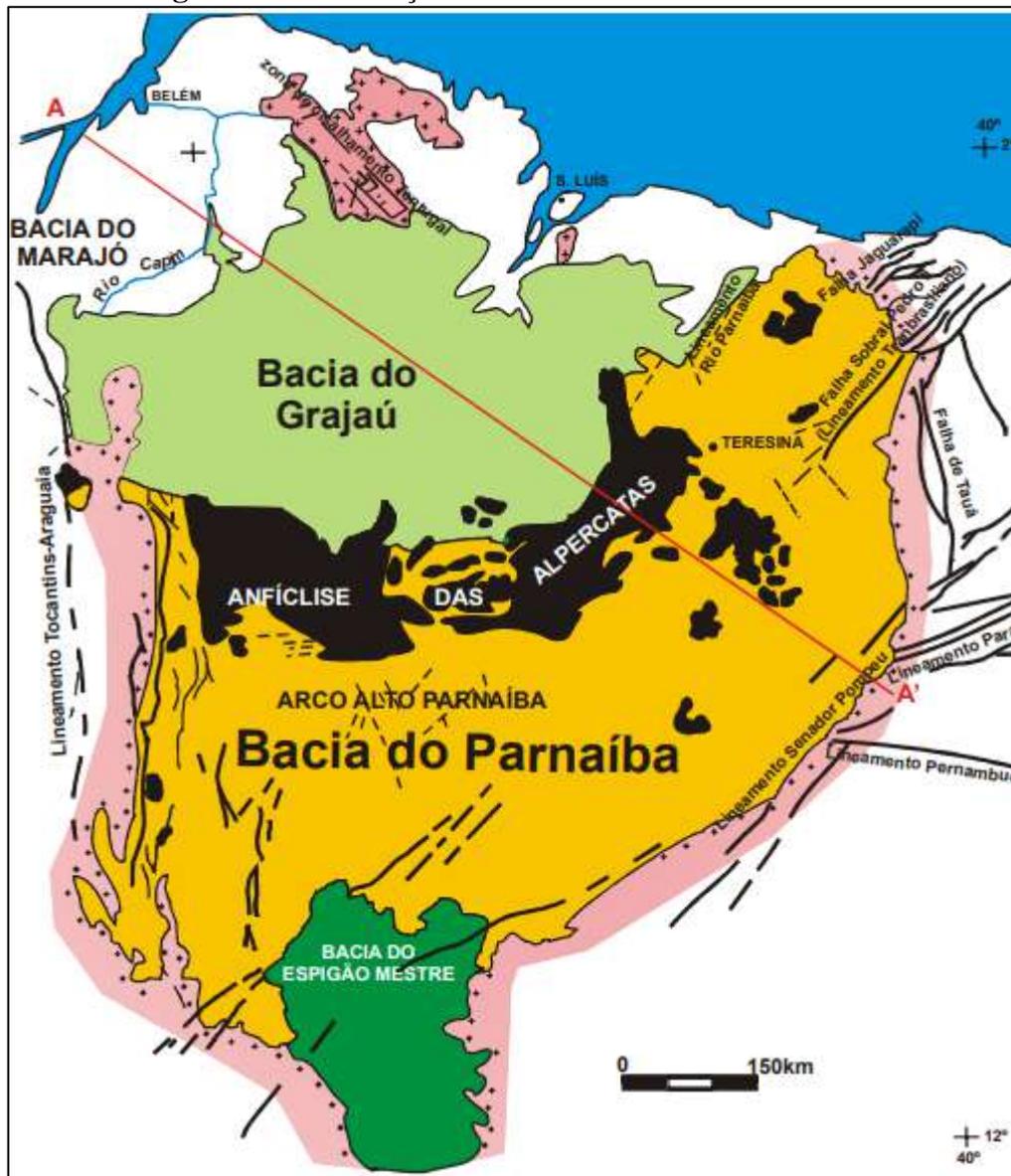


Fonte: Adaptado de Ross (1992)

4.1 Morfomestrutura e Morfoesculturas

A área em estudo está inserida inteiramente na Bacia Sedimentar do Parnaíba, unidade morfoestrutural que se estende por pouco mais de Formação Pedra de Fogo, Formação Piauí, Formação Poti e Formação Longá. Os depósitos datam do Siluriano ao Triássico (KENKMANN et al., 2011). Estima-se que antes da ruptura do supercontinente Gondwana, durante o Cretáceo a bacia estendia-se desde a bacia do Amazonas até o norte de África (CAPUTO, IANNUZZI e FONSECA, 2005) (Figura 15).

Figura 15- Localização da Bacia Sedimentar do Parnaíba



Fonte: Adaptado de Caputo, Iannuzzi e Fonseca (2005)

A Bacia do Parnaíba tem composição diversa, os ambientes deposicionais variam de origem marinha, lagunar e desértica assim como rochas ígneas e metamórficas com ocorrência de diques e soleiras que estão distribuídos pelos Grupos Deposicionais Serra Grande, Canindé, Balsas, Mearim, Itapecuru e Barreiras.

O Grupo Serra Grande é composto por sedimentos assentados durante o Siluriano associados as Formações Ipu, Tianguá e Jaicós. Segundo Caputo e Lima (1984), Góes e Feijó (1994), a Formação Jaicós está disposta sobre a Tianguá, que é composta por arenitos com granulometria fina a grosseira; arenitos conglomeráticos brancos a creme com estratificação cruzada ou maciços da Formação Ipu depositados em ambiente fluvial anastomosado.

Os mesmos autores indicam que a Formação Tianguá é composta por folhelhos preto a cinza escuro bioturbados ou laminados, siltitos; arenito muito micáceos e/ou fino a médio com intercalações de folhelho, feldspático cinza esbranquiçado depositados em ambiente marinho raso. A Formação Jaicós assenta-se sobre a Tianguá e caracteriza-se por apresentar arenitos com granulometria de média a grosseira mal selecionados depositados por sistemas fluviais entrelaçados durante o Neosiluriano além de arenitos conglomeráticos cinza esbranquiçados creme com estratificação cruzada (CAPUTO e LIMA, 1984; GÓES e FEIJÓ, 1994).

Caputo e Lima (1984) associam as formações Itaim, Pimenteiras, Cabeças, Longá e Poti ao Grupo Canindé. A Formação Itaim, de acordo com Góes e Feijó (1994), é composta por arenitos finos esbranquiçados, folhelhos cinza depositados em ambientes deltaicos e plataformais por influência de mares e tempestades durante o Mesodevoniano.

A Formação Pimenteiras é composta por camadas espessas de folhelhos cinza escuro a preto depositados de modo delgado em camadas de arenito muito fino que ocorreram em ambiente marinho de plataforma com oscilações no nível do mar (CAPUTO, 1984; CAPUTO e LIMA, 1984; GÓES e FEIJÓ, 1994; METELO, 1999). Arenitos com “intercalações delgadas de siltitos e folhelhos, com estratificação cruzada tabular ou sigmoidal” estão associados a Formação Cabeças (METELO, 1999. p. 15). De acordo com Caputo e Lima (1984), os arenitos da Formação Cabeças têm granulometria fina e são bem selecionados, os ambientes deposicionais estão atrelados aos movimentos de marés e correntes oceânicas.

Góes e Feijó (1994) indicam que a Formação Longá apresenta folhelhos, siltitos cinza-médio, arenitos brancos finos e argilosos depositados em ambiente neríticos plataformais sob contexto de tempestades. Segundo os mesmos autores, a Formação Poti dispõe de arenitos cinza-esbranquiçado, intercalados e interlaminados com folhelho e silito. Os sedimentos desta formação foram depositados em deltas e planícies de maré no início do Carbonífero (GÓES e FEIJÓ, 1994).

Ambientes deposicionais com condições áridas e incursões marinhas estão associados aos sedimentos depositados entre o Carbonífero e o Triássico associados ao Grupo Balsas. As Formações Piauí, Pedra de Fogo, Motuca e Sambaíba compõem o grupo supracitado (CAPUTO, IANNUZZI e FONSECA, 2015). Lima Filho (1991) caracterizam a Formação Piauí como sendo composta por arenitos avermelhados a creme, siltitos vermelhos e verdes, calcários marinhos depositados em ambiente continental e litorâneo com clima desértico severo.

A Formação Pedra de Fogo engloba sedimentos depositados no início do Carbonífero em ambiente nerítico raso e litorâneo com ocasionais tempestades. Estes sedimentos são siltitos,

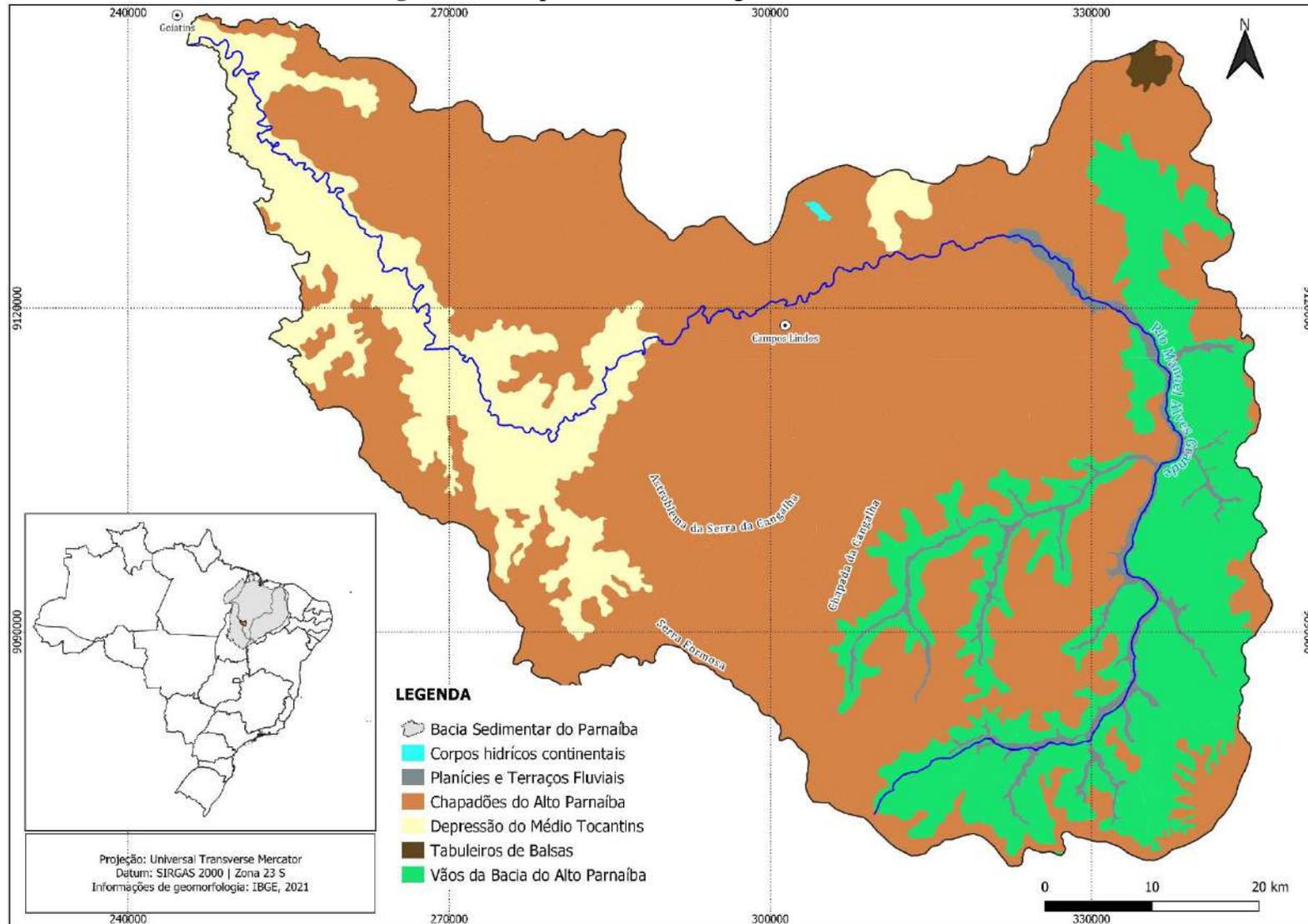
folhelhos, calcários e evaporitos intercalados por finas camadas arenito fino amarelos com a presença de troncos fossilizados de samambaias *Psaronius* (GÓES e FEIJÓ, 1994).

Caputo, Iannuzzi e Fonseca (2015) indicam que fosseis similares aos da Formação Pedra de Fogo são encontrados nos siltito avermelhado e marrom, arenito branco fino e médio depositados em ambiente continental desértico da Formação Motuca. Os sedimentos da Formação Sambaíba, transportados por sistemas eólicos e depositados em ambiente desértico, caracterizam-se pelo aspecto róseo e amarelo bem selecionados com estratificação cruzada (GÓES e FEIJÓ, 1994).

O Grupo Mearim com idade Jurássica é composto pelas formações Mosquito, Pastos Bons e Corda. As rochas relacionadas a Formação Mosquito são resultado de eventos de vulcanismo. Assim sendo, caracterizam-se por apresentar basalto preto eventualmente intercalados com arenitos vermelhos (CAPUTO, IANNUZZI e FONSECA, 2015). A Formação Pastos Bons engloba siltitos e folhelhos e argilitos verde a vermelho depositado em ambiente lacustre e fluvial (METELO, 1999). Arenitos cinza-esbranquiçados com granulometria de fina a grossa depositado em ambientes desérticos por processos eólicos e fluviais pertencem a Formação Corda (GÓES e FEIJÓ, 1994; METELO, 1999).

O IBGE (2021) de posse das informações levantadas pelo Projeto RADAMBRASIL propôs uma reinterpretação de dados, e para tal empregou, imagens orbitais do Landsat 5, imagens de radar, trabalhos de campo e o Manual Técnico de Geologia. Assim, o instituto disponibilizou cartas temáticas com escala de 1:250.000. As cartas geomorfológicas Itacajá – SC. 23- V-A e Carolina – SC.23 Y-C assinalam que área estudada abriga as seguintes configurações geomorfológicas: Planícies e Terraços Fluviais, Chapadões do Alto Parnaíba, Depressão do Médio Tocantins, Tabuleiros de Balsas, Vãos da Bacia do Alto Parnaíba (Figura 16).

Figura 16 - Mapa de Geomorfologia da área de estudo



Fonte: IBGE (2021)

A unidade Chapadões do Alto Parnaíba ocupam 66% da porção em estudo, caracterizando-se por relevos constituídos de chapadas, áreas com dissecação alta ou muito alta nas proximidades do astroblema e por admitir natureza de aplainamento nas porções centrais. Esta unidade apresenta-se predominantemente em cotas altimétricas compreendidas entre 300 e 500 m, as maiores altitudes estão distribuídas na porção da Chapada da Cangalha.

Áreas de aplainamento dispõem-se sobre coberturas detrito lateríticas em cotas altimétricas que variam de 400 a 472 m (Figura 17A). Em função destas características, destina-se extensas áreas para o cultivo de monoculturas sobre a Chapada da Cangalha (Figura 17B).

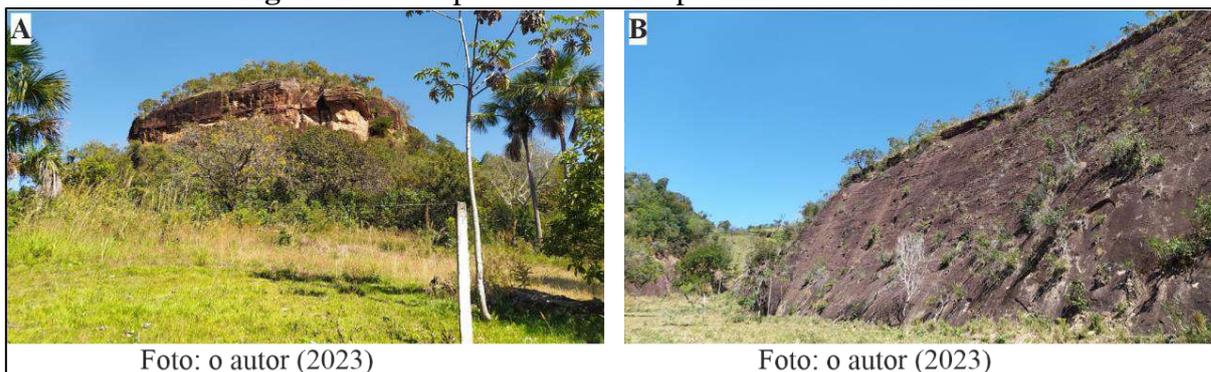
Figura 17 – Chapada da Cangalha



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Nas imediações da cratera, ao norte da estrutura, constata-se a presença de topos tabulares constituídos por sedimentos da Formação Piauí recobertos por coberturas detrito lateríticas (Figura 18A). Ainda nas imediações da cratera, à leste, observa-se a presença de topos convexos e pediplanos retocados em contato com relevos planos (Figura 18B). Porções a partir do anel exterior da cratera apresentam concentração de rugosidade do terreno alta e muito alta, entendidos por IBGE (2021) como sendo relevos dissecados.

Figura 18 - Pediplanos retocados próximos ao astroblema

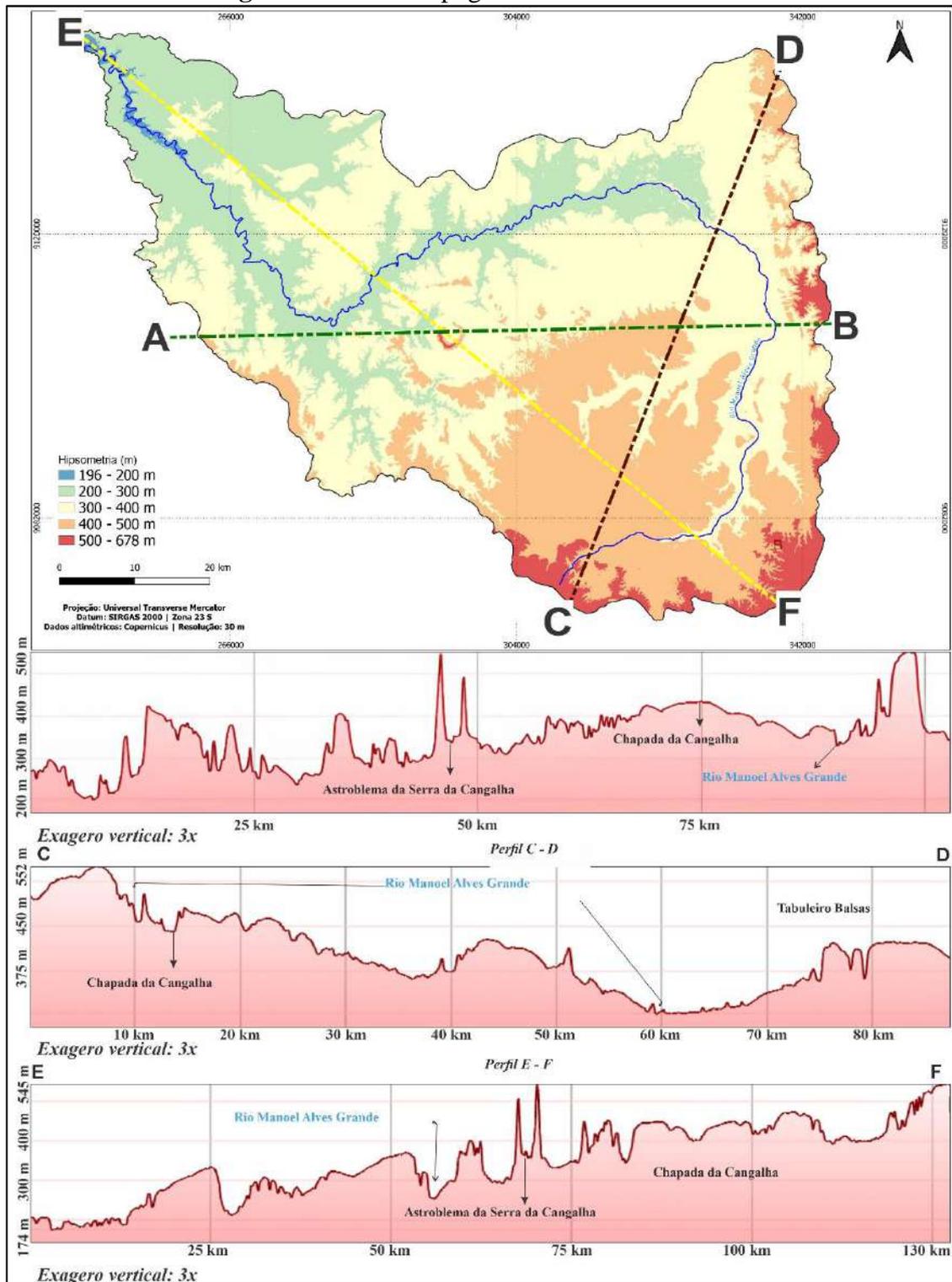


Fonte: elaborado pelo autor (2023)

As Planícies e Terraços Fluviais constitui-se de depósitos inconsolidados nas cabeceiras do alto curso da bacia hidrográfica do Rio Manoel Alves Grande entalhados nas formações Poti e Pedra de Fogo (VASCONCELOS, 2013; IBGE, 2021). Estes depósitos abrangem 118,04 km², e estão distribuídos principalmente a montante do Rio Manoel Alves Grande. Nestas configurações

Depressões do Médio Tocantins apresentam-se em sua maioria na porção à jusante, e em polígono isolado localizado à nordeste da sede municipal de Campos Lindos. Sendo assim, apresenta-se quase que em totalidade nas porções mais baixas da área. Estas depressões estão dispostas sobre a Formação Piauí, e apresentam relevo com dissecação muito forte, sendo que a declividade nesta porção indica compartimentações onduladas e forte onduladas (Figura do 19).

Figura 19 - Perfis topográficos da área de estudo



Fonte: elaborado pelo autor (2023)

No extremo nordeste da área de estudo situa-se a unidade Tabuleiros Balsas, um compartimento com altitudes que variam de 300 a 500 m esculpido na Formação Pedra de Fogo (SEPLAN, 2012a; IBGE, 2021). Os Vãos da Bacia do Alto Parnaíba apresentam-se em 859,85 km² da área em apreço, distribuídos em relevos ondulados e forte ondulados das formações

geológicas Pedra de Fogo, Piauí e as Coberturas Detrito-Laterítica Paleogênicas (BRASIL, 1973; IBGE, 2021).

4.2 Classificação Geomorfométrica das formas de relevo

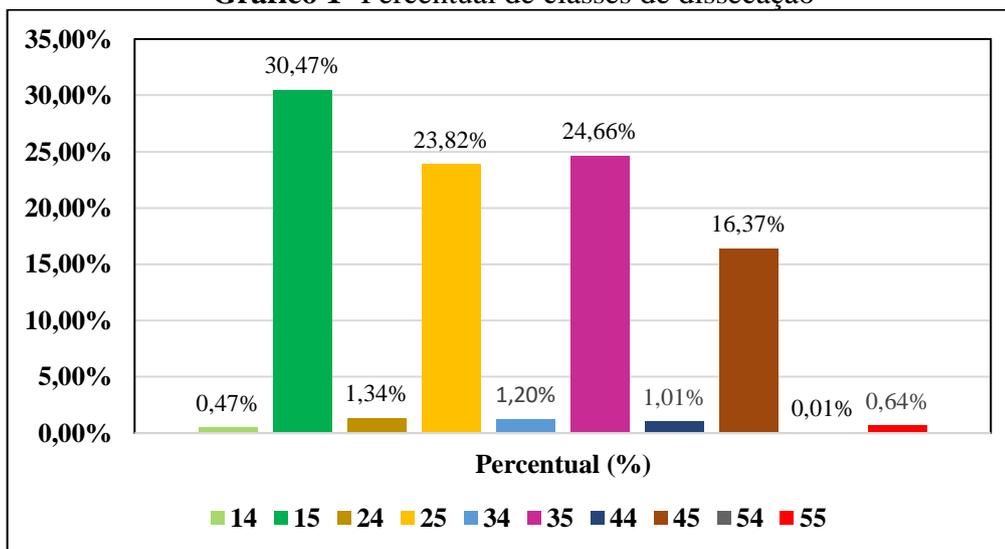
4.2.1 Índice de Dissecação do Relevo

As informações levantadas a partir do Índice de Dissecação do Relevo indicam grau de entalhamento Fraco ou Muito Fraco nas porções de relevo suave ou aplainado. Enquanto nas proximidades do astroblema, no colar da feição de impacto e a extremo nordeste da área em estudo, a mesma variável indica relevos dissecados, e conseqüentemente apresentam mais energia nestas porções rugosas. A Dimensão interfluvial aponta para o predomínio de classes Pequena e Muito Pequena.

Quando aplicada a matriz idealizada por Ross (1992;1994), percebeu-se que apenas classes com dissecação Forte e Muito Forte foram discriminadas. Enquanto que a abordagem de Guimarães et al. (2017) obteve os valores 14, 15, 24, 25, 35, 34, 45, 54, 55, indicando as classes de dissecação Fraca, Moderada, Forte e Muito Forte. Notou-se a ausência dos valores correspondentes à classe de dissecação Muito Fraca na área de estudo (Figura 20).

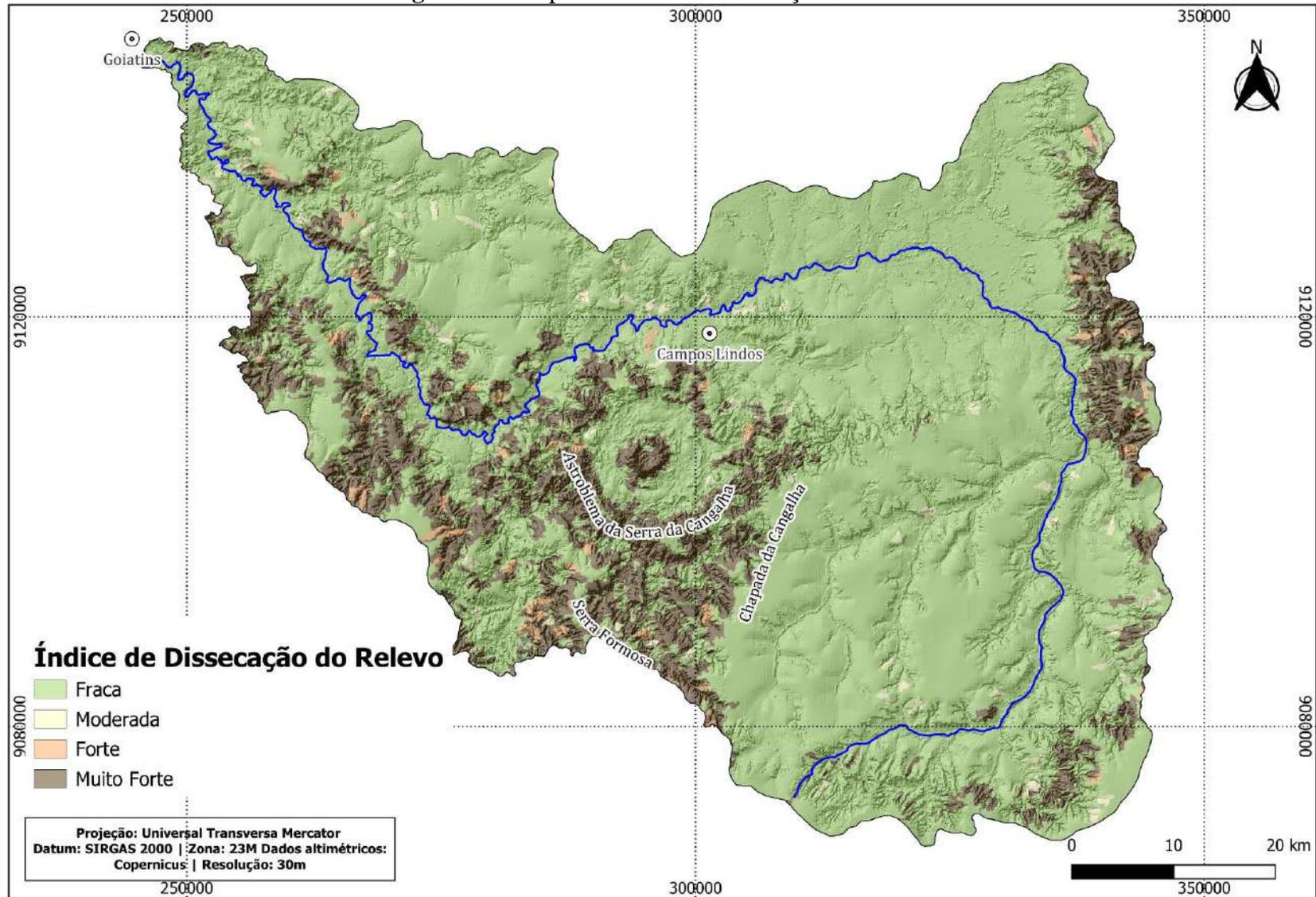
O valor 15 de dissecação (Dissecação Fraca) apresentou-se como predominante na área, ocupando cerca de 1458,33 km². Este valor (15) corresponde a 30,47 % do polígono de estudo, e está distribuído principalmente nas seções com declividade de relevo entre 0 e 3%, indicando dissecações Fracas. A classe Fraca como um todo é constituída pelos valores de 14, 15, 24, 25 e 35, e ocupa cerca de 80,77% da área total (Gráfico 1).

Gráfico 1- Percentual de classes de dissecação



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 20 - Mapa do Índice de Dissecação do Relevo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Dissecações Muito Forte na área corresponde aos valores 45, 54 e 55, ocupando cerca de 17,02% da área (814,59 km²). A classe está disposta sobre compartimentos montanhosos e escarpados das formações Piauí e Pedra de Fogo. Nas porções ocupadas por relevos com dissecação Muito Forte assentam a fitofisionomia Savana arborizada sem floresta de galeria.

O entorno do astroblema destaca-se como área em que há maior concentração de relevos dissecados. Nestas porções verificou-se a presença dos neossolos líticos, que são solos poucos desenvolvidos com composição granulométrica grosseira, além de elevado gradiente de elevação e aspecto rugoso do entorno da cratera (Figura 20).

Na região nordeste da área de estudo, próximo à margem direita do alto curso do Rio Manoel Alves Grande, percebe-se relevos com dissecação Forte. Assim como no entorno da cratera, esta porção apresenta a classe Muito Forte, do mesmo modo há presença de solos líticos com grande variação altimétrica. Brasil (1973) e IBGE (2021) indicam que esta porção se situa nas rebordas da Serra do Gado Bravo e está disposta sobre as Vãos da Bacia do Parnaíba.

Valores que indicam dissecação Moderada e Forte corresponde a 2,21 %. Estas classes apresentam-se em regiões com valores altimétricos de 300 a 500 m, via de regra a classe Forte assentam-se no entorno de áreas com de dissecação Muito Forte.

4.2.2 Índice de Concentração de Rugosidade

O Índice de Concentração de Rugosidade indica baixa concentração de rugosidade de relevo. Concentrações Muito Alto restringem-se a 0,61 km², isso corresponde a apenas 0,01%, a classe Muito Alto assenta-se no anel interior da cratera de impacto, exatamente nas porções com maior cota altimétrica da área em apreço (Tabela 1) (Figura 21).

Tabela 1 - Distribuição das classes do ICR

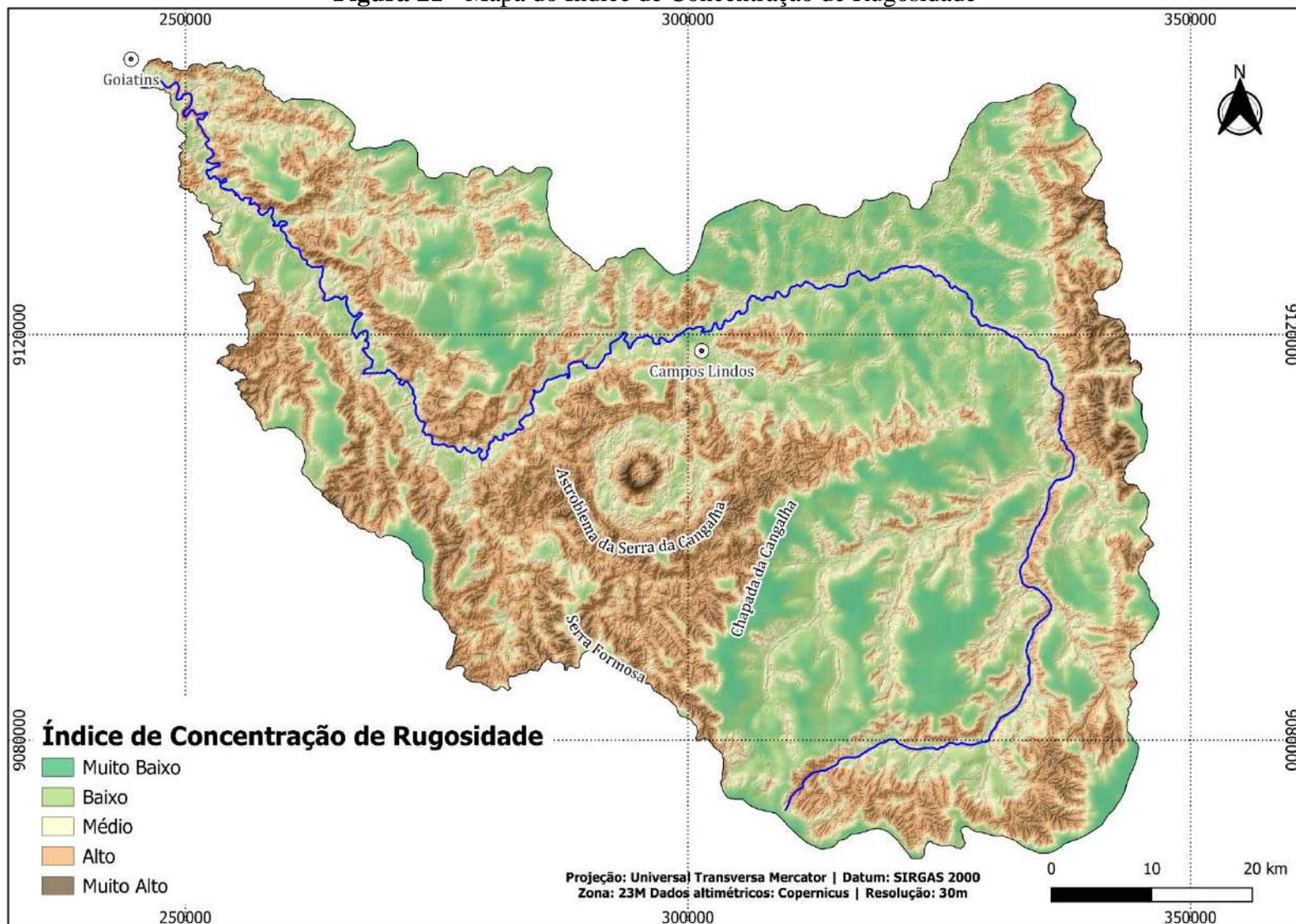
Classes (ICR)	Área (km²)	Percentual (%)
Muito Baixo	661,5121	13,82%
Baixo	1615,972	33,76%
Médio	1279,92	26,74%
Alto	1227,978	25,66%
Muito Alto	0,61095	0,01%
Total	4785,99	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A classe de ICR Baixo estende-se ao longo de toda área, em especial em porções onde o entalhamento do vale é de 20 m sobre a Formações Piauí. A Classe Baixo apresenta-se em coberturas detrito lateríticas nas regiões com cotas altimétricas restringe-se a 400 – 500 m. Estes relevos são planos com declividades compreendidas entre 0 e 3%, além de estarem dispostos sobre os Chapadões do Alto Parnaíba e nos Vãos da Bacia do Alto Parnaíba (Figura 21).

Rugosidades compreendidas na classe Média representam 26,74% da área, cerca de 1279,92 km² localizados próximos as porções com alta concentração de cursos hídricos com declividades de 8 – 20 %. As configurações pedológicas indicam que esta classe está inserida sobre solos litólicos e latossolos amarelos no entorno do astroblema (IBGE, 2021).

Figura 21 - Mapa do Índice de Concentração de Rugosidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Percebeu-se média concentração de rugosidade no anel exterior da cratera, onde assentam-se neossolos quartzarênicos da Formação Piauí. À jusante do curso hídrico principal, esta classe assenta-se sobre o contato das Depressões do Médio Tocantins com a unidade Chapadões do Alto Parnaíba.

A classe de rugosidade Alta apresenta-se em grande parte sobre porções com declividades Forte Onduladas, Montanhosas e Escarpadas. As declividades variam entre 20 e mais de 75%, são secções com alta dissecação vertical, mais precisamente 40 a 50 m. Estes compartimentos topográficos estão sobre neossolos litólicos tanto no entorno da cratera de impacto quanto na região nordeste e sul da área estudada.

O anel interior da cratera abriga as rugosidades Muito Alto, com presença de solos litólicos distróficos com as maiores cotas altimétricas (500 -678 m) e dissecação do vale (50 m) de toda a área de estudo. Além disso, estas porções são as únicas dispostas sobre as formações Poti e Longá.

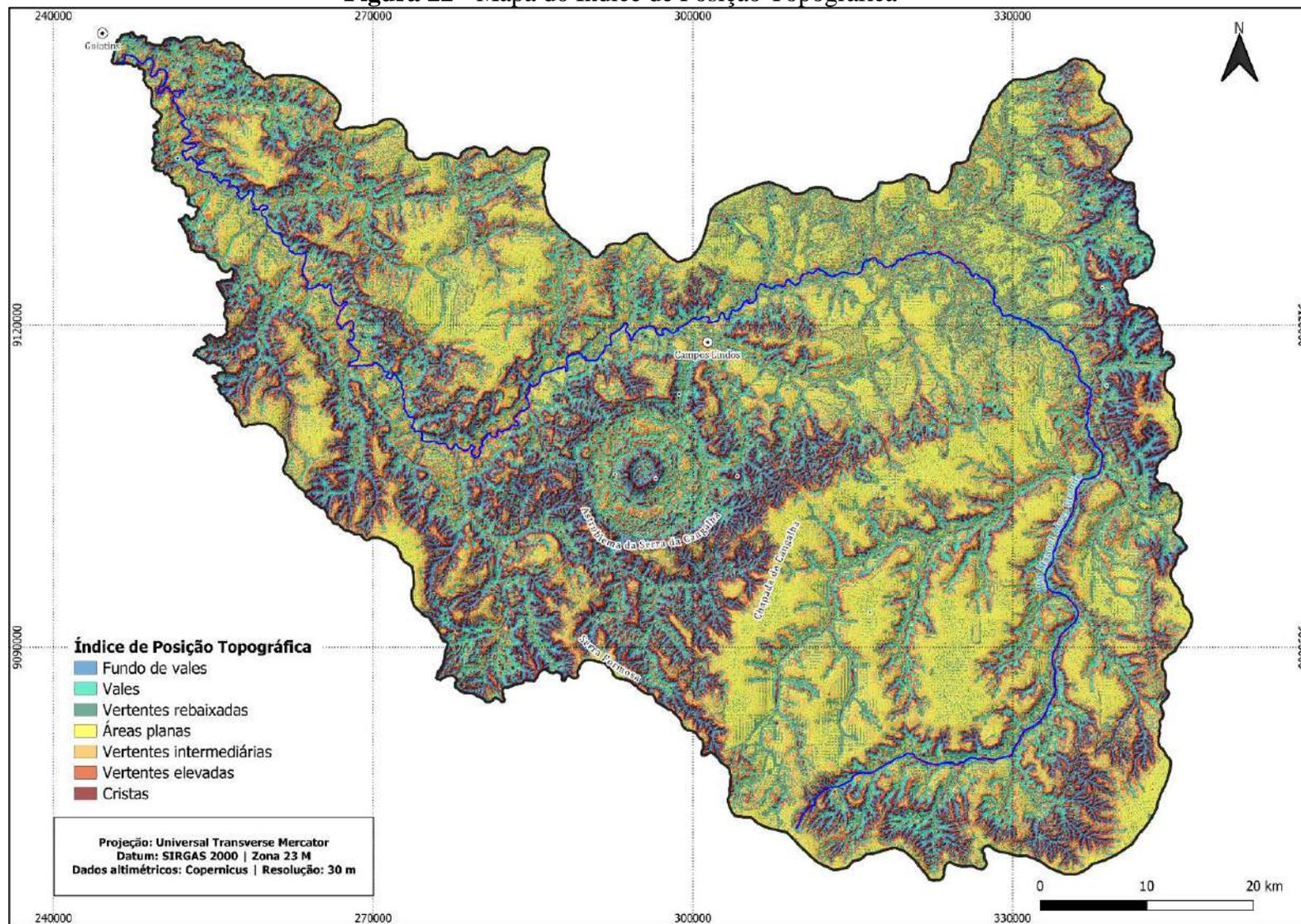
4.2.3 Índice de Posição Topográfica

O cálculo do Índice de Posição Topográfica indicou sete classes morfológicas de relevo, a saber: Fundos de vales; Vales; Vertentes Rebaixadas; Áreas Planas; Vertentes Intermediárias; Vertentes Elevadas; Cristas (Figura 22).

Formas de relevo associadas aos fundos de vales assentam-se em grande parte sobre depósitos aluvionares presentes na cabeceira do alto curso do Rio Manoel Alves Grande, assim como em arenitos com forte entalhamento de vales esculpidos na Formação Piauí. Estas morfologias foram discriminadas nos Vãos da Bacia do Parnaíba, porções localizadas na região leste da área em estudo. Nestas regiões verifica-se a presença de florestas de galerias, dispostas sobre Gleissolos Hápticos e Neossolos Litólicos, com sobre relevos suaves ondulados da Formação Piauí.

No entorno da cratera de impacto, em função da densidade de drenagens, constatou-se morfologias que indicam a presença de vales e vertentes rebaixadas. Nestas configurações verifica-se o predomínio de savana arborizada sem floresta de galeria, além da presença de pastos destinados à pecuária. Soma-se a isto a presença de solos litólicos com aspecto rugoso das formações Piauí e Pedra de Fogo. À jusante do alto curso do Rio Manoel Alves Grande, classes relacionadas aos fundos de vale e vertentes rebaixadas estão assentadas sobre depósitos permianos e carboníferos da Formação Piauí. Esta porção caracteriza-se por arenitos cinza-esbranquiçados com granulação fina a média (ADEPELUMI, FLEXOR e FONTES, 2005).

Figura 22 - Mapa do Índice de Posição Topográfica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O ITP indica morfologia de fundos de vale, vale e vertentes rebaixadas sobre a Formação Pedra de Fogo próxima à nascente do curso hídrico principal e na região nordeste da área estudada. Em ambos contextos, o relevo tem aspecto rugoso e presença de Neossolos Litólicos dispostos sobre relevos forte ondulado e montanhosos (Figura 22).

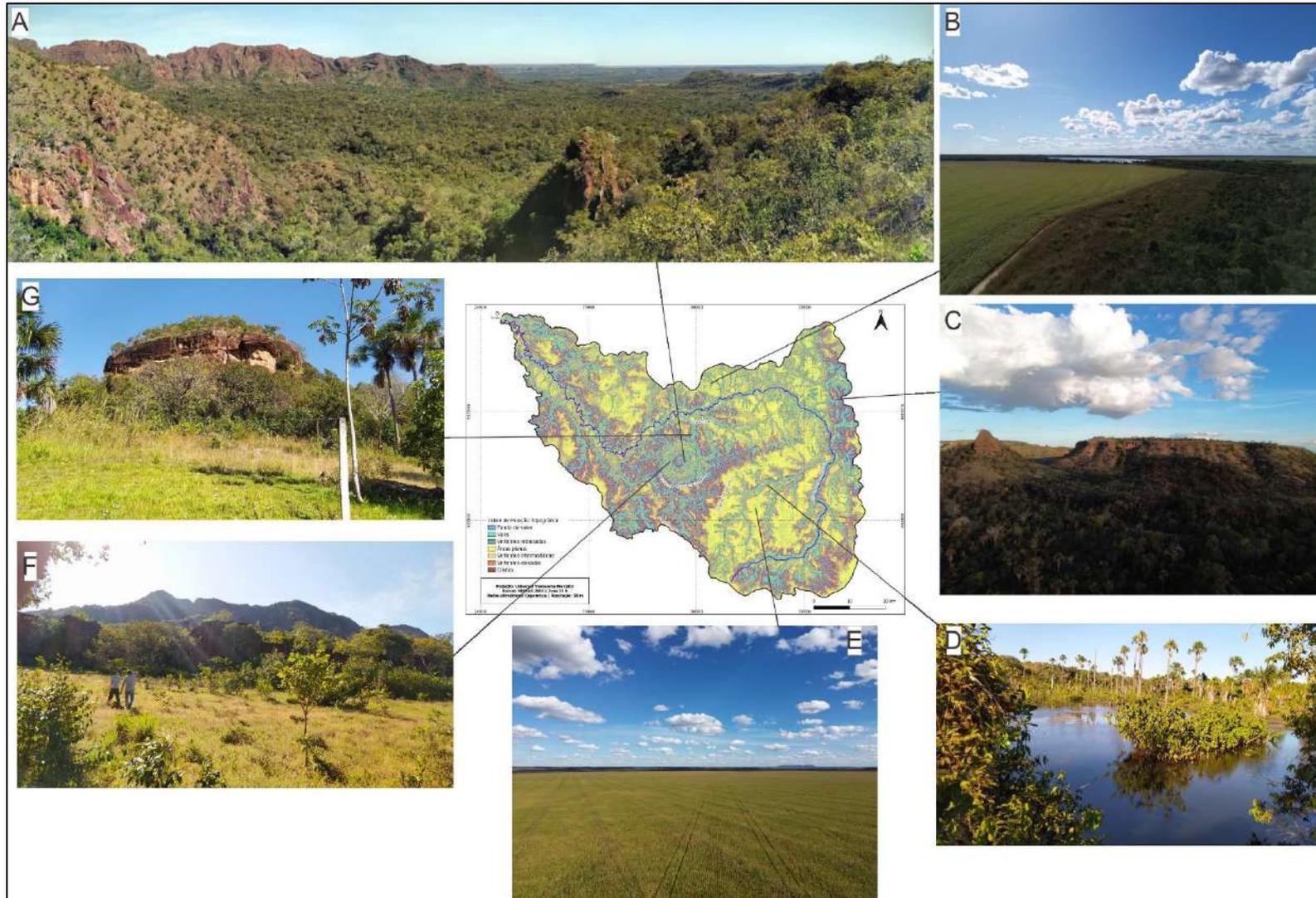
Áreas planas encontram-se em regiões com presença de coberturas detrítico-lateríticas dispostas sobre Latossolos Amarelos e Neossolo Quatzarênico em cotas altimétricas de 300 a 500 m. Em função desta configuração, estas áreas têm sido destinadas à agricultura mecanizada, principalmente na Chapada da Cangalha, região que apresenta declividades <3%. Essa chapada é recoberta por coberturas detríticas, e apresenta, quase que em sua totalidade, solos pobres em macro e micronutrientes e são muito bem drenados (IBGE, 2021) (Figura 23E).

Vertentes intermediárias e elevadas apresentam-se no astroblema e em suas imediações, bem como em áreas à jusante do curso hídrico principal, e nas rebordas de chapadas próximas a área de estudo na margem direita do alto curso do Rio Manoel Alves Grande. Nestas áreas encontram-se relevos rugosos e muito dissecados com pouca ou nenhuma alteração da paisagem natural (Figura 22).

Próximo ao anel soerguido do astroblema, sobre a Formação Longá, o IPT indica morfologias correspondentes às cristas. Nesta seção, têm-se a maior cota altimétrica da área de estudo (678 m) (Figura 23A). Estas morfologias apresentam-se na porção do astroblema descrita como núcleo central soerguido com 3 km de diâmetro composto pelos depósitos mais antigos da área em estudo, que datam do Devoniano (KENKMANN et al., 2011).

O cálculo do IPT com auxílio das informações de declividade, hipsometria e de geologia identificou compartimentos dissecados no entorno do astroblema e nas periferias das chapadas. Nestas áreas, o relevo é rugoso com presença de vertentes rebaixadas, vales e fundos de vales, indicando áreas com elevado gradiente altimétrico. As áreas planas concentram-se sobre coberturas detrítico-lateríticas da Chapada da Cangalha, porções à jusante da margem direita do alto curso do Rio Manoel Alves Grande.

Figura 23 - Distribuição das formas de relevo na área em estudo



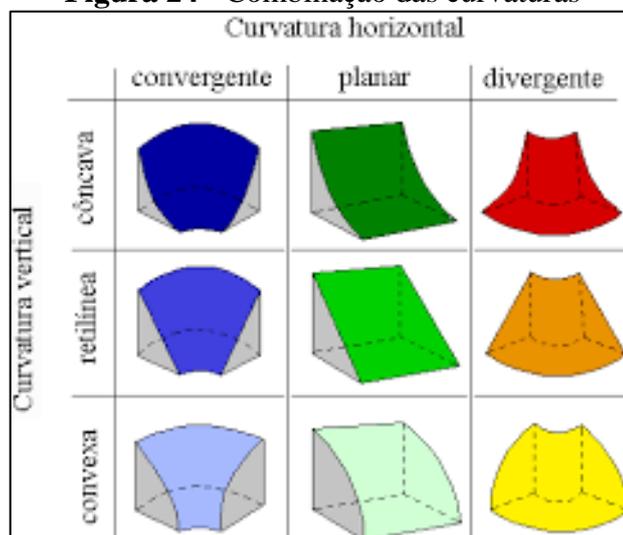
Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4.3 Curvatura: formas de vertentes

Associados a outras variáveis, as informações de curvatura de relevo apresentam-se como fundamentais para compreensão dos processos atuantes sobre o relevo. Estes elementos topográficos dizem respeito aos “planos de declives variados que divergem das cristas, ou dos interflúvios enquadrando os vales” (GUERRA e GUERRA,2008 p. 634).

Dessa maneira, os planos de declives são de ordem vertical e horizontal, a intersecção destas informações representa os padrões de vertentes de dada paisagem. Os dados verticais estão agrupados em três classes: Côncava, Retilíneo e Convexa. Curvatura Horizontal organiza-se da seguinte maneira: Convergente, Planar e Divergente (Figura 24).

Figura 24 - Combinação das curvaturas



Fonte: Adaptado de Dikau (1990)

Curvaturas convergentes indicam ambientes de acúmulo de escoamento; vertentes planas associam-se aos relevos com menos energia, e planos divergentes apontam para áreas de escoamento e menor concentração de fluxo. Em perfil, as curvaturas côncavas apresentam valores de curvatura negativos, as retilíneas constituem-se de valores intermediários e convexas apresentam valores positivos (VALERIANO, 2003).

Para compreensão das formas de vertentes, fez-se a sobreposição das informações de curvatura vertical e de curvatura horizontal. Por meio da calculadora raster fez-se a soma das camadas. Para tal, atribui-se identificadores aos intervalos de cada camada em concordância com Valeriano (2008) (Quadro 3).

Quadro 3 - Matriz de classificação de Curvatura Vertical e Horizontal

Curvatura Vertical	Identificador	Curvatura Horizontal	Identificador
Côncava	1	Convergente	1
Retilíneo	2	Planar	2
Convexa	3	Divergente	3

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Valeriano (2008)

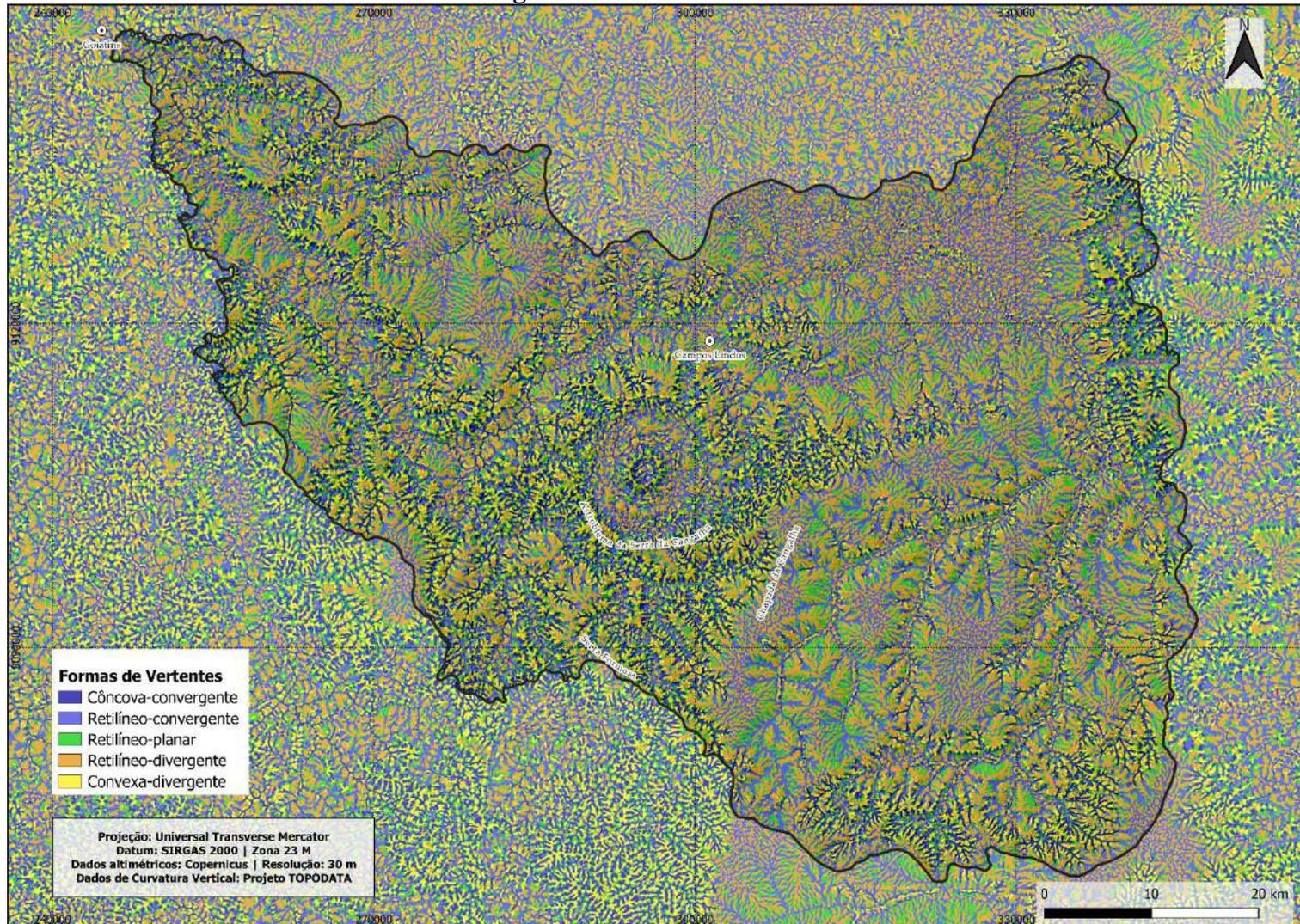
Feito o procedimento, obteve-se a seguinte matriz de classificação das formas de vertente: 1.1 – côncava-convergente-; 2.1 - retilíneo-convergente-; 2.2 - retilíneo- planar-; 2.3- retilíneo-divergente-; 3.3- convexa-divergente- (Figura 25).

Desse modo, relevos com menor energia de movimento de massas concentram-se nas áreas centrais; topos tabulares do entorno do astroblema, e demais secção recobertas por coberturas detrito lateríticas a jusante, margem direita. Nestas porções, há maior incidência de formas de terreno com configurações planar-retilíneo.

Áreas com a presença de vertentes côncavas-convergentes e retilíneo-convergente concentram-se sobre as drenagens em toda a área de estudo; cristas; topos convexos na periferia da cratera; e topos convexos presentes na porção nordeste da área. Estas regiões apresentam grande gradiente altimétrico, por consequente, maior concentração de fluxo e de transporte.

As vertentes retilíneo-divergente e convexa-divergente estão dispostas nas sobre a Chapada da Cangalha e demais regiões tabulares com variação de declividade de Plano para Suave Ondulado (Figura 25).

Figura 25 - Formas de vertente



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

4.4 Síntese da área em estudo

A área em estudo apresenta compartimentação topográfica diversa: formas tabulares associadas a coberturas de detrito lateríticas dispõem-se na Chapada da Cangalha e em topos tabulares nas periferias da cratera de impacto (Figura 23G); pediplanos retocados inumados na porção nordeste (Figura 23C). Estes topos apresentam-se em cotas altimétricas de 400 a 500 m, dissecação fraca e declividades planas. As informações aferidas por meio do IPT corroboram a análise (Quadro 4).

Nas imediações do astroblema, o relevo admite aspecto rugoso com a presença de topos convexos em cotas altimétricas de 200 a 300 m das formações Piauí e Pedra de Fogo. Em virtude destas configurações, verifica-se concentração de fluxo e drenagens em V. A partir dos índices morfométricos percebeu-se a presença de fundos de vale, vertente rebaixadas e vertentes elevadas nestas regiões da área em estudo.

O Astroblema da Serra da Cangalha pode ser entendido em três compartimentos topográficos; Anel rebaixado, disposto sobre altitudes compreendidas entre 300 a 412 m, dissecação fraca, baixo gradiente de declividade, sedimentos esbranquiçados da Formação Pedra de Fogo; Anel preeminente, neste compartimento nota-se características exclusivas, tais como, cotas altimétricas de 500 a 678 m, dissecação muito forte, presença da Formação Longá, e cristas evidentes (Figura 23A). O núcleo do astroblema constitui o compartimento de vertentes elevadas em Neossolos Quatzarênico dispostos em altitudes de 300 a 400 m.

Planícies e terraços fluviais apresentam-se ao longo do Rio Manoel Alves Grande e rios dissecados das porções centrais da Chapada da Cangalha (Figura 23D). Este compartimento constitui-se de vertentes côncava-convergente nos vales e fundos de vale com a presença de Gleissolos Háplicos; Neossolos Quatzarênicos apresentam-se no terço médio das vertentes Retilíneo-convergente.

Topos convexos presentes estão localizados em imediações da cratera (300-481 m) composto Neossolo Litólicos da Formação Pedra de Fogo com dissecações muito forte; próximos aos pediplanos da reborda da Chapada do Gado Bravo, compreendidos entre 400 a 500 m (Figura 23C); topos convexos compreendidos entre 200 a 300 m da Formação Pedra de Fogo e Piauí muito dissecadas, próximo ao exultório do Manoel Alves Grande.

Quadro 4 – Síntese da compartimentação topográfica da área em estudo

Unidade Morfoestrutural	Unidade Morfoescultural	Subunidade Morfoescultural	Formas de relevo					Declividade	Geologia
			Dissecação	Topos/vertentes	IPT	Altitude (m)	Solos		
Bacia Sedimentar do Parnaíba (1)	Depressão do Médio Tocantins (1)	1.1.1 - Depressões Dissecadas do Manoel Alves Grande	Muito Forte	Topo tabular	Áreas planas	200 – 300	LAd	3 – 45%	Fm Piauí; Fm Pedra de Fogo
				Topo convexo	Cristas		RLd		
				Côncava-convergente	Fundos de vales		FFc		
				Retilíneo-convergente	Vales		RQo		
					Vertentes rebaixadas		RQo		
					Vertentes elevadas				
	Chapadões do Alto Parnaíba (2)	1.2.1 - Chapada da Cangalha	Fraca	Topo tabular	Áreas planas	400 – 500	LAd; RQo	3 – 8%	Coberturas Detrito-Lateríticas
			Muito Forte	Anel proeminente	Cristas	500 – 678	Rld	45 – 75>%	Fm Longá
		1.2.2 - Astroblema da Serra da Cangalha	Fraca	Anel rebaixado	Áreas planas	300 – 412	RQo	3 – 45%	Fm Pedra de Fogo
			Muito Forte	Núcleo	Vertentes elevadas	300 – 400	RQo	8 – 20%	Fm Longá, Fm Poti e Fm Piauí
		1.2.3 - Pediplano retocado inumado	Fraca	Topo tabular	Áreas planas	400 – 500	LAd	3 – 8%	Coberturas Detrito-Lateríticas
			Muito Forte	Topo convexo	Cristas	300 – 481	RLq	8 – 20%	Fm Pedra de Fogo
	Vãos da Bacia do Parnaíba (3)	1.3.1 - Rebordas da Chapada do Gado Bravo	Muito Forte	Topo Tabular	Áreas planas	500 – 550	LAd	20 – 45%	Coberturas Detrito-Lateríticas
				Convexa-divergente					
		1.3.2 - Pediplano retocado inumado	Fraca	Topo tabular	Áreas planas	400 – 500	LAd	8 – 20%	Coberturas Detrito-Lateríticas
	Muito Forte		Topo convexo	Cristas	400 – 500	RLq	20 – 75%	Fm Pedra de Fogo	
	Tabuleiros (4)	1.4.1 - Tabuleiro Balsas	Fraca	Topo tabular	Áreas planas	350 – 430	LAd	3 – 20%	Coberturas Detrito-Lateríticas
Planícies (5)	1.5.1 - Planícies e Terraços Fluviais do Manoel Alves Grande	Fraca	Retilíneo-convergente	Vales	300 – 400	GXbd	3 – 20%	Depósitos Aluvionares Holocênicos	
		Moderada		Côncava-convergente					Vertentes rebaixadas

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5 APLICAÇÃO DO DIAGNOSTICO FÍSICO-CONSERVACIONISTA

As próximas etapas consistem na aquisição dos quatro grandes Fatores Potenciais Naturais de Degradação física para aplicação do Diagnostico físico-conservacionista. Beltrame (1994) estabelece que estes fatores são constituídos pelos parâmetros: cobertura vegetal original; índice de proteção da cobertura vegetal atual; declividade média; erosividade da chuva; potencial erosivo dos solos; densidade de drenagem e balanço hídrico.

O capítulo intitulado “Aplicação do DFC” está dividido em cinco subcapítulos. Assim, o subcapítulo Setorização da área de estudo objetificou discutir os critérios utilizados para setorizar a área. Os quatro subcapítulos seguintes organizam-se seguindo a ordem dos Fatores Potenciais Naturais de Degradação de Beltrame (1994).

5.1 Setorização da área de estudo

Para Beltrame (1994) a setorização apresenta-se como etapa fundamental de análise ao aplicar o DFC para avaliação de degradação da paisagem. A autora lista critérios que podem ser adotados para esta etapa, entre eles: limites físicos ou políticos, de superfície, ou critérios hidrográficos. Tendo em vista que a área de estudo se estende por quatro municípios, o critério adotado para setorização baseou-se nos limites políticos Figura (26).

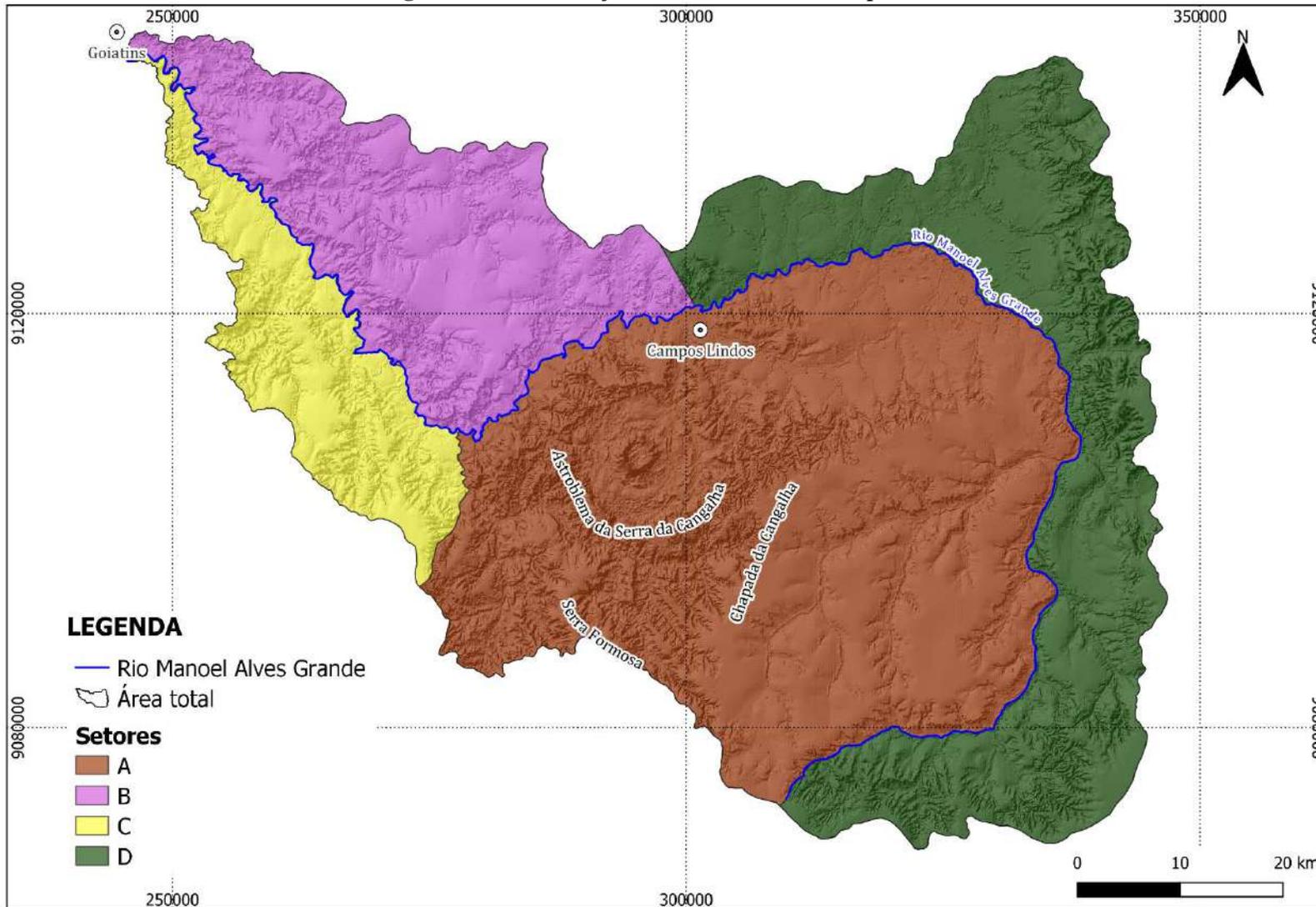
Situado na porção central da área de estudo, o setor A corresponde 47,29%. Este setor abriga o Astroblema da Serra da Cangalha, Chapada da Cangalha, Serra Formosa e a sede municipal de Campos Lindos. Na margem direita, à jusante, o setor B ocupa cerca de 17,34% da área em estudo. Abrangendo cerca de 9,38% o setor C está disposto sobre relevos rugosos próximos à cabeceira do Rio Manoel Alves Grande. O setor D corresponde as porções da margem direita do curso hídrico principal, ocupa 1243 km². Ainda (Tabela 2).

Tabela 2 - Setores da área de estudo

Município	Setor	Área (km ²)	Percentual (%)
Campos Lindos	A	2263,4815	47,29%
Carolina	B	829,8353	17,34%
Goiatins	C	448,8210	9,38%
Riachão	D	1243,8162	25,99%
Total		4785,9540	100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Figura 26 - Setorização com base em limites políticos



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.2 Vegetação: Cobertura Original (CO) e Cobertura Atual (CA)

Para determinação dos fatores potenciais de degradação física associados à Cobertura Original (CO) e Cobertura Atual (CA), obteve-se os mapas de Uso e Ocupação e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). As informações de NDVI foram utilizadas como suporte para determinação e análise das coberturas e usos na área em apreço.

Admitiu-se como marco inicial o ano de 1990, a escolha baseou-se em dois fatores: a) data de implementação do município que abriga a cratera de impacto. Através da Lei estadual nº 251, de 20/02/1991, e posterior alteração em 21/12/1993 por meio da Lei estadual nº 498, criou-se o município de Campos Lindos, resultado do desmembramento de Goiatins, sendo implementado no ano de 1993; b) período que antecede a implementação do Projeto Agrícola Campos Lindos. O projeto agrícola marca um período de grandes transformações e desflorestamento na região.

Na segunda metade da década de 1990, o estado do Tocantins por meio do Decreto nº 315 de 30 de agosto de 1996, desapropriou cerca e 44.227,8601 hectares com a justificativa de destinação para utilidade pública. Silva (2017) sublinha que, tanto o Decreto nº 436, de 8 de maio de 1997 quanto a nota emitida pelo governo do Tocantins em 1998 como sendo esforços para ampliação de área desapropriadas, e ratificação do processo implantação do agronegócio na região.

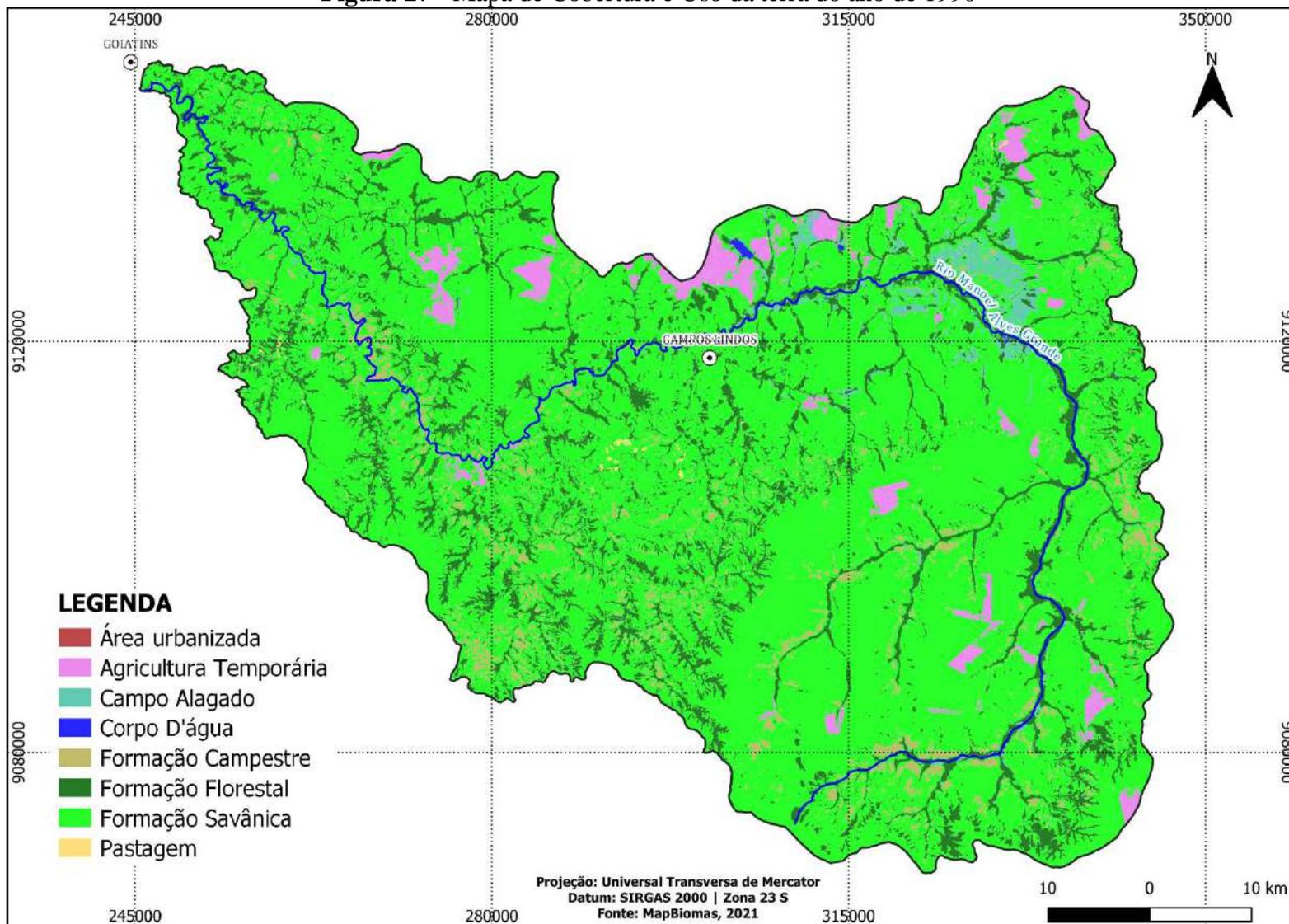
5.2.1 Uso e Cobertura da terra de 1990 a 2021

A área de estudo em 1990 apresentava predominância de áreas ocupadas por Formação Savânica, cerca de 76,51%, ou 3667,14 km². Por outro lado, porções destinadas para Pastagens correspondiam a 4,75 km². O município recém criado apresentava cerca de 0,226 km² de Áreas Urbanizadas, a única área urbanizada de toda a área em estudo (Figura 27).

Neste período, a presença de lavouras temporária resumia-se a pouco mais de 2,87% da área. Os 137,71 km² de culturas temporárias situavam-se na margem direita do Rio Manoel Alves Grande, à jusante. Distribuídas ao longo de toda área de estudo as formações florestais somadas contabilizavam cerca de 95,33%. A classe de Campos Alagados corresponde a veredas localizadas próximas a latitude 329312.28 m E e longitude 9126940.05 m S, zona 23M.

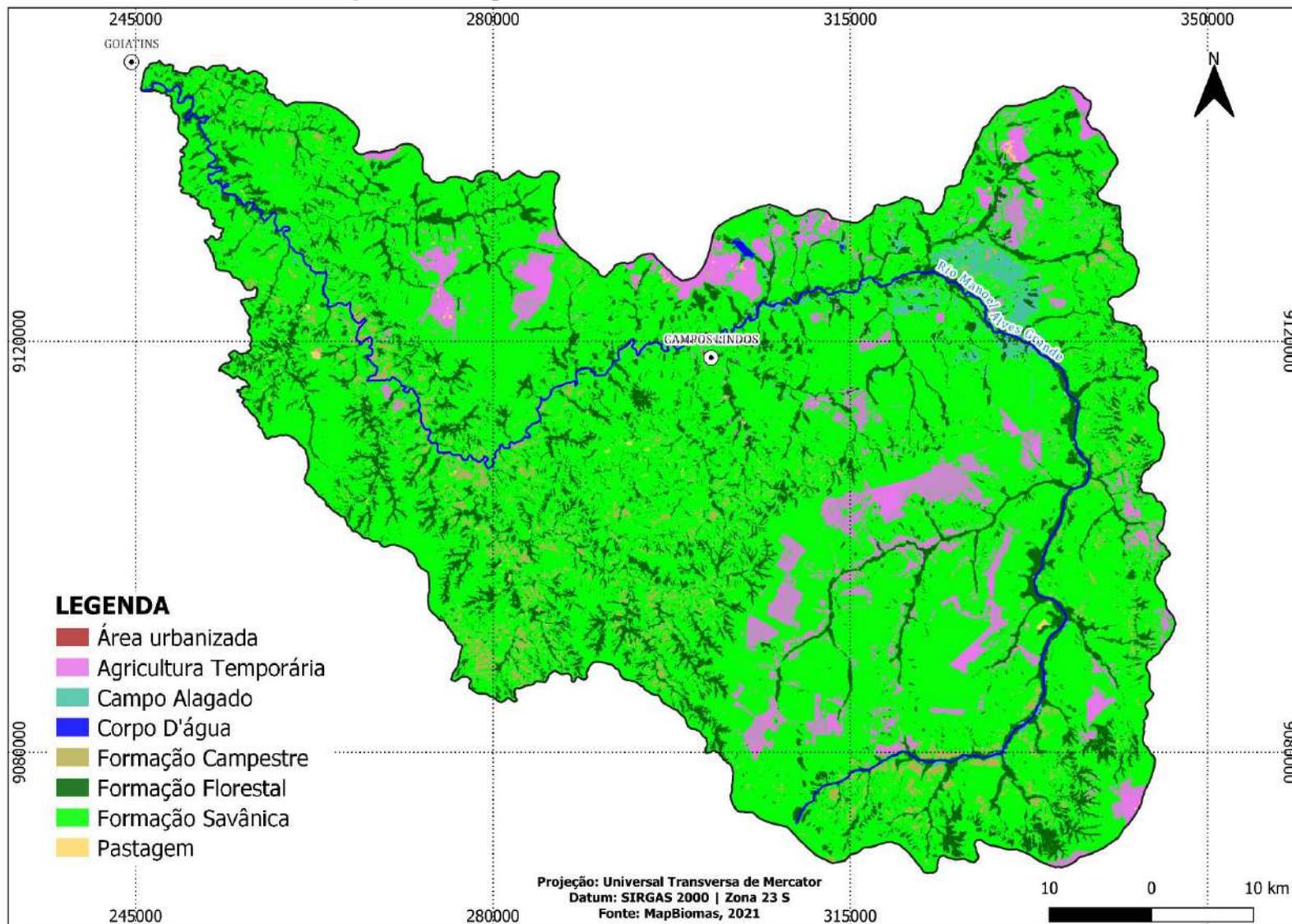
O recorte do ano de 2000 indica diminuição da classe de Formação Savânica, ainda sim, ocupam 73,08% da área em estudo. A classe de Agricultura Temporária apresentou 342,75 km², crescimento de 4,28%. Este crescimento apresentou-se principalmente na Chapada da Cangalha. As formações florestais mantiveram-se estáveis. A classe de Formação Campestre ocupava 142,54 km² (2,97%) (Figura 28).

Figura 27 - Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 1990



Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021)

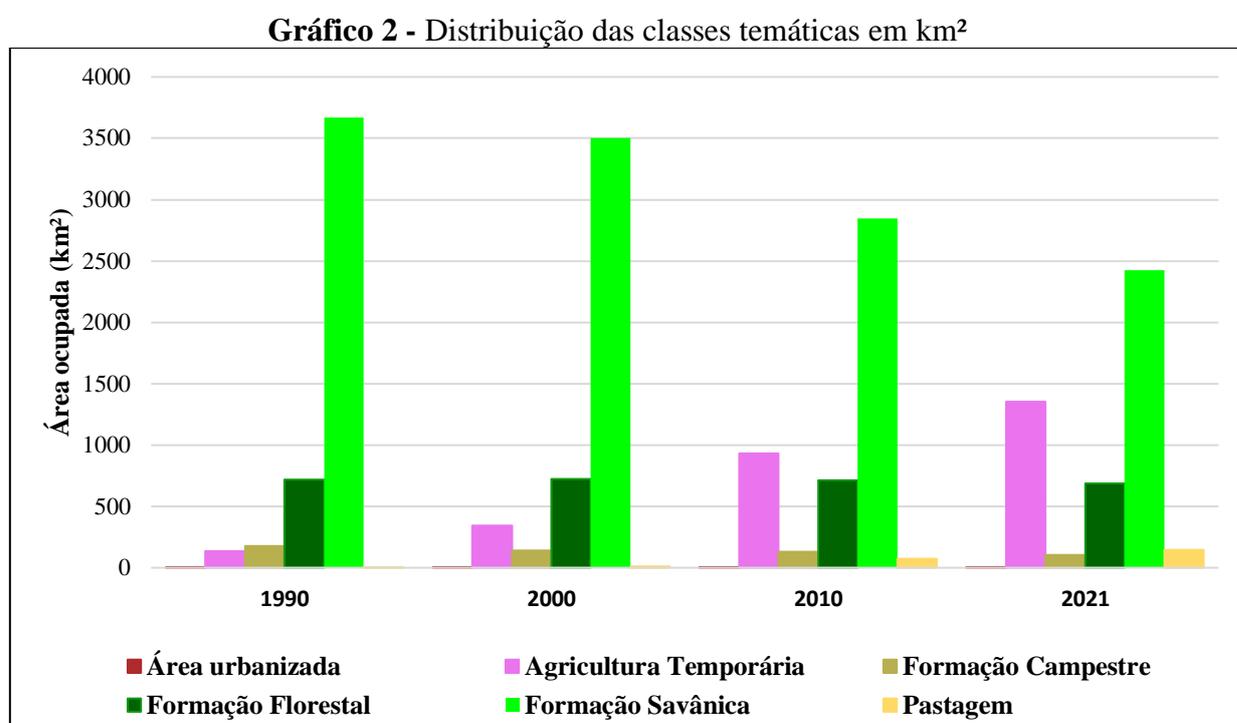
Figura 28 - Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 2000



Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021)

A dinâmica de crescimento das áreas ocupadas por lavouras temporárias consolida-se ao longo dos anos. Em 2010, a classe ocupa 930,58 km², ocupando aproximadamente 19% da área, o crescimento foi de cerca de 12% desde 2000 (Gráfico 2). Pastagens saltaram de 9,77 km² em 2000, para 71,46 km² no ano de 2010. Num outro espectro, a paisagem perde cobertura vegetal. A classe mais afetada é a Formação Savânica, a redução de 2000 a 2010 somou 13,48% (Figura 29) (Tabela 5).

Os dados mais recentes apontam para a consolidação das áreas destinadas a Agricultura Temporária, em 2021, correspondem a 28,23% de toda área em estudo. A Formação Savânica ocupa 50,53%, e a Formação Florestal abrange 14,31%, ou 685,29 km². A classe de Pastagem dobrou de tamanho, em 2021 ocupam 3% da área em apreço, inclusive nas proximidades do astroblema (Figura 30).

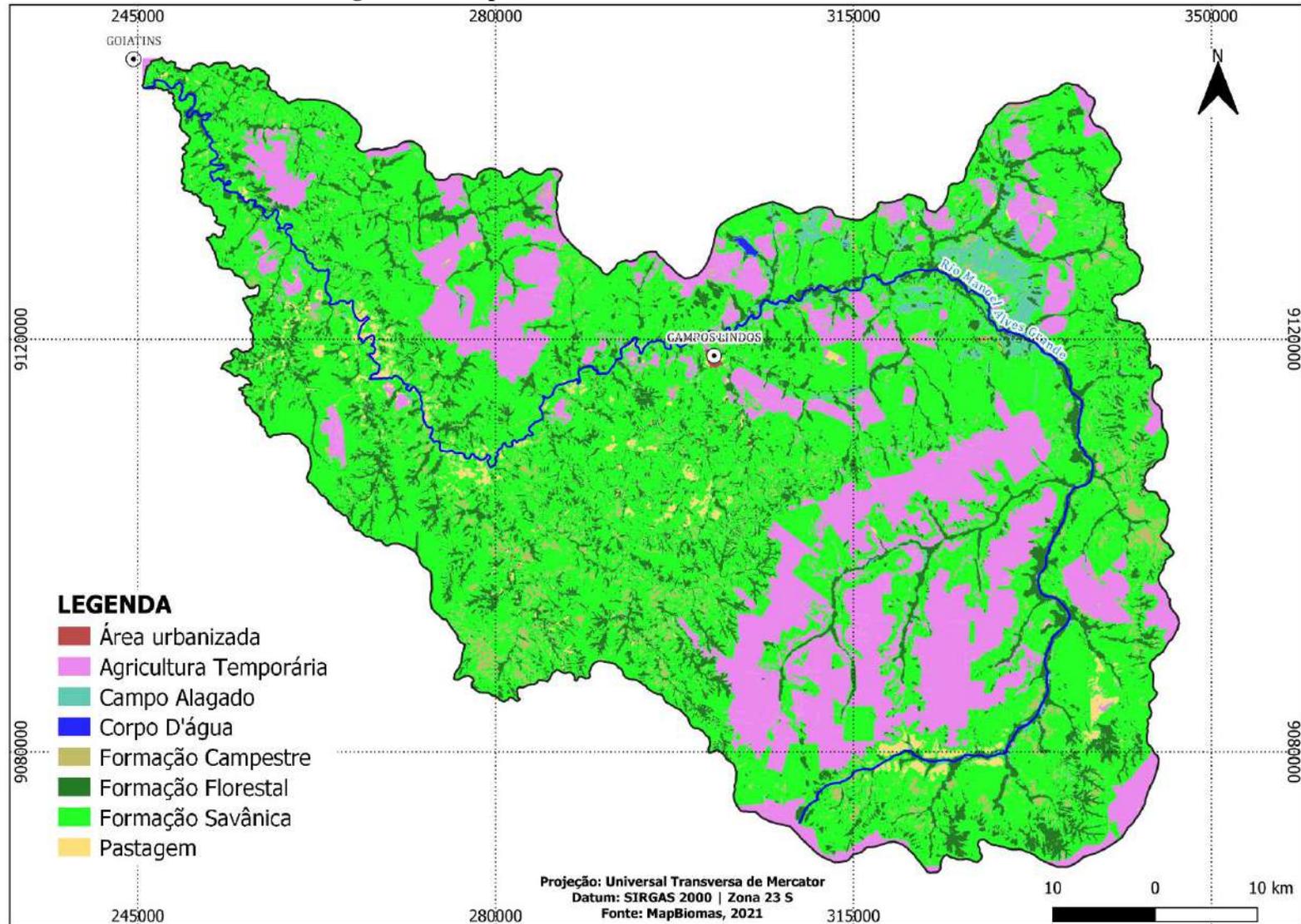


Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Ao passo em que as áreas de Agricultura aumentaram, a classe de Formação Savânica diminuiu ao longo dos anos. Assim, infere-se que estas áreas antes ocupadas por formações naturais, agora, tornam-se áreas de cultivo de soja, sorgo e milho (Tabela 3).

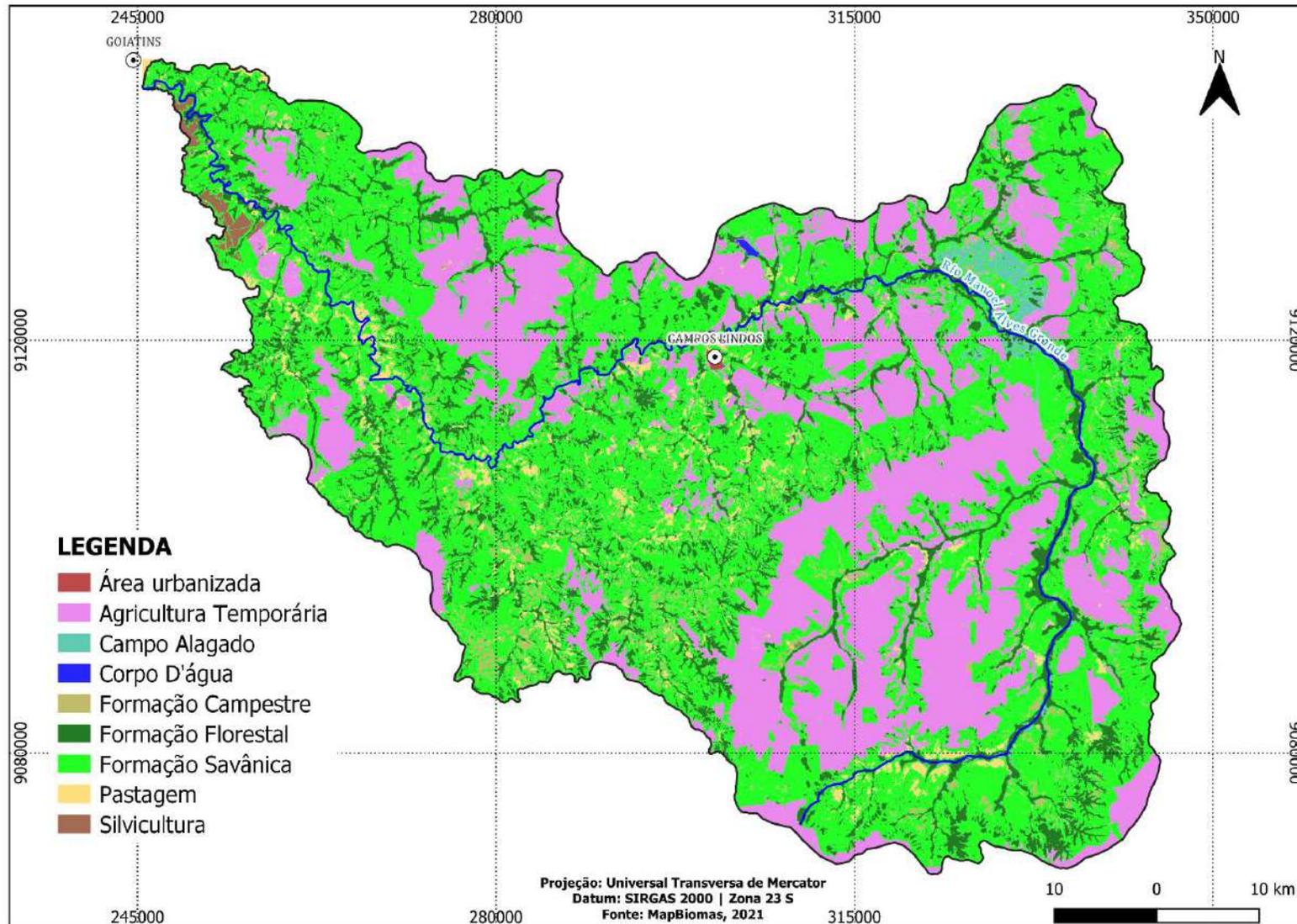
De 1990 a 2021, Corpos hídricos tiveram decréscimo acumulado de 34,09%, estes dados justificam-se pela seguinte situação: o avanço de monoculturas nas proximidades de campos alagados suprimiu corpos hídricos ali presentes; além disso, em função da cobertura vegetal, ao longo dos anos a Formação Floresta apresenta-se como mata de galeria sobre o Rio Manoel Alves Grande.

Figura 29- Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 2010



Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021)

Figura 30- Mapa de Cobertura e Uso da terra do ano de 2021



Fonte: Adaptado de MapBiomias (2021)

Tabela 3 - Dados das classes de uso e ocupação da terra da área em estudo

Classes temáticas	Área (km ²)			
	1990	2000	2010	2021
Área urbanizada	0,2267	0,7908	1,9996	2,2068
Agricultura Temporária	137,7161	342,7517	930,5852	1351,509
Campo Alagado	78,3606	67,3533	84,1027	51,5479
Corpo d'água	2,7361	2,6024	2,8592	1,8034
Formação Campestre	178,3338	142,5429	128,949	105,3937
Formação Florestal	723,9355	724,414	711,2508	685,2915
Formação Savânica	3667,148	3502,2187	2849,2195	2424,2332
Pastagem	4,7561	9,7769	71,4697	143,7039
Silvicultura	-	-	-	22,1065
Total			4787,7959	

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A partir da interpretação das imagens satélites, verificou-se que em meados de 2015, ocorre incremento de Silvicultura próximo ao exultório do Rio Manoel Alves Grande, nas margens da TO-226. Portanto, o cultivo de Eucalipto de cerca de 22,10 km² é discriminado apenas no mapa de uso e ocupação da terra do ano de 2021 (Figura 31).

Figura 31 - Registro fotográfico de Silvicultura na área em estudo



Fonte: Acervo do autor (2023)

De 1990 a 2021, a área em apreço apresentou mudanças consideráveis, principalmente nos usos associados às atividades antrópicas. As áreas destinadas para pastagem tiveram o maior crescimento acumulado, cerca de 2921,47%. Constatou-se pastagens no anel rebaixado da cratera de impacto (Figura 32).

Figura 32 - Classe de Pastagens no anel rebaixado do astroblema

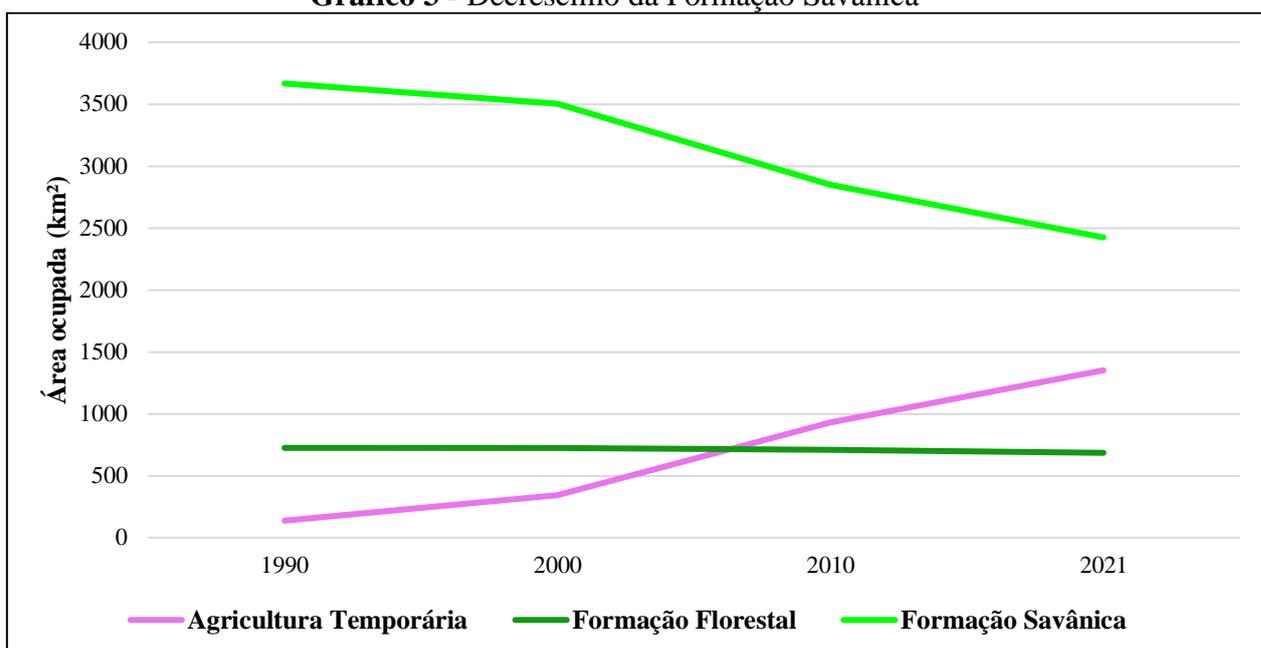


Fonte: Acervo do autor (2023)

O registro fotográfico (Figura 32) foi feito a partir da porção sudeste das cristas da Serra da Cangalha, sendo possível perceber ao fundo da imagem a Chapada da Cangalha. Nas porções rebaixadas nota-se o incremento de pecuária, situação que se repete em todo este domínio.

No contexto de avanços sobre as formações florestais, destaca-se as perdas de áreas da Formação Campestre, de 1990 a 2021 a classe perdeu 40% em extensão, pouco mais de 72,94 km². Em contraposição, a classe de Área Urbanizada apresentou crescimento acumulado de 873,45% de 1990 a 2021, entre os anos de 2000 e 2010 a classe teve sua maior taxa de crescimento, avançou sobre 1,2088 km². Agricultura Temporária teve crescimento semelhante (1990 - 2021), 881,37% (Tabela 5). Em contrapartida, a classe de Formação Savânica perdeu - 33,89%, passou de 3667,14 km² em 1990 para 2424,23 km² em 2021 (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Decréscimo da Formação Savânica



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.2.2 Determinação do parâmetro de Cobertura Original (CO)

Para determinação deste parâmetro, Beltrame (1994) estabelece qualitativamente o grau de semelhança entre cobertura original e atual. Para este fim, a autora sugere que se verifique a densidade de cobertura vegetal por meio de dados de imagens satélite. Assim, apresenta os índices Quadro 5:

Quadro 5 - Índices para determinação do parâmetro CO

Grau de semelhança (%)	Níveis	Índice
81 - 100	Altamente Semelhante	CO ₁
61 - 80	Semelhante	CO ₂
41 - 60	Medianamente Semelhante	CO ₃
21 - 40	Baixa Semelhança	CO ₄
1 - 20	Nenhuma Semelhança	CO ₅

Fonte: Beltrame (1994)

Fez-se os recortes de Uso e Cobertura dos anos de 1991 e 2021 levando em consideração os setores. Desse modo, para aquisição do parâmetro de Cobertura Original levou-se em consideração os dados das Tabelas 4 e 5:

Tabela 4 - Uso e Cobertura nos Setores A e B

Classes temáticas	SETOR A				SETOR B			
	1990		2021		1990		2021	
	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%	Km ²	%
Área urbanizada	0,2267	0,01%	2,2068	0,10%	0	0,00%	0	0,00%
Agricultura Temporária	31,7249	1,40%	758,7656	33,60%	33,9576	3,94%	235,2919	28,41%
Campo Alagado	22,3417	0,99%	13,7055	0,61%	3,1632	0,37%	3,191	0,39%
Corpo d'água	0,248	0,01%	0,0195	0,00%	0,0115	0,00%	0,0225	0,00%
Formação Campestre	89,7161	3,97%	58,5198	2,59%	20,4883	2,38%	8,994	1,09%
Formação Florestal	323,0639	14,29%	294,0531	13,02%	123,1166	14,28%	115,6524	13,97%
Formação Savânica	1790,6942	79,21%	1056,0582	46,77%	681,0246	79,00%	444,3019	53,66%
Pastagem	2,7057	0,12%	73,6468	3,26%	0,2489	0,03%	19,0448	2,30%
Silvicultura	0	0,00%	1,1546	0,05%	0	0,00%	1,5703	0,19%
Total	2260,7212	100,00%	2258,1299	100,00%	862,0107	100,00%	828,0688	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Tabela 5 - Uso e Cobertura nos Setores C e D

Classes temáticas	SETOR C				SETOR D			
	1990		2021		1990		2021	
	Km ²	%						
Área urbanizada	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%	0	0,00%
Agricultura Temporária	3,0615	0,68%	67,8926	15,11%	69,232	5,57%	286,3958	23,04%
Campo Alagado	1,9869	0,44%	0,8366	0,19%	50,8601	4,09%	33,8114	2,72%
Corpo d'água	0	0,00%	0,037	0,01%	2,4766	0,20%	1,7228	0,14%
Formação Campestre	14,7824	3,29%	5,8847	1,31%	53,1578	4,28%	31,8452	2,56%
Formação Florestal	83,4372	18,59%	78,5335	17,48%	193,7993	15,59%	196,7849	15,83%
Formação Savânica	344,4032	76,74%	252,0484	56,09%	872,5432	70,21%	667,9298	53,72%
Pastagem	1,1096	0,25%	24,9199	5,55%	0,6919	0,06%	24,7553	1,99%
Silvicultura	0	0,00%	19,2108	4,28%	0	0,00%	0	0,00%
Total	448,7808	100,00%	449,3635	100,00%	1242,761	100,00%	1243,245	100,00%

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Setor A: Formação Campestre, Formação Florestais e Formação Savânica compõem a cobertura original na área em estudo. O Setor A contabiliza 97,47% de coberturas no ano de 1990, sendo: 89,71 km² de Formação Campestre; 323,06 ocupados por Formação Florestais; e Formação Savânica dispõe-se por 1790,69 km². Em 2021, o Setor A conta com 62,38% de sua área recoberta por vegetação original, nas seguintes proporções: Formação Savânica 46,77% (1056,05 km²); Formação Florestal 13,02%, ou 294,05 km²; Formação Campestre ocupa 2,59%, cerca de 58,5198 km².

Setor B: Em 1990, o Setor B era constituído por 95,66%, especializados da seguinte maneira: 2,38% de Formações Campestre; 14,28% ocupados por Formação Florestal; e 79% por Formações Savânica. No ano de 2021, o mesmo setor apresentou 68,71% de porções recobertas de vegetação original. Formações Savânica ocupam 444,30 km² (53,66%). Disposta sobre 115,65 km², a Formação Florestal corresponde a 13,97%. A Formação Campestre corresponde a 1,09% (8,99km²).

Setor C: As formações originais situam-se sobre 98,63% do Setor C, em 1990, onde: Formações Savânica corresponde a 76,74%, ou seja, 344,40 km²; Formações Campestre ocupam cerca de 3,29% (14,78 km²); 18,59 de Formação Florestal, aproximadamente 83,43 km². Em 2021, o Setor C é composto por 74,88% de vegetação original, organizados da seguinte forma: 1,31% de Formações Campestre (5,88 km²); 78,53 km² de Formação Florestal (17,48%); Formação Savânica corresponde a 56,09%, 252,04 km².

O Setor D em 1990 é composto por 53,15 km² de áreas de Formação Campestre (4,28%), Formação Florestal 193,79 km² (15,59%), 872,54 km² de Formação Savânica, aproximadamente 70,21%, contabilizando 90,08% de vegetação original. Esta mesma secção, em 2021 era ocupada por 72,11% de formações originais, sendo: 31,84 km² de Formação Campestre (2,56%); 15,83% de Formação Florestal (196,78); e 53,72% de Formação Savânica, cerca de 667,92 km².

A determinação deste parâmetro para os setores levou em consideração a vegetação original residual. Deste modo, obteve-se o seguinte resultado (Tabela 6):

Tabela 6 - Grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual por setor da bacia

Setor	Cobertura Original 1990 (km ²)	Cobertura Original 2021 (km ²)	Cobertura Original 2021 (%)	Índice
A	2203,4742	1408,6311	62,38%	CO ₂
B	824,6295	568,9483	68,71%	CO ₂
C	442,6228	336,4666	74,88%	CO ₂
D	1119,5000	896,5599	72,11%	CO ₂

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.2.3 Determinação do parâmetro de Cobertura Atual (CA)

A determinação deste parâmetro baseia-se no índice qualitativo de Beltrame (1994), onde a Cobertura Atual é aferida considerando o grau de proteção dos solos para cada classe de uso e ocupação. A autora estabelece os seguintes valores de referência para o índice (Quadro 6):

Quadro 6 - Índice de proteção da vegetação

Índice de proteção	Símbolo
1	CA ₁
0,8 a 0,9	CA ₂
0,6 a 0,79	CA ₃
0,4 a 0,59	CA ₄
0,2 a 0,39	CA ₅
0,1 a 0,19	CA ₆
0,0	CA ₇

Fonte: Beltrame (1994)

O grau de proteção é calculado considerando a área da classe multiplicada pelo índice correspondente. Os valores do índice de proteção estão contidos de 0 a 1, quanto mais próximo de 1, maior a proteção, e quanto mais próximo de 0, menor o grau de proteção. O cálculo do grau de proteção para os setores leva em consideração a razão entre o tamanho do setor (km²) pelo somatório do grau de proteção de todas as classes. Isto posto, as tabelas 7, 8, 9 e 10 apresentam o grau de proteção dos setores.

Tabela 7 - Índice de proteção para o Setor A

Classes temáticas	SETOR A		
	Km ²	Índice de proteção	Superfície reduzida
Área urbanizada	2,2068	0,2	0,44136
Agricultura Temporária	758,7656	0,3	227,62968
Campo Alagado	13,7055	0,6	8,2233
Corpo d'água	0,0195	-	-
Formação Campestre	58,5198	0,4	23,40792
Formação Florestal	294,0531	1	294,0531
Formação Savânica	1056,058	0,7	739,2406
Pastagem	73,6468	0,5	36,8234
Sivicultura	1,1546	0,7	0,80822
Total	2258,13	-	1330,62758

Índice de Proteção do Setor: 0,58926084

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Hidalgo (1990) e Beltrame (1994)

Tabela 8 - Índice de proteção para o setor B

Classes temáticas	SETOR B		
	Km ²	Índice de proteção	Superfície reduzida
Área urbanizada	0	0,2	0
Agricultura Temporária	235,2919	0,3	70,58757
Campo Alagado	3,191	0,6	1,9146
Corpo d'água	0,0225	-	-
Formação Campestre	8,994	0,4	3,5976
Formação Florestal	115,6524	1	115,6524
Formação Savânica	444,3019	0,7	311,01133
Pastagem	19,0448	0,5	9,5224
Sivicultura	1,5703	0,7	1,09921
Total	2258,13	-	513,38511

Índice de Proteção do Setor: 0,22734967

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Hidalgo (1990) e Beltrame (1994)

Tabela 9 - Índice de proteção para o Setor C

Classes temáticas	SETOR C		
	Km ²	Índice de proteção	Superfície reduzida
Área urbanizada	0	0,2	0
Agricultura Temporária	67,8926	0,3	20,36778
Campo Alagado	0,8366	0,6	0,50196
Corpo d'água	0,037	-	-
Formação Campestre	5,8847	0,4	2,35388
Formação Florestal	78,5335	1	78,5335
Formação Savânica	252,0484	0,7	176,43388
Pastagem	24,9199	0,5	12,45995
Sivicultura	19,2108	0,7	13,44756
Total	449,3635	-	304,09851

Índice de Proteção do Setor: 0,676731666

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Hidalgo (1990) e Beltrame (1994)

Tabela 10 - Índice de proteção para o Setor D

Classes temáticas	SETOR D		
	Km ²	Índice de proteção	Superfície reduzida
Área urbanizada	0	0,2	0
Agricultura Temporária	286,3958	0,3	85,91874
Campo Alagado	33,8114	0,6	20,28684
Corpo d'água	1,7228	-	-
Formação Campestre	31,8452	0,4	12,73808
Formação Florestal	196,7849	1	196,7849
Formação Savânica	667,9298	0,7	467,55086
Pastagem	24,7553	0,5	12,37765
Sivicultura	0	0,7	0
Total	1243,2452	-	795,65707

Índice de Proteção do Setor: 0,639984

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Hidalgo (1990) e Beltrame (1994)

Isto feito, os setores encaixam-se nos seguintes índices de Cobertura Atual (Quadro 7):

Quadro 7 - Parâmetro de CA para os Setores

Setor	Índice	Símbolo
A	0,58	CA ₄
B	0,22	CA ₅
C	0,67	CA ₃
D	0,63	CA ₃

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.3 Clima: Balanço Hídrico (BH) e Erosividade da chuva (E)

Seplan (2012a) indica que a área está inserida na zona Tropical Equatorial com média anual entre 24°C a 26°C, clima semiúmido com período seco de cerca de 4 a 5 meses. A temperatura média anual varia entre 26 °C e 27 °C, e clima C2wA'á'', que de acordo com Seplan (2012a) pode ser caracterizado como clima úmido subúmido com moderada deficiência hídrica no inverno, evapotranspiração potencial média anual de 1.500 mm.

Souza et al. (2019) admitem o método de regionalização climática de Thornthwaite como critério de análise, e indicam que a região em apreço se encontra entre os climas C1A'w2a e C2A'wa'. Dessa forma, de acordo com os autores, a porção nordeste do estado apresenta média anual de evapotranspiração potencial entre 1550,01 mm e 1631,9 mm, caracterizando clima subúmido seco, e úmido subúmido com índices de índices de umidade que variam de 25,01 a 30,00%.

5.3.1 Determinação do parâmetro de Balanço Hídrico dos setores da bacia (BH)

Para a aquisição do parâmetro de Balanço Hídrico (BH), inicialmente selecionou-se as estações meteorológicas de Araguaína, Carolina, Balsas, Pedro Afonso e Alto do Parnaíba. A escolha deu-se em função da abrangência temporal de dados (1991-2020); proximidade geográfica com área em estudo; ausência de estações convencionais nos municípios de Campos Lindos e Goiatins. Deste modo, foi necessário aferir a influência das estações sobre a área em estudo por meio dos Polígonos de Thiessen. Os polígonos foram gerados através da ferramenta “Polígonos de Voronoi” do QGIS. Assim, para cálculo do balanço hídrico utilizou-se os dados das estações de Carolina e de Balsas. A primeira para os setores de B e C, e a segunda para os setores de A e D (Anexo B).

A metodologia empregada para o cálculo do balanço hídrico dos setores é a de Thornthwaite e Mather (1955). Os dados foram coletados no Instituto Nacional de Meteorologia. Castany (1968) sugere o cálculo de entrada e saída de água no solo por meio da Equação 3 (apud BELTRAME, 1994, p. 85):

$$P = E + Q \quad (3)$$

Na equação:

P corresponde a precipitação total;

E diz respeito aos valores de evapotranspiração real;

O escoamento total ou excedente hídrico são representados pelo Q.

Constatou-se a ausência de dados relacionados à evapotranspiração real, assim, o cálculo considerou a evapotranspiração potencial. Os dados de evapotranspiração considerados foram coletados nas mesmas estações e período dos dados de precipitação.

Em função de uma lacuna nos dados de evapotranspiração no mês de Julho na estação Balsas, inferiu-se os valores a partir de média aritmética simples com dados das estações adjacentes. O método tem validade comprovada por Bier e Ferraz (2017) e Brubacher, Oliveirae Guasselli (2020). Dessa forma, considerou-se os valores do mês de Julho das estações Alto do Parnaíba, Araguaína, Carolina e Pedro Afonso. Isto feito, o valor de evapotranspiração calculado foi de 149,7 mm. As tabelas 11 e 12, e gráficos 4 e 5 apresentam o balanço hídrico calculado a partir das estações para os respectivos setores.

Tabela 11 - Balanço hídrico dos setores A e D

Estação Balsas				
Mês	Precipitação média de 1991 a 2021 (mm)	Evapotranspiração Potencial média de 1991 a 2021	Excedente hídrico (mm)	Déficit hídrico (mm)
Janeiro	226,7	188,2	38,5	
Fevereiro	181,6	163,7	17,9	
Março	186,1	175	11,1	
Abril	119,8	174,6		54,8
Mai	50,1	176,8		126,7
Junho	4,7	163,6		158,9
Julho	1	149,7		148,7
Agosto	1,3	216,8		215,5
Setembro	18,2	245,1		229,9
Outubro	86,1	264,1		178
Novembro	151,8	221,2		69,4
Dezembro	167,3	205,3		38
Total	1194,7	2344,1	67,5	1219,9

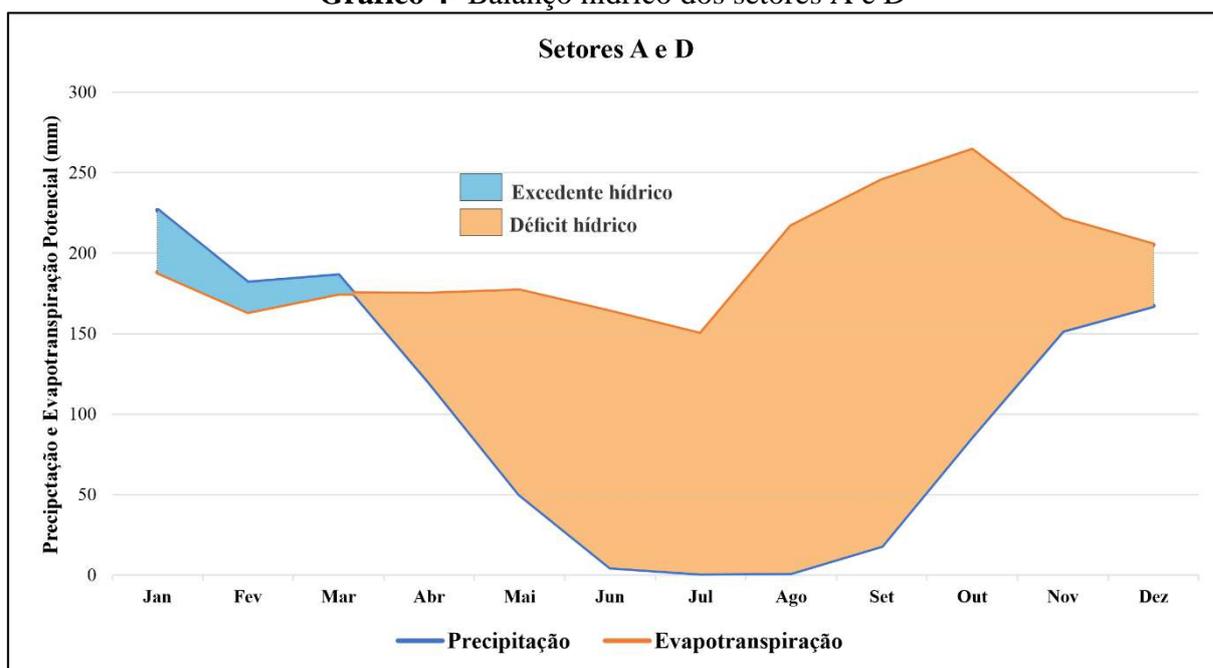
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados coletados no INMET (2023)

Tabela 12 - Balanço hídrico dos setores B e C

Estação Carolina				
Mês	Precipitação média de 1991 a 2021 (mm)	Evapotranspiração Potencial média de 1991 a 2021	Excedente hídrico (mm)	Déficit hídrico (mm)
Janeiro	303	186	117	
Fevereiro	289	164,1	124,9	
Março	293	174,7	118,3	
Abril	206,3	171,3	35	
Mai	91,6	178,1		86,5
Junho	13,1	166,7		153,6
Julho	7,4	186,9		179,5
Agosto	9	234,1		225,1
Setembro	37,5	254,5		217
Outubro	116,9	252		135,1
Novembro	174,3	210,9		36,6
Dezembro	231	201,6	29,4	
Total	1772,1	2380,9	424,6	1033,4

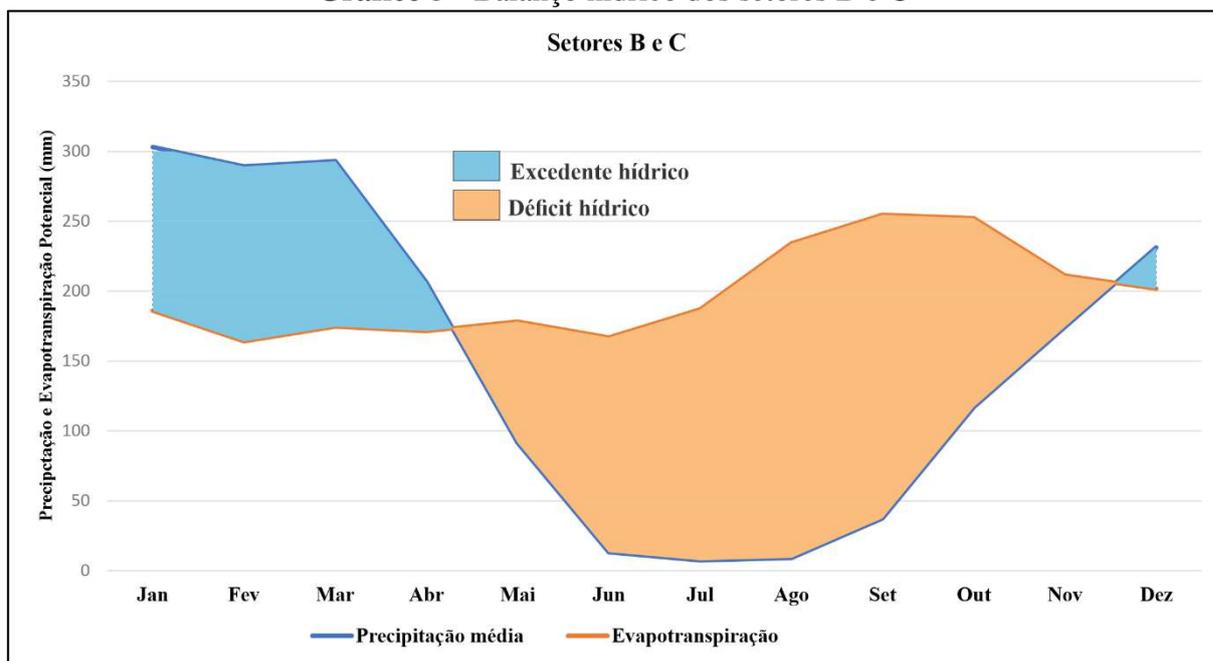
Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados coletados no INMET (2023)

Gráfico 4- Balanço hídrico dos setores A e D



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados coletados no INMET (2023)

Gráfico 5 - Balanço hídrico dos setores B e C



Fonte: Elaborado pelo autor com base nos dados coletados no INMET (2023)

Os setores sob influência da estação Balsas apresentam déficit hídrico de 1219,9 mm distribuídos pelos meses de Março a Dezembro. Enquanto que os setores B e C contabilizaram 1033,4 mm de déficit hídrico entre os meses de Maio a Novembro. A área de estudo em sua totalidade apresenta deficiência hídrica na maior parte do ano. Em consonância com Beltrame (1994), Ferreira (2017) calculou o excedente hídrico médio para o Estado do Tocantins (Quadro 8):

Quadro 8 - Classificação qualitativa dos valores do balanço hídrico e respectivos símbolos

Balanço hídrico	Qualificação BH	Símbolo e Subíndice
Sem deficiência hídrica excedente hídrico superior a 800,00 mm/ano	Muito Alto	BH ₁
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico entre 400 mm/ano** e 800 mm/ano	Alto	BH ₂
Sem deficiência hídrica e excedente hídrico até 400 mm/ano**	Médio	BH ₃
Com deficiência hídrica em pelo menos um mês do ano com qualquer excedente	Baixo	BH ₄

Obs.: * Dobro da média dos valores de excedente hídrico anual para o Estado do Tocantins
 ** média dos valores de excedente hídrico anual para o Estado do Tocantins

Fonte: Ferreira (2015)

Assim, todos os setores se enquadram com qualificação Baixo e recebem o símbolo BH₄ (Quadro 9):

Quadro 9 - Índices para parâmetro balanço hídrico da área em estudo

Setor	Qualificação	Símbolo e Subíndice
A	Baixo	BH ₄
B	Baixo	BH ₄
C	Baixo	BH ₄
D	Baixo	BH ₄

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.3.2 Determinação do parâmetro de Erosividade da chuva (E)

Para aquisição deste parâmetro, Beltrame (1994) indica a Equação 4, de autoria de Lombardi Neto e Moldenhauer (1980):

$$E = 6,886 (r^2/P)^{0,85} \quad (4)$$

Onde:

E= Média mensal do índice de erosão (t/ha.mm/h);

r= Precipitação média mensal em (mm);

P= Precipitação média anual.

O cálculo foi realizado com os dados de precipitação média das estações de Balsas e Carolina de 1991 a 2021. As informações foram coletadas nas Normais Climáticas do INMET.

Para o cálculo do índice de Erosividade máxima e mínima do Tocantins, considerou-se as estações com dados máximos e mínimos de precipitação anual. As estações selecionadas foram a da Fazenda Santa Rita e a de Marianópolis. Os valores relacionados à Erosividade máxima do Estado é de 1148,53 t/ha.mm/h, e o mínimo de 785,22 t/ha.mm/h. O cálculo foi realizado por Ferreira (2015), e adequado à proposta de Beltrame (1994). Desta forma, a classificação de Erosividade do Tocantins é apresentado no Quadro 10:

Quadro 10 - Classificação dos índices de erosividade para o Estado do Tocantins

Índice (t/ha.mm/h) e	Qualificação	Símbolo e Subíndice
Abaixo de 785,22	Erosividade débil	E ₁
785,22 a 906,32	Erosividade média	E ₂
906,32 a 1027,43	Erosividade forte	E ₃
1027,43 a 1148,53	Erosividade muito forte	E ₄
Acima de 1148,53	Erosividade excessiva	E ₅

Fonte: Ferreira (2015)

Assim como no parâmetro de Balanço hídrico, a estação Carolina associa-se aos setores B e C, e os setores A e D estão relacionados aos dados da estação Balsas. Dito isto, informações de Erosividade aferidas apresentam-se na Tabela 13.

Tabela 13 - Erosividade da chuva dos setores A, B, C e D

Meses do ano 1991 - 2021	Setores A e D		Setores B e C	
	Precipitação média (mm)	Erosividade média (t/ha.mm/h)	Precipitação média (mm)	Erosividade média (t/ha.mm/h)
Janeiro	226,7	168,48	303	197,33
Fevereiro	181,6	115,55	289	182,08
Março	186,1	120,46	293	186,39
Abril	119,8	56,97	206,3	102,65
Mai	50,1	12,94	91,6	25,82
Junho	4,7	0,23	13,1	0,94
Julho	1	0,01	7,4	0,35
Agosto	1,3	0,02	9	0,49
Setembro	18,2	2,31	37,5	5,65
Outubro	86,1	32,49	116,9	39,08
Novembro	151,8	85,20	174,3	77,08
Dezembro	167,3	100,51	231	124,42
Total	1194,7	695,17	1772,1	942,28

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Os setores A e D apresentam Erosividade débil, cerca de 695 (t/ha.mm/h). Enquanto que os setores B e C tem 942,28 (t/ha.mm/h), valores de erosividade da chuva que correspondem à Erosividade forte. Assim, os setores recebem os respectivos índices do Diagnostico Físico-Conservacionista (Quadro 11):

Quadro 11 - Índices e subíndices de erosividade da chuva dos setores A, B, C e D

Setor	Erosividade média (t/ha.mm/h)	Qualificação	Símbolo e Subíndice
A	695,17	Erosividade débil	E ₁
B	942,28	Erosividade forte	E ₃
C	942,28	Erosividade forte	E ₃
D	695,17	Erosividade débil	E ₁

Fonte: Elabora pelo autor (2023)

5.4 Características geológicas e pedológicas: Suscetibilidade da textura à erosão, associada à declividade (PE) e Densidade de drenagem (DD)

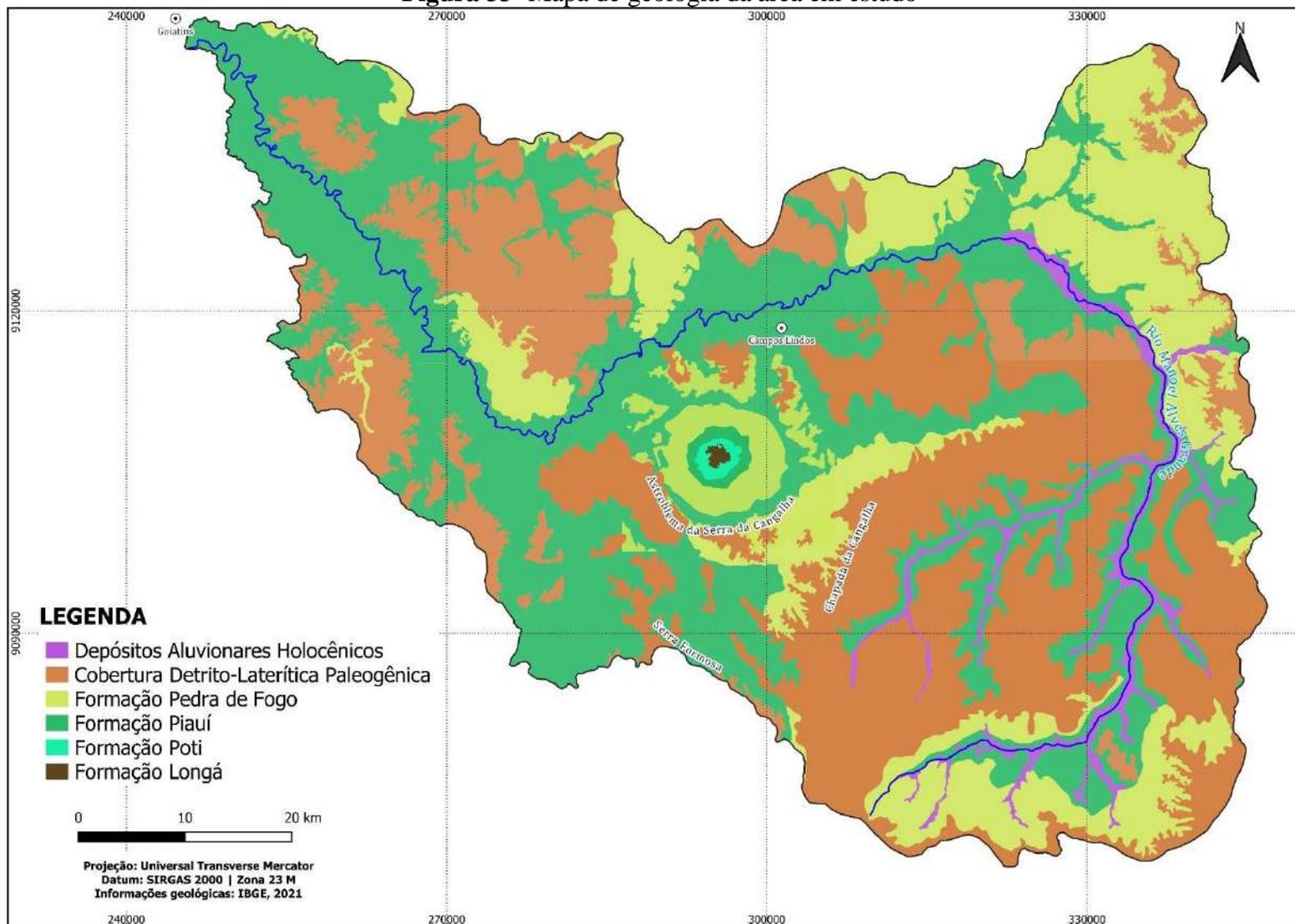
A análise de suscetibilidade e de densidade de drenagem é feita a partir de dados do aspecto físico da paisagem. No caso da densidade de drenagem, emprega-se informações hidrográficas das cartas topográficas. Enquanto que o mapeamento de suscetibilidade à erosão leva-se em consideração informações de declividade, uso e cobertura, geomorfologia, geologia, e de pedologia. Alguns destes aspectos foram discutidos em tópicos anteriores. Assim, faz-se neste ponto breve caracterização geológica e pedológica da área em estudo.

Geologia

A área estudada está inserida na Bacia Sedimentar do Parnaíba, na porção nordeste do estado do Tocantins e ao sul da unidade federativa do Maranhão. A bacia sedimentar ocupa

uma área de cerca de 600.000 km², e abrange os estados do Piauí, Maranhão, Tocantins, Pará, Ceará e Bahia. Bacias intracratônicas como a do Parnaíba caracterizam-se por ocupar extensas áreas continentais e abrigar grande diversidade de rochas, recursos energéticos, além de apresentarem-se como componentes importantes para o entendimento das dinâmicas geológicas da crosta terrestre (DALY et al., 2018) (Figura 33).

Figura 33- Mapa de geologia da área em estudo



Fonte: Adaptado de IBGE (2021)

Vasconcelos et al. (2013) indicam que a estratigrafia da área em apreço é constituída por depósitos do Siluriano ao Triássico, compreendidos pelos Grupos Serra Grande, Canindé e Balsas. A cratera de impacto formada há cerca de 220 M.a. apresenta diâmetro de aproximadamente 13,5 km. A estrutura conta com núcleo central soerguido de 3 km de diâmetro, composto por folhelhos devonianos da Formação Longá com altitude máxima de 678 m, enquanto que seu entorno abriga sedimentos das formações Poti, Pedra de Fogo e Piauí (REIMOLD et al., 2006; KENKMANN et al., 2011; VASCONCELOS, 2013).

Inicialmente a feição de impacto foi interpretada como formação dômica, com 10 km de circunferência constituída por rochas ígneas intrusivas (BRASIL, 1973). Contudo, observações aéreas e estudos posteriores retificaram esta conclusão e a feição passou a ser entendida como uma cratera de impacto (DIETZ; FRENCH, 1973; CROSTA, 1987; CRÓSTA, 2004).

Deste modo, pesquisas subseqüentes trouxeram mais detalhes ao astroblema, assim sendo, conforme Dietz (1973), Adepelumi, Flexor e Fontes (2005), Kenkmann et al., (2011), Seplan (2012), Vasconcelos (2012), Vasconcelos et al., (2013), IBGE (2021), as formações geológicas presentes no astroblema e seus arredores são: Formação Longá, Formação Poti, Formação Piauí, Formação Pedra de Fogo, junto de Coberturas Detrito-Lateríticas Paleogênicas e Depósitos Aluvionares Holocênicos (Figura 33).

As Coberturas Detrito-Lateríticas Paleogênicas ocorrem em sua maioria em porções de chapadas da área em estudo, destacando-se a Chapada da Cangalha. Estas coberturas recobrem cerca de 38 % de toda a área. Nestas regiões verifica-se o emprego de agriculturas temporárias, assim como em regiões planas à jusante do Rio Manoel Alves Grande (Tabela 14).

Tabela 14 - Distribuição das formações geológicas

Formações geológicas	Área (km ²)	Percentual (%)
Corpo d'água continental	0,007	0,00%
Depósitos Aluvionares Holocênicos	128,507	2,69%
Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica	1819,28	38,01%
Pedra de Fogo	945,903	19,76%
Piauí	1867,544	39,02%
Poti	19,791	0,41%
Longá	4,926	0,10%
Total	4785,958	100,00%

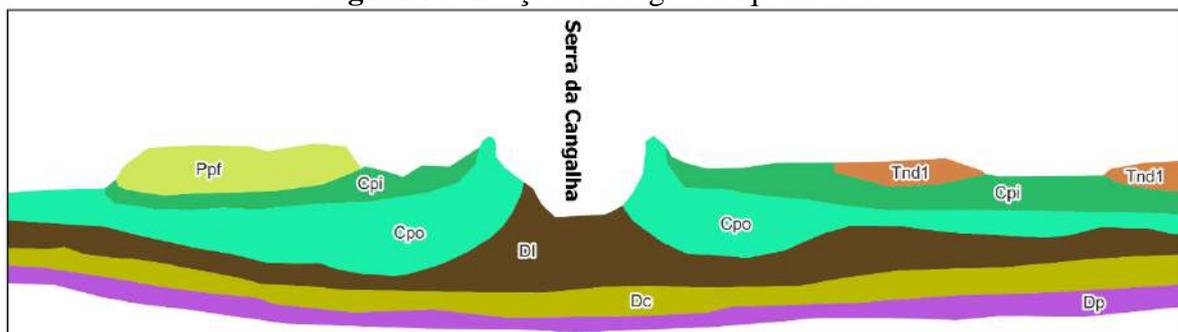
Fonte: Adaptado IBGE (2021)

Os Depósitos Aluvionares Holocênicos estão dispostos nos vales entalhados à montante do curso hídrico principal e em nascentes ao sul da área de estudo. São depósitos predominantemente arenosos posicionados em terraços e planícies fluviais esculpidos sobre as

formações Pedra de Fogo e Poti, e Coberturas Detrito-Laterítica Paleogênica nas porções centrais (IBGE, 2021).

Adepelumi, Flexor e Fontes (2005) e IBGE (2021) pontuam que as feições deposicionais mais jovens correspondem à Formação Pedra de Fogo (Ppf) e depósitos aluviais lateritizados da Coberturas Detrito-Laterítica Paleogênica (Tnd1), que estão dispostas sobre a Formação Piauí (Cpi), e esta assenta-se sobre às formações Poti (Cpo), Longá (Dl), Cabeças (Dc) e Pimenteiras (Dp) (Figura 34).

Figura 34- Secção Geológica Esquemática

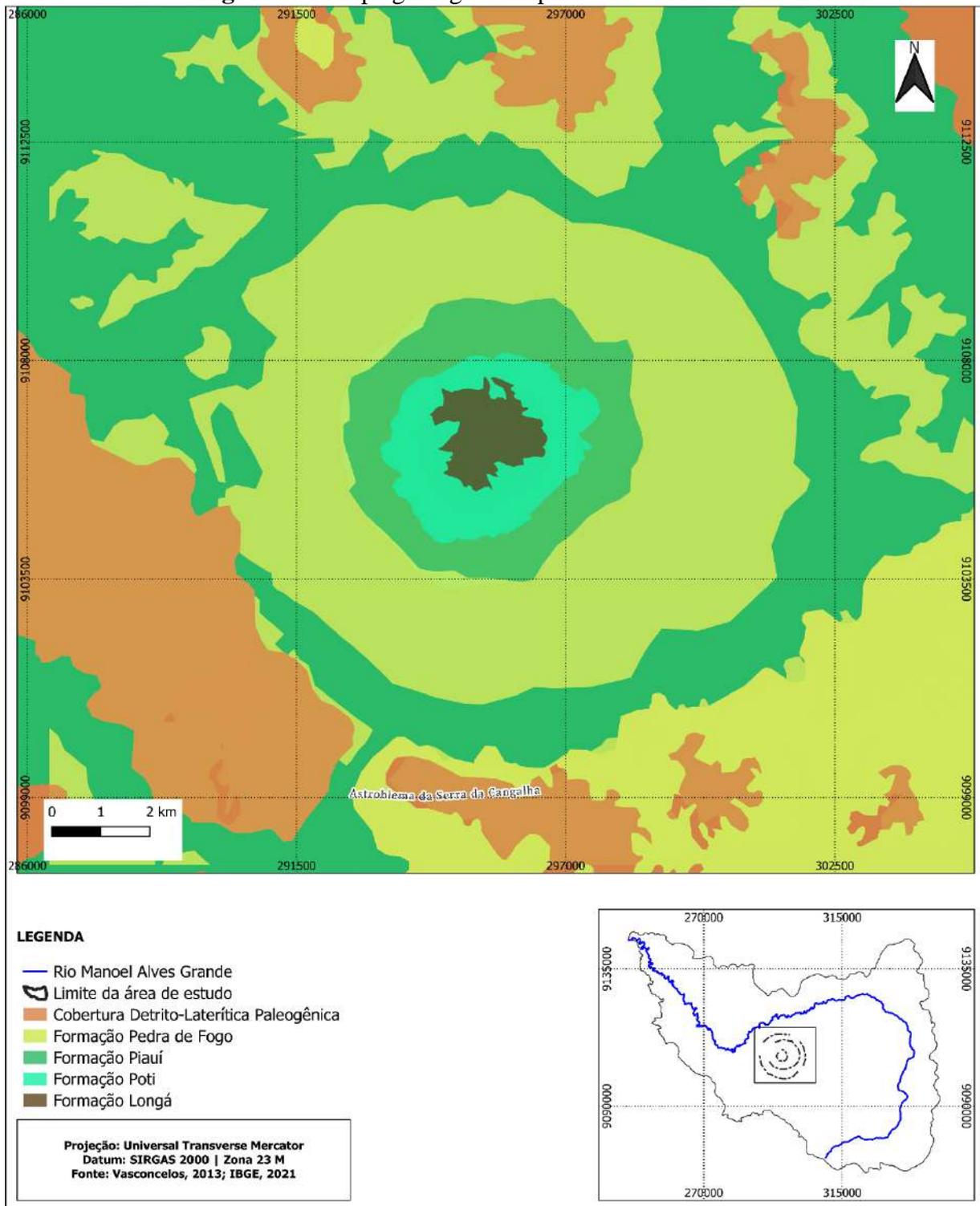


Fonte: IBGE (2021)

Vasconcelos et al. (2013) compreendem que o astroblema é constituído pelos seguintes domínios: Colar, Núcleo soerguido, Segunda Crista anelar e Borda da Cratera. A Formação Longá encontra-se disposta na porção mais central da estrutura de impacto, o Colar, que conta com o diâmetro de 2,4 km (KENKMANN et al., 2011). De acordo com Adepelumi, Flexor e Fontes (2005), o ambiente deposicional constitui-se em fase regressiva de maré, a Formação Longá data do período Devoniano superior (365-354 Ma), sendo composta por folhelhos escuros, laminados, homogêneos com estratificação paralela, e intercalações de arenitos finos branco-amarelos (BRASIL, 1973).

Com base em análises de amostras coletadas no astroblema, Vasconcelos et al. (2013) concluíram que as rochas carboníferas da Formação Longá, sendo xistos escuros poucos expostos, são as rochas mais antigas da estrutura de impacto. Kenkmann et al. (2011) pontuam que a menor elevação da área central ocorre em função da alta suscetibilidade para erosão dos sedimentos da Formação Longá (Figura 35).

Figura 35 - Mapa geológico simplificado do Astroblema



Fonte: Simplificado de Vasconcelos (2013); IBGE (2021)

Os arenitos vermelhos-brancos massivos e silicificados da Formação Poti constituem o Núcleo soerguido da estrutura de impacto. Esta secção apresenta um diâmetro de cerca de 5,8 km (KENKMANN et al.,2011; VASCONCELOS, 2013) (Figura 34).

A Formação Piauí (323-290 Ma) apresenta-se na zona periférica do núcleo soerguido, de modo que, a Segunda Crista Anelar da estrutura abriga arenitos cinza-esbranquiçados com

granulação fina e média, além de conglomerados com intercalação de folhelhos carbonáceos avermelhados e calcário esbranquiçado dos períodos Permiano e Carbonífero (ADEPELUMI, FLEXOR, FONTES, 2005).

Solos

Semades (2013) e IBGE (2021) indicam grande variedade de solos na área de estudo, a saber: Plintossolo Pétrico Concrecionário (FFc), Plintossolo Háptico Distrófico (FXd), Gleissolo Háptico Tb Distrófico (GXbd), Latossolo Amarelo Distrófico (LAd), Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (LVAd), Neossolo Litólico Distrófico (RLd) e Neossolo Quartzarênico Órtico (RQo).

Plintossolo Háptico Distrófico estão quase que exclusivamente distribuídos nas porções à margem direita do rio, porção superior da área de estudo, recobrem 43,74 km² da área de estudo. Estes solos estão sobre as formações Piauí, Pedra de Fogo e assentam-se consideravelmente sobre coberturas lateríticas. Apresentam caráter alumínico nos horizontes B e /ou C, além < 50% de saturação por base (SANTO et al., 2018) (Figura 36) (Tabela 17).

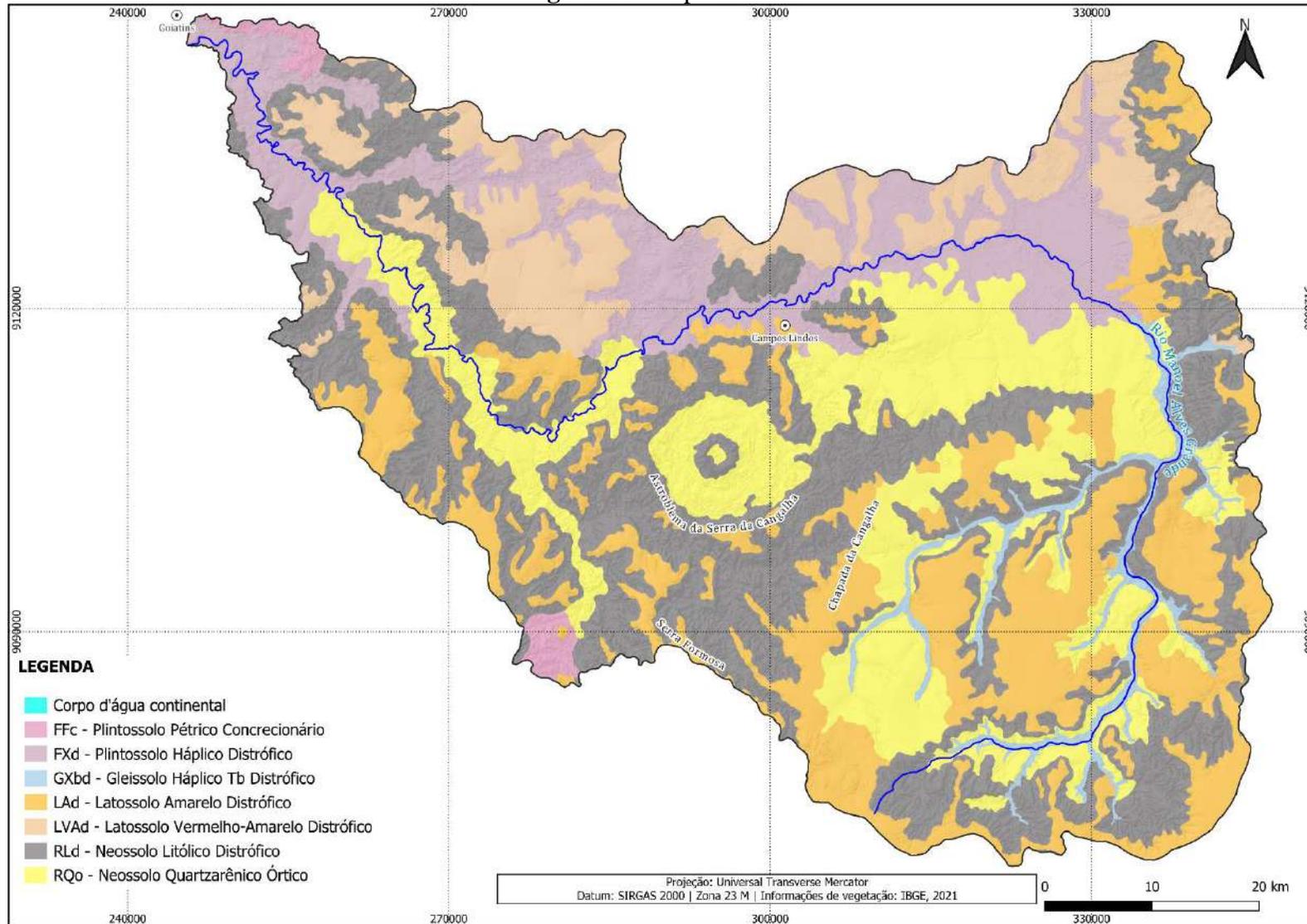
Tabela 17- Distribuição dos solos

Solos	Área (km ²)	Percentual (%)
Corpo d'água continental	0,007	0,00%
FFc - Plintossolo Pétrico Concrecionário	43,748	0,92%
FXd - Plintossolo Háptico Distrófico	660,495	13,88%
GXbd - Gleissolo Háptico Tb Distrófico	119,016	2,50%
LAd - Latossolo Amarelo Distrófico	989,485	20,79%
LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico	470,279	9,88%
RLd - Neossolo Litólico Distrófico	1514,697	31,83%
RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico	961,227	20,20%
Total	4758,954	100,00%

Fonte: Adaptado de IBGE (2021)

Os Latossolos dispõem-se em regiões próximas aos Plintossolo Háptico e em porções planas da área em apreço. Estes latossolos ocupam cerca de 30,69% da área, ou aproximadamente 1.459 km².

Figura 36- Mapa de solos



Fonte: IBGE (2021)

Em linhas gerais os Neossolos Litólicos Distróficos ocupam o maior percentual de área estudada. Estes solos assentam-se sobre toda área de estudo, concentrando-se principalmente próximo do astroblema. O domínio Colar do astroblema apresenta-se como uma zona pedregosa constituída por solos litólicos com a presença de fragmentos grossos poucos desenvolvidos.

Santos et al. (2018) definem os solos litólicos como sendo constituídos em sua maior parte por fragmentos grosseiros com horizonte B pouco desenvolvido. Os solos litólicos ocorrem geralmente em áreas de topografia acidentada, associados a afloramentos de rochas, isto posto.

Neossolo Quartzarênico Órtico apresentam acidez elevada e alta suscetibilidade aos processos erosivos quando não se tem cobertura vegetal (SANTOS et al., 2018). Em função da acidez elevada o incremento de práticas de agricultura temporária requer técnicas de correção de solos. Estes solos ocupam consideravelmente a margem direita do Rio Manoel Alves Grande, assim como o entorno do Colar do astroblema, totalizando 961,22 km², ou 20,20% da área de estudo (Tabela 17).

5.4.1 Determinação do parâmetro de Suscetibilidade à erosão, associada à declividade (PE)

A aquisição deste parâmetro deu-se por meio do uso de álgebra de mapas a partir de média ponderada. As informações consideradas foram a de Geologia (L), Geomorfologia (G), Pedologia (P), Declividade (D) e Uso e cobertura da terra (UC). Esta abordagem de multicritério baseia-se em Beltrame (1994), Diniz et al. (2008), Silva e Machado (2014). As variáveis estão organizadas na seguinte hierarquia: 30% declividade, 25% uso e cobertura, 20% pedologia, 15% geomorfologia, e 10% geologia. Os valores atribuídos seguem a literatura consultada (Quadro 12). Dessa forma, por meio da ferramenta Calculadora Raster do QGIS efetuou-se a seguinte equação (Equação 5):

$$PE = (D * 30) + (UC * 25) + (P * 20) + (G * 15) + (L * 10) \div 5 \quad (5)$$

Onde:

PE: Potencial Erosivo;

D: corresponde a declividade;

UC: Uso e cobertura;

P: Pedologia;

G: diz respeito a geomorfologia;

L: Litologia geológica.

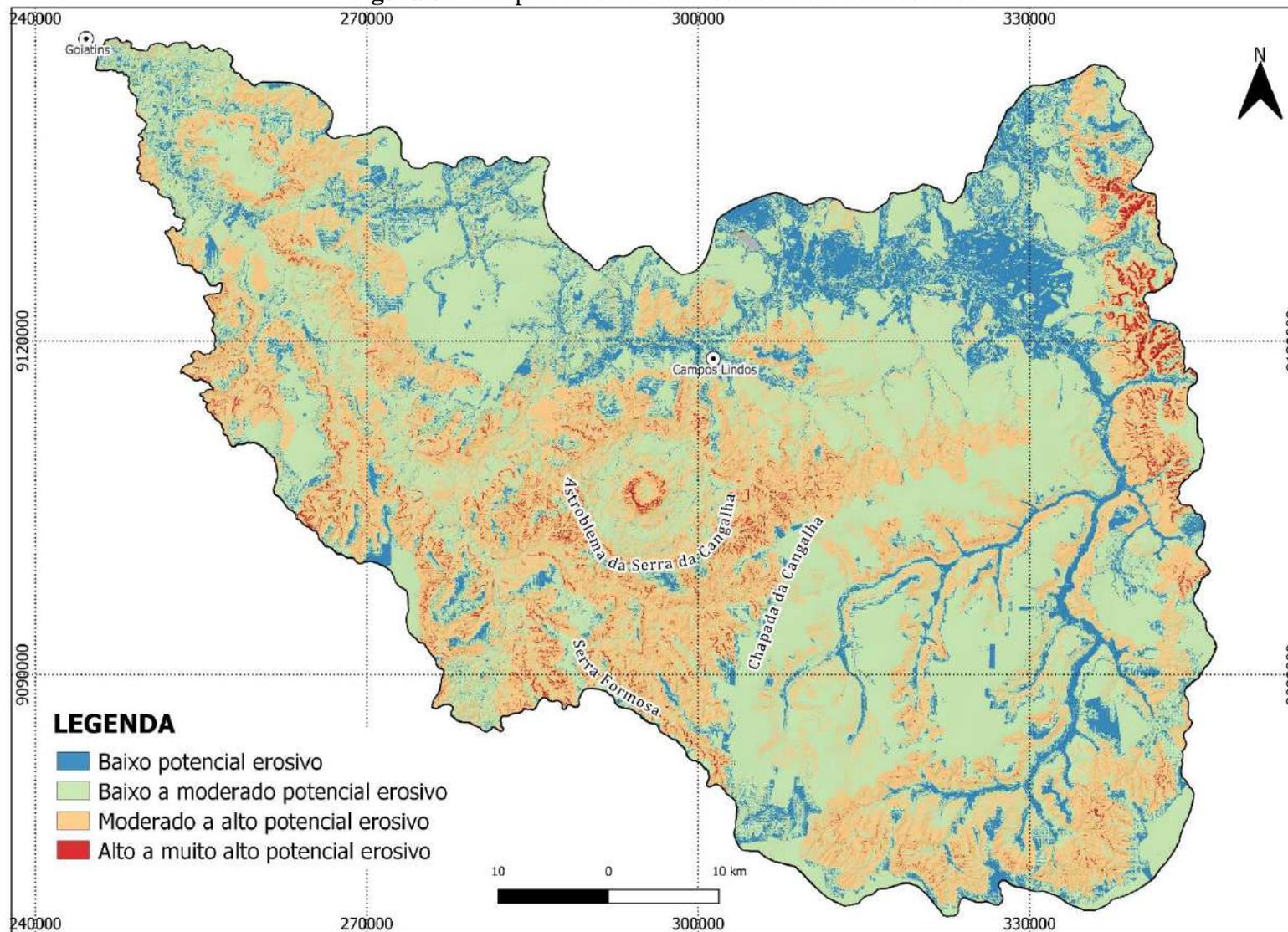
Quadro 12- Valores atribuídos às variáveis

Hierarquia (%)	Variável	Atributos	Valores atribuídos
30	Declividade (%)	0 – 3 Plano	1
		3 – 8 Suave Ondulado	4
		8 – 20 Ondulado	6
		20 – 45 Forte Ondulado	8
		45 – 75 Escarpado	10
		> 75 Montanhoso	10
25	Uso e cobertura da terra	Área Urbanizada	5
		Agricultura Temporária	8
		Formação Campestre	3
		Formação Florestal	1
		Formação Savânica	4
		Pastagem	6
		Silvicultura	7
20	Pedologia	Plintossolo Pétrico Concrecionário	4
		Plintossolo Háptico	3
		Gleissolo Háptico	1
		Latossolo Amarelo	2
		Latossolo Vermelho-Amarelo	2
		Neossolo Litólico	9
		Neossolo Quartzarênico	7
15	Geomorfologia	Pediplanos	2
		Planícies e Terraços	1
		Topo aguçado	5
		Topo convexo	4
		Topo tabular	3
10	Geologia	Formação Longá	6
		Formação Poti	5
		Formação Piauí	4
		Formação Pedra de Fogo	3
		Cobertura Detrito-Laterítica Paleogênica	2
		Depósitos Aluvionares Holocênicos	1

Fonte: Crepani et al. (2001), Belintani e Meirelles (2007), Diniz et al. (2008), Santos (2010), Bonna (2011), Silva e Machado (2014)

Feito o procedimento de álgebra de mapas, obteve-se quatro classes de potencial erosivo para área de estudo (Figura 37).

Figura 37 - Mapa de Potencial Erosivo da área em estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

As classes baseiam-se nas variáveis apresentadas no Quadro 11. Deste modo:

Classe I: As declividades da classe de baixo potencial erosivo estão compreendidas de 0 a 8%. Os solos presentes são os Gleissolo Háplico e Plintossolo Háplico, em grande parte apresentam-se em Planícies e Terraços, principalmente do Rio Manoel Alves Grande.

Classe II: Relevos suave ondulados e ondulados recobrem 54,27% (2587,68 km²), esta classe é a predominante na área em estudo. Caracterizam-se pelo baixo a moderado potencial erosivo. Estas áreas estão dispostas em altitudes que variam de 300 a 500m, em Coberturas Detrito-Lateríticas.

Classe III: Esta classe apresenta declividades contidas entre 20 e 75%, dispõem-se sobre 1490,7749 km² (31,27%). Apresentam moderado a alto potencial erosivo, principalmente em regiões com relevos fortes ondulados. São áreas próximas ao astroblema compostas por vertentes intermediárias e elevadas entalhadas em neossolos litólicos da Formação Piauí e Formação Pedra de Fogo.

Classe IV: Relevos com alto e muito alto potencial erosivo ocupam 1,73% (607,13 km²) da área em estudo. São porções classificadas como Montanhoso, apresentam mais que 75% de declividade. Estão dispostos sobre neossolos litólicos em altitude de mais de 550 m, e em cristas ao longo da área em apreço.

Para o cálculo deste parâmetro admitiu-se os valores do índice de PE sugeridos por Beltrame (1994). Os valores variam de 0 a 1 (Quadro 13):

Quadro 13 - Escalonamento dos índices de PE, qualificação e símbolo

Potencial Erosivo	Símbolo	Escalonamento dos índices de potencial erosivo dos solos
Baixo	P ₁	0,876 – 1
Baixo a Moderado	P ₂	0,751 – 0,875
Moderado a Baixo	P ₃	0,626 – 0,750
Moderado a Alto	P ₄	0,501 – 0,635
Alto a Moderado	P ₅	0,376 – 0,500
Alto a Muito Alto	P ₆	0,251 – 0,375
Muito Alto a Alto	P ₇	0,126 – 0,250
Muito Alto	P ₈	0,00 – 0,125

Fonte: Beltrame (1994)

Assim, multiplicou-se o índice PE pela área ocupada. Isto feito, obtêm-se a superfície reduzida. A razão entre soma dos valores de superfície reduzida pelo total de área ocupada corresponde ao Potencial Erosivo. O procedimento foi reproduzido para todos os setores. O potencial erosivo para área total condiz com a classificação Baixo Moderado (PE₃) de Beltrame (1994) (Tabela 16):

Tabela 15 - Potencial erosivo para área total

Classe de potencial erosivo	Área (km ²)	Índice do PE	Superfície reduzida
Baixo potencial erosivo	607,1389	1	607,1389
Baixo a moderado potencial erosivo	2587,6879	0,75	1940,765925
Moderado a alto potencial erosivo	1490,7749	0,5	745,38745
Alto a muito alto potencial erosivo	82,2895	0,25	20,572375
Total	4767,8912	-	3313,86465

Índice de Potencial Erosivo = 0,695037808

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O cálculo para os setores indica os seguintes valores (Tabela 17):

Tabela 16 - Potencial erosivo para os setores

Setor	Classe de potencial erosivo	Área (km ²)	Índice do PE	Superfície reduzida
A	Baixo potencial erosivo	194,6673	1	194,6673
	Baixo a moderado potencial erosivo	1253,7809	0,75	940,335675
	Moderado a alto potencial erosivo	777,0011	0,5	388,50055
	Alto a muito alto potencial erosivo	35,661	0,25	8,91525
	Total	2261,1103	-	1532,418775
Índice de Potencial Erosivo= 0,677728448				
B	Baixo potencial erosivo	103,1419	1	103,1419
	Baixo a moderado potencial erosivo	521,8846	0,75	391,41345
	Moderado a alto potencial erosivo	196,6656	0,5	98,3328
	Alto a muito alto potencial erosivo	5,2658	0,25	1,31645
	Total	826,9579	-	594,2046
Índice de Potencial Erosivo= 0,718542746				
C	Baixo potencial erosivo	35,0249	1	35,0249
	Baixo a moderado potencial erosivo	228,1964	0,75	171,1473
	Moderado a alto potencial erosivo	172,4706	0,5	86,2353
	Alto a muito alto potencial erosivo	9,7756	0,25	2,4439
	Total	445,4675	-	294,8514
Índice de Potencial Erosivo= 0,661892057				
D	Baixo potencial erosivo	274,3048	1	274,3048
	Baixo a moderado potencial erosivo	583,826	0,75	437,8695
	Moderado a alto potencial erosivo	344,6376	0,5	172,3188
	Alto a muito alto potencial erosivo	31,5871	0,25	7,896775
	Total	1234,3555	-	892,389875
Índice de Potencial Erosivo= 0,72296018				

Fonte: Elaborado pelo autor em consonância com Beltrame (1994)

O potencial erosivo para os setores corresponde ao moderado a baixo (Quadro 14):

Quadro 14 - Classe de PE para os setores e respectivos símbolos

Setores	Índice PE	Símbolo
A	0,67	PE ₃
B	0,71	PE ₃
C	0,66	PE ₃
D	0,72	PE ₃

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

5.4.2 Determinação do parâmetro de Densidade de Drenagem (DD)

O cálculo de densidade de drenagem é aferido através da razão entre os valores de comprimento total dos canais (km) pela área em quilômetros quadrados (CRISTOFOLETTI, 1980) (Equação 6).

$$DD = \frac{Lt}{A} \quad (6)$$

Onde:

DD: Densidade de Drenagem;

Lt: comprimento total dos canais

A: Área em apreço

Para determinação deste parâmetro utilizou-se as informações de drenagem das Cartas Topográficas de Craolândia - Sc-23-v-a-ii, Serra da Cangalha - Sc-23-v-a-iii, Rio das Balsas - SC-23-V-B-I, Goiatins - SB-23-Y-C-V, Rio Sereno - SB-23-Y-C-VI, Balsas - SB-23-Y-D-IV. O cálculo de Densidade de Drenagem com vistas à aplicação do DFC é classificado da seguinte forma (Quadro 15).

Quadro 15 - Classificação e simbologia de Densidade de Drenagem

Valores de DD (km/km ²)	Qualificação da DD	Símbolo DFC para DD
< 0,50	Baixa	D ₁
0,50 a 2,00	Mediana	D ₂
2,01 a 3,50	Alta	D ₃
> 3,50	Muito Alta	D ₄

Fonte: Beltrame (1994)

Os valores aferidos para os respectivos setores são os seguintes (Quadro 16):

Quadro 16 - Valores DD e símbolo DFC

Setor	Lt (km)	Área (km ²)	DD (km/km ²)	Qualificação DFC	Símbolo
A	2085,6239	2263,4815	0,9214	Mediana	D ₂
B	649,8162	829,8353	0,7830	Mediana	D ₂
C	436,5307	448,8210	0,9726	Mediana	D ₂
D	958,8734	1243,8162	0,7709	Mediana	D ₂
Área total	4130,8444	4785,954	0,8631	Mediana	D₂

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O cálculo indica mediana densidade de drenagem para todos os setores, sendo o setor D o que apresenta menor densidade, cerca de 0,7709 km/km². Por outro lado, o setor A dispõem de grande concentração de cursos hídricos e como consequência mais alta densidade de drenagem. Neste setor, nota-se alto gradiente altimétrico, alta rugosidade do relevo, dissecação forte, além da presença da cratera de impacto

5.5 Características de relevo: Declividade média (DM)

O mapa de declividade da área em apreço foi gerado a partir do MDE Copernicus em conformidade com as classes de Embrapa (2009). A Declividade Média calculada da área em estudo corresponde a 8,87%. A classe de declividade associada aos relevos escarpados ocupa cerca de 0,24% da área de estudo. Por outro lado, relevos planos e suave ondulados estão distribuídos por 3502,11 km². A classe Plano contabiliza 39,73% e Suave Ondulado corresponde 33,68% da área em estudo. A paisagem com baixas declividades assentam-se principalmente na porção central da área em estudo (Figura 38).

As classes de declividade Ondulado e Forte Ondulado apresentam-se nas imediações do astroblema e nas rebordas de chapadas adjacentes. Estas formas de relevo ocupam cerca de 1155,87 km², ou seja, 24,23% de toda área de estudo. Relevos montanhosos correspondem a pouco mais de 2%, e estão distribuídos nas proximidades da classe Escarpado. Desse modo, apresentam-se no colar central da cratera e em porções rugosas da margem direita do curso hídrico principal.

5.5.1 Determinação do parâmetro de Declividade média (DM)

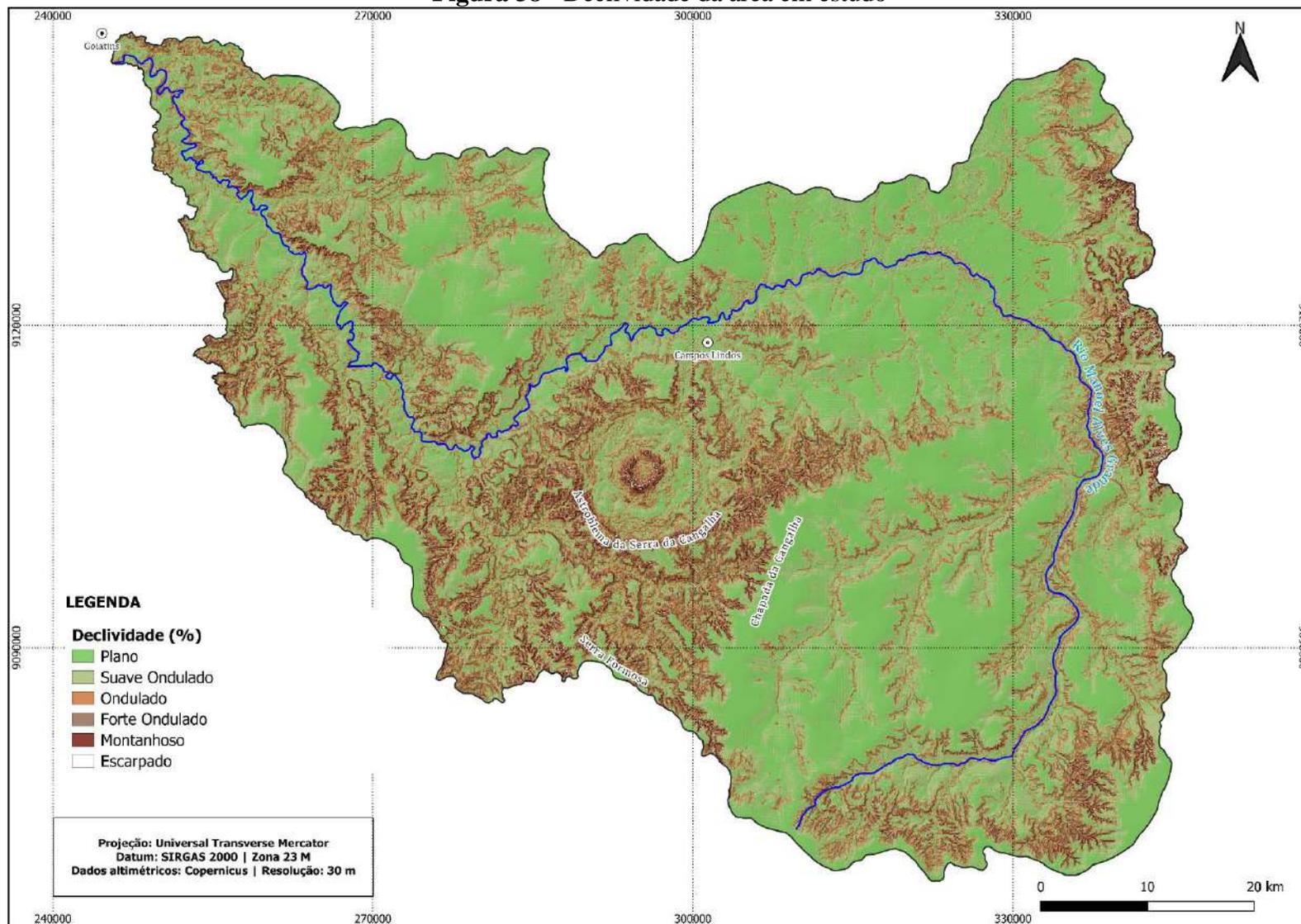
Para determinação do parâmetro de declividade média, atribuiu-se os índices e subíndices de Beltrame (1994) aos intervalos de declividade da Embrapa (2009) (Quadro 17).

Quadro 17 - Classes de declividade em conformidade com os índices de Beltrame (1994)

Declividade	Relevo	Índice de Declividade Média
0 – 3 %	Plano	DM1
3 – 8 %	Suave Ondulado	DM1
8 – 20 %	Ondulado	DM2
20 – 45 %	Forte Ondulado	DM3
45 – 75 %	Montanhoso	DM4
>75	Escarpado	DM4

Fonte: Beltrame (1994)

Figura 38 - Declividade da área em estudo



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O cálculo de declividade média foi realizado com base em Ferreira (2015) (Tabela 18).

Deste modo:

Coluna **I** = Classes de declividade (EMBRAPA, 2009);

Coluna **II** = Distribuição de área em quilômetros quadrados (fi);

Coluna **III** = Ponto médio do intervalo de cada classe de declividade (xm);

Coluna **IV** = Resultado da multiplicação da Coluna II pela Coluna III (fi*xm);

DM (Declividade média) = Somatório da Coluna IV dividido pelo Somatório Coluna II.

Tabela 17 - Declividade da área total

I	II	III	IV
Plano (0-3%)	1895,26771	1,5	2842,902
Suave ondulado (3-8%)	1606,84336	5,5	8837,638
Ondulado (8-20%)	755,71087	14	10579,95
Forte Ondulado (20-45%)	400,16674	32,5	13005,42
Montanhoso (45-75%)	101,3609	60	6081,654
Escarpado (> 75%)	11,56144	87,5	1011,626
Total	4770,91102	-	42359,19
	DM = 8,87%		
	Índice DFC = DM ₂		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

O setor A apresenta 8,78% de declividade média, as classes estão divididas da seguinte maneira: Plano ocupa 41,66%, cerca de 942 km²; Suave Ondulado corresponde a 723,75 km² (32%); Ondulado apresenta-se em 15,36% do setor; áreas com relevo Forte Ondulado ocupam 8,67%, ou seja, 196,03 km²; o setor A apresenta a classe de declividade Montanhoso em 2,18%; Escarpado constituem pouquíssima presença neste setor, cerca de 4 km² (Tabela 19).

Setor B tem 9,96% de declividade média, distribuídos em: declividade plana 36,80%; Suave ondulado 37,45%; Ondulado 7,37%; Forte ondulado 17,21%; Montanhoso 1,13% e Escarpado soma 0,05% do setor. A declividade média calculada do setor C é de 10,48%, constituído da seguinte forma: Suave ondulado 37,77%; Plano 29,75%; Ondulado 18,08%; Forte ondulado 10,56%; Montanhoso 3,56%; e Escarpado 0,28%.

O setor D tem 8,83% de declividade média, sendo: 41,74% com declividade entre 0 a 3%; configurações Suave ondulado somam 32,75%; Ondulado 14,99%; Forte ondulado 7,77%; Montanhoso 2,27%; e Escarpado corresponde a 0,48% do setor D.

Tabela 18 - Declividade média dos setores

Declividade	Setor A			Setor B			Setor C			Setor D		
	<i>f_i</i>	<i>x_m</i>	<i>f_i*x_m</i> (<i>km</i> ²)	<i>f_i</i>	<i>x_m</i>	<i>f_i*x_m</i> (<i>km</i> ²)	<i>f_i</i>	<i>x_m</i>	<i>f_i*x_m</i> (<i>km</i> ²)	<i>f_i</i>	<i>x_m</i>	<i>f_i*x_m</i> (<i>km</i> ²)
0-3%	942,11	1,5	1413,17	304,43	1,5	456,64	132,61	1,5	198,91	516,11	1,5	774,18
3-8%	723,75	5,5	3980,62	309,83	5,5	1704,04	168,35	5,5	925,92	404,91	5,5	2227,04
8-20%	347,44	14	4864,09	60,95	14	853,35	80,61	14	1128,54	185,30	14	2594,33
20-45%	196,03	32,5	6370,88	142,36	32,5	4626,58	47,10	32,5	1530,60	96,09	32,5	3122,95
45-75%	48,04	60	2882,24	9,37	60	562,20	15,88	60	952,99	28,07	60	1684,22
> 75%	4,02	87,5	351,89	0,42	87,5	36,64	1,23	87,5	107,61	5,89	87,5	515,49
TOTAL	2261,38	-	19862,89	827,35	-	8239,45	445,78	-	4844,58	1236,40	-	10918,21
	DM= 8,78			DM= 9,95			DM= 10,86			DM= 8,83		
	DM ₂ (Ondulado)			DM ₂ (Ondulado)			DM ₂ (Ondulado)			DM ₂ (Ondulado)		

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6 FORMULA DESCRITIVA FINAL DO DFC

Com base em Beltrame (1994), este tópico dedica-se em expressar numericamente o estado físico e conservacionista da área em estudo. Para este fim, o cálculo foi feito por meio da Equação 7:

$$E(f) = COa + CAb + DMc + Ed + PEe + DDf + BHg \quad (7)$$

Onde:

$E(f)$ – diz respeito ao estado físico-conservacionista da área em apreço;

COa – grau de semelhança entre a cobertura vegetal original e atual;

CAb – grau de proteção atual;

DMc – declividade média;

Ed – erosividade da chuva;

PEe – potencial erosivo dos solos;

DDf – densidade de drenagem;

BHg – balanço hídrico.

Os caracteres em minúsculo da equação correspondem aos índices específicos calculados para cada parâmetro do DFC. A equação supracitada foi aplicada em cada um dos setores. Os dados considerados são (Tabela 19):

Tabela 19 - Síntese dos índices calculados em cada parâmetro de todos os setores

Parâmetro	Setor A	Setor B	Setor C	Setor D
Cobertura vegetal original	CO ₂	CO ₂	CO ₂	CO ₂
Cobertura vegetal atual	CA ₄	CA ₅	CA ₃	CA ₃
Balanço hídrico	BH ₄	BH ₄	BH ₄	BH ₄
Erosividade da chuva	E ₁	E ₃	E ₃	E ₁
Potencial erosivo do solo	PE ₃	PE ₃	PE ₃	PE ₃
Densidade de drenagem	D ₂	D ₂	D ₂	D ₂
Declividade média	DM ₂	DM ₂	DM ₂	DM ₂
Somatório dos índices	18	21	19	17

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

A formula descritiva final (Equação 7) encarga-se de representar numericamente o risco à degradação ambiental. Ambientes que a soma se aproxima de 7 indicam bom estado de conservação. Isso porque, o valor 7 corresponde ao menor produto possível do somatório dos índices calculados. Enquanto que valores próximos de 37 dizem respeito a área em pior estágio físico-conservacionista, ou seja, o maior valor possível da equação.

6.1 Cálculo do valor crítico do processo de degradação

Ainda em consonância com Beltrame (1994), faz-se o uso da equação da reta para obtenção dos valores finais das formulas descritivas dos setores. Assim, como mencionado no tópico anterior, valores próximos ou iguais a 7 de representam melhor estado de físico-conservacionista. Somatórios próximos ou iguais a 37 assinalam pior estagio físico-conservacionista. A partir destes valores, Beltrame (1994) indica o ângulo de inclinação da reta (Equação 8):

$$y = ax + b \quad (8)$$

Se $y = 0$ $x = 7$ $7a + b = 0$	Se $y = 100$ $x = 37$ $37a + b - 100 = 0$	$37a + b - 100 = 0$ $7a + b = 0 \ (-1)$ $30a - 100 = 0$
---	---	---

$$a = 3,33$$

$$b = - 23,33$$

Dessa maneira, a equação da reta é: $y = 3,33 x - 23,33$. Para o cálculo e respectivos setores substitui-se “x” pelo valor somatório correspondente ao setor de interesse. Feito isto, obteve-se os valores de unidade de risco à degradação dos respectivos setores (Tabela 20).

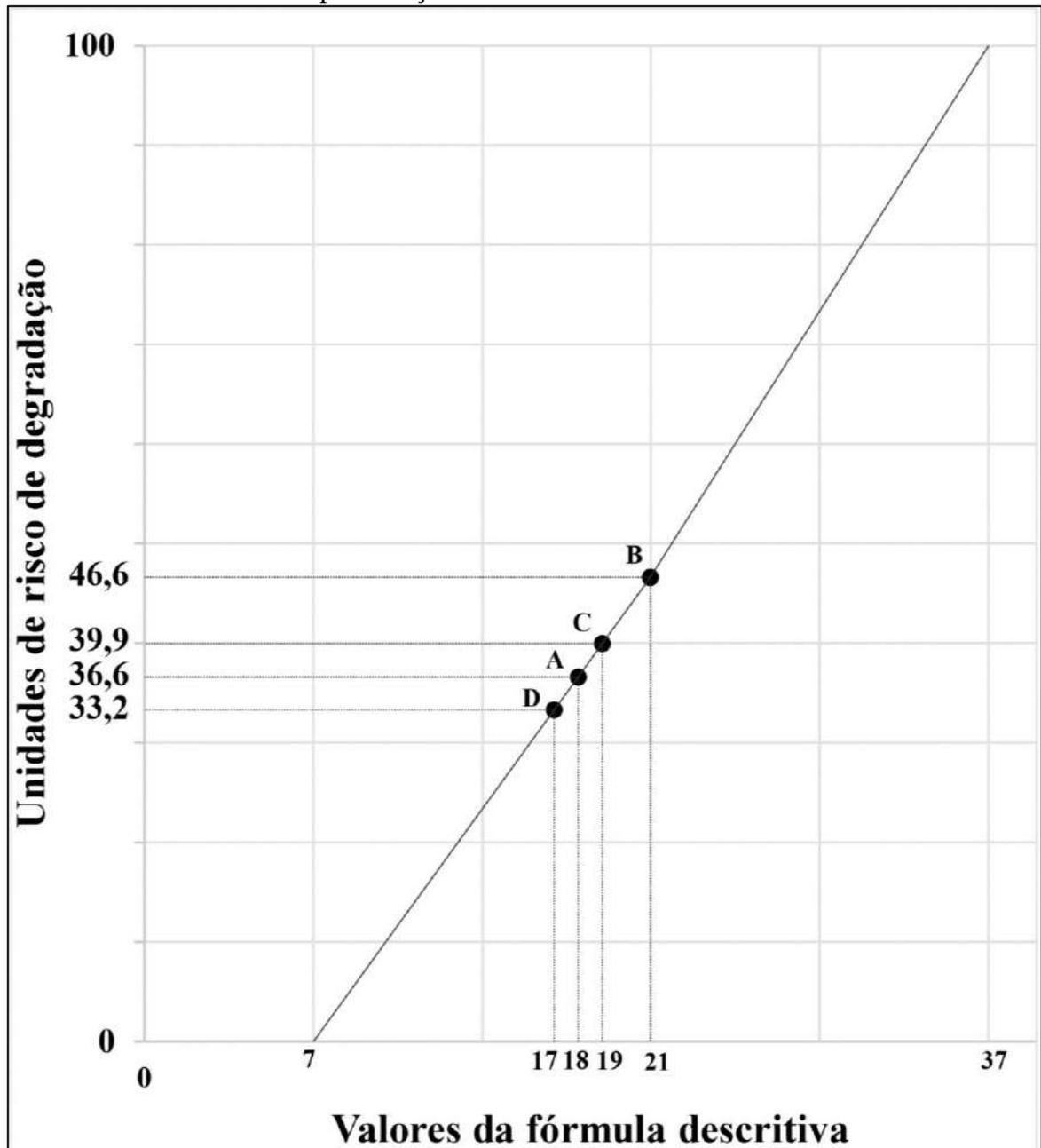
Tabela 20 - Cálculo dos valores de unidades de risco de degradação da área de estudo

Setor	Somatório dos índices (x)	$y = ax + b$	(Unidades de risco) 0 a 100
A	18	$y = 3,33 * 18 + (-23,33)$	36,61
B	21	$y = 3,33 * 21 + (-23,33)$	46,6
C	19	$y = 3,33 * 19 + (-23,33)$	39,94
D	17	$y = 3,33 * 17 + (-23,33)$	33,28

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

Isto feito, organizou-se em plano cartesiano os valores correspondentes aos somatórios dos índices e os de unidade de risco à degradação (Gráfico 6):

Gráfico 6 - Representação dos valores da formula descritiva final



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

6.2 Avaliação da aplicação do DFC

O somatório dos índices e unidades de degradação dos setores apresentaram pouca variação na área em estudo. Esta semelhança justifica-se em função da coincidência de resultados dos parâmetros que compõem o DFC. Os parâmetros de Cobertura Vegetal Original, Balanço Hídrico, Potencial Erosivo do solo, Densidade de Drenagem e de Declividade Média têm índices idênticos para todos os setores.

Por outro lado, Cobertura Vegetal Atual e Erosividade da Chuva indicam algum nível de heterogeneidades entre os setores. Os resultados do parâmetro de Erosividade da Chuva estão

diretamente relacionados às estações. Assim, as informações da estação Balsas indicam Erosividade forte para os setores B e C. Enquanto que a estação Carolina têm resultados associados a Erosividade débil para os setores A e D.

O parâmetro de Cobertura Vegetal Atual aponta maior variabilidade para os setores da área em estudo. O setor A e B têm classificações distintas, C e D associam-se à índices coincidentes. Os setores com maior percentual de cobertura original residual são C e D, respectivamente, 74,88% e 72,11%.

No caso do setor D, os parâmetros associados aos fatores potenciais de vegetação concatenam com os valores de unidades de risco de degradação da área. O setor, que conta com maior percentual de vegetação original apresenta o menor valor de unidades de risco. Em contrapartida, o setor C, que dispõem do maior percentual de vegetação originária apresenta o um dos piores estágio físico-conservacionista da área de estudo.

O setor B, com 68,71% de cobertura vegetal original apresentou-se mais suscetível à degradação. Assim, deve-se empreender planejamento e manejo ambiental para assegurar a paisagem em questão. O setor A apresentou decréscimo de vegetação original, atualmente conta 62,38% de vegetação residual, o menor percentual entre todos os setores da área em estudo. Isto ocorre em função do aumento das áreas de agricultura temporária, pastagem e de áreas urbanizadas.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área em apreço apresenta compartimentos topográficos diversos, as proximidades do astroblema apresentam aspecto rugoso constituído por topos tabulares e convexos em altitudes distintas. Enquanto que a Chapada da Cangalha caracteriza-se pelo aspecto plano em cotas altimétricas compreendidas entre 400 a 500 m, recobertas em grande parte por coberturas detrito lateríticas. Compartimentos litólicos na porção nordeste apresentam topos convexos com altitudes próximas a 400 e 500 m. Nesta porção percebe-se topos tabulares formados por cobertura detrito laterítica.

O astroblema da Serra da Cangalha apresenta três compartimentos: anel proeminente; anel rebaixado e núcleo. O anel rebaixado apresenta áreas planas compostas por neossolos quatzarênicos com dissecação fraca; anel proeminente apresenta dissecação muito forte, alto gradiente altimétrico e neossolos litólicos; o núcleo constitui-se de neossolos quatzarênicos e dissecação muito forte.

A aplicação do Diagnóstico Físico-Conservacionista mostrou-se eficiente na medida em que contribuiu para a averiguação do estágio de degradação de geopatrimônios. Entende-se que a metodologia atendeu o objetivo posto. Assim, por meio do DFC verificou-se estágios de degradação heterogêneos na área de estudo. A variação destes estágios associa-se as particularidades de cada setor.

Via de regra, áreas aplainadas como a Chapada da Cangalha são ocupadas por agricultura temporária e pastagens. Por outro lado, compartimentos rugosos com elevado gradiente altimétrico dispõem de maior cobertura vegetal e pouca alteração da paisagem. As informações de vegetação atual e original foram determinantes para aferir os estágios de degradação.

Dados relacionados a escalas de menor detalhe têm resultados similares. Esta situação justifica-se em função de: dados de geologia, geomorfologia, solos encontram-se na mesma escala (1:250000). Portanto, as generalizações deste tipo de escala culminam em resultados coincidentes para as informações Erosividade da Chuva, Potencial Erosivo, Densidade de Drenagem, Declividade Média e de Balanço Hídrico. Em contrapartida, os parâmetros atrelados à uso e cobertura apontam para heterogeneidade de resultados, apenas os setores C e D têm índices do DFC iguais.

A metodologia suporta adaptações, principalmente nos estágios de aquisição de parâmetros dos fatores potenciais. Por meio das geotecnologias, fez-se a determinação dos

dados de Cobertura Original, Cobertura Atual, Declividade Média, Potencial Erosivo, Densidade de Drenagem, além da caracterização e compartimentação da área em apreço.

Assim, percebe-se fundamental importância das geotecnologias para o aperfeiçoamento do Diagnóstico Físico-Conservacionista. Destaca-se a automatização dos processos de aquisição de índices do DFC e de morfometria como etapas imprescindíveis desta pesquisa.

Na literatura, ainda que a metodologia seja versátil, parte considerável dos trabalhos elaboram a etapa de setorização a partir de critérios hidrográficos. Aqui, fez-se a setorização partindo de critérios políticos. A escolha deu-se em função da localização da área de estudo, disposta sobre quatro municípios. Nestes moldes, a setorização retratou o contexto de degradação da área em espectros municipais.

Isto feito, percebeu-se que os setores B e C exibem 46,6 e 39,94 de unidades de risco a degradação da paisagem, respectivamente. Os setores correspondem aos municípios de Carolina (B) e Goiatins (C), são regiões que contam com extensas lavouras temporárias, pastagens e silvicultura. Neste caso, os usos antrópicos estão relacionados às áreas planas, latossolos, relevos pouco rugosos e degradação de Formações Savânica à jusante. O cultivo de Silvicultura é recente, data de 2015 e desde então apresenta crescimento.

No entanto, o setor com maior perda de formações florestais corresponde ao município de Campos Lindos (setor A), apresenta 62,48% de formação florestal residual, e a maior quantidade de áreas de lavouras temporárias (758,76 km²), pastagens (73,64 km²) e áreas urbanas (2,20 km²).

Ressalta-se que parte das áreas de pastagem do setor A estão dispostas no astroblema, mais precisamente no anel rebaixado. Estas áreas estão dentro dos limites unidade de conservação em processo de implementação, o Monumento Natural da Serra da Cangalha. Fato este que coloca em risco o geopatrimônio. Assim, entende-se a necessidade de direcionar maior atenção para conservação do astroblema, sobretudo por parte da esfera pública.

O setor D apresenta 33,29 unidades de risco a degradação da paisagem, e a menor somatória dos índices do DFC (17). O setor corresponde ao município de Riachão, nesta região, os relevos rugosos e dissecados compostos por Neossolos Litólicos impossibilitam o incremento de atividades antrópicas. Neste ponto, percebe-se que as características físicas atuam como impeditivos para o avanço das atividades antrópicas.

Por conseguinte, percebe-se estágio mais avançado de degradação da paisagem nos setores com B e C. Contudo, o setor A, por abrigar o Astroblema da Serra da Cangalha requer ponderação, principalmente em função do avanço das pastagens na área. Deste modo, advoga-

se em favor da ágil implementação da Unidade de Conservação com vistas a conservação do geopatrimônio. Ao passo em que se posterga esta etapa, põem-se o patrimônio geológico em constantes adversidades impostas pelas alterações da paisagem.

Os setores com grau mais elevado de degradação abrigam compartimentos topográficos suscetíveis a implementação de agricultura mecanizada. Nestas porções, verificou-se maior percentual de perda de vegetação originária. De outro modo, compartimentos muito dissecados, rugosos com presença de cristas apresentaram menor perda de vegetação.

Este trabalho contribui para avaliação do estágio de conservação do geopatrimônio e o seu entorno. Assim, entende-se que os resultados apresentados colaboram para o ordenamento da paisagem em questão. Além disso, lança luz sobre a discussão dos limites propostos pela unidade de conservação em processo de implementação.

A proposta atual contempla os compartimentos do núcleo, anel proeminente e anel rebaixado. Considerando o contexto de exploração da paisagem no anel rebaixado, propõem-se a rediscussão dos limites do Monumento Natural da Serra da Cangalha. Esta proposição ampara-se nas discussões levantadas em 2004 e 2008 por parte da esfera estadual para implementação de áreas protegidas no norte e nordeste do Tocantins (SEMADES, 2013); resultados apresentados neste trabalho. Dessa maneira, resguarda-se o geopatrimônio dos impactos ambientais que têm avançado sobre a Serra da Cangalha.

REFERÊNCIAS

- ADEPELUMI, A. A.; FLEXOR, J. M.; FONTES, S. L. An appraisal of the Serra da Cangalha impact structure using the Euler deconvolution method. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 40, n. 1, p. 1149-1157, maio de 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Plano Estratégico de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**: Relatório Síntese / Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA; SPR, 2009.
- ARAUJO JUNIOR, A. A.; CAMPOS, S; BARROS, Z. X; CARDOSO, L.G. Diagnóstico Físico Conservacionista de 10 Microbacias do Rio Capivara – Botucatu (SP), visando o uso racional do solo. **IRRIGA**, v. 7, n. 2, p. 106–122, 2002.
- BELTRAME, Angela da Veiga. **Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação**. Florianópolis: UFSC, 1994.
- BELINTANI, H; MEIRELLES, M. S. P. Integração temática de dados espaciais para avaliação do processo de erosão em bacias hidrográficas. In: XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. São Paulo: ABRHIDRO. **Anais**. 2007. v. 1, p. 1- 20.
- BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, n. 1, p. 141 -152, 2004.
- BIER, A. A; FERRAZ, S. E. T. Comparação de metodologias de preenchimento de falhas em dados meteorológicos para estações no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, p. 215-226, 2017.
- BONNA, Joyce Luiza. **Mapeamento pedológico e de suscetibilidade erosiva no alto córrego Prata (Ouro Preto-MG)**. 2011. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de pós-graduação em Geografia - Análise Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Parte da folha SC.23 Rio São Francisco e SC.24 Aracaju: geologia, geomorfologia, solos, vegetação, uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1973.
- BRASIL. **Lei Federal de nº 9.985, de 18/07/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC**. República Federativa do Brasil, 2000.
- BREUNIG, F. M; HAYAKAWA, E. H; BACANI, V. M; TRENTIN, R; PEREIRA FILHO, W; SILVA, A. Reflexões sobre as Geotecnologias no contexto da Geografia do Brasil. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 46, n. 2, p. 185-198, 2019.
- BRENHA, Sérgio Luís Araújo; ROCHA, Paula Lúcia Ferrucio da; ZUCOLOTTTO, Maria Elizabeth. A Cratera da Serra da Cangalha. In: MORAIS, Fernando de (Org.). **Contribuições à Geografia Física do estado do Tocantins**. Goiânia: Kelps, 2011. p. 67-86.
- BRILHA, J. **Patrimônio Geológico e Geoconservação: A conservação da natureza na sua vertente geológica**. Braga (Portugal), Palimage, 2005.

BRUBACHER, J. P; OLIVEIRA, G.G; GUASSELLI, L.A. Preenchimento de falhas e espacialização de dados pluviométricos: desafios e perspectivas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 615-629, 2020.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. 2005. Disponível em: Geomorfologia ValterCasseti.pdf (ufpr.br) > . Acesso em outubro de 2022.

CARVALHO, Silvia Méri. **O Diagnóstico físico-conservacionista-DFC como subsídio à gestão ambiental da bacia hidrográfica do rio Quebra-Perna, Ponta Grossa-PR**. 2004. 187 f. Tese (Doutorado em Geografia) - UNESP, Presidente Prudente 2004.

CAPUTO, M. V; LIMA, E. C. Estratigrafia, idade e correlação do Grupo Serra Grande. In: Congresso Brasileiro de Geologia, XXXIII. **Anais**. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1984. v. 2, p.740-753

CAPUTO, M. V; IANNUZZI, R; FONSECA, V. M. M. Bacia do Parnaíba. **Phoenix** (Aracaju), v. 7, p. 01-06, 2005.

CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. Publicação DOU, de 17 de fevereiro de 1986, p. 2548-2549.

CUNHA, C. M. L; PINTON, L. G. A cartografia do relevo como subsídio para a análise morfogenética de setor Cuestiforme. **Mercator**, v. 12, n. 27, p. 149 a 158-149 a 158, novembro de 2013.

CIFUENTES, Joaquín Eduardo Manchola. **Agronegócio e acumulação por espoliação: o enclave da soja em Campos Lindos – Tocantins**. 2013. 283 f. Tese (Doutorado em Sociologia). Universidade de Brasília, Brasília, 2013.

CAVALCANTI, Lucas Costa de Souza. **Da descrição de áreas à teoria dos geossistemas: uma abordagem epistemológica sobre sínteses naturalistas**. 2013. 218 f. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2013.

CAVALCANTI, Lucas Costa. S. **Cartografia de paisagens: fundamentos**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018.

CRÓSTA, A. P. Impact Craters in Brazil: How Far We've Got. **Meteoritics and Planetary Science Supplement**, v. 39, p. 5049, 2004.

CRÓSTA, A. P; REIMOLD, W. U; VASCONCELOS, M. A. R; HAUSER, N; OLIVEIRA, G. J. O; MAZIVIERO, M. V; GÓES, A. M. Impact cratering: The South American record– Part 1. **Geochemistry**, v. 79, n. 1, p. 1-61, 2019.

CREPANI, Edison; MEDEIROS, José Simeão de; HERNANDEZ FILHO, Pedro; FLORENZANO, Teresa Gallotti; DUARTE, Valdete; BARBOSA, Cláudio Clemente Faria. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. **Geomorfologia**, 2 ed. São Paulo: Edgar Blucher, 1980.

CPRM. **Mapa Geodiversidade do Brasil**. Brasília: CPRM, 2006.

DALY, M. C; FUCK, R. A; CASAS, J. J; MACDONALD, D; WATTS, A. B. Cratonic basin formation: a case study of the Parnaíba Basin of Brazil. **The Geological Society of London**. n. 472, p. 1 – 15, 2018.

DÉSTRO, G. F. G. Diagnóstico físico-conservacionista no estudo dos conflitos de uso da terra em microbacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 525-534, 2010.

DIETZ, R. S; FRENCH, B. M. Two probable astroblemes in Brazil. **Nature**, v. 244, n. 5418, p. 561-562, 1973.

DINIZ, S. F; MOREIRA, C. A; CORRADINI, F. A. Susceptibilidade erosiva do baixo curso do rio Acaraú-CE. **Geociências**. São Paulo, v. 27, n. 3, p. 355-367, 2008.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.80, p. 45-55, 1990.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. – Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI. 2009.

EBERHARD, Rolan. **Pattern and process: towards a regional approach to national estate assessment of geodiversity**. Canberra: Australian Heritage Commission, 1997.

FERREIRA, Zuleide Alves. **Diagnóstico físico-conservacionista do ambiente cárstico da bacia do córrego Cana-Brava, Aurora do Tocantins – TO**. 2015. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do ambiente) Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2015.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

FLORENZANO, T. G. Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 24-29, 2005.

GARCIA, M. G. M.. Educação para a Geoconservação: experiências e perspectivas. **Geociências e Educação Ambiental**, v. 1, p. 651-718, 2005.

GÓES, A; FEIJÓ, F. J. Parnaíba Basin; Bacia do Parnaíba. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 8, 1994.

GRAY, Murray. **Geodiversity: valuing and conserving abiotic nature**. 1 ed. Chichester: John Wiley and sons, 2004.

GUERRA, Antônio. Teixeira; GUERRA, Antônio José Teixeira. **Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GUIMARÃES, F. S; CORDEIRO, C. M; BUENO, G. T; CARVALHO, V. L. M; NERO, M. A. Uma proposta para automatização do índice de dissecação do relevo. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 1, p. 155-167, 2017.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Manuais técnicos em Geociências. Número 7. Manual Técnico de Uso da Terra.** 3º edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv81615.pdf>>. Acesso em: 09 jan. 2022.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Cartas Temáticas Vetoriais 1:250.000 – Itacajá SC. 23 - V- A. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação.** Diretoria de Geociências, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos ambientais, 2021. Disponível em < [Todos os Produtos | IBGE](#)> Acesso em: set. 2022.

INSTITUTO NATUREZA DO TOCANTINS & THE NATURE CONSERVANCY – TNC. **Um mosaico de unidades de conservação para o leste do Estado do Tocantins – Parte 3 – Parque Estadual Serra da Cangalha.** Palmas, 2008.

HOBSON, R.D. Surface in topography: quantitative approach In: CHORLEY, R.J (Org). **Spatial analysis in geomorphology**, Londres, Editora Methuen & Co. 1972, 225-245.

JENSEN, J. R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.** 2 a. ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996.

JENNESS, J; BROST, B; BEIER, P. **Land Facet Corridor Designer.** USDA Forest Service Rocky Mountain Research Station, 2013.

KENKMANN, T; VASCONCELOS, M. A. R; CRÓSTA, A. P, REIMOLD, L. A complexa estrutura de impacto Serra da Cangalha, Estado do Tocantins, Brasil. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 46, n. 6, p. 875-889, 2011.

LIMA, Débora Assumpção. **A expansão da soja na fronteira agrícola moderna e as transformações do espaço agrário tocantinense.** 2014. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). UNICAMP. São Paulo, 2014.

LIMA FILHO, Francisco Pinheiro. **Fácies e ambientes deposicionais da Formação Piauí (Pensilvaniano), Bacia do Parnaíba.** 1991. 137 f. Dissertação (Mestrado em Geologia Sedimentar) Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1991.

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

LEITE, E. F; ROSA, R. Mapeamento Geomorfológico: A Carta de Energia do Relevo da Bacia Hidrográfica do Rio Formiga–TO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 2, p. 269-284, 2012.

LEMO, Raimundo Costa de; SANTOS, Raphael David dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 3 ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.

MARQUES, Jorge Soares. Ciência Geomorfologia. In: GUERRA, Antônio Jose Teixeira; CUNHA, Sandra Baptista (Orgs). **Geomorfologia: Uma atualização de bases conceituais.** Rio de Janeiro: Editora Bertrand Brasil, 2018. p. 23 – 50.

MARQUES NETO, Roberto. **Cartografia geomorfológica: revisões, aplicações e proposições.** Curitiba: CRV, 2020.

MANSUR, Kátia Leite. Patrimônio geológico, geoturismo e geoconservação: uma abordagem da Geodiversidade pela vertente geológica. In: GUERRA, A. J. T., JORGE, M. C. O. (Orgs.). **Geoturismo, Geodiversidade, Geoconservação: abordagens geográficas e geológicas**. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p.1-42.

MANSUR, K. L.; ROCHA, A. J. D.; PEDREIRA, A.; SCHOBENHAUS, C.; SALAMUNI, E.; ERTHAL, L. C.; PIEKARZ, G.; WINGE M.; NASCIMENTO, M. A. L.; RIBEIRO, R. R. Iniciativas institucionais de valorização do patrimônio geológico do Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 70, n.1, p. 02 -27, 2013.

MANTOVANI, J. R.; BUENO, G. T. Uma proposta metodológica para mapear a dissecação do relevo e aplicá-la no Parque Nacional da Serra da Canastra-MG. **GEOUSP**, v. 25, 2021.

MANTOVANI, J. E.; PEREIRA, A. Estimativa da integridade da cobertura vegetal de cerrado através de dados TM/Landsat. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v. 9, p. 11-18, 1998.

MAXIMIANO, L. A. Considerações sobre o conceito de paisagem. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, n.1 p. 83 – 91. 2004.

MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, 2011.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Universidade de Brasília, 2012.

METELO, Cynthia Maria Soares. **Caracterização estratigráfica do Grupo Serra Grande (Siluriano) na borda sudeste da Bacia do Parnaíba**. 1999. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) Universidade Federal do Rio Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

MOREIRA, Mauricio Alves. **Fundamento do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**, 4ª ed. Editora UFV, Viçosa-MG, 2011.

MOREIRA, Jasmine Cardozo. **Geoturismo e interpretação ambiental**. 1.ed. Editora UEPG, Ponta Grossa, 2014.

NASCIMENTO, M. A. L.; AZEVEDO, U. R.; MANTESSO-NETO, V. **Geodiversidade, geoconservação e geoturismo**. São Paulo: SBG-BR. 2008.

NASCIMENTO, M. A. L.; MANSUR, K. L.; MOREIRA, J. C. Bases Conceituais para Entender Geodiversidade, Patrimônio Geológico, Geoconservação e Geoturismo. **Revista Equador**, v. 4, n.3 p. 48-68, julho de 2015.

NEVES, Eliete Henrique das. **Análise da degradação ambiental da bacia hidrográfica do Arroio, Pelotas-RS, através do diagnóstico físico-conservacionista (DFC)**. 2012. 158 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

NEVES, C. E; OLIVEIRA, C. S; MARQUES NETO, R. A filosofia e o método da abordagem geossistêmica na Geografia Física. **Ateliê Geográfico**, v. 15, n. 3, p. 87-107, 2021.

NIETO, L. M. Patrimônio Geológico, Cultura y Turismo. **Boletín del Instituto de Estudios Ginnenses**, v. 182. N. 2. p. 3-11, junho de 2001.

NUNES, J. O. R; SANT'ANNA NETO, J. L; TOMMASELLI, J. T. G; AMORIM, M. C. C. T; PERUSI, M. A. A influência dos métodos científicos na Geografia Física. **Terra Livre**, v. 2, n. 27, p. 121-132, 2006.

OLIVEIRA, P. C. A; RODRIGUES, S, C. Patrimônio Geomorfológico: conceitos e aplicações. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro - RJ, v. 4, n. 1, p. 73-86, janeiro de 2014.

PEREIRA, R. G. F; RIOS, D. C; GARCIA, P. M. P. Geodiversidade e Patrimônio Geológico: ferramentas para a divulgação e ensino das Geociências. **Terrae Didática**, Campinas - SP, v. 12, n. 3, p. 196–208, 2016.

PINTO, N. G. M; CORONEL, D. A. Degradação ambiental no Brasil: uma análise das evidências empíricas. **Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Málaga, n. 188, p. 1-8, 2013.

Projeto MapBiomias – Coleção 7.1 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil, acessado em 28 de Abril, através do link: <
https://accounts.google.com/ServiceLogin/webauth?service=ah&passive=true&continue=https%3A%2F%2Fuc.appengine.google.com%2F_ah%2Fconflogin%3Fcontinue%3Dhttps%3A%2F%2Fcode.earthengine.google.com%2F%253Faccept_repo%253Dusers%25252Fmapbiomas%25252Fuser-toolkit%2526scriptPath%253Dusers%25252Fmapbiomas%25252Fuser-toolkit%25253Amapbiomas-user-toolkit-lulc.js&flowName=GlifWebSignIn&flowEntry=ServiceLogin>

REIMOLD W. U.; COOPER, G. R. J.; ROMANO, R.; COWAN, D. R.; KOEBERL, Christian. Investigation of Shuttle Radar Topography Mission data of the possible impact structure at Serra da Cangalha, Brazil. **Meteoritics and Planetary Science**, v. 41, n. 2, p. 237-246, 2006.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. Fitofisionomias do bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de (Ed.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, EMBRAPA. 1998, p. 89-166.

ROUSE, J.W; HAAS, R.H; SCHELL, J.A; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **NASA Spec. Publ**, v. 351, n. 1, p. 309- 317, 1974.

ROCHA, Maurício Gomes. **Geodiversidade do Estado do Tocantins**. Goiânia: CPRM, 2019.

RODRIGUES, C. A teoria geossistêmica e sua contribuição aos estudos geográficos e ambientais. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 14, p. 69-77, 2001.

RODRIGUES, S. C.; BENTO, L. C. M. Cartografia da Geodiversidade: teorias e métodos. In: GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Geoturismo, Geodiversidade e**

geoconservação: abordagens geográficas e geológicas. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. p. 137-162.

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

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 6, p. 17-29, 1992.

SAMPAIO, T. V. M., AUGUSTIN, C. H. R. R. Análise das incongruências dos índices de dissecação e rugosidade. **Anais do VII Encontro Nacional de Geomorfologia**. Belo Horizonte, 2008.

SAMPAIO, T. V. M.; AUGUSTIN, C. H. R. R. Índice de concentração da rugosidade: Uma nova proposta metodológica para o mapeamento e quantificação da dissecação do relevo como subsídio a cartografia geomorfológica. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 1, p.47 – 60. 2014.

SANO, S. M; ALMEIDA, S. P; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: ecologia e flora**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica; Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

SANTOS, F. A; AQUINO, C. M. S. Diagnóstico físico conservacionista aplicado ao estudo da desertificação nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, Nordeste, Brasil. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 34, n. 2, 2017.

SANTOS, Amanda Alves dos. **Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas de fragilidade ambiental no Parque Estadual da serra do Rola Moça**. 2010. 39 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Geoprocessamento, Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

SÁNCHEZ, J. P; GARCIA, M. G. M. A cratera de impacto do Cerro do Jarau - RS, Brasil: uma abordagem Geoturística. **Geonomos**, v. 21, n. 2, p. 102 -110. 2013.

SÁNCHEZ, Joana Paula; BRILHA José. Datos preliminares para una estrategia de geoconservación de las estructuras de impacto del Brasil, In: HILARIO, A.; MENDIA, M.; MONGE-GANUZAS, M.; FERNÁNDEZ E.; VEGAS J.; BELMONTE A. (Org). **Patrimonio geológico y geoparques, avances de un camino para todos**, Madrid: Instituto Geológico y Minero de España (IGME), 2015. p, 103 - 108

SÁNCHEZ, J. P; BRILHA, J. Terrestrial impact structures as geoheritage: an assessment method of their scientific value and its application to Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 89, n. 2, p. 825-834, 2017.

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de; ARAÚJO FILHO, José Coelho de; OLIVEIRA, João Bertoldo de; CUNHA, Tony Jarbas Ferreira. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Embrapa. Brasília, DF, 2018.

SEMADES – TO. SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Justificativa técnica do Monumento Natural Estadual Serra Da**

Cangalha. Palmas. (2013). Grupo de Trabalho para criação de Unidades De Conservação (GTUC).

SEPLAN – TO. SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E MEIO AMBIENTE. **Estudos para seleção das áreas de maior potencial para a conversão em Unidades de Conservação incluindo a realização de estudos de fauna e flora**. Palmas. (2004) Seplan

SEPLAN – TO. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Atlas do Tocantins: subsídios ao planejamento da gestão territorial**. (2012a). Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE).

_____. Base Dados Geográficos - Atualização 2012b - Disponível em: [Dados georreferenciados \(seplan.to.gov.br\)](http://Dados.georreferenciados(seplan.to.gov.br)) . Acesso em: 21 fev. 2022.

_____. Projeto de Desenvolvimento Regional Sustentável. Mapeamento das Regiões Fitoecológicas e Inventário Florestal do Estado do Tocantins. **Regiões Fitoecológicas da Faixa Sul. Departamento de Pesquisa e Zoneamento EcológicoEconômico**. Diretoria de Zoneamento Ecológico-Econômico (DZE). Escala 1:100.000. Palmas: Seplan/DZE, 2013.

SILVA, Cassio Roberto da; RAMOS, Maria Angélica Barreto; PEDREIRA, Augusto José; DANTAS, Marcelo Eduardo. In: SILVA, Cassio Roberto da. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. CPRM, 2008. p 11-21.

SILVA, J. M F; OKA-FIORI, C; SILVEIRA, C. T. Geomorfometria: uma análise de conceitos, métodos e aplicações em geografia física. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 2, p. 558-583, 2017.

SILVA, Marcos Ferreira da. **Agricultura familiar na Serra do Centro, Campos Lindos (TO): trajetória histórica e transformações decorrentes da expansão do “agronegócio”**. 2017. 129 f. Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins, Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Palmas, 2017.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P.S. SIG na Análise Ambiental: Susceptibilidade Erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima -Minas Gerais. **Revista de Geografia**, Recife, v. 31, p.66-78, 2014

SILVEIRA, Ricardo Michael Pinheiro. **Análise digital do relevo como apoio para a cartografia geomorfológica da porção central da Serra do Mar Paranaense**. 2015. 124f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

SILVEIRA, C. T; SILVEIRA, R. M. P. Índice de Posição Topográfica (IPT) para classificação geomorfológica das formas de relevo no estado do Paraná-Brasil. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 41, p. 98-130, 2017.

SOUZA, F. H. M; VIOLA, M. R; AVANZI, J. C; GIONGO, M; VIEIRA FILHO, M. Thornthwaite’s climate regionalization forthe state of tocantins, Brazil. **Floresta**, v. 49, n. 4, p. 783-792, 2019.

SCAPINI, Gisele Patricia. **Diagnóstico físico conservacionista e sua relação com a sedimentação e preferências da paisagem**. 2006.108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

SCHOBENHAUS C; SILVA, C.R. (Orgs.), **Geoparques do Brasil: propostas**. CPRM, Rio de Janeiro, 2012.

SHARPLES, C. Geoconservation in forest management principles and procedures. **Tasforests**, Hobart, v. 7, p. 37-50, 1995.

SHARPLES, Chris. Concepts and principles of geoconservation. **Tasmanian Parks & Wildlife Service**. Hobart, 2002.

TOCANTINS (ESTADO). **Estudo da dinâmica da cobertura e uso da terra do estado Do Tocantins- 1990/2000/2005/2007**: Dinâmica do Tocantins. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. 2012.

TOCANTINS. (Estado), **Lei nº 1.560 de 5/4/2005 que instituiu o Sistema Estadual de Unidades de Conservação – SEUC**. Estado do Tocantins, 2005.

TOCANTINS. **Decreto nº 315 de 30 de agosto de 1996**. Diário Oficial do Estado do Tocantins. Poder Executivo. Palmas, TO. 1996.

_____. **Decreto nº 436, de 8 de maio de 1997**. Diário Oficial do Estado do Tocantins. Palmas, TO. 1997.

THOMÉ FILHO, Jamilo José.; CRÓSTA, Álvaro Penteado; PAULA, Thiago Luiz Feijó de. Geoparque astroblema de Araguainha - Ponte Branca (GO/MT): Proposta. In: SCHOBENHAUS C; SILVA, C.R. (Orgs.), **Geoparques do Brasil: propostas**. CPRM, Rio de Janeiro, p. 59-110.

TRICART, Jean. **Principes et méthodes de la géomorphologie**. Paris: Masson, 1965.

TROPPEMAIR, H; GALINA, M. H. Geossistemas. **Mercator-Revista de Geografia da UFC**, v. 5, n. 10, p. 79-89, 2006.

UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. **Guidelines and Criteria for National Geoparks seeking UNESCO's assistance to join the Global Geoparks Network**. 1, ed. Local e editora 2008.

UNESCO. **Geociências e Geoparques Mundiais da UNESCO**. Brasília, 2021. Disponível em: <https://pt.unesco.org/fieldoffice/brasil/expertise/earth-science-geoparks>. Acesso em: 01 set. 2022.

VASCONCELOS, M. A. R; CRÓSTA, A. P; REIMOLD W. U, Góes, A. T; KENKMANN T; POELCHAU, M. H. Insights sobre a morfologia da estrutura de impacto da Serra da Cangalha a partir da modelagem geofísica. **Meteoritics & Planetary Science**, v. 47, n. 10, p. 1659-1670, 2012.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, p. 539-546, 2003.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.

VALENZUELA, M; BENADO, J. Meteorites and Craters Found in Chile. In: ACEVEDO R., FRÍAS J. (Orgs). **Geoethics In Latin America. The Latin American Studies Book Series**. Cham. Springer. 2018. p. 103-115.

VITTE, A. C. O desenvolvimento do conceito de paisagem e a sua inserção na geografia física. **Mercator**, v. 6, n. 11, p. 71-78, 2007.

VITTE, A. C. Da ciência da Morfologia à geomorfologia geográfica: uma contribuição à história do pensamento geográfico. **Mercator**, v. 7, n. 13, p.120-113, 2008.

VITTE, A. C. Breves considerações sobre a história da geomorfologia geográfica no Brasil. **Geo UERJ**, v. 1, n. 21, p. 1-19, 2010.

VITTE, A. C. A construção da Geomorfologia no Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, p. 92 - 108, 2011.

WEISS, A. Topographic Position and Landforms Analysis. Poster presentation, **ESRI User Conference**, San Diego, CA, 2001.

**ANEXO A – REGRAS PARA RECLASSIFICAÇÃO DAS VARIÁVEIS DO ÍNDICE
DE DISSECAÇÃO DO RELEVO**

CASE

WHEN "DH" < 250 THEN 5

WHEN "DH" >= 250 and "DH" < 750 THEN 4

WHEN "DH" >= 750 and "DH" < 1750 THEN 3

WHEN "DH" >= 1750 and "DH" < 3750 THEN 2

WHEN "DH" >= 3750 THEN 1

END

CASE

WHEN "DV" < 20 THEN 10

WHEN "DV" >= 20 and "DV" < 40 THEN 20

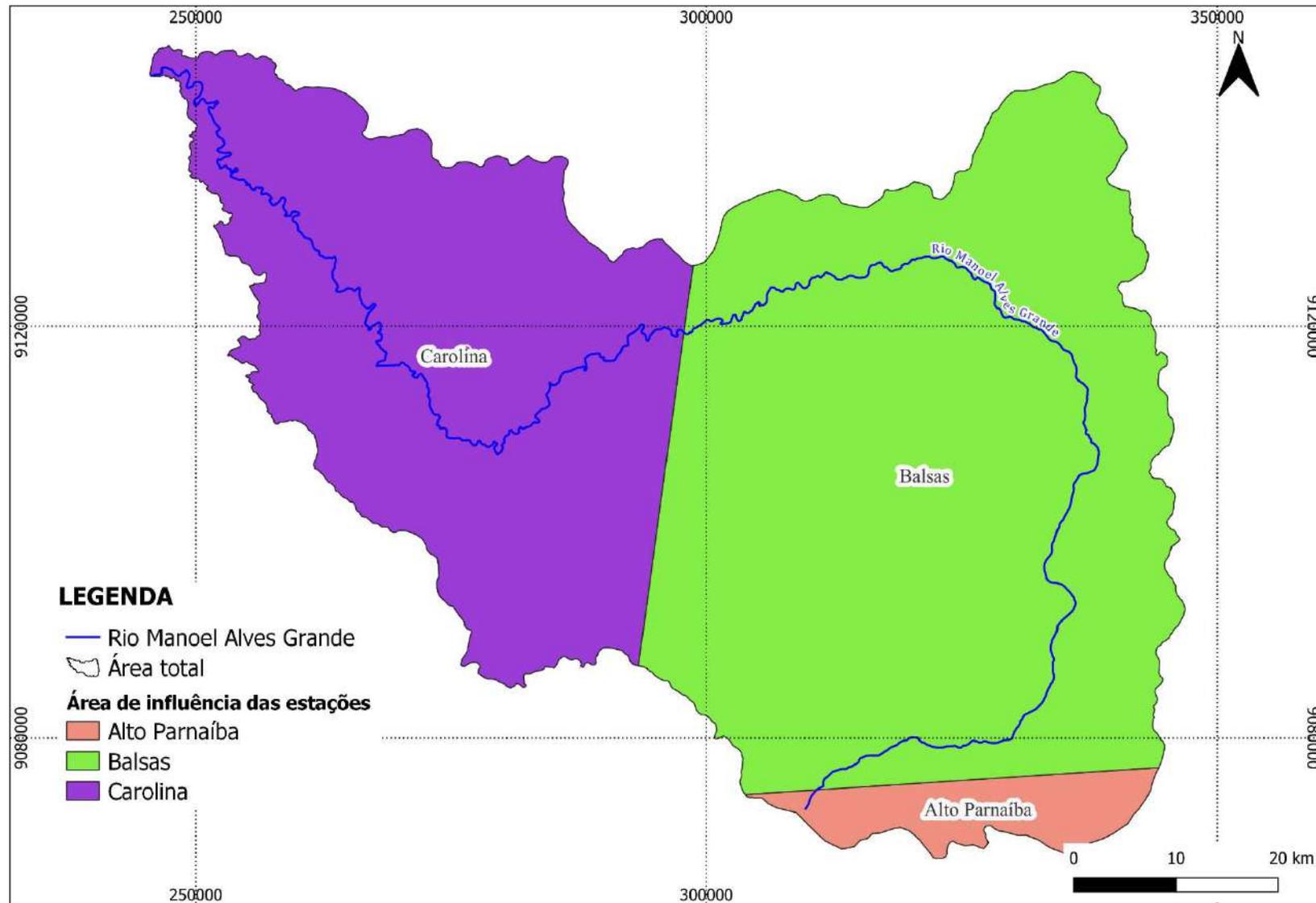
WHEN "DV" >= 40 and "DV" < 80 THEN 30

WHEN "DV" >= 80 and "DV" < 160 THEN 40

WHEN "DV" >= 160 THEN 50

END

ANEXO B - ÁREA DE INFLUÊNCIA DAS ESTAÇÕES A PARTIR DOS POLÍGONOS DE THIESSSEN



Fonte: Elaborado pelo autor (2023)