

**PPGEO**  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM GEOGRAFIA



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
GEOGRAFIA

LORRANE VICENTE FABRÍCIO

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA PERDA DE SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO  
VERDE-GO ENTRE 1985 E 2022**

GOIÂNIA, GO

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

### 1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação     Tese     Outro\*: \_\_\_\_\_

\*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

### 2. Nome completo do autor

Lorrane Vicente Fabrício

### 3. Título do trabalho

ANÁLISE DA DINÂMICA DA PERDA DE SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE-GO ENTRE 1985 E 2022

### 4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento  SIM     NÃO<sup>1</sup>

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação.

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

**Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.**



Documento assinado eletronicamente por **Lorrane Vicente Fabrício, Discente**, em 05/05/2025, às 11:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ivanilton Jose De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 05/05/2025, às 15:38, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5347057** e o código CRC **02CF55DD**.

LORRANE VICENTE FABRÍCIO

**ANÁLISE DA DINÂMICA DA PERDA DE SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO  
VERDE-GO ENTRE 1985 E 2022**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Mestra em Geografia.

Área de Concentração: Natureza e Produção do Espaço

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica

Orientador: Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira

GOIÂNIA, GO

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do  
Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Fabício, Lorrane Vicente

Análise da dinâmica da perda de solo no município de Rio Verde  
GO entre 1985 e 2022 [manuscrito] / Lorrane Vicente Fabício. - 2025.  
101 f.

Orientador: Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto  
de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em  
Geografia, Goiânia, 2025.

Bibliografia.

Inclui siglas, mapas, abreviaturas, tabelas, lista de figuras, lista de  
tabelas.

1. Análise Espaço-Temporal. 2. Análise Integrada do Meio Físico.  
3. Erosão do Solo. 4. EUPS. 5. Uso e Cobertura. I. Oliveira, Ivanilton  
José de , orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS  
**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata nº **12/2025** da sessão de Defesa de Dissertação de **Lorrane Vicente Fabrício**, que confere o título de Mestra em **Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

Aos **três dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e cinco**, a partir das **14:00** horas, por meio de videoconferência, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada "**ANÁLISE DA DINÂMICA DA PERDA DE SOLO NO MUNICÍPIO DE RIO VERDE-GO ENTRE 1985 E 2022**". Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Ivanilton José de Oliveira (PPGEO/UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professor Doutor **Rherison Tyrone Silva Almeida (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria (PPGEO/UFG)**, membro titular interno. Durante a arguição os membros da banca **não fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido a candidata **aprovada** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Ivanilton José de Oliveira (PPGEO/UFG)**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora, **aos três dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e cinco**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA



Documento assinado eletronicamente por **Ivanilton Jose De Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 04/04/2025, às 11:16, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rherison Tyrone Silva Almeida, Professor do Magistério Superior**, em 05/04/2025, às 07:40, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professora do Magistério Superior**, em 05/05/2025, às 10:25, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **5244803** e o código CRC **05529DD0**.

*Ao meu pai, grata pelo seu respaldo nas adversidades.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao meu pai, José Vicente da Silva, pela sua bondade, carinho e por estar sempre ao meu lado. Amo muito você!

Ao meu amigo, Elias, pelo companheirismo durante o nosso mestrado e por contribuir para que esta trajetória acadêmica fosse menos solitária.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Ivanilton José de Oliveira, por se dispor a guiar minha pesquisa e por todo o suporte e orientação oferecidos.

Aos professores, Dr.<sup>a</sup> Karla Maria Silva de Faria e ao Dr. Rherison Tyrone Silva Almeida, pelas orientações, que colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos servidores da secretaria do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGeo), pela ajuda nas solicitações acadêmicas.

À Universidade Federal de Goiás (UFG), por enriquecer minha formação acadêmica, mediante a oferta de um ensino excepcional: público, gratuito e de qualidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro concedido mediante bolsa, que possibilitou minha permanência no mestrado.

*“... Espero que tenha uma vida da qual você se orgulhe. E se  
você descobrir que não tem, espero que tenha forças para  
conseguir começar de novo.”*

*— O Curioso Caso de Benjamin Button (Carta para  
Caroline), adaptação do conto de F. Scott Fitzgerald.*

## RESUMO

O presente estudo teve como objetivo analisar a relação entre a expansão agrícola e a dinâmica da erosão do solo no município de Rio Verde-GO entre 1985, 2005 e 2022. A abordagem adotada baseou-se em uma análise integrada do meio físico, dessa forma, buscou-se realizar uma correlação entre os condicionantes naturais e antrópicos, visando compreender como esses fatores influenciam o surgimento dos processos erosivos no município. Diante disso, para estimar as taxas de perda de solo por erosão laminar, recorreu-se ao uso do modelo matemático amplamente utilizado, a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS). Para a análise e mapeamento dos processos erosivos lineares, empregou-se o método de inspeção visual por meio de imagens de satélite de alta resolução espacial. Os resultados obtidos acerca das características naturais dos fatores R, K e LS evidenciaram um alto potencial de erosividade das chuvas na região, concentradas entre os meses de novembro a março; a erodibilidade variou de muito baixa a muito alta, com mais de 22,16% da área apresentando níveis muito baixos ou baixos, 72,32% com nível médio e 5,01% com níveis altos ou muito altos; quanto ao fator topográfico, 92,46% corresponde a baixos valores do LS, 6,27% a classe moderada, e apenas 1,27% relativo às áreas compostas pelas classes alta a muito alta. Em relação à variável antrópica, representada pelo fator CP, destaca-se como uma das mudanças mais significativas a conversão das áreas de pastagem para uso predominante das atividades voltadas para a agricultura. Em 1985, as áreas destinadas à pastagem correspondiam a 36,02%, enquanto a agricultura estava presente em 15,89% da área. Comparando-se com o ano de 2022, verificou-se que ocorreu uma redução das áreas de pastagem para 11,28% e uma expansão das atividades agrícolas para 55,68% da área total. Após o cruzamento dos fatores EUPS, obtiveram-se três resultados distintos acerca da estimativa de perda de solo, observou-se um aumento progressivo da classe média de perda de solo em detrimento da classe nula a moderada. Evidenciou-se que o fator CP (agricultura) foi um dos principais fatores responsáveis pelo aumento da classe de perda de solo média, uma vez que áreas menos suscetíveis foram convertidas em áreas predominantemente agrícolas ao longo dos últimos 37 anos de análise, as quais, sob as mesmas condições, mostraram maior suscetibilidade à perda de solo. Ademais, as maiores perdas de solo ocorrem em áreas com elevados índices dos fatores R, K, LS e foram potencializadas pelo fator CP (pastagem). Esse padrão pôde ser observado sobretudo na região sudoeste do município, onde a interação de todos os fatores, tanto naturais quanto antrópicos, exercem influência na perda de solo. Além disso, foram identificadas diversas feições erosivas em diferentes estágios de desenvolvimento, associadas, principalmente, às áreas de pastagem, as quais carecem de manejo adequado. Essas áreas, de relevo plano a forte ondulado, são compostas, em sua maioria, por Latossolos Vermelhos Distróficos e Neossolos Litólicos Distróficos, que apresentam, respectivamente, média e muito alta erodibilidade.

**Palavras-chave:** Análise Espaço-Temporal. Análise Integrada do Meio Físico. Erosão do Solo.

EUPS. Uso e Cobertura.

## ABSTRACT

This study aimed to analyze the relationship between agricultural expansion and soil erosion dynamics in the municipality of Rio Verde, Goiás, during the years 1985, 2005, and 2022. The adopted approach was based on an integrated analysis of the physical environment. In this context, an effort was made to correlate natural and anthropogenic factors in order to understand how these elements influence the emergence of erosive processes in the municipality. To estimate soil loss rates due to sheet erosion, the widely used mathematical model known as the Universal Soil Loss Equation (USLE) was applied. For the analysis and mapping of linear erosion processes, the visual inspection method was employed using high-resolution satellite imagery. The results regarding the natural characteristics of the R, K, and LS factors revealed a high rainfall erosivity potential in the region, concentrated between the months of November and March. Soil erodibility ranged from very low to very high, with over 22.16% of the area showing very low or low levels, 72.32% classified as medium, and 5.01% as high or very high. Concerning the topographic factor, 92.46% of the area corresponded to low LS values, 6.27% to the moderate class, and only 1.27% to areas classified as high to very high. In terms of the anthropogenic variable represented by the CP factor, one of the most significant changes was the conversion of pasture areas into predominantly agricultural land. In 1985, pasture covered 36.02% of the area, while agriculture accounted for 15.89%. By 2022, pasture areas had decreased to 11.28%, whereas agricultural activities had expanded to 55.68% of the total area. After overlaying the USLE factors, three distinct results were obtained regarding estimated soil loss. A progressive increase in the medium soil loss class was observed, to the detriment of the null to moderate class. The CP factor (agriculture) proved to be one of the main drivers behind the increase in medium soil loss, as less susceptible areas were gradually converted into predominantly agricultural land over the past 37 years—areas which, under the same conditions, exhibited greater susceptibility to soil loss. Furthermore, the highest soil losses occurred in areas with elevated R, K, and LS factor values and were intensified by the CP factor (pasture). This pattern was especially evident in the southwestern region of the municipality, where the interaction between natural and anthropogenic factors significantly influences soil loss. In addition, several erosive features at different stages of development were identified, mainly associated with pasture areas that lack proper management. These areas, ranging from flat to strongly undulating relief, are predominantly composed of Dystrophic Red Latosols and Dystrophic Litholic Neosols, which exhibit medium and very high erodibility, respectively.

**Key-words:** Spatial-Temporal Analysis. Integrated Analysis of the Physical Environment. Soil Erosion. USLE. Land Use and Land Cover.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do Município de Rio Verde, Goiás.....	16
Figura 2 - Variabilidade Espacial Hipsométrica de Rio Verde.....	41
Figura 3 - Variabilidade Espacial da Declividade de Rio Verde.....	42
Figura 4 - Variabilidade da Precipitação e de Temperatura em Rio Verde.....	43
Figura 5 - Formações Vegetais do Bioma Cerrado.....	44
Figura 6 - Variabilidade Espacial dos Solos de Rio Verde.....	46
Figura 7 - Localização das Estações Pluviométricas.....	52
Figura 8 - Variabilidade Espacial e Temporal do Fator Erosividade entre 1985 e 2022.....	60
Figura 9 - Variabilidade Mensal da Precipitação e Erosividade em Rio Verde ao Longo de 50 Anos .....	62
Figura 10 - Variabilidade Espacial do Fator Erodibilidade.....	63
Figura 11 - Variabilidade Espacial do Fator Topográfico.....	65
Figura 12 - Variabilidade Espacial e Temporal do Fator CP entre 1985, 2005 e 2022.....	66
Figura 13 - Histórico de Uso e Cobertura da Terra em Função dos Fatores CP entre 1985, 2005 e 2022.....	69
Figura 14 - Variabilidade Espacial e Temporal da Perda de Solo entre 1985, 2005 e 2022.....	70
Figura 15 - Área com Transições nas Classes de Perda de Solo entre 1985 e 2022.....	73
Figura 16 - Fatores Relacionados às Áreas com Perda de Solo Nula Moderada (2022).....	74
Figura 17 - Perda de Solo Média e sua Relação com a Área de Uso.....	77
Figura 18 - Relação das Classes de Uso e Cobertura e Processos Erosivos entre 1985 e 2022.....	79
Figura 19 - Relação entre o Perfil Topográfico, os Fatores K e LS e a Perda de Solo Estimada (PS) em 2022.....	81
Figura 20 - Espacialização das Erosões Lineares e Erodibilidade do Solo no Município de Rio Verde.....	83
Figura 21 - Erosões Lineares Próxima às Áreas Agrícolas na Porção Norte do Município.....	85
Figura 22 - Evolução dos Processos Erosivos Lineares entre 2016 e 2022.....	86
Figura 23 - Voçorocas e Aterros de Contenção Próximos à Área de Agricultura na Porção Norte do Município.....	87
Figura 24 - Evolução dos Processos Erosivos Lineares entre 2009, 2016 e 2022.....	88
Figura 25 - Erosões no Sudoeste do Município Associadas à Pastagem.....	89

Figura 26 - Voçoroca no Sudoeste do Município Associada à Pastagem e Neossolos Litólicos Distróficos.....	91
--	----

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Efetivo de Galináceos, Bovinos e Suínos em Rio Verde (1975-2022).....	48
Tabela 2 - Crescimento do Cultivo de Soja em Rio Verde (1975-2022).....	48
Tabela 3 - Produções Agrícolas de Lavouras Temporárias em Rio Verde (2022).....	49
Tabela 4 - Crescimento Populacional de Rio Verde (1975-2022).....	50
Tabela 5 - Informações sobre as Estações Pluviométricas.....	53
Tabela 6 - Classificação da Erosividade do Solo.....	53
Tabela 7 - Valores de Erodibilidade por Classe de Solo Obtidos da Literatura.....	54
Tabela 8 - Classificação da Erodibilidade do Solo.....	54
Tabela 9 - Classificação dos Valores de LS.....	55
Tabela 10 - Valores de CP por Classe Obtidos da Literatura.....	56
Tabela 11 - Classes de Perda de Solo.....	56
Tabela 12 - Variabilidade dos Valores de Erosividade para Cada Ano e Estação Pluviométrica....	60
Tabela 13 - Valores e Classificação da Erodibilidade.....	64
Tabela 14 - Distribuição Temporal das Áreas do Fator CP entre 1985, 2005 e 2022.....	67
Tabela 15 - Evolução das Classes de Perda de Solo em Rio Verde entre 1985, 2005 e 2022.....	71
Tabela 16 - Transição das Classes de Perda de Solo entre 1985 e 2022.....	72

## LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ANA - Agência Nacional das Águas

APP - Área de Preservação Permanente

CAR - Cadastro Ambiental Rural

CNES - Centre National d'Études Spatiales

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EUPS - Equação Universal de Perda de Solo

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDW - Inverse Distance Weighted

IESA - Instituto de Estudos Socioambientais

SIG - Sistemas de Informação Geográfica

LANDSAT - Land Remote Sensing Satellite

LVw - Latossolo Vermelho Ácrico

LVwf - Latossolo Vermelho Acriférrico

LVd - Latossolo Vermelho Distrófico

LVdf - Latossolo Vermelho Distroférrico

MAPBIOMAS - Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

MDE - Modelo Digital de Elevação

PND - Plano Nacional de Desenvolvimento

POLOCENTRO - Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

PPA - Programa Produtor de Água

PPGEO - Programa de Pós-Graduação em Geografia

PROCEDER - Programa de Cooperação Nipo-Brasileira de Desenvolvimento dos Cerrados

RLd - Neossolo Litólico Distrófico

RLe - Neossolo Litólico Eutrófico

RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico

SEEC - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima

SiBCS - Sistema Brasileiro de Classificação de Solos

SIEG - Sistema Estadual de Geoinformação

SNIRH - Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

SWAT - Soil and Water Assessment Tool

UFG - Universidade Federal de Goiás

USLE - Universal Soil Loss Equation

WEPP - Water Erosion Prediction Project

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>16</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
2.1 Geografia Física: Análise Sistêmica da Paisagem.....	21
2.2 Modelos Matemáticos: Método da Análise Sistêmica.....	22
2.3 Solo e Erodibilidade.....	25
2.4 Erosão do Solo.....	27
2.5 O Contexto da Expansão Agrícola em Rio Verde, Goiás.....	29
2.6 Erosão do Solo em Rio Verde: Influência do Uso e Cobertura da Terra.....	31
2.7 Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).....	34
2.7.1 Fator R.....	35
2.7.2 Fator K.....	36
2.7.3 Fator LS.....	36
2.7.4 Fator CP.....	37
2.8 Uso e Cobertura da Terra: MapBiomas.....	37
<b>3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>39</b>
3.1 Recorte Temporal.....	40
3.2 Características Físicas.....	40
3.2.1 Clima.....	42
3.2.2 Vegetação.....	43
3.2.3 Solos.....	45
3.3 Aspectos Socioeconômicos.....	48
3.4 Dados e Procedimentos Utilizados para a Determinação das Variáveis da EUPS.....	50
3.4.1 Fator R.....	52
3.4.2 Fator K.....	53
3.4.3 Fator LS.....	54
3.4.4 Fator CP.....	55
3.4.5 Estimativa da Perda de Solo.....	56
3.5 Dados e Procedimentos Utilizados para a Identificação das Erosões Lineares.....	57

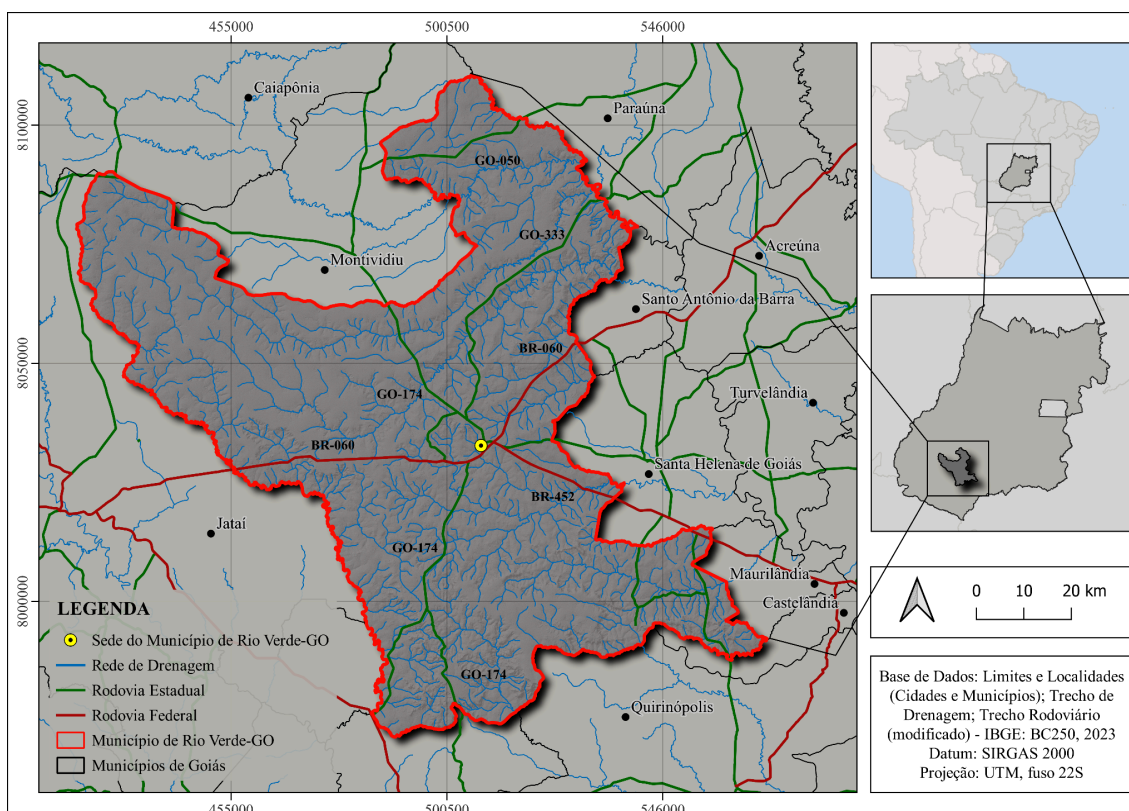
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>59</b>
4.1 Dados Resultantes das Variáveis da EUPS.....	59
4.1.1 Fator R (Erosividade).....	59
4.1.2 Fator K (Erodibilidade).....	62
4.1.3 Fator LS (Topográfico).....	64
4.1.4 Fator CP (Uso e Manejo do Solo).....	66
4.1.5 Resultado da EUPS (Perda de Solo).....	69
4.1.5.1 Classe de Perda de Solo Nula a Moderada.....	74
4.1.5.2 Classes de Perda de Solo Média.....	76
4.1.5.3 Classe de Perda de Solo Média a Forte e Forte a Muito Forte.....	80
4.2 Ocorrências de Erosões Lineares no Município de Rio Verde, Goiás.....	83
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>94</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O processo de modernização da agricultura brasileira estabeleceu mudanças significativas no modelo de produção agrícola, com a incorporação de avanços tecnológicos promovidos pela Revolução Verde (Lunas, 2001). Nesse contexto, a expansão agrícola foi impulsionada pela ocupação do Cerrado e, a partir da década de 1970, difundiu-se amplamente no sudoeste goiano, especialmente no município de Rio Verde, por meio do apoio massivo de políticas e programas de incentivos econômicos subsidiados pelo Estado (Lunas, 2001; Matos; Pessoa, 2011). Diante disso, o município passou por modificações na estrutura produtiva, impulsionadas pelo incremento da agricultura na região, moldando sua base econômica e alicerçando-a no setor do agronegócio.

O município de Rio Verde abrange uma área de 8.374,255 km<sup>2</sup> e está localizado na região sudoeste do estado de Goiás (Figura 1). Abriga uma população de 225.696 habitantes, segundo o censo de 2022 (IBGE, 2022). Sua área urbana abrange 35,6 km<sup>2</sup> do território, correspondendo a 0,43% da área total (Barreto, 2007). Encontra-se a 220 km de distância da capital do estado, Goiânia, e a 420 km de Brasília, capital brasileira. Além disso, dispõe de uma rede viária extensamente conectada, com a presença de rodovias federais BR-060 e BR-452, e também de rodovias estaduais, como GO-174 e GO-333 (Guimarães, 2010).

**Figura 1 - Localização do Município de Rio Verde, Goiás**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

Diante das condições favoráveis, como a localização geográfica estratégica, características naturais devidamente ajustadas e uma infraestrutura robusta, Rio Verde atraiu grandes investimentos que impulsionaram o desenvolvimento da produção agrícola local, com ênfase na produção de soja (Guimarães, 2010). Com base nisso, entre 1975 e 2022, o município registrou considerável avanço no cultivo de soja, posicionando-se como um dos principais produtores nacionais desse grão. Em 2022, devido a um aumento de 11% na produção em comparação ao ano anterior, a região passou a ser a segunda maior produtora de soja do Brasil, com mais de 1,6 milhão de toneladas cultivadas (IPEA, 2022; SEAPA, 2023).

O progresso do agronegócio em Rio Verde é notável. Nesse sentido, considera-se o crescimento do seu Produto Interno Bruto (PIB), que, nos últimos 10 anos, registrou um aumento significativo de mais de 266% (IBGE, 2022). Evidencia-se que, de uma perspectiva econômica, houve uma expressiva prosperidade financeira no município. Entretanto, faz-se necessário discutir as implicações ambientais decorrentes do processo de modernização e expansão agrícola, o qual frequentemente provoca impactos ambientais negativos (Barreto, 2007; Barreto; Ribeiro, 2008; Guimarães, 2010).

Segundo a RESOLUÇÃO CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986, impacto ambiental é definido como qualquer modificação nas propriedades físicas, químicas ou biológicas do meio ambiente. Essas alterações são provocadas pela interferência das atividades humanas e podem afetar de forma direta ou indireta a saúde, a segurança e o bem-estar da população, as atividades socioeconômicas, a biodiversidade, as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente e qualidade dos recursos ambientais (BRASIL, 1986). Santos (2007) ainda enfatiza que esses impactos são preocupantes, pois as intervenções antrópicas geram amplas transformações ambientais perceptíveis em um curto período, divergindo das mudanças naturais, que, geralmente, ocorrem em uma longínqua e equilibrada escala temporal.

As mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra, decorrentes das atividades agropecuárias, exemplificam os impactos provocados por essas transformações aceleradas. Cunha *et al.* (2008) destacam que as áreas agrícolas requerem práticas como a mecanização intensiva, insumos químicos, agrotóxicos, irrigação descontrolada e a implementação de extensas monoculturas. Segundo os autores, essas práticas configuram ações negativas, uma vez que comprometem a sustentabilidade do meio natural, degradando a cobertura do solo, das bacias hidrográficas, dos rios e outros ecossistemas. Além disso, as áreas de pastagem tornam-se

suscetíveis aos processos erosivos, quando carentes de manejo adequado, sendo frequentemente provocado pelo sobrepastoreio, ausência de rotatividade de piquetes, áreas desprovidas de vegetação, entre outras (Pruski, 2006; Barbalho, 2010).

Barreto e Ribeiro (2008) e Siqueira e Faria (2016) destacaram como a vegetação nativa de Rio Verde foi sendo progressivamente removida. Entre 1975 e 2005, Barreto e Ribeiro (2008) observaram uma drástica redução nas áreas de vegetação nativa, em contrapartida, houve um crescimento progressivo das atividades agropecuárias na região, que passaram a ocupar 68% da área total do município. As autoras ainda descreveram que o processo de conversão dessas áreas ocorreram inicialmente das áreas naturais para pastagens e, posteriormente, as pastagens cederam lugar para as práticas agrícolas. Entretanto, não se exclui a possibilidade das áreas agrícolas também terem afetado diretamente as áreas com vegetação nativa, embora em menor fração.

Siqueira e Faria (2016) constataram que, entre 1987 e 2016, o avanço das atividades agrícolas ocorreram em detrimento das áreas de pastagem. Porém, destacam que esse processo de expansão se desenvolveu principalmente sobre a vegetação natural associada à Formação Savânica. É relevante ressaltar que as áreas de Formação Florestal e Campestre, em contraste, apresentaram resultados distintos, ao invés de uma redução, obtiveram um acréscimo de área, passando de 13,76% em 1987 para 17,29%, resultado composto pelo total de áreas cobertas por ambas formações. Apesar disso, evidencia-se que, em 2016, as áreas destinadas à agricultura somavam valores muito superiores, correspondendo a mais de 74% da área total do município.

A retirada da cobertura vegetal causada pela interferência antrópica favorece problemas relacionados à erosão do solo (Momoli *et al.*, 2012; Guerra *et al.*, 2020). Conforme Bertoni e Lombardi Neto (2010), o solo é utilizado de forma inadequada e cruelmente desperdiçado pela agricultura de exploração. Isso ocorre porque, para viabilizar o desenvolvimento das atividades agrícolas, uma extensa parte da cobertura vegetal originária precisa ser removida (Corrêa, 2007; Cunha *et al.*, 2008). Logo, os solos ficam expostos com maior vulnerabilidade a processos erosivos do tipo laminar, especialmente em regiões tropicais, onde os índices pluviométricos são mais elevados (Corrêa, 2007). Rio Verde se destaca nesse contexto devido aos seus altos registros de chuva, que tornam essa região de grande interesse.

O município de Rio Verde, como visto anteriormente, é um dos principais polos de produção agrícola em Goiás e no Brasil. Devido ao seu grande destaque, diversos estudos têm utilizado Rio Verde como área de pesquisa. Esses trabalhos abordam variados temas, como estudo dos impactos ambientais gerais em Rio Verde (Barreto; Ribeiro, 2008), a estrutura e composição

paisagística (Carneiro *et al.*, 2011), a dinâmica da paisagem (Siqueira; Faria, 2016) e a estimativa de perda de solo em diferentes bacias hidrográficas, como a do Ribeirão Douradinho (Alves *et al.*, 2018), a do Rio Verdinho (Alves, 2019), a do Ribeirão das Abóboras e da Laje (Nunes, 2020), e a do Córrego do Sapo (Silva, 2023).

Apesar de haver estudos em diferentes bacias em Rio Verde, observa-se uma lacuna na literatura no que diz respeito à análise dos impactos da expansão agrícola relacionados à perda de solo em uma escala que contemple o município e sua dinâmica espaço-temporal. Pondera-se, com base nos estudos anteriores, que o avanço dessas atividades na região pode não estar em consonância com o desenvolvimento sustentável, uma vez que esse processo de expansão desconsidera os limites dos recursos naturais, resultando em conflitos entre o homem e o meio ambiente (Guimarães, 2010).

Diante disso, a hipótese levantada é a de que as mudanças ocorridas no uso e cobertura da terra têm desencadeado um aumento na perda de solo ao longo dos últimos anos. À vista disso, o município de Rio Verde se torna um ambiente propício para a investigação, dado as crescentes intervenções antrópicas na área, associadas às condições pluviométricas favoráveis aos processos erosivos. Dessa forma, é imprescindível que haja investigações que avaliem essa problemática, uma vez que a preservação e conservação dos solos nessa área são de grande importância para a manutenção do equilíbrio ambiental, algo essencial para a própria manutenção das atividades produtivas, as quais são a base do desenvolvimento econômico regional.

Com base no exposto, este estudo apresenta como objetivo geral analisar a relação entre a expansão agrícola e a dinâmica da erosão do solo em Rio Verde entre 1985 e 2022. Como objetivos específicos, foram estabelecidos: estimar e comparar qualitativamente as taxas de perda de solo no município nos intervalos de 1985, 2005 e 2022; identificar as áreas com maior vulnerabilidade à erosão; verificar os fatores antrópicos e naturais que condicionam esses processos; e localizar possíveis erosões lineares na área em 2022.

A metodologia proposta envolve o uso da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), um modelo matemático amplamente utilizado, que permite estimar a perda média anual de solo em diferentes condições ao longo dos anos. Para isso, é necessário recorrer à coleta de dados para estruturar as variáveis da EUPS. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010), o uso dessa equação configura-se como uma ferramenta fundamental para estudos acerca da perda de solo. Destaca-se que, apesar de ter sido realizado um mapeamento quantitativo com a EUPS, a análise geral dos resultados foi conduzida de forma qualitativa. Além disso, recorreu-se ao método de inspeção

visual por meio do uso de imagens de satélite para identificar as potenciais feições erosivas lineares presentes na região.

A dissertação está estruturada na forma de seções, cuja primeira é esta introdução, que aborda a descrição geral do problema de pesquisa, com os objetivos, a justificativa, a hipótese e a metodologia empregada. A segunda seção é composta pela fundamentação teórica, que visou realizar um levantamento bibliográfico dos principais tópicos relacionados ao estudo em questão. Posteriormente, na terceira seção, são apresentados os procedimentos metodológicos utilizados para coletar e analisar os dados. Subsequentemente, são expostos os resultados e sua discussão, exibindo uma avaliação dos dados obtidos em consonância com os objetivos da pesquisa e a literatura pertinente. A última seção expõe as considerações finais, destacando as principais descobertas e implicações da pesquisa, seguida pelas referências empregadas no trabalho.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Geografia Física: Análise Sistêmica da Paisagem**

A Geografia pode ser definida como o estudo das interações entre o homem e a natureza, a qual relaciona aspectos das ciências naturais e humanas para esclarecer como se moldam as relações entre as duas dimensões na realidade (Moraes, 1983; Mendonça, 1996; Christofolletti, 1999). Diante disso, ao definir um recorte temático de um determinado fenômeno geográfico, podemos nos deparar com uma visão simplista ou dualista da percepção dos eventos tratados. Essa interpretação, descrita por Mendonça (1996), está essencialmente relacionada ao pensamento da Geografia Moderna, que se caracteriza por dividir a Geografia em Física e Humana.

Ao conduzir uma pesquisa de teor geográfico, pode-se produzir uma análise dicotomizada ou dualista, na qual se concentra exclusivamente em uma perspectiva de aspectos naturais ou humanos. Assim, a consolidação da geografia estritamente entre físico-natural ou humana-social reforça o seu empobrecimento e a perda de sua identidade (Mendonça, 1999). Logo, parte-se da ideia de que a Geografia é, por natureza, uma ciência que estuda as interações sociais no ambiente natural, portanto, defende-se a sua unidade. Com base nessa temática, acerca da relação entre a expansão agropecuária e a erosão do solo em Rio Verde, considera-se que tanto os fenômenos humanos, quanto os físicos, moldam o espaço, tornando-o essencialmente geográfico.

Conforme Souza (2010), apesar das inúmeras críticas realizadas em virtude dessa fragmentação dicotômica da Geografia, convencionou-se a atribuir à Geografia Física os estudos ligados às condições físicas do planeta, seja natural ou alterado. Nessa concepção, busca-se compreender os processos físicos que ocorrem na superfície da Terra e sua interferência na distribuição dos seres vivos, bem como das modificações causadas pelas ações humanas e seus impactos ambientais, ora positivos, ora negativos (Mendonça, 1996; Souza, 2010). A Geografia Humana, em contrapartida, visa compreender a organização espacial dos sistemas socioeconômicos (Christofolletti, 1982; Mendonça, 1996).

Dentro da ciência geográfica podemos encontrar inúmeras abordagens metodológicas, cada uma delas apoiadas em distintas correntes filosóficas, que moldaram a sua maneira de interpretar a realidade (Mendonça, 1996; Vicente; Perez Filho, 2003). Relacionada a Geografia Física, a abordagem sistêmica teve grande influência, sobretudo por ser considerada uma metodologia unificadora (Falcão, 2020). Para Tricart (1977), o conceito de sistema é uma das melhores ferramentas lógicas disponíveis para investigar questões ambientais, pois viabiliza uma análise

dialética e dinâmica, promovendo uma compreensão integrada dos fenômenos. Diante disso, considera-se uma abordagem propícia para compreender o sistema sociedade-natureza, considerando a intrínseca inter-relação que apresentam (Akashi Júnior, 2020).

A estruturação da teoria dos sistemas teve como base a Teoria Geral dos Sistemas, formulada pelo biólogo Ludwig Von Bertalanffy (1950). Essa teoria propõe uma visão de sistemas como entidades compostas por elementos interconectados que interagem entre si e com o ambiente. Com isso, busca compreender os padrões, as estruturas e as relações dos sistemas, em vez de focar apenas nas partes individuais, o que permite uma análise mais abrangente e integrada dos fenômenos complexos. Conforme Mendonça (1996), a aplicação da Teoria dos Sistemas na geografia surge paralelamente à aplicação da Teoria dos Modelos, juntamente com o estudo acerca da paisagem, que se constitui como um dos métodos utilizados na Geografia Física.

A partir da abordagem sistêmica o conceito de paisagem ganha relevância e passa a ser analisada de maneira integral, como um sistema, o qual expressa a relação dialética existente entre o social e o natural (Bertrand, 2004; Sartorio, 2023). A paisagem não é formada de maneira isolada por seus elementos; mas pelo contrário, ocorre a partir da combinação entre fatores naturais (como clima, relevo e vegetação) e aspectos culturais e socioeconômicos (Christofolletti, 1999; Bertrand, 2004). A paisagem, portanto, constitui-se como um conjunto único e indissociável, em contínua evolução (Bertrand, 2004).

O enfoque sistêmico oferece uma base teórica e metodológica relevante para o aprimoramento dos estudos geográficos. Além disso, fornece técnicas e ferramentas que possibilitam a investigação de aspectos naturais e humanos (Sartori, 2023). Tal qual, faz uso de modelos matemáticos para simular e compreender os processos e relações que ocorrem no espaço geográfico (Lisboa *et al.*, 2020). Esses modelos fornecem uma representação simplificada e quantitativa da superfície terrestre, permitindo a análise de cenários hipotéticos, a previsão de tendências e a compreensão dos efeitos das variáveis envolvidas no sistema (Akashi Júnior, 2020).

## **2.2 Modelos Matemáticos: Método da Análise Sistêmica**

A modelagem desempenha um papel central na análise integrada. Por meio do uso de modelos matemáticos é possível realizar abstrações para interpretar a realidade mediante equações, parâmetros e constantes matemáticas (Akashi Júnior, 2020). Conforme Christofolletti (1999), para implementar a modelagem nos estudos ambientais, é essencial definir as

características do sistema em escalas espaciais e temporais, garantindo uma representação precisa das dinâmicas e interações.

O uso de modelos para análise de pesquisas tornou-se um importante instrumento utilizado na Geografia Física, e nos últimos anos, tem se intensificado por conta do avanço nas técnicas de computação e das próprias técnicas de modelagem (Fernandes, 2016). Além disso, o autor destaca que o uso de modelos surge como um complemento nas análises e investigações, especialmente quando surgem limitações relacionadas às medições, ao monitoramento e aos experimentos de campo.

Com base nos estudos de Chorley e Haggett, os modelos matemáticos na geografia são divididos em empíricos, determinísticos e estocásticos (Fernandes, 2016). Os modelos empíricos estabelecem relações entre variáveis a partir dos dados disponíveis, obtidos por meio de mensurações, monitoramentos ou experimentos realizados em campo, ou laboratório (Nunes, 2015; Fernandes, 2016; Akashi Júnior, 2020). Os dados obtidos em mensurações e experimentos permitem gerar, a partir de correlações estatísticas, principalmente regressões lineares, funções matemáticas que relacionam variáveis independentes (como distância, profundidade ou tempo) com dependentes (como declividade, taxa de erosão ou umidade do solo) (Fernandes, 2016).

Algumas críticas são tecidas ao modelo empírico, como a falta de bases físicas nas funções resultantes, com um viés meramente estatístico (Fernandes, 2016). Ademais, esse modelo apresenta uma capacidade reduzida de generalização, limitando sua aplicação em outras áreas, uma vez que é influenciado pelas condições ambientais (como clima, solos, relevo, geologia, e cobertura) de um determinado local de estudo. Dessa forma, não é possível utilizar o mesmo modelo em áreas distintas daquelas que foram originalmente usadas para criar as funções (Fernandes, 2016).

Os modelos determinísticos têm como base análises empíricas ou em princípios físicos que buscam explicar o funcionamento dos sistemas físicos, sendo desenvolvidos por meio de deduções práticas ou na intuição do modelador sobre como ocorrem as alterações naturais na superfície terrestre (Akashi Júnior, 2020). Nos modelos determinísticos, os resultados são diretamente influenciados pelos valores de entrada das variáveis e pelas condições iniciais e limites do problema, de modo que as respostas serão sempre as mesmas enquanto os dados de entrada não forem alterados (Fernandes, 2016). Os modelos determinísticos são desenvolvidos conforme as variáveis do sistema modelado, podendo ser empíricos ou baseados em leis físicas (Fernandes, 2016; Akashi Júnior, 2020).

A Equação Universal de Perda de Solo ou *Universal Soil Loss Equation* (EUPS/USLE), desenvolvida por Wischmeier e Smith (1965), é um exemplo de modelo determinístico com base empírica (Fernandes, 2016; Akashi Júnior, 2020). Com base nessa equação é possível estimar a perda de solo causada pela erosão laminar, considerados fatores como intensidade e quantidade de chuva, a erodibilidade do solo, a topografia, o uso da terra, a vegetação e as práticas conservacionistas adotadas na área analisada (Akashi Júnior, 2020). A EUPS é um dos modelos matemáticos mais utilizados na literatura, parte da sua popularidade está relacionada ao fato de ser uma equação de simples manipulação, que requer menos dados de entrada (Farinasso *et al.*, 2006; Fernandes, 2016).

Os modelos determinísticos baseados em fundamentos físicos incluem o *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), criado por Nearing *et al.* (1989), e o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT), desenvolvido por Arnold e Srinivasan (1998) (Fernandes, 2020; Akashi Júnior, 2020). Os modelos de base física apresentam maior capacidade de generalização superior aos modelos empíricos, permitindo sua aplicação em áreas distintas daquela onde foram originalmente desenvolvidos, necessitando apenas da adaptação dos valores numéricos locais das variáveis envolvidas (Fernandes, 2016). Entretanto, uma das desvantagens desse modelo é sua maior complexidade, tanto nas relações internas descritas quanto nas equações matemáticas empregadas (Fernandes, 2016).

Os modelos estocásticos consistem em expressões que combinam variáveis, constantes matemáticas, parâmetros e componentes aleatórios de dados experimentais ou de observação (Akashi Júnior, 2020). Ao contrário do que ocorre nos modelos determinísticos, aqui os valores de uma variável indicam sua chance de ocorrência aleatória, ou seja, diferentes simulações mesmo utilizando os mesmos dados podem gerar resultados diferentes (Fernandes, 2016).

Em relação à variedade e implementação dos modelos, Nunes (2015) destaca que não há um modelo que seja intrinsecamente mais adequado do que outro. Assim, a escolha do modelo matemático é livre, podendo ser fundamentada conforme os objetivos pretendidos e na disponibilidade dos dados encontrados. O autor ainda ressalta que, a modelagem da erosão hídrica é essencial para compreender o processo e prever taxas de escoamento superficial, para identificar as melhores alternativas de controle.

Carvalho *et al.* (2006) consideram que o estudo dos processos erosivos é algo complexo, pois inclui diversos fatores que precisam ser compreendidos para explicar o seu início e desenvolvimento. Desse modo, é essencial adotar um enfoque sistêmico para analisar a

problemática. Os estudos acerca da degradação do solo por erosão são comumente desenvolvidos mediante análises integradas do meio físico e da aplicação de modelos matemáticos para prever o potencial de perda de solo de uma área, tendo como objetivo final prevenir ou minimizar a erosão acelerada do solo (Souza, 2010).

Com o avanço das geotecnologias, as pesquisas e a modelagem de processos erosivos têm se beneficiado significativamente, utilizando as ferramentas disponíveis nos diversos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Nunes, 2015). A utilização do SIG atrelado a EUPS, nesse caso, fornece informações devidamente mapeadas acerca da avaliação comportamental da erosão. Logo, torna-se evidente o número crescente de pesquisas que utilizam essa modelagem matemática em seus estudos, como: Almeida, 2015; Matos, 2015; Alves *et al.*, 2018; Lima *et al.*, 2018; Alves, 2019; Akashi Júnior, 2020; Nunes, 2020; Pena, 2020; Duarte, 2023; Fabrício e Almeida, 2023; Silva, 2023, entre tantos outros autores.

### **2.3 Solo e Erodibilidade**

O solo é definido como um conjunto de corpos naturais formados de materiais minerais e orgânicos que cobrem a superfície da terra. É um produto resultante das ações do intemperismo, responsável pela desagregação e decomposição das rochas ao longo do tempo, influenciado por fatores ambientais que determinam sua organização e estrutura (Schroeder, 1984; Souza, 2010; Embrapa, 2018). O solo é de extrema importância para a manutenção da vida na terra, pois se configura como fonte primordial de subsistência para as plantas, animais e seres humanos (Schroeder, 1984).

Os solos sofrem variações de espessura, conforme o tipo de rocha de onde se originou: basalto, granito, calcário, xisto, gnaisse, ardósia, etc.; de características, como cor, textura, argila, silte e areia; estrutura; e porosidade (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Todos os solos apresentam camadas aproximadamente horizontais, sendo cada uma composta de materiais distintos, devido às modificações ocorridas durante o tempo, como adição, perda, movimentações, transformações de energia e matéria, influenciadas por fatores climáticos, por presença de organismos e pelo relevo (Souza, 2010; Embrapa, 2018).

O conhecimento prévio acerca das principais características físicas do solo é essencial, pois suas propriedades são fatores que exercem controle sobre os processos erosivos (Silva, 2007; Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Alguns solos, mesmo sob as mesmas condições físicas, apresentam maior capacidade de serem erodidos do que outros (Wischmeier e Smith (1978). Isso

ocorre porque a composição material do solo é que define o seu grau de resistência ou vulnerabilidade à erodibilidade (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). A erodibilidade do solo, assim, é definida como a suscetibilidade do solo ao processo erosivo, determinado pelas propriedades que compõem o próprio solo (Wischmeier e Smith, 1978).

O solo pode exibir diversas colorações, variando conforme seu teor de umidade, comumente a tonalidade mais escura, mais úmida. A coloração do solo pode indicar matéria orgânica ou elementos, por exemplo: solo mais escuro indica maior quantidade de material orgânico; avermelhado, solos de boa drenagem, composto por ferro; amarelo, solos geralmente mal drenados, com presença de goetita; cinzento ou esbranquiçado, condição de má drenagem, constituídos por calcário e sais (Silva, 2007; Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Dessa forma, solos mais escuros tendem a ser menos erosivos, dado a maior presença de matéria orgânica (Souza, 2010). Enquanto solos mais claros, quase sempre bem drenados, podem inibir o crescimento da vegetação, conseqüentemente, aumentando o risco de erosão (Silva, 2007).

A textura do solo refere-se à proporção dos diferentes tamanhos de partículas minerais que o compõem, no contexto da nomenclatura brasileira, a classificação da textura é realizada por meio da divisão em: arenosa, arenosa-francosa, siltosa, silto-francosa, francosa, franco-arenosa, franco-siltosa, argilosa, muito argilosa (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). A composição final do solo é determinada com base na proporção de partículas finas ou grossas (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Assim, geralmente, solos mais arenosos têm maior proporção de partículas grandes, enquanto solos mais argilosos possuem maior proporção de partículas finas.

A estrutura do solo compreende a disposição fundamental das partículas no solo e determina a capacidade de maior ou menor resistência à erosão, classificada em: laminar, onde as partículas estão dispostas em camadas finas e planas, em dimensões horizontais; prismática, na qual as partículas apresentam uma estrutura semelhante a colunas; em blocos, apresenta uma organização tridimensional, com formas irregulares; ou granular, em que as partículas se agrupam em pequenos agregados, criando uma estrutura arredondada (Silva, 2007; Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2010), as estruturas podem ser modificadas mecanicamente pelas práticas de manejo do solo.

O solo também apresenta características de porosidade, relacionadas à permeabilidade, que determina a capacidade de infiltração das águas da chuva no solo (Barbalho, 2010). De modo geral, solos com maior composição de areia fina e silte são menos permeáveis, enquanto solos arenosos permitem uma maior permeabilidade (Barbalho, 2010; Souza, 2010). Contudo, não se

constitui como uma regra geral, pois se deve considerar as mudanças, como descontinuidades texturais e estruturais abruptas para avaliar o potencial erosivo com base em outros cenários distintos (Silva, 2007).

## 2.4 Erosão do Solo

A erosão do solo é um fenômeno natural que age na modelagem do relevo à medida que atua na sua remoção gradual ao longo do tempo, através do arraste de suas partículas, pela ação da água ou pelo vento (Carvalho *et al.*, 2006; Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Os processos erosivos são classificados em dois tipos: erosão natural (geológica) e antrópica (acelerada). A primeira ocorre geralmente de forma equilibrada, no qual a quantidade de solo removida equivale proporcionalmente à quantidade de solo produzida. Enquanto a segunda, devido à interferência das ações humanas, ocorre de maneira desequilibrada, pois o solo não consegue se recuperar na mesma proporção em que é degradado (Carvalho *et al.*, 2006).

Como descrito por Bertoni e Lombardi Neto (2010) e Demarchi e Zimback (2014), diversas variáveis exercem influência direta no processo de erosão do solo, entre elas as forças ativas, como os fatores climáticos, que estão ligados à ocorrência de chuvas, à topografia do terreno, que se relaciona à declividade e ao comprimento de rampa e capacidade de infiltração da água no solo. Ademais, existem forças passivas, que se referem às características do solo, à sua resistência à ação da água e à densidade da cobertura vegetal.

Entre os agentes de erosão, a chuva é um dos principais fatores climáticos que afetam a degradação do solo (Silva, 1995). Isso ocorre porque a água da chuva pode agir como desagregante e transportadora de partículas de solo, contribuindo para seu desgaste e deslocamento (Silva, 1995; Carvalho *et al.*, 2006). A erosividade da chuva é determinada pela capacidade da precipitação de causar erosão. O potencial erosivo depende da variação na intensidade, duração e frequência da chuva, que influenciam o volume e a velocidade da enxurrada (Bertoni e Lombardi Neto, 2010).

Em relação à configuração topográfica, o processo erosivo ocorre, geralmente, em áreas com declives superiores a 3 graus de inclinação (Guerra *et al.*, 2020). Assim, quanto mais acentuado for o declive, maior será a velocidade e o volume da enxurrada (Silva, 1995). Além disso, o comprimento de rampa também exerce influência sobre a erosão do solo, pois quanto maior a rampa, maior a velocidade do escoamento da água (Silva, 1995; Barbalho, 2010).

Portanto, terrenos mais inclinados e com rampas mais longas aumentam o risco de erosão devido ao maior potencial de escoamento superficial da água (Bertoni e Lombardi Neto, 2010).

A cobertura vegetal desempenha uma função relevante na proteção do solo contra a erosão em um terreno (Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Souza, 2010). Uma vez que atua na proteção direta do solo contra os impactos das gotas de chuva; dispersa e intercepta a água; facilita a infiltração da água por meio das raízes das plantas; melhora a estrutura do solo com a adição de matéria orgânica, o que, por sua vez, influencia a sua capacidade de retenção de água; e ainda reduz a velocidade do escoamento da enxurrada, devido ao atrito na superfície (Silva, 1995; Bertoni e Lombardi Neto, 2010).

Guerra *et al.* (2020) descrevem que a água é um dos elementos físicos que exerce controle significativo na construção da paisagem natural e atua como agente modelador do relevo na superfície terrestre. Logo, a precipitação pluviométrica se apresenta como um fator indutor de processos erosivos, principalmente em regiões de clima tropical, onde o regime de chuvas é mais abundante (Carvalho *et al.*, 2006).

No Brasil, a erosão hídrica se destaca como a mais notória dentre as manifestações de erosão do solo, podendo ocorrer de duas formas distintas, dependendo da maneira como ocorre o escoamento superficial ao longo da vertente. A erosão pode ser laminar, quando relacionada a perda de solo, ou linear, quando ocorre em estágios progressivos: de sulcos, evoluindo para ravinas e, em casos mais avançados, formando voçorocas (Corrêa, 2007; Barbalho, 2010; Souza, 2010; Alves, 2019; Pena, 2020).

A erosão laminar ocorre quando há o desgaste das partículas do solo de maneira uniforme (Silva, 1995). Essa erosão pode ocorrer de forma acelerada, sendo sua ocorrência e intensidade dependentes de fatores como erosividade, erodibilidade, uso da terra e da sua topografia (Souza, 2010). Esse processo ocorre principalmente devido à dificuldade de infiltração das águas pluviais nos solos, causada pelo selamento superficial. Como resultado, os fluxos hídricos superficiais se intensificam, o que leva à ruptura e ao desprendimento de porções do solo. Consequentemente, essas porções são transportadas para as áreas mais baixas da encosta (Akashi Júnior, 2020).

Esse tipo de erosão é uma das formas mais perigosas, pois o processo de remoção do solo acontece de maneira quase imperceptível, sendo identificado apenas após um longo período, quando as raízes da vegetação ficam expostas e a tonalidade dos solos mais claras (Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Souza, 2010; Nunes, 2015; Akashi Júnior, 2020). A ocorrência de erosão

do tipo laminar está frequentemente relacionada a regiões desprovidas de vegetação, especialmente em áreas destinadas à agricultura e pastagem, causando como consequência o empobrecimento do solo (Souza, 2010; Nunes, 2015).

A erosão linear, destaca-se por conta da sua forma de ocorrência, sendo facilmente identificável na paisagem devido à presença de fendas abertas, muitas vezes extensas, podendo ser superficiais ou profundas o bastante para alcançar as águas subterrâneas (Akashi Júnior, 2020). Esse tipo de erosão é classificado em diferentes tipos, conforme o seu estágio de desenvolvimento: em sulcos, ravinas ou voçorocas (Silva, 1995; Barbalho, 2010; Alves, 2019; Akashi Júnior, 2020).

Os sulcos são formados pela concentração de água em determinados pontos com pequenos canais rasos, que ao longo do tempo, podem se aprofundar (Silva, 1995). As ravinas, por sua vez, são a evolução dos sulcos quando não estabilizados, esse tipo de erosão se caracteriza por ser mais profunda que os sulcos, com aspecto mais alongado e com tendência à formação de paredes laterais verticalizadas (Nunes, 2015; Akashi Júnior, 2020). Enquanto as voçorocas são grandes sulcos de maior extensão e profundidade, destacam-se por ser a forma mais perigosa de erosão linear, uma vez que provocam o desprendimento e deslocamento de uma expressiva quantidade de material pedológico (Silva, 1995; Akashi Júnior, 2020).

## **2.5 O Contexto da Expansão Agrícola em Rio Verde, Goiás**

A Região Centro-Oeste brasileira, até os anos de 1930, consistia em uma economia pautada na pecuária e na agricultura extensiva, com pouca relevância para o contexto nacional. Todavia, esse cenário passou por alterações quando políticas de integração nacional e interiorização passaram a ser implementadas, para englobar economicamente as diferentes regiões do país (Pedroso, 2005). Outrossim, o Estado tinha o objetivo de se consolidar entre os maiores exportadores de grãos no mercado econômico mundial. Para isso, era necessário que ocorresse uma otimização na utilização das terras agricultáveis do Brasil, mediante a exploração e incorporação da região do Cerrado nas práticas agrícolas (Ribeiro, 2003).

O projeto elaborado por Getúlio Vargas, entre 1937 e 1945, conhecido como a “Marcha para o Oeste”, foi um dos fatores que assistiram ao processo de expansão econômica e, conseqüentemente, populacional para o interior do Estado brasileiro, que, até então, sofria com

pouca densidade demográfica (Pedroso, 2005). Outras contribuições também são atribuídas ao processo de desenvolvimento da região, como a construção da Estrada de Ferro Noroeste Brasil (EFNOB); da implementação dos eixos rodoviários da BR-153 e da BR-364; bem como da transferência e criação da nova capital nacional, Brasília, em 1960 (Ribeiro, 2003; Pedroso, 2005; Matos; Pessoa, 2011).

Nesse cenário, a partir de 1960, o país ampliou seus investimentos no setor agrícola por meio de incentivos de políticas econômicas que contribuíram para o desenvolvimento do campo em diversas áreas do Brasil. O sistema Nacional de Crédito Rural (SNCR), criado em 1965, configurou-se como um dos principais instrumentos de ações do Governo, cujo objetivo era criar linhas de créditos de investimentos para a incorporação e consolidação da modernização agropecuária, baseada nos novos padrões tecnológicos (Lunas, 2001; Matos; Pessoa, 2011). Destaca-se que a adoção da Revolução Verde foi viabilizada a partir do suporte do crédito rural (Lunas, 2001).

Além disso, para promover a Revolução Verde, no início da década de 1970, houve a criação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), visando desenvolver pesquisas para promover a modernização da agricultura, concentrando-se em melhorar aspectos de produção, incluindo a correção de solos (Lunas, 2001; Matos; Pessoa, 2011). Uma vez que os solos do Cerrado possuíam uma estrutura produtiva pouco utilizada, devido à sua inadequação para o cultivo, pois era marcado pela acidez elevada, baixo pH, alta toxicidade e reduzida fertilidade (Lunas, 2001; Ribeiro, 2003; Pena, 2020). Assim, a adição de fertilizantes e calcário permitiu contornar esses desafios, tornando o solo fértil e produtivo conforme os padrões da agricultura moderna (Ribeiro, 2003; Barreto, 2007).

A implementação do “pacote tecnológico” da Revolução Verde permitiu que houvesse a exploração dos cerrados. Esse avanço foi fundamental para viabilizar a exploração e a incorporação dessas áreas nas práticas agrícolas. Além disso, a região se destacou pelas suas características naturais favoráveis, como sua localização privilegiada no meio do território nacional, sua topografia plana, favorável à mecanização, e um clima com duas estações bem definidas (Ribeiro, 2003). Assim, o processo de ocupação dessa região foi iniciado e incentivado com o apoio de subsídios financeiros oferecidos por programas do Estado.

Os Planos Nacionais de Desenvolvimento I PND (1972-1974) e o II PND (1975-1979), foram políticas criadas para promover a ocupação econômica do Cerrado (Lunas, 2001; Matos; Pessoa, 2011). O Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (POLOCENTRO), instituído pelo

Decreto 75.320 de 1975, durante o II PND, caracterizou-se por viabilizar investimentos fiscais e de crédito para grandes produtores (Lunas, 2001; Ribeiro, 2003). Posteriormente, em 1979, foi criado o Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados (PRODECER), que teve um papel relevante no processo de expansão das fronteiras agrícolas na região do Cerrado brasileiro, ao introduzir altos investimentos de capital e tecnologia no campo (Matos; Pessoa, 2011).

Os investimentos substanciais advindos desses programas, destinados à expansão da fronteira agrícola, foram direcionados majoritariamente para o estado de Goiás, com destaque para as áreas da região sudoeste, onde está localizado o município de Rio Verde (Guimarães, 2010). Diante disso, iniciou-se o processo de exploração agrícola nos solos, o que resultou em uma rápida transformação da paisagem, em que ocorreu a substituição da vegetação nativa por extensas áreas de cultivos de monoculturas (Oliveira, 2002; Ribeiro, 2003). A partir disso, o município se consolidou como um dos maiores produtores agrícolas do estado de Goiás, com destaque principalmente para o cultivo de soja, que logo apresentou um crescimento elevado em área e produtividade (Lunas, 2001; Guimarães, 2010).

Segundo Ribeiro (2003), a adoção de novas tecnologias agrícolas viabilizou o aumento da produtividade ao longo do tempo, tornando necessária a expansão das áreas cultivadas para atender às demandas. Nesse contexto, as modificações antrópicas acarretam desafios ambientais relacionados à degradação e à precarização ambiental do Cerrado (Oliveira, 2002; Ribeiro, 2003; Pedroso, 2005). Uma vez que favoreceu o processo de fragmentação da paisagem, reformulando sua composição espacial em três principais divisões, em extensas lavouras, pastagens e uma reduzida vegetação natural (Ribeiro, 2003).

## **2.6 Erosão do Solo em Rio Verde: Influência do Uso e Cobertura da Terra**

Certamente a Revolução Verde propiciou relevantes benefícios para o setor agrícola, que rompeu com o modelo de produção tradicional e incorporou avanços tecnológicos significativos no campo, em detrimento do equilíbrio ambiental. A interferência dessas ações antrópicas sobre o meio natural é observada a partir das mudanças identificadas no uso e cobertura da terra, que tendem a substituir gradualmente as vegetações naturais por áreas urbanizadas, desmatadas e destinadas à agropecuária (Akashi Júnior, 2020). Conforme o mesmo autor, os principais impactos dessas mudanças ocorrem sobretudo nos cursos d'água das bacias hidrográficas, acarretando diversas consequências, tais como: aumento do escoamento superficial, perda de solos férteis, redução do rendimento hídrico anual, perda de biodiversidade, entre outros.

Em Rio Verde, as mudanças no uso e cobertura da terra são evidenciadas pela expansão e intensificação das práticas agrícolas, que ocorreram paralelamente à supressão das áreas de vegetação nativa, diante do uso intensivo do solo para a produção de monoculturas. O desenvolvimento dessas atividades ocorre em vastas áreas de terra, com elevada mecanização e uso de insumos químicos, para aumentar a produtividade dessas regiões. Essas áreas, na ausência de práticas adequadas de uso e manejo, provocam a degradação das propriedades do solo, levando à perda da qualidade estrutural e, conseqüentemente, ao aumento da suscetibilidade à erosão hídrica (Castro, 2011; Momoli; Cooper; 2016).

Aponta-se que a suscetibilidade aos processos erosivos está diretamente relacionada à interação entre fatores físicos, como clima, relevo e solo, além de fatores antrópicos decorrentes do uso e manejo da terra (Barbalho, 2010; Akashi Júnior, 2020). O município de Rio Verde apresenta características marcadas por elevados índices de erosividade. Seus solos são predominantemente compostos por Latossolos, amplamente conhecidos por sua alta capacidade de resistência à erodibilidade. Em menor porção, ocorrem também os Neossolos, altamente suscetíveis à erosão, e os Gleissolos. Ademais, a maior parte do terreno é plana, fator que facilitou a expansão das atividades agrícolas na região, sendo seu uso majoritariamente voltado para a agricultura, seguido pelas pastagens.

Com o propósito de compreender a dinâmica da interação entre os fatores que influenciam o desenvolvimento dos processos erosivos, diversos estudos foram realizados no município de Rio Verde, utilizando a bacia hidrográfica como delimitação para o fenômeno investigado, com base no método de análise integrado à EUPS. A seguir, apresenta-se uma visão geral acerca de pesquisas realizadas em diferentes bacias do município, as quais buscaram compreender a dinâmica da perda de solo, baseada nas características físicas e nas alterações provenientes das ações antrópicas.

Alves *et al.* (2018) em estudo realizado na bacia hidrográfica do Ribeirão Douradinho, situada a leste do município, na bacia do Rio Paranaíba, destacam a fragilidade dessa área em cinco categorias, variando de muito baixa a muito alta, conforme a classificação de Ross (1994). Segundo os autores, a classe de fragilidade emergente média corresponde 56% da área total na bacia, estando associada a extensas áreas ocupadas por produção agrícola e pastagens degradadas, que contribuem para a suscetibilidade à erosão laminar, resultando em prejuízos tanto ambientais quanto econômicos. Além disso, os pesquisadores enfatizam a necessidade de um manejo mais adequado do solo na área, alinhados às legislações ambientais vigentes.

A pesquisa realizada por Alves (2019) teve como objetivo avaliar a perda de solo na bacia hidrográfica do Rio Verdinho. Os valores da erosão real seguiram a classificação proposta por Beskow et al. (2009), indicando que 62,83% da bacia apresentou perda de solo entre ligeira e moderada, enquanto os 37,17% restantes variam de moderada-alta a extremamente alta. As áreas com maior capacidade a perda de solo estão associadas às áreas previamente com potencial natural à erosão em conjunto com áreas de produção agropecuária. Ademais, o autor observou áreas com alto risco de erosão laminar e linear, identificando a presença de sulcos, ravinas e voçorocas. Os focos erosivos encontrados exibiram diferentes estágios de desenvolvimento, ora em evolução, ora estabilizados.

A análise da bacia hidrográfica do ribeirão das Abóboras por Nunes (2020), situada na porção central de Rio Verde, revelou um aumento de 112% na perda de solo entre 1985 e 2015. A classificação adotada foi a de Beskow et al. (2009). Observou-se um crescimento nas classes de erosão moderada/alta, alta, muito alta e extremamente alta, que, somadas, representaram 3,83% da área da bacia em 1985, quando comparada a 6,81% em 2015. Essas mudanças estão associadas às alterações no uso e cobertura da terra. Destaca-se, nesse contexto, a redução de áreas de pastagem de 73,74% em 1985 para 12,12% em 2015, e o aumento significativo de áreas agrícolas, que passaram de 10,79% em 1985 para 62,08% em 2015, passando a representar o uso dominante do solo na bacia.

Silva (2023) realizou o estudo na bacia hidrográfica do Córrego do Sapo, localizada em Rio Verde, com 58% da área total na área urbana. Os resultados encontrados indicaram que a perda de solo real, classificada como ligeira, corresponde a 51% da área total. A classe de perda muito alta, por sua vez, representou 14% da área, concentrando-se principalmente nas proximidades dos cursos hídricos. Seguida pela classe de perda de solo moderada. As áreas associadas à pastagem apresentaram os maiores valores relativos na classe de erosão real muito alta, totalizando 56%. Destaca-se que a autora utilizou a mesma classificação de perda de solo adotada por Alves (2019) e Nunes (2020).

Verifica-se que a ausência de práticas de manejo adequadas é uma das principais causas dos impactos ambientais negativos relacionados à degradação do solo por processos erosivos, especialmente em áreas destinadas à produção agrícola e de pastagem (Klinki; Machado, 2005; Pruski, 2006; Barbalho, 2010; Momoli et al., 2012). Nesse contexto, o controle da erosão hídrica torna-se necessário quando a quantidade de solo removida ultrapassa os níveis considerados aceitáveis (Carvalho *et al.*, 2014).

Diante disso, com o objetivo de avaliar a perda de solo, o modelo matemático EUPS se sobressai, o qual permite estimar de forma satisfatória a distribuição espacial e a intensidade desse fenômeno ao longo de um determinado período, com base em variáveis ambientais e antrópicas (Farinasso *et al.*, 2006). Akashi Júnior (2020) enfatiza que a análise das mudanças ocorridas na superfície terrestre são essenciais, pois proporcionam melhor compreensão acerca das consequências dos impactos das intervenções humanas sobre o ambiente natural.

## 2.7 Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)

A EUPS é um modelo matemático determinístico com base empírica, desenvolvido a partir de determinações experimentais, empregado amplamente na estimativa da perda de solo por erosão laminar (Amorim *et al.*, 2006; Farinasso, 2006; Fernandes, 2016; Akashi Júnior, 2020). O modelo, elaborado por Wischmeier e Smith (1978), contempla diversos fatores que influenciam o processo erosivo, como a erosividade da chuva, a erodibilidade do solo, a declividade da área, a cobertura vegetal e as práticas de conservação do solo. Esses fatores combinados em uma equação permite estimar a quantidade de solo perdido de uma determinada área ao longo do tempo. Essa ferramenta é de extrema importância na avaliação e monitoramento da erosão, pois auxilia na identificação de áreas vulneráveis à perda de solo.

Sendo a equação expressa pela fórmula matemática:

$$PS = R.K.(L.S).(C.P)$$

Onde temos:

PS = perda média anual de solo, t/ha.ano;

R = fator de erosividade da chuva, MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>

K = fator de erodibilidade do solo, t.ha.h.ha<sup>-1</sup>.MJ<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>;

L = fator de comprimento do declive, adimensional;

S = fator de grau de declive, adimensional;

C = fator de uso e manejo do solo, adimensional;

P = fator de práticas conservacionistas, adimensional;

### 2.7.1 Fator R

A erosividade da chuva (Fator R) é um índice que quantifica a intensidade e o potencial da chuva de causar erosão em uma área sem cobertura vegetal (Amorim *et al.*, 2006). O parâmetro utilizado por Wischmeier e Smith (1978) para o cálculo da erosividade da chuva é representado

pelo produto ( $EI_{30}$ ), o qual leva em consideração tanto a energia cinética total ( $E_c$ ) quanto a intensidade máxima da chuva em um período de 30 minutos ( $I_{30}$ ) (Amorim *et al.*, 2006; Bertoni; Lombardi Neto, 2010). O  $EI_{30}$  é o índice mais representativo da capacidade da chuva em provocar a erosão, pois abrange a influência do impacto das gotas de chuva no solo, a sua degradação, a turbulência do escoamento e o transporte das partículas de solo (Amorim *et al.*, 2006).

Para calcular a erosividade por meio do parâmetro  $EI_{30}$  é necessário, segundo recomendações de Wischmeier e Smith (1978), que haja registros de 10 a 20 anos dos dados pluviométricos da área em análise (Amorim *et al.*, 2006; Almeida, 2015). É relevante destacar que a equação original pode gerar resultados imprecisos ao ser aplicada em diferentes regiões, devido às variações climáticas existentes (Pruski, 2006; Pena, 2020). Diante disso, Silva (2004) dedicou atenção à consideração das características específicas da precipitação em cada localidade do Brasil e apresentou equações mais adequadas para cada uma das regiões. Para a área onde se encontra o estado de Goiás, foi proposta a equação de Morais *et al.* (1991):

$$EI_{30} = 36,849 * (M_x^2 / P)^{1.0852}$$

Em que:

$EI_{30}$  = média mensal do índice de erosão (em MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>);

$M_x$  = média mensal de precipitação (em mm);

P = média anual de precipitação (em mm).

Conforme descrito por Almeida (2015), a partir da equação  $EI_{30}$ , são calculados os valores das médias mensais de erosividade para cada estação pluviométrica. Em seguida, esses valores médios mensais são somados para obter a estimativa da média anual do fator de erosividade. Contudo, a aquisição registros pluviométricos de algumas áreas é limitada. Para a obtenção desses dados, alguns métodos podem ser utilizados, como o uso da ferramenta IDW (*Inverse Distance Weighted*), que, por meio da espacialização e interpolação de dados, estima valores em pontos que não foram medidos, com base nos valores de pontos já existentes.

### 2.7.2 Fator K

A erodibilidade do solo (Fator K) indica o grau de suscetibilidade do solo à erosão, considerando as suas características físicas, incluindo a sua capacidade de infiltração e retenção da água, bem como sua resistência à ação da chuva e do escoamento superficial (Pruski, 2006). Assim, mesmo em condições semelhantes de precipitação, declividade, cobertura vegetal e

práticas de manejo, alguns solos demonstram maior capacidade de sofrer erosão do que outros (Carvalho *et al.*, 2006; Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Dessa forma, cada solo apresenta uma variação de erodibilidade, sendo que quanto mais elevada essa erodibilidade, maior a probabilidade de ocorrer erosão (Bertoni e Lombardi Neto, 2010).

O valor atribuído ao fator K pode ser determinado a partir do método direto ou indireto (Almeida, 2015). No método direto o fator K é determinado em campo sob o regime de chuva natural ou em situações de chuva simulada (Almeida, 2015; Matos, 2015). Esse meio de determinação experimental envolve altos custos e demanda muito tempo de análise, pois lida diretamente com o processo de causa e efeito do fenômeno erosivo (Mannigel *et al.*, 2002). Diante disso, surgiram alternativas, como o método indireto, que consiste na estimativa dos valores por meio de análise de regressão linear múltipla, com base nos parâmetros químicos e físicos dos solos (Mannigel *et al.*, 2002; Matos, 2015).

Segundo Matos (2015), vários autores definiram os valores de erodibilidade de solos com base nas diferentes localidades do Brasil em diversas escalas. Dentre os métodos indiretos empregados, Demarchi e Zimback (2014) destacam o trabalho desenvolvido por Mannigel *et al.* (2002), os quais os índices de erodibilidade produzidos, quando comparados a outros, mostraram-se mais alinhados com os utilizados em estudos de simulação de perda de solo por erosão. Portanto, empregam-se os valores encontrados na literatura para a atribuição do fator K, uma vez que essa alternativa permite uma determinação mais acessível dos valores de propriedades conhecidas dos solos (Demarchi; Zimback, 2014).

### **2.7.3 Fator LS**

O fator topográfico (fator LS), formado pelo comprimento de rampa (fator L) e pelo grau de declividade (fator S), descreve como o escoamento hídrico afeta a perda de solo em uma determinada área, considerando sua declividade e o comprimento da encosta (Almeida, 2015). Os fatores L e S têm fundamental influência sobre a erosão do solo, pois exercem um impacto na velocidade com que os materiais suspensos na superfície são arrastados, tanto em tamanho quanto em sua quantidade (Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Matos, 2015).

Para estimar o fator LS, são empregadas equações disponíveis na literatura, destacando-se as propostas por Desmet & Govers (1996), que sugeriram o uso de algoritmos para o cálculo automático desse fator (Almeida, 2015; Matos, 2015). Além disso, é necessário utilizar um modelo matemático que represente as elevações de um determinado terreno, como um Modelo

Digital de Elevação (MDE) (Almeida, 2015). Em ambiente SIG, utilizando o *software* gratuito QGIS, é possível acessar o módulo LS Fator, baseado no algoritmo de Desmet & Govers (1996), para realizar a execução automática do cálculo do fator LS a partir do uso de um MDE.

#### 2.7.4 Fator CP

O uso e manejo do solo (fator C) indica o grau médio de proteção do solo à erosão, determinado com base no desenvolvimento de diferentes tipos de uso e manejo do solo (Amorim *et al.*, 2006). As práticas conservacionistas (fator P) expressam a relação entre a perda de solo e uma prática conservacionista específica adotada e a perda correspondente quando a cultura está plantada no sentido do declive (Amorim *et al.*, 2006). Os fatores C e P, em pesquisas que visam a análise da perda de solo, são atribuídos de forma conjunta devido à dificuldade em adquirir dados do fator P (Almeida, 2015).

Dessa forma, os valores atribuídos ao fator CP variam de 0 a 1. Quanto mais próximo de 1, maior é a probabilidade de ocorrência de processos erosivos. Por outro lado, valores próximos de zero indicam uma proteção mais eficaz contra a erosão, resultante de uma maior cobertura do solo e de sistemas de manejo conservacionistas mais eficientes (Prochnow, 2003; Gomes *et al.* 2017; Akashi Junior, 2020). Os valores aplicados ao fator CP, conforme cada uma das classes de uso e cobertura, são baseados em informações disponíveis na literatura.

### 2.8 Uso e Cobertura da Terra: MapBiomias

O projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil - MapBiomias (<https://brasil.mapbiomas.org/>), foi idealizado e oficialmente lançado em 2015, pelo Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa do Observatório do Clima (SEEC). Surgiu com o propósito de analisar as transformações no território com precisão, qualidade e de forma ágil. O projeto é desenvolvido de maneira colaborativa com diferentes ONGs, universidades, laboratórios e startups (Sposito, 2021; Baeza, 2022; Sartorio, 2023; MapBiomias, 2025). O processamento dos dados é realizado com base em extensivos algoritmos de aprendizagem de máquina por meio da plataforma Google Earth Engine (MapBiomias, 2025).

As análises são realizadas por meio de imagens de satélite e inteligência artificial. A partir das imagens captadas pelos satélites Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) 5, 7, 8 e 9, com resolução espacial de 30 metros, compondo uma série histórica com ano inicial de 1985, organizados em coleções atualizadas periodicamente (Sposito, 2021; Viana, 2023; MapBiomias, 2025). Para cada ano é gerado um mosaico de imagens que cobre o Brasil, posteriormente,

realiza-se um mapeamento de cada classe de uso e cobertura da terra, por exemplo: floresta, campo, agricultura, pastagem, etc. A partir da elaboração dos mapas com as transições entre classes, permite-se, assim, compreender as mudanças ocorridas ao longo dos anos para cada bioma, estado e município (MapBiomas, 2025).

Diferentes autores utilizaram os dados disponibilizados pelo MapBiomas, visando avaliar a dinâmica espaço-temporal das mudanças no uso e cobertura da terra. Os resultados obtidos em suas pesquisas indicam um desempenho satisfatório da ferramenta. Assim, destacam-se os mais recentes, como Pena (2020), em seu estudo acerca da perda de solo no estado de Goiás, entre 1985 e 2017; Sposito (2021), sobre as transformações ocorridas na bacia hidrográfica do Rio Doce (MG/ES) ao longo de 33 anos, entre 1985 e 2018; Rosa (2022), que buscou compreender a dinâmica da perda de solo em Goiás entre 1985 e 2018; e Sartori (2023), que investigou as transformações na Paisagem do Bioma Pampa entre 1985 e 2020.

Os dados do MapBiomas têm grande relevância para o desenvolvimento de estudos ambientais, voltados à análise das transformações no uso e cobertura da terra em diferentes escalas, configurando-se como uma ferramenta recomendada para o planejamento e gestão dos recursos ambientais (Sposito, 2021; Sartorio, 2023). Ademais, soma-se a isso, o benefício das informações serem disponibilizadas de forma gratuita.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos adotados seguem uma visão sistêmica, baseado em análises integradas do meio físico com uma abordagem multitemporal e multiescalar. Conforme Nunes (2015), uma investigação integrada permite selecionar variáveis e parâmetros mais adequados para a análise de determinados fenômenos, incluindo os relacionados à erosão hídrica. Para isso, o método envolve o uso de técnicas e ferramentas de geoprocessamento, permitindo a manipulação de dados geográficos em ambiente SIG, além da aquisição, análise e processamento computacional de informações. Dessa forma, recorreu-se ao uso da ferramenta EUPS para modelar a erosão laminar. Enquanto para as feições erosivas lineares, empregou-se o método de inspeção visual de processos erosivos por imagens de satélite.

A EUPS fundamenta-se em técnicas amplamente reconhecidas na literatura e aplicadas em estudos ambientais. No contexto do Cerrado brasileiro, diversos autores têm empregado essas metodologias, como já mencionado alguns anteriormente, como Almeida (2015), Lima *et al.* (2018), Alves (2019), Pena (2020), Fabrício e Almeida (2023). Da mesma forma, recorreu-se à aplicação da EUPS no município de Rio Verde, considerando os dados sobre as características de chuva, do solo, topográficas e de uso e cobertura da terra da área.

A equação EUPS dispõe de um método que possibilita compreender a dinâmica dos processos erosivos em diversas escalas temporais e espaciais (Akashi Júnior, 2020). Esse modelo pode ser utilizado em grandes áreas ou em escalas regionais, desde que os dados sejam tratados qualitativamente, não sendo possível a aplicação de estimativas quantitativas (Stein *et al.*, 1987; Farinasso *et al.*, 2006; Matos, 2015). Como um modelo empírico, a EUPS oferece uma aproximação da realidade e, portanto, possui limitações. Assim, os valores de perda de solo obtidos não devem ser considerados precisos, mas estimativas aproximadas (Farinasso *et al.*, 2006; Corrêa, 2007).

Após a aplicação da EUPS para compreender a espacialização dos processos erosivos do tipo laminar, buscou-se identificar a presença de feições erosivas do tipo linear na área do município. O procedimento adotado teve como referência os métodos adaptados de Barbalho (2010), Nunes (2015), Nunes e Castro (2021), Carvalho e Castro (2023) e Fabrício e Almeida (2023). Assim, o mapeamento dos focos erosivos foi realizado por meio de inspeção visual, através do uso de imagens de satélite disponibilizadas pelo Google Earth Pro.

### 3.1 Recorte Temporal

A análise da dinâmica da perda de solo no município de Rio Verde foi realizada entre três períodos distintos: 1985, 2005 e 2022. Evidencia-se que os fenômenos geográficos relacionados à expansão agrícola em Rio Verde começaram a ser observados no início da década de 1970. No entanto, optou-se por realizar a análise da dinâmica de perda de solo no município a partir do ano de 1985, tendo o ano de 2022 como o final do recorte temporal.

A escolha do período inicial de análise se baseia na disponibilidade dos dados do Projeto MapBiomass, que possui início dos registros de suas séries históricas a partir de 1985. Esses dados são fundamentais para a aplicação do fator CP, com intuito de compreender as dinâmicas nas mudanças do uso e cobertura do solo, conforme métodos semelhantes ao empregado por Pena (2020) e Rosa (2022). Além disso, soma-se a essa escolha a dificuldade de obtenção de dados pluviométricos anteriores ao ano de 1970.

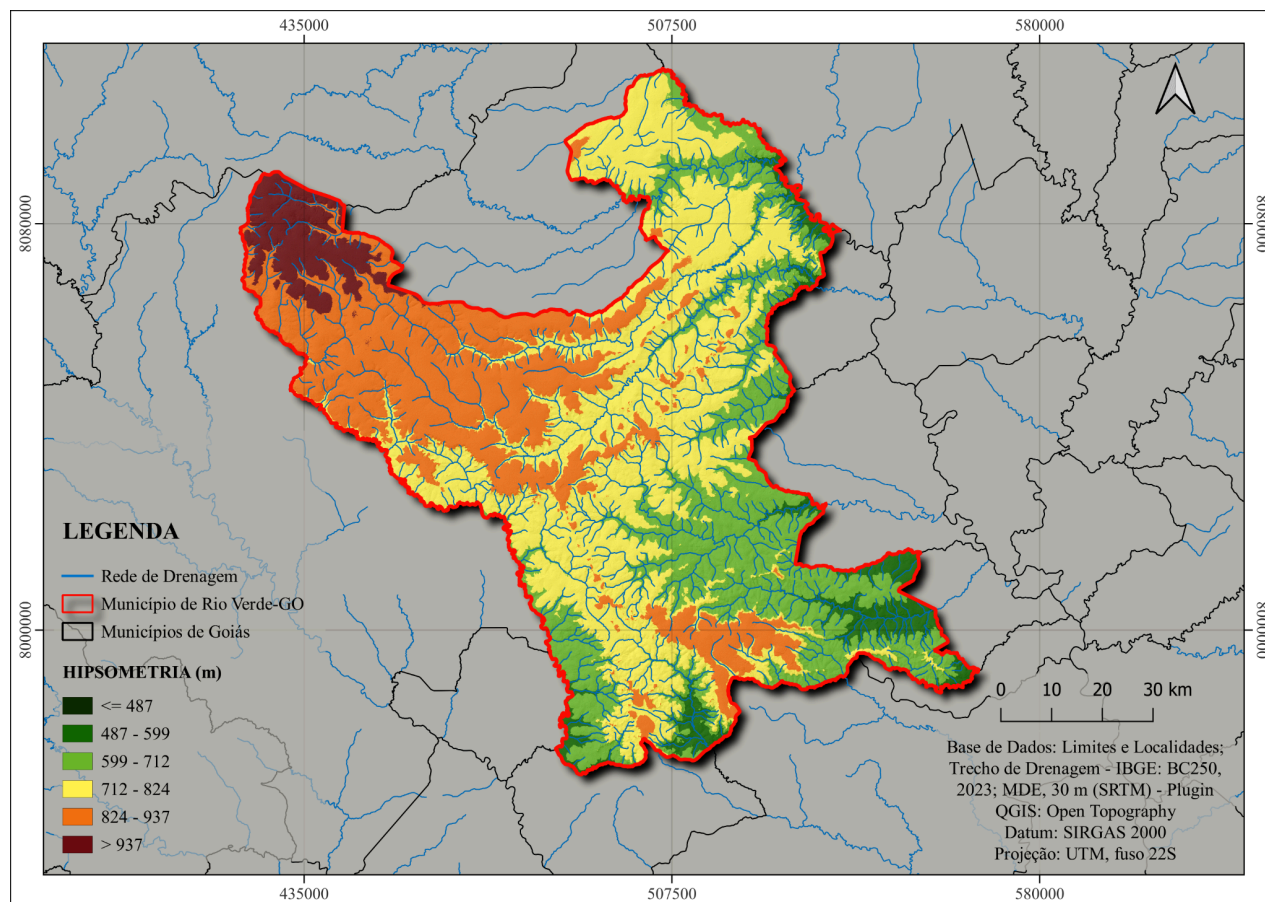
O segundo marco temporal, ano de 2005, foi incorporado como um ponto de suporte para correlacionar os fenômenos, permitindo uma análise mais ampla das mudanças ocorridas no município. Considerou-se a escolha desse ano com base no expressivo aumento da produção agrícola em comparação com a década anterior, de 1995. Por fim, a análise também abrange o ano de 2022, permitindo uma compreensão atualizada do fenômeno.

Em relação às erosões lineares, aponta-se que a escolha dos anos analisados, compreendidos entre 2005 e 2022, justifica-se pela melhor resolução espacial das imagens de satélite em comparação com as disponíveis para o ano de 1985. Devido à baixa resolução espacial das imagens desse período, a análise e interpretação seriam comprometidas, motivo pelo qual se optou apenas pelos dois recortes temporais mais recentes.

### 3.2 Características Físicas

O município de Rio Verde está localizado entre as coordenadas 17° 02' 19" a 18° 23' 24" de latitude sul e 50° 18' 33" a 51° 46' 58" de longitude oeste. A região apresenta uma variação altimétrica que vai de 400 a 1.030 metros, com altitude média em torno de 715 metros (Figura 2). As maiores elevações encontram-se na porção noroeste do município, enquanto as altitudes reduzem gradualmente em direção ao sudeste, com pequenas porções localizadas ao sudoeste também apresentando altitudes mais baixas.

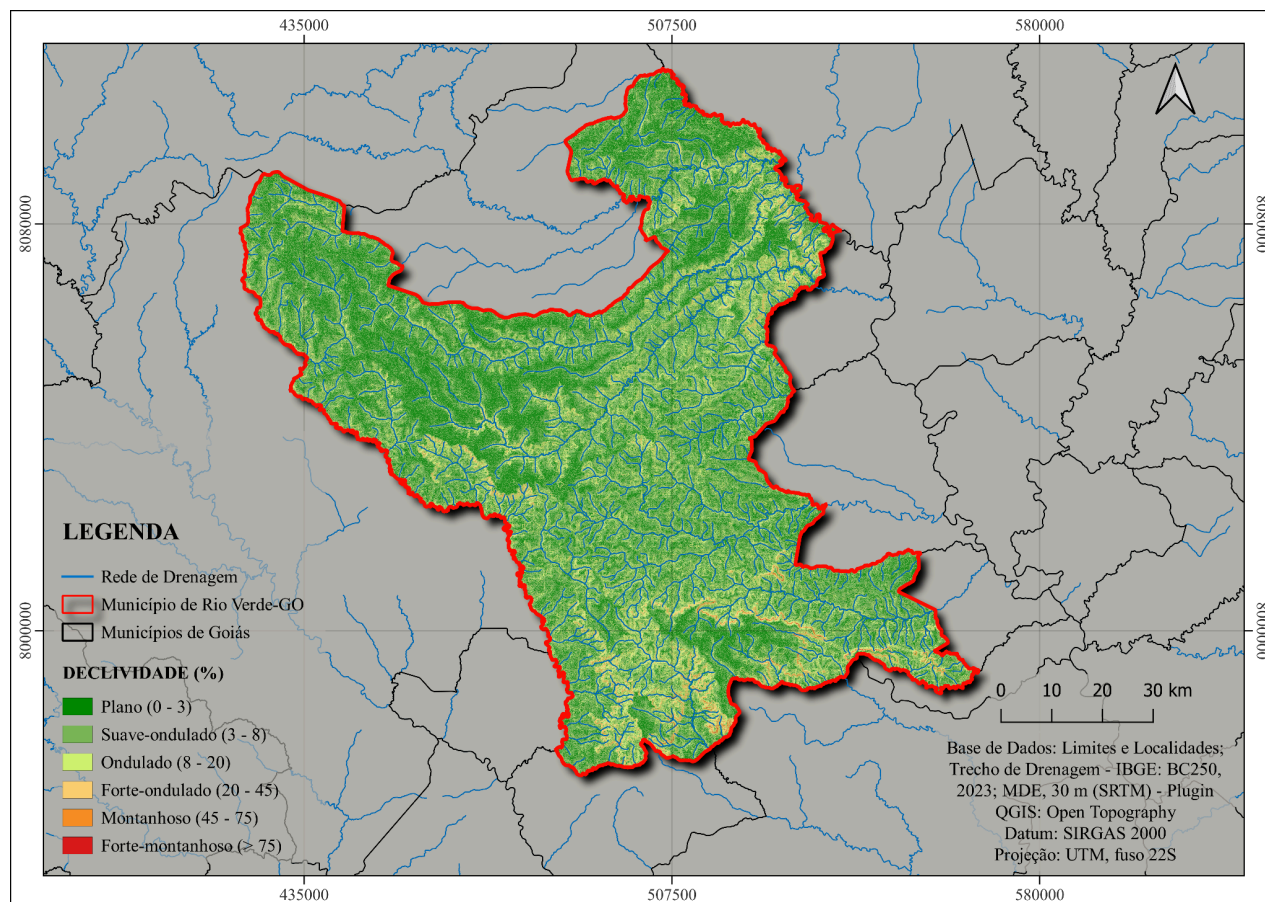
**Figura 2 - Variabilidade Espacial Hipsométrica de Rio Verde**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

O relevo do terreno (Figura 3) é predominantemente plano a levemente ondulado, com inclinações em torno de 5%, abrangendo 78,53% da área total. Essa característica foi fundamental para o favorecimento da implantação das atividades agrícolas na região (Ribeiro, 2003; Cunha *et al.*, 2008). A segunda classe mais prevalente, com relevo ondulado, está distribuída amplamente pela área, correspondendo a 19,15%. Enquanto as áreas com relevo mais acentuado, de forte-ondulado a forte-montanhoso, estão concentradas principalmente nas porções nordeste e sul, representando apenas 2,33% da área total.

**Figura 3 - Variabilidade Espacial da Declividade de Rio Verde**



Fonte: elaboração própria, 2025.

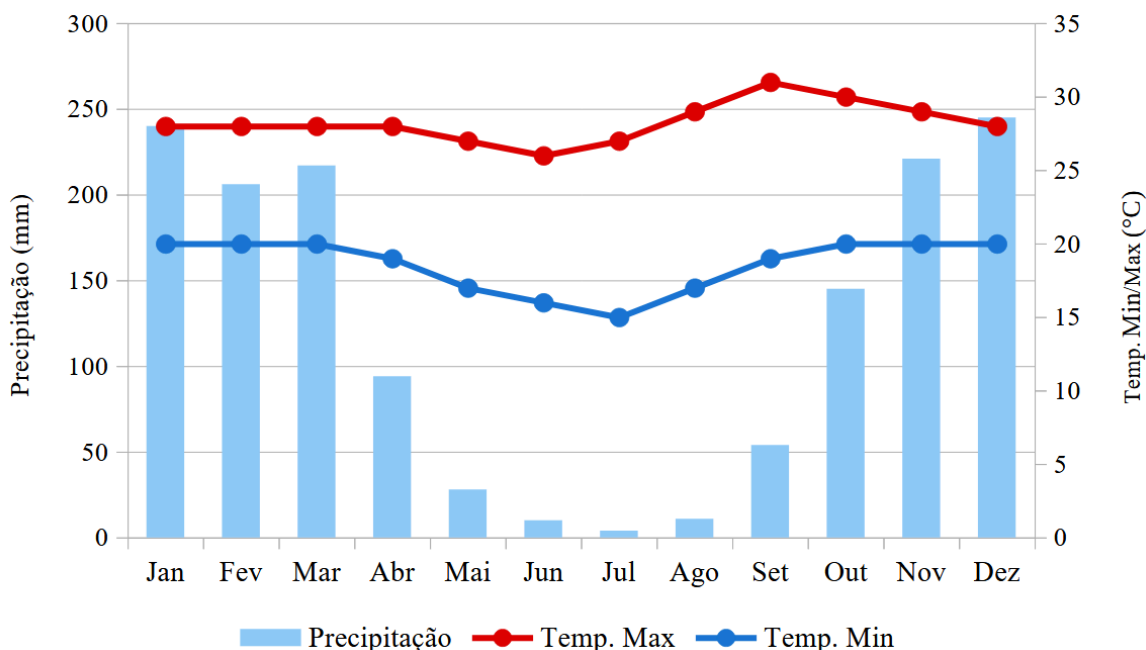
### 3.2.1 Clima

O clima do município apresenta características do Cerrado, com a ocorrência de duas estações bem definidas: uma seca (maio a setembro), com temperaturas mais amenas, e outra chuvosa (outubro a abril), registrando temperaturas mais elevadas (Ribeiro; Walter, 1998; Ab'Sáber; Costa Júnior, 2017). Esta proposta de classificação climática segue o sistema de Köppen (1948), que caracteriza o tipo climático Aw como tropical. Nesse contexto, o "A" indica elevada concentração de chuvas e altas temperaturas, enquanto o "w" refere-se à ocorrência de um período seco durante o inverno (Souza, 2010; Lopes Sobrinho, 2020; Nascimento; Novais, 2020).

Nos últimos 30 anos analisados, a precipitação total na região ultrapassou os 1.400 mm anuais, apresentando uma distribuição irregular das chuvas ao longo do ano (Figura 4). Os maiores índices de precipitação ocorrem entre outubro e março, variando de 80 mm a mais de 200 mm por mês. Já os meses de junho a agosto apresentam valores mensais inferiores a 15 mm. O registro de temperatura média anual da área do município corresponde a 23,42 °C. As

temperaturas mais altas ocorrem entre os meses de setembro e outubro, com máximas de 31 °C e 30 °C, respectivamente. As mínimas são registradas no inverno, nos meses de junho e julho, com valores de 16 °C e 15 °C.

**Figura 4 - Variabilidade da Precipitação e de Temperatura em Rio Verde**



**Fonte:** elaboração própria com base em dados de climatologia do Climatempo, 2025.

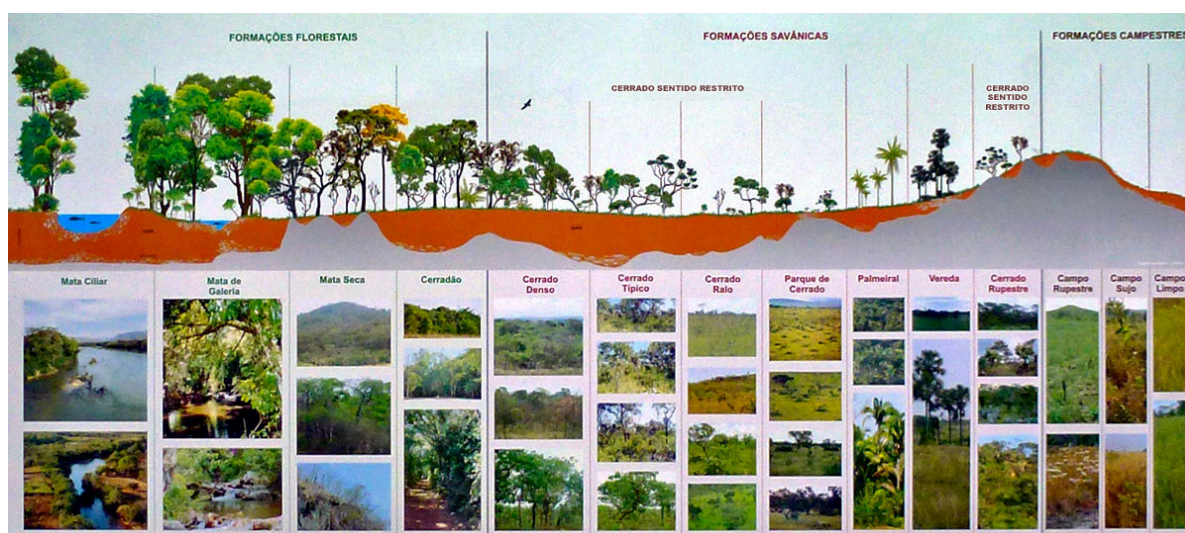
De acordo com Nascimento e Novais (2020), essas características estão relacionadas intrinsecamente ao clima da área. Ao longo do ano, o Cerrado é influenciado por massas de ar que se deslocam sazonalmente pelo continente, seguindo as barreiras naturais impostas pelo relevo. Durante o período chuvoso, que ocorre na primavera e no verão, predominam as massas de ar continentais. A massa equatorial continental (mEc) contribui para a intensificação das chuvas, enquanto a massa tropical continental (mTc) promove condições de elevadas temperaturas na região. Enquanto no outono e no inverno, atuam principalmente as massas de ar marítimas. A massa tropical atlântica (mTa) e a massa polar (mP) trazem características de tempo estável, céu claro e redução na temperatura e na umidade.

### 3.2.2 Vegetação

A vegetação original do município era composta predominantemente pelo Cerrado, com uma diversidade de formações (Figura 5), incluindo áreas florestais, savânicas e campestres, conforme a definição proposta por Ribeiro e Walter (1998). De maneira geral, as formações florestais são áreas dominadas por espécies arbóreas, nas quais ocorre a formação de um dossel,

que pode ser contínuo ou descontínuo. O termo savana é utilizado para descrever áreas com árvores e arbustos dispersos sobre um estrato de gramíneas, sem a formação de um dossel contínuo. Enquanto o termo campestre se refere a áreas predominantemente herbáceas, com algumas espécies arbustivas, mas sem a presença de árvores na paisagem (Ribeiro; Walter, 1998).

**Figura 5 - Formações Vegetais do Bioma Cerrado**



**Fonte:** EMBRAPA. 2017.

As formações florestais incluem diferentes tipos de vegetação, como a Mata Ciliar, a Mata de Galeria, a Mata Seca e o Cerradão. A Mata Ciliar e a Mata de Galeria têm características semelhantes e estão associadas a cursos d'água, podendo ocorrer tanto em terrenos bem drenados quanto em terrenos mal drenados (Ribeiro; Walter, 1998; Sano *et al.*, 2008). A Mata Ciliar se distingue, em parte, pela sua ocorrência em terrenos acidentados e pela variação nos graus de caducifólia durante a estação seca, enquanto a Mata de Galeria é perenifólia. Sano *et al.* (2008) descreve que devido às características topográficas e às variações no nível do lençol freático ao longo do ano, a Mata de Galeria pode ser dividida em dois subtipos: inundável e não inundável.

Enquanto isso, a Mata Seca e o Cerradão são encontrados nos interflúvios, em áreas de terrenos bem drenados e sem conexão com os cursos d'água (Ribeiro; Walter, 1998; Sano *et al.*, 2008). A Mata Seca apresenta diferentes níveis de caducifólia durante a estação seca. Além disso, é composta por três subtipos: a Mata Seca Sempre-Verde, a Mata Seca Semidecídua (a mais comum) e a Mata Seca Decídua. Em todos os subtipos, ocorre a queda de matéria orgânica no solo (Sano *et al.*, 2008). A vegetação do Cerradão apresenta características esclerófilas, adaptada a condições adversas. A cobertura arbórea do seu dossel varia entre 50% e 90%, sendo mais densa durante a estação chuvosa e menor na estação seca (Sano *et al.*, 2008).

As formações savânicas incluem quatro tipos principais: o Cerrado sentido restrito, o Parque de Cerrado, o Palmeiral e a Vereda. O Cerrado sentido restrito é caracterizado pela presença de estratos arbóreos e arbustivo-herbáceos bem definidos, com árvores baixas distribuídas aleatoriamente no terreno, em diferentes densidades, apresentando ramificações irregulares e retorcidas (Ribeiro; Walter, 1998; Sano *et al.*, 2008). Conforme a variação da densidade arbórea, o Cerrado sentido restrito é dividido em quatro subtipos: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre (Sano *et al.*, 2008). O Parque de Cerrado é marcado pela concentração de árvores no terreno, algumas imperceptíveis e outras com destaque, conhecidas como murundus (Sano *et al.*, 2008).

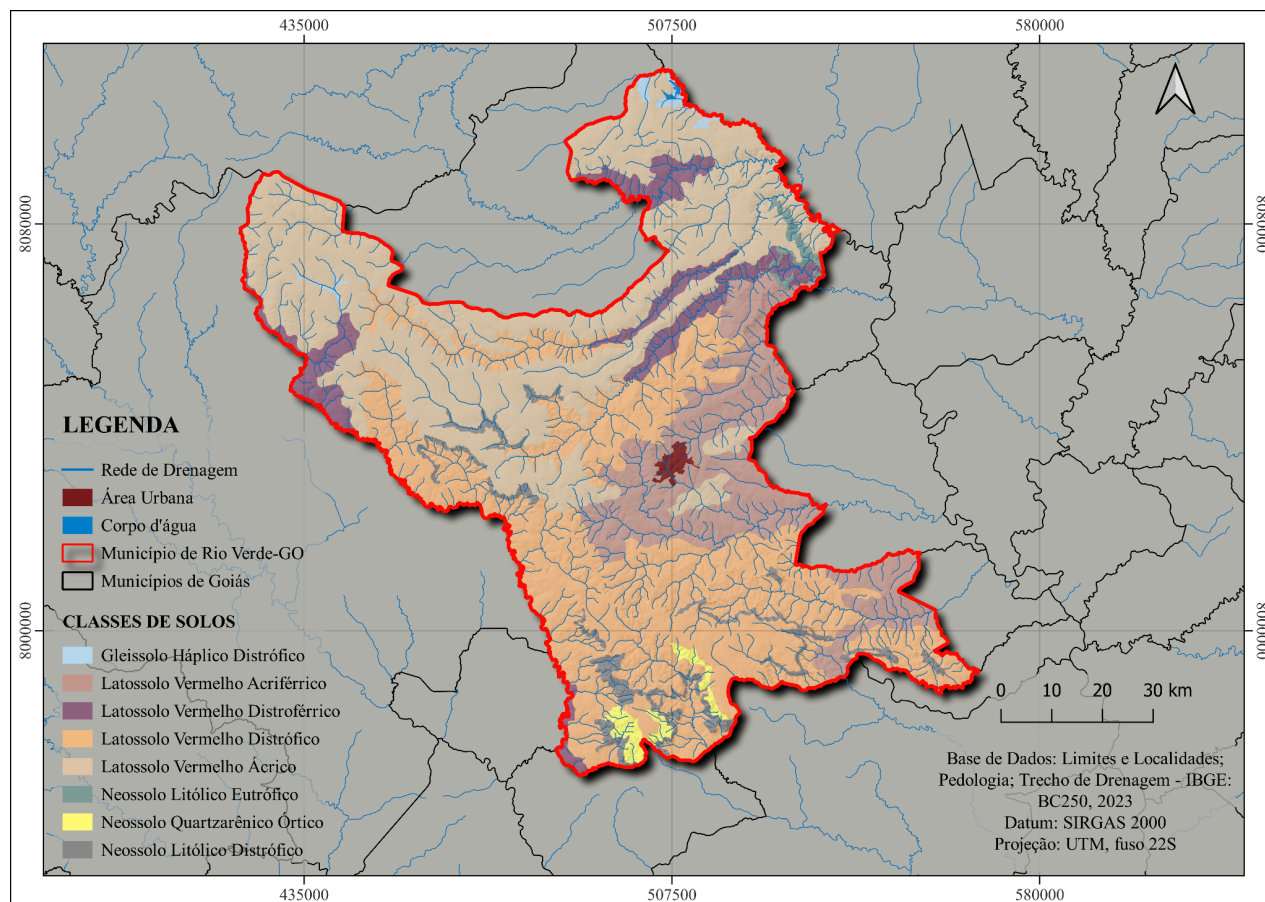
O Palmeiral se distingue pela presença predominante de uma espécie específica de palmeira arbórea, com outras árvores de diferentes espécies sem destaque, e pode ocorrer tanto em áreas bem drenadas quanto em áreas mal drenadas (Ribeiro; Walter, 1998). O Palmeiral é composto por quatro subtipos, definidos pela espécie dominante: Macaubal, Guerobal, Buritizal e Babaçal. A Vereda, por sua vez, também apresenta a presença de uma única espécie de palmeira, o buriti, mas em uma densidade menor do que no Palmeiral (Ribeiro; Walter, 1998). Além disso, são geralmente encontradas em campos úmidos, coincidindo com o afloramento do lençol freático (Sano *et al.*, 2008).

As formações campestres são divididas em três tipos: o Campo Sujo, o Campo Rupestre e o Campo Limpo. O Campo Sujo é caracterizado pela presença de arbustos e subarbustos entremeados no estrato herbáceo (Ribeiro; Walter, 1998). O Campo Rupestre assemelha-se ao Campo Sujo, mas se diferencia pelo substrato, composto por afloramentos rochosos, e pela composição florística, que inclui uma abundância de endemismos, com árvores de pequeno porte (Ribeiro; Walter, 1998; Oliveira, 2002). Por sua vez, o Campo Limpo é marcado pela escassez de arbustos e pela ausência completa de árvores (Ribeiro; Walter, 1998; Oliveira, 2002).

### **3.2.3 Solos**

Conforme a classificação adotada pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), atualizada em 2018, a delimitação do território de Rio Verde abrange três formações pedológicas distintas (Figura 6). Os Latossolos, no geral, predominam amplamente na região, cobrindo mais de 90% da área. Em menor proporção, encontra-se o grupo dos Neossolos, que ocupam pouco mais de 5% da área, enquanto os Gleissolos representam menos de 1% da superfície total. De acordo com Akashi Júnior (2020), essa distribuição espacial dos solos ocorre de maneira harmônica com o relevo.

**Figura 6 - Variabilidade Espacial dos Solos de Rio Verde**



Fonte: elaboração própria, 2025.

Os Latossolos Vermelhos estão geralmente associados às regiões com relevos de baixa declividade predominantes na região (Alves *et al.*, 2018). Esses solos apresentam características estáveis, como grande profundidade, boa drenagem e alta permeabilidade, além de serem de fácil preparo, o que os torna viáveis para o estabelecimento das atividades agrícolas (Alves *et al.*, 2018; EMBRAPA, 2018). No entanto, quando descobertos ou submetidos condições desfavoráveis, como manejo inadequado da pastagem, uso intensivo de maquinário agrícola e monoculturas extensivas, esses solos tornam-se suscetíveis à erosão (Cunha *et al.*, 2008; Alves *et al.*, 2018 EMBRAPA, 2018).

Os Latossolos Vermelhos Distróficos possuem uma saturação por bases inferior a 50%, o que indica baixa saturação por bases, uma característica típica de solos ácidos (Embrapa, 2018). Esses solos também se destacam por sua baixa fertilidade, alta porosidade, baixa relação entre silte e argila, e elevada susceptibilidade a processos de intemperismo químico (Shinzato; Carvalho Filho, 2005; Akashi Júnior, 2020). Além disso, apresenta uma textura que varia de média a muito

argilosa e ocorre em áreas mais planas ou suavemente onduladas do relevo (Oliveira, 2002; Laborsolo, 2025).

Os Latossolos Vermelhos Distroféricos são solos com baixa fertilidade natural, caracterizados por apresentarem elevados teores de ferro (EMBRAPA, 2018). Esses solos possuem grande profundidade, textura predominantemente argilosa ou muito argilosa, e excelentes condições físicas. Os Latossolos Vermelhos Ácricos são solos com elevada acidez e deficiência nutricional, exigindo correção e adubação para viabilizar o uso agrícola. Já os Latossolos Vermelhos Acriféricos possuem características semelhantes, diferenciando-se apenas por apresentarem elevados teores de ferro, assim como os Distroféricos (Shinzato; Carvalho Filho, 2005; EMBRAPA, 2018).

Os Neossolos Litólicos ocorrem em áreas com declives mais acentuados, geralmente, acima de 12%; são caracterizados por serem rasos, pouco evoluídos e por possuírem rochas (Corrêa, 2007; Matos, 2015; Alves, 2018). Essas condições aumentam a suscetibilidade à erosão e limitam significativamente o uso do solo (Matos, 2015; Alves, 2018). Além das características já mencionadas, os Neossolos Litólicos, especificamente os Distróficos, são solos inorgânicos e de natureza ácida, com texturas normalmente médias ou argilosas (EMBRAPA, 2018; Akashi Júnior, 2020). Os Neossolos Litólicos Eutróficos, por sua vez, são solos com saturação por bases superiores a 50%, indicando uma boa fertilidade natural (EMBRAPA, 2018).

Os Neossolos Quartzarênicos Órticos ocorrem em áreas de relevo plano ou suavemente ondulado, sendo caracterizados por sua textura arenosa ou franco-arenosa, composta predominantemente por quartzo (EMBRAPA, 2018; Barbalho, 2010; Akashi Júnior, 2020). Esses solos possuem baixos teores de nutrientes e são distróficos (Akashi Júnior, 2020). Embora o relevo contribua para um menor risco de erosão, a textura arenosa requer atenção para prevenir processos erosivos (EMBRAPA, 2018). Apresentam grande profundidade, porém são pouco desenvolvidos em termos de horizontes pedológicos. Além disso, caracterizam-se por conter baixos teores de matéria orgânica, fósforo e micronutrientes (EMBRAPA, 2018; Akashi Júnior, 2020).

Os Gleissolos ocorrem em leitos de drenagem e em áreas de baixa altitude, com declividades inferiores a 8% (Souza, 2010). Esses solos são caracterizados por serem mal drenados e por permanecerem predominantemente saturados com água durante a maioria do ano (Souza, 2010; EMBRAPA, 2018). Caracterizam-se como solos distróficos, podendo ou não apresentar problemas relacionados à acidez, com pH muito baixo (EMBRAPA, 2018). Adicionalmente, os Gleissolos Háplicos Distróficos se diferenciam dos demais por apresentarem solos argilosos de baixa atividade e fertilidade natural (EMBRAPA, 2018).

### 3.3 Aspectos Socioeconômicos

A principal atividade econômica do município de Rio Verde, na década de 1960, era a pecuária extensiva, com a maioria das áreas destinadas à pastagem. Porém, a partir da década de 1970, o desenvolvimento da agricultura, impulsionado por auxílios financeiros oriundos de políticas públicas, promoveu uma considerável transformação na principal atividade produtiva da região (Guimarães, 2010). Diante dessas mudanças, nos últimos anos, observou-se uma variação dinâmica na quantidade de rebanhos de galináceos, bovinos e suínos (Tabela 1).

**Tabela 1 - Efetivo de Galináceos, Bovinos e Suínos em Rio Verde (1975-2022)**

REBANHO	1975	1985	1995	2005	2015	2022
Galináceos	227.237	375.350	295.000	9.460.000	14.000.000	13.285.023
Bovino	323.888	538.000	500.000	343.000	328.000	297.447
Suíno	63.847	35.000	15.700	317.000	770.000	406.139

Fonte: IPEADATA, 2022.

A diminuição nas áreas de pastagem, por sua vez, contribuiu para a expansão das áreas agrícolas (Barbalho, 2010). Os dados do IPEADATA (Tabela 2) mostram a evolução da produção destinada às lavouras de soja ao longo dos últimos 47 anos, um dos produtos mais importantes da região. Nota-se que, embora o processo de expansão tenha começado na década de 1970, apenas a partir da década de 1980 que se observou uma evolução mais significativa na produção (Ferreira, 2001). Barreto (2007) destaca que o crescimento acelerado dessa monocultura foi impulsionado pela disponibilidade de solos adequados e pelo avanço tecnológico.

**Tabela 2 - Crescimento do Cultivo de Soja em Rio Verde (1975-2022)**

ANO	PRODUÇÃO (t)	ÁREA COLHIDA (ha)
1975	1.270	1.400
1985	260.400	140.000
1995	231.800	122.000
2005	715.500	265.000
2015	744.000	310.000
2022	1.638.000	420.000

Fonte: IPEADATA, 2022.

O ano de 2005 destaca-se em relação aos anteriores, especialmente quando comparado ao ano de 1995, devido ao expressivo aumento na produção e na área colhida de soja. As transformações no uso e cobertura do solo em Rio Verde, conforme dados de Barreto (2007), mostram que as áreas destinadas às práticas agrícolas cresceram significativamente, passando de 2,10% em 1975 para mais de 24% em 2005. Entre 2005 e 2022, esse crescimento também foi notável, evidenciando a contínua expansão das atividades agrícolas na região.

Além de se destacar como um dos maiores produtores de soja, o município de Rio Verde também se sobressai em outras culturas agrícolas (Tabela 3). Entre as principais, estão o milho, a cana-de-açúcar e o sorgo, que apresentam grande relevância em termos de volume de produção e área plantada. Outras culturas, embora em menor escala, também contribuem para a diversificação agrícola, totalizando uma soma de dez culturas distintas (IBGE, 2022). Verifica-se ainda que a alta produção de soja e milho fez do município um dos principais exportadores de Goiás. Os principais mercados compradores estão localizados no Oriente, incluindo países como China, Coreia do Sul, Taiwan e Japão, além de países da Europa Ocidental, como a Holanda (RIO VERDE, 2025).

**Tabela 3 - Produções Agrícolas de Lavouras Temporárias em Rio Verde (2022)**

<b>PRODUTO</b>	<b>QUANTIDADE PRODUZIDA (t)</b>	<b>ÁREA PLANTADA (ha)</b>	<b>ÁREA COLHIDA (ha)</b>	<b>RENDIMENTO MÉDIO (kg/ha)</b>
Algodão	3.500	1.000	1.000	3.500
Arroz	225	65	65	3.462
Cana-de-açúcar	1.935.565	25.000	23.000	84.155
Feijão	5.820	2.100	2.100	2.771
Girassol	2.160	1.200	1.200	1.800
Mandioca	2.566	170	170	15.094
Melancia	8.000	200	200	40.000
Milho	1.846.200	359.500	359.500	5.135
Soja	1.638.000	420.000	420.000	3.900
Sorgo	171.000	45.000	45.000	3.800

**Fonte:** IBGE, 2022.

Conforme Barbalho (2010), outras atividades também têm um papel significativo na região, com uma estrutura industrial sólida que abriga grandes empresas como a COMIGO e a BRF (antiga Perdigão) (Guimarães, 2010). Ainda segundo a autora, essas empresas contribuíram para o desenvolvimento da produção e comercialização de produtos agropecuários e

agroindustriais, como miudezas de bovinos, suínos e aves, extrato de tomate, milho em conserva, óleo de soja, margarina, entre outros.

Rio Verde é um dos municípios com a maior concentração populacional, ocupando a quarta posição no estado de Goiás. Esse crescimento é impulsionado, em parte, por sua importância como um polo econômico crucial para o agronegócio. A prosperidade financeira da região atrai pessoas de diversas partes do Brasil, incluindo aquelas que buscam melhores oportunidades e uma melhor qualidade de vida (Guimarães, 2010). Desde a década de 1970, o município tem apresentado um crescimento populacional médio superior a 31% por década, com destaque para o período de 2000 a 2010, quando o crescimento médio foi de 51,38% (Tabela 4).

**Tabela 4 - Crescimento Populacional de Rio Verde (1975-2022)**

ANO	1970	1980	1991	2000	2010	2022
POPULAÇÃO	55.697	74.699	96.309	116.552	176.424	225.696

Fonte: IPEADATA, 2022.

A localização do município é estrategicamente favorável, com uma infraestrutura rodoviária robusta que facilita conexões e torna a região eficiente para a movimentação de mercadorias. Sua malha viária inclui rodovias federais como a BR-060, que conecta diretamente ao eixo Goiânia-Brasília, e a BR-452, que dá acesso à região sudeste, favorecendo operações de exportação e importação. Além da presença das rodovias estaduais, como a GO-174, que liga ao estado do Mato Grosso no sentido leste; a GO-210, que conecta municípios vizinhos, com destaque para Santa Helena de Goiás; e a GO-333, que faz a ligação com Paraúna. Ademais, possui um terminal ferroviário multimodal para grãos e farelo de soja, ligado à Ferrovia Norte-Sul e ao Porto de Santos, agilizando o escoamento da produção (Exame, 2022).

### **3.4 Dados e Procedimentos Utilizados para a Determinação das Variáveis da EUPS**

Os dados pluviométricos foram adquiridos na Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), por meio do portal HidroWeb, integrado ao Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Essa plataforma oferece acesso ao banco de dados hidrometeorológicos, possibilitando consultar informações sobre recursos hídricos e dados climáticos. Desse modo, foram coletados os dados mensais das séries históricas de precipitação, entre 1972 e 2022, a partir de estações localizadas nas proximidades do município.

Os dados sobre os solos foram obtidos a partir da carta pedológica, na escala 1:250.000, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023). A categorização das classes de cada tipo de solo segue a classificação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS), 5ª Edição, abrangendo as classes de solos até o terceiro nível categórico (EMBRAPA, 2018). A escolha da escala foi determinada com base na disponibilidade de dados existentes para a área de estudo. Uma vez que os dados mais detalhados e adequados para a área de estudo não estão mais acessíveis através do SIEG (2018), os quais foram previamente utilizados por outros autores em análises no município de Rio Verde.

Para a elaboração do fator topográfico, recorreu-se ao Modelo Digital de Elevação (MDE) da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), um sistema de radar que obteve dados das elevações da superfície terrestre com alta resolução (NASA Earthdata, 2025). O MDE pode ser facilmente acessado por meio do *plugin* Open Topography do QGIS, em formato *raster*, com resolução de 30 ou 90 metros.

A análise das mudanças no uso e cobertura da terra, relativas ao fator CP, foi possível a partir dos dados provenientes da plataforma MapBiomias. O método utilizado para a classificação das alterações baseia-se no uso de imagens de satélite da missão Landsat, disponibilizadas em formato matricial com resolução de 30 metros por pixel. As imagens utilizadas foram processadas por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, que classificam automaticamente os padrões e características dos solos e da vegetação ao longo do tempo (Xavier *et al.*, 2024).

É relevante destacar que, embora os dados apresentem alta acurácia, podem ocorrer algumas confusões na geração das classes, devido à associação incorreta dos pixels (Viana *et al.*, 2023; Xavier *et al.*, 2024). Nesse contexto, conforme apresentado pelos autores Baeza *et al.* (2022), a utilização dos dados do MapBiomias em escalas locais pode representar um desafio, devido a essas confusões nas classes de solos. Contudo, como descrito por Xavier *et al.* (2024), em uma escala regional, as discrepâncias nas classes não comprometem significativamente a interpretação geral, isso porque as áreas mapeadas tendem a ser mais extensas e homogêneas.

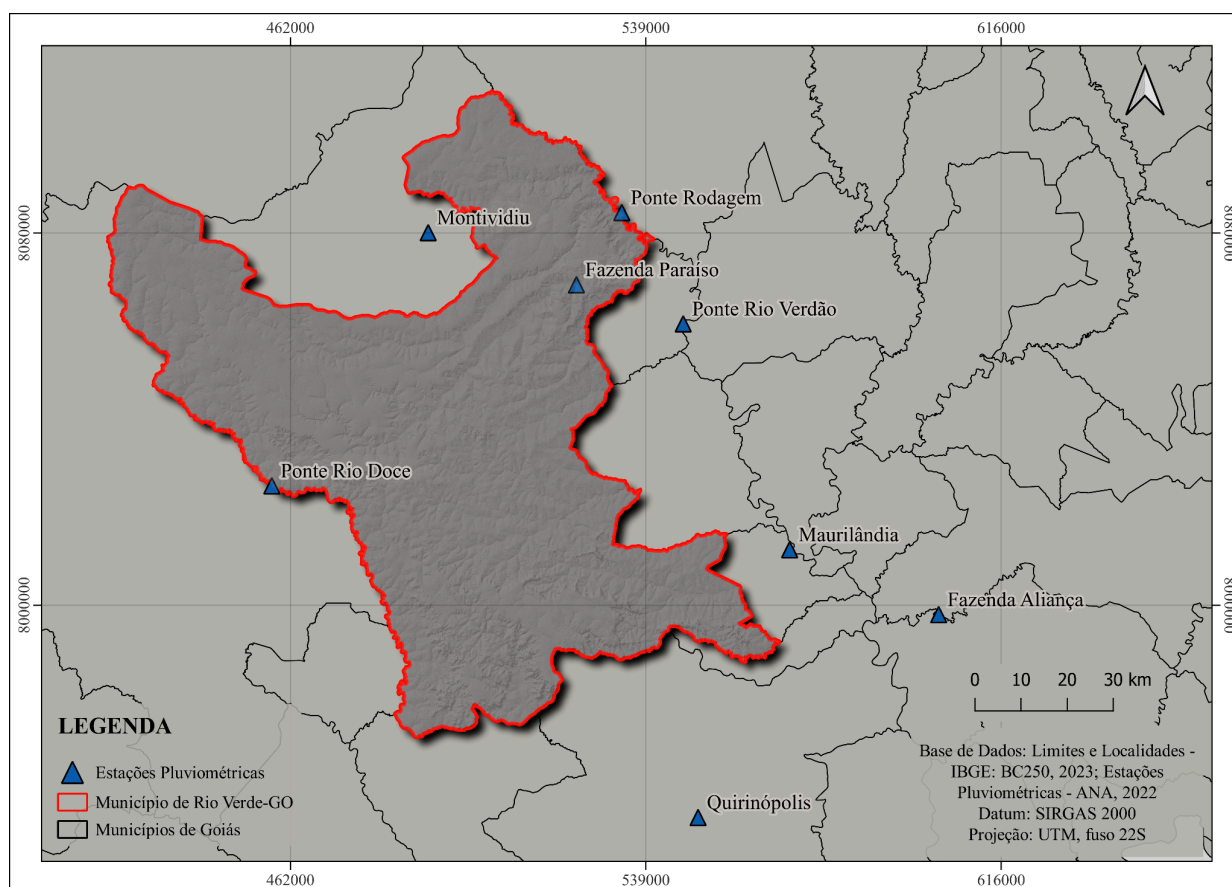
A elaboração dos produtos cartográficos finais seguem como referência a escala 1:250.000. Embora o foco do estudo seja o município de Rio Verde, a análise foi conduzida sob uma perspectiva regional, devido às limitações na obtenção de dados mais detalhados adequados à análise da área, o que, conseqüentemente, impossibilita uma abordagem em nível local. Portanto,

assume-se uma análise mais generalizada, uma vez que os dados mais detalhados são passíveis de serem utilizados em contextos regionais.

### 3.4.1 Fator R

Os valores atribuídos para o cálculo do fator R foram baseados nos registros de precipitação de 8 estações pluviométricas localizadas no entorno de Rio Verde (Figura 7). Os dados de erosividade cobriram um intervalo com início entre 1972, 1973, 1974 e 1975 até 2022. Posteriormente, foram divididos em três períodos para a análise conjunta das estações pluviométricas, abrangendo os anos de 1972 a 1985, de 1972 a 2005 e de 1972 a 2022. As informações relativas às estações pluviométricas utilizadas para o cálculo de erosividade estão disponíveis na tabela 5.

**Figura 7 - Localização das Estações Pluviométricas**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

**Tabela 5 - Informações sobre as Estações Pluviométricas**

<b>CÓDIGO</b>	<b>NOME</b>	<b>LATITUDE</b>	<b>LONGITUDE</b>	<b>PERÍODO</b>
1750003	Ponte Rio Verdão	17°32'29.0"S	50°33'22.0"W	1972 a 2022
1751004	Montividiu	17°21'52.9"S	51°04'36.1"W	1975 a 2022
1750004	Ponte Rodagem	17°19'31.1"S	50°40'54.8"W	1972 a 2022
1751001	Ponte Rio Doce	17°51'23.0"S	51°23'48.1"W	1973 a 2022
1750008	Fazenda Paraíso	17°27'56.9"S	50°46'27.1"W	1975 a 2022
1850001	Fazenda Aliança	18°06'16.9"S	50°01'53.0"W	1972 a 2022
1850002	Quirinópolis	18°30'04.0"S	50°31'18.8"W	1972 a 2022
1850003	Maurilândia	17°58'46.9"S	50°20'13.9"W	1974 a 2022

Fonte: ANA (2022).

Após organizados em planilhas, os dados coletados foram calculados, gerando as médias mensais do  $EI_{30}$  para cada estação e respectivo ano de análise, baseadas na equação de Morais *et al.* (1991). Em seguida, as médias mensais foram somadas para estimar a média anual de cada fator R. Assim, os dados  $EI_{30}$  foram importados para o QGIS e georreferenciados. Posteriormente, foi realizado o processo de interpolação, utilizando o método IDW, gerando os mapas dos fatores R em formato *tiff*. A classificação adotada para quantificar a capacidade de erosividade da chuva (Tabela 6) foi proposta por Carvalho (2008), apresentando cinco tipos distintos de variações, compostas por fraca até muito forte.

**Tabela 6 - Classificação da Erosividade do Solo**

<b>CLASSES DE EROSIVIDADE</b>	<b>EROSIVIDADE (MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>)</b>
Fraca	< 2.452
Moderada	2.542 - 4.905
Moderada a Forte	4.905 - 7.357
Forte	7.357 - 9.810
Muito Forte	> 9.810

### 3.4.2 Fator K

Os valores atribuídos ao fator K foram obtidos a partir de referências na literatura (Tabela 7), com base na semelhança das características das unidades pedagógicas presentes na área de estudo, como tipo de solo, textura, teor de matéria orgânica e horizonte. Essa abordagem permitiu

uma estimativa mais precisa, alinhada com os dados disponíveis e com estudos anteriores realizados em regiões com condições similares.

**Tabela 7 - Valores de Erodibilidade por Classe de Solo Obtidos da Literatura**

CLASSES DE SOLOS	FATOR K (t.ha.h.ha <sup>-1</sup> .MJ <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )	FONTE
Gleissolo Háptico Distrófico	0,0044	Mannigel <i>et al.</i> (2002)
Latossolo Vermelho Distrófico	0,018	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Latossolo Vermelho Distroférico	0,012	Mannigel <i>et al.</i> (2002); Demarchi & Zimback (2014)
Latossolo Vermelho Ácrico	0,0263	Mannigel <i>et al.</i> (2002)
Latossolo Vermelho Acriférico	0,0085	Mannigel <i>et al.</i> (2002)
Neossolo Litólico Distrófico	0,052	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Neossolo Litólico Eutrófico	0,036	
Neossolo Quartzarênico Órtico	0,041	

No QGIS, na tabela de atributos do mapa de solos em formato vetorial, após a delimitação espacial da área de estudo, foram adicionados os valores de erodibilidade correspondentes às classes de solos encontradas. Em seguida, o mapa de solos foi convertido para o formato *tiff*, resultando na obtenção do mapa do fator K. Para a classificação de erodibilidade do fator K, foram empregados os valores sugeridos por Mannigel *et al.* (2002), baseados no agrupamento de seis classes distintas de capacidade de erodibilidade do solo (Tabela 8).

**Tabela 8 - Classificação da Erodibilidade do Solo.**

CLASSES DE ERODIBILIDADE	ERODIBILIDADE (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Muito Baixa	< 0,0090
Baixa	0,0090 - 0,0150
Média	0,0150 - 0,0300
Alta	0,0300 - 0,0450
Muito Alta	0,0450 - 0,0600
Extremamente Alta	> 0,0600

### 3.4.3 Fator LS

Os fatores L e S foram gerados de forma integrada, dando origem ao fator LS. Antes de gerar o fator LS, foi necessário corrigir as falsas depressões do MDE, com resolução de 30 metros,

utilizando a ferramenta *Fill Sinks* (Wang & Liu) integrada ao *software* SAGA GIS do QGIS. O fator LS foi gerado a partir da aplicação da ferramenta nativa do QGIS, *LS Factor*. Os parâmetros utilizados no cálculo baseiam-se no método desenvolvido por Desment e Govers (1996). Após gerar o produto do fator LS, os valores encontrados foram divididos em quatro categorias (Tabela 9) e classificadas segundo os critérios adotados por Tartari e Constantino (2018).

**Tabela 9 - Classificação dos Valores de LS**

<b>CLASSES</b>	<b>FATOR LS (adimensional)</b>
Baixo	0 - 2
Moderado	2 - 5
Alto	5 - 15
Muito Alto	> 15

#### **3.4.4 Fator CP**

Para a determinação do fator CP, foi utilizado o mapa de uso e cobertura da terra do município de Rio Verde, com base nos dados do MapBiomias, abrangendo os períodos referentes aos anos de 1985, 2005 e 2022. Os valores para o fator CP foram atribuídos conforme a compatibilidade das classes encontradas na legenda do MapBiomias (Coleção 8) e nos valores disponibilizados na literatura (Tabela 10). Inicialmente, os mapas, que estavam em formato matricial, foram convertidos para formato vetorial, e os valores correspondentes a cada código do MapBiomias foram adicionados à sua tabela de atributos. Assim, posteriormente, o arquivo foi convertido para formato *tiff*, dando origem ao mapa do fator CP.

Para a análise da variável CP, algumas classes foram categorizadas com o mesmo valor, assim como demonstrado na tabela 10. Por exemplo, classes como campo alagado, corpos d'água e área urbana apresentam um potencial zero, pois não possuem solo passível de erosão (Matos, 2015). O mesmo ocorre com a classe de agricultura, que incorporou em uma única categoria as culturas como cana-de-açúcar, soja, café, entre outras lavouras temporárias e perenes. As demais classes, por sua vez, continuam se referindo a uma única categoria e ao seu respectivo valor CP.

Tabela 10 - Valores de CP por Classe Obtidos da Literatura

CLASSES	CÓDIGO MAPBIOMAS	FATOR CP (adimensional)	FONTE
Formação Florestal	3	0,00004	Stein <i>et al.</i> (1987)
Formação Savânica	4	0,0007	Oliveira (2012)
Formação Campestre	12	0,01	Oliveira (2012)
Silvicultura	9	0,0001	Stein <i>et al.</i> (1987)
Campo Alagado	11	0	Stein <i>et al.</i> (1987)
Pastagem	15	0,1	Stein <i>et al.</i> (1987)
Mosaico de Usos	21	0,15	Pena (2020)
Área Urbanizada	24	0	Stein <i>et al.</i> (1987)
Outras Áreas não Vegetadas	25	1	Reininger (1992)
Corpos D'água	33	0	Stein <i>et al.</i> (1987)
Agricultura	20, 39, 41, 46 e 48	0,2	Stein <i>et al.</i> (1987)

### 3.4.5 Estimativa da Perda de Solo

Após a determinação individual dos fatores da EUPS no *software* QGIS 3.22.16, empregou-se a ferramenta *Raster Calculator* para efetuar a multiplicação dos quatro fatores em formato *raster* ( $PS = R.K.LS.CP$ ) conforme especificado na equação EUPS. Esse procedimento foi realizado com o intuito de gerar o parâmetro final de perda de solo por erosão laminar, dando origem aos mapas dos resultados de perda de solo (PS) para os anos de 1985, 2005 e 2022.

Os fatores K e LS permaneceram constantes em todas as análises realizadas, uma vez que seus dados apresentam valores estáveis. Enquanto os fatores R e CP foram ajustados conforme as variações ao longo do tempo, dado que são influenciados por variações climáticas e interferências antrópicas. Por fim, os resultados da perda de solo (PS) foram classificados em quatro classes (Tabela 11), conforme proposto por Carvalho (2008).

Tabela 11 - Classes de Perda de Solo.

Classes de Perda de Solo	Perda de Solo (t/ha.ano)
Nula a Moderada	< 15
Média	15 - 50
Média a Forte	50 - 120
Forte a Muito Forte	> 120

### 3.5 Dados e Procedimentos Utilizados para a Identificação das Erosões Lineares

Para identificar as ocorrências erosivas do tipo linear na área de estudo, recorreu-se inicialmente às imagens de satélite do Google Satellite (integrada ao QGIS por meio do *plugin QuickMapServices*). O mapeamento e a interpretação visual das feições erosivas foram realizados na escala 1:10000, e visualização mais detalhada na escala 1:5000, o que, em alguns casos, possibilitou esclarecer possíveis dúvidas quanto à sua interpretação. Posteriormente, após a identificação dos processos erosivos, adotou-se um recorte temporal abrangendo os anos de 2005 e 2022, com o objetivo de realizar uma análise comparativa acerca da evolução desses focos erosivos.

Dessa forma, para a análise das séries históricas, recorreu-se à ferramenta Google Earth Pro, que disponibiliza uma coleção de imagens de diferentes áreas, resoluções e períodos da superfície terrestre (Nunes, 2015). As imagens utilizadas na ferramenta para o ano de 2005 foram fornecidas pelo Centre National d'Études Spatiales (CNES) e pela Airbus Defence and Space. As imagens do ano de 2022 foram fornecidas pela Maxar Technologies. Após a aquisição das imagens externas, exportadas do Google Earth Pro, para ambos os anos, as imagens foram importadas para o QGIS e devidamente georreferenciadas à área de estudo.

Para realizar o mapeamento e identificação das ocorrências de erosões lineares no município, buscou-se priorizar aquelas com aspecto de desenvolvimento mais críticos e passíveis de serem visualizadas na escala adotada, ou seja, não foram incluídas todas as prováveis ocorrências. Posteriormente, discutiu-se acerca das feições encontradas, visando associá-las aos possíveis condicionantes naturais e antrópicos desse processo. Para isso, conforme os procedimentos similares aos aplicados por Barbalho (2010), Nunes e Castro (2021) e Carvalho e Castro (2023), foram cruzadas as informações sobre os aspectos de declividade, dos solos, dos dados pluviométricos, e do uso da terra na área de estudo.

Além disso, os critérios empregados para a identificação das feições erosivas foram baseados nos mesmos procedimentos de interpretação utilizados por Barbalho (2010), Nunes (2015), Akashi Júnior (2020), Nunes e Castro (2021) e Carvalho e Castro (2023). De modo geral, foram consideradas feições erosivas aquelas que apresentavam aspecto prolongado de escoamento, projeção de sombras laterais, presença de bordas íngremes, fundo com aspecto achatado, diferença de coloração mais clara, semelhante a solo exposto, e tonalidades mais escuras próximas ao lençol freático.

A distinção entre os tipos de erosão linear, conforme mencionadas anteriormente, está ligada principalmente à sua intensidade e profundidade. Os sulcos se caracterizam por serem pequenas cavidades lineares, rasas e estreitas. As ravinas apresentam certa semelhança com os sulcos, porém são mais profundas e largas, como pequenos vales (Akashi Júnior, 2020; Carvalho e Castro, 2023). Por sua vez, as voçorocas podem ser diferenciadas por exibirem feições em formato de “U”, sendo extensas e, em algumas situações, ramificadas. Ademais, por estarem relacionadas ao desprendimento constante do fundo e das laterais do canal, possuem aspectos mais profundos, que ficam mais evidentes com o passar do tempo (Nunes (2015); Akashi Júnior (2020) e Carvalho e Castro (2023).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

No primeiro momento, buscou-se expor os resultados encontrados relativos às variáveis da EUPS. Posteriormente, discutiu-se acerca das erosões lineares encontradas na área de estudo. Em ambos os cenários, foram analisados os fatores condicionantes desses processos, incluindo as características naturais e de uso antrópico da área de estudo. Além disso, recorreu-se a outras pesquisas próximas ou inseridas no município de Rio Verde, visando identificar padrões e semelhanças entre os diferentes resultados apresentados na literatura sobre perdas de solo e processos erosivos lineares.

### **4.1 Dados Resultantes das Variáveis da EUPS**

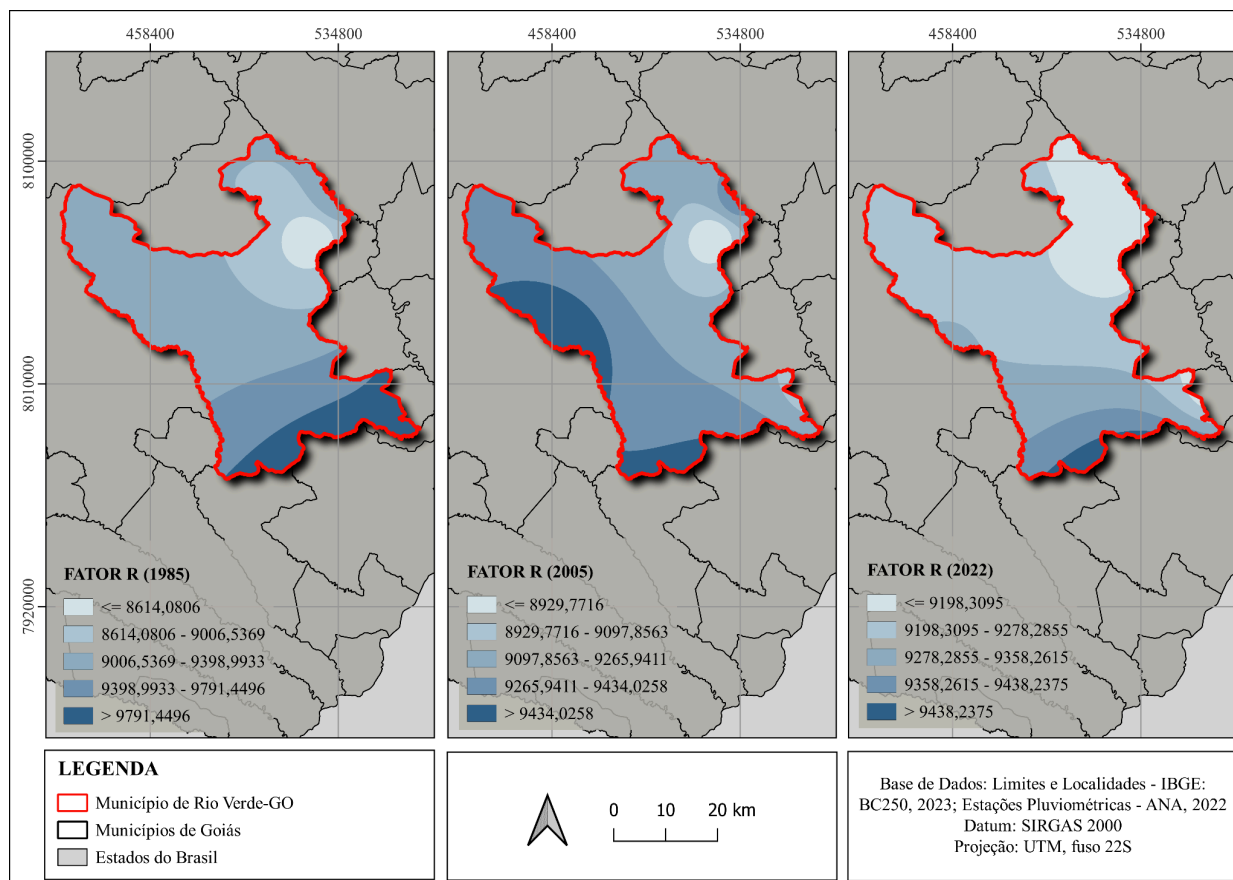
Os resultados foram organizados conforme os anos analisados e seus respectivos fatores R, K, LS e CP. Dessa forma, buscou-se comparar os fatores de forma individual, com base na variação dos valores entre os anos analisados (1985, 2005 e 2022), identificando aqueles com maiores índices, quando aplicável. Em seguida, foi realizada uma análise mais aprofundada, correlacionando não apenas os anos, mas também os fatores entre si, visando compreender a dinâmica da espacialização da perda de solo na área do município de Rio Verde de forma integrada.

#### **4.1.1 Fator R (Erosividade)**

A distribuição espacial de erosividade para cada período analisado é apresentada na Figura 8. Os dados referentes ao regime pluviométrico revelam uma relativa mudança ao longo dos últimos 37 anos. Observa-se que a porção nordeste do município apresentou os menores índices de erosividade em todos os anos, ao passo que a porção noroeste registrou valores mais elevados, com essa tendência se estendendo gradativamente para a região central e sul. A única exceção ocorreu em uma pequena porção no sudeste, nos anos de 2005 e 2022. De modo geral, evidencia-se uma oscilação espacial distinta no comportamento da erosividade em toda a região, porém, sem grandes variações.

A estação pluviométrica de Quirinópolis, localizada ao sul do município, registrou os maiores valores de erosividade em todos os anos analisados. Enquanto os menores valores sofrem variações conforme o ano de análise: em 1985 e 2005, foram registrados na Fazenda Paraíso, no nordeste do município, e, em 2022, na estação pluviométrica de Maurilândia, em uma pequena porção no sudeste do município.

**Figura 8 - Variabilidade Espacial e Temporal do Fator Erosividade entre 1985 e 2022**



Fonte: elaboração própria, 2025.

Os valores encontrados para cada estação pluviométrica e seus respectivos anos estão apresentados na tabela 12. Em 1985, o  $EI_{30}$  registrou a maior variação numérica de erosividade, com valores entre 8.217,825 e 11.487,75  $Mj.mm/ha.h.ano$ . No ano de 2005, o menor valor registrado foi de 8.899,487  $Mj.mm/ha.h.ano$ , à medida que o maior atingiu 10.088,935  $Mj.mm/ha.h.ano$ . Em contraste, no ano de 2022, os valores se mantiveram relativamente próximos, oscilando de 9.049,917 a 9.997,137  $Mj.mm/ha.h.ano$ , indicando uma menor amplitude de variação de erosividade, quando comparado aos anos anteriores.

**Tabela 12 - Variabilidade dos Valores de Erosividade para Cada Ano e Estação Pluviométrica**

ESTAÇÃO	$EI_{30}$ (1985)	$EI_{30}$ (2005)	$EI_{30}$ (2022)
Ponte Rio Verdão	8.998,244	9.252,857	9.246,508
Montividiu	9.013,554	9.213,439	9.208,818
Ponte Rodagem	9.335,224	9.378,897	9.118,255
Ponte Rio Doce	9.279,368	9.602,557	9.280,501
Fazenda Paraíso	8.217,825	8.759,627	9.121,789

Fazenda Aliança	10.060,334	9.354,688	9.680,670
Quirinópolis	11.487,75	10.088,935	9.997,137
Maurilândia	9.993,946	8.899,487	9.049,917

**Fonte:** elaboração própria, 2025.

Com base na classificação de erosividade proposta por Carvalho (2008), os resultados obtidos, para cada uma das estações ao longo dos anos de 1985, 2005 e 2022, enquadram-se entre as classes forte e muito forte. Enquanto a média geral de erosividade em todos os anos analisados foi classificada como forte (7.357 - 9.810 MJ.mm/ha.h.ano), com valores de 9.548,281 MJ.mm/ha.h.ano em 1985, 9.318,811 MJ.mm/ha.h.ano em 2005 e 9.337,949 MJ.mm/ha.h.ano em 2022. Assim, verifica-se que o ano de 1985 apresentou a maior capacidade erosiva anual em relação aos anos subsequentes analisados. Entre 2005 e 2022, observou-se apenas uma leve variação.

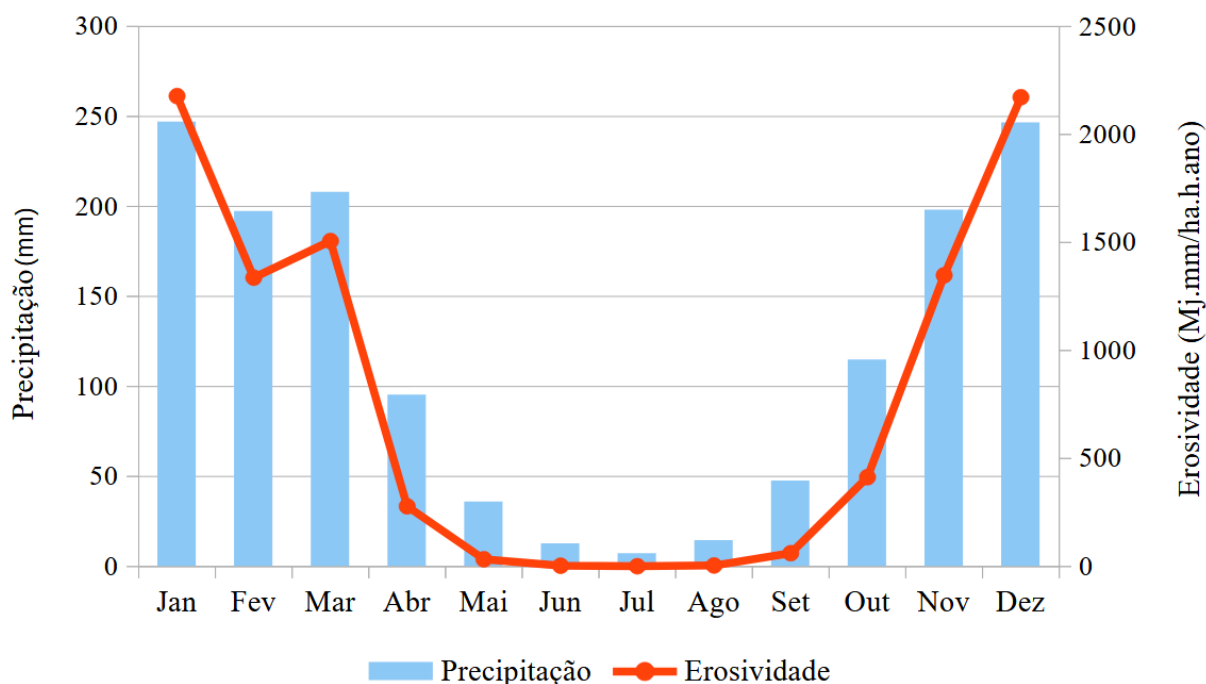
Estudos recentes conduzidos na região do município de Rio Verde, como os de Alves (2019), Nunes (2020) e Silva (2023), que também adotaram a mesma chave de interpretação, identificaram padrões semelhantes, classificando a erosividade como forte em suas áreas de pesquisa. A bacia hidrográfica do Rio Verdinho, situada na porção norte e estendendo-se do nordeste ao noroeste, apresentou um valor médio de erosividade de 8.005,11 MJ.mm/ha.h.ano (Alves, 2019). Na região central do município, Nunes (2020) analisou a bacia hidrográfica do Ribeirão das Abóboras e identificou um valor médio de erosividade de 8.464,80 MJ.mm/ha.h.ano. Enquanto Silva (2023), registrou um valor médio de 8.787,5 MJ.mm/ha.h.ano na bacia hidrográfica do Córrego do Sapo, situada predominantemente na área urbana de Rio Verde.

Outras pesquisas realizadas na região sudoeste do estado e em Goiás também identificaram, respectivamente, valores semelhantes de erosividade. Conforme observado por Oliveira *et al.* (2023) na bacia hidrográfica do Rio Jacuba, localizada entre os municípios de Chapadão do Céu, Mineiros e Serranópolis, os resultados variaram entre 8.408,85 e 8.775,75 MJ.mm/ha.h.ano. Como demonstrado por Pena (2020), ao utilizar o cálculo de três modelos distintos, os de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), Silva *et al.* (1997), e Morais *et al.* (1991), obteve-se um valor médio de erosividade de 8.874,61 MJ.mm/ha.h.ano.

A Figura 9 demonstra a relação direta entre a variabilidade mensal da precipitação e da erodibilidade no município de Rio Verde, registrada com base nos dados de 1972 a 2022. Observa-se que a variabilidade da chuva ao longo do ano evidencia a disparidade nas taxas de erosividade, sendo mais elevadas em determinados meses chuvosos, em contrapartida, nos

períodos de menor precipitação ocorre uma discrepância considerável. Portanto, ao considerar as características de erosividade da região do município de Rio Verde, identifica-se que o fator R apresenta um grande potencial erosivo entre os meses de novembro a março.

**Figura 9 - Variabilidade Mensal da Precipitação e Erosividade em Rio Verde ao Longo de 50 Anos**



**Fonte:** elaboração própria com base em dados da ANA, 2022.

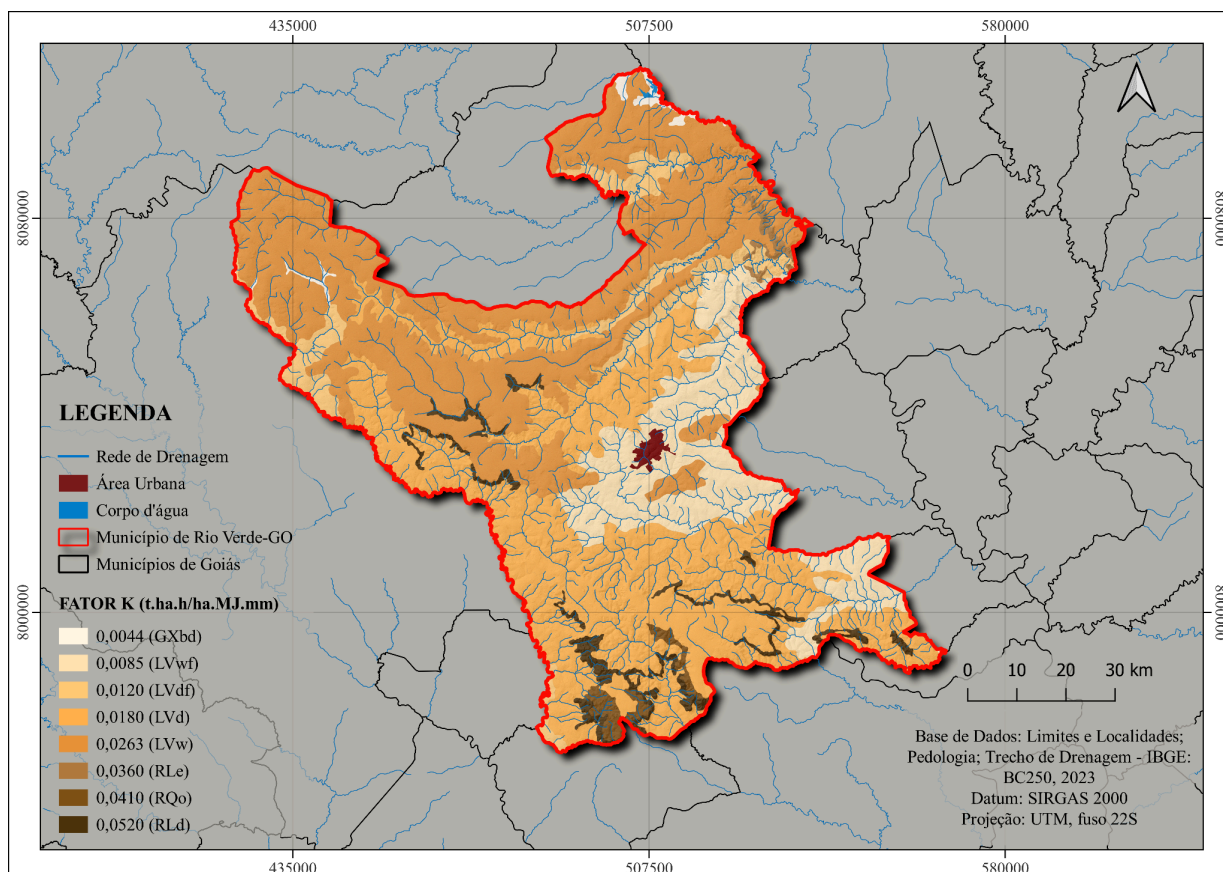
Verifica-se que o fator R é um dos fatores mais influentes na ocorrência de processos erosivos laminares na área de estudo. Destaca-se que o conhecimento acerca do regime pluviométrico é algo essencial para identificar os meses em que a produção agrícola é intensificada, uma vez que correspondem com o período chuvoso (Alves *et al.*, 2018; Pena, 2020; Silva, 2023). À vista disso, baseado no intenso uso de atividades voltadas para a agricultura no município, ressalta-se a necessidade de priorizar práticas de uso e manejo do solo adequadas na região, principalmente durante os meses com índices de chuva mais elevados, para promover a conservação do solo e da água.

#### 4.1.2 Fator K (Erodibilidade)

Os solos que caracterizam a região do município de Rio Verde apresentam uma grande diversidade (Figura 10). No entanto, as classes de Latossolos predominam em quase toda a área, incluindo variações como Latossolos Vermelhos Distróficos (LVd); Latossolos Vermelhos Ácricos (LVw); Latossolos Vermelhos Distroféricos (LVdf); e Latossolos Vermelhos Acriféricos (LVwf).

Ademais, porções intermediárias dos Neossolos Litólicos Distróficos são encontradas a noroeste e, principalmente, na região sul, seguida pelos Neossolos Quartzarênicos Órticos, na região sudoeste. Enquanto as menores porções de solo correspondem ao Gleissolos Háplicos Distróficos (GXbd), localizado na extremidade do nordeste e em uma pequena porção a noroeste, e pelos Neossolos Litólicos Eutróficos (RLe), que ocupa uma pequena área no nordeste da região.

**Figura 10 - Variabilidade Espacial do Fator Erodibilidade**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

De modo geral, os valores atribuídos ao fator K oscilaram entre 0,0044 e 0,052 (Tabela 13). O Gleissolo Háplico Distrófico, com um fator K de 0,0044, exibiu o menor valor de erodibilidade, uma vez que está associado às áreas de relevo com declividade majoritariamente plana. Além disso, os Latossolos também exibiram menores índices de erodibilidade, variando de muito baixa a média, e apresentaram maior tolerância à perda de solo na região (Demarchi; Zimback, 2014). Esse comportamento se deve às suas boas condições físicas e à predominância em áreas de relevo plano e suavemente ondulado. Embora esses solos tenham menores valores de erodibilidade, é importante ressaltar que medidas preventivas devem ser adotadas contra a degradação desses solos, pois, uma vez erodidos, são facilmente transportados (Souza, 2010).

Tabela 13 - Valores e Classificação da Erodibilidade

CLASSES DE SOLOS	CÓDIGO	FATOR K (t.ha.h/ha.MJ.mm)	ÁREA (km <sup>2</sup> )	ÁREA (%)	CLASSES DE ERODIBILIDADE
Gleissolo Háplico Distrófico	GXbd	0,0044	55,79	0,67	Baixa
Latossolo Vermelho Distrófico	LVd	0,0180	3.087,59	36,87	Média
Latossolo Vermelho Distroférico	LVdf	0,0120	527,74	6,3	Baixa
Latossolo Vermelho Ácrico	LVw	0,0263	2.968,33	35,45	Média
Latossolo Vermelho Acriférico	LVwf	0,0085	1.272,05	15,19	Muito Baixa
Neossolo Litólico Distrófico	RLd	0,0520	275,31	3,29	Muito Alta
Neossolo Litólico Eutrófico	RLe	0,0360	48,16	0,58	Alta
Neossolo Quartzarênico Órtico	RQo	0,0410	95,49	1,14	Alta

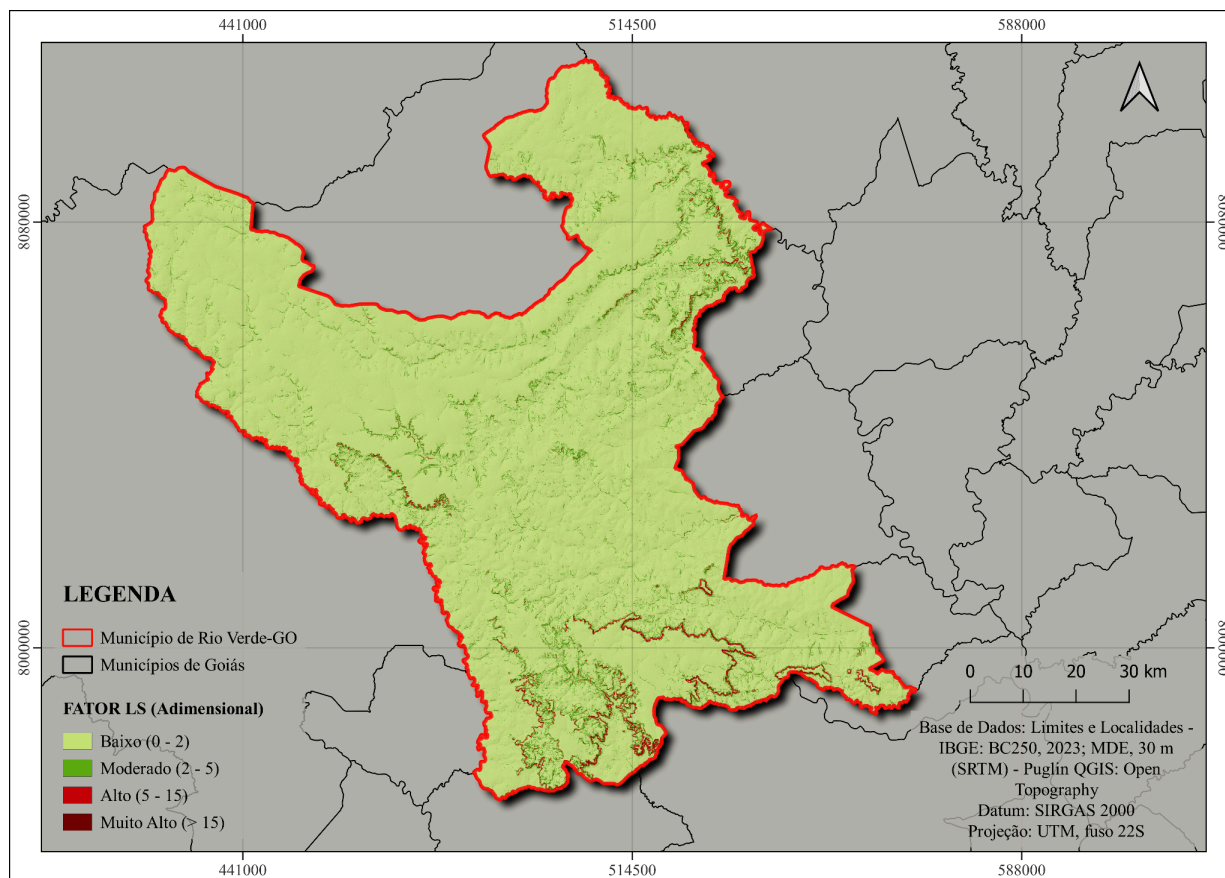
Fonte: elaboração própria, 2025.

As menores tolerâncias a perda de solos foram observadas nos Neossolos, bem como os maiores valores de erodibilidade. O Neossolo Litólico Distrófico apresentou o fator K de 0,052, o mais elevado entre todos, correspondendo a classe muito alta. Esse solo é caracterizado por uma baixa capacidade de retenção de água e uma profundidade efetiva reduzida, além de que sua ocorrência está relacionada às regiões com declive acentuado (ondulados a montanhosos), onde o processo de erosão ocorre naturalmente de forma mais rápida do que a formação do solo (Matos, 2015). Da mesma forma, o Neossolo Litólico Eutrófico e o Neossolo Quartzarênico Órtico também apresentaram alta erodibilidade, relacionada, respectivamente, à menor profundidade e à maior fração arenosa desses solos (Souza, 2010).

#### 4.1.3 Fator LS (Topográfico)

É relevante ressaltar que a inclinação do terreno e o comprimento da encosta determinam o tamanho, o volume e a velocidade do escoamento superficial (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Com base na classificação de Tartari e Constantino (2018), a área de estudo apresenta valores baixos para o fator LS em quase toda a sua extensão, o que coincide com a declividade mais plana e suavemente ondulada da região, com comprimento de rampa mais longo (Figura 11). Por outro lado, nota-se que os valores mais acentuados do fator LS estão relacionados às áreas onde o grau de declividade é relativamente maior, apresentando um relevo que oscila entre forte-ondulado e montanhoso. Ademais, caracterizado por um comprimento de rampa, que tende a ser mais curto.

**Figura 11 - Variabilidade Espacial do Fator Topográfico**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

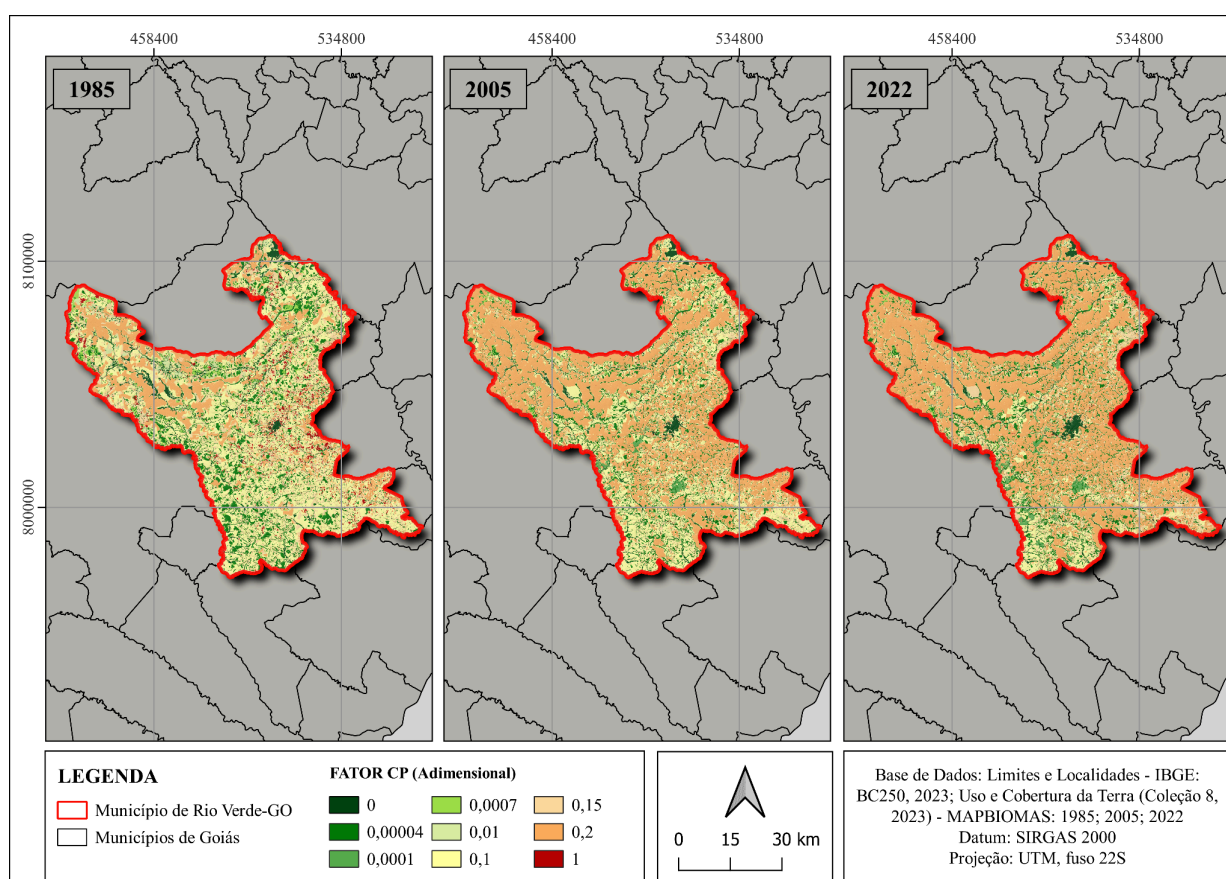
A distribuição da área, conforme as classes do fator LS, revela que a classe de baixo do fator LS abrange a maior parte da área de estudo, totalizando 7.739,51 km<sup>2</sup>, o que corresponde a 92,46% da área. Em contrapartida, a classe moderada ocupa 524,85 km<sup>2</sup>, representando 6,27%. As classes alta e muito alta têm áreas significativamente menores, com 102,73 km<sup>2</sup>, relativo a 1,23% da área, e 3,39 km<sup>2</sup>, compreendendo 0,04%, respectivamente.

Como mencionado anteriormente, a topografia exerce grande influência na ocorrência dos processos erosivos (Silva, 1995; Rosa, 2022; Silva, 2023). Logo, o fator LS está diretamente relacionado a áreas próximas à drenagem da bacia. Nesses locais, devido às inclinações do relevo, a declividade aumenta à medida que se aproxima dos cursos d'água. Conseqüentemente, quanto maior a declividade, mais intenso e ligeiro será o escoamento superficial nessas áreas (Silva, 1995; Silva, 2023). Infere-se que, o fator LS seja determinante na perda de solo onde os valores de LS são especificamente mais altos, contribuindo para o maior efeito na perda de solo devido às suas características topográficas.

#### 4.1.4 Fator CP (Uso e Manejo do Solo)

A análise multitemporal dos cenários do fator CP evidencia mudanças no uso e cobertura da terra no município de Rio Verde (Figura 12). Em 1985, é possível observar que a área apresentava um processo intensivo de antropização, sendo majoritariamente ocupada por pastagens (fator 0,1), enquanto as áreas destinadas às práticas agrícolas (fator 0,2) estavam concentradas em uma pequena porção ao noroeste da região. Ao longo dos anos, as áreas de pastagem foram gradativamente reduzidas para ceder lugar à expansão das monoculturas agrícolas, com uma transição mais evidente entre 1985 e 2005. Entre 2005 e 2022, também se observa uma redução nas áreas de pastagem na região, embora tenha ocorrido de maneira menos acentuada em comparação com a transição da década anterior.

**Figura 12 - Variabilidade Espacial e Temporal do Fator CP entre 1985, 2005 e 2022**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

A partir da tabela 14, é possível observar a dinâmica quantitativa dos valores do fator CP por área em km<sup>2</sup>. Em 1985, a classe com fator CP de 0,1 como apresentado anteriormente, ocupava a maior área do município, com 3.016,83 km<sup>2</sup> (36,02%). No entanto, essa área foi reduzida para apenas 11,28% em 2022, passando a compor a terceira maior área em extensão no

município. Enquanto isso, as áreas destinadas à agricultura obtiveram um crescimento progressivo, saindo de 1.330,36 km<sup>2</sup> (15,89%) em 1985 para 4.662,43 km<sup>2</sup> (55,68) em 2022, ascendendo como a maior área total no município.

**Tabela 14 - Distribuição Temporal das Áreas do Fator CP entre 1985, 2005 e 2022**

CLASSE	FATOR CP	ÁREA (1985)		ÁREA (2005)		ÁREA (2022)	
		km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Áreas Antrópicas e Hídricas	0	467,11	5,58	347,72	4,15	350,78	4,18
Formação Florestal	0,00004	1.018,27	12,16	860,65	10,28	877,50	10,48
Silvicultura	0,0001	0,01	0	65,66	0,78	126,77	1,51
Formação Savânica	0,0007	326,02	3,89	110,04	1,31	90,32	1,08
Formação Campestre	0,01	266,67	3,18	44,84	0,54	50,79	0,61
Pastagem	0,1	3.016,83	36,02	1.893,49	22,61	944,41	11,28
Mosaico de Usos	0,15	1.715,65	20,49	987,49	11,79	1.234,99	14,75
Agricultura	0,2	1.330,36	15,89	4.046,48	48,32	4.662,43	55,68
Outras Áreas não Vegetadas	1	233,32	2,79	13,90	0,17	36,25	0,43

**Fonte:** elaboração própria, 2025.

A segunda classe de maior expressividade em termos de área ocupada nos anos analisados corresponde ao mosaico de usos. Vale destacar que as áreas classificadas nessa categoria representam espaços de uso agropecuário em que os algoritmos empregados não permitem distinguir com clareza entre pastagem e agricultura (Pena, 2020). Conforme a dinâmica observada ao longo dos três períodos indica que o maior valor foi registrado em 1985, correspondendo a 20,49% da área total, seguido de uma redução em 2005 para 11,79% e uma retomada da área ocupada em 2022, evoluindo para 14,75%.

As transformações ocorridas no uso e cobertura da terra em Rio Verde também são corroboradas pela investigação de Siqueira e Faria (2019). Segundo as autoras, entre 1987 e 2016, essas mudanças resultaram não somente na redução das áreas de pastagem, que passaram a se concentrar predominantemente na porção sudoeste do município, mas também na fragmentação e redução de algumas porções de áreas naturais, compostas essencialmente por formação savânica.

Em 1985, apesar da alta antropização ocorrida na área, ainda havia resquícios significativos de vegetação nativa em comparação com os anos de 2005 e 2022. O fator CP de 0,00004 (Formação Florestal) ocupava 12,16% do território, representando a área mais extensa entre todas as coberturas naturais. Em seguida, o fator CP de 0,0007 (Formação Savânica)

ocupava 3,89% (326,02 km<sup>2</sup>) da área. A menor cobertura, representada pelo fator CP de 0,01 (Formação Campestre) continha apenas 3,18% (266,67 km<sup>2</sup>). Entre 1985 e 2005, as áreas de vegetação nativa diminuíram expressivamente: o fator CP de 0,00004, reduziu mais de 15% da sua área, o fator CP de 0,0007 caiu 66,27% e o fator CP de 0,01 sofreu a maior perda, com uma queda de 83,14%.

No entanto, em 2022, observou-se um leve aumento nas áreas de formações naturais, referentes ao fator CP 0,00004 (Formação Florestal) e o fator CP 0,01 (Formação Campestre). Conforme exposto por Siqueira e Faria (2019), a ampliação das áreas com cobertura natural no município, relacionada à formação campestre, ocorreu em detrimento da perda de áreas de pastagens abandonadas e de formações savânicas. A conversão das áreas savânicas para campestres ocorreu especificamente na zona de transição da fitofisionomia parque de cerrado, considerada bastante sensível ao processo de antropização, que resulta na abertura e degradação dessas áreas (Siqueira; Faria, 2019).

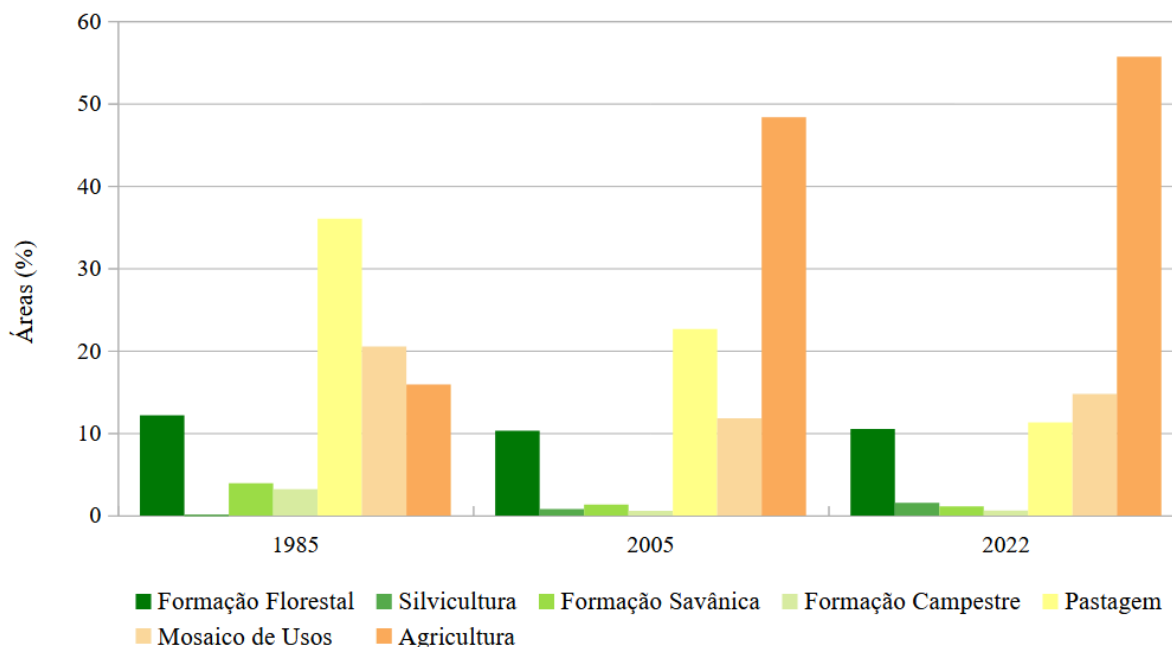
Carneiro *et al.* (2011) observaram que entre 2005 e 2008 houve um crescimento de 6,4% nas áreas compostas pela mata ciliar, a qual está vinculada a formação florestal. O autor destaca que essa fitofisionomia é classificada como Área de Preservação Permanente (APP), uma vez que está associada aos cursos d'água. Assim, apresentam uma função ambiental relevante, caracterizando-se como importantes remanescentes, contribuindo para a manutenção da conectividade com as outras áreas, além de desempenharem um papel fundamental no auxílio da redução de processos erosivos (Momoli *et al.*, 2012). Apesar das variações entre decréscimos e acréscimo de área, em todos os três anos analisados, manteve-se sempre na quarta posição entre as maiores áreas em extensão no município.

Segundo Nunes (2020), o aumento das áreas vegetadas pode ser atribuído à implementação de políticas públicas no município voltadas ao reflorestamento de APPs. A Lei nº 5.090, de dezembro de 2005, que instituiu o Código Ambiental Municipal, e a Lei Municipal nº 6.033, de 28 de outubro de 2011, que criou o Programa Produtor de Água (PPA), ambas posteriormente alteradas pela Lei nº 6.290, de 23 de agosto de 2013, reforçaram a manutenção da qualidade dessas áreas (RIO VERDE, 2005; RIO VERDE, 2013; Nunes, 2020).

Além disso, Siqueira e Faria (2019) evidenciam que o aumento dessas áreas naturais também está relacionada a obrigatoriedade do Cadastro Ambiental Rural (CAR), registro público que integra informações ambientais dos imóveis rurais, composto por uma base de dados de controle, monitoramento, planejamento ambiental, econômico e combate ao desmatamento

(Brasil, 2012). Dessa forma, como descrito pelas autoras, muitos proprietários de posses rurais isolam as áreas protegidas com objetivo de prevenir possíveis penalidades ambientais.

**Figura 13 - Histórico de Uso e Cobertura da Terra em Função dos Fatores CP entre 1985, 2005 e 2022**



Fonte: elaboração própria, 2025.

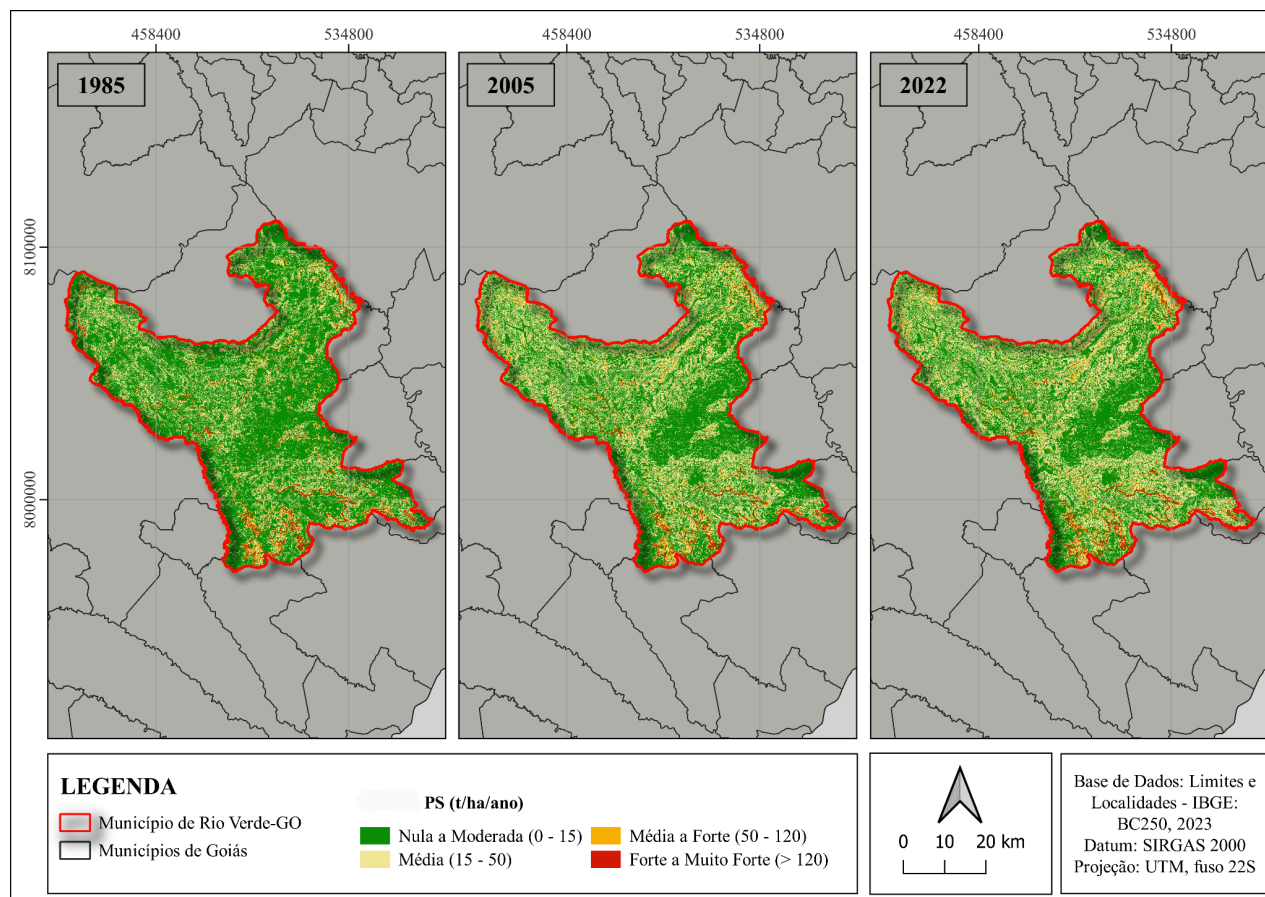
O município de Rio Verde possui 9 classes distintas de classificação integrada do fator CP; contudo, apenas quatro delas se destacam pelo maior uso e cobertura territorial: Formação Florestal (0,00004), Pastagem (0,1), Mosaico de Usos (1,5) e Agricultura (0,2). Nota-se que, entre as quatro classes predominantes, três são influenciadas pelo uso antrópico, enquanto apenas uma, a de menor ocorrência, refere-se à cobertura natural. Como analisado e evidenciado na Figura 13, os fatores CP 0,1 e 0,2 registraram as maiores variações de área ocupada ao longo dos anos observados. Entre as classes, a Agricultura foi a única que apresentou um crescimento contínuo, passando de menos de 20% de área em 1985 para mais de 50% em 2022, consolidando-se como o principal uso no município.

#### 4.1.5 Resultado da EUPS (Perda de Solo)

A estimativa de perda de solo por erosão laminar ao longo dos 37 anos analisados resultou em três cenários distintos, correspondendo aos anos de 1985, 2005 e 2022, a partir do cruzamento dos dados dos Fatores R, K, LS e CP (Figura 14). Destaca-se o fator LS, como o principal potencializador da perda de solo, embora seja o fator mais relevante, sua abrangência está restrita a áreas específicas do município. Ademais, o levantamento dos cenários indicou que o fator R

manteve, em todos os anos analisados, um alto índice de erosividade em toda a área, configurando-se como um fator de grande influência na perda de solo. De maneira geral, constatou-se que os fatores exercem influência distinta, dependendo de como estão associados.

**Figura 14 - Variabilidade Espacial e Temporal da Perda de Solo entre 1985, 2005 e 2022<sup>1</sup>**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

A seguir, apresenta-se a distribuição espacial dos cenários analisados em relação à extensão de área ocupada. Em 1985, as áreas que correspondiam às classes de perda de solo nula a moderada envolviam uma área total de 66,90% (Tabela 15), representando a maior extensão, quando comparadas às outras classes de perda de solo de maior vulnerabilidade. Em 2005, as áreas com perda de solo nula a moderada tiveram uma redução e passaram a corresponder a 57,06% da área total, enquanto o conjunto de classes média, média a forte e forte a muito forte, detinham 42,94% da área. Isso evidenciou um aumento considerável das áreas com maior perda de

<sup>1</sup> A resolução espacial dos dados do projeto MapBiomass, correspondente ao fator CP, não é compatível com a escala do resultado do mapa (1:250.000). Dessa forma, optou-se por realizar a análise em uma escala regional, a fim de garantir coerência entre os dados utilizados e a representação cartográfica resultante.

solo, quando comparada ao ano de 1985, que detinham 33,10%, portanto, refletindo uma intensificação na perda de solo no município.

**Tabela 15 - Evolução das Classes de Perda de Solo em Rio Verde entre 1985, 2005 e 2022**

CLASSES DE PERDA DE SOLO	ÁREA EM 1985		ÁREA EM 2005		ÁREA EM 2022	
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%
Nula a Moderada	5.599,55	66,90	4.775,85	57,06	4.526,91	54,08
Média	2.198,64	26,26	3.066,91	36,64	3.226,60	38,55
Média a Forte	370,414	4,42	392,644	4,69	463,207	5,53
Forte a Muito Forte	202,762	2,42	134,897	1,61	153,869	1,84

**Fonte:** elaboração própria, 2025.

Por sua vez, as transformações ocorridas na dinâmica de perda de solo entre 1985 e 2022, considerando as áreas de nula a moderada, registraram uma redução de 19,16%, e novamente outra queda de 5,21% entre 2005 e 2022. As classes com maior perda de solo, referentes a média e média a forte, enquanto isso, obtiveram um aumento de 43,61% entre 1985 e 2022, e de 6,66% entre 2005 e 2022. Ademais, chama-se atenção para a classe forte a muito forte, que obteve uma redução de 24,12% entre 1985 e 2022, e posteriormente um aumento de 14,06% entre 2005 e 2022. Nota-se que, os valores de 2022 mostraram maior disparidade em relação a 1985 do que a 2005. À vista disso, infere-se que as alterações na perda de solo ocorridas entre 2005 e 2022 demonstram maior estabilidade do que aquelas ocorridas entre os anos de 1985 a 2022.

No entanto, embora a transição de perda de solo entre os anos de 2005 e 2022 tenha ocorrido de forma menos expressiva, os valores totais de perda de solo nas classes mais altas continuam a crescer em detrimento da classe de menores índices erosivos. Isso resultou em um aumento dessas classes, correspondendo a 45,93% da área total, consolidando-se como a maior em todos os anos analisados. Logo, o aumento na perda de solo ocorreu de forma contínua entre os anos de 1985, 2005 e 2022.

Com base na tabela 16, as classes com maior mudança entre 1985 e 2022 foram as classificadas como nula a moderada e média, mas a dinâmica entre elas ocorreu de forma distinta. A classe nula a moderada registrou uma redução absoluta de 12,82% em sua área total, enquanto a classe de perda de solo média teve um aumento absoluto de 12,29% em sua abrangência. Outra classe que também apresentou crescimento, embora de forma menos significativa, foi a classe

média a forte, com um aumento absoluto de 1,11% relativo à área total. A transição de crescimento das classes mais altas ocorreram principalmente em áreas que anteriormente tinham menor potencial de perda de solo. Por fim, a classe forte a muito forte obteve uma redução absoluta de 0,58% nas áreas com taxas mais críticas de perda de solo.

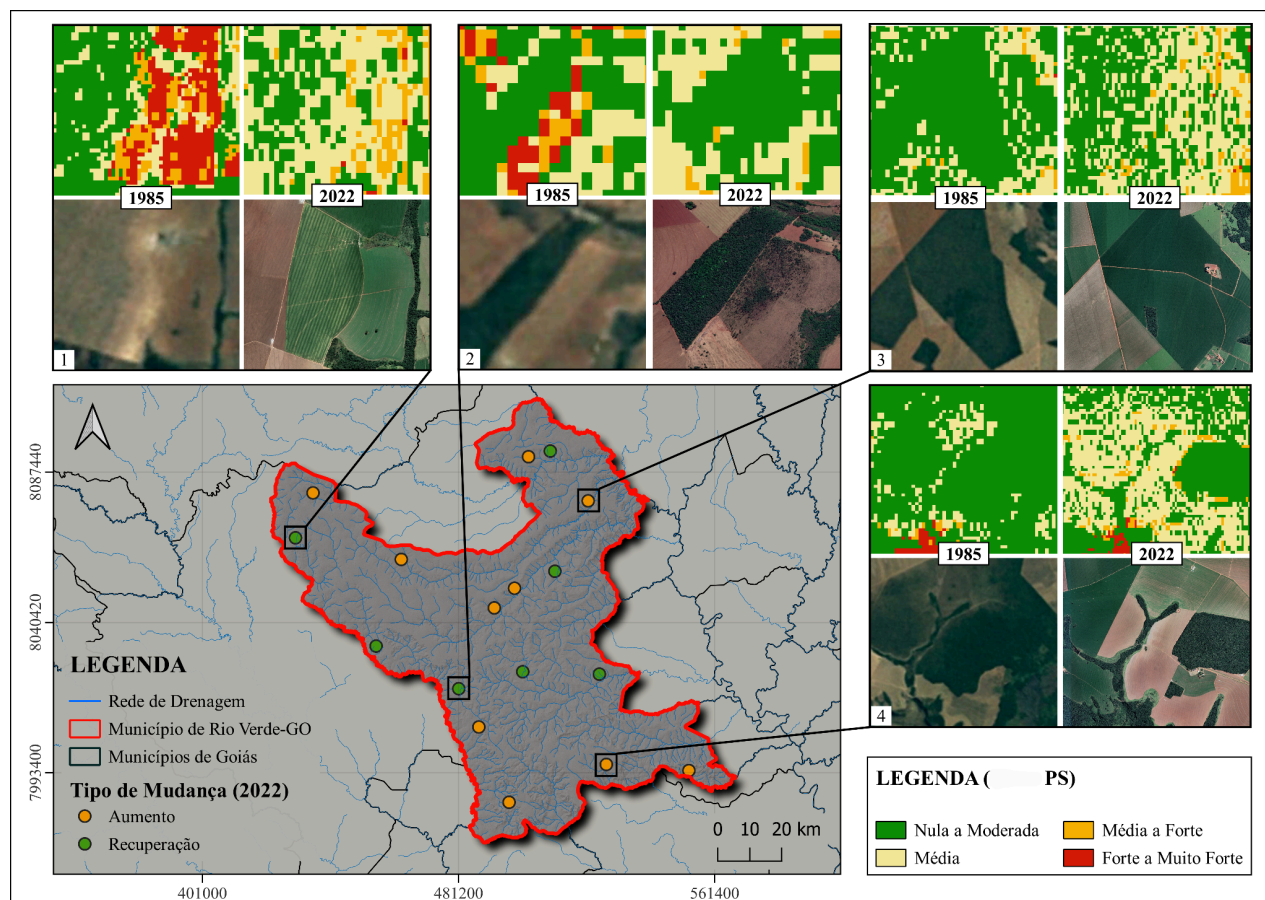
**Tabela 16 - Transição das Classes de Perda de Solo entre 1985 e 2022**

Classe 1985	Área Total da Classe 1985 (%)	Classe 2022	Área Total da Classe 2022 (%)	Tipo de Mudança
Nula a Moderada	66,90	Nula a Moderada	44,17	Sem mudança
Nula a Moderada		Média	20,82	Aumento
Nula a Moderada		Média a Forte	1,53	Aumento
Nula a Moderada		Forte a Muito Forte	0,36	Aumento
Média	26,26	Nula a Moderada	7,91	Recuperação
Média		Média	15,83	Sem mudança
Média		Média a Forte	2,33	Aumento
Média		Forte a Muito Forte	0,20	Aumento
Média a Forte	4,42	Nula a Moderada	1,37	Recuperação
Média a Forte		Média	1,35	Recuperação
Média a Forte		Média a Forte	1,34	Sem mudança
Média a Forte		Forte a Muito Forte	0,36	Aumento
Forte a Muito Forte	2,42	Nula a Moderada	0,63	Recuperação
Forte a Muito Forte		Média	0,55	Recuperação
Forte a Muito Forte		Média a Forte	0,33	Recuperação
Forte a Muito Forte		Forte a Muito Forte	0,92	Sem mudança

**Fonte:** elaboração própria, 2025.

A dinâmica da transição entre o aumento e a redução da perda de solo em algumas áreas pode ser observada na Figura 15. No ponto 1, em 1985, as áreas com características de antropização, evidenciadas pela presença de solo exposto, foram classificadas com perda de solo forte a muito forte, tornando-as mais suscetíveis aos processos erosivos. Como já constatado, essas áreas são mais vulneráveis à compactação devido ao impacto direto da chuva, e, como não há cobertura vegetal, a infiltração da água no solo é reduzida, intensificando o escoamento superficial e potencializando a ocorrência de erosão. Contudo, em 2022, essa área passou a ser utilizada para atividades agrícolas, e a alteração no valor de PS indicou uma leve recuperação em comparação a 1985.

Figura 15 - Área com Transições nas Classes de Perda de Solo entre 1985 e 2022



Fonte: elaboração própria, 2025.

No ponto 2, também ocorreu uma considerável redução das taxas de perda de solo, passando de forte a muito forte para nula a moderada, evidenciando uma recuperação da área. Em 1985, a região apresentava características de solo exposto, enquanto em 2022, observa-se uma recuperação resultante da implementação de práticas de reflorestamento, silviculturas, voltadas à restauração dessas áreas anteriormente degradadas. Diferente das áreas com solo exposto, as áreas com cobertura vegetal criam condições propícias para a estabilização dos solos, atuando como uma barreira física que reduz o impacto direto da chuva e o escoamento superficial, além de aumentar a infiltração da água.

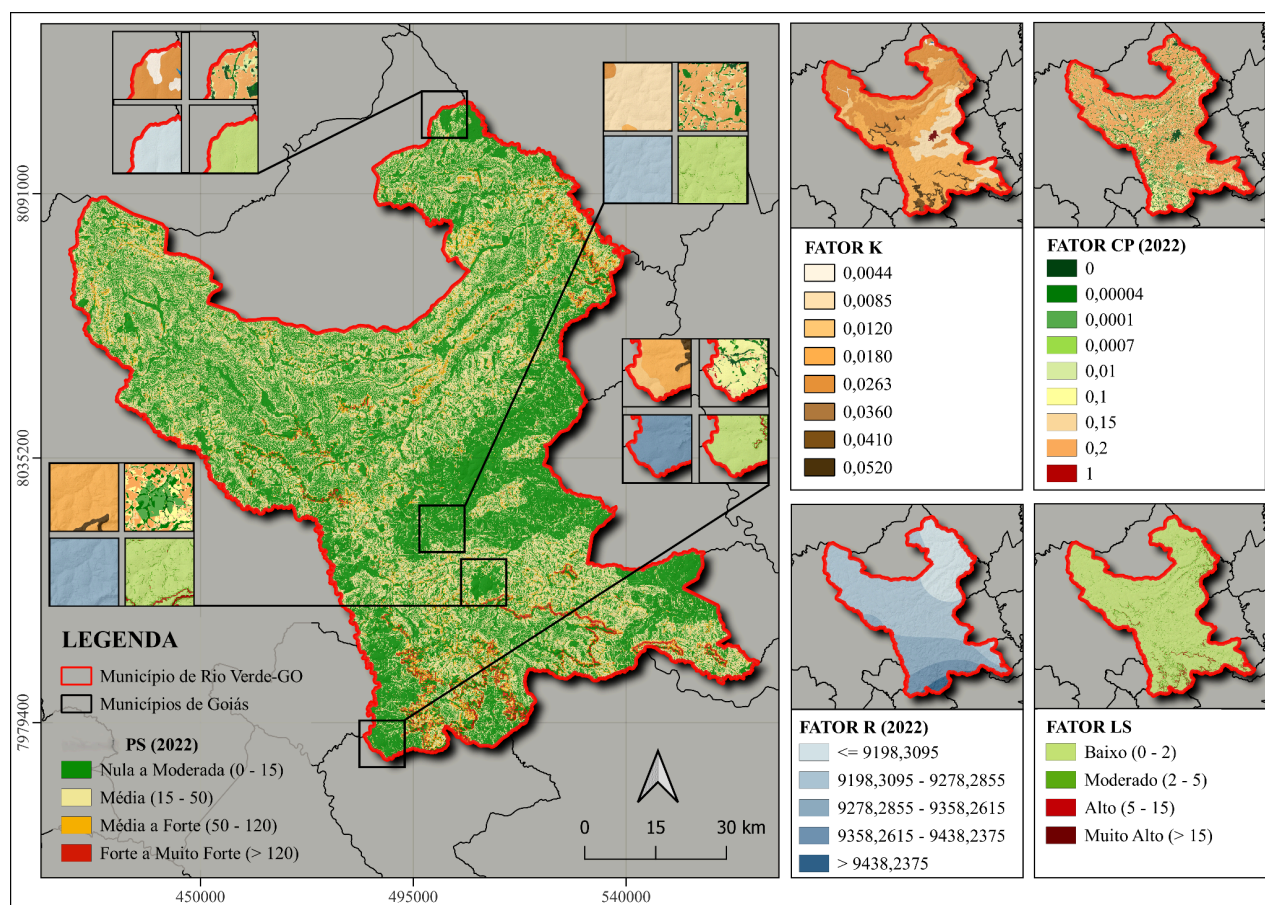
Nos pontos 3 e 4, a transição das classes ocorreu de forma semelhante, com a mudança de nula a moderada para a classe de perda de solo média. Em 1985, predominavam áreas com cobertura vegetal característica de formações florestais. No entanto, em 2022, essas áreas foram substituídas por práticas agrícolas, o que resultou em um aumento nas taxas de perda de solo. Nota-se, que as áreas mantidas com vegetação demonstram maior eficiência na redução dos

processos erosivos quando comparadas às atividades voltadas à agricultura. Dessa forma, estabelece-se um paralelo entre o ponto 2 e os pontos 3 e 4, em relação à transição dessas áreas e seus respectivos resultados.

#### 4.1.5.1 Classe de Perda de Solo Nula a Moderada

O potencial de erosão classificado entre nulo e moderado, apesar de ter experienciado uma redução em ocorrência entre 1985 e 2022, ainda corresponde a classe com maior predominância em quase toda extensão do município. Observa-se que o baixo índice dessa classe de perda de solo é mais evidente em extensão na porção central da região e em menores porções no extremo sudeste e sudoeste, onde os valores permaneceram relativamente reduzidos ao longo dos três períodos analisados. As propriedades que compõem os fatores K e LS podem ser um dos principais elementos explicativos para esses resultados (Figura 16). No geral, os fatores K identificados na área apresentam baixa a média erodibilidade e estão localizados em áreas com baixo valor do fator LS, associados principalmente a relevos com declividade mais suaves.

**Figura 16 - Fatores Relacionados às Áreas com Perda de Solo Nula Moderada (2022)**



Fonte: elaboração própria, 2025.

Embora as áreas com menor perda de solo tenham ocorrido majoritariamente em regiões com reduzidos valores dos fatores K e LS, considerando a extensão em área, esses não são os únicos fatores determinantes. Há também áreas com valores mais elevados desses fatores, que ainda assim, apresentam baixo potencial de erosão laminar. Como observado por Souza (2010) e Nunes (2015), isso se deve ao fato de que essas regiões possuem alta cobertura vegetal, que desempenham um papel fundamental na redução dos processos erosivos laminares. Diante disso, mesmo em regiões com elevados valores de K e LS, quando correlacionada a um baixo índice do fator CP, apresentam menor potencial de perda de solo.

Quanto às áreas de maior abrangência da perda de solo nula a moderada, chama-se a atenção para alguns solos. O Fator K (0,0044), referente ao Gleissolo Háptico Distrófico, está diretamente relacionado às áreas de baixa erodibilidade. A reduzida capacidade de ocorrência de erosão laminar nessas áreas está associada ao fato de estarem inseridas em fundos de vale, que geralmente acumulam a deposição de sedimentos, o que conseqüentemente reforça a sua estabilidade (Barbalho, 2010; Souza, 2010). A ocorrência desse tipo de solo está limitada a apenas 0,67% da área total, na porção nordeste e noroeste do município.

Como mencionado anteriormente, esses solos são encontrados em áreas próximas aos cursos d'água, vinculadas às áreas com características de formação florestal, onde se encontram as matas ciliares e, portanto, as APPs. Isso reforça a explicação dessas áreas apresentarem baixo potencial a perda de solo. Por outro lado, as áreas fora dos limites da proteção ambiental exibem atividades ligadas predominantemente à agricultura. Apesar desse solo apresentar baixa fertilidade natural e problemas com acidez, seu potencial para o uso agrícola é aproveitado quando os níveis dos elementos químicos encontrados nesse solo são devidamente controlados (EMBRAPA, 2021).

O fator K (0,0085), equivalente ao Latossolo Vermelho Acriférico, apresentou o segundo menor índice de erodibilidade da região, indicando uma erodibilidade muito baixa. Isso está relacionado a suas características, com elevada porosidade que proporciona uma drenagem eficiente, enquanto sua textura argilosa e estrutura homogênea em profundidade contribui para sua estabilidade. Destaca-se que as boas condições físicas desses solos, em conjunto com o relevo suave, favorecem o estabelecimento das atividades agrícolas nessas áreas, assim como em outras áreas compostas por outros tipos de Latossolos Vermelhos (Akashi Júnior, 2020; EMBRAPA, 2021).

O Latossolo Vermelho Distroférico, referente ao fator K (0,0120), registrou um baixo valor de erodibilidade. A área composta por esse solo, localizada na região sudoeste do município,

é predominantemente ocupada por atividades vinculadas à pastagem. Segundo Pruski (2006), as pastagens oferecem uma boa proteção aos solos contra a erosão, desde que o manejo seja devidamente adequado, como o uso de sistema de rotação do pastoreio e a prática de plantio periódico. Inácio *et al.* (2007) com base na análise da microbacia do ribeirão Salomea (BA), confirmaram que a cobertura vegetal, constituída por gramíneas de pastagem e associada a uma baixa declividade, inferior a 9%, contribui para a proteção do solo contra a erosão.

Em relação ao fator K (0,0180), Latossolo Vermelho Distrófico, embora evidencie uma capacidade média de erodibilidade, ainda assim corresponde a algumas áreas com perdas de solo menos expressivas. Isso ocorre pelo fato dessas áreas estarem predominantemente ligadas à vegetação natural, composta pelos menores valores dos fatores CP, como o 0,00004 (formação florestal), 0,0001 (silvicultura) e 0,0007 (formação savânica). Além disso, as áreas com menor perda de solo, que coincidem com esse tipo de solo, estão relacionadas à pastagem, em áreas de baixa declividade, igualmente próximas às áreas correspondentes ao fator K (0,0120) encontrado na porção sudoeste.

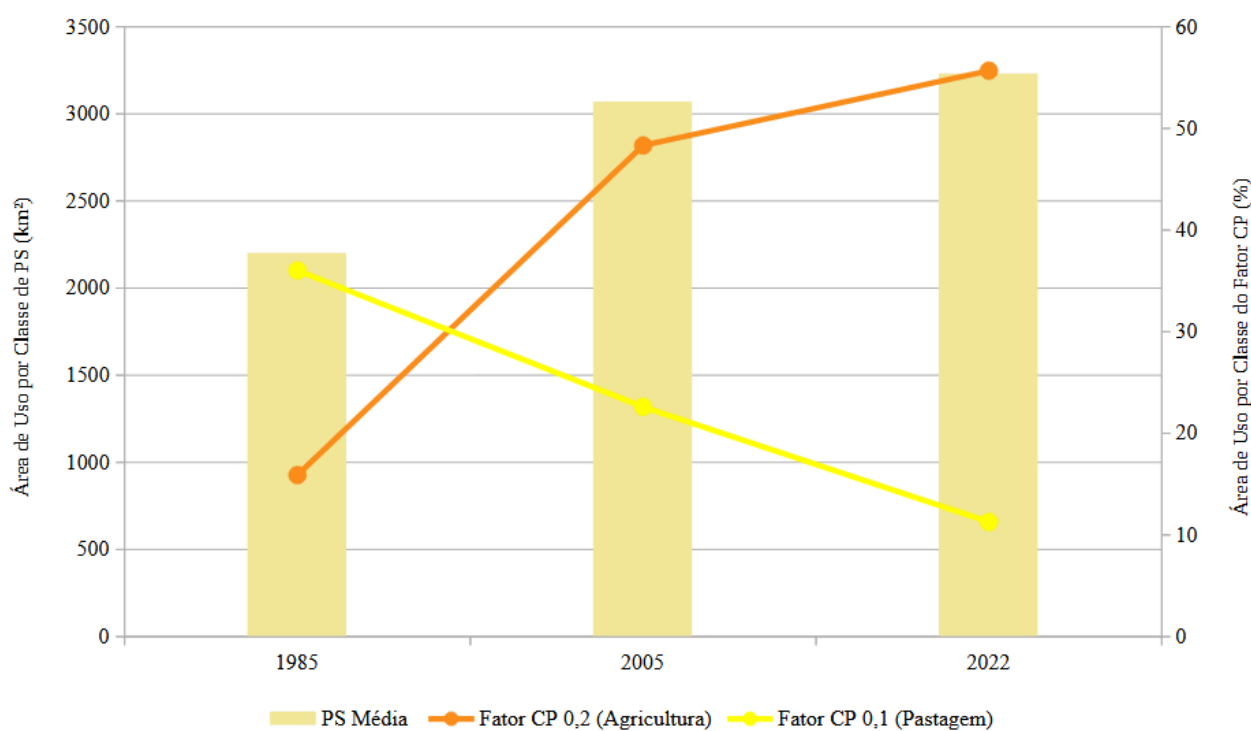
Por outro lado, chama-se atenção para o fator R, que, assim como o fator CP (0,2), apresenta valores elevados, refletindo a alta intensidade das chuvas e das acentuadas atividades antrópicas em toda a região, o que poderia potencializar os riscos de erosão nessas áreas. No entanto, a combinação dos baixos valores dos fatores K e LS se sobressai, uma vez que diminuem os efeitos da alta erosividade e do uso da terra. Infere-se, que as características físicas do solo e da topografia da região oferecem uma proteção considerável contra os processos erosivos laminares. Assim como também identificado por Nunes (2015), onde as áreas com baixo potencial de erosão laminar, mesmo sob o uso predominante da agricultura, exibiam essa característica devido à presença dos Latossolos Vermelhos em terrenos de baixa declividade.

#### **4.1.5.2 Classes de Perda de Solo Média**

A classe de perda de solo média se destaca como a segunda mais prevalente em termos de área ocupada, a qual apresentou um aumento expressivo ao longo do recorte temporal dos três anos analisados. Em 1985, essa classe correspondia a 26,26% da área total, passando para 36,64% em 2005, e posteriormente expandindo para 38,55% em 2022. Possivelmente, o aumento dessa classe no município resulta da interação entre fatores antrópicos e naturais, influenciados principalmente pelo fator CP (0,2), em conjunto com os fatores R e K, relacionados também a um relevo preponderantemente plano a suave-ondulado.

A partir da Figura 17 é possível observar que as áreas de pastagem apresentaram uma extensão de área de perda de solo inferior quando comparadas às práticas agrícolas. Isso pode ser explicado pelo fato de que as áreas de agricultura tendem a causar impactos ambientais mais significativos em comparação com as áreas de pastagem (Siqueira; Faria, 2019). Uma vez que as pastagens, quando presentes em áreas de relevo mais plano e com boa cobertura vegetal, oferecem uma proteção constante do solo (Lima *et al.*, 2018). Ressalta-se, que a expansão das atividades agrícolas contribuíram para o aumento na perda de solo média no município de Rio Verde nos últimos anos, uma vez que avançaram consideravelmente em detrimento, principalmente, das áreas de pastagem em terrenos mais planos.

**Figura 17 - Perda de Solo Média e sua Relação com a Área de Uso**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

Os resultados obtidos confirmam dados semelhantes apresentados por outros autores. De acordo com Souza (2010), em estudo realizado na bacia do Ribeirão Sozinha (GO), as áreas com médio potencial de erosão laminar estavam localizadas em regiões com intensa atividade antrópica, como agricultura e pastagem, em solos predominantes de Latossolos. Conforme observado por Nunes (2015), no município de Mineiros e regiões limítrofes, às áreas com médio potencial de erosão também estiveram associadas aos Latossolos Vermelhos em terrenos de relevo suave-ondulado a ondulado, com predomínio de atividades agrícolas.

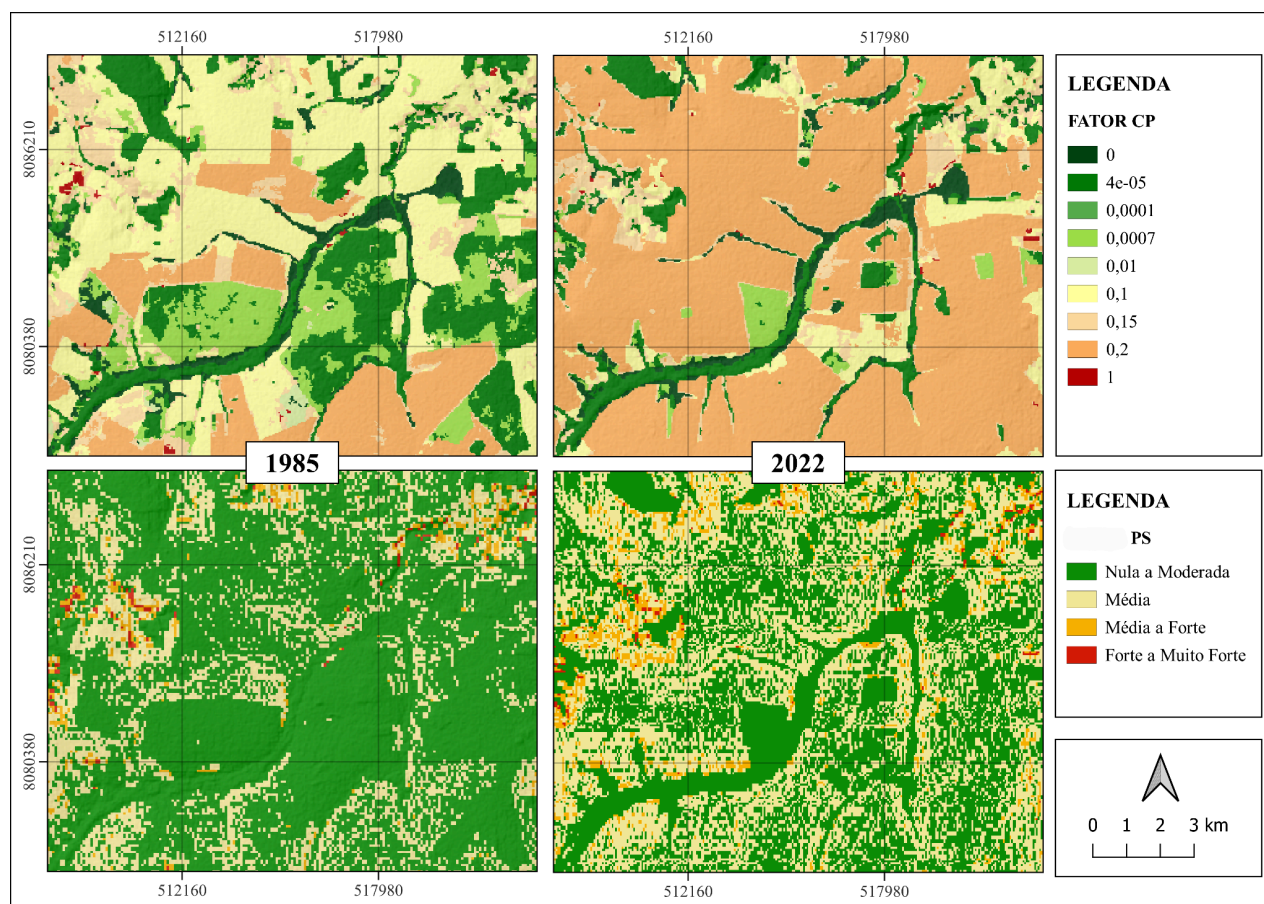
Alves (2019), na bacia hidrográfica do Rio Verdinho, obteve os valores de maior perda de solo nas categorias de agricultura, pastagem e solo exposto. Onde as áreas destinadas à produção agrícola apresentaram resultados semelhantes, com a perda de solo variando de média a muito forte. Os resultados obtidos por Pena (2020) para o estado de Goiás constataram que, entre os três principais tipos de uso da terra, agricultura, pastagem e mosaico de usos, as atividades agrícolas foram as que apresentaram o maior potencial de causar erosão laminar.

As áreas com perda de solo média correspondem aos Latossolos Vermelhos, incluindo os Ácricos, Distróficos, com erodibilidade média, e os Distroféricos, com baixa erodibilidade. De modo geral, esses solos apresentam características semelhantes, ocorrem em topografias majoritariamente planas a suavemente onduladas e possuem uma boa estrutura física. Os Latossolos Vermelhos Distróficos e os Ácricos são os mais predominantes em área ocupada, representando, respectivamente, 36,87% e 35,45% da área total do município. Essa grande extensão confere a esses solos uma relevância expressiva, uma vez que estão associados essencialmente às áreas com as taxas médias de perda de solo.

Chama-se a atenção para os Latossolos Vermelhos Distroféricos, fator K (0,0120) e para os Distróficos, fator K (0,0180), que exibem comportamentos distintos em relação à perda de solo, dependendo do tipo de uso e cobertura a que o solo está submetido. Como observado anteriormente, acerca destes solos, as áreas destinadas à pastagem e com cobertura vegetal, apresentaram baixas taxas de perda de solo. Por outro lado, em áreas com extensas produções agrícolas, o potencial erosivo aumenta. Por sua vez, os Latossolos Vermelhos Ácricos, fator K (0,0263), estão inseridos na porção norte e em uma menor parte da região centro-leste do município. Essas áreas correspondem majoritariamente às de maior produção agrícola, vinculadas igualmente à classe de perda de solo média.

Na Figura 18, é possível observar que, em 1985, havia presença de vegetação nativa associada à formação florestal (fator CP 0,00004) e à formação savânica (fator CP 0,0007), resultando em menores taxas de perda de solo, classificadas como nulas a moderadas. No entanto, com o avanço das atividades agrícolas, grande parte dessa vegetação foi suprimida, restando apenas vestígios. Entre 1985 e 2022, a área passou a ser utilizada para atividades agrícolas, o que elevou o potencial de perda de solo, aumentando principalmente para a classe média. Resultados acerca da conversão dessas áreas naturais em antrópicas também foram observados por Pena (2020) ao analisar uma região no município de Niquelândia, que teve um aumento na perda de solo após a substituição da vegetação nativa para áreas agropecuárias.

**Figura 18 - Relação das Classes de Uso e Cobertura e Processos Erosivos entre 1985 e 2022**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

Destaca-se que no município de Rio Verde, a prática de manejo do solo está associada ao plantio direto, que corresponde a cerca de 90% da produção total das culturas. Segundo Akashi Júnior (2020), essa prática é utilizada principalmente em áreas de produção agrícola em larga escala, a qual se configura como uma estratégia de produção que condiciona uma maior fertilidade do solo e da qualidade ambiental. No entanto, mesmo com a adoção de práticas conservacionistas, a perda de solo pode continuar ocorrendo devido à associação de fatores como a inclinação do terreno, a média erodibilidade dos solos e a suscetibilidade ao escoamento superficial, especialmente durante períodos chuvosos.

Logo, evidencia-se a influência do fator R na área, no qual, os meses de maior intensidade pluviométrica e de erosividade coincidem com o período de safra, principalmente da soja e milho, o que agrava consideravelmente as taxas de perda de solo devido à maior exposição do solo e à intensificação das atividades agrícolas durante esse período (Alves *et al.*, 2018; Pena, 2020; Silva, 2023). Souza (2010) e Lima *et al.* (2018) destacam que, isso acontece porque, nas primeiras

semanas após o plantio, as áreas ainda possuem baixa densidade de cobertura vegetal, pois a estrutura de folhagem não se desenvolveu o suficiente para garantir a proteção do solo.

Ademais, Bertoni e Lombardi Neto (2010) destacam que o impacto da precipitação sobre o solo exposto, como observado em áreas recém-plantadas, pode promover o desprendimento e o transporte das partículas do solo. Isso ocorre porque o excesso de água que cai na superfície se espalha, atuando na remoção dos solos de forma uniforme e no transporte dos sedimentos para as partes mais baixas da encosta e da área de plantio (Souza, 2010). Dessa forma, quando o solo se encontra desprotegido, o escoamento superficial é consideravelmente intensificado, mesmo em solos mais resistentes como os Latossolos Vermelhos (Silva, 2023).

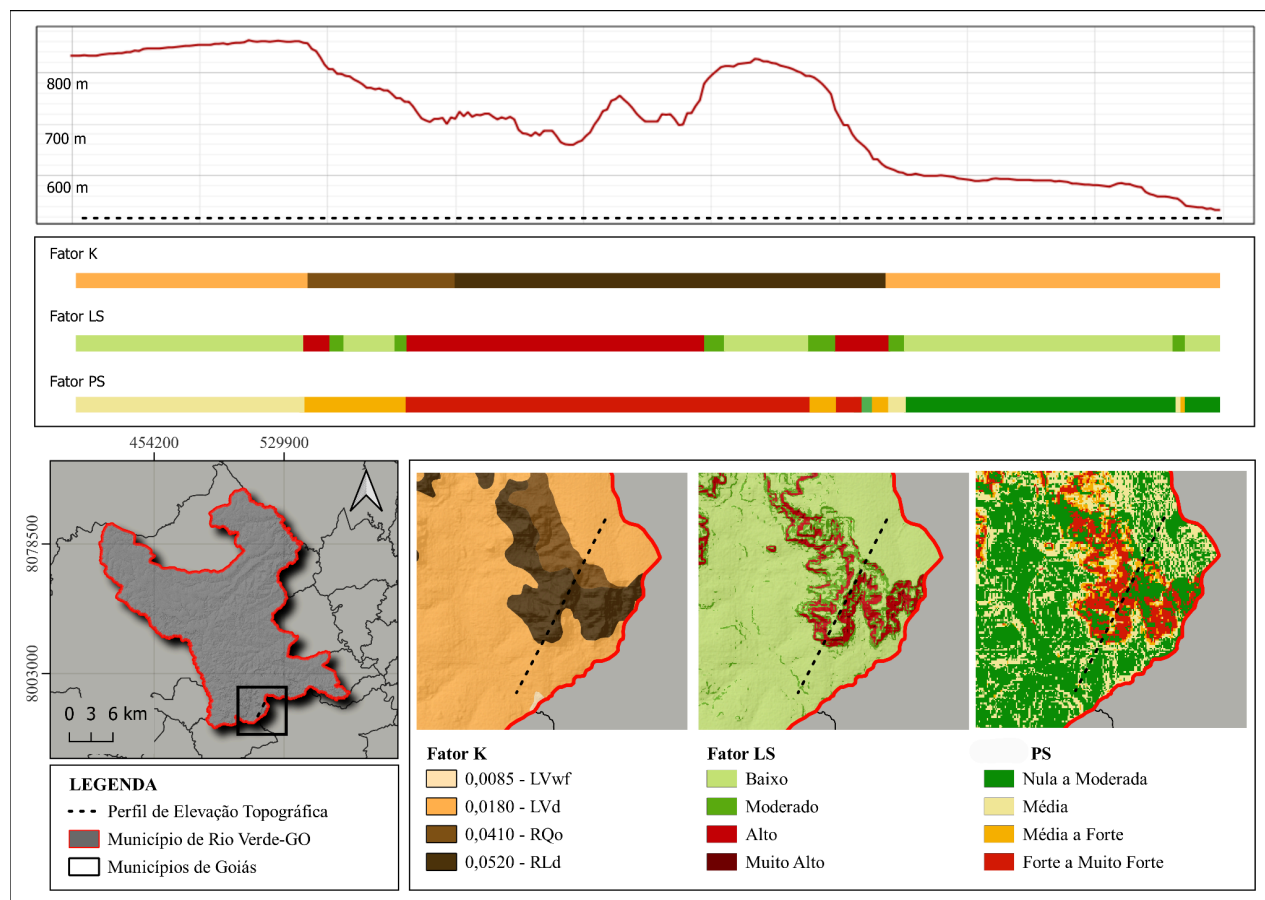
Conforme exposto por Momoli *et al.* (2012), uma das melhores práticas de manejo conservacionista para áreas agrícolas, envolve a preservação das fitofisionomias de mata ciliar e de mata galeria. Visto que o desenvolvimento das raízes das árvores nesses locais proporciona maior retenção de sedimentos e diminui a velocidade do escoamento na vertente a montante (Silva, 1995; Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Momoli *et al.*, 2012).

#### **4.1.5.3 Classe de Perda de Solo Média a Forte e Forte a Muito Forte**

Assim como a classe de perda de solo média, a classe média a forte também experienciou um crescimento, passando de 4,42%, em 1985, para 5,53%, em 2022. Por outro lado, a classe forte a muito forte registrou uma redução entre 1985 e 2005, passando de 2,42% para 1,61%, seguida por um leve aumento entre 2005 e 2022, atingindo 1,84%. Ambas as classes constituem a menor parte da área em extensão, porém representam as perdas mais significativas. Nas áreas em que a perda de solo se enquadra nessas classes, observa-se uma relação predominante com solos caracterizados por alta erodibilidade e baixa capacidade de tolerância à erosão, onde são encontrados os Neossolos Litólicos Distróficos, fator K (0,0520), os Neossolos Litólicos Eutróficos, fator K (0,0360), e os Neossolos Quartzarênicos Órticos, fator K (0,0410).

Além disso, verifica-se um aumento da declividade em determinadas áreas, resultando em um elevado valor do fator LS, que apresenta, previamente, condições naturais propícias para o desenvolvimento dos processos erosivos (Figura 19). Como descrito anteriormente, esse fenômeno ocorre devido à inclinação do terreno próximo aos cursos d'água. Com o aumento da declividade, a velocidade do escoamento superficial também cresce, favorecendo o processo de erosão e do arraste de sedimentos para as partes mais baixas dos corpos hídricos (Silva, 1995; Bertoni e Lombardi Neto, 2010; Silva, 2023).

**Figura 19 - Relação entre o Perfil Topográfico, os Fatores K e LS e a Perda de Solo Estimada (PS) em 2022**



**Fonte:** elaboração própria, 2025.

Outro fator importante a ser considerado é a elevada erosividade das chuvas nessa região, na qual a intensidade do escoamento superficial se torna um elemento crítico, principalmente em áreas com o relevo mais movimentado e de solos frágeis. Além disso, esse conjunto de condições, quando relacionado ao uso da terra para atividades de pastagem, intensifica as perdas de solo na área, elevando-as para as classes média a forte e forte a muito forte. Esse padrão foi observado na região sudoeste do município, onde atuam, eventualmente, tanto variáveis naturais quanto as antrópicas como condicionantes dos processos erosivos laminares.

As áreas formadas por Neossolos são geralmente recomendadas e adequadas para preservação e reflorestamento (Barbalho, 2010; EMBRAPA, 2021). Contudo, no município, essas áreas apresentam coberturas vegetais que compartilham espaço com o intenso uso da pastagem, e uma menor porção, para as práticas agrícolas. O uso desses solos para a produção de culturas e para atividades de pastagem também são comuns em outras regiões brasileiras, como São Paulo, Ceará, Bahia, Minas Gerais e Rio Grande do Sul (EMBRAPA, 2021).

O amplo processo de expansão agrícola influenciou diretamente a degradação e na retração das áreas de formação florestal e de pastagem para as áreas mais íngremes (Momoli; Cooper, 2016; Nunes e Castro, 2021). Isso porque as características do solo, quando associadas ao relevo, impõem limitações significativas ao desenvolvimento de atividades agrícolas. Em razão dessas restrições, as áreas mais declivosas e compostas pelos Neossolos são predominantemente atribuídas à pastagem, além de também ocupadas por cobertura vegetal de formação florestal.

Os resultados que relacionam o maior potencial de erosão laminar em áreas com elevados valores dos fatores R, K, CP e LS também são corroborados por outros autores em diferentes áreas de estudo. Os resultados obtidos por Inácio *et al.* (2007), Rosa (2022) e Silva (2023) indicaram que a perda de solo nas áreas destinadas à pastagem aumenta à medida que a declividade se torna mais acentuada, coincidindo com as áreas onde o fator LS é mais elevado. Alves (2019) havia evidenciado que as áreas com maior perda de solo estavam relacionadas não apenas ao fator LS, mas também aquelas com maiores valores de erodibilidade do fator K. Ademais, Duarte *et al.* (2022), observaram que a associação entre os fatores R, K e LS, potencializaram a suscetibilidade da área aos processos erosivos, na bacia hidrográfica do Rio Jacuba-GO.

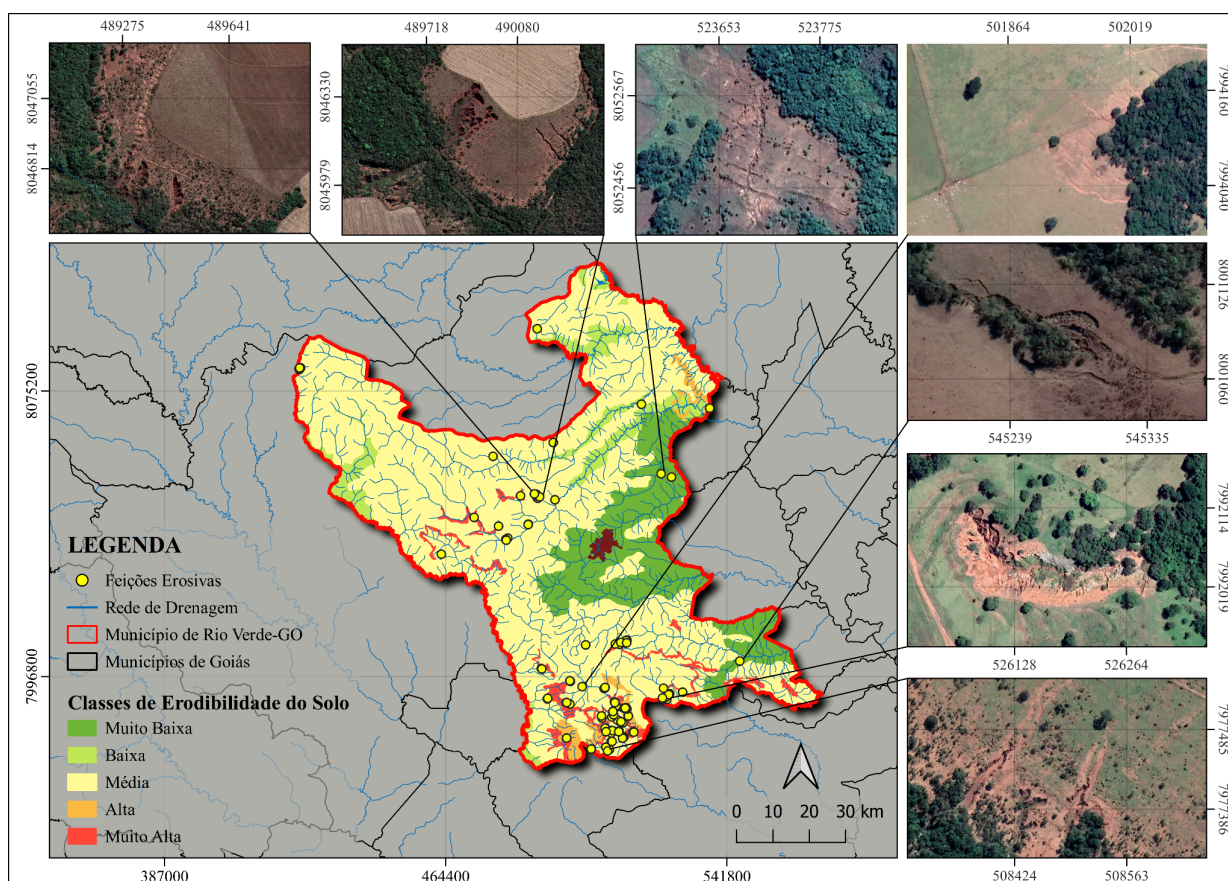
Souza (2010) identificou que as áreas com alto potencial de erosão laminar estavam localizadas em Neossolos Litólicos, especialmente em terrenos declivosos ausentes de cobertura vegetal. Nunes (2015) e Lima *et al.*, (2018), acrescentam a associação dos Neossolos, com uso predominante de pastagem. Além dessas áreas, Pena (2020) destaca que, as áreas de mosaico de usos (classe sem distinção precisa entre o uso de mosaico de agricultura x pecuária), estão relacionadas às áreas onde os fatores K e LS são mais elevados. Aponta-se, que os altos valores atribuídos aos fatores K e LS nas áreas de mosaico de usos podem ser justificados por conta de também corresponderem a áreas de pastagens e não de agricultura, uma vez que as atividades de pastagem estão associadas a ocorrência simultânea desses fatores.

Chama-se a atenção para o controle das altas taxas de erosão no uso da terra destinado à pastagem, considerando que o manejo inadequado dessas áreas influenciam diretamente na formação e intensificação dos processos erosivos, gerando como consequência a remoção da camada de solo e o transporte desses sedimentos para os corpos hídricos (Alves, 2019). Portanto, destaca-se a importância da adoção de medidas conservacionistas, como a manutenção da cobertura vegetal, rotação do sistema de pastejo, divisão racional das pastagens em piquetes, calagem e adubação dos solos distróficos, construção de curvas de nível, descompactação do solo, bem como do cumprimento da legislação vigente (Townsend *et al.*, 2012; Alves, 2019).

## 4.2 Ocorrências de Erosões Lineares no Município de Rio Verde, Goiás

A partir da inspeção visual realizada no município de Rio Verde, foi possível identificar várias feições erosivas em diferentes estágios de desenvolvimento (Figura 20), as quais estão concentradas majoritariamente em áreas compostas por Latossolos Vermelhos, que correspondem a 81,60% do total da área. No qual, 78,40% são formados por solos de média erodibilidade, e os outros 3,20% estão relacionados aos solos com capacidade de erodibilidade muito baixa e baixa. Enquanto os outros 18,40% estão associados às áreas constituídas por Neossolos Quartzarênicos Órticos e Litólicos Distróficos, solos de erodibilidade alta e muito alta.

**Figura 20 - Espacialização das Erosões Lineares e Erodibilidade do Solo no Município de Rio Verde**



**Fonte:** imagens do Google Earth Pro, 2022. Elaboração própria, 2025.

Ademais, as erosões estão concentradas na porção sudoeste do município, predominantemente em áreas de pastagem, além de também estarem inseridas ou próximas a áreas com cobertura de formação florestal. As feições erosivas encontradas na porção norte da região apresentaram o mesmo padrão de ocorrência, incluindo áreas com solo exposto. A partir disso, verifica-se que os resultados obtidos são similares e corroboram com os apontados anteriormente por outros autores acerca de estudos realizados no estado de Goiás.

Barbalho (2010) ao avaliar a distribuição das ocorrências de erosões lineares nas bacias dos rios Claro e dos Bois, constatou que a maior parte dos focos erosivos encontrados estavam em áreas de pastagem, correspondendo a 60,87%, seguido por áreas compostas por formação florestal, com 23%. Segundo a autora, o elevado valor atribuído às pastagens pode estar relacionado principalmente ao manejo inadequado dessas áreas e do gado. Quanto aos solos onde essas erosões ocorreram, evidenciou-se que 35% estavam associadas às áreas com formação de Latossolos Vermelhos, e 5,82% constituído por Neossolos Litólicos e Quartzarênicos.

Souza (2010) identificou diversos processos erosivos na bacia hidrográfica do Ribeirão Sozinho, incluindo a formação de ravinas e sulcos, localizados em áreas com formação de Neossolos Litólicos, solos altamente vulneráveis à erosão, também caracterizados por alta erodibilidade. Essas erosões foram relacionadas às áreas de alto declive, onde o escoamento superficial encontra trilhas de gado, além da compactação do solo causada pelo pisoteio do gado em áreas de pastagem.

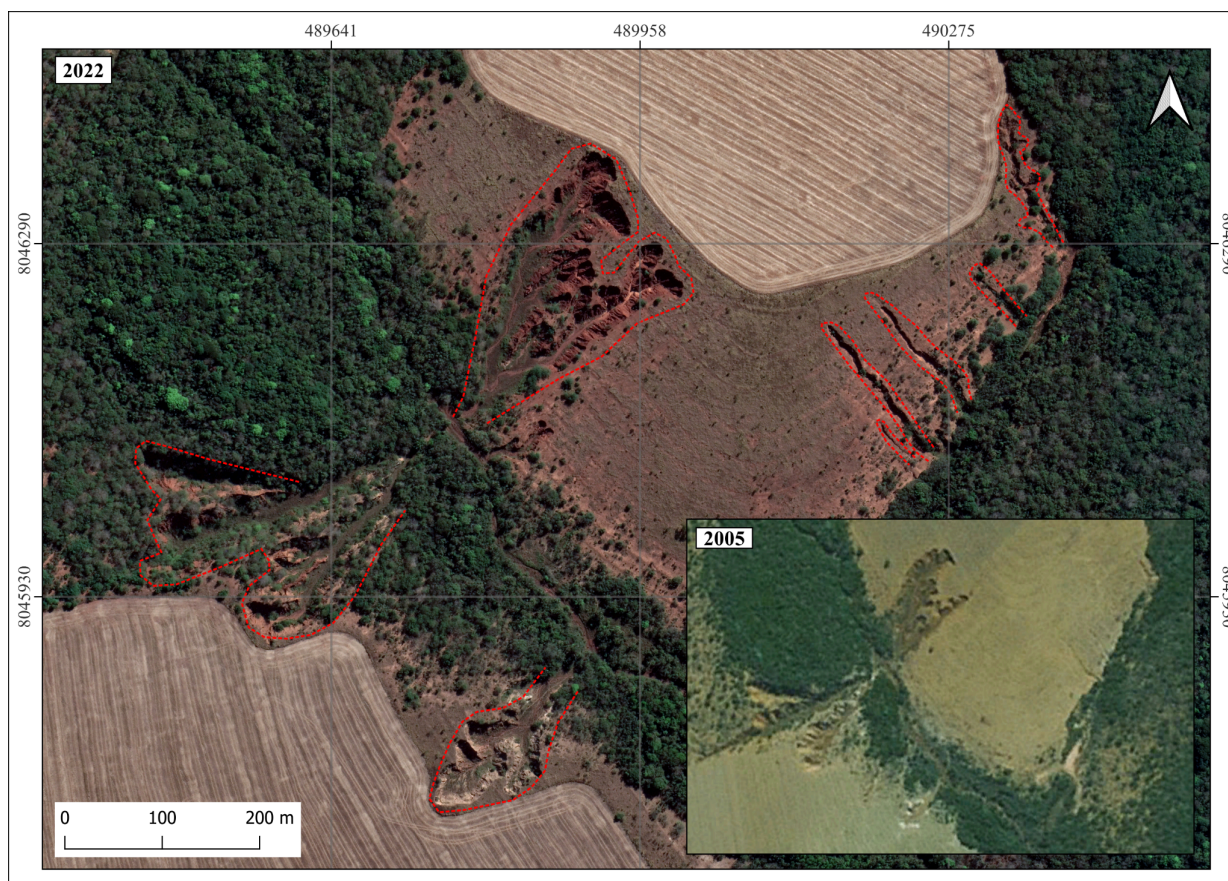
Nunes e Castro (2021) analisaram a relação entre a dinâmica de mudança no uso e cobertura do solo e o surgimento de erosões lineares em quatro municípios da região sudoeste do estado de Goiás, entre 1985 e 2014. Os resultados obtidos permitiram identificar que, nos anos mais recentes desse período, entre 2005 e 2014, a maior parte dos focos erosivos estavam concentrados em áreas de solo exposto e pastagem, correspondendo a 38% e 55,8%, respectivamente. A elevada densidade de focos erosivos nessas áreas também estavam associadas aos Neossolos Litólicos e Quartzarênicos.

Além disso, os autores evidenciaram que as áreas com menor quantidade de focos erosivos foram identificadas em solos formados por Latossolos Vermelhos e Gleissolos Háplicos, onde se verifica a predominância das atividades voltadas à agricultura. O mesmo pôde ser observado no município de Rio Verde, onde as menores quantidades de focos erosivos lineares, ou até mesmo a ausência destes, esteve ligada principalmente às áreas destinadas às práticas agrícolas, bem como constituídas pelos mesmos solos. É relevante ressaltar que, embora os Latossolos Vermelhos também tenham apresentado os maiores índices erosivos, seu comportamento varia conforme o uso do solo. Nas áreas de pastagem, esses solos mostraram maior suscetibilidade à erosão, enquanto nas áreas destinadas à produção agrícola, registraram as menores ocorrências.

Na Figura 21, é possível observar a evolução de distintas feições erosivas entre 2005 e 2022. Em 2005, nota-se que a área apresentava alguns processos erosivos em desenvolvimento, similares a três voçorocas e sulcos, os quais ocorriam em uma área isolada com curvas de nível,

porém, sem aparente característica definida acerca do seu uso, seja para produção agrícola ou para atividades voltadas à pastagem. No entanto, em 2022, ocorreram reconfigurações nos limites das áreas próximas aos focos erosivos, as quais foram delimitadas e passaram a apresentar um uso evidente destinado às atividades agrícolas.

**Figura 21 - Erosões Lineares Próxima às Áreas Agrícolas na Porção Norte do Município**



**Fonte:** imagens do Google Earth Pro analisadas na série histórica de 2005 e 2022. Elaboração própria, 2025.

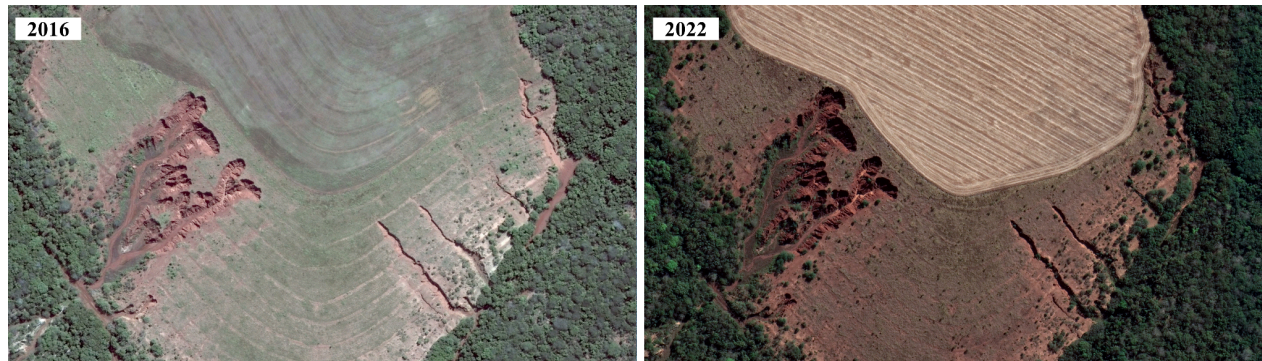
Em relação às erosões, de modo geral, em 2022, é notável o avanço de duas voçorocas, bem como da transição dos sulcos em uma voçoroca e em três ravinas. É relevante mencionar que os sulcos observados em 2005 poderiam ter sido facilmente controlados por maquinários de preparo do solo (Carvalho e Castro, 2023). Contudo, devido à negligência no controle do estágio inicial dessas erosões em 2005, houve um agravamento visível desses processos erosivos em 2022.

Quanto às voçorocas localizadas a oeste do curso d'água, entre 2005 e 2022, apenas uma das feições exibiu indícios de estabilização. O processo de contenção pode ter ocorrido devido ao isolamento e consequente recuperação da vegetação presenciada na área, composta por

características de formação florestal. A dinâmica de estabilização e regeneração observada em uma das voçorocas, ocorreu igualmente, como verificada por Faria *et al.* (2017), ao analisarem a erosão Chitolina, localizada no município de Mineiros, em Goiás, vizinho a Rio Verde. Enquanto a outra voçoroca apresentou um perceptível crescimento entre os dois anos analisados, provavelmente, o processo de estabilização não tenha ocorrido, dada a menor densidade de cobertura vegetal em seu entorno.

Os resultados expostos na Figura 21, das feições erosivas inseridas próximas às áreas agrícolas, situadas a leste do curso d'água, também foram abordados por Alves (2019), em análise comparativa acerca da evolução dessas erosões entre 2009 e 2016. Na Figura 22, são discutidas as mudanças observadas na área, considerando o intervalo de seis anos entre a primeira e a segunda análise. No aspecto geral, houve algumas alterações na evolução das ravinas e voçorocas, as quais apresentam maior profundidade, bem como no crescimento aparente da feição superior à esquerda da imagem. Ademais, outra mudança verificada foi uma sutil perda das gramíneas na área, possivelmente compensada pelo aumento da quantidade de arbustos.

**Figura 22 - Evolução dos Processos Erosivos Lineares entre 2016 e 2022**

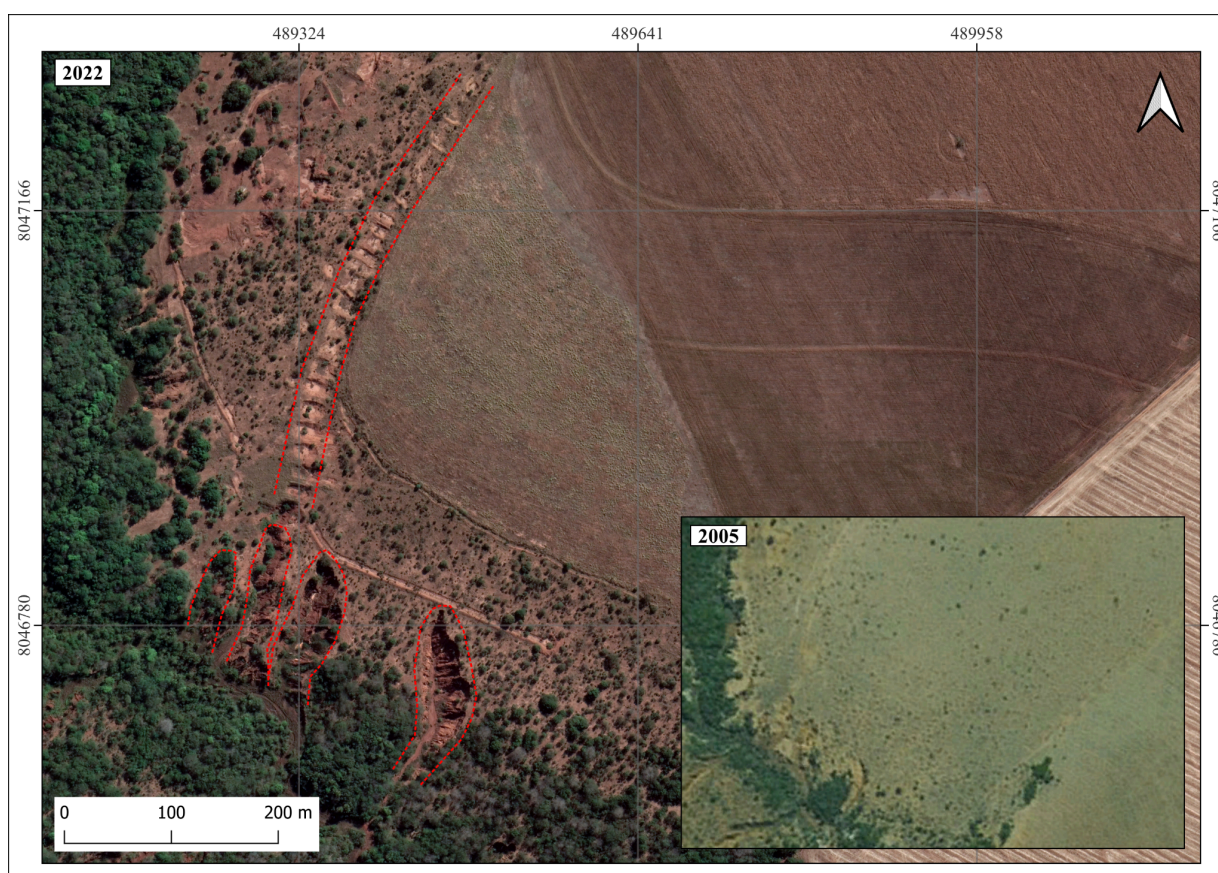


**Fonte:** imagens do Google Earth Pro analisadas na série histórica de 2016 e 2022. Elaboração própria, 2025.

As variações altimétricas na área são moderadas, com declividade média de 5,55%. A voçoroca mais ramificada, à esquerda, apresenta uma queda de aproximadamente 17 metros, de 796 m para 779 m, ao longo de 303,66 metros. As demais feições erosivas, à direita da imagem, variam de 794 m a 784 m em 182,54 metros. Ressalta-se que o surgimento dessas erosões pode estar relacionado à má locação e ao dimensionamento inadequado das curvas de nível, bem como da ausência ou falta de manutenção dessas estruturas, fatores que contribuem para o agravamento do processo erosivo.

Outras feições erosivas também foram identificadas a montante, próximas à divisão das nascentes do mesmo curso d'água em que se encontram as erosões expostas na Figura 21. A partir da Figura 23 é possível observar que, em 2005, a área em questão era destinada à pastagem, além disso, apresentava quatro focos erosivos similares a voçorocas localizadas a leste do curso d'água. As duas voçorocas visíveis a oeste do curso d'água, em 2005, não foram consideradas, uma vez que não foram catalogadas na análise de 2022, pois já exibiam indícios de estabilização.

**Figura 23 - Voçorocas e Aterros de Contenção Próximos à Área de Agricultura na Porção Norte do Município**

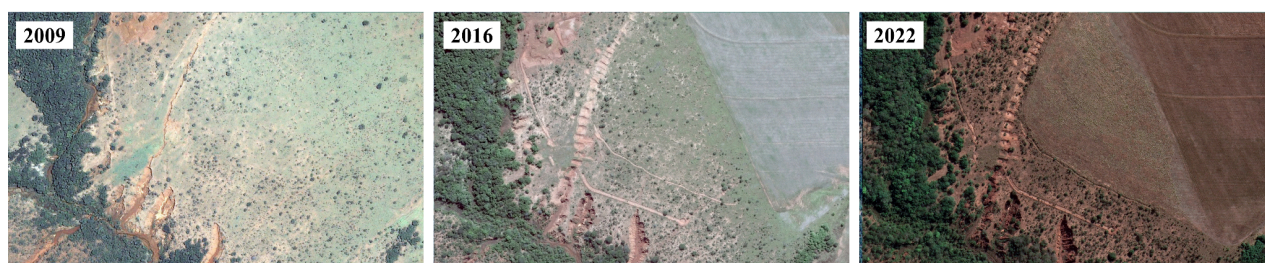


**Fonte:** imagens do Google Earth Pro analisadas na série histórica de 2005 e 2022. Elaboração própria, 2025.

Em 2022, houve alterações no uso da área adjacente às erosões, a qual antes apresentava características de ocupação semelhantes às de áreas de pastagem, passou a ser destinada às atividades agrícolas. Essa dinâmica em relação às mudanças ocorridas no uso da terra exemplificam e confirmam os resultados apresentados anteriormente acerca da expansão das atividades agrícolas em detrimento das áreas voltadas à pastagem. Ademais, outra mudança perceptível na área está relacionada ao avanço considerável de duas das quatro voçorocas identificadas em 2005.

Com base nas imagens históricas do Google Earth, antes da instalação dos aterros, a área apresentava um caminho marcado por uma extensa fenda no solo, visível a partir de 2009, que se estendia até a área de voçoroca em desenvolvimento (Figura 24). No entanto, a partir de 2016, nota-se que uma sequência de aterros de contenção foi construída com o intuito de reduzir a força das enxurradas, impossibilitando o deslocamento excessivo de solo para as partes mais baixas do relevo. Essa medida, baseada na construção de barreiras físicas, resultou diretamente no processo visível de controle da erosão previamente presente. Assim, a voçoroca, que estava em processo de estabilização em 2016, conforme observada por Alves (2019), apresenta provável estabilização em 2022.

**Figura 24 - Evolução dos Processos Erosivos Lineares entre 2009, 2016 e 2022**



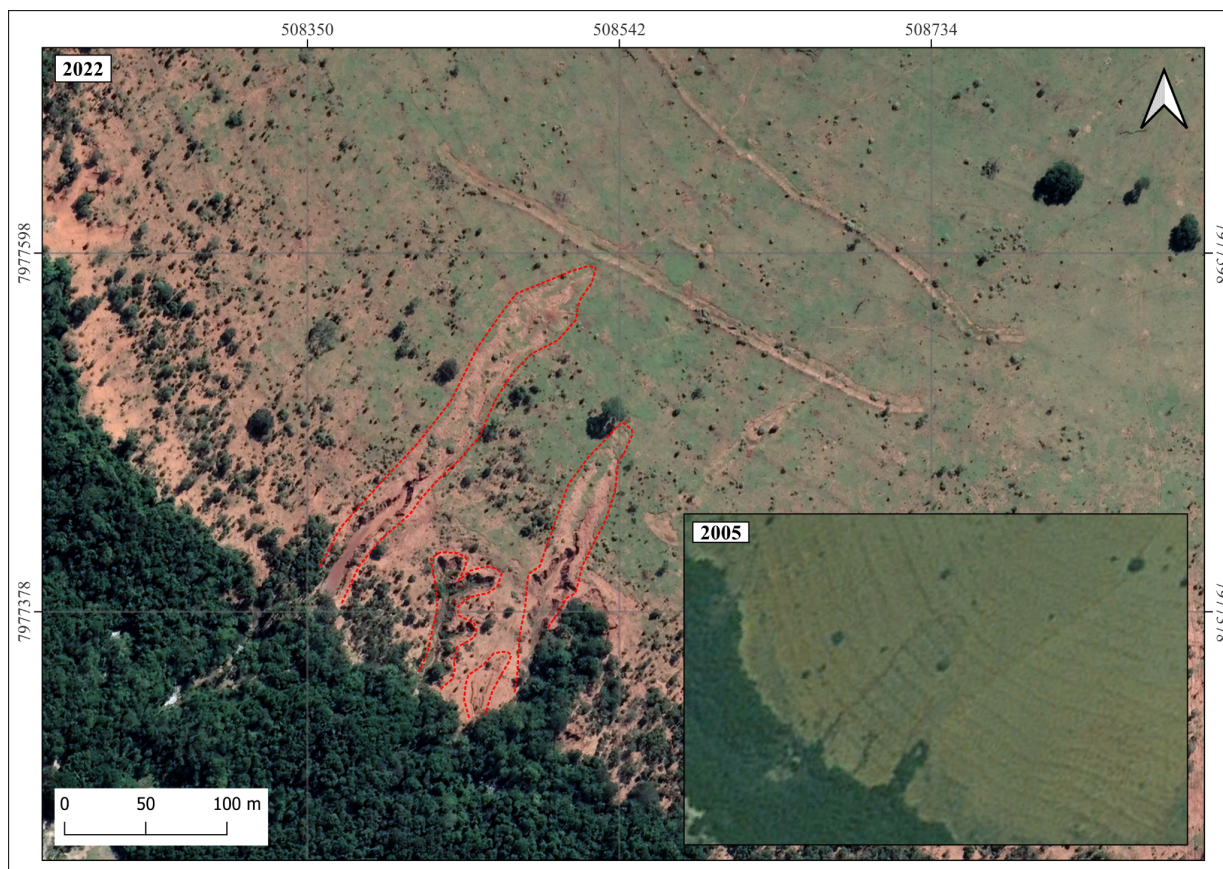
**Fonte:** imagens do Google Earth Pro analisadas na série histórica de 2009, 2016 e 2022. Elaboração própria, 2025.

Como exposto por Silva (1995) e Bertoni e Lombardi Neto (2010), a declividade influencia diretamente na velocidade do escoamento da água. Portanto, essas medidas de contenção são necessárias, uma vez que a inclinação do terreno dessa área proporciona um escoamento superficial acelerado, e reduzindo a infiltração no solo. Essa prática de controle de erosão é comum, como observado por Fabrício e Almeida (2023) nas áreas agrícolas da bacia hidrográfica do ribeirão Formoso em Paraúna-GO. Do mesmo modo, Alves (2019) aponta que a estabilização desses processos por meio da construção de barreiras físicas é uma ação implementada pelos produtores rurais, com o objetivo de reduzir a perda de solo e, conseqüentemente, prevenir prejuízos econômicos e ambientais.

As voçorocas exibidas na Figura 25 estão localizadas na porção sudoeste de Rio Verde, onde, apesar da evidente expansão das atividades agrícolas em todo município, ainda mantém a maior concentração de áreas destinadas à pastagem, isso pôde ser observado tanto em 2005 quanto em 2022. Em relação às mudanças identificadas, em 2005, havia maior presença de cobertura vegetal; apesar da aparente uniformização da área, duas feições chamam a atenção por apresentar dois focos erosivos em estágio inicial de desenvolvimento. Em 2022, as erosões evoluíram, sendo

perceptível a presença de três voçorocas e outra erosão similar ao desenvolvimento de sulcos. Destaca-se que, possivelmente, o recuo da vegetação nessa área pode ter contribuído para a aceleração dos processos erosivos.

**Figura 25 - Erosões no Sudoeste do Município Associadas à Pastagem**



**Fonte:** imagens do Google Earth Pro analisadas na série histórica de 2005 e 2022. Elaboração própria, 2025.

As erosões identificadas nessa área são preocupantes, uma vez que ainda não foram estabilizadas ou isoladas, mesmo em uma área onde ocorre o intenso uso destinado à pastagem. Além disso, observa-se a ausência de manutenção das curvas de nível, que não aparentam estar cumprindo sua função de forma eficiente. O uso dessa técnica de manejo do solo é essencial, mesmo em regiões de relevo mais plano, como se observa nessa área. Dessa forma, caso não sejam adotadas as medidas adequadas de mitigação, essas erosões poderão se intensificar, tornando-se ainda mais difíceis de controlar e acarretando maiores impactos ambientais e econômicos futuramente (Alves, 2019; Oliveira *et al.*, 2022).

Barbalho (2010) descreve que a falta de manejo adequado do solo em áreas de pastagem contribuiu para o surgimento dessas feições erosivas. Diante disso, destacam-se alguns fatores

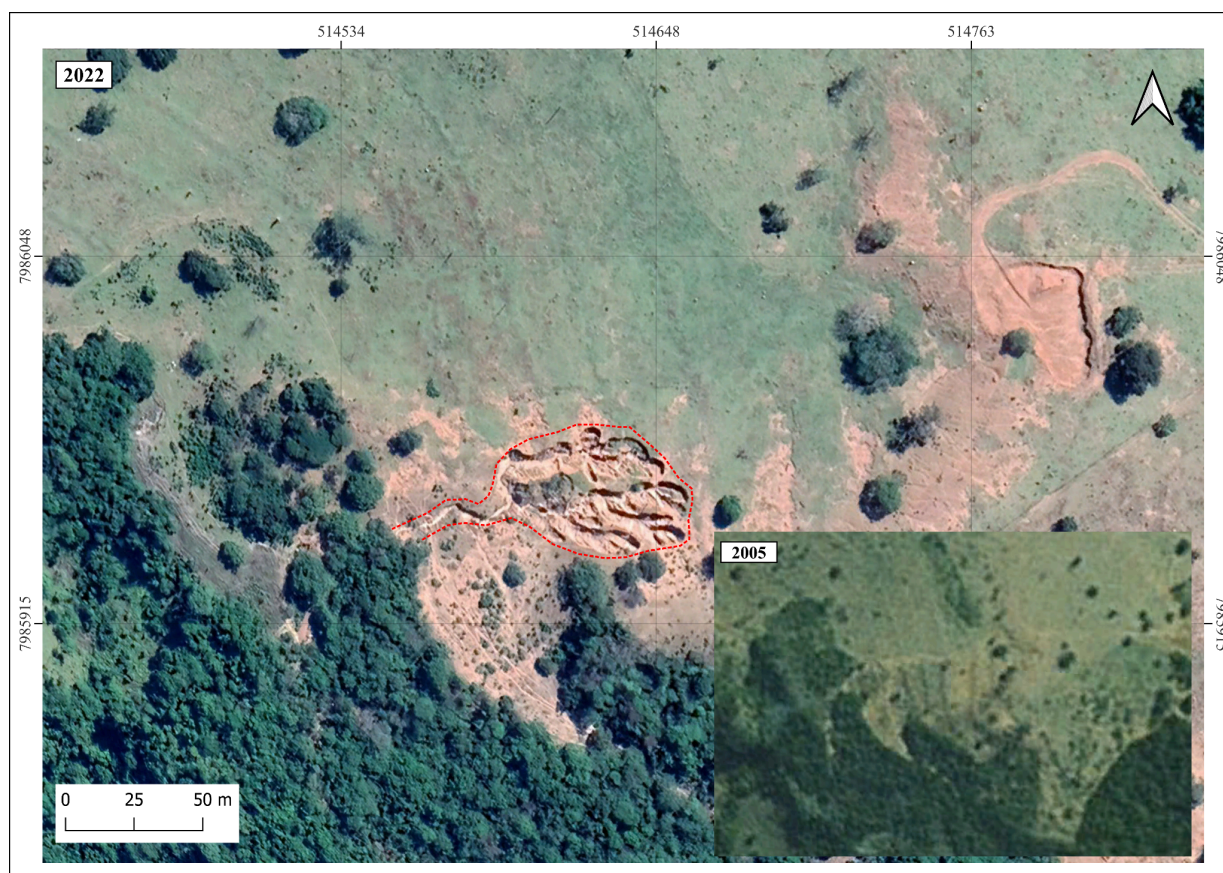
condicionantes ligados a isso, como o sobrepastoreio; a compactação do solo causada pelos caminhos e trilhas formadas pelo pisoteio excessivo do gado; e a falta da manutenção da capacidade produtiva das pastagens, por meio da correção e fertilização dos solos, os quais apresentam deficiência nutricional, típicos dos solos distróficos encontrados na área (Barbalho, 2010; Souza, 2010; Carvalho e Castro, 2023).

As erosões mencionadas anteriormente, ilustradas nas Figuras 21, 23 e 25, estão localizadas em áreas com a presença de Latossolos Vermelhos Distróficos, que apresentam média capacidade de erodibilidade. Conforme já exposto, embora os Latossolos possuam uma boa estrutura e sejam menos suscetíveis à erosão linear, quando compactação, tornam-se mais erodíveis, uma vez que a sua capacidade de infiltração e porosidade é reduzida (Barbalho, 2010; Momoli; Cooper, 2016). Esse processo aumenta o escoamento superficial, o que, por sua vez, promove a formação de sulcos, que com o tempo evoluem para ravinas e posteriormente para voçorocas, assim como pôde ser observado na área (Akashi Júnior, 2020).

A Figura 26 apresenta uma voçoroca localizada no sudoeste do município, sua ocorrência está relacionada à formação dos Neossolos Litólicos distróficos, em uma área onde o relevo varia de suave-ondulado a forte-ondulado. Entre 2005 e 2022, não foram observadas alterações no modo de uso dessa região, dessa forma, a pastagem continua sendo predominante. Em 2005, não foram identificadas feições significativas de degradação do solo; porém, em 2022, ocorreram duas mudanças relevantes, como o surgimento de uma voçoroca em área com solo exposto.

O estágio inicial dessa erosão, apenas pôde ser identificado por meio de imagens de satélite a partir de 2013, embora, possivelmente, sua formação tenha ocorrido antes. Em 2017, a erosão já havia evoluído para uma voçoroca e, em 2022, encontrava-se em um estágio ainda mais avançado, com feições mais profundas e ramificadas, como observado na imagem. Além disso, é evidente que, até o ano de 2022, essa erosão não havia sido estabilizada e continua se desenvolvendo em direção à vegetação natural. Quanto à área de solo exposto, nota-se que apresenta intervenção antrópica planejada, caracterizada pela escavação da área, com um propósito funcional desconhecido.

**Figura 26 - Voçoroca no Sudoeste do Município Associada à Pastagem e Neossolos Litólicos Distróficos**



**Fonte:** imagens do Google Earth Pro analisadas na série histórica de 2005 e 2022. Elaboração própria, 2025.

O surgimento dessa erosão na área foi provavelmente favorecido pelas características físicas naturais, visto que os Neossolos Litólicos Distróficos apresentam alta capacidade de erodibilidade, por serem compostos por materiais porosos e arenosos, o que resulta em baixa estabilidade dos agregados, que tendem a ser mais suscetíveis à erosão quando estão inseridos em terrenos de maior declividade, assim como o relevo mais acentuado identificado na área (Barbalho, 2010; Castro, 2011; Nunes, 2015; Rosa, 2022). Além disso, soma-se a influência das ações antrópicas, em uma área de uso intensivo da pastagem, a qual apresenta manejo inadequado, sendo constatado pela falta de barreiras físicas, bem como da remoção de parte da vegetação da área para o controle do escoamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados gerados pelo modelo matemático EUPS, aplicados à perda de solo no município de Rio Verde entre 1985, 2005 e 2022, representam apenas uma aproximação da realidade, uma vez que foram encontradas limitações no processo de modelagem. Algumas das limitações identificadas incluem a ausência de validação de campo, a resolução dos dados espaciais e a dependência de informações de uso e cobertura temporal. Portanto, os resultados apresentados foram considerados e interpretados de forma qualitativa. Com base na análise da perda de solo no município entre 1985 e 2022, as maiores taxas de perda de solo são resultantes da correção dos altos valores encontrados nos fatores R, K e LS que, quando associadas ao fator CP, potencializam a ocorrência de processos erosivos laminares.

Os processos erosivos laminares manifestam de forma distinta conforme as variáveis são associadas umas às outras. Verificou-se que as áreas de pastagem apresentam as maiores perdas de solo registradas na área, quando associadas aos valores mais elevados dos fatores R, K e LS, correspondendo às áreas com maior erosividade e solos com elevada erodibilidade, bem como nas áreas com relevo mais movimentado. Além dos mais, tendem a ser menos intensas quando estão inseridas em áreas com baixos valores do fator LS, mesmo sob condições de altos e médios valores dos fatores R e K, respectivamente. Logo, considera-se o fator LS como um dos principais responsáveis pelas perdas de solo mais intensas na área.

De maneira geral, os resultados de perda de solo entre 1985 e 2022 registraram uma queda de 19,16% nas áreas ocupadas pela classe nula a moderada, e na classe forte a muito forte, com 24,14%. Enquanto a classe média obteve um aumento de 46,76%, juntamente com classe média a forte, com mais de 25%. À vista disso, evidencia-se que as mudanças na perda de solo no município de Rio Verde foram acentuadas, com maior concentração na classe de intensidade média ao longo dos últimos 37 anos. Aponta-se que um dos fatores condicionantes dessa dinâmica está diretamente relacionada com a expansão das atividades agrícolas na área, considerando que o seu avanço em mais de 50% da área total entre 1985 e 2022, contribuiu, em parte, para o aumento nas taxas de perda de solo, convertendo mais de 20% da classe nula a moderada para a classe de perda média.

Em relação às erosões lineares, destaca-se que o uso de imagens de alta resolução disponibilizadas pelo Google Earth foi essencial na identificação das erosões presentes no município de Rio Verde, bem como a utilização de outros produtos cartográficos que permitiram

uma análise integrada acerca dos possíveis agentes desse processo. Portanto, a partir do conjunto desses dados, constatou-se que a maior concentração de ocorrências mapeadas está diretamente relacionada às áreas destinadas à pastagem, localizadas majoritariamente na porção sudoeste da região. Conclui-se, que o manejo inadequado das pastagens é um dos principais condicionantes dos processos erosivos lineares no município. Ademais, o surgimento dessas erosões ocorre principalmente em áreas que apresentam condições naturais favoráveis, como alta erosividade das chuvas e de média e muito alta erodibilidade do solo.

Quanto aos objetivos propostos neste trabalho, destaca-se que todos foram plenamente atingidos, conforme apresentado nos resultados obtidos. Dessa forma, foi possível estimar e comparar qualitativamente as taxas de perda de solo entre 1985 e 2022, identificar as áreas mais suscetíveis à erosão, compreender a influência de fatores naturais e antrópicos nos processos erosivos, e realizar o mapeamento das feições erosivas lineares em 2022. Entretanto, a hipótese inicial foi parcialmente validada, pois os dados indicam que o modo de manejo do solo adotado tem se mostrado adequado para o controle dos processos erosivos lineares em áreas agrícolas, porém não completamente ajustado para a mitigação das erosões laminares.

Para estudos futuros sobre a área, recomenda-se uma calibração mais precisa da EUPS, aliada à validação de dados por meio de trabalhos de campo, que inclua tanto as áreas perdidas de perda de solo quanto nas feições erosivas lineares identificadas. Além disso, sugere-se realização de pesquisas que considerem a relação entre a estrutura fundiária local e os processos erosivos, partindo da hipótese de que o tamanho das propriedades (pequenas ou grandes) pode estar condicionando ao agravamento desses processos no município.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N.; COSTA JÚNIOR, M. Contribuição ao estudo do sudoeste goiano. **Boletim Paulista de Geografia**, [S. l.], n. 4, p. 3–27, 2017. Disponível em: <https://publicacoes.agb.org.br/boletim-paulista/article/view/1402>. Acesso em: 22 de jan. de 2025.
- AKASHI JUNIOR, J. **Modelagem multitemporal da estimativa de perda de solos e análise da eficiência do programa produtor de água na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia - GO/MT**. 2020. 169 f., il. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/40189>. Acesso em: 12 de ago. de 2024.
- ALMEIDA, R. **Comparação entre bases de dados para mapeamento e modelagem em bacias hidrográficas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, GO, 2015. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/70/o/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_-\\_Rherison\\_Almeida.pdf](chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/70/o/Disserta%C3%A7%C3%A3o_-_Rherison_Almeida.pdf). Acesso em 08 de jun. de 2024.
- ALVES, Wellmo dos Santos. **Geotecnologias aplicadas em estudos hidrogeográficos na bacia do rio Verdinho – Sudoeste de Goiás – Brasil**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal de Goiás, Regional Jataí, Unidade Acadêmica Especial de Estudos Geográficos, Jataí, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1046>. Acesso em: 24 de jan. de 2025.
- ALVES, Wellmo dos Santos; MARTINS, Alécio Perini; DOS SANTOS, Ana Karoline Ferreira; BORGES DE MOURA, Derick Martins. ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO DOURADINHO, SUDOESTE DE GOIÁS. **Geoambiente On-line**, Goiânia, n. 29, 2018. DOI: 10.5216/revgeoamb.v0i29.47726. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/47726>. Acesso em: 24 de jan. de 2025.
- AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. Principais modelos para estimar as perdas de solo em áreas agrícolas. In: AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D. da; PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 2006. p. 240.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA)**. Séries históricas. 2022. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/serieshistoricas>. Acesso em: 18 de jan. de 2024.
- BAEZA, S., et al., 2022. Two decades of land cover mapping in the Río de la Plata grassland region: The MapBiomias Pampa initiative. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* [Online] 28. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100834>. Acesso: 07 jan. 2025.
- BARBALHO, M. G. S. *Impactos Ambientais dos rios dos Bois e Claro afluentes do rio Araguaia - Goiás*. 2010. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais - CIAMB) - Universidade Federal de Goiás, 2010. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/c07d5e8e-4385-4adb-8104-af9d499b5fb1/full>. Acesso em 17 de jan. de 2025.
- BARRETO, Clarissa de Araújo. **Agricultura e meio ambiente: percepções e práticas de sojicultores em Rio Verde-GO**. 2007. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/90/90131/tde-14082007-231915/>. Acesso em: 30 de nov.

de 2024.

BARRETO, C de A.; RIBEIRO, H. Agricultura e Meio Ambiente em Rio Verde (GO). **INTERFACEHS Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**. São Paulo, v3, n1, p.1-20, jan/abr. 2008. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www3.sp.senac.br/hotsites/blogs/InterfaceEHS/wp-content/uploads/2013/07/art-5-2008-6.pdf>. Acesso em 02 de mai. de 2024.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010. 355 p.

BESKOW, S.; MELLO, C.R.; NORTON, L.D.; CURI, N.; VIOLA, M.R. & AVANZI, J.C. Soil erosion prediction in the Grande River Basin, Brazil using distributed modeling. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 49-59, 2009.

BERTRAND, Georges. PAISAGEM E GEOGRAFIA FÍSICA GLOBAL. ESBOÇO METODOLÓGICO. RAEGA - O Espaço Geográfico em Análise, [S. l.], v. 8, 2004. DOI: 10.5380/raega.v8i0.3389. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/3389>. Acesso em: 7 de jan. de 2025.

BRASIL. **Resolução CONAMA n.º 1, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre o controle da poluição do meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 23 jan. 1986. Disponível: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=745](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=745) . Acesso em: 15 de nov. de 2024.

BRASIL. Presidência da República. Casa Civil. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 18 jan. 2025.

CASTRO, Welershon José de; LEMKE-DE-CASTRO, Mara Lucia; LIMA, Jaqueline de Oliveira; OLIVEIRA, Luiz Fernando Coutinho de; RODRIGUES, Cristiane; FIGUEIREDO, Cícero Célio de. Erodibilidade de solos do cerrado goiano. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, [S. l.], v. 4, n. 2, 2011. DOI: 10.17765/2176-9168.2011v4n2p%p. Disponível em: <https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/1656>. Acesso em: 05 jan. 2025.

CARNEIRO, G. T; CABACINHA, C. D; FARIA, K. M. S. DE; SIQUEIRA, M. N; LIMA, J. C. de S., 2011. Cobertura Florestal do Município de Rio Verde, GO: Estrutura e Composição da Paisagem entre 2005 e 2008. Geografia v. 36, n. 2, mai./ago. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/5131>. Acesso em: 06 de jan. de 2025.

CARVALHO, A. C. B.; RIBEIRO, C. B. M.; ROCHA, W. S. D. Erosão potencial laminar hídrica sob três formas de cultivo. Conceitos, modelos e aplicações. São Paulo: Novas Edições Acadêmicas, 2014. 89 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/120705/1/Cnpgl-2014-Livro-Erosao-potencial-laminar.pdf>. Acesso em: 22 de ago. de 2024.

CARVALHO, H. S. M. de .; CASTRO, S. S. de. Mapeamento e identificação de áreas críticas à erosão hídrica linear: o exemplo do bioma Cerrado no estado de Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 24, n. 00, 2023. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i00.2373. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2373>. Acesso em: 10 fev. 2025.

CARVALHO, J. C. et al. (Org.). **Processos erosivos no Centro-oeste brasileiro**. Brasília: Finatec, 2006. 464 p.

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 602 p.

CHRISTOFOLETTI, A. (1999). Modelagem de sistemas ambientais. Editora Blucher.

CORRÊA, R. S. Recuperação de áreas degradadas pela mineração no Cerrado – manual para revegetação. Brasília: Ed. Universa, 2007. 187 p. ISBN 85-8659187-4.

CUNHA, Nina Rosa da Silveira et al. A Intensidade da Exploração Agropecuária como Indicador da Degradação Ambiental na Região dos Cerrados, Brasil. **Revista de Estudos Rurais (RER)**, Piracicaba, SP, vol. 46, nº 02, p. 291-323, abr/jun 2008.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Energia na Agricultura**, [S. l.], v. 29, n. 2, p. 102–114, 2014. DOI: 10.17224/EnergAgric.2014v29n2p102-114.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**, Ankeney, v. 51, p. 427-433, 1996.

DUARTE, Lucas Oliveira; ALVES, Wellmo dos Santos; CASTRO, Raysa Moraes; MORAIS, Wilker Alves; PEREIRA, Maria Antonia Balbino; POSSA, Evelyn Marcia. Estimativa da erosão hídrica em uma bacia hidrográfica no estado de Goiás (Brasil) por meio de modelagem e inteligência geoespacial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 16, n. 1, p. 081–100, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.1.p081-100. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/254805>. Acesso em: 24 jan. de 2025.

EMBRAPA. **Cerrado: principais fitofisionomias**. 2017. Disponível em: <https://www.webambiente.cnptia.embrapa.br/webambiente/wiki/doku.php?id=webambiente:cerrado:fitofisionomias>. Acesso em: 22 fev. 2025.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: [s. n.], 2018. 356 p.

EARTHDATA. Digital Elevation Terrain Model (DEM). Disponível em: <https://www.earthdata.nasa.gov/topics/land-surface/digital-elevation-terrain-model-dem>. Acesso em: 16 jan. de 2025.

EXAME. *Ranking 2022: Rio Verde é a melhor cidade para fazer negócios no agro*. Disponível em: <https://exame.com/economia/ranking-2022-rio-verde-e-a-melhor-cidade-para-fazer-negocios-no-agro/>. Acesso em: 28 jan. de 2025.

FABRÍCIO, L. V.; ALMEIDA, R. T. S. AVALIAÇÃO DE PERDA DE SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO FORMOSO, PARAÚNA-GO. **Sociedade e Território**, [S. l.], v. 34, n. 3, p. 7–32, 2023. DOI: 10.21680/2177-8396.2022v34n3ID29458. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/29458>. Acesso em: 24 jan. de 2025.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O.B.; GUIMARÃES, R.F.; GOMES, R.A.T.; RAMOS, V.M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS – Equação Universal de Perdas de Solos – utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba–PI-MA. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, ano

7, n. 2, 2006, p. 73-85.

FARIA, K. M. S.; SOARES NETO, G. B.; COSTA, J. V. S.; FERREIRA, M. E. Dinâmica erosiva de processos tropicais: três décadas da erosão chitolina. XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Instituto de Geociências – Unicamp, 2017.

FALCÃO, C.L.C. A teoria geral dos sistemas e o entendimento dos processos erosivos em uma bacia hidrográfica. **Revista Equador (UFPI)**, v.9, n.4, p.21-39, 2020.

FERNANDES, Nelson Ferreira. Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios. **Espaço Aberto**, Rio de Janeiro, Brasil, v. 6, n. 1, p. 209–247, 2016. DOI: 10.36403/espacoaberto.2016.5243. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspacoAberto/article/view/5243>. Acesso em: 14 jan. de 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Rio Verde: Panorama**. 2022. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/rio-verde/panorama>. Acesso em: 11 de jan. de 2024.

IPEADATA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Informações ambientais: pedologia – vetores – escala 1:250.000. 2023. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/pedologia/vetores/escala\\_250\\_mil/](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/pedologia/vetores/escala_250_mil/). Acesso em: 22 de jan. de 2024.

INÁCIO, E. S. B.; CANTALICE, J. R. B.; NACIF, P. G. S.; ARAUJO, Q. R.; BARRETO, A. C. Quantificação da erosão em pastagem com diferentes declives na microbacia do Ribeirão Salomea. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 4, p. 355-360, 2007.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. IPEADATA. Disponível em: <http://www.ipeadata.gov.br/Default.aspx>. Acesso em: 20 fev. de 2025.

GOMES, L.; SIMÕES, S. J. C.; FORTI, M. C.; OMETTO, J. P. H. B.; NORA, E. L. D. Using geotechnology to estimate annual soil loss rate in the Brazilian Cerrado. *Journal of Geographic Information System*, v. 9, p. 420-439, 2017.

GUERRA, Antonio Jose Teixeira; JORGE, Maria do Carmo Oliveira; RANGEL, Luana de Almeida; BEZERRA, José Fernando Rodrigues; LOUREIRO, Hugo Alves Soares; GARRITANO, Fabrício do Nascimento. **Soil erosion, different approaches and techniques applied to gullies and trail erosion**. *William Morris Davis - Revista de Geomorfologia*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 75–117, 2020. Disponível em: <<http://williammorrisdavis.uvanet.br/index.php/revistageomorfologia/article/view/16>>. Acesso em: 22 de ago. de 2023.

GUIMARÃES, Gislene Margaret Avelar. **Agronegócio, desenvolvimento e sustentabilidade: um estudo de caso em Rio Verde-GO**. 2010. 173 p. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010.

KLINK, C. A., MACHADO, R. B. 2005. A conservação do Cerrado brasileiro. In: Megadiversidade. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade no Brasil. Vol 1, 1: 147-155. Belo Horizonte: Conservação Internacional. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/228342037\\_A\\_conservacao\\_do\\_Cerrado\\_brasileiro](https://www.researchgate.net/publication/228342037_A_conservacao_do_Cerrado_brasileiro). Acesso em: 08 de jan. de 2025.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 1948. 479p.

LABORSOLO. Conhecendo os solos brasileiros: latossolos. Laborsolo, 2025. Disponível em: <https://laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/conhecendo-os-solos-brasileiros-latossolos>. Acesso em: 18 de jan. de 2025.

LIMA, Gabriella Santos Arruda de; FERREIRA, Nilson Clementino; FERREIRA, Manuel Eduardo. Modelagem da Perda Superficial de Solo para Cenários de Agricultura e Pastagem na Região Metropolitana de Goiânia. *Revista Brasileira de Cartografia*, [S. l.], v. 70, n. 4, p. 1510–1536, 2018. DOI: 10.14393/rbcv70n4-46513. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/46513>. Acesso em: 11 fev. 2025.

LOPES SOBRINHO, Oswaldo Palma; SANTOS, Leonardo Nazário Silva dos; SANTOS, Gilmar Oliveira; CUNHA, Fernando Nobre; SOARES, Frederico Antonio Loureiro; TEIXEIRA, Marconi Batista. BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO MENSAL E CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN E THORNTHWAITE PARA O MUNICÍPIO DE RIO VERDE, GOIÁS. *Revista Brasileira de Climatologia*, [S. l.], v. 27, p. 19–33, 2021. DOI: 10.5380/abclima.v27i0.68692. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/14303>. Acesso em: 09 de jan. de 2025.

LUNAS, Divina Aparecida Leonel. **Constituição do complexo agroindustrial da soja no sudoeste de Goiás**. 2001. 162 f. Dissertação (Mestrado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MANNIGEL, A. R. et al. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002.

MAPBIOMAS. Coleção 8 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 15 de fev. de 2024.

MAPBIOMAS. Método de Mapeamento de Cobertura e Uso da Terra. 2025. Disponível em: [https://brasil.mapbiomas.org/metodo\\_cobertura\\_e\\_uso/](https://brasil.mapbiomas.org/metodo_cobertura_e_uso/). Acesso em: 04 de jan. 2025.

MATOS, Patrícia Francisca; PESSOA, Vera Lúcia Salazar. A MODERNIZAÇÃO DA AGRICULTURA NO BRASIL E OS NOVOS USOS DO TERRITÓRIO. *Geo UERJ*, [S. l.], v. 2, n. 22, p. 290–322, 2011. DOI: 10.12957/geouerj.2011.2456.

MATOS, T. V. S. **Determinação de áreas de vulnerabilidade à erosão hídrica com base na equação universal de perda de solo (USLE)**. 2015. 116 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente, Saneamento e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A3FETB/1/disserta\\_o\\_thiago\\_corre\\_o\\_setem\\_bro.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUBD-A3FETB/1/disserta_o_thiago_corre_o_setem_bro.pdf). Acesso em: 05 de ago. de 2024.

MENDONÇA, F. Geografia física: ciência humana? São Paulo: Contexto, 1996. 72 p.

MOMOLI, R.S.; COOPER, M.; TOMAZELLO FILHO, M.; LOBÃO, M.S. Aplicação da dendrogeomorfologia no estudo da deposição de sedimentos do solo no tronco de árvores de *Guarea guidonea* em mata ciliar antropizada no Estado de Goiás, Brasil. *Scientia Forestalis*, v.40, p.7-14, 2012.

MOMOLI, R. S.; COOPER, M. Erosão hídrica em solos cultivados e sob mata ciliar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 51, n. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900029> 9 , p. 1295-1305, 2016. Disponível em <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/150304/1/Erosao-hidrica-em-solos.pdf>. Acesso em: 28 jan. de 2025.

MORAES, Antonio Carlos Robert. **Geografia: pequena história crítica**. São Paulo: Hucitec.

MORAIS, L. F. B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T. M. C.; HARDOIN, P. C.; ALMEIDA, J. E. L.; WEBER, O. L. S.; BOEL, E.; DURIGON, V. Índice EI30 de chuva e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 15, p. 339-344, 1991.

NASCIMENTO, D.T.F., Novais, G.T., 2020. Clima do Cerrado: dinâmica atmosférica e características, variabilidades e tipologias climáticas. **Élisée -Revista De Geografia Da UEG**, 9.

NUNES, Elizon Dias. **Modelagem de processos erosivos hídricos lineares no município de Mineiros - GO**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais, Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015. Disponível: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/79b089e5-5937-4288-968d-0e72e2afe4fb>. Acesso em: 25 de jan. de 2025.

NUNES, E. D.; CASTRO, S. S. Degradation of Phytophysionomies of Cerrado and linear water erosive impacts in southwest of Goiás – Brazil. *Sociedade & Natureza*, [S. l.], v. 33, 2021. DOI: 10.14393/SN-v33-2021-60606. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/60606>. Acesso em: 05 jan. 2025.

NUNES, Nivalda da Costa. **Análise espaço-temporal da erosão hídrica em bacias hidrográficas no sudoeste de Goiás**. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2020. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/1211>. Acesso em: 08 de set. de 2024.

OLIVEIRA, Ivanilton José de. **Solo pobre, terra rica: paisagens do Cerrado e agropecuária modernizada em Jataí, Goiás**. 2002. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, J. S. **Avaliação de modelos de elevação na estimativa de perda de solos em ambiente SIG**. 2012. 103 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

PEDROSO, I. L. P. B. Meio ambiente, agroindústria e ocupação dos cerrados: o caso do município do Rio Verde no sudoeste de Goiás. *Revista Urutaguá, Maringá*, n. 6, abr./jul. 2005, p. 1-10. Disponível em: <http://www.urutagua.uem.br/006/06pedroso.htm>. Acesso em: 15 jul. 2024.

PENA, Diogo Silva. **Influência da expansão agrícola sobre a perda de solo no estado de Goiás**. 2020. 144 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

PROCHNOW, D. **Perdas de terra e água em sistemas de manejo na cultura do café no Oeste do Estado de São Paulo**. 2003. xiv, 119 p. Dissertação (Mestrado em Agricultura) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: UFV, 2006. p. 240.

RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. Fitofitofisionomia do Bioma Cerrado. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Eds.) *Cerrado : ambiente e flora*. Brasília: Embrapa, 1998. p.89 166.

RIBEIRO, Dinalva Donizete. **Modernização da agricultura e (re)organização do espaço no município de Jataí - GO**. Dissertação (mestrado em Geografia). Presidente Prudente: [s.n.], 2003.

RIO VERDE. Lei nº 5.090, de 28 de dezembro de 2005. **Dispõe sobre o Código Ambiental Municipal**. Disponível em: <https://www.rioverde.go.gov.br/leis/lei/862/>. Acesso em: 09 de nov. de 2024.

RIO VERDE. Lei nº 6.033, de 28 de outubro de 2011. **Cria o Programa Produtor de Águas**. Disponível em: <https://legislacao.rioverde.go.gov.br/leis/4315/lei-6033-2011>. Acesso em: 09 de nov. de 2024.

ROSA, L. E. **Dinâmica da perda de solos no estado de Goiás entre 1985-2018**. 2022. 110 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2022. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/acb91c03-ed65-4dce-9d95-b24bd08c852a>. Acesso em: 20 de ago. de 2024.

ROSS, J. L. S. “Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados”. *Revista do Departamento de Geografia*, São Paulo (SP), n.8. p.63-74, 1994.

SANTOS, Rosely Ferreira dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. de; RIBEIRO, J. F. (ed.). **Cerrado: ecologia e flora vol. 2**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

SANTOS, R. F. dos (2007). *Planejamento Ambiental: Teoria e Prática*. São Paulo: Oficina de Textos. 184 p.

SARTORIO, LETICIA FIGUEIREDO. **Geossistemas e mudanças de uso e cobertura da terra por Análise de Componentes Principais do Bioma Pampa entre 1985 e 2020'** 07/11/2023 287 f. Mestrado em GEOGRAFIA Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, Porto Alegre Biblioteca Depositária: Lume UFRGS. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/272038>. Acesso em: 30 de jan. de 2025.

SCHROEDER, D. (1984). *Solos: Factos e Conceitos*. 4ª edição, São Paulo: ANNDA.

SEAPA. Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Rio Verde é o segundo**

**maior produtor de soja do Brasil.** 2023. Disponível em:

<https://www.agricultura.gov.br/comunica%C3%A7%C3%A3o/not%C3%ADcias/4385-rio-verde-%C3%A9-o-segundo-maior-produtor-de-soja-do-brasil.html#:~:text=Rio%20Verde%20%C3%A9%20o%20segundo,de%20Agricultura%2C%20Pecu%C3%A1ria%20e%20Abastecimento>.

Acesso em: 16 de fev. de 2024.

SHINZATO, E.; CARVALHO FILHO, A. DE. PROJETO APA SUL RMBH: Estudos do Meio Físico, Pedologia. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 2005.

SILVA, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. *Catena*, Amsterdam, v. 57, n. 3, p. 251-259, 2004.

SILVA, Érica Caetano da. **Estimativa da perda de solo na bacia hidrográfica do Córrego do Sapo, Rio Verde – GO.** 2023. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Aplicada e Sustentabilidade)** – Instituto Federal Goiano de Educação, Campus Rio Verde, Rio Verde, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/3657>. Acesso em: 05 de jan. de 2025.

SILVA, M. S. L. da. Estudos da Erosão. 1995. Disponível em:

<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/133340>. Acesso em: 15 de dez. de 2023.

SIQUEIRA, M. N.; FARIA, K. M. S. Analysis of the landscape dynamics in the municipality of Rio Verde, Goiás, Brazil: a tool to choose priority areas for conservation. **Sociedade & Natureza**, [S. l.], v. 31, 2019. DOI: 10.14393/SN-v31-2019-38832. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadennatureza/article/view/38832>. Acesso em: 24 de jan. de 2025.

SOUZA, José Carlos de. Avaliação da suscetibilidade e do potencial a erosão laminar da bacia do ribeirão Sozinha (GO). 2010. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2010. Disponível em:

<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/items/c287f2ae-d738-437f-b283-33ecfbacf6ce/full>. Acesso em: 09 de mai. de 2023.

SPOSITO, ELAINE CALIMAN. **USO E COBERTURA DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE (MG/ES): INTER-RELAÇÕES PARA A GOVERNANÇA'** 29/09/2021 203 f. Doutorado em AGRONOMIA (SOLOS E NUTRIÇÃO DE PLANTAS) Instituição de Ensino: UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA, Viçosa Biblioteca Depositária: Biblioteca Central da Universidade Federal de Viçosa

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, A. F.; PONÇANO, W. L.; LOMBARDI NETO, F. Potencial de erosão laminar, natural e antrópica na bacia do Peixe-Paranapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSIÃO, 4., 1987. Marília. **Anais**. São Paulo: Departamento Técnico de Águas e Energia elétrica, 1987. p. 105-135.

TARTARI, R.; CONSTANTINO, K. C. Estimativa da perda de solo na bacia hidrográfica do ribeirão do Prado, Altônia - PR. In: XIV SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, IX - 002., 2018, Foz do Iguaçu. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, p. 1-9.

TOWNSEND, C. R.; COSTA, N. de L.; PEREIRA, R. G. de À. **Recuperação e práticas**

**sustentáveis de manejo de pastagens na Amazônia.** Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2012. (Documentos, n. 148). ISSN 0103-9865. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/999525/1/doc148pastagens.pdf>. Acesso em: 11 de fev. de 2025.

TRICART, Jean. Ecodinâmica. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN, 1977.

VIANA, J. F. de S., MONTENEGRO, S. M. G. L., Srinivasan, R., Santos, C. A. G., Mishra, M., Kalumba, A. M., Silva, R. M., 2023. Land Use and Land Cover Trends and Their Impact on Streamflow and Sediment Yield in a Humid Basin of Brazil's Atlantic Forest Biome. Diversity [Online] 15. Disponível: [\(PDF\) Land Use and Land Cover Trends and Their Impact on Streamflow and Sediment Yield in a Humid Basin of Brazil's Atlantic Forest Biome](#). Acesso: 01 de jan. de 2025.

VICENTE, L.; PEREZ FILHO, A. Abordagem Sistêmica e Geografia. Geografia, v. 28, n. 3, p. 323-344, 2003. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/1122>. Acesso em: 06 de jan. de 2025.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses a guide to conservation planning.** Washington: Agriculture Handbook, n. 537, U.S. Department of Agriculture. 1978.

XAVIER, Renata Lucon; MENEZES, Denise Balestrero; DA SILVA, Fábio Leandro. Mapeamento de uso e ocupação do solo utilizando dados do MapBiomas: uma abordagem manual para aumento de precisão aplicada em Meridiano, São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. l.], v. 17, n. 3, p. 1992–2007., 2024. DOI: 10.26848/rbgf.v17.3.p1992-2007. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/259409>. Acesso em: 07 jan. 2025.