

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CÂMPUS GOIÂNIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

ELAINE ELUIZY RIBEIRO SILVA

# **Modelagem de Perda de Solo por Erosão Laminar em Cenários Pré e Pós Cadastro Ambiental Rural no Município de Mineiros-GO**

Goiânia, 2021.

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CÂMPUS GOIÂNIA  
MESTRADO PROFISSIONAL EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS

ELAINE ELUIZY RIBEIRO SILVA

# **Modelagem de Perda de Solo por Erosão Laminar em Cenários Pré e Pós Cadastro Ambiental Rural no Município de Mineiros-GO**

Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Tecnologia de Processos Sustentáveis do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Modelagem de Sistemas Ambientais.

**Orientador:** Prof. Dr. Édipo Henrique Cremon

Goiânia, 2021.

S586m Silva, Elaine Eluizy Ribeiro.  
Modelagem de perda de solo por erosão laminar em cenários pré e pós cadastro ambiental rural no município de Mineiros-GO / Elaine Eluizy Ribeiro Silva. – Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.  
74f: il.

Orientador: Prof. Dr. Édipo Henrique Cremon.

Dissertação(Mestrado) –Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Coordenação do Programa de Mestrado em Tecnologia de Processos Sustentáveis, Pró-Reitoria de Pós-Graduação, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Solo – processos erosivos – Cadastro Ambiental Rural (CAR) – Mineiros (GO). 2. Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). I. Cremon, Édipo Henrique (orientador). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 551.302 6

Ficha catalográfica elaborada pelo Bibliotecário Alisson de Sousa Belthodo Santos CRB1/ 2.266  
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.

### TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

#### Identificação da Produção Técnico-Científica

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Elaine Eluizy Ribeiro Silva

Matrícula: 20182011140186

Título do Trabalho: Modelagem de Perda de Solo por Erosão Laminar em Cenários Pré e Pós Cadastro Ambiental Rural no Município de Mineiros-GO

#### Autorização - Marque uma das opções

- Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
- Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data 01/01/2022 (Embargo);
- Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- O documento está sujeito a registro de patente.  
 O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.  
 Outra justificativa: \_\_\_\_\_

#### DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia-GO, 12/07/2021.

Local Data



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



**INSTITUTO FEDERAL**  
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
CÂMPUS GOIÂNIA

**PARECER 17/2021 - GYN-CMTPS/GYN-DPPGE/CP-GOIANIA/IFG**

**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
IFG CÂMPUS GOIÂNIA  
MESTRADO EM TECNOLOGIA DE PROCESSOS SUSTENTÁVEIS**

**Elaine Eluizy Ribeiro Silva**

**MODELAGEM DE PERDA DE SOLO POR EROÇÃO LAMINAR EM CENÁRIOS PRÉ E PÓS CADASTRO  
AMBIENTAL RURAL NO MUNICÍPIO DE MINEIROS-GO**

Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Tecnologia de Processos Sustentáveis do IFG (PPGTPS - IFG) - Dissertação de Mestrado Profissional. Área de Concentração: Tecnologia de Sistemas de Produção Limpa. Linha de Pesquisa: Modelagem de Sistemas Ambientais.

Prof. Dr. ÉDIPO HENRIQUE CREMON (presidente e orientador – PPGTPS IFG)

Prof. Dr. ALEX MOTA DOS SANTOS (avaliador – PPGTPS IFG)

Prof. Dr. EDUARDO SOUZA DE MORAIS (avaliador externo - UEM)

Prof. Dr. MAX WELL DE OLIVEIRA RABELO (avaliador – IFG)

Aprovado em: 08/07/2021

Documento assinado eletronicamente por:

- Alex Mota dos Santos, ALEX MOTA DOS SANTOS - 332105 - PROFESSOR ASSISTENTE DE REGÊNCIA DE CLASSE - UFG (01567601000143), em 21/09/2021 11:04:37.
- Eduardo Souza de Moraes, EDUARDO SOUZA DE MORAIS - OUTROS - IFG - CÂMPUS GOIÂNIA (10870883000225), em 21/09/2021 10:23:09.
- Max Well de Oliveira Rabelo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/09/2021 10:17:14.
- Edipo Henrique Cremon, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 21/09/2021 09:54:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 15/09/2021. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 199631

Código de Autenticação: 40580887e1



## **DEDICATÓRIA**

Dedico esse trabalho a Deus, aos meus pais que são fonte de inspiração e orgulho, a todos os amigos que foram companheiros e consolo nas horas difíceis e acreditaram na capacidade de concluir esse projeto.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a toda equipe do IFG pela instrução, paciência e dedicação.

## RESUMO

**Título:** Modelagem de Perda de Solo por Erosão Laminar em Cenários Pré e Pós Cadastro Ambiental Rural no Município de Mineiros-GO

**Autor:** Elaine Eluizy Ribeiro Silva

**Orientador:** Dr. Édipo Henrique Cremon

O objetivo deste trabalho foi avaliar a perda de solo por erosão laminar considerando os cenários Pré e Pós Cadastro Ambiental Rural (CAR) utilizando para tanto a modelagem pela Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS). O cenário Pré-CAR considera o cenário atual de uso e cobertura da terra referente ao ano de 2018 e o cenário futuro (Pós-CAR) em que as áreas destinadas para áreas de preservação permanente e reserva legal estivessem cobertas por vegetação nativa. A área de estudo consistiu no município de Mineiros, localizado no sudoeste do estado de Goiás. Dados de classes de solos, uso e cobertura da terra, precipitação, modelo digital de elevação e dados declarados do CAR foram obtidos para a modelagem e os pesos utilizados foram obtidos por revisão bibliográfica no contexto da área de estudo. Os resultados obtidos indicam que coberturas agrícolas e pastagem localizadas em solos com textura média a arenosas possuem maior perda de solo. Em um cenário Pós-CAR, áreas de preservação permanente, áreas de uso restrito e reserva legal podem contribuir com uma redução em torno de 10% da estimativa de perda de solos por erosão laminar na área de estudo.

### Palavras-chave

EUPS, Cerrado, estimativa, áreas de preservação, geoprocessamento

## **ABSTRACT**

**Title:** Modelling of soil loss by laminar erosion in Pre and Post Rural Environmental Registry scenarios in the Mineiros city, mid-western Brazil

**Author:** Elaine Eluizy Ribeiro Silva

**Advisor:** Dr. Édipo Henrique Cremon

The main goal of this work was to evaluate soil loss by laminar erosion considering Pre and Post Rural Environmental Registry (CAR – Cadastro Ambiental Rural) scenarios using the Universal Soil Loss Equation (USLE) modelling. The Pre-CAR scenario considers the current land use and land cover for the year 2018 and the future scenario, Post-CAR, in which the areas designated for permanent preservation areas and legal reserve were covered by native vegetation. Study area was Mineiros city, located in the southwest of the Goiás state (Brazil). Data on soil classes, land use and land cover, precipitation, digital elevation model and declared CAR data were obtained for modelling and the weights used were obtained by literature review in the context of the study area. Results indicate agricultural and pasture covers located on medium to sandy textured soils have higher soil loss. In a Post-CAR scenario, permanent preservation areas, areas of restricted use and legal reserves can contribute with a reduction of around 10% of the estimated soil loss by laminar erosion in the study area.

### **Keywords**

USLE, Cerrado, estimation, preservation areas, geoprocessing

## LISTA DE FIGURAS

4.1	Localização da área de estudo, onde em a) contexto do Brasil (cinza claro) entre os países sul-americanos (cinza escuro); b) estado de Goiás (amarelo) e área de estudo (verde); c) área de estudo correspondendo ao limite territorial do município de Mineiros (GO) sobreposto ao modelo digital de elevação. . . . .	28
4.2	Porcentagem das classes de Cobertura e Uso do Solo em Mineiros-GO no ano de 2018. . . . .	29
4.3	Dados utilizados na obtenção dos fatores da EUPS. a) Precipitação acumulada da área de estudo para o ano de 2018; b) Classes de uso e cobertura da terra do MapBiomas (coleção 5) do ano de 2018; e c) Mapa de solos, onde PVa - Argissolo Vermelho Alumínico; PVd - Argissolo Vermelho Distrófico; PVe - Argissolo Vermelho Eutrófico; CXd - Cambissolo Háplico Distrófico; GXd -Gleissolo Háplico Ta Distrófico; LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; LVa - Latossolo Vermelho Aluminoférrico; LVd -Latossolo Vermelho Distrófico; RYd - Neossolo Flúvico Tb Distrófico; RLd - Neossolo Litólico Distrófico; RQg - Neossolo Quartzarênico Hidromórfico; RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico. . . . .	33
4.4	Imagem MSI/Sentinel-2 em composição colorida (R B11, G B8A, B B4) de 23/09/2018, com destaque para o solo exposto (a – plantio convencional) e com palhada (b - plantio direto). Projeção UTM - Fuso 22 Sul, datum SIRGAS 2000. . . . .	35
4.5	Polígonos de áreas de preservação do CAR sobre dado de uso e cobertura da terra de 2018. Em a) e b) há áreas de pastagens onde deveriam ser áreas de vegetação natural; e em c) há um exemplo onde as áreas de preservação estão predominantemente sobre áreas de vegetação natural. . . . .	38
5.1	Fator R da EUPS em Mineiros-GO. . . . .	40
5.2	Fator LS da EUPS em Mineiros-GO. . . . .	41
5.3	Fator K da EUPS em Mineiros-GO. . . . .	44
5.4	Fator CP da EUPS em Mineiros-GO: Uso-Manejo e Práticas Conservacionistas no cenário Pré-CAR (ou atual). . . . .	47
5.5	Fator A da EUPS em Mineiros-GO: Mapa de perda de solos no cenário Pré-CAR (ou atual). . . . .	48

5.6	a) Processo erosivo (voçoroca), localizado na coordenada UTM E 278803,00 e N 8041156,00 m; b) Processo erosivo em Zona de Erosão Recuante, localizado na coordenada UTM E 283982,00 e N 8007325,00 m; c) Processo erosivo em área agrícola, localizado na coordenada UTM E 357557,00 e N 8057164,00 m; d) Processo erosivo em área de declividade acentuada, localizado na coordenada UTM E 339538,00 e N 8092180,00 m; e) Processo erosivo em área próxima a APP, localizado na coordenada UTM E 325498,00 e N 8092417,00 m; f) Processo erosivo em área próxima a APP do cór. Barreiro, localizado na coordenada UTM E 322012,00 e N 8092417,00 m; g) Processo erosivo em área próxima a APP do cór. Confusão, localizado nas coordenadas UTM E 318441,00 e N 8096265,00 m. . . . .	54
5.7	Fator A da EUPS em Mineiros-GO: Mapa de perda de solos no cenário Pós-CAR (cenário ideal). . . . .	55
5.8	Mapa de desconformidades do CAR. . . . .	56
5.9	Mapa de perda de solos tolerável. . . . .	57
5.10	Razão entre a perda de solo tolerável e a EUPS no cenário Pré-CAR. . . .	59
5.11	Razão entre a perda de solo tolerável e a EUPS no cenário Pós-CAR. . . .	60
5.12	Comparação entre o mapa de suscetibilidade à erosão hídrica (Embrapa) e mapa resultante da razão entre a estimativa de perda de solos (Pré-CAR) e a perda tolerável de solos. . . . .	61
5.13	Diferença entre a estimativa de perda de solos e a perda tolerável (Cenário Pré-CAR). . . . .	63
5.14	Diferença entre a estimativa de perda de solos e a perda tolerável (Cenário Pós-CAR). . . . .	64

## LISTA DE TABELAS

4.1	Erodibilidade de Solos (Fator K) - Mineiros-GO . . . . .	31
4.2	Classes de cobertura e uso e respectivos fatores C, P e CP. As referências são em relação ao fator C. . . . .	35
5.1	Comprimento de rampa e declividade (Fator LS): área total e área relativa - município de Mineiros-GO. . . . .	42
5.2	Erodibilidade dos solos (Fator K): área total e área relativa - município de Mineiros-GO. . . . .	43
5.3	Uso-Manejo e Práticas Conservacionistas (Fator CP) - município de Mineiros-GO . . . . .	46
5.4	Estimativa de Perda de Solos (EPS) Por Erosão Laminar - Município de Mineiros-GO. . . . .	49
5.5	Uso do solo na Classe de Estimativa de Perda de Solos >25 ton/ha/ano. . .	50
5.6	Uso do solo na Classe de Estimativa de Perda de Solos 0-2 ton/ha/ano. . .	51
5.7	Perda de Solos Por Erosão Laminar (Pós-CAR) - Município de Mineiros-GO . . . . .	52
5.8	Valores Absolutos e Percentuais da Razão entre a Estimativa de Perda de Solos e Perda Tolerável, para os cenários Pré e Pós-CAR, município de Mineiros – GO. . . . .	58

# SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS</b> . . . . .	<b>9</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> . . . . .	<b>11</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> . . . . .	<b>13</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> . . . . .	<b>16</b>
<b>3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> . . . . .	<b>17</b>
3.1 Solo como recurso natural . . . . .	17
3.2 Processos erosivos . . . . .	19
3.2.1 Agentes que Influenciam a Erosão . . . . .	20
3.2.2 Principais Tipos de Erosão Hídrica . . . . .	22
3.2.3 Erosão laminar . . . . .	23
3.3 Modelos na análise de perda de solo . . . . .	24
3.4 O Cadastro Ambiental Rural (CAR) . . . . .	26
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> . . . . .	<b>27</b>
4.1 Área de estudo . . . . .	27
4.2 Materiais . . . . .	29
4.3 Métodos . . . . .	30
4.3.1 Fator K . . . . .	30
4.3.2 Fator R . . . . .	31
4.3.3 Fator LS . . . . .	32
4.3.4 Fator CP . . . . .	33
4.3.5 Integração dos dados e perda de solo tolerável . . . . .	36
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> . . . . .	<b>39</b>
5.1 Fatores da EUPS . . . . .	39
5.2 Cenário Pré-CAR . . . . .	46
5.3 Cenário Pós-CAR . . . . .	52
5.4 Perda de solo tolerável . . . . .	53
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> . . . . .	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> . . . . .	<b>66</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O solo é um recurso natural de fundamental importância para o homem. É nele que o homem edifica suas habitações, cultiva suas plantações e extrai inúmeros recursos naturais. No entanto, diversas práticas do homem resultam em degradação do solo, ocasionando problemas ambientais como a erosão acelerada e o assoreamento dos canais de drenagem. Entre os fatores de desgaste que mais contribuem para a degradação do solo, destacam-se os processos erosivos. É importante observar que a erosão do solo também é um processo natural, condicionado por fatores climáticos, geomorfológicos e geológicos.

Em geomorfologia, conforme argumenta Embleton e Thornes (1979), processo define as ações dinâmicas ou eventos que envolvem a aplicação de forças sobre gradientes. Essas ações são ocasionadas por agentes como a chuva, o vento, as ondas, as marés, as correntezas de rios e também o gelo. Em relação à erosão acelerada ou antrópica, a ação humana sobre o solo, sobretudo para o cultivo agrícola e pecuária, tem contribuído significativamente para a potencialização dos processos erosivos, encurtando assim, a escala de tempo em que os mesmos ocorrem. As atividades humanas sobre o solo geram impactos, às vezes irreversíveis, ocasionando prejuízos de ordem ambiental, econômica, social e cultural.

Em relação aos condicionantes dos processos erosivos, o clima configura-se como um dos elementos fundamentais do meio físico a ser analisado, sobretudo a precipitação. As precipitações pluviométricas, através do impacto direto da água sobre a superfície, podem gerar a remoção de partículas do solo direta ou indiretamente, através do escoamento superficial. A erosão hídrica, assim, pode ser compreendida como processo erosivo que envolve a remoção de partículas do solo, deflagrado pela ação de chuvas. Portanto, as etapas da erosão hídrica são: 1) impacto direto da chuva sobre o solo (provocando desagregação das partículas do solo); 2) remoção e transporte das partículas através de escoamento superficial; e 3) deposição do material erodido formando depósitos de assoreamento.

De acordo com Guerra (2005), as consequências do processo erosivo podem ser verificadas diretamente onde ele ocorre, bem como nas áreas a jusante, resultando no assoreamento de rios e lagos, contaminação das águas dos rios pelos defensivos agrícolas, acentuação dos efeitos de inundações, entre outros impactos ambientais negativos.

Devido ao problema crescente de degradação dos recursos naturais, em especial aos processos que envolvem a degradação do solo, há uma demanda por informações

relativas à quantificação da erosão, da produção de sedimentos, uma vez que seus impactos são diretamente verificados nas atividades econômicas e de meio ambiente. O desenvolvimento de modelos de previsão de erosão tem por principal finalidade o desenvolvimento de ferramentas de auxílio que possam subsidiar o planejamento das ações de conservação do solo e da água. Com modelos de previsão, práticas de controle da erosão podem ser testadas e, sobretudo, simuladas de diferentes cenários de uso e manejo do solo podem ser realizadas.

Em relação aos modelos matemáticos de estimativas de perda de solos por erosão hídrica, destacam-se dois: a *Universal Soil Loss Equation* (USLE), também denominado como Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) no Brasil, e o *Water Erosion Prediction* (WEPP). O modelo EUPS, utilizado no presente trabalho para o município de Mineiros-GO, constitui-se de um modelo de base empírica, que se fundamenta em seis parâmetros: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento de rampa, declividade do terreno, manejo do solo e práticas conservacionistas.

O Cerrado, devido à sua rica biodiversidade e à alta pressão antrópica a que vem sendo submetido, conforme observa Myers *et al.* (2000), embora esteja incluído entre as 25 áreas consideradas críticas para conservação da diversidade biológica no mundo, não têm sido alvo de políticas efetivas para ações voltadas à sua preservação. Em relação às áreas de pastagens e agricultura, dados do MapBiomas - coleção 5 Souza *et al.* (2020) apontam que estas ocupam cerca de 45% da área do Domínio do Cerrado para o ano de 2019.

As atividades antrópicas sobre os solos, que ficam mais expostos em virtude da retirada da cobertura vegetal para o plantio de pastagem e culturas agrícolas, estão sujeitos a maior energia potencial da chuva (erosividade), e também do consequente aumento do escoamento superficial (energia cinética) (SANTOS; MORAIS, 2012).

O município de Mineiros - GO experimenta, especialmente em virtude da expansão agrícola na década de 1970 e 1980, padrões de uso e cobertura da terra com a ocorrência de extensas áreas com pecuária extensiva, arroz de sequeiro, milho, soja e sorgo, conforme aponta Guerra (1989). A partir de 2010 destaca-se o crescimento exponencial das áreas de cultivo de cana-de-açúcar, que em 2018 chega a ocupar 50.000 hectares.

O Cadastro Ambiental Rural – CAR (um registro público eletrônico de âmbito nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais), têm por objetivo principal promover a integração das informações ambientais das propriedades e posses rurais. Essas informações (Áreas de Preservação Permanente - APP, de uso restrito, de Reserva Legal, de remanescentes de florestas e demais formas de vegetação nativa, e das áreas consolidadas), compõem, no CAR, uma base de dados para auxílio no controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

Partindo do pressuposto que a preservação da vegetação nativa em áreas de APP e Reserva Legal contribuem para a redução dos processos de erosão hídrica, o presente trabalho busca, ao final, demonstrar que a implantação do CAR pode contribuir com a redução da perda de solos.

## 2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo principal modelar a perda de solo por erosão laminar para a situação atual de uso e cobertura do solo e em situação ideal informada no CAR no contexto do bioma Cerrado no município de Mineiros-GO.

Como objetivos específicos, o presente trabalho buscou:

- Identificar os principais condicionantes dos processos erosivos laminares no município de Mineiros-GO;
- Identificar as principais áreas em desconformidade com o CAR;
- Evidenciar a importância do CAR como ferramenta para monitoramento de áreas de preservação permanente;
- Relacionar a perda de solo modelada pela perda de solo tolerável para cada classe de solo;
- Proporcionar uma fonte de consulta, para trabalhos posteriores sobre a temática, no município de estudo.

### **3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Considerando que a presente pesquisa se insere na temática ambiental, faz-se necessário algumas considerações sobre os conceitos básicos sobre o solo como recurso natural, abordando também conceitos relacionados aos processos erosivos e principais fatores condicionantes. Dessa forma, são apresentados conceitos e uma síntese de alguns autores que discutem metodologias de modelagem matemática em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) e suas aplicações; bem como traz a revisão de literatura acerca dos processos erosivos, sobretudo os processos de erosão hídrica.

Tendo como ponto de partida o solo como recurso natural, sobre o qual o homem extrai recursos, cultiva lavouras, cria animais e constrói suas habitações, o presente trabalho aborda também a definição de processos erosivos e a erosão como um fenômeno de desgaste da superfície. Ainda são abordados: os agentes que influenciam a erosão, os principais tipos de erosão hídrica e os modelos utilizados na análise da perda de solo (em especial o modelo EUPS). Por fim, descreve também o Cadastro Ambiental Rural (CAR) e sua contribuição para a preservação ambiental, em especial do solo.

#### **3.1 Solo como recurso natural**

O solo é considerado um recurso natural não renovável, devido as suas baixas taxas de renovação. O conhecimento detalhado das características do solo, assim como o entendimento da sua dinâmica frente aos fenômenos climáticos, geológicos, geomorfológicos, etc., possibilita a sua utilização de forma sustentável, uma vez que é empregado em diversas atividades humanas (agropecuária, urbanização, descarte de resíduos, lazer, educação ambiental, etc.).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), a população mundial alcançou em 2020, o total de 7,7 bilhões de habitantes. Conforme estimativas do órgão, até 2040 chegará a 9,1 bilhões, alcançando 10,1 bilhões no ano de 2060 (ONU, 2019). Com o aumento da demanda, sobretudo, por alimentos, são esperados agravamentos dos problemas sociais, econômicos e ambientais. As atividades humanas em uma escala crescente e acumulativa agravam esses impactos, como a limitação de recursos naturais.

Diante à crescente pressão antrópica sobre os recursos naturais, o conhecimento da capacidade produtiva do solo, de sua aptidão agrícola, bem como da sua importância para a segurança alimentar, os estudos das suas características (erodibilidade, profundi-

dade, resistência ao cisalhamento, mineralogia, entre outros) são de fundamental relevância para a manutenção de serviços essenciais bem como para o ecossistema.

Os solos representam a camada natural mais externa da superfície da Terra, a qual pode ser eventualmente modificada ou mesmo construída pelo homem, contendo matéria orgânica viva e servindo ou sendo capaz de servir à sustentação da cobertura vegetal. As definições de solo são várias, por este ser objeto de análise sob diferentes perspectivas (agricultura, engenharia, entre outras).

Para Curi (1993), o solo é uma coleção de corpos naturais, sendo constituído de matéria mineral e/ou orgânica inconsolidada na superfície da Terra, que serve como meio natural para o desenvolvimento das plantas, estando sua gênese condicionada por elementos do clima, do relevo, da geologia, do tempo e também de organismos. Acrescenta ainda os processos pedogenéticos de adição, perda, transportes seletivos e transformações.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1995) na NBR 6502, o solo é compreendido como “Material proveniente da decomposição das rochas pela ação de agentes físicos ou químicos, podendo ou não ter matéria orgânica”, ou simplesmente, produto da decomposição e desintegração da rocha pela ação de agentes atmosféricos.

Para Lepsch (2002), o solo pode ser definido como “a coletividade de corpos naturais, dinâmicos, que contém matéria viva, e é resultante da ação do clima e da biosfera sobre a rocha, cuja transformação em solo se realiza durante certo tempo e é influenciada pelo tipo de relevo”. Em definição do Manual Técnico de Pedologia (IBGE, 2015), o solo é definido como coletividade de indivíduos naturais, na superfície da terra, eventualmente modificado ou mesmo construído pelo homem, contendo matéria orgânica viva e servindo ou sendo capaz de servir à sustentação de plantas ao ar livre.

Segundo definição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SiBCS, o solo é definido como “coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta” (SANTOS *et al.*, 2018).

Diante do exposto, fica evidenciado a importância do solo, como recurso natural essencial à sociedade, assim como a necessidade do uso racional do mesmo. A degradação dos solos resulta em lixiviação de sua camada superficial, assoreamento dos canais de drenagem, carregamento de defensivos agrícolas para o leito de córregos e rios (afetando a fauna aquática), representando assim, danos ambientais e econômicos. Dessa forma, a condição para a sustentabilidade é estabelecer limites ao uso de recursos naturais e à degradação ambiental de modo a não comprometer o crescimento econômico, equilibrando as relações do homem com a natureza (CMMAD, 1987).

## 3.2 Processos erosivos

O termo erosão é proveniente do latim “erodere”, e significa “corroer”. De acordo com o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT, 1986), pode-se definir erosão como um conjunto de processos pelos quais os materiais terrosos e rochosos da crosta terrestre são desagregados, desgastados/dissolvidos e por fim, transportados pela ação dos agentes erosivos, como a água, o vento e o gelo. Para Bigarella (2003), a erosão consiste no desgaste, no afrouxamento do material rochoso e na remoção dos detritos através dos processos atuantes na superfície da terra.

Os processos erosivos constituem-se numa forma natural de esculturação do relevo (processos morfoesculturais), atuando simultaneamente com a formação de solos (processos pedogenéticos), em equivalência (equilíbrio). Nessas condições, a erosão costuma ser classificada como erosão natural ou geológica. Por sua vez, quando ocorre o rompimento desse equilíbrio, através da ação antrópica, denomina-se de erosão acelerada ou antrópica.

Sobre as causas da erosão, Bertoni e Lombardi Neto (1999a) afirmam que a mesma se dá por forças ativas, como as características da chuva, a declividade e o comprimento do declive do terreno e a capacidade que o solo tem de absorver água e a resistência que o solo exerce a ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal. De acordo Bertoni e Lombardi Neto (1999a), podem ser tanto como processo natural, como de ação antrópica. Para Guerra e Mendonça (2004), a erosão natural apresenta causas relacionadas à quantidade e distribuição das chuvas, a declividade, o comprimento, a forma das encostas, o tipo de cobertura vegetal e também a ação do homem, como o uso e o manejo da terra.

Para Carvalho *et al.* (2006), a decomposição das rochas e as modificações sofridas pelo solo, ocorrem devido a fatores externos, como o potencial de erosividade das chuvas, condições de infiltração e escoamento superficial, declividade e comprimento do talude ou encosta e, ainda de fatores internos, como gradiente crítico, desagregabilidade e erodibilidade do solo.

Considerando as características do bioma Cerrado, Baccaro (1999) afirma que o sistema geomorfológico nesta região é complexo na sua estrutura e funcionamento e vem recebendo o insumo de novos e intensos fluxos de energia à matéria via interferência humana na paisagem. Ainda sobre as particularidades desse bioma, Klink e Machado (2005) reforçam que este se constitui em um “hotspots” para a conservação da biodiversidade mundial, sendo que a erosão dos solos uma das principais ameaças à biodiversidade do Cerrado.

Em áreas de clima tropical, que correspondem à boa parte do território brasileiro, com elevados valores de totais pluviométricos, concentrados em determinados meses do

ano, os processos erosivos são facilmente percebidos. Em se tratando de áreas agrícolas, como é o caso de grande parte do município de Mineiros-GO, a chuva constitui-se em um dos fatores climáticos de maior importância na erosão do solo.

### **3.2.1 Agentes que Influenciam a Erosão**

Entre os agentes que influenciam para surgimento de erosões estão os condicionantes climáticos, o relevo (topografia) e o tipo de solo. Outro agente que é fundamental para o estudo dos processos erosivos é a cobertura vegetal. A existência/ausência também contribui para a minimização/aceleração das erosões.

Bertoni e Lombardi Neto (1999b) afirmam que as erosões ocorrem em toda a superfície terrestre, mas o clima tropical é um fator decisivo, pois nesse clima o processo erosivo é acelerado por causa do aumento da concentração e da velocidade da enxurrada e pela intensidade e frequência da chuva. Quanto maior a intensidade da chuva, maior a perda de solo por erosão. Para esses autores, a erosão dos solos é um processo que ocorre em duas fases: remoção de partículas e posterior transporte desse material erodido. Segundo Salomão e Iwasa (1995), a influência da chuva para remoção das partículas do solo depende da distribuição pluviométrica, mais ou menos regular, no tempo e no espaço, e da sua intensidade. As chuvas torrenciais ou pancadas de chuvas intensas constituem, para o mencionado autor, a forma mais agressiva de impacto da água no solo, sendo a aceleração da erosão máxima durante tais eventos.

O impacto direto da água da chuva no solo, também contribui para os processos de erosão. No momento do impacto, desprendem partículas do solo na área que houve o impacto; transportam as partículas desprendidas (salpicamento ou splash); adicionam energia à água superficial.

De acordo com a Organização de Agricultura e Alimentos das Nações Unidas (FAO, 1967), o fator erosividade da chuva expressa à capacidade da chuva esperada em dada localidade, de causar erosão, considerando para tanto, uma área sem proteção. Conforme aponta Wischmeier e Smith (1978), as chuvas são consideradas erosivas e individuais desde que sejam maiores ou iguais a 10 mm; ou maiores ou iguais a 6,0 mm ocorrendo em, no máximo, 15 minutos e separadas entre si por um período de no mínimo 6 horas, com uma lâmina de chuva de 1,0 mm ou menos.

Em relação ao agente relevo (topografia), fatores como o comprimento das vertentes, a declividade e as formas das vertentes influenciam para a ocorrência de processos erosivos. O estudo das vertentes, conforme argumenta Chistofolletti (1980), representa importante setor da pesquisa geomorfológica. Envolve a análise de processos e formas, cuja complexidade relaciona-se à ação de vários processos morfogenéticos responsáveis pela formação e remoção de material dentrítico.

As vertentes extensas resultam em maior percurso das águas pluviais, que associadas às declividades expressivas, tendem potencializar o processo de erosão. Declividades acentuadas e elevada amplitude altimétrica favorecem o arraste e velocidade de escoamento hídrico.

As formas das vertentes também podem influenciar na ocorrência das erosões. Com relação às formas, são definidos três tipos básicos: as formas côncavas, convexas e retilíneas. Estas formas encontram-se combinadas na natureza, gerando os demais tipos (côncavo-convexas, retilíneo-convexas, etc.). Para Selby (1982), as vertentes que apresentam configuração côncava ou que possuem segmentos côncavos em sua seção por serem zonas de convergência de fluxo de água e por possuírem material disponível para a mobilização (pois tem maior volume de material depositado, como colúvio ou tálus) são as mais favoráveis à ocorrência de deslizamentos. Por sua vez, as vertentes convexas atuam de maneira contrária as côncavas, ou seja, favorecendo a dissipação d'água na encosta por meio do fluxo difuso. Por fim, as vertentes retilíneas têm um padrão reto que contribui para que a água flua de maneira laminar.

A cobertura vegetal possui uma importância significativa para a proteção do solo frente aos processos erosivos. Vilar e Prandi (1993), ao descreverem os principais efeitos da vegetação para proteção do solo, salientam que ela é responsável pela interceptação e retenção da chuva, protegendo o solo contra a atuação do impacto direto das gotas de chuva (com destaque para a função da serrapilheira ou cobertura vegetal morta, que funcionam como barreiras para o escoamento superficial). Com isso, há a deposição das partículas por interceptação ou redução de velocidade. Responde ainda pela retenção e aglutinação do solo pela ação de suas raízes.

Quanto à influência do tipo de solo para os processos erosivos, este fator se relaciona a sua erodibilidade. A erodibilidade de um solo é definida como a sua capacidade de resistir aos processos erosivos. Além das propriedades específicas de cada solo, Vilar e Prandi (1993) afirmam que fatores subsidiários como ciclos de umedecimento e secagem, assim como a composição química da água presente no solo, influenciam em sua erodibilidade.

Bertoni e Lombardi Neto (1999a) afirmam que a textura do solo e o tamanho das partículas que o compõem (granulometria) são um dos fatores que influenciam na sua erodibilidade. Na textura do solo, são observados os percentuais das partículas de areia, silte e argila. As classes de texturas do solo influenciam no seu comportamento hidráulico (fluxo interno da água), nos fenômenos de adsorção e adesão, de expansão e retração, entre outros (OLIVEIRA; NEARING; WENDLAND, 2015). Por influenciar no comportamento hidráulico do solo, a textura influencia grandemente em sua erodibilidade. Lal (1988) afirma que é grande a influência da textura do solo em sua erodibilidade, por afetar os processos de desagregação e transporte.

### 3.2.2 Principais Tipos de Erosão Hídrica

A erosão hídrica pode ser conceituada com o destacamento e transporte de materiais na forma de partículas do solo ou movimentos de massas do solo de um local para outro sobre a ação da chuva e do escoamento.

A erosão hídrica é identificada por Pissarra *et al.* (2005) como a principal causa do empobrecimento do solo agrícola, sendo a estrutura do solo destruída nesse processo, pelo impacto direto da chuva atingindo a superfície do terreno, desprendendo partículas do solo. Posteriormente, as partículas soltas, são removidas e depositado nas porções mais baixas do relevo, tendo como consequência direta o assoreamento dos leitos dos rios. Entre os fatores que influenciam a erosão hídrica, os autores citados apontam a água, o solo, a topografia, a cobertura, o manejo do solo e também as práticas conservacionistas.

Em relação às terras cultivadas, como é o caso de boa parte da área de estudo, a causa principal da erosão hídrica nas terras é a ação da chuva diretamente no solo. Em suma, à propensão de uma área ao processo erosivo (susceptibilidade à erosão) irá depender da combinação da capacidade da chuva de causar erosão (erosividade), associada à capacidade do solo de resistir à ação da chuva (erodibilidade).

A definição de escoamento superficial, feita por Chow, Maidment e Larry (1988), observa que este por ser entendido com a parcela do ciclo hidrológico relacionado ao deslocamento das águas sobre superfícies do solo, até encontrar uma calha definida. Em relação ao escoamento superficial, são distinguidas as seguintes formas de erosão pela água: erosão laminar, erosão em sulcos, em ravinas e em voçorocas:

- Erosão laminar: é o estágio inicial da erosão hídrica, consistindo na remoção de delgadas camadas de solo, não se fazendo notar sua ação com facilidade. É originária do escoamento superficial disperso pela encosta, não se concentrando em canais;
- Erosão em sulcos: é caracterizada a partir do momento em que ocorre a canalização do escoamento das águas na superfície do solo. Nesse estágio, o processo erosivo é facilmente percebido. O escoamento, que antes era difuso (laminar), concentra-se em pequenas depressões da superfície (linear). Cantalice *et al.* (2005) afirmam que quando isso ocorre, a lâmina de escoamento desenvolve maior tensão de cisalhamento pelo aumento de espessura, elevando, portanto, a capacidade do escoamento de desagregar o sol;
- Erosão em ravinas: a erosão em ravina pode ser caracterizada pela ocorrência de um canal pequeno e relativamente profundo originado por uma corrente de água intermitente. Pode originar-se a partir do desenvolvimento progressivo dos sulcos nas vertentes. Em relação à origem, muitas estão associadas à atividade antrópica não conservacionista, uma consequência do mau uso do solo. De acordo com

Ellison (1947), as ravinas ocorrem a partir do momento em que a velocidade do fluxo concentrado excede os 30 m/s, quando este adquire um regime turbulento e origina-se uma incisão ao longo da linha de fluxo; e

- Erosão em voçorocas: as voçorocas consistem no estágio mais avançado do processo erosivo. Guerra (1994) caracterizam as voçorocas por possuírem paredes laterais íngremes, em geral fundo chato, ocorrendo fluxo de água em seu interior, devido à interceptação e afloramento do nível freático. Duas perspectivas de pesquisa se destacam na definição e caracterização das voçorocas. A maior comum (que utiliza critério da dimensão espacial) considera as voçorocas como incisões lineares maiores que 50 centímetros de profundidade e largura. Por outro lado, está a perspectiva que define a voçoroca envolvendo a participação do lençol freático nesse processo erosivo, independente de sua dimensão espacial.

As principais intervenções para o controle da erosão hídrica, segundo Lima, Ferreira e Ferreira (2018), são: redução da agressividade do agente erosivo e da capacidade de transporte do escoamento, onde para alcançar esses objetivos se recorre às técnicas físicas, vegetativas e de retenção.

### **3.2.3 Erosão laminar**

O processo de escoamento de uma lâmina d'água na superfície do terreno de modo a transportar as partículas sólidas do solo pelas águas pluviais é chamado de erosão laminar.

A erosão laminar é caracterizada pela desagregação das partículas do solo pela água das chuvas e seu posterior carregamento, distribuída homogeneamente pelo terreno. Surgem pequenas incisões no solo, em especial onde o fluxo de água começa a se concentrar, podendo dar início à formação de sulcos e ravinas, caracterizando outro tipo de processo, o de erosão linear (GUERRA; SILVA; BOTELHO, 2009). Ainda segundo o mencionado autor, nesse estágio a erosão ainda é incipiente e localizada, envolvendo apenas o transporte individual dos grãos que compõem o solo, sendo assim, de mais fácil recuperação.

Como consequências da erosão laminar, pode-se afirmar que seus efeitos são diretamente notados na produtividade agrícola, assim como desdobramentos em danos ambientais, uma vez que a terra transportada pelas enxurradas provoca sérios danos à qualidade da água, causando poluição de reservatórios e os cursos de água, refletindo também em riscos à saúde humana, dos animais, bem como a fauna aquática. Seixas (1984) afirma que a erosão laminar, em áreas agrícolas, tem um elevado poder erosivo causando prejuízos econômicos. A erosão laminar conforme afirma o autor citado, arrasta

as camadas mais rasas de solo, carregando o horizonte superficial (mais fértil), bem como as partículas mais finas do solo.

Para Guerra (2005), a erosão laminar apresenta-se muitas vezes mais drástica do que as outras formas de erosão, como as ravinas e voçorocas. Ainda em relação à erosão laminar, Rubira, Melo e Oliveira (2016) alertam que a mesma se constitui como a mais perigosa para os proprietários de terra, devido à difícil detecção do processo (forma de erosão menos perceptível). Para os autores acima, por não apresentar escavações, passa despercebida aos olhos dos produtores rurais, sendo que quando notada, já resultou em grandes estragos com perdas de solos significativas.

### **3.3 Modelos na análise de perda de solo**

Segundo Tucci (2005), o modelo pode ser definido como a representação de algum objeto ou sistema, numa linguagem ou forma de fácil acesso e uso, com objetivo de entendê-lo e buscar suas respostas para diferentes entradas. Esses modelos, conforme o autor citado, podem ser classificados quanto à memória (o quanto do passado afeta o estado presente); quanto à linearidade (validade do princípio da superposição); quanto à sua variabilidade espacial (se concentrado ou distribuído); quanto à variabilidade temporal (se contínuo ou discreto); quanto à chance de ocorrência de determinada variável (estocástico ou determinístico) e quanto às funções utilizadas (se conceitual ou empírico).

De acordo com Ferreira e Francisco (2009), a aplicação de modelagem matemática e de geoprocessamento na análise de sistemas ambientais são recursos desenvolvidos há muitas décadas, enquadrando-se como procedimentos teóricos no uso de uma abordagem holística, por meio de avaliações quantitativas e qualitativas. Essa modelagem, de acordo com Chistofolletti (1999), pode ser entendida como sendo “qualquer representação simplificada da realidade” ou de um aspecto do mundo real que surja como de interesse ao pesquisador, que possibilite reconstruir a realidade, prever um comportamento, uma transformação ou uma evolução. Ainda conforme o autor citado, a compreensão sobre a interação entre modelagem e o uso de SIG, tem como premissa de que os estudos das séries temporais e das análises espaciais necessariamente devem acontecer conjuntamente.

Conforme já abordado no presente trabalho, os processos erosivos envolvem diversas variáveis, tornando o monitoramento das mesmas, em áreas extensas, de elevado custo. Dessa forma, modelos de previsão de erosão podem, auxiliar no entendimento e até mesmo na definição de áreas prioritário-estratégicas para o monitoramento, direcionando estudos, facilitando políticas de controle e identificação dos impactos desses processos, entre outros benefícios.

Os trabalhos que se propuseram a mensurar os processos erosivos, por meio de modelos empíricos, com a utilização de modelagem numérica das variáveis envolvidas

nos mesmos remontam aos anos 1940. Na primeira equação proposta, relacionava-se a taxa de perda de solo ao grau e comprimento do declive (WISCHMEIER; SMITH, 1978).

A partir da década de 1950, surge a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), proposta por Wischmeier e Smith (1978). A EUPS foi desenvolvida a partir da análise de dados em erosão hídrica do solo disponíveis nos Estados Unidos pelo Agricultural Research Service em cooperação com a Universidade de Purdue. A denominação “Universal” se deve ao fato de sua estrutura permitir sua aplicação em todos os lugares onde pudessem ser obtidos dados apropriados. A primeira versão da EUPS teve como objetivo a análise estatística de dados de um total de 47 localidades em 24 estados, nas porções leste e central dos Estados Unidos.

A EUPS possibilita prever a perda média temporal de solo por erosão hídrica, com base em 6 (seis) fatores locais que influenciam a erosão. Esses fatores são: erosividade de chuva combinada com o escoamento superficial (fator R); susceptibilidade natural do solo à erosão (fator K); associação entre comprimento de rampa e percentual de declividade (fator LS); sistemas de produção, de manejo e de cobertura do solo (fator C); e práticas de suporte de controle da erosão (fator P). A multiplicação destes seis fatores obtidos isoladamente fornece o valor quantitativo da erosão estimada. Sua aplicação de maneira especializada só foi possível após o desenvolvimento de modelos bidimensionais de fluxo e fluxo acumulado (relacionado ao fator L), e à dados bidimensionais de declividade (relação com o fator S) (MINELLA; MERTEN; RUHOFF, 2010).

Da evolução da EUPS podemos citar a *Water Erosion Prediction Project* (WEPP), modelo capaz de estimar perdas de solo e água baseado em processos físicos. De acordo com Chaves (1996), o modelo WEPP é baseado em teorias de infiltração, física do solo, fitotecnia hidráulica e mecânica da erosão. Conforme observa o autor citado, a WEPP visa substituir a EUPS em médio prazo, nos Estados Unidos, sendo resultado de esforços de diversas universidades e agências daquele país. No presente trabalho, optou-se pela utilização do modelo proposto pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS).

A Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS - *Universal Soil Loss Equation*), constitui-se numa das mais aceitas e utilizadas para o cálculo de perdas de solo. Importante destacar que devido à facilidade de sua aplicação, esse modelo foi difundido por diversas regiões do planeta, mesmo que com adaptações/modificações conforme as características de cada ambiente. É definida pela seguinte equação:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (3-1)$$

Onde:

A = perda de solo, em t/(ha.ano);

R = fator erosividade da chuva, em MJ.mm/(ha.h.ano);

K = fator erodibilidade do solo, em t.h/(MJ.mm);

$L$  = fator comprimento de rampa, baseado nos valores, em metros, do comprimento de rampa (adimensional);

$S$  = fator declividade, baseado nos valores, em porcentagem, da declividade (adimensional);

$C$  = fator uso e manejo (adimensional); e

$P$  = fator práticas conservacionistas (adimensional).

### 3.4 O Cadastro Ambiental Rural (CAR)

O Cadastro Ambiental Rural – CAR, foi criado pela Lei nº 12.651/2012 (Código Florestal Brasileiro), no âmbito do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (SINIMA, 2012), e é regulamentado pela Instrução Normativa MMA nº 2, de 5 de maio de 2014 (MMA, 2014). O CAR é o primeiro passo na regularização ambiental da propriedade e que garantirá o atendimento ao novo Código Florestal.

Em suma, o CAR constitui-se em um registro público eletrônico de âmbito nacional, sendo obrigatório para todos os imóveis rurais. Sua finalidade é a integração das informações ambientais das propriedades e posses rurais referentes às Áreas de Preservação Permanente - APP, de uso restrito, de Reserva Legal (RL), de remanescentes de florestas e demais formas de vegetação nativa, e das áreas consolidadas, compondo assim uma base de dados para controle, monitoramento, planejamento ambiental e econômico e combate ao desmatamento.

Em seu artigo 19, a Instrução Normativa nº 2, incisos I, II e III, estabelece que:

Art. 19. A localização e a delimitação sobre imagens georreferenciadas de áreas de remanescentes de vegetação nativa, solicitadas no inciso III dos arts. 13 e 14, desta Instrução Normativa, deverão ser indicadas sobre toda a área do imóvel rural, inclusive, sobre:

I - Áreas de Preservação Permanente;

II - áreas de uso restrito; e

III - áreas de Reserva Legal, inclusive as existentes nos termos dos arts. 30 e 68 da Lei no 12.651, de 2012 (MMA, 2014).

Com base no Artigo 19 da Instrução Normativa nº 2, observa-se a importância do CAR como registro de informações espaciais sobre as APPs, áreas de uso restrito, áreas de Reserva Legal, entre outras. O monitoramento dessas áreas podem contribuir em ações de fiscalização, auxiliando instituições públicas, proprietários rurais, organizações não-governamentais (ONGs), na definição de estratégias para preservação e recuperação dessas áreas.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais (dados utilizados) na presente pesquisa, tais como modelos digitais de elevação (MDE), dados de classes de solos, erosividade da chuva, cobertura e uso do solo, bem como a caracterização da área de estudo são descritos a seguir. Na caracterização da área de estudo, em especial, são demonstradas o crescimento de culturas como cana-de-açúcar e milho, bem como a redução da área plantada de soja.

Na sequência, são demonstrados os métodos de trabalho como cada variável da EUPS, bem como os pesos atribuídos a cada classe de variável, conforme literatura.

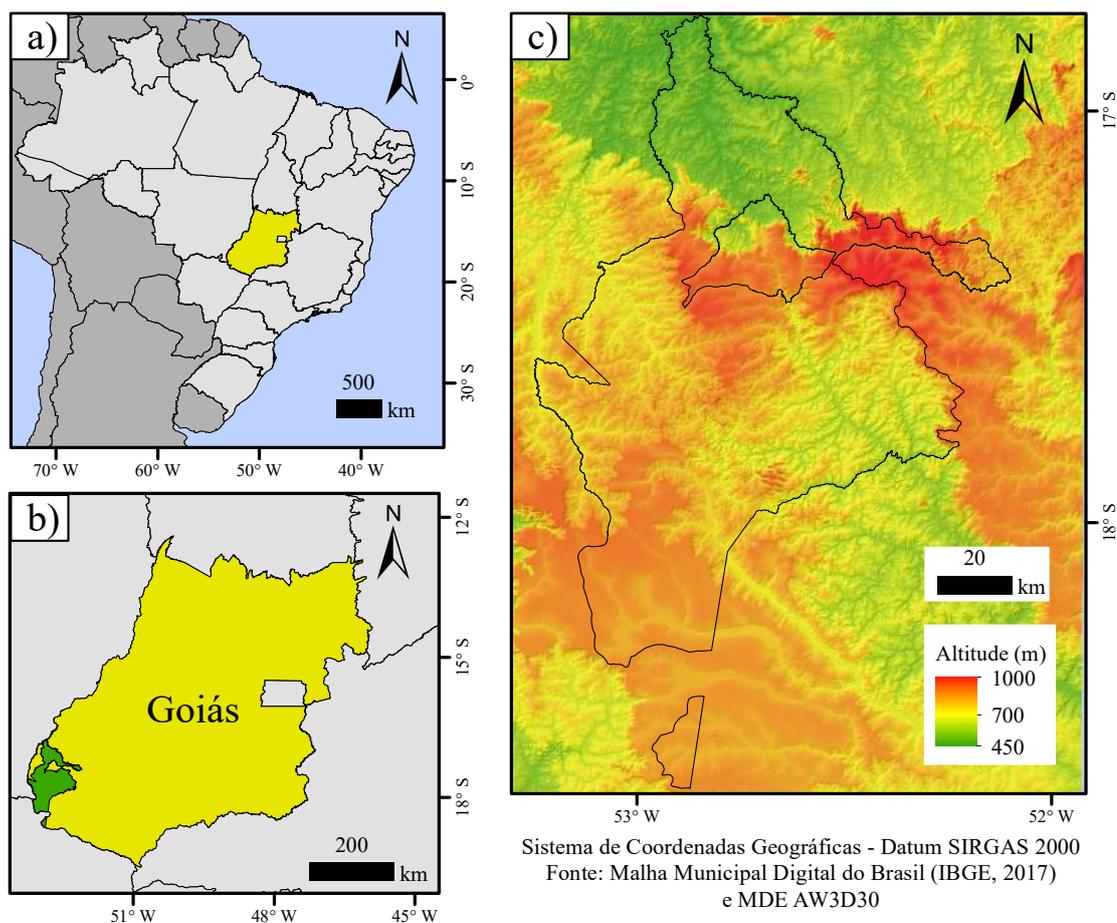
### 4.1 Área de estudo

O município de Mineiros – GO está localizado no Sudoeste Goiano (Figura 4.1). Possui uma área de 9.038,775 km<sup>2</sup> (IBGE, 2019). A população do município, no último censo foi de 52.935 habitantes (IBGE, 2011). Essa população foi estimada em 66.801 habitantes, no ano de 2019, de acordo com o IBGE.

Em relação à ocupação do município, Miziara (2006) aponta a chegada ao município dos migrantes paulistas e mineiros, em busca de ouro e outros minerais. Com a quantidade inexpressiva de minérios no território, tem-se início a prática da pecuária extensiva no município. Em virtude da baixa quantidade de minérios no território, o autor observa a marcante preponderância da pecuária extensiva como principal atividade econômica.

A década de 1970 marca a expansão da fronteira agrícola, no sudoeste goiano. O município então atrai imigrantes principalmente oriundos da Região Sul do país. Na década de 1980, conforme Fleury (2008), Mineiros se destaca na agricultura de commodities, voltada à exportação, a partir da década de 1980, quando há o estabelecimento dos imigrantes oriundos da Região Sul.

A geologia do município abrange grandes áreas em faixas de afloramentos, predominando a Formação Botucatu (composta por arenitos eólicos, formado por arenito fino, constituído por grãos de quartzo bem selecionados, arredondados, com bimodalidade granulométrica com elevada maturidade textural e mineralógica). Secundariamente, ocorre a Formação Cachoeirinha, que de acordo com Meira (2014) seus litótipos são representados por material intemperizado, depósitos aluviais, com o predomínio das fácies conglomeráticas constituídas por calhaus, seixos e arenitos em meio a matriz argilosa. na



**Figura 4.1:** Localização da área de estudo, onde em a) contexto do Brasil (cinza claro) entre os países sul-americanos (cinza escuro); b) estado de Goiás (amarelo) e área de estudo (verde); c) área de estudo correspondendo ao limite territorial do município de Mineiros (GO) sobreposto ao modelo digital de elevação.

Fonte: Elaborada pela autora.

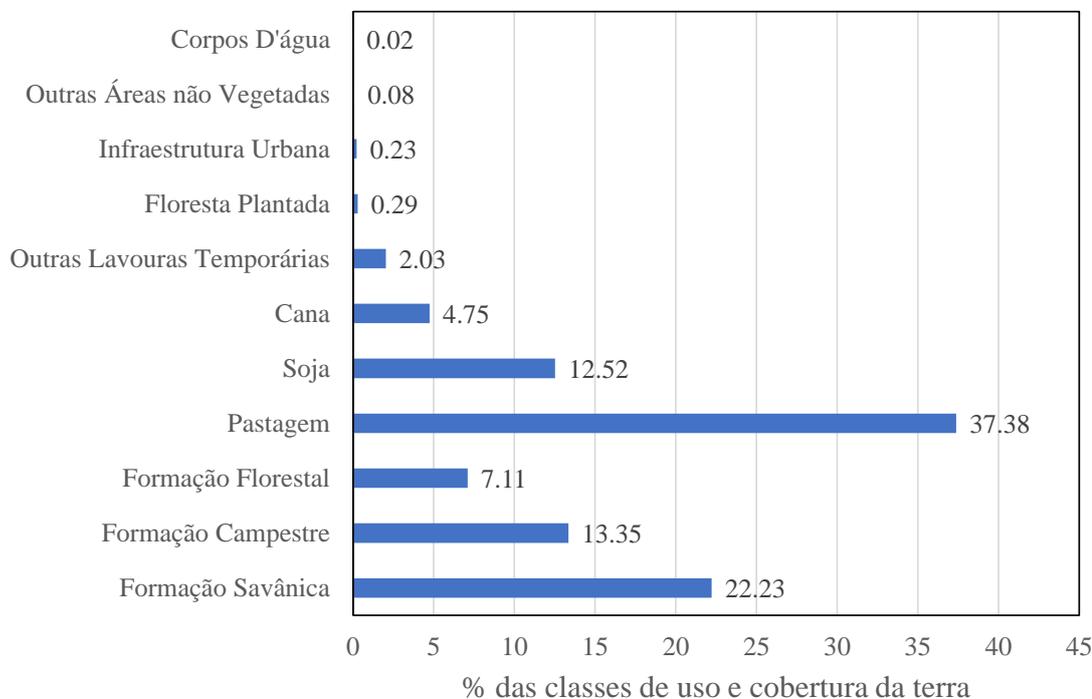
porção norte do município predominam coberturas sedimentares fanerozóicas constituídas por arenitos, folhelhos e siltitos do Grupo Itararé/Formação Aquidauana.

Os solos predominantes no município de Mineiros são os Latossolos Vermelhos-Amarelo e Vermelho, com textura a variar de média a argilosa, comumente associados a Solos Concrecionários, e Neossolos Quartzarênicos.

O município de Mineiros apresenta clima tropical chuvoso Aw (quente e úmido, com verão úmido e inverno seco), com temperatura média anual de 18 a 32 °C e precipitação pluvial média anual em torno de 1700 mm, com o período chuvoso se estendendo de novembro a maio, ocasião em que, de acordo com Carneiro *et al.* (2013) são registrados mais de 80% do total das chuvas do ano.

Em relação à situação atual do município sobre a cobertura e uso do solo, a Figura 4.2, demonstra o percentual de cada classe de fitofisionomia, bem como das

diferentes classes de cobertura do solo, com base no MapBiomias - coleção 5 para o ano de 2018 (SOUZA *et al.*, 2020), ano este que foi escolhido para representar o cenário atual da área de estudo.



**Figura 4.2:** Porcentagem das classes de Cobertura e Uso do Solo em Mineiros-GO no ano de 2018.

Fonte: MapBiomias coleção 5 (MAPBIOMAS, 2020).

E quanto às áreas protegidas merece destaque o Parque Nacional das Emas que é uma importante unidade de conservação com área de 133.464 hectares (dos quais 114.368 hectares são no município de Mineiros). Essa unidade de conservação foi Decreto nº 49.874, de 11 de Janeiro de 1961 e abrange áreas nos municípios de Mineiros - GO, Chapadão do Céu - GO, Serranópolis - GO, Alto Taquari - MT e Costa Rica - MS.

## 4.2 Materiais

Para a elaboração do mapa de Estimativa de Perda de Solos por Erosão do município de Mineiros-GO, os seguintes programas para processamento dos dados: ArcGIS 10.3.1 (ESRI), Whitebox GIS (LINDSAY, 2014) e Google Earth Engine (GORELICK *et al.*, 2017). Dessa forma, os seguintes produtos foram obtidos para elaboração dos mapas:

- Modelo Digital de Elevação - MDE, com resolução espacial de 1 segundo de arco, ou seja, aproximadamente 30 metros (ALOS WORLD 3D 30 M - AW3D30),

disponível em: <https://opentopography.org/>. Acesso em 01 de fevereiro de 2020;

- Dados raster de precipitação, com recorte temporal de 30 anos (1998 a 2018), para elaboração da erosividade da chuva (Fator R), com resolução espacial aproximada de 30 km, disponível em: <https://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>. Acesso em 10 de fevereiro de 2020;
- Mapa de Solos do município de Mineiros – GO (NUNES; CASTRO, 2015), escala 1:100.000;
- Mapa de Cobertura e Uso do Solo do projeto MapBiomas coleção 5 (SOUZA *et al.*, 2020), com tamanho de pixel de 30m x 30m;
- Dados vetoriais de área de preservação permanente, reserva legal e vegetação nativa do CAR, disponível em: <https://www.car.gov.br/>. Acesso em 06 de dezembro de 2020;
- Imagens do sensor MSI/Sentinel-2, sendo usadas as bandas multiespectrais de resolução espacial de 10m (bandas 2, 3, 4 e 8) e 20m (bandas 5, 6, 7, 8a, 11 e 12), no nível de correção 1-C em reflectância no topo da atmosfera (ESA, 2020).

## 4.3 Métodos

A metodologia empregada consistiu na elaboração dos dados referente aos fatores K, R, L, S, C e P, descritos no modelo matemático EUPS, aliadas às técnicas de geoprocessamento. Ao final, os mapas gerados possuem escala de detalhe aproximada de 1:100.000.

### 4.3.1 Fator K

Para determinar a erodibilidade do solo (fator K), conforme já descrito no item 4.2, foi utilizado o mapa de solos do município de Mineiros (GO) elaborado por Nunes e Castro (2015) (Fig. 4.3-c) na escala 1:100.000 e com os valores de K foram baseados no trabalho de Nunes (2015). Foram compilados valores para o fator K de alguns solos do Brasil disponíveis na literatura para unidades pedológicas similares aos solos do Município de Mineiros-GO. Convém ressaltar que os valores foram adquiridos em experimentos por método direto (experimentos em campo). Os valores de erodibilidade são expressos em  $t.h/(MJ.mm)$ , conforme demonstra a Tabela 4.1 e a Figura 6.

**Tabela 4.1:** *Erodibilidade de Solos (Fator K) - Mineiros-GO*

<b>Classes de Solo</b>	<b>Textura</b>	<b>Fator K</b>
Argissolo Vermelho Alítico	Média	0,041
Argissolo Vermelho Distrófico	Média a Arenosa	0,046
Argissolo Vermelho Eutrófico	Argilosa	0,0178
Cambissolo Háptico Distrófico	Média	0,0441
Gleissolo Háptico Distrófico	Argilosa	0,001
Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico	Média	0,042
Latossolo Vermelho Álico	Média	0,043
Latossolo Vermelho Distrófico	Argilosa a Muito Argilosa	0,0061
Latossolo Vermelho Distrófico	Média	0,04
Neossolo Flúvico Distrófico	Média	0,029
Neossolo Litólico Distrófico	Arenosa a Cascalhenta	0,0302
Neossolo Quartzarênico Hidromórfico	Média a Arenosa	0,048
Neossolo Quartzarênico Órtico	Arenosa	0,055
Neossolo Quartzarênico Órtico	Média a Arenosa	0,055

Fonte: Adaptado de Nunes (2015).

### **4.3.2 Fator R**

Os dados de pluviosidade para o município de Mineiros foram obtidos através da *home page* do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG, da Universidade Federal de Goiás – UFG (Fig. 4.3-a), sendo relativos ao meses de 2018 e compatível com a escala 1:250.000. O dado de precipitação mensal disponível na página do LAPIG/UFG é referente ao produto 3B43 do TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) (TRMM, 2011).

Conforme Wischmeier e Smith (1958), o índice de erosividade EI30 expressa à relação entre a intensidade e a energia cinética da chuva e se correlaciona bem com

as perdas de solo por erosão. O fator de “R” foi calculado pelo somatório do modelo estabelecido por Lombardi-Neto e Moldenhauer (1992).

$$EI = 68,730(p^2/P)^{0,841} \quad (4-1)$$

Onde:

*EI*: erosividade média mensal (MJ ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>);

*p*: é a precipitação média mensal (mm) e;

*P*: precipitação média anual (mm).

### 4.3.3 Fator LS

O MDE AW3D30 no bioma Cerrado possui padrão de exatidão cartográfica para produtos cartográficos digitais compatível na escala 1:50.000 com classe B (BETTIOL *et al.*, 2021), com isso ele foi o MDE escolhido para a área de estudo (Fig. 4.1-c). Sendo disponibilizado originalmente em coordenadas geográficas, o dado foi convertido para projeção UTM com tamanho de pixel de 30m com base e com a reamostragem bilinear, seguindo as recomendações de Mudd (2020). Em seguida, o dado foi convertido para um MDE hidrológicamente consistente com base no software Whitebox GIS (LINDSAY, 2014) e o algoritmo *Breach Depressions Least Cost* (LINDSAY; DHUN, 2015).

Com o MDE em coordenadas métricas e hidrológicamente consistente foi calculado o fator LS com base na formulação de Moore, Grayson e Ladson (1991) com o algoritmo *Sediment Transport Index* também com o Whitebox GIS (LINDSAY, 2014).

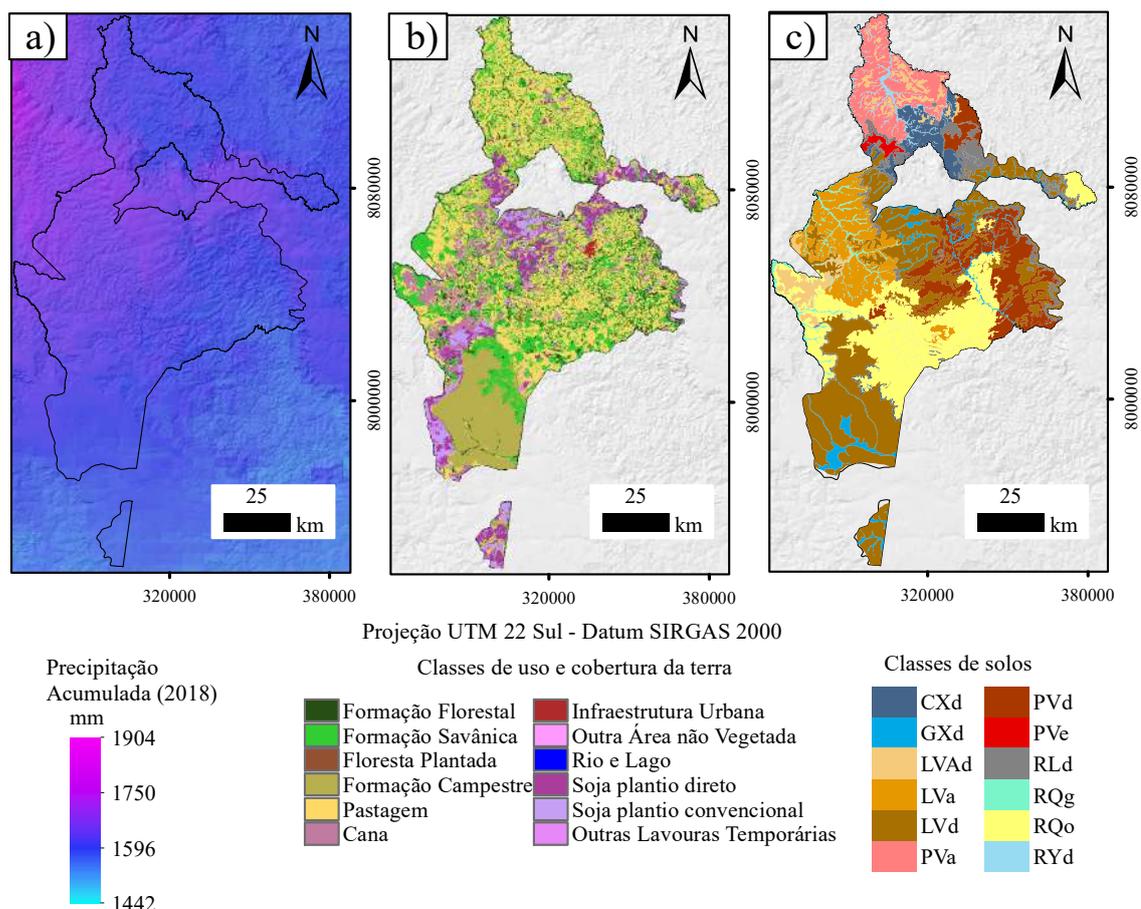
O cálculo do fator LS com o uso de um MDE é baseado na formulação de Moore, Grayson e Ladson (1991), onde são usados como principais variáveis a área de contribuição específica (*Acs*) e a declividade ( $\beta$ , medido em graus) (Equação 4-2). Tal abordagem tem sido entendida na literatura como uma maneira mais robusta e prática de trabalhar, uma vez que o comprimento de rampa era calculado sobre cartas topográficas (PANAGOS; BORRELLI; MEUSBURGER, 2015). O fator LS pode ser descrito por:

$$LS = (n + 1) \left( \frac{Acs}{22,13} \right)^n \left( \frac{\text{sen } \beta}{0,0896} \right)^m \quad (4-2)$$

Onde  $n = 0,4$  (exponente de *Acs*) e  $m = 1,3$  (exponente de  $\beta$ ) em sua formulação original (MOORE; GRAYSON; LADSON, 1991) e utilizada neste trabalho.

A equação 4-2 foi derivada da teoria *stream-power* específico por Moore e Burch (1986) e é mais favorável a paisagens com topografias complexas porque explica explicitamente a convergência e divergência de fluxo através do *Acs*.

Para calcular a *Acs* e obter o fator LS, foi utilizado o algoritmo D-Inf (TARBOTON, 1997) e para evitar pixels com maiores valores de LS ao longo dos canais de drenagem,



**Figura 4.3:** Dados utilizados na obtenção dos fatores da EUPS. a) Precipitação acumulada da área de estudo para o ano de 2018; b) Classes de uso e cobertura da terra do MapBiomas (coleção 5) do ano de 2018; e c) Mapa de solos, onde PVa - Argissolo Vermelho Alumínico; PVd - Argissolo Vermelho Distrófico; PVe - Argissolo Vermelho Eutrófico; CXd - Cambissolo Háptico Distrófico; GXd - Gleissolo Háptico Ta Distrófico; LVAd - Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico; LVa - Latossolo Vermelho Aluminoférrico; LVd - Latossolo Vermelho Distrófico; RYd - Neossolo Flúvico Tb Distrófico; RLd - Neossolo Litólico Distrófico; RQg - Neossolo Quartzarênico Hidromórfico; RQo - Neossolo Quartzarênico Órtico.

Fonte: Lapig-UFG, MapBiomas coleção 5 e Nunes e Castro (2015).

foi aplicado um filtro de mediana 3x3.

#### 4.3.4 Fator CP

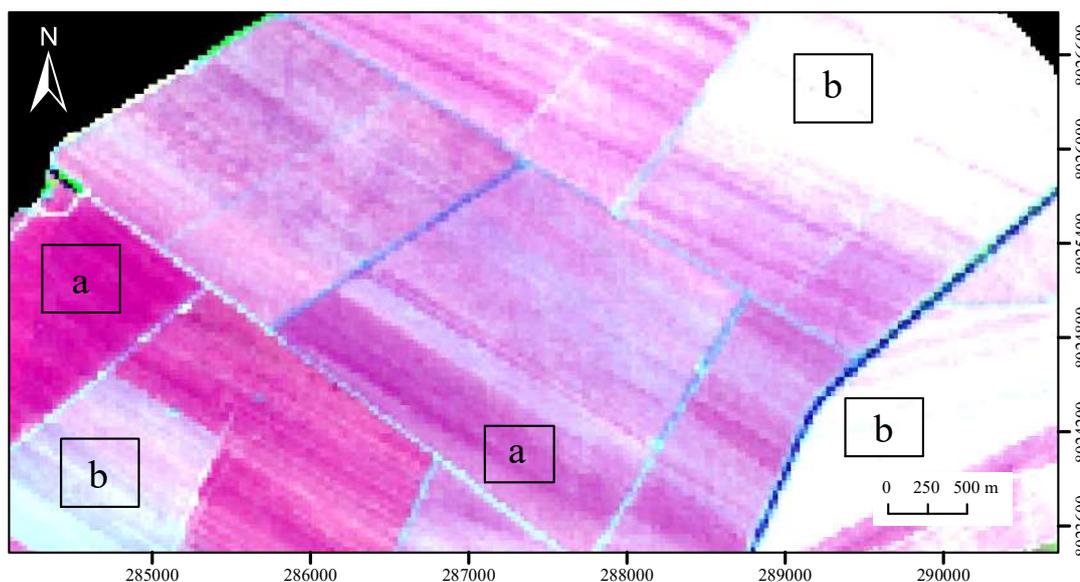
O fator CP influencia na relação entre as perdas de solo com o uso e cobertura do solo. Dessa forma, a redução da erosão pode depender, em caso de áreas agrícolas, do

tipo de cultura e manejo adotado, da fase do ciclo vegetativo, entre outras variáveis, sendo que as combinações apresentam diferentes resultados na perda de solo.

Os dados de uso e cobertura do solo do projeto MapBiomass fornece um grande detalhamento de classes, trazendo na coleção 5 inclusive a distinção de culturas agrícolas como cana-de-açúcar e soja, compatível com a escala 1:250.000. Em relação à soja, as duas principais formas de plantio é o convencional e o plantio direto que geram impactos distintos em relação a erosão laminar dos solos (PRUSKI, 2009). No plantio convencional a preparação do solo muitas vezes envolve a exposição total do solo com aração e gradagem para o plantio. Por sua vez, no plantio direto o solo é coberto por restos de plantas (palhada), não havendo a exposição completa do solo. Diante disso, optou-se por diferenciar dentro das áreas de soja, quais seriam as áreas onde houve plantio direto e convencional.

Para isso foi utilizado imagens orbitais multiespectrais do sensor MSI do satélite Sentinel-2 entre os dias 23 e 30 de setembro de 2018, data escolhida pelo fato da imagem estar sem nuvens e corresponder ao final do período do vazio sanitário da soja para o estado de Goiás no referido ano (FAEG, 2018).

Para essas imagens foi aplicado uma máscara para processar apenas os pixels das áreas de soja apontadas pelo MapBiomass. Amostras de treinamento de áreas de solo exposto e palhada foram adquiridas para inferir as áreas de soja por plantio convencional e direto (Figura 4.4). Foi utilizado o classificador supervisionado *Random Forest* (BREIMAN, 2001) pela plataforma de processamento em nuvem Google Earth Engine (GORELICK *et al.*, 2017).



**Figura 4.4:** Imagem MSI/Sentinel-2 em composição colorida (R B11, G B8A, B B4) de 23/09/2018, com destaque para o solo exposto (a – plantio convencional) e com palhada (b - plantio direto). Projeção UTM - Fuso 22 Sul, datum SIRGAS 2000.

Fonte: Elaborado pela autora.

A plataforma do Google Earth Engine é baseada na linguagem de programação JavaScript, os códigos utilizados estão disponíveis em <https://github.com/vieiramesquita/LAPIG-GEE>. Para avaliação da classificação supervisionada, 100 pontos aleatórios foram distribuídos sobre a área de soja de 2018, conferidos por interpretação visual e elaborado uma matriz de confusão com a exatidão global e índice kappa.

Com a classe de soja separada em soja por plantio convencional e plantio direto, em conjunto com as demais classes já obtidas do projeto MapBiomass referente ao ano de 2018 (Fig. 4.3-b), para o fator C e P, foram utilizados os valores preconizados na literatura (Tabela 4.2), configurando assim os dados para um cenário pré-CAR.

**Tabela 4.2:** Classes de cobertura e uso e respectivos fatores C, P e CP. As referências são em relação ao fator C.

Classe	C	P	CP	Referência
Formação Florestal	0,003	1	0,003	Cunha, Bacani e Panachuki (2017)
Formação Savânica	0,013	1	0,013	Oliveira, Nearing e Wendland (2015)
Floresta Plantada	0,12	1	0,12	Silva <i>et al.</i> (2014)

(Continua)

**Tabela 4.2:** *Continuação*

<b>Classe</b>	<b>C</b>	<b>P</b>	<b>CP</b>	<b>Referência</b>
Formação Campestre	0,016	1	0,016	Cunha, Bacani e Panachuki (2017)
Pastagem	0,03	1	0,03	Galdino <i>et al.</i> (2016)
Cana	0,3066	0,5	0,1533	Weill e Sparovek (2008)
Infraestrutura Urbana	0,001	0	0	Farinasso <i>et al.</i> (2006)
Outras Áreas não Vegetadas	0,001	1	0,001	-
Rio, Lago e Oceano	0	0	0	-
Soja plantio direto (palhada)	0,2	0,5	0,1	Pruski (2009)
Soja convencional (solo exposto)	0,54	0,5	0,27	Pruski (2009)
Outras Lavouras Temporárias	0,11	0,5	0,055	Gomes <i>et al.</i> (2019)

Em relação ao cenário pós-CAR, foram agrupadas as áreas de polígonos de APP, reserva legal e vegetação nativa declaradas no CAR, aqui denominadas de áreas de preservação. Para essas áreas (polígonos), cujo uso e cobertura da terra atual (2018) é antrópico (Fig. 4.5), adotou-se o fator CP equivalente à Formação Savânica (0,013), vislumbrando um cenário futuro onde essas áreas declaradas tenham seu uso e cobertura convertido para vegetação natural predominante no Cerrado e na área de estudo.

Em ambiente SIG, os dados de uso e cobertura da terra do MapBiomias foram convertidos de raster para vetor, e feita uma operação de interseção entre os polígonos de áreas a serem preservadas no CAR (APP, reserva legal e vegetação nativa) e as classes de uso e cobertura da terra antrópicas. Para essas áreas de interseção foi definido uma coluna na tabela de atributos com o fator CP de 0,013, conforme anteriormente explicado, bem como manteve-se o fator CP para as demais classes de uso e cobertura (Tabela 4.2), convertendo o dado novamente para raster no final do processo, obtendo-se assim o dado matricial do fator CP no cenário pós-CAR.

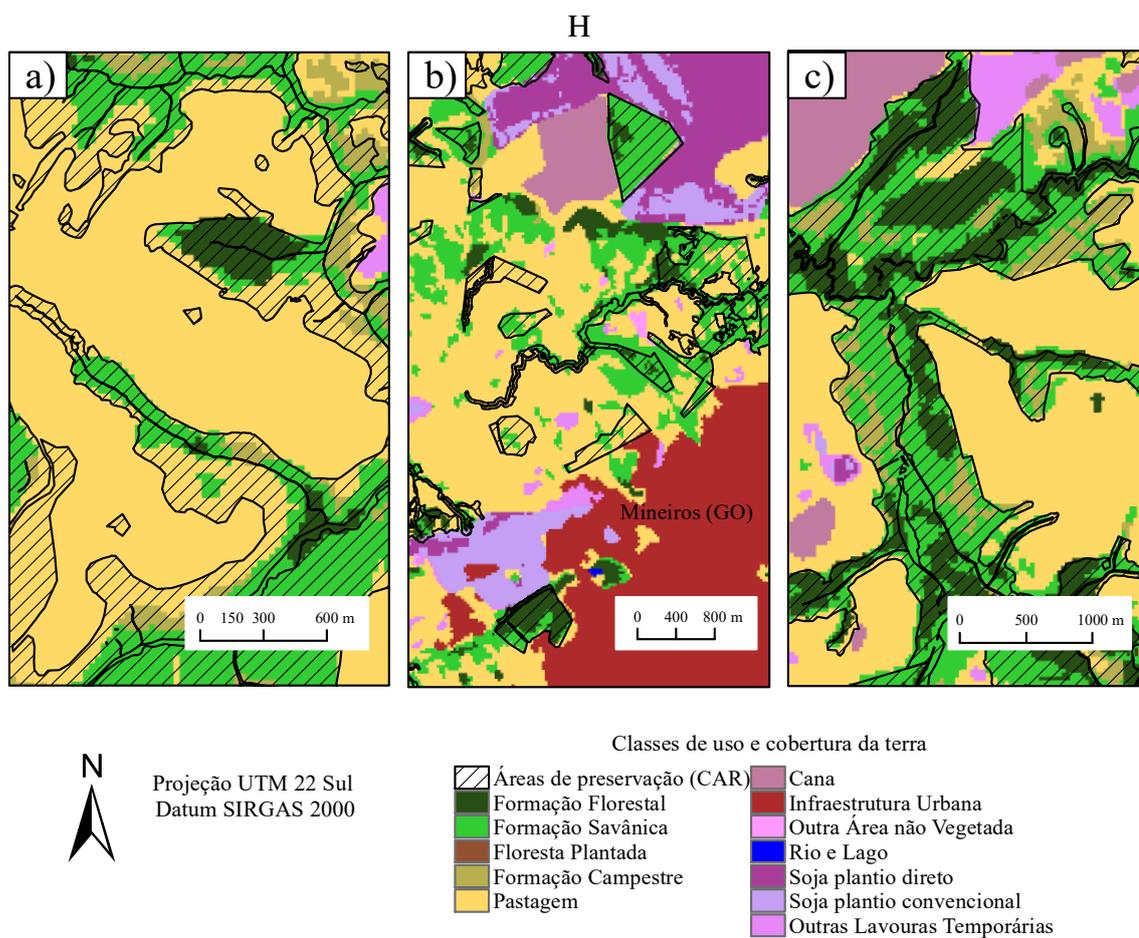
#### **4.3.5 Integração dos dados e perda de solo tolerável**

Com os dados dos fatores utilizados na EUPS em formato raster, foi utilizada a ferramenta de calculadora raster, conforme Eq. 3-1, para obtenção da estimativa de perda de solo por erosão laminar nos cenários pré e pós-CAR, sendo utilizados o fator CP de

2018 como cenário pré-CAR e os dados de APP, reserva legal e vegetação nativa no fator CP no cenário pós-CAR.

Adicionalmente a esses cenários, foram levantados os valores de tolerância de perda do solo para cada classe de solo da área de estudo foram obtidos de outros trabalhos como classes de solos similares (MANNIGEL, 2002; DEMARCHI; ZIMBACK, 2014). Não foram considerados solos aluviais nesse estudo, por consistirem em solos localizados em áreas deposicionais, ou seja, recebem sedimentos ao invés de estarem mais expostos à erosão.

A comparação entre a perda tolerável para cada classe de solo com os resultados da EUPS nos cenários pré e pós-CAR permite avaliar o quão uma região pode estar sendo erodida em relação a quantia de solo que poderia ser perdida pela ação da erosão antrópica, mensurada em t/ha.ano.



**Figura 4.5:** Polígonos de áreas de preservação do CAR sobre dado de uso e cobertura da terra de 2018. Em a) e b) há áreas de pastagens onde deveriam ser áreas de vegetação natural; e em c) há um exemplo onde as áreas de preservação estão predominantemente sobre áreas de vegetação natural.

Fonte: Elaborada pela autora.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados os resultados e discussões dos fatores utilizados para a obtenção das estimativas de perda de solo, considerando os cenários Pré-CAR (ou atual) e Pós-CAR (cenário ideal).

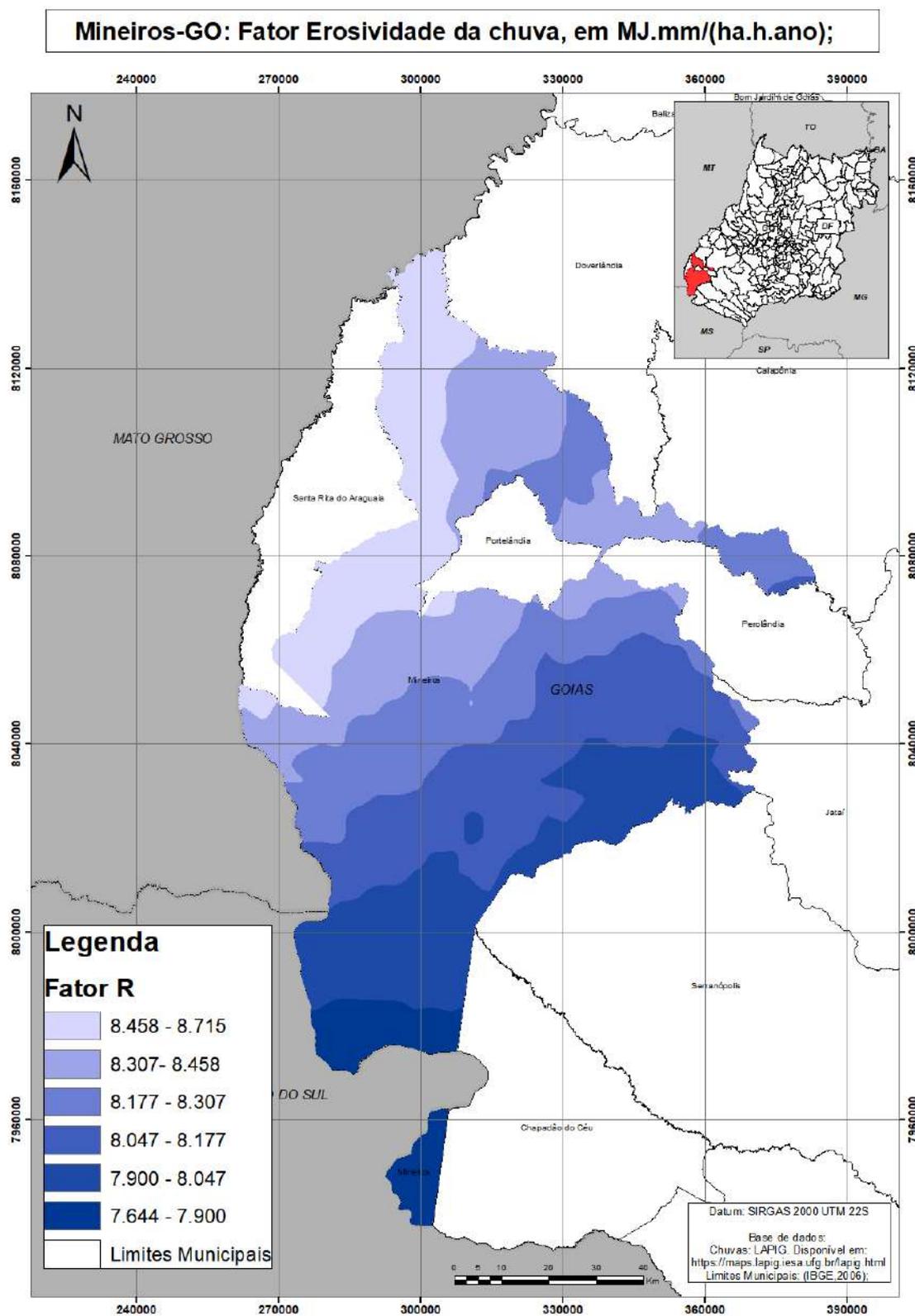
### 5.1 Fatores da EUPS

Em relação ao fato R, a erosividade das chuvas na área de estudo varia de 7.644 e 8.715 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, com média de média de 8.218 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>. Com uma variação progressiva no sentido SE para NW (Fig. 5.1).

Lima, Ferreira e Ferreira (2018) obtiveram valores de erosividade entre 8.157,22 a 8.826,89 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, com média de 8.426,77 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, para a Região Metropolitana de Goiânia (RMG) considerando o recorte temporal de 1987 a 2016, conforme a proposta por Carvalho (2008), o valor é considerado alto.

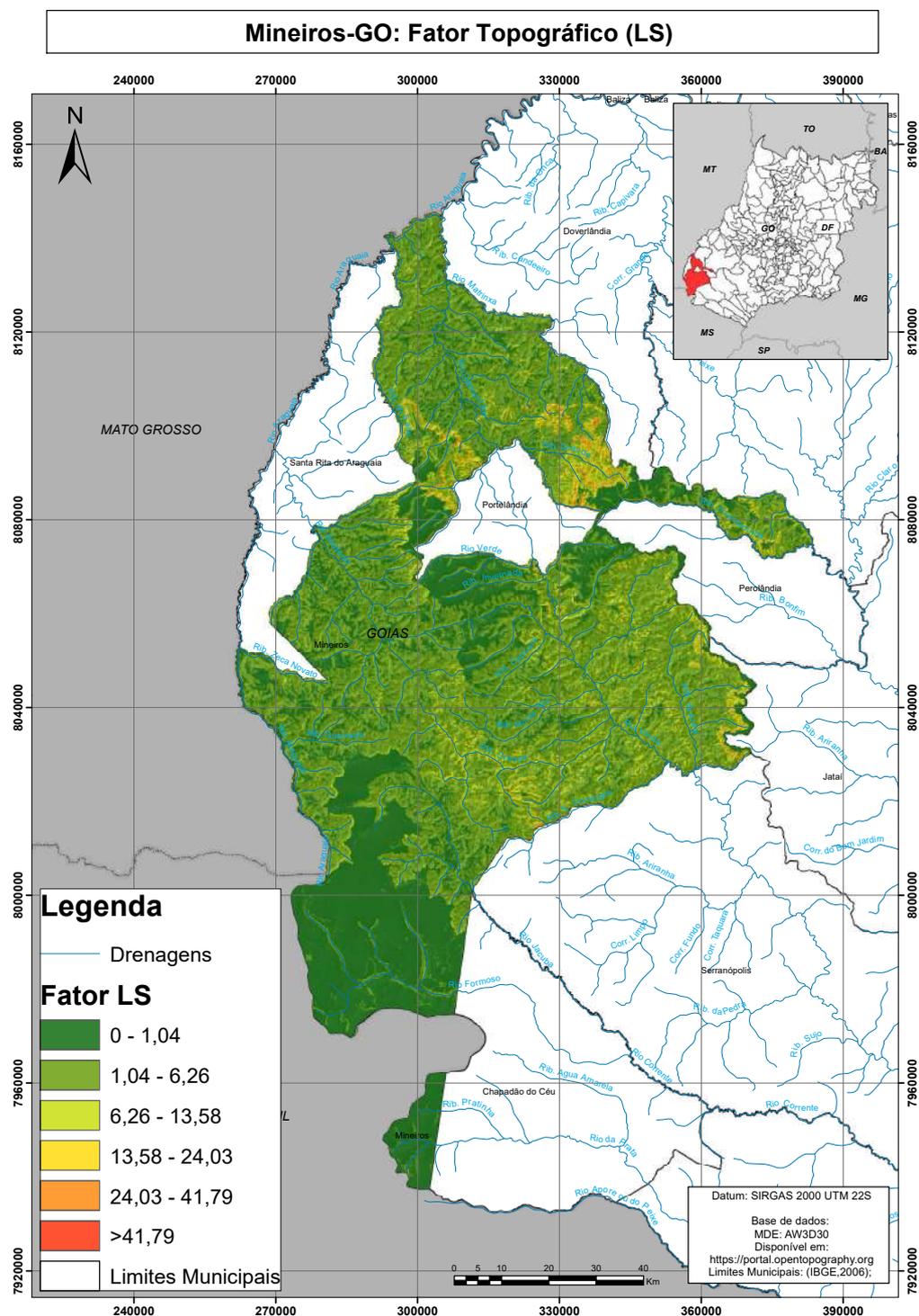
Em relação ao fator LS (Fig. 5.2), a inclinação do terreno (ângulo de declive) e o comprimento da encosta é o que vai determinar a velocidade de escoamento superficial, caracterizando o potencial de carregamento pela erosão em termos de tamanho, bem como em relação à quantidade de material carregado.

Conforme demonstra a Tabela 5.1, os valores de LS variam de 1,04 a 6,26 e abrangem maior área do município, somando 510.102,84 hectares (56,43% da área total). Em seguida está a classe de 0 a 1,04 que totaliza 313.819,56 hectares e representa 34,72% da área total do município. O valor médio apresentou valor de 2,7.



**Figura 5.1:** Fator R da EUPS em Mineiros-GO.

Fonte: Elaborada pela autora.



**Figura 5.2:** Fator LS da EUPS em Mineiros-GO.

Fonte: Elaborada pela autora.

**Tabela 5.1:** Comprimento de rampa e declividade (Fator LS): área total e área relativa - município de Mineiros-GO.

Classes	Área (ha)	% do município
0 - 1,04	313.819,56	34,72
1,04 – 6,26	510.102,84	56,43
6,26 - 13,58	60.365,61	6,68
13,58 - 24,03	15.112,71	1,67
24,03 – 41,79	4.011,75	0,44
> 41,79	465,03	0,05
Total	903.877,50	100,00

Os solos do município de Mineiros-GO (Fig. 5.3) apresentam predominantemente texturas média à arenosa e arenosas (Tabela 5.2). Apresentam, devido à textura, alta erodibilidade. Ocorrem no município o Argissolo Vermelho Distrófico (fator K de 0,046), Neossolo Quartzarênico Hidromórfico (fator K de 0,048) e também o Neossolo Quartzarênico Órtico (fator K de 0,055). Esses solos citados cobrem 305.259 hectares no município, representando cerca de 33,7% da área total.

Secundariamente, destaca-se a ocorrência de solos de texturas médias, como o Latossolo Vermelho Distrófico (fator K 0,04); Argissolo Vermelho Alítico (fator K 0,041); Latossolo Vermelho Amarelo Distrófico (fator K 0,042); Latossolo Vermelho Alíco (fator K 0,043) e também o Cambissolo Háptico Distrófico (fator K 0,0041). Devido à textura, apresentam assim média a alta erodibilidade. Representam 30,79% da área do município.

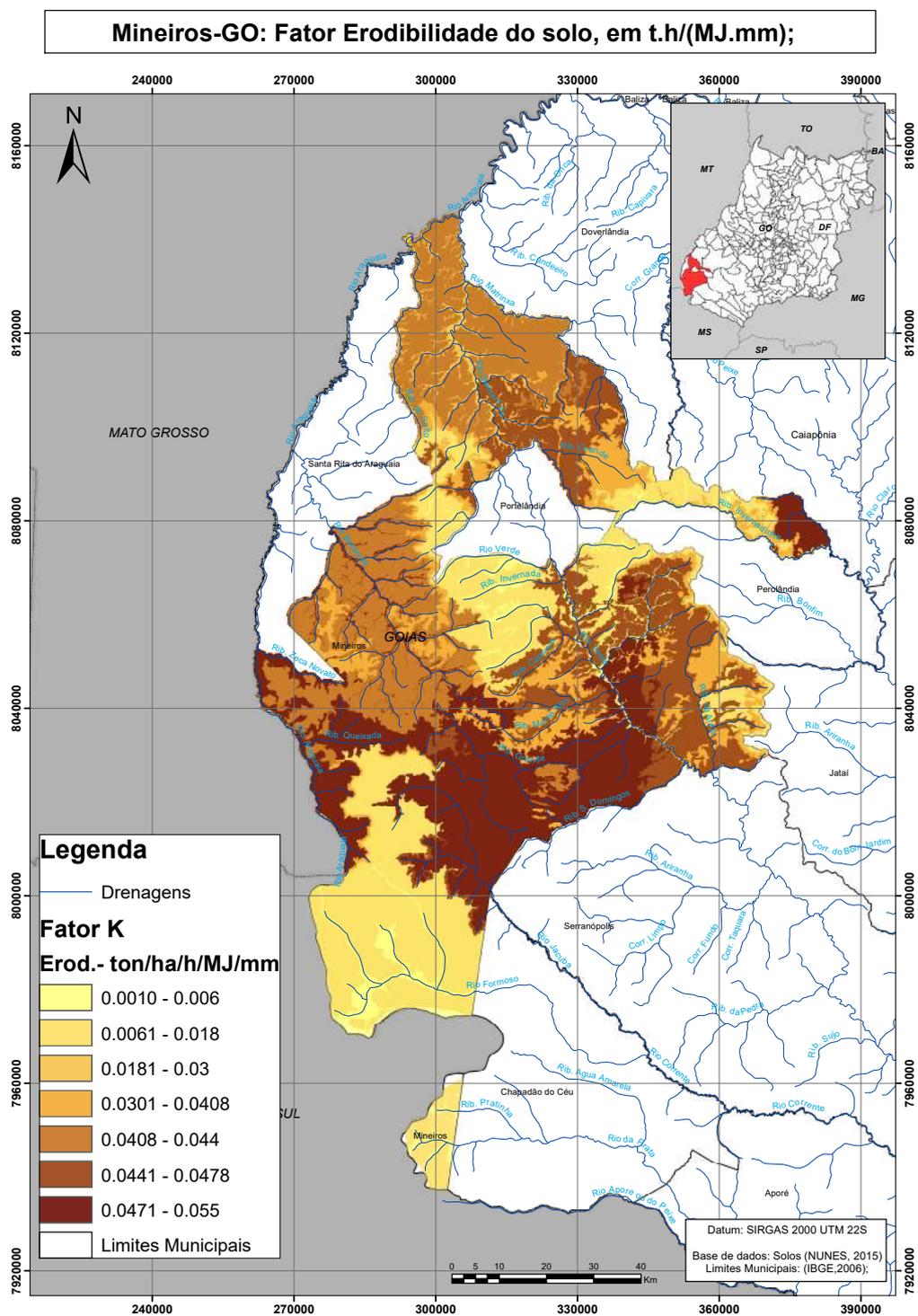
Por fim, os solos de texturas argilosa como os Gleissolos (fator K 0,001), Latossolo Vermelho Distrófico (fator K 0,0061) e o Argissolo Vermelho Eutrófico (fator K 0,0178), que somados cobrem uma área de 252.937,36 hectares, representando cerca de 28% da área total do município. Devido à textura argilosa são menos erodíveis.

**Tabela 5.2:** *Erodibilidade dos solos (Fator K): área total e área relativa - município de Mineiros-GO.*

<b>Fator K</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>% do município</b>
0,001	30.836,23	3,41
0,0061	216.467,57	23,95
0,0178	5.633,56	0,62
0,029	16.319,14	1,81
0,0302	51.158,29	5,66
0,04	47.612,21	5,27
0,041	65.618,33	7,26
0,042	37.225,64	4,12
0,043	91.075,06	10,08
0,0441	36.672,16	4,06
0,046	109.733,54	12,14
0,048	14.262,72	1,58
0,055	181.263,05	20,05
<b>Total</b>	<b>903.877,50</b>	<b>100,00</b>

A análise da classificação supervisionada para a diferenciação das áreas de soja com plantio convencional e com palhada indicou uma exatidão global de 0,89 e um índice kappa de 0,77, no qual foi considerado satisfatório para a aplicação deste trabalho. A cobertura vegetal, como já abordado no trabalho (seção 3.2.1), protege o solo. Dessa forma, as perdas de solo variam conforme a capacidade de proteção de cada cobertura. Notadamente, o município de Mineiros se tornou, sobretudo nas últimas duas décadas, em um dos grandes produtores agrícolas e também da criação de gado, do estado de Goiás. Dessa forma, a pressão antrópica, em áreas onde os solos apresentam uma fragilidade, principalmente em Neossolos Quartzarênicos, devido a sua textura arenosa, podem resultar em maior perda de solos por erosão.

Em estudo realizado na alta bacia do rio Araguaia, em seu setor sul (que abrange também a porção oeste do município de Mineiros), Castro (2005) pontuou a presença de



**Figura 5.3:** Fator K da EUPS em Mineiros-GO.

Fonte: Elaborada pela autora.

erosões de grande porte, algumas com mais de 3000 m de extensão.

Embora essa porção do município se caracterize por uma superfície mais elevada aplainada correspondente à Chapada com mais de 875 m de altitude, de baixos declives (em geral menos de 3%) e baixa densidade de drenagem, sustentada por sedimentos inconsolidados, o estudo mencionado aponta que 84 dos 91 focos erosivos lineares foram verificados em áreas ocupadas por pastagem (52 focos) e agricultura (33 focos).

Em relação a presença dos focos erosivos, Castro (2005) afirma que os mesmos podem estar relacionados a processos de evolução de altas bacias em processo de dissecação erosiva, em bordas de planaltos e, ao mesmo tempo, de reativação de cabeceiras de drenagem. No entanto, é evidente que estes processos foram acelerados em resposta à ocupação intensiva e inadequada de terras, sobretudo na ocupação de áreas protegidas pela legislação ambiental, como as nascentes, as margens dos rios e córregos e terrenos de elevada declividade.

As práticas conservacionistas são técnicas adotadas, que visam ao controle da erosão. Os valores padronizados para o fator CP (Fig. 5.4), expressos na tabela 5.3, demonstraram que áreas ocupadas por vegetação remanescente (formação florestal, savânica e campestre), fator CP entre 0.003 e 0.016, representam 42,73% da área total do município. Nessas áreas, a cobertura vegetal oferece boa proteção ao solo.

**Tabela 5.3:** *Uso-Manejo e Práticas Conservacionistas (Fator CP) - município de Mineiros-GO*

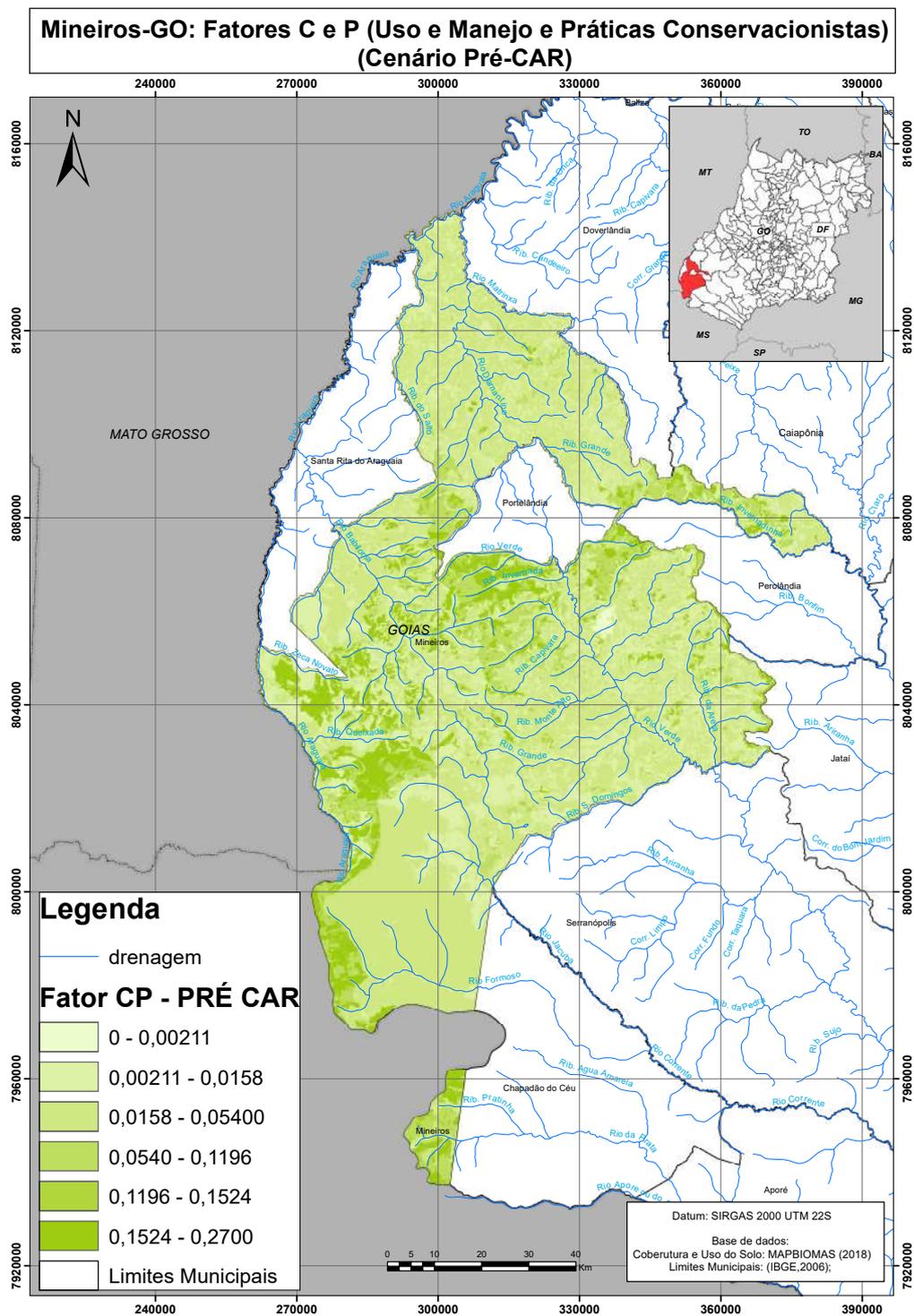
CP	Área (hectares)	% da área do município
0,003	64.175,94	7,10
0,013	200.917,35	22,23
0,12	2.644,02	0,29
0,016	121.151,16	13,40
0,03	336.920,07	37,27
0,1533	42.973,38	4,75
0	2.229,84	0,25
0,001	751,32	0,08
0,1	68.578,11	7,59
0,27	45.172,26	5,00
0,055	18.364,05	2,03
<b>Total</b>	<b>903.877,50</b>	<b>100,00</b>

Áreas de Floresta Plantada (p.ex.: plantio de eucalipto) (índice CP de 0,12); pastagem cultivada (índice CP de 0,03); cana (índice CP de 0,1533); soja – plantio direto (índice CP de 0,1); soja – convencional (índice CP de 0,27); lavouras temporárias (índice CP de 0,055) e áreas não vegetadas (índice CP de 0,001), representam juntas 57,09% do município. As áreas ocupadas por culturas agrícolas e as áreas não vegetadas, representam juntas 175.839,12 hectares (19,45% da área total do município).

## 5.2 Cenário Pré-CAR

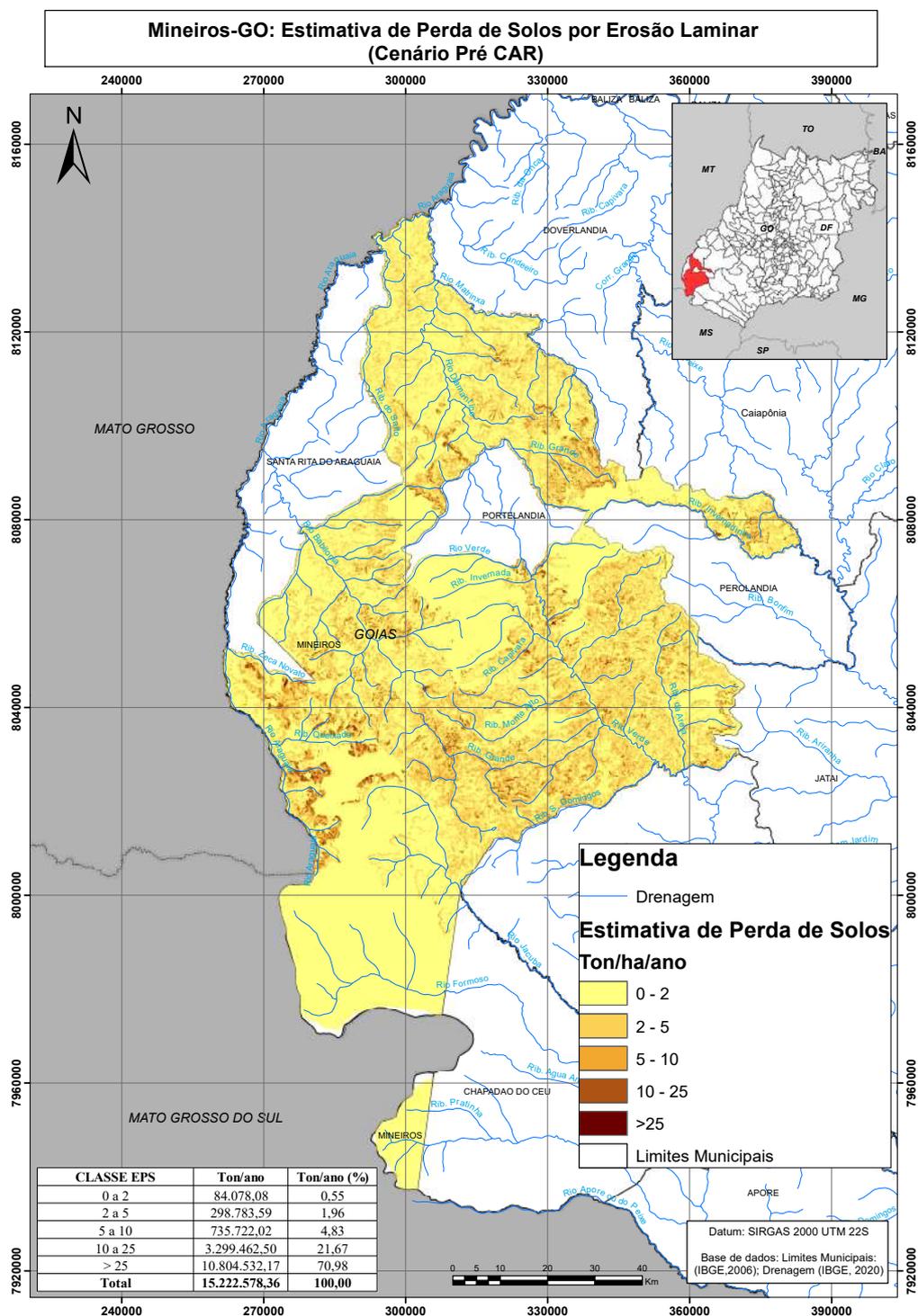
Após a identificação dos fatores, foi possível quantificar o Fator A - perdas de solo por erosão laminar em toneladas por hectare por ano (Fig. 5.5), através da EUPS:  $A=(R.K.LS.CP)$ , para o município de Mineiros-GO no cenário Pré-CAR (ou atual).

Na Tabela 5.4 estão delineadas as classes de perda de solos, o quantitativo estimado de perda de solos (toneladas por ano) e valores percentuais, bem como a área abrangida por cada classe de perdas de solos (em termos absolutos e proporcionais).



**Figura 5.4:** Fator CP da EUPS em Mineiros-GO: Uso-Manejo e Práticas Conservacionistas no cenário Pré-CAR (ou atual).

Fonte: Elaborada pela autora.



**Figura 5.5:** Fator A da EUPS em Mineiros-GO: Mapa de perda de solos no cenário Pré-CAR (ou atual).

Fonte: Elaborada pela autora.

Analisando o fator topográfico, que está associado ao comprimento da vertente (no caso foi usado a área de contribuição específica) e declividade do terreno, nota-se que a maior parte da área possui baixos valores, associados às áreas de relevo plano. Os locais com declive mais acentuado possuem maiores valores, que atingem valores maiores que 41,79 (representando áreas de maior potencial erosivo). Embora esse valor seja notadamente superior a média apresentada (2,7), representa apenas 0,05% do município, estando sua ocorrência restrita às escarpas erosivas.

A mais expressiva classe de estimativa de perda de solos (>25 ton/ha/ano), que ocupa 2.097,41 hectares, responde por uma perda anual de 10.804.532,17 toneladas. Nessa classe, as principais coberturas do solo que influenciaram em sua erosão foram as áreas de cultivo de soja, com 1.197,44 hectares pertencentes a essa classe de perda de solos (57,09%). Secundariamente, estão as áreas de cultivo de cana, com 397,91 hectares pertencentes a essa classe (18,97% da área total da classe). As áreas com cobertura vegetal remanescente, cobrem uma área de 36,06 hectares, dentro dessa classe de perda de solos, representando 1,71% da área total.

Em relação ao cultivo da cana no sudoeste goiano, Trindade, Faria e Castro (2018) ao analisarem a expansão dessa cultura e as consequentes mudanças no uso do solo entre os anos de 1985 e 2016, concluíram que as pastagens deram lugar aos grãos de maior rentabilidade, em solos que requerem mais práticas conservacionistas. No mesmo estudo, os autores apontam a expansão da fronteira agrícola, uma vez que as novas áreas de pastagens avançaram sobre as áreas de vegetação nativa.

Os resultados obtidos demonstram similaridade com os que foram demonstrados por Lima, Ferreira e Ferreira (2018), na utilização da EUPS para a Região Metropolitana de Goiânia, considerando as devidas proporções. No referido trabalho, onde foram considerados 3 (três) cenários: situação atual, cenário com pastagem e cenário com agricultura, os autores verificaram que a susceptibilidade erosiva aumentou em cenários com pastagem e culturas agrícolas.

**Tabela 5.4:** *Estimativa de Perda de Solos (EPS) Por Erosão Laminar - Município de Mineiros-GO.*

Classe EPS	Ton/ano	Ton/ano (%)	Área do município (ha)	(%) da área do município
0 a 2	84.078,08	0,55	617.622,94	68,33
2 a 5	298.783,59	1,96	204.908,44	22,67
5 a 10	735.722,02	4,83	58.871,47	6,51
10 a 25	3.299.462,50	21,67	20.377,24	2,25
>25	10.804.532,17	70,98	2.097,41	0,23
<b>Total</b>	<b>15.222.578,36</b>	<b>100,00</b>	<b>903.877,50</b>	<b>100,00</b>

**Tabela 5.5:** *Uso do solo na Classe de Estimativa de Perda de Solos >25 ton/ha/ano.*

<b>Classe EPS &gt;25</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Soja convencional (solo exposto)	1.114,23	53,12
Soja plantio direto (palhada)	83,21	3,97
Outras lavouras temporárias	29,52	1,41
Pastagem	331,06	15,78
Cana	397,91	18,97
Floresta Plantada	105,42	5,03
<b>Total Uso Antrópico</b>	<b>2.061,35</b>	<b>98,28</b>
<b>Total da classe &gt;25 ton/ha/ano</b>	<b>2.097,41</b>	<b>100,00</b>

Gomes *et al.* (2019), ao aplicarem a EUPS para o Cerrado brasileiro, para estimar a taxa anual de perda de solo e a perda de produtividade agrícola tendo como comparativo informações dos anos de 2000 e 2012, verificaram que a expansão agrícola no Cerrado brasileiro, elevaram os valores anuais de perda de solos de 10,4 para 12,0 ton/ha/ano. As áreas agrícolas, principalmente as intensivas, ocupando solos frágeis (com textura médio-arenosa), são altamente susceptíveis a erosão.

Associando a classe de perda de solos >25 ton/ha/ano, com os diferentes tipos de solo e respectivas erodibilidades (fator K), o Neossolo Quartzarênico Órtico (fator K igual a 0,055), representa cerca de 45% do total (951,44 hectares de um total de 2.097,41 dessa classe de perda de solos). O Neossolo Litólico Distrófico, textura arenosa a cascalhenta, cobre 598,70 hectares, na classe de perda de solos >25 ton/ha/ano, representando cerca de 28,5 % do total. Na sequência, o Argissolo Vermelho Distrófico, textura média a arenosa (fator K 0,046), totalizou 350,99 ha (16,7%), dentro da classe de perda de solos >25 ton/ha/ano. O Cambissolo Háptico Distrófico, textura média (fator K 0,0441) com área de 120,94 ha dentro da classe de perda de solos >25 ton/ha/ano, representa 5,7% do total da classe. Todas as demais classes de solos, somam, dentro da classe de perda >25 ton/ha/ano, um total de 75,34 hectares, o que representa 3,6% do total da classe.

A classe de menor perda de solos (0-2 ton/ha/ano) representa uma perda anual de solos de 84.078,08 hectares por ano. Ocupa uma área de 617.622,94 ha (68,33%) da área total do município. Nesta classe, 240.539,78 ha (38,9%) são cobertos por Latossolo Vermelho Distrófico, sendo que o Latossolo Vermelho Distrófico, com textura argilosa a muito argilosa cobre 207.583,46 desse montante, representando 33,6%.

Secundariamente, o Latossolo Vermelho Álico ocupa uma área de 55.793,57

ha dentro da classe de perda de solos de 0-2ton/ha/ano, representando cerca de 9 % da área dessa classe. Na sequência, o Argissolo Vermelho Distrófico, textura média a arenosa (fator K 0,046), e o Argissolo Vermelho Eutrófico, textura argilosa (fator K 0,0178), cobrem, cada um, uma área de 51.710,45 (8,37% do total dos solos, dentro dessa classe de perda de solos hectares). Esses solos, dentro dessa classe de perda anual por erosão, encontram-se em sua maioria (316.868,77 hectares), o equivalente a 51,3% do total, protegidos pela cobertura vegetal remanescente (Formação Savânica, Formação Campestre e Formação Florestal, respectivamente), conforme demonstra a Tabela 5.6. Mesmo apresentando um fator K elevado, a preservação de boa parte da cobertura vegetal remanescente, conferiu à área em questão, baixa estimativa anual de perda de solos.

**Tabela 5.6:** *Uso do solo na Classe de Estimativa de Perda de Solos 0-2 ton/ha/ano.*

<b>Classe EPS (0-2)</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>%</b>
Formação Campestre	106.995,47	17,32
Formação Florestal	61.344,72	9,93
Formação Savânica	148.528,58	24,05
<b>Total Remanescente</b>	<b>316.868,77</b>	<b>51,30</b>
Soja convencional (solo exposto)	37.544,80	6,08
Soja plantio direto (palhada)	57.683,16	9,34
Outras lavouras temporárias	9.552,50	1,55
Pastagem	181.919,01	29,45
Cana	12.946,05	2,10
Outras áreas não vegetadas	727,67	0,12
Floresta Plantada	380,98	0,06
<b>Total Uso Antrópico</b>	<b>300.754,17</b>	<b>48,70</b>
<b>Total da classe (0-2 ton/ha/ano)</b>	<b>617.622,94</b>	<b>100,00</b>

Em relação ao uso antrópico, dentro da classe de Estimativa de Perda de Solos entre 0 e 2 ton/ha/ano, destaca-se a pastagem (181.919,01 ha), representando cerca de 30 % do uso antrópico dentro da classe e o cultivo de soja, que totaliza 95.227,96ha (que representa 15,42%). Nota-se claramente, a influência da textura argilosa a muito argilosa do Latossolo Vermelho Distrófico (predominante nessa classe de perda de solos), para

baixos valores de perda de solos, bem como das áreas de vegetação remanescentes, que somam 51,3% da área total.

Em estudo realizado no ano de 2015, Nunes e Castro (2015) identificaram 5.678 focos erosivos no município de Mineiros, visíveis na escala de ultradetalhe, compreendendo desde pequenas ravinas até voçorocas de grande porte. A dimensão do impacto causado pela erosão hídrica linear na área pode ser percebida pelos 2.658,24 ha de área atingida por erosões, que contribuem diretamente na degradação dos solos e no assoreamento de canais fluviais.

A Figura 5.6 demonstra 7 (sete) focos erosivos, espacializados sobre o mapa de estimativa de perda de solos apresentado neste trabalho, e também a imagem de detalhe (Google Earth), do local.

Como observado, os focos erosivos demonstrados (Fig. 5.6) estão localizados em áreas de perda de solos consideradas como de média a alta estimativa de perda de solos. Em seus ambientes de ocorrência, destacam-se áreas de pastagem, declividades acentuadas (zonas de erosão recuante; proximidade ao curso d'água), bem como em áreas agrícolas.

### 5.3 Cenário Pós-CAR

Conforme demonstra a Tabela 5.7, no cenário Pós-CAR (cenário ideal), considerando que todas as Áreas de Preservação Permanente (APPs); áreas com declividades maiores que 45%; topos de morros, áreas de vegetação nativa e Reserva Legal estivessem devidamente preservadas, há uma redução de 1.471.417,13 de ton/ano de perda de solos. Se comparado ao cenário Pré-CAR, houve uma redução de cerca de 10% nos valores absolutos de estimativa de perda de solos (em ton/ano). Essa redução ocorreu na classe de estimativa de perda de solos maior que 25 ton/ha/ano (Fig. 5.7).

**Tabela 5.7:** *Perda de Solos Por Erosão Laminar (Pós-CAR) - Município de Mineiros-GO*

Classe EPS	Ton/ano	Ton/ano (%)
0 a 2	84.445,14	0,61
2 a 5	305.152,71	2,22
5 a 10	782.835,22	5,69
10 a 25	3.365.543,75	24,47

>25	9.213.184,41	67,00
<b>Total</b>	<b>13.751.161,23</b>	<b>100</b>

Em análise similar ao trabalho em questão, Ferraz *et al.* (2013), através de simulação de cenários de adequação ambiental, concluíram que a implantação de Reserva Legal, com o planejamento adequado, pode significar uma redução entre 20 e 70% das perdas dos solos. Por sua vez, a implantação de Reserva Legal em conjunto com Áreas de Preservação Permanente – APP, têm o potencial de reduzir cerca de 80% do potencial de ocorrência de erosão laminar em microbacias. Valores superiores ao estimado por este trabalho em Mineiros (GO).

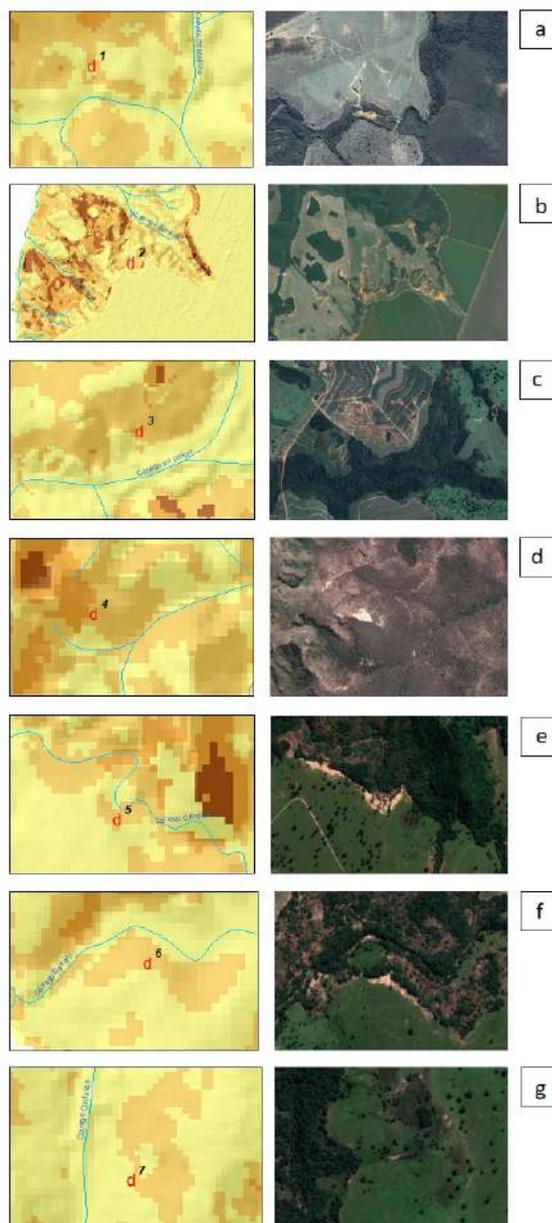
No levantamento das Áreas de Preservação Permanente (APP), Áreas de Vegetação Nativa e Reserva Legal em desconformidade com o CAR (ocupadas por pastagem; culturas agrícolas ou não vegetadas), foi verificado um total de 37.368,17 hectares de áreas declaradas como vegetação nativa e que estão antropizadas; 24.013,79 hectares declarados de Reserva Legal, também antropizados e por fim, 6.619,20 hectares de APP que não estão cobertos por vegetação nativa. Assim, as áreas em desconformidade com o CAR totalizaram 68.001,13 hectares, quando verificadas em relação ao mapa de cobertura e uso do MapBiomas coleção 5 (MAPBIOMAS, 2020), demonstradas na Figura 5.8.

## 5.4 Perda de solo tolerável

A tolerância de perda de solo por erosão (WISCHMEIER; SMITH, 1978) refere-se a um limite de perda que ainda mantenha alto nível de produtividade das culturas, econômica e indefinidamente, ou, ainda, à profundidade do solo, taxa de erosão presente e aspectos sociais ou econômicos presentes e futuros, que permitem avaliar a degradação do solo por meio da mudança de sua profundidade. A Figura 5.9 demonstra a perda de solos tolerável para o município de Mineiros-GO.

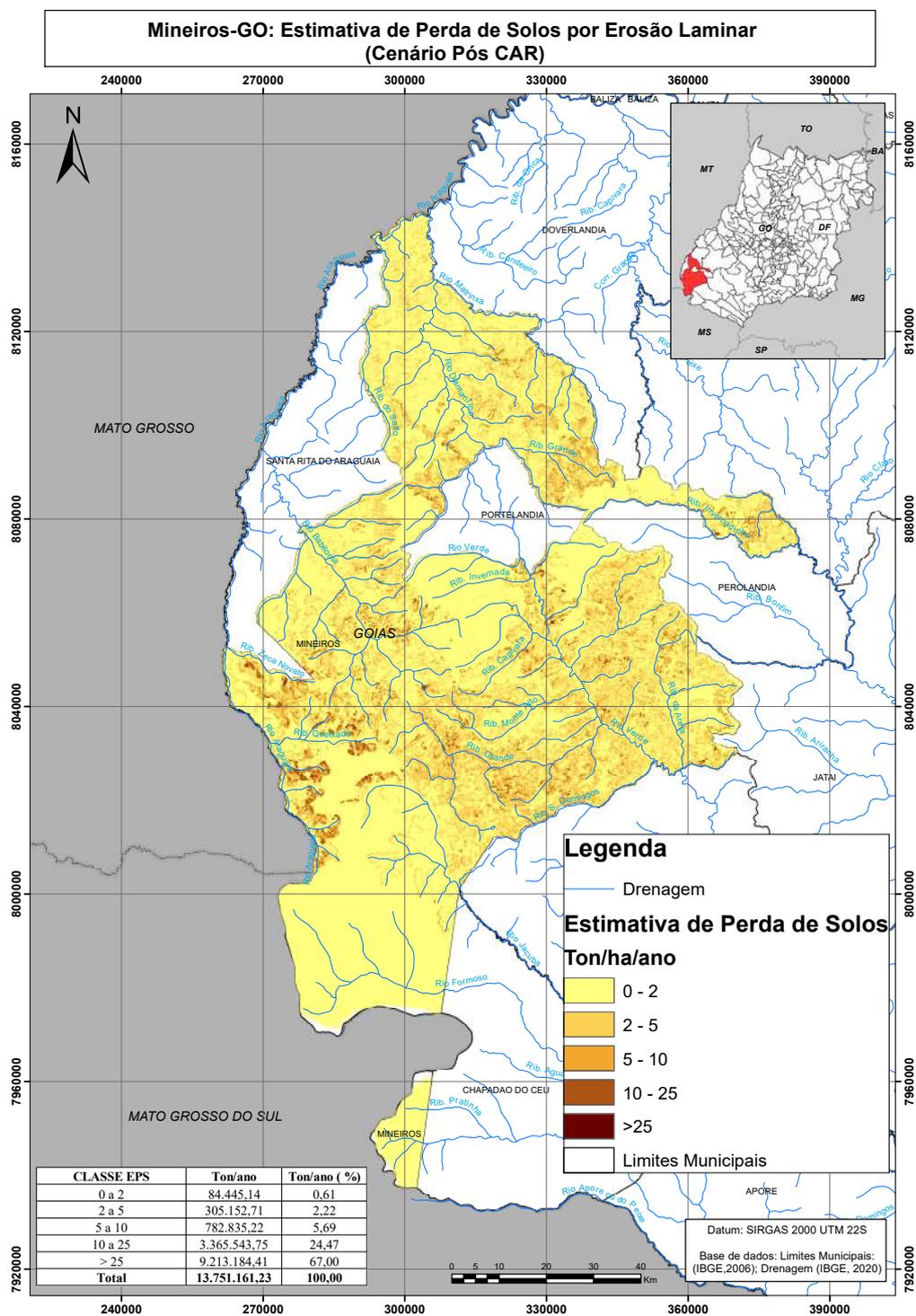
A comparação entre a perda tolerável para cada classe de solo com os resultados da EUPS nos cenários pré e pós-CAR permite avaliar o quão uma região pode estar sendo erodida em relação a quantia de solo que poderia ser perdida pela ação da erosão antrópica, mensurada em t/ha.ano.

Na Figura 5.10 é comparada a razão entre a perda de solos tolerável e a estimativa de perda de solos no cenário Pré-CAR. Na Figura 5.11 é comparada a razão entre a perda tolerável e a estimativa de perda de solos no cenário Pós-CAR. Para a delimitação do intervalo das classes e representação qualitativa das mesmas, utilizou-se os seguintes critérios:



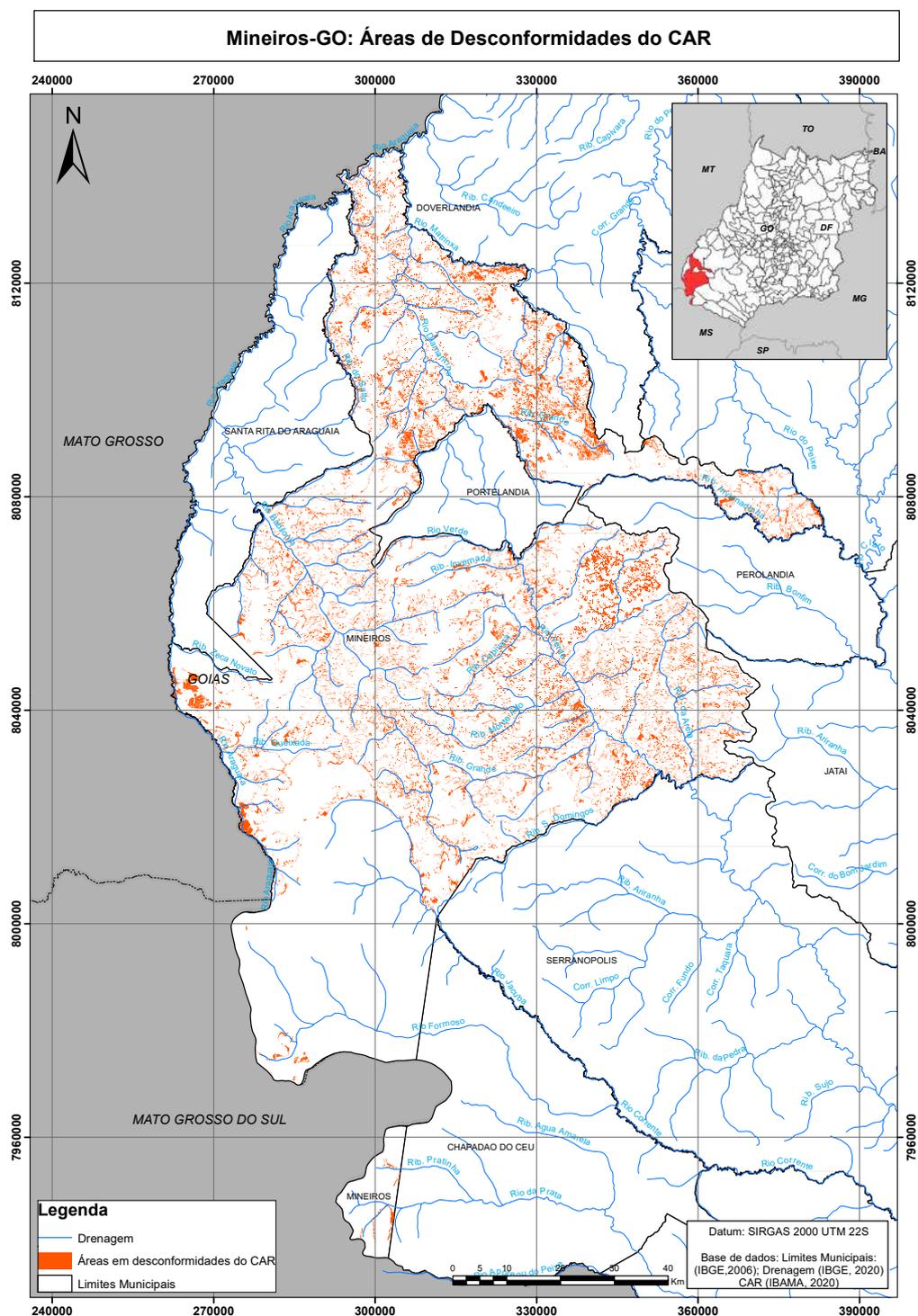
**Figura 5.6:** a) Processo erosivo (voçoroca), localizado na coordenada UTM E 278803,00 e N 8041156,00 m; b) Processo erosivo em Zona de Erosão Recuante, localizado na coordenada UTM E 283982,00 e N 8007325,00 m; c) Processo erosivo em área agrícola, localizado na coordenada UTM E 357557,00 e N 8057164,00 m; d) Processo erosivo em área de declividade acentuada, localizado na coordenada UTM E 339538,00 e N 8092180,00 m; e) Processo erosivo em área próxima a APP, localizado na coordenada UTM E 325498,00 e N 8092417,00 m; f) Processo erosivo em área próxima a APP do cór. Barreiro, localizado na coordenada UTM E 322012,00 e N 8092417,00 m; g) Processo erosivo em área próxima a APP do cór. Confusão, localizado nas coordenadas UTM E 318441,00 e N 8096265,00 m.

Fonte: Elaborada pela autora e Google Earth, 2021.



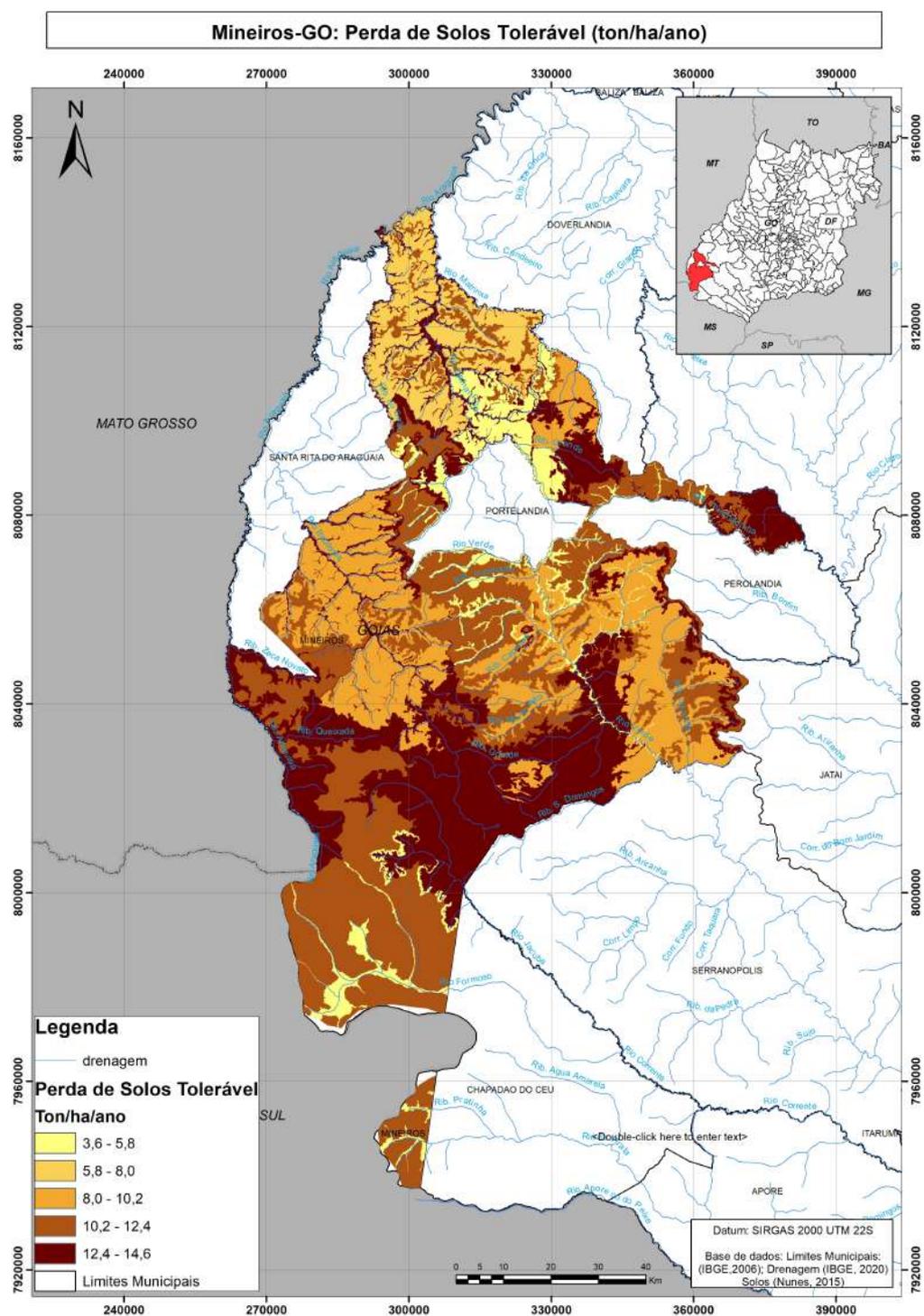
**Figura 5.7:** Fator A da EUPS em Mineiros-GO: Mapa de perda de solos no cenário Pós-CAR (cenário ideal).

Fonte: Elaborada pela autora.



**Figura 5.8:** Mapa de desconformidades do CAR.

Fonte: Elaborada pela autora.



**Figura 5.9:** Mapa de perda de solos tolerável.

Fonte: Elaborada pela autora.

- Baixa (perda de solos no cenário atual com valores entre à perda de solos por erosão hídrica tolerável para a respectiva classe de solos, ou, no máximo, até 0,5 vezes);
- Moderada (entre 0,5 até 1 vez maior que a perda de solos no cenário atual com valores entre à perda de solos por erosão hídrica tolerável para a respectiva classe de solos);
- Alta (perda de solos no cenário atual com valores entre 1 e 2 vezes maior do que o máximo tolerável para a respectiva classe de solo); e
- Muito Alta (perda de solos no cenário atual maior que 2 vezes que o máximo tolerável para a respectiva classe de solo).

No cenário Pré-CAR observa-se que grande parte do município de Mineiros – GO é composto pelas classes Moderada e Baixa perda de solos, comparadas à perda tolerável, indicando assim que a estimativa de perda de solos está, em grande parte, dentro dos valores esperados para os limites toleráveis de perda por erosão hídrica.

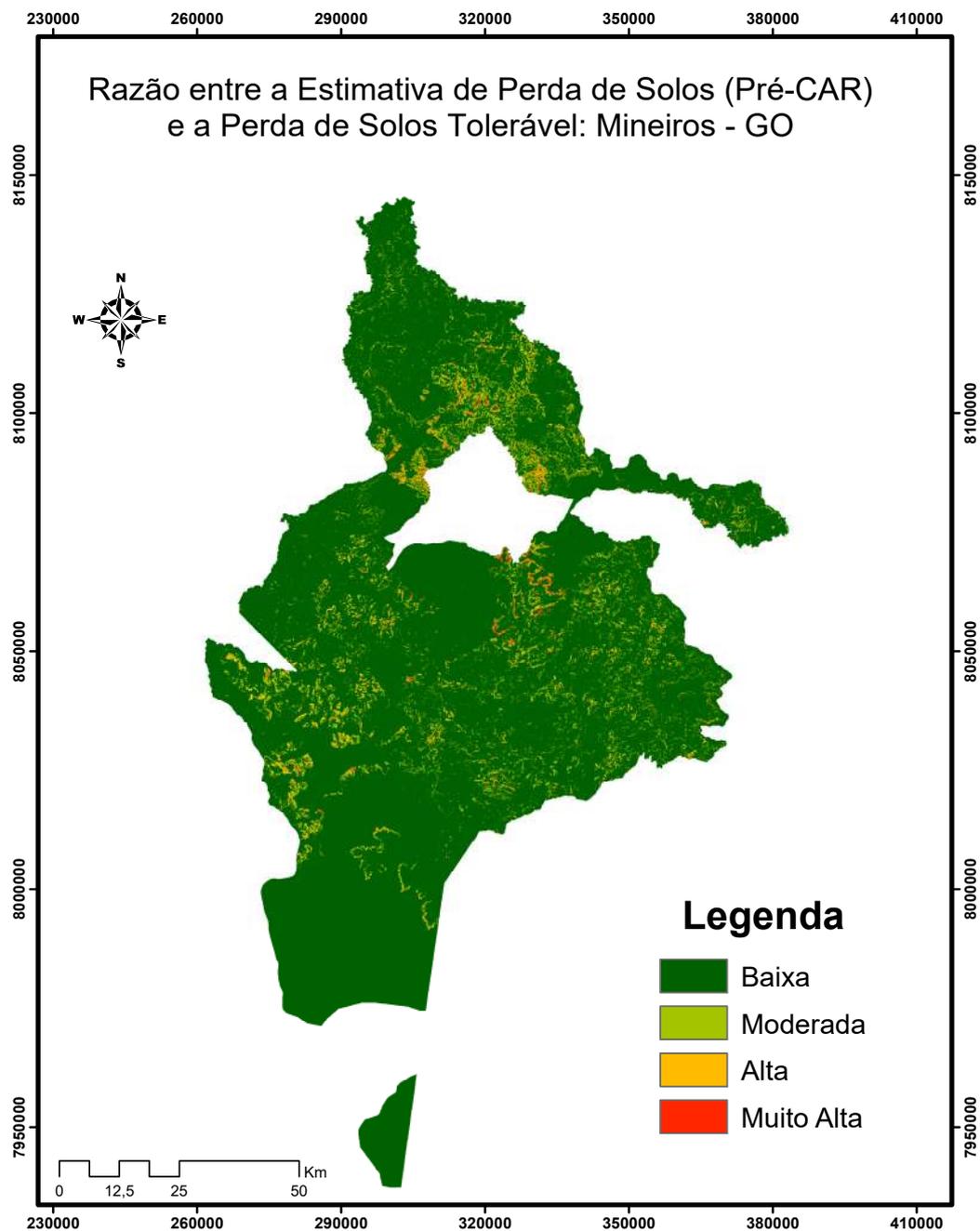
Ao analisar a Tabela 5.8, observa-se que quando comparados os cenários Pré e Pós-CAR, há uma ligeira redução nos percentuais das classes Muito Alta, Alta e Moderada, no cenário Pós-CAR, em relação ao cenário Pré-CAR. Por outro lado, a classe de Baixa perda de solos (razão entre a Estimativa de Perda de Solos e Perda Tolerável), apresentou um aumento de 1,46%.

Nota-se através correlação entre os dois cenários, a importância da preservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), Reservas Legais e Topos de Morros, para redução da erosão hídrica.

**Tabela 5.8:** *Valores Absolutos e Percentuais da Razão entre a Estimativa de Perda de Solos e Perda Tolerável, para os cenários Pré e Pós-CAR, município de Mineiros – GO.*

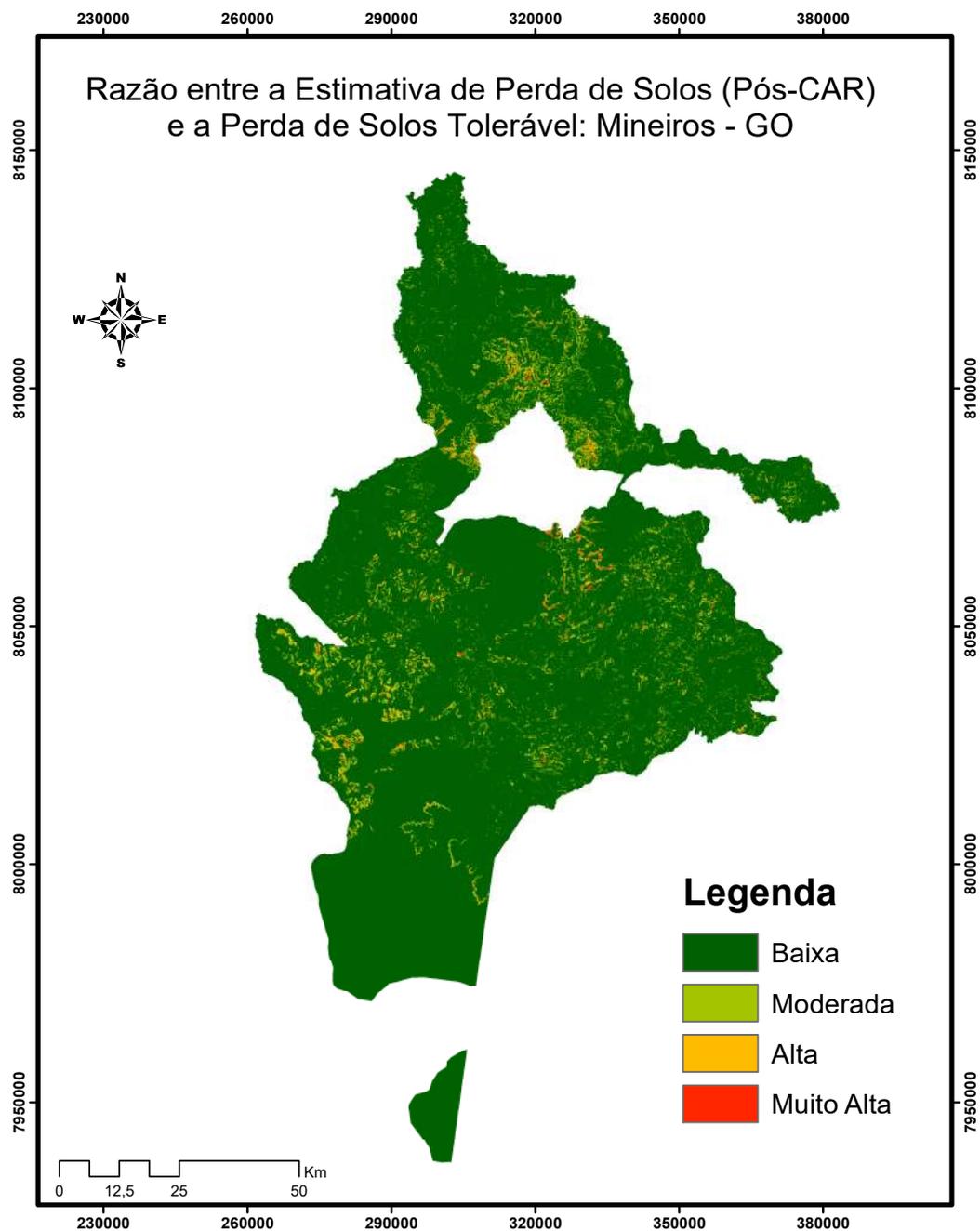
Pré-CAR	Área (ha)	% do município	Pós-CAR	Área (ha)	% do município
Baixa	826648,5	91,46	Baixa	839887,68	92,92
Moderada	56395,71	6,24	Moderada	47700,45	5,28
Alta	17102,97	1,89	Alta	13545	1,50
Muito Alta	3730,32	0,41	Muito Alta	2744,37	0,30
TOTAL	903877,50	100,00	TOTAL	903877,50	100,00

A Embrapa, no âmbito do Programa Pronassolos, elaborou o mapeamento da suscetibilidade à erosão hídrica do Brasil (EMBRAPA, 2021). Para tanto, utilizou como entrada o mapa de erodibilidade dos solos do Brasil, gerada a partir da interpretação



**Figura 5.10:** Razão entre a perda de solo tolerável e a EUPS no cenário Pré-CAR.

Fonte: Elaborada pela autora.

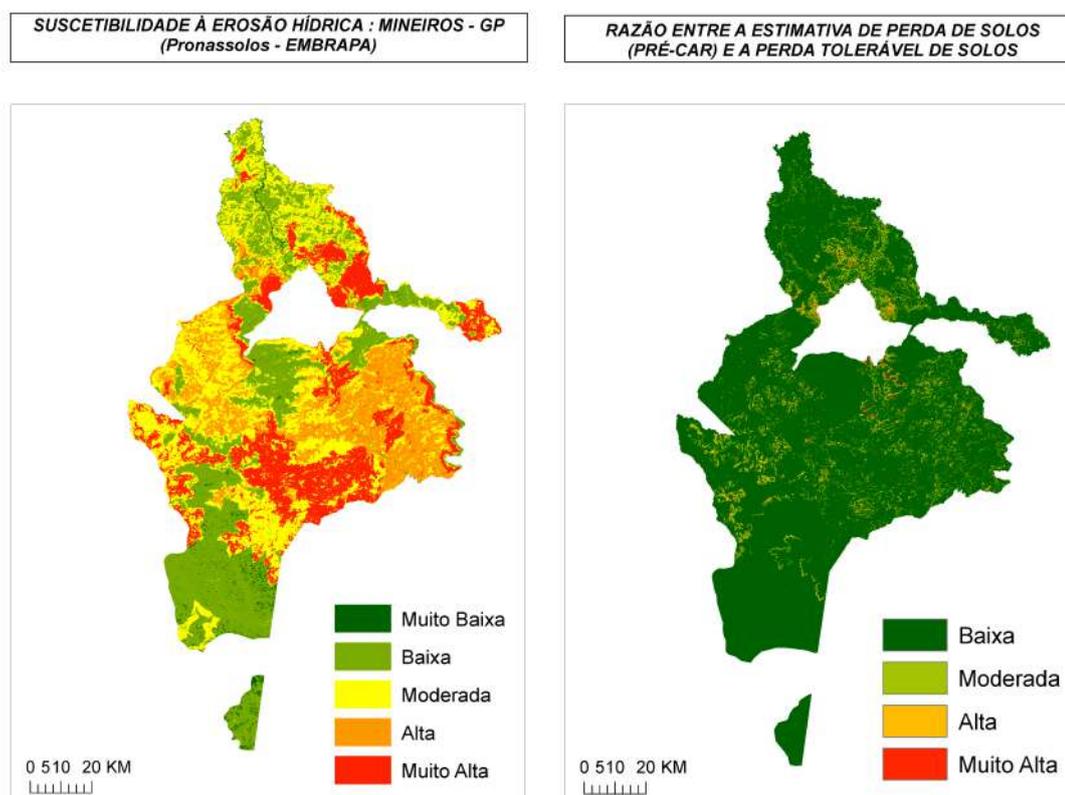


**Figura 5.11:** Razão entre a perda de solo tolerável e a EUPS no cenário Pós-CAR.

Fonte: Elaborada pela autora.

pedológica, considerando componentes do Mapa de Solos do Brasil, escala 1:250.000 (IBGE, 2018); O mapa de erosividade das chuvas, com base nas estimativas de erosividade da chuva anual para todo o País (a partir dos dados mensais de precipitação da rede de Zoneamento Agrícola do Risco Climático (ZARC) e do Serviço Geológico do Brasil) e por fim, utilizou também as classes de declividade geradas a partir do modelo digital de elevação com 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros) de resolução espacial, com base nos dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

Ao comparar os resultados do mapa elaborado (razão entre a estimativa de perda de solos com a perda de solos tolerável para cada classe de solos), com o mapa de suscetibilidade à erosão hídrica da Embrapa (Figura 5.12), observa-se que, no mapa elaborado pela Embrapa, as classes de susceptibilidade classificadas como muito baixa e baixa representam 36% da área total do município. Por sua vez, no mapa elaborado no presente estudo, a classe de baixa estimativa de perda de solos frente à perda tolerável, representaram 92,92%.



**Figura 5.12:** Comparação entre o mapa de suscetibilidade à erosão hídrica (Embrapa) e mapa resultante da razão entre a estimativa de perda de solos (Pré-CAR) e a perda tolerável de solos.

Fonte: Elaborada pela autora.

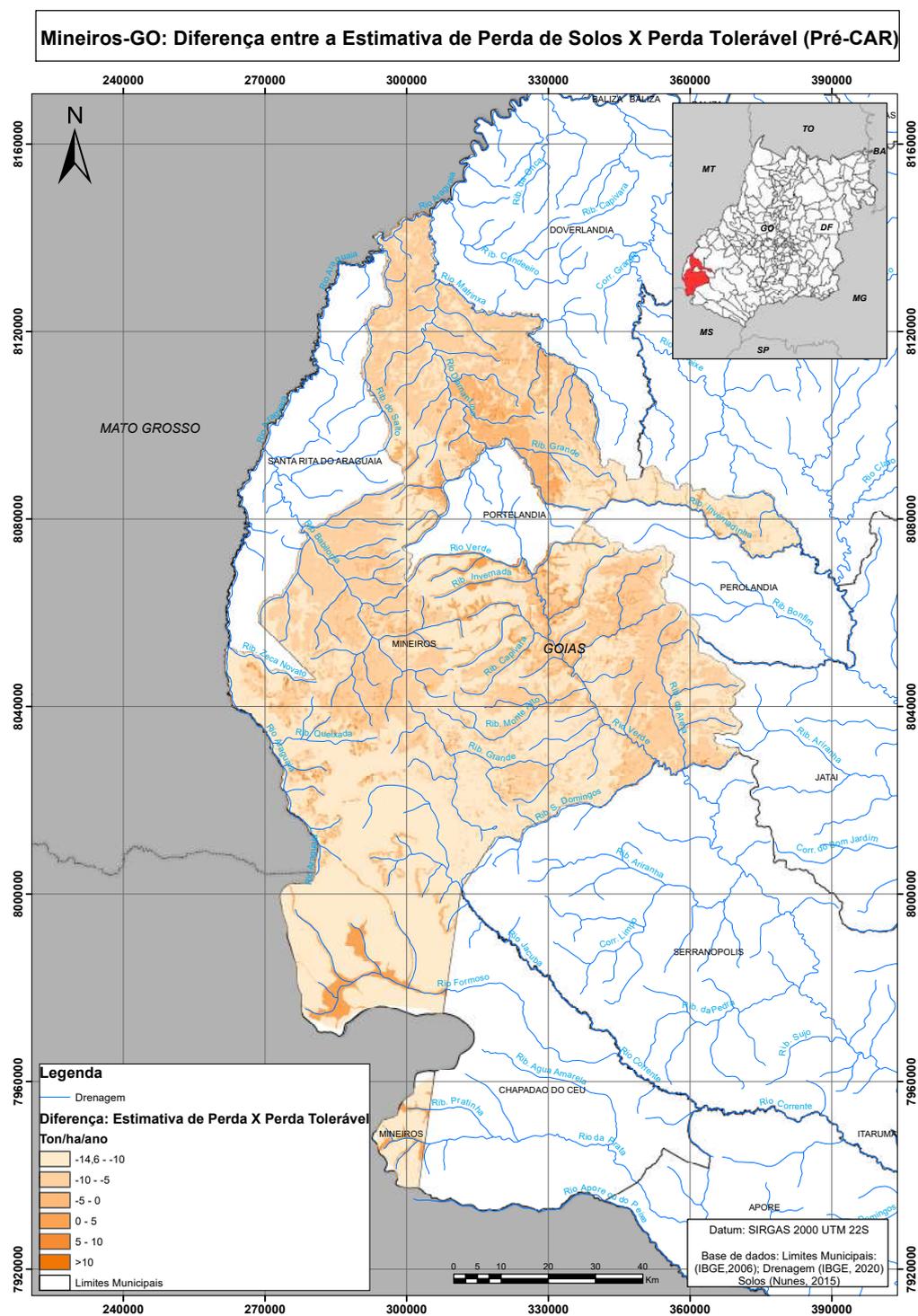
A classe de suscetibilidade moderada, no mapa elaborado pela EMBRAPA (2021) representou cerca de 34,47% do município. No mapa elaborado no presente estudo, a estimativa de perda de solos, frente à perda tolerável representou cerca de 5,28% da área total do município.

Por fim, as classes de suscetibilidade alta e muito alta, representaram no mapa elaborado pela Embrapa um percentual de 30,21% da área do município de Mineiros. No mapa elaborado no presente estudo, essas duas classes representaram 1,80% da área do município.

Embora nos dois mapas comparados, as classes muito baixa, baixa e moderada representem a maior área percentual do município, a diferença entre os dois mapas, evidenciada nas classes alta e muito alta ocorre devido ao fato que, no caso do mapa elaborado pela Embrapa, a suscetibilidade à erosão hídrica dos solos resulta de valores absolutos de perda de solos, o que explica a ocorrência maior das classes alta e muito alta, sobretudo em terrenos de declividades mais expressivas e solos mais erodíveis.

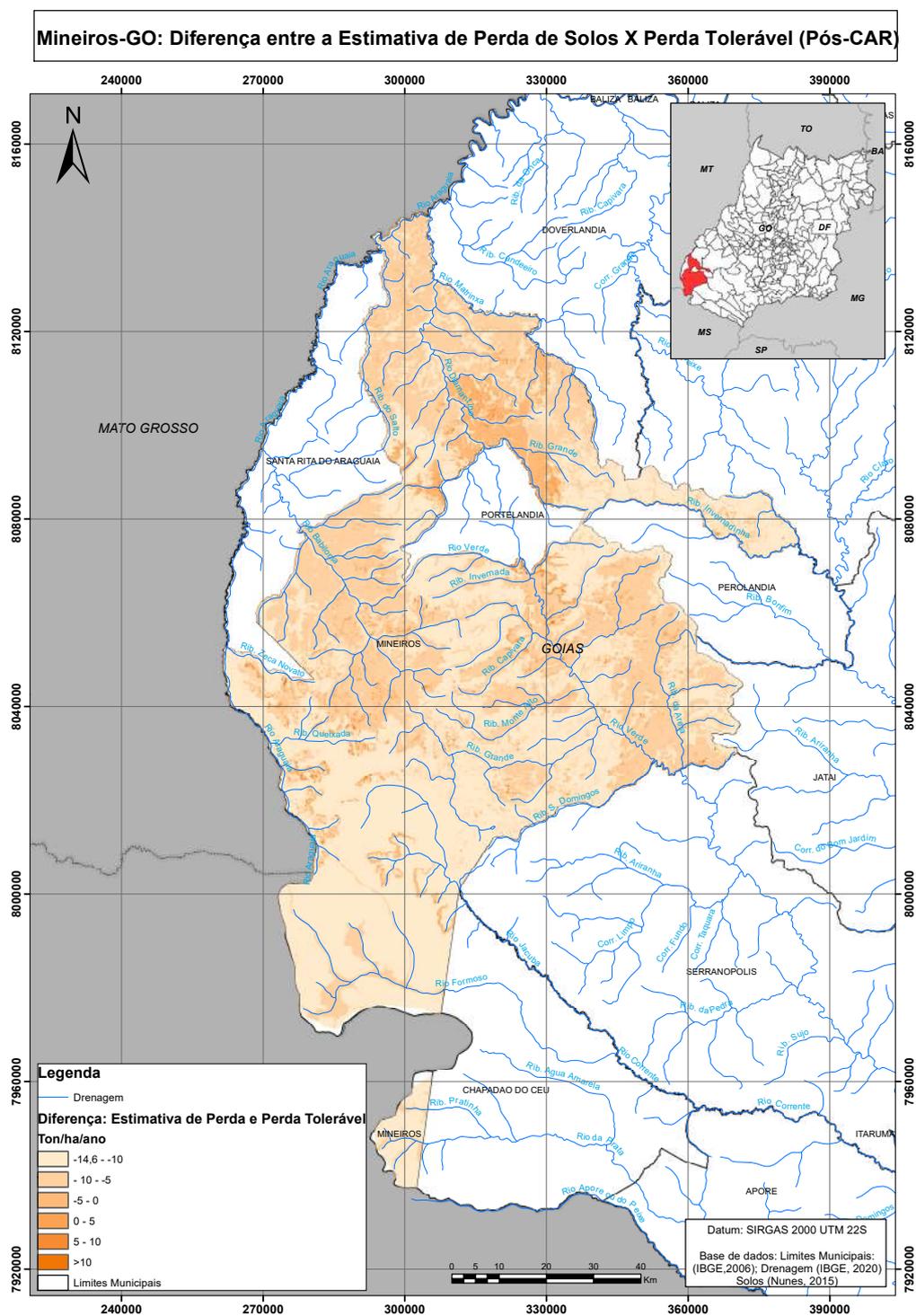
No mapa elaborado, além de serem consideradas variáveis como a cobertura e uso do solo (áreas vegetadas resultando em menor perda de solos), são consideradas ainda a perda tolerável para cada classe de solos.

Em relação a diferença entre a estimativa de perdas de solos e a perda tolerável, nos cenários Pré e Pós CAR, observa-se também a redução, sobretudo nas classes entre 5 e 10 e maior que 10 ton/ha/ano, no cenário Pós-CAR, quando comparada ao cenário Pré-CAR, conforme ilustrado nas figuras 5.13 e 5.14.



**Figura 5.13:** Diferença entre a estimativa de perda de solos e a perda tolerável (Cenário Pré-CAR).

Fonte: Elaborada pela autora.



**Figura 5.14:** Diferença entre a estimativa de perda de solos e a perda tolerável (Cenário Pós-CAR).

Fonte: Elaborada pela autora.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho demonstrou a influência da erodibilidade dos solos (fator K), sobre os valores de perda de solos. Áreas ocupadas em muitos casos por atividades agrícolas, sobre solos de texturas argilosas a muito argilosas, apresentaram baixos valores de perdas de solos. Por sua vez, em solos com texturas médias a arenosas, e também arenosas, a pastagem cultivada (principalmente) e agricultura, responderam por expressivas perdas de solos. A necessidade de planejamento, estudo dos solos e até mesmo viabilidade ambiental e econômica, fazem-se necessários, uma vez que a perda de solos também resulta em perda de nutrientes, assoreamento dos cursos d'água e carregamento de defensivos agrícolas para esses cursos d'água, causando danos à fauna.

Em relação ao cenário Pós-CAR (cenário ideal), a criação de instrumentos de monitoramento e controle de áreas de APP, áreas de uso restrito e Reserva Legal podem contribuir para a redução processos erosivos, estimado em 10% neste trabalho, uma vez que permitem aos órgãos ambientais o monitoramento e fiscalização dessas áreas, estabelecendo aos proprietários que essas áreas, caso degradadas, sejam passíveis de recuperação.

Uma vez constatado que certas áreas declaradas pelos proprietários no CAR não estão como estabelecem a legislação (preservadas), torna-se necessário também rever questões como sobreposição de áreas, referência espacial inconsistente, bem como a fiscalização efetiva dessas áreas fundamentais para o ecossistema terrestre, bem como danos à fauna aquática, uma vez que processos erosivos carregam defensivos agrícolas para os leitos de córregos e rios.

A razão entre a perda de solos de solos tolerável para cada classe com os dados modelados pela EUPS permitiram identificar espacialmente áreas com perdas acima do tolerável.

Aponta-se também a necessidade de produtos (variáveis da Equação Universal de Perda de Solos) em escala de detalhe e melhor parametrização dessas variáveis, o que auxiliaria em estimativas de perda de solos mais próximas da realidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. **Norma Brasileira ABNT NBR 6502 de 1995: Rochas e solos - Terminologia.** [s.n.], 1995. Disponível em: <<https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=448348>>. 18
- BACCARO, C. A. D. Processos erosivos no domínio do cerrado. In: T.GUERRA, A. J.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Ed.). **Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. 19
- BERTONI, José; Lombardi Neto, Francisco. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone, 1999. 19, 21
- BERTONI, J.; Lombardi Neto, F. Conservação do solo. In: . São Paulo: Ícone, 1999. 20
- BETTIOL, Giovana Maranhão; FERREIRA, Manuel Eduardo; MOTTA, Luiz Pacheco; CREMON, Édipo Henrique; SANO, Edson Eyji. Conformity of the nasadem\_hgt and alos aw3d30 dem with the altitude from the brazilian geodetic reference stations: A case study from brazilian cerrado. **Sensors**, v. 21, n. 9, p. 2935, 2021. 32
- BIGARELLA, João José. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Editora da UFSC, 2003. 19
- BREIMAN, Leo. Random forests. **Machine learning**, Springer, v. 45, n. 1, p. 5–32, 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.1023/A:1010933404324>>. 34
- CANTALICE, J. R. B.; CASSOL, E. A.; REICHERT, J.M.; BORGES, A. L. O. Hidráulica do escoamento e transporte de sedimentos em sulcos em solo franco argilo arenoso. In: . [S.l.]: R. Bras. Ci. Solo, 2005. p. 597–607. 22
- CARNEIRO, Marco Aurelio Carbone; SOUZA, Edicarlos Damacena de; PAULINO, Helder Barbosa; SALES, Luís Eduardo de Oliveira; VILELA, Laíze Aparecida Ferreira. Atributos indicadores de qualidade em solos de cerrado no entorno do parque nacional das emas, goiás. **Bioscience Journal**, v. 29, n. 6, 2013. 28
- CARVALHO, J. CAMAPUM DE; SALES, M. M.; FÁCIO, D. Mortari J. A.; MOTTA, N.; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In: CARVALHO, J. Camapum de; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Ed.). **Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro.** Brasília: Finatec, 2006. p. 39–91. 19

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 39

CASTRO, Selma Simões. Erosão hídrica na alta bacia do rio araguaia: distribuição, condicionantes, origem e dinâmica atual. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 38–60, 2005. 43, 45

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. In: ALVAREZ, V.H.; FONTES, L.E.; FONTES, M.P.F. (Ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS, UFV, DPS, 1996. p. 731–750. 25

CHISTOFOLETTI, A. Vertentes: processos e formas. In: CHISTOFOLETTI, A. (Ed.). **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1980. p. 26 – 61. 20

\_\_\_\_\_. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999. 24

CHOW, Ven Te; MAIDMENT, David R; LARRY, W. **Applied Hydrology**. International edition. New York: McGraw-Hill Book Company, 1988. 22

CMMAD, Comissão Mundial Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento. **Nosso futuro comum**. Organization de Las Nacioes Unidas, 1987. Disponível em: <<http://www.onu.org.br/rio20/img/2012/01/N8718467.pdf>>. Acesso em: 08 de abril de 2020. 18

CUNHA, Elias Rodrigues da; BACANI, Vitor Matheus; PANACHUKI, Elói. Modeling soil erosion using rusle and gis in a watershed occupied by rural settlement in the brazilian cerrado. **Natural Hazards**, Springer, v. 85, n. 2, p. 851–868, 2017. 35, 36

CURI, N. Vocabulário de ciência do solo. In: LARACH, J. O. I.; Kämpf, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. (Ed.). Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1993. 18

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**, v. 29, n. 2, p. 102–114, 2014. 37

ELLISON, W. D. Soil erosion studies part agricultural engineering. **Agricultural Engineering**, v. 28, n. 4, p. 145–146, 1947. 23

EMBLETON, Clifford; THORNES, John B. **Process in geomorphology**. [S.l.]: Hodder Arnold, 1979. 13

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Mapa de Suscetibilidade à Erosão Hídrica**. 2021. Disponível em:

<<https://bit.ly/2TVN8Rk>>. Acesso em: 18 jun 2021. 58, 62

EUROPEAN SPACE AGENCY. **Sentinel-2 MSI Introduction**. 2020. Disponível em:

<<https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi>>.

Acesso em: 21 out 2020. 30

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. La erosion del suelo por el agua: Algunas medidas para combatirla en las tierras de cultivo. In: . Roma:

Organization de Las Naciones Unidas, 1967. 20

FARINASSO, Miguel; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio; GUIMARÃES,

Renato Fontes; GOMES, Roberto Arnaldo Trancoso; RAMOS, Verônica Moreira.

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**, v. 7, n. 2, p. 73–85, 2006. 36

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DE GOIÁS (FAEG). **Vazio sanitário da soja em Goiás permanece até o dia 30**. 2018. Disponível em:

<<https://bit.ly/2XrzTWV>>. Acesso em: 20 nov 2020. 34

FERRAZ, Silvio Frosini De Barros; PEREIRA, Matheus Fernando; PAULA,

Felipe Rosetti De; VETTORAZZI, Carlos Alberto; ALVARES, Clayton Alcarde.

Simulação de perdas de solo em função de cenários de adequação ambiental em microbacias agrícolas. **Scientia Forestalis/Forest Sciences**, p. 271–282, 2013. 53

FERREIRA, Alexandre da Silva; FRANCISCO, Cristiane Nunes. Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático usle para avaliação de processos erosivos na

bacia hidrográfica do rio caceribu rj. In: EPIPHANIO, José Carlos Neves; GALVÃO, Lênio Soares (Ed.). **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE), 2009. p. 3777–3784. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em:

<<http://urlib.net/rep/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.22.32>>. Acesso em: 04 jan. 2021. 24

FLEURY, L.C. **Cerrado para ser o que? Representações sociais e conflitos**

**ambientais em torno do Parque Nacional das Emas, Goiás**. Dissertação (Mestrado em desenvolvimento rural) — UFRGS, Porto Alegre, 2008. Disponível em:

<<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/14898>>. Acesso em: 11 maio de 2020. 27

GALDINO, Sergio; SANO, Edson E; ANDRADE, Ricardo G; GREGO, Celia R; NOGUEIRA, Sandra F; BRAGANTINI, Claudio; FLOSI, Ana HG. Large-scale modeling of soil erosion with rusle for conservationist planning of degraded cultivated brazilian pastures. **Land degradation & development**, Wiley Online Library, v. 27, n. 3, p. 773–784, 2016. 36

GOMES, Luciene; SIMÕES, Silvio JC; NORA, Eloi Lennon Dalla; SOUSA-NETO, Eráclito Rodrigues de; FORTI, Maria Cristina; OMETTO, Jean Pierre HB. Agricultural expansion in the brazilian cerrado: Increased soil and nutrient losses and decreased agricultural productivity. **Land**, MDPI, v. 8, n. 1, p. 12, 2019. 36, 50

GORELICK, Noel; HANCHER, Matt; DIXON, Mike; ILYUSHCHENKO, Simon; THAU, David; MOORE, Rebecca. Google earth engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. **Remote Sensing of Environment**, Elsevier, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>>. 29, 34

GUERRA, A. J. T. **Um estudo do meio físico com fins de aplicação ao planejamento do uso agrícola da terra no Sudoeste de Goiás**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989. 210 p. Disponível em: <<https://bit.ly/3i3WAtU>>. 14

\_\_\_\_\_. O início dos processos erosivo. In: T.GUERRA, A. J.; S.SILVA, A. (Ed.). **Erosão e Conservação dos Solos, Conceitos, Temas e Aplicações**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994. 23

\_\_\_\_\_. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Ed.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005. cap. 4, p. 149–209. 13, 24

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. (Ed.). **Reflexões sobre a geografia física do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand, 2004. p. 255–280. 19

GUERRA, Antonio José Teixeira; SILVA, Antonio Soares da; BOTELHO, Rosangela Garrido Machado. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. [S.l.]: Bertrand Brasil, 2009. 23

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 3. ed. [s.n.], 2015. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv95017.pdf>>. 18

\_\_\_\_\_. Malha municipal 2019. 2019. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html?edicao=15874&t=acesso-ao-produto>>. Acesso em: 04 de fevereiro de 2020. 27

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Banco de Dados de Informações Ambientais - Pedologia**. 2018. Disponível em:

<<https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/pedologia>>. Acesso em: 18 jun 2021. 61

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). **Censo Demográfico 2010 - Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro, 2011. Disponível em: <[https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529\\_ref\\_glossario equipetec.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv64529_ref_glossario equipetec.pdf)>. Acesso em: 20 mar 2020. 27

IPT, Departamento de Águas e Energia Elétrica. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Orientações para o combate a erosão no estado de são paulo, bacia do peixe - paranapanema. **IPT, relatório, 24.739**, C.P; ME, São Paulo, SP, 1986. 19

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, n. 1, p. 147–155, 2005. 19

LAL, R. Erodibility and erosivity. In: AL, R. Lal et (Ed.). **Soil erosion research methods**. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141–160. 21

LEPSCH, Igor Fernando. **Formação e Conservação dos Solos**. São Paulo: Oficina de textos, 2002. 18

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**, v. 70, n. 4, p. 1510–1536, 2018. 23, 39, 49

LINDSAY, JB. The whitebox geospatial analysis tools project and open-access gis. In: **Proceedings of the GIS Research UK 22nd Annual Conference, The University of Glasgow**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 16–18. 29, 32

LINDSAY, John B; DHUN, K. Modelling surface drainage patterns in altered landscapes using lidar. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor & Francis, v. 29, n. 3, p. 397–411, 2015. 32

LOMBARDI-NETO, Francisco; MOLDENHAUER, William Calvin. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em campinas (sp). **Bragantia**, SciELO Brasil, v. 51, n. 2, p. 189–196, 1992. 32

MANNIGEL, A. R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do estado de são paulo. **Acta Scientiarum, Maringá**, v. 24, n. 5, p. 1335–1340, 2002. 37

MAPBIOMAS, Projeto. Coleção 5 da série anual de mapas de cobertura e uso de solo do Brasil. In: . [s.n.], 2020. Disponível em: <<https://mapbiomas.org/>>. Acesso em: 06 de dezembro de 2020. 29, 53

MEIRA, J. C. R. **Avaliação da relação entre a ocupação do solo e a qualidade físico-química e microbiológica do aquífero guarani em Mineiros (GO)**. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) — Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, 2014. 27

MINELLA, Jean Paolo Gomes; MERTEN, Gustavo Henrique; RUHOFF, Anderson Luis. Utilização de métodos de representação espacial para cálculo do fator topográfico na equação universal de perda de solo revisada em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 4, p. 1455–1462, 2010. 25

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa MMA n. 2, de 5 de maio de 2014**. 2014. Disponível em: <[https://www.car.gov.br/leis/IN\\_CAR.pdf](https://www.car.gov.br/leis/IN_CAR.pdf)>. Acesso em: 15 out 2020. 26

MIZIARA, F. Expansão de fronteiras e ocupação do espaço no cerrado: o caso de Goiás. In: GUIMARÃES, L. D.; SILVA, M. A. D. da; ANACLETO, T. C. (Ed.). **Natureza Viva Cerrado**. Goiânia: Universidade Católica de Goiás, 2006. 27

MOORE, Ian D; BURCH, Gordon J. Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 5, p. 1294–1298, 1986. 32

MOORE, Ian Donald; GRAYSON, RB; LADSON, AR. Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. **Hydrological processes**, Wiley Online Library, v. 5, n. 1, p. 3–30, 1991. 32

MUDD, Simon M. Chapter 4 - topographic data from satellites. In: TAROLLI, Paolo; MUDD, Simon M. (Ed.). **Remote Sensing of Geomorphology**. Elsevier, 2020, (Developments in Earth Surface Processes, v. 23). p. 91–128. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444641779000047>>. 32

MYERS, Norman; MITTERMEIER, Russell A; MITTERMEIER, Cristina G; FONSECA, Gustavo AB Da; KENT, Jennifer. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853–858, 2000. 14

NUNES, E. D. **Modelagem de processos erosivos hídricos lineares no município de Mineiros - GO**. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia, 2015. 30, 31

NUNES, E. D.; CASTRO, S. S. Compartimentação morfo-pedológica aplicada à distribuição de padrões espaciais de processos erosivos em solos frágeis - município de mineiros, go. In: CASTRO, S. S.; HERNANI, L. C. (Ed.). **Solos frágeis: caracterização, manejo e sustentabilidade**. Brasília: Embrapa, 2015. p. 293–324. 30, 33, 52

OLIVEIRA, Paulo Tarso S; NEARING, Mark A; WENDLAND, Edson. Orders of magnitude increase in soil erosion associated with land use change from native to cultivated vegetation in a brazilian savannah environment. **Earth Surface Processes and Landforms**, Wiley Online Library, v. 40, n. 11, p. 1524–1532, 2015. 21, 35

ONU, Organização das Nações Unidas. United nations, department of economic and social affairs, population division (2019). **World Population Prospects 2019**, 2019. Disponível em: <<https://population.un.org/wpp/DataQuery/>>. Acesso em: 09 de fevereiro de 2020. 17

PANAGOS, Panos; BORRELLI, Pasquale; MEUSBURGER, Katrin. A new european slope length and steepness factor (ls-factor) for modeling soil erosion by water. **Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 117–126, 2015. 32

PISSARRA, Teresa Cristina; GALBIATTI, João Antonio; BORGES, Maurício José; ROSALEN, David; IHA, Danilo. Avaliação por fotointerpretação do uso/ocupação do solo e erosão acelerada em microbacias hidrográficas utilizando sistemas de informação geográfica. In: EPIPHANIO, José Carlos Neves; FONSECA, Leila Maria Garcia (Ed.). **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2331–2338. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.22.17.35>>. Acesso em: 04 jan. 2021. 22

PRUSKI, Fernando Falco. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para controle da erosão hídrica**. 2. ed. [S.l.]: Editora UFV, 2009. 279 p. 34, 36

RUBIRA, Felipe Gomes; MELO, Georgea do Vale de; OLIVEIRA, Filipe Kallás Suhadolnik de. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 33, n. 1, 2016. 24

SALOMÃO, F. X. T.; IWASA, O. Y. **Erosão e ocupação rural e urbana**. São Paulo: ABGE, 1995. 31-57 p. 20

SANTOS, Humberto Gonçalves dos; JACOMINE, Paulo Klinger Tito; ANJOS, Lúcia Helena Cunha dos; OLIVEIRA, Virlei Álvaro de; LUMBRERAS, José Francisco; COELHO, Maurício Rizzato; ALMEIDA, Jaime Antonio de *et al.* **Sistema Brasileiro**

**de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília: Embrapa, 2018. Disponível em:

<<https://bit.ly/3bsT620>>. 18

SANTOS, Manoel Luiz; MORAIS, Eduardo Souza. Produção de sedimentos em bacia hidrográfica de pequena ordem: uso de modelos matemáticos, bacia do Ribeirão Maringá, Paraná-Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 2, 2012. 14

SEIXAS, B. L. S. **Fundamentos do manejo e da conservação do solo**. Salvador: Centro Editorial e Didático da UFBA, 1984. 23

SELBY, M. J. Hillslope materials and processes. **Oxford University Press**, p. 45–116, 1982. 21

SILVA, Mayesse Aparecida da; SILVA, Marx Leandro Naves; CURI, Nilton; OLIVEIRA, Anna Hoffmann; AVANZI, Junior Cesar; NORTON, Lloyd Darrell. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, SciELO Brasil, v. 38, n. 2, p. 160–172, 2014. 35

SINIMA. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**: Instituiu o novo código florestal brasileiro. Brasília: DOU de 28/05/2012, maio 2012. 26

SOUZA, Carlos M; SHIMBO, Julia Z; ROSA, Marcos R; PARENTE, Leandro L; ALENCAR, Ane A; RUDORFF, Bernardo FT; HASENACK, Heinrich; MATSUMOTO, Marcelo; FERREIRA, Laerte G; SOUZA-FILHO, Pedro WM *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020. ISSN 2072-4292. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/17/2735>>. 14, 29, 30

TARBOTON, David G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, Wiley Online Library, v. 33, n. 2, p. 309–319, 1997. 32

TRINDADE, Silas Pereira; FARIA, Karla Maria Silva; CASTRO, Selma Simões. Análise da expansão canavieira e as mudanças de uso do solo no sudoeste goiano de 1985 a 2016. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 38, n. 3, p. 569–590, 2018. 49

TROPICAL RAINFALL MEASURING MISSION. **TRMM (TMPA/3B43) Rainfall Estimate L3 1 month 0.25 degree x 0.25 degree V7**. Greenbelt, MD, 2011. Disponível em: <[https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM\\_3B43\\_7/summary](https://disc.gsfc.nasa.gov/datasets/TRMM_3B43_7/summary)>. Acesso em: 21 set 2020. 31

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2ª ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2005. 24

VILAR, O. M.; PRANDI, E. C. **Erosão dos Solos. Solos do Interior de São Paulo.** [S.l.]: ABMS/USPSC, 1993. 21

WEILL, Mara de Andrade Marinho; SPAROVEK, Gerd. Estudo da erosão na microbacia do ceveiro (piracicaba, sp): I-estimativa das taxas de perda de solo e estudo de sensibilidade dos fatores do modelo eups. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, SciELO Brasil, v. 32, n. 2, p. 801–814, 2008. 36

WISCHMEIER, Walter H; SMITH, Dwight D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, Wiley Online Library, v. 39, n. 2, p. 285–291, 1958. 31

WISCHMEIER, Walter H; SMITH, Dwight David. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning.** [S.l.]: Department of Agriculture, Science and Education Administration, 1978. 20, 25, 53