



**UFG**

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

MATEUS ARAUJO BEZERRA GAMPER

**MODELAGEM DA PERDA DE SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM A ESTRUTURA  
FUNDIÁRIA NA CONSOLIDAÇÃO DO AGRONEGÓCIO NO CERRADO  
SETENTRIONAL**

GOIÂNIA  
2022



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

## TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

### E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

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

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

#### 1. Identificação do material bibliográfico

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

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

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

#### 2. Nome completo do autor

Mateus Araujo Bezerra Gamper

#### 3. Título do trabalho

Modelagem da perda de solos e suas relações com a estrutura fundiária na consolidação do agronegócio no Cerrado Setentrional

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

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

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

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

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

O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

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

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



Documento assinado eletronicamente por **Luis Felipe Soares Cherm, Usuário Externo**, em 20/03/2023, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Mateus Araújo Bezerra Gamper, Discente**, em 21/03/2023, às 22:20, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3607429** e o código CRC **2E98DD0E**.

MATEUS ARAUJO BEZERRA GAMPER

**MODELAGEM DA PERDA DE SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM A ESTRUTURA  
FUNDIÁRIA NA CONSOLIDAÇÃO DO AGRONEGÓCIO NO CERRADO  
SETENTRIONAL**

Dissertação de mestrado apresentada à banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia

Área de concentração: Natureza e produção do espaço.

Linha de Pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica

Orientador: Prof. Dr. Luis Felipe Soares Cherem

GOIÂNIA  
2022

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

Gamper, Mateus Araujo Bezerra  
MODELAGEM DA PERDA DE SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM A  
ESTRUTURA FUNDIÁRIA NA CONSOLIDAÇÃO DO AGRONEGÓCIO  
NO CERRADO SETENTRIONAL [manuscrito] / Mateus Araujo  
Bezerra Gamper. - 2023.  
XCI, 91 f.: il.

Orientador: Prof. Luis Felipe Soares Cherem.  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto  
de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em  
Geografia, Goiânia, 2023.

Bibliografia.

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

1. Perda de Solo. 2. RUSLE. 3. Modelagem ambiental. 4.  
MATOPIBA. 5. São Desidério. I. Cherem, Luis Felipe Soares , orient.  
II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS

INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

### ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Ata nº **05/2023** da sessão de Defesa de Dissertação de **Mateus Araujo Bezerra Gamper**, que confere o título de Mestre em **Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

Aos **sete dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e três**, a partir das **14 horas, por meio de videoconferência**, realizou-se a sessão pública de Defesa de Dissertação intitulada “Avaliação da variação e da diversidade temporal das taxas de denudação de São Desidério-BA com uso da RUSLE”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Luis Felipe Soares Cherem** com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Doutor **Elizon Dias Nunes (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Márcio Henrique de Campos Zancopé (IESA/UFG)**, membro titular externo. Durante a arguição os membros da banca **fizeram** sugestão de alteração do título do trabalho, conforme indicado abaixo. Os membros também recomendaram que o trabalho passasse por revisão textual. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Dissertação, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Luis Felipe Soares Cherem**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, lavrou-se a presente ata, que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora aos **sete dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte e três**.

#### TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Modelagem da perda de solos e suas relações com a estrutura fundiária na consolidação do agronegócio no Cerrado Setentrional



Documento assinado eletronicamente por **Luis Felipe Soares Cherem, Usuário Externo**, em 08/02/2023, às 09:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Márcio Henrique De Campos Zancopé, Professor do Magistério Superior**, em 08/02/2023, às 13:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Elizon Dias Nunes, Geógrafo**, em 13/02/2023, às 09:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufg.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **3501987** e o código CRC **DE171582**.



## **COMPOSIÇÃO DA BANCA EXAMINADORA**

**PROF. DR. LUIS FELIPE SOARES CHEREM**  
Orientador – PPGeo/UFG

**PROF. DR. MARCIO HENRIQUE DE CAMPOS ZANCOPE**  
Examinador Externo – IESA/UFG

**DR. ELIZON DIAS NUNES**  
Examinador Externo – IESA/UFG

**PROF. DR. GUILHERME TAITSON BUENO**  
Examinador Suplente – PPGeo/UFG

Dedico esse trabalho a todas as vítimas da pandemia de Coronavírus e a todos os profissionais de distintas áreas envolvidas que dedicaram a salvar vidas nesse período.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, que me deu força para chegar até esse momento e, sobretudo, ao fato de proteger a mim e minha família da maior crise sanitária enfrentada pela humanidade – Pandemia do SARS-COR (Coronavírus).

À minha esposa (Ariane), que sempre esteve ao meu lado e segurou a barra durante essa e outras caminhadas (TE AMO); e à minha filha (MINHA PRINCESA), razão de agradecer a Deus por todos os dias ter me dado o privilégio de ser seu pai (TE AMO, minha filha). Aos meus pais, Sônia Sales e Eurípedes Guilherme, por todos os ensinamentos, cuidado e carinho: vocês sempre serão meus exemplos. À minha irmã, Raquel, que, ao seu jeito, nunca me abandonou e jamais deixou preocupar comigo, e ao meu sobrinho, Eduardo (Dudu). À meu tio Enos Guilherme (Jacaré), que ensina nas práticas cotidianas. Não poderia de agradecer à minha avó, Alaíde Roque Sabino (*in memoriam*): Vó, sei que, de onde estiver, a senhora está cuidando de mim... um dia vamos nos encontrar!

Ao meu orientador Dr. Luís Felipe Soares Cherem, pelas orientações e paciência em todos os momentos e seu entusiasmo em me conduzir para uma proatividade científica.

A meu amigo Daniel Araújo, sem ele julgo que esse trabalho não teria a primazia que alcançou, simplesmente fundamental. À minha amiga Fernanda Ramalho, que foi meu suporte psicológico durante essa caminhada. À Gisele Bispo, no qual sempre me auxiliou nas questões burocráticas. Ao meu amigo Ricardo Pinto Filho, pelas orientações e inúmeras conversas que foram essenciais para continuidade do percurso.

Fora do ambiente geográfico acadêmico, tive amigos que não poderiam faltar nesta lista: agradeço a todo incentivo e força do prof. Nilton Rabello Ururahy e do prof. Robson Medrado, vocês são inspiração de alegria de determinação.

Agradeço imensamente à ciência geográfica, pela qual sou apaixonado e grato!

***“Veni, vidi, vici”***  
(Júlio César)

## RESUMO

A porção setentrional do Bioma Cerrado e é considerada a última fronteira agrícola do país, reorganizando o espaço geográfico da região nas últimas décadas, sendo objeto de políticas públicas setoriais. A transformação dessa região conduziu ao aumento da produção de *commodities* agrícolas na região, o que implica em impactos ambientais inerentes à produção agrícola de larga escala, sendo o principal deles a erosão dos solos agrícolas. Nesse sentido, tem-se o objetivo de avaliar a relação entre a consolidação da estrutura agrária e a variação espacial e temporal da perda de solos do Cerrado Setentrional para a produção de *commodities* agrícolas entre 1990 e 2020, considerando-se o papel da área periurbana e urbana. A proposta tem como área de estudo o município de São Desidério – BA, principal produtor agrícola da região com o maior PIB agropecuário do país em 2018. Para alcançar esse objetivo, é utilizado o modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-R / RUSLE, em inglês) - aplicado para os anos de 1990, 1996, 2002, 2008, 2014 e 2020, sendo as perdas de solos calculadas para cada propriedade agrícola, classificadas de acordo com a tipologia de módulo rural (minifúndios, pequenas, médias e grandes propriedades), considerando-se também as reservas legais. Os resultados obtidos revelam uma distinção em dois grupos: o constante aumento da perda de solo nas pequenas, médias e grandes propriedades e perdas mais elevadas para minifúndios e reservas legais em todos os anos analisados. No primeiro grupo, o fator que controlou o aumento nas perdas de solo foi a cobertura dos solos (CP), enquanto no segundo, os fatores que controlaram as perdas de solos mais altas durante todo o período foram o comprimento da rampa (L) e declividade (S) e o solo (K). Essa estrutura espacial e temporal das perdas de solo no município indica que a perda de solos aumentou nas maiores propriedades devido à conversão dos cerrados, apesar de estarem nos relevos e solos mais adequados à agropecuária. Enquanto nos minifúndios e reservas legais, os valores mais elevados se devem às características naturais do município, pois essas estão, em geral, em relevos mais declivosos e solos mais frágeis. Observa-se, nesse sentido, que a estrutura fundiária é fator determinante para explicar a perda de solos no município.

**Palavras-chave:** RUSLE; Perda de Solo; Modelagem Ambiental; Cerrado; São Desidério.

## ABSTRACT

The northern portion of the Cerrado Biome is considered the last agricultural frontier in the country, reorganizing the geographic space of the region in recent decades, being the object of sectorial public policies. The transformation of this region led to an increase in the production of agricultural commodities in the region, which implies environmental impacts inherent to large-scale agricultural production, the main one being the erosion of agricultural soils. In this sense, the objective is to evaluate the relationship between the consolidation of the agrarian structure and the spatial and temporal variation of soil loss in the Northern Cerrado for the production of agricultural commodities between 1990 and 2020, considering the role of the periurban area and urban. The proposal has as study area the municipality of São Desidério - BA, the main agricultural producer in the region with the highest agricultural GDP in the country in 2018. To achieve this objective, the mathematical model of the Revised Universal Soil Loss Equation (EUPS) is used. -R / RUSLE) – applied for the years 1990, 1996, 2002, 2008, 2014 and 2020, with soil losses calculated for each agricultural property, classified according to the type of rural module (small farms, small, medium and large properties), also considering the legal reserves. The results obtained reveal a distinction in two groups: the constant increase in soil loss in small, medium and large properties and higher losses for smallholdings and legal reserves in all years analyzed. In the first group, the factor that controlled the increase in soil losses was the soil cover (CP), while in the second, the factors that controlled the highest soil losses during the entire period were the slope length (L) and slope (S) and the soil (K). This spatial and temporal structure of soil losses in the municipality indicates that soil loss increased in the largest properties due to the conversion of the Cerrado, despite being in the most suitable reliefs and soils for agriculture and livestock. While in smallholdings and legal reserves, the higher values are due to the natural characteristics of the municipality, as these are, in general, in more sloping reliefs and soils that are more fragile. It is observed, in this sense, that the land structure is a determining factor to explain the loss of soil in the municipality.

Keywords: RUSLE; Soil Loss; Environmental Modeling; Cerrado; São Desidério.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Fluxograma Conceitual da Pesquisa.....	24
Figura 02 – Fonte dos Dados Primários.....	28
Figura 03 – Fluxograma Metodológico.....	30
Figura 04 – Fatores da RUSLE e Comandos nos ARCGIS 10.5 e QGIS 3.....	31
Figura 05 – Mapa de Localização do periurbano São Desidério-BA.....	36
Figura 06 – Fluxograma Metodológico da RUSLE.....	39
Figura 07 – Propriedades Rurais no Periurbano no Município de São Desidério-BA, Classificadas por Estrutura Fundiária.....	40
Figura 08 – Resultado de cada fator da Equação Universal de Perda de Solo Revisada periurbano do município de São Desidério (BA).....	41
Figura 09 – Conversão do uso do solo do periurbano do município de São Desidério (BA) entre 1990 e 2000 (A), 2000 e 2012 (B) e entre 2012 e 2020. A classificação utilizada segue os critérios estabelecidos pelo Mapbiomas para cobertura natural e uso antropizado, na coleção 6.0.....	42
Figura 10 – Perda anual de solo ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) do perímetro periurbano de São Desidério (BA) para os anos de 1990 (A), 2000 (B), 2012 (C) e 2020 (D).....	43
Figura 11 – Boxplot das taxas de perda de solos nos minifúndios do perímetro periurbano de São Desidério (BA).....	44
Figura 12 – Boxplot das taxas de perda de solos nas pequenas propriedades do perímetro periurbano de São Desidério (BA).....	46
Figura 13 – Boxplot das taxas de perda de solos nas médias propriedades do perímetro periurbano de São Desidério (BA).....	47
Figura 14 – Boxplot das taxas de perda de solos nas grandes propriedades do perímetro periurbano de São Desidério (BA).....	48
Figura 15 – Boxplot das taxas de perda de solos nas reservas legais do perímetro periurbano de São Desidério (BA).....	49
Figura 16 - Mapa de localização da área de estudo no contexto do MATOPIBA.....	57
Figura 17 – Distribuição dos solos no município de São Desidério, segundo classificação da EMBRAPA, segunda ordem.....	58
Figura 18 – Mapas dos fatores da RUSLE.....	63

Figura 19 – Distribuição espacial das propriedades rurais do município de São Desidério sobre o mapa de relevo, pela classificação do IBGE.....	66
Figura 20 – Distribuição espacial das reservas legais, presente dentro dos limites políticos do município de São Desidério sobre o mapa de relevo, pela classificação do IBGE.....	67
Figura 21 – Gráficos de violino com a estatística da declividade (A) e a hipsometria (B).....	68
Figura 22 – Distribuição espacial das tipologias, sobre o mapa de declividade e gráficos de boxplot de hipsometria e declividade das tipologias.....	69
Figura 23 – Síntese e média movel pluviométrica do município de São Desidério de 1990-2020.....	70
Figura 24 – Gráfico de alteração do uso do solo, sendo a cobertura antrópica representada em vermelho e a natural em verde.....	71
Figura 25 – Alteração do uso do solo ao longo do tempo considerando os anos analisados, observa-se a conversão que avança do extremo oeste em direção ao leste do município.....	72
Figura 26 – Distribuição espacial da taxa de perda de solos para cada um dos anos analisados.....	73
Figura 27 – Gráficos de violino com a estatística das taxas de medianas de perda de solo ( $\text{ton.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ ) calculadas para as propriedades e reservas legais para os anos analisados: (a) ano de 1990 (B) ano de 1996 (C) ano de 2002 (D) ano de 2008 (E) ano de 2014 (F) ano de 2020.....	76
Figura 28 – Gráficos de violino com a estatística dos valores totais perda de solo ( $\text{ton.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ ) por tipologia. Calculadas para as propriedades e reservas legais para os anos analisados: (a) ano de 1990 (B) ano de 1996 (C) ano de 2002 (D) ano de 2008 (E) ano de 2014 (F) ano de 2020.....	78
Figura 29 – Gráfico em barras com a estatística da somatória dos valores totais por tipologia....	79

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Estrutura Agrária do Periurbano do Município de São Desidério-BA.....	40
Tabela 02 – Referências bibliográficas utilizadas no fator K.....	61
Tabela 03 – Referências bibliográficas utilizadas na determinação do fator CP.....	62
Tabela 4 – Distribuição das propriedades rurais e suas dimensões por tipologia no município de São Desidério.....	65

## LISTA DE ABREVIACOES

CAR	Cadastro Ambiental Rural
EI	Média mensal do ndice de erosão (equação fator R)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
Fator A	Resultante dada perda do solo (equação da RUSLE)
Fator C	Uso e manejo do solo (equação da RUSLE)
Fator K	Erodibilidade do solo (equação da RUSLE)
Fator L	Comprimento do declive (equação da RUSLE)
Fator P	Práticas conservacionista do solo (equação da RUSLE)
Fator R	ndice de erosão pela precipitação (equação da RUSLE)
Fator S	Grau do Declive (equação da RUSLE)
Ha.	Hectares
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
MapBiomass	Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MATOPIBA	Maranhão; Tocantins;Piauí e Bahia
MDE	Modelo de Elevação Digital
MJ	Megajoule
mm	Milímetro
ONU	Organização das Nações Unidas
p	média mensal em milímetros (equação fator R)
P	Média anual em milímetros (equação fator R)
PIB	Produto Interno Bruto
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIG	Sistemas de Informações Geográficas
SWAT	Soil and Water Assessment Tool/Ferramenta de Avaliação de Solo e gua
Ton.	Tonelada
USLE	Universal Land Loss Equation/Equação Universal de Perda de Solo
WEPP	Water Erosion Prediction Project/Projeto de Previsão de Erosão Hídrica

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>20</b>
<b>Problemática da Investigação.....</b>	<b>22</b>
<b>Justificativa.....</b>	<b>25</b>
<b>Objetivos da Pesquisa.....</b>	<b>26</b>
<b>Metodologia Proposta.....</b>	<b>27</b>
<b>CAPÍTULO 1 - VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PERDA DE SOLOS NA ÁREA PERIURBANA DE SÃO DESIDÉRIO (BA) E SUAS RELAÇÕES COM A ESTRUTURA FUNDIÁRIA E A CONSOLIDAÇÃO DO AGRONEGÓCIO NO CERRADO SETENTRIONAL.....</b>	<b>32</b>
<b>1.1 Introdução.....</b>	<b>32</b>
<b>1.2 Materiais e Método.....</b>	<b>34</b>
<b>1.3 A Área de Estudo.....</b>	<b>35</b>
<b>1.4 Definição do Perímetro Urbano de São Desidério (BA) e Classificação da Estrutura FundIária.....</b>	<b>36</b>
<b>1.5 Cálculo EUPS-R / RUSLE.....</b>	<b>37</b>
<b>1.6 Determinação da Perda de Solos para cada uma das Propriedades Rurais e para as Reservas Legais e Interpretação Integrada dos Resultados.....</b>	<b>39</b>
<b>1.7 Apresentação dos Resultados.....</b>	<b>39</b>
1.7.1 A Estrutura Fundiária Periurbana em São Desidério.....	39
1.7.2 Cálculo da Perda de Solos a partir da Equação Universal de Perda de Solos Revisada.....	41
1.7.3 A Variabilidade da Perda de Solos na Zona Periurbana.....	43
<b>1.8 Discussão.....</b>	<b>49</b>
<b>1.9 Considerações finais.....</b>	<b>51</b>
<b>CAPÍTULO 2 - MODELAGEM DA PERDA DE SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM A ESTRUTURA FUNDIÁRIA NA CONSOLIDAÇÃO DO AGRONEGÓCIO NO CERRADO SETENTRIONAL.....</b>	<b>53</b>
<b>2.1 Introdução.....</b>	<b>54</b>
<b>2.2 Materiais e Método.....</b>	<b>56</b>
<b>2.2.1 Área de Estudo.....</b>	<b>56</b>
2.2.2 Procedimentos metodológicos.....	58
2.2.2.1 Base de Dados.....	59

2.2.2.2 Procedimentos Metodológicos Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-R, RUSLE do inglês).....	59
2.2.3 Estrutura e Tipologia Fundiária.....	64
<b>2.3 Descrição dos Resultados.....</b>	<b>64</b>
2.3.1 Propriedades Rurais.....	64
2.3.2 Reservas Legais.....	66
<b>2.4 Fatores da RUSLE e sua influência sobre a variabilidade das taxas de perda de solo..</b>	<b>67</b>
<b>2.5 A perda de solos no município por tipologia de propriedades.....</b>	<b>72</b>
<b>2.6 Discussão.....</b>	<b>80</b>
<b>2.7 Considerações Finais.....</b>	<b>82</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>84</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>86</b>

## APRESENTAÇÃO

O solo é um integrante dos sistemas ambientais e compreender seu ciclo e seu caráter é fundamental. Christofolletti (1999) define o sistema como o conjunto de elementos ordenados e de interações simultâneas desses diferentes elementos. Os modelos visam entender os sistemas ambientais para conceber sua disposição e a mecânica dos fenômenos da natureza, simplificar as relações do mundo real, revelar características ou interações importantes e prever comportamentos, transformações ou evoluções (CHORLEY; HAGGETT, 1967; CHRISTOFOLETTI, 1999). A modelagem, por meio do uso de geotecnologia, é um caminho para viabilizar o reconhecimento e a averiguação dos elementos que compõem os sistemas, compreender seus múltiplos comportamentos e, dessa forma, ser possível dimensionar, qualificar e aferir o curso das alterações ambientais (FERNANDES, 2016; VIEIRA; MARTINS, 2016). No processo de modelagem, é fundamental escolher os dados primários, de acordo com Akashi Junior (2020), para garantir a representatividade do resultado. Almeida (2015) compara bancos de dados para mapeamento e modelagem na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, em Goiás, analisando modelos digitais de elevação e imagens de satélite e seus impactos nos resultados na RUSLE.

Por consequência, o uso de modelagem ambiental vem se difundindo no meio científico, sobretudo para processos erosivos. A *Revised Universal Soil Loss Equation* (RUSLE) é uma das principais metodologias para modelagem de perda de solo (RENARD *et al.*, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2013; NUNES, 2015; ZHANG *et al.*, 2017; GOMES *et al.*, 2019; KEBEDE, 2020; MHASKE *et al.*, 2021; AKASHI JUNIOR, 2020; ROSA *et al.*, 2021; SILVA, 2021; BALDOTTO *et al.*, 2021; GETU *et al.*, 2022; SAHA *et al.*, 2022).

É imprescindível utilizar toda a geotecnologia possível para buscar uma compreensão sistêmica das alterações ocorridas na porção setentrional do Bioma Cerrado, denominada MATOPIBA (acrônimo para os estados de Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia). Isso se deve ao fato de que esta região está em fase de consolidação da fronteira agrícola, e as metamorfoses ambientais, sociais e econômicas estão ocorrendo rapidamente. A região é constituída por uma série de fatores ambientais que estão contribuindo para o avanço da fronteira e para a influência direta do Estado, o que fez com que ocorresse um rápido crescimento agrícola (PITA, 2014; PEREIRA, 2018).

Nesse contexto, o município de São Desidério, localizado na mesorregião do extremo Oeste Baiano, na microrregião de Barreiras, é um dos maiores produtores agrícolas do país, de

acordo com a Produção Agrícola Municipal (PAM) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2021), além de possuir o maior Produto Interno Bruto (PIB) agrícola do país (IBGE, 2019). Sua produção consiste principalmente de soja, além de milho e algodão. Tornou-se um dos maiores produtores de grãos do Brasil, embora no início deste século não estivesse entre os trinta maiores produtores do país.

Diante desse cenário, é urgente a necessidade de aprofundar estudos que quantifiquem o processo erosivo em regiões produtoras do país. O objetivo é avaliar a variabilidade espacial e temporal da perda de solo no município de São Desidério, que concentra características essenciais para tal investigação. Para isso, utilizar-se-á um método quantitativo por modelagem matemática com a implementação da RUSLE, para avaliar as taxas de erosão em minifúndios, pequenas, médias e grandes propriedades rurais, bem como nas reservas legais do município de São Desidério, a fim de verificar a existência de possíveis tendências erosivas em relação à estrutura fundiária. Com os resultados obtidos, será possível direcionar a discussão de políticas públicas para a preservação do uso do solo de forma sustentável.

## Problemática da Investigação

O Cerrado corresponde a 70% da produção agropecuária brasileira (WICKRAMASINGHE, 2012; GOMES, 2019). A maior parte dessa produção é composta por *commodities*, tais como algodão (95%), soja (54%), carne bovina (55%) e cana-de-açúcar (55%), conforme dados do IBGE (2015) sobre a produção nacional. No entanto, esse alto nível de produção tem potencializado a perda de nutrientes do solo, como fósforo e nitrogênio, além da matéria orgânica (GOMES, 2019), que são naturalmente removidos pelo escoamento subsuperficial. A localização tropical do Bioma Cerrado e suas condições naturais contribuem para o aumento do volume de perda de solo (MACHADO, 2016). A produção agrícola de *commodities* tem gerado uma série de impactos negativos, tais como a erosão severa de terras aráveis, perda de nutrientes do solo, excesso de pastagem, problemas ambientais e perda de solo e da biodiversidade (GOMES, 2019). Na porção setentrional do Cerrado, MATOPIBA, em decorrência da produção de *commodities*, a paisagem natural tem sido alterada de maneira intensa. Matricardi (2019) aponta uma alteração de 40,9% de campos agrícolas e solos expostos entre 2000 e 2016 e um aumento de 154% de áreas irrigadas.

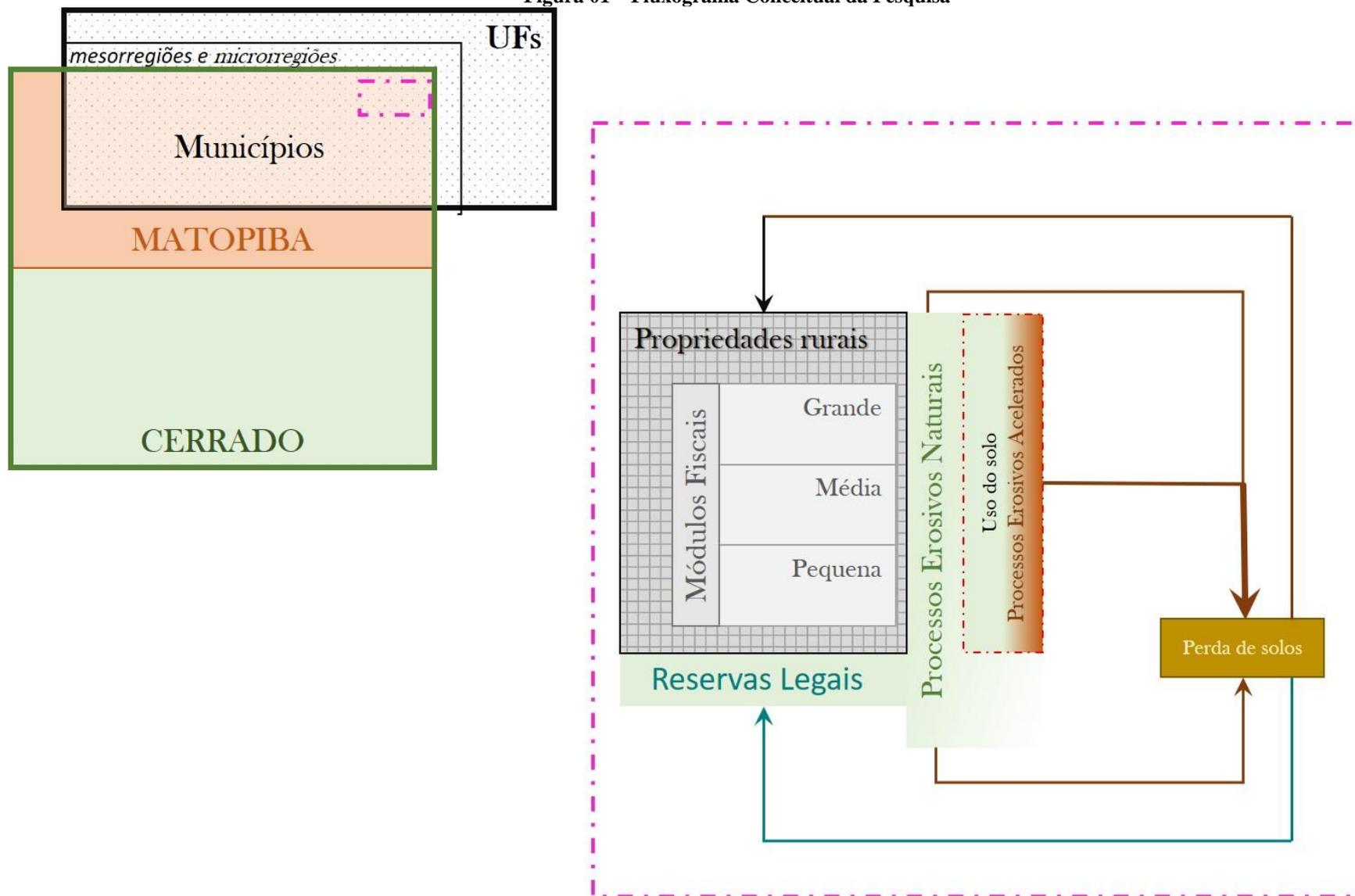
Com o discurso de promover a produção de alimentos e garantir a segurança alimentar, essa expansão de fronteira agrícola transforma de forma significativa o espaço geográfico. Todavia, a produção de alimentos pode ser analisada a partir da dicotomia entre o agronegócio e a agricultura familiar, que apresentam diferenças significativas em termos de escala, volume de produção e tipo de cultivo. Enquanto o agronegócio se concentra em grandes e médias propriedades rurais, a agricultura familiar tem como característica a interface contínua entre as áreas urbana e rural (GRAZIANO DA SILVA, 1997). De acordo com Vale (2005), mesmo em regiões predominantemente rurais, a agricultura familiar mantém relações econômicas diretas com a área urbana. Isso se dá, principalmente, pela geração de empregos. Segundo o Censo Agropecuário de 2017, cerca de 10 milhões de pessoas são empregadas em propriedades da agricultura familiar, o que corresponde a cerca de 67% de toda a mão de obra empregada no espaço rural brasileiro. Além de criar os chamados "cinturões verdes", áreas que se caracterizam pela produção de hortaliças, horticultura, granjas e criação de animais de pequeno porte, como suínos, caprinos e gado de pequeno porte para a comercialização de seus derivados (VALE, 2005), a agricultura familiar é responsável por grande parte da produção de alimentos da população brasileira, de acordo com o Ministério da Agricultura e Pecuária (2019).

Entre as culturas produzidas pela agricultura familiar, destacam-se o café e a banana, que respondem por 48% do valor da produção, assim como a mandioca, o abacaxi e o feijão. Nas culturas temporárias, a agricultura familiar é responsável por 80% do valor da produção de mandioca, 69% do abacaxi e 42% do feijão, conforme dados do IBGE (2019).

O município de São Desidério, situado no estado da Bahia, apresenta características similares em relação à produção agrícola e à estrutura fundiária. É um dos principais municípios produtores de algodão, soja e milho no país, com o maior PIB de produção agrícola do Brasil, de acordo com dados do IBGE de 2019. No entanto, apesar de sua expressiva produção agrícola, o município depende do cinturão verde localizado em sua área periurbana para abastecer a população local.

Diante do exposto, a questão científica da pesquisa consiste em analisar a relação entre a consolidação da estrutura agrária e a variação espacial e temporal da perda de solo no município de São Desidério, localizado no estado da Bahia. Para isso, será utilizado um modelo matemático determinístico, da Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-R/RUSLE, em inglês), a fim de analisar o período de 1990 a 2020.

Figura 01 – Fluxograma Conceitual da Pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

## **Justificativa**

O solo é um dos recursos naturais mais relevantes para a humanidade, pois é responsável pela produção de alimentos e é a base da diversidade biológica e da segurança alimentar. Bertoni (2010) afirma que “a erosão do solo tem uma relação direta com a escassez de alimentos e com a fome”. Tal situação é confirmada pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), que, na declaração de Roma em 1996, apontou um dado preocupante: cerca de 800 milhões de pessoas no mundo viviam em condições de insegurança alimentar. Nesse mesmo documento, é apresentado o conceito de segurança alimentar, que consiste no “direito de todos a terem acesso a alimentos seguros e nutritivos, em consonância com o direito a uma alimentação adequada e com o direito fundamental de todos a não sofrer a fome”.

O Cerrado é responsável por grande parte da produção agrícola brasileira. No entanto, os processos erosivos em regiões produtoras contribuem para a degradação do solo, como a erosão e redistribuição do solo, perda de matéria orgânica e nutrientes, o que leva à diminuição da fertilidade. Após a consolidação legal do MATOPIBA, a região vem apresentando um crescimento contínuo da produção agrícola, promovendo uma alteração da paisagem e, principalmente, do uso do solo. Dentre as transformações socioeconômicas e socioambientais, é importante aprofundar a discussão com modelos matemáticos que quantifiquem os processos erosivos, como a Equação Universal de Perda de Solo Revisada - RUSLE, a fim de garantir a preservação desse recurso, principalmente em regiões tropicais com elevada produção agrícola e altos índices erosivos.

São Desidério (BA) é um dos maiores produtores de grãos do país e o município com o maior PIB agrícola do Brasil (IBGE, 2019), com uma estrutura fundiária consolidada, contribuindo para a expansão da alteração da paisagem natural. Assim, o município se encaixa nos padrões da pesquisa.

## **Objetivos da Pesquisa**

O objetivo desta pesquisa é analisar a relação entre a consolidação da estrutura agrária e a variação espacial e temporal da perda de solos no município de São Desidério - BA. Para alcançar esse objetivo, será utilizado o modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-R / RUSLE, em inglês) - aplicado em intervalos de análise de seis anos, durante o período de 1990 a 2020.

Os objetivos específicos são:

- Caracterizar a dinâmica da perda de solos nas propriedades rurais do município de São Desidério no período de 1990 a 2020, utilizando a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-R / RUSLE) em intervalos de 6 anos;
- Analisar a correlação entre a consolidação da estrutura agrária e a variação espacial e temporal da perda de solos no município de São Desidério, analisando também o papel do perímetro periurbano na variabilidade da perda de solos;

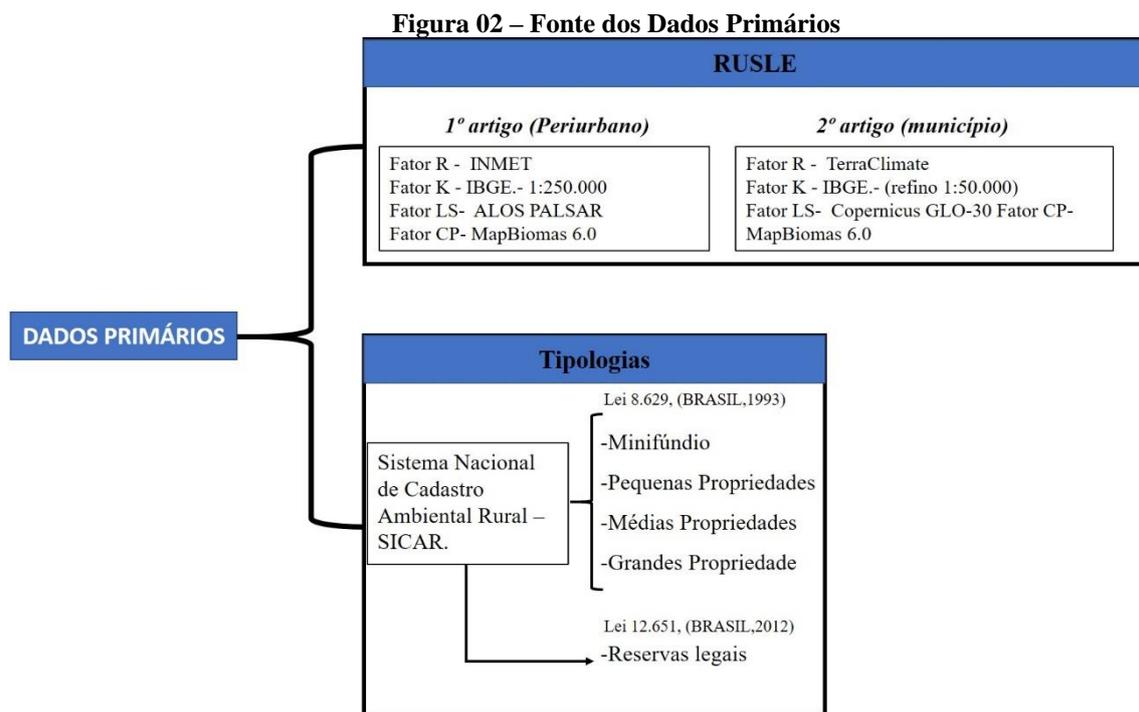
## Metodologia Proposta

A pesquisa tem como proposta metodológica principal a execução de um método matemático determinístico de base empírica por modelagem com implementação da Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE. Assim, para elucidar as etapas empreendidas na pesquisa, foi elaborado um fluxograma metodológico (Figura 02), além do detalhamento textual.

A primeira etapa consiste no aprofundamento bibliográfico com o objetivo de sustentar conceitualmente as etapas seguintes. Podemos apontar eixos temáticos estudados, tais como: processos erosivos e os modelos matemáticos que envolvem a quantificação do mesmo, por exemplo, a Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE, uso do solo (produção de *commodities*) e a Legislação Agrária no Brasil (BRASIL, 2012), e autores como Wischmeier e Smith (1978), Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), Carvalho (1994), Renard *et al.* (1997), Xavier (2017), Nunes (2015), Lima (2018), Gomes (2019) e Kebede (2020).

A segunda etapa da pesquisa compreende a aquisição de dados primários nas fontes representadas na Figura 03 para a execução do modelo matemático da RUSLE. No artigo que abrangeu apenas o periurbano, as fontes dos dados foram: do fator R, os dados primários consultados das estações pluviométricas foram do Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. O Fator K teve como banco de dados o mapeamento na escala de 1:250000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE. Diante da ausência de mapeamentos mais detalhados na região, assumimos essa escala mediante a homogeneidade morfopedogênica da região. Para a construção do fator LS, foi utilizado o Modelo de Elevação Digital – MDE da ALOS PALSAR. O Fator CP teve como base de dados a coleção 6.0 de uso e cobertura do solo do MapBiomas. No artigo seguinte, que analisou todo o município, houve alterações de algumas fontes. Para a elaboração do fator R, foi utilizado o banco de dados do TerraClimate. Para os fatores LS, foi utilizado o Modelo de Elevação Digital (MDE) Copernicus GLO-30 (2021). O Fator K foi baseado no mapa de solos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE de 2001, escala de 1:250.000, no qual foi refinado para a escala de 1:50.000, baseado nas técnicas de mapeamento de solo digital (LIMA *et al.*, 2013), utilizada também por Rosa (2022), que requer uma combinação de informações, tais como extração da declividade, altitude e sombra com exagero de nove vezes (estereoscopia) do MDE utilizado.

A base de dados do IBGE na escala de 1:250.000 e a compilação dos dados do Projeto RADAMBRASIL; A utilização de observação do material de origem; utilização de foteointerpretação a partir do consórcio das informações anteriores com imagens de alta resolução. Para os fatores CP, foi utilizada a coleção (6) de uso e cobertura dos solos do MapBiomias (2021). As tipologias analisadas em ambos os artigos são oriundas da base de dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural – SICAR. Nas estruturas das tipologias espaciais, que analisaremos no município de São Desidério, as tipologias definidas estão em duas categorias: as propriedades rurais, divididas em minifúndios, pequenas, médias e grandes, por meio da Lei 8.629, de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993), que dá autonomia para cada município definir o tamanho do módulo fiscal. A segunda categoria de tipologia são as áreas protegidas, como reservas legais. As alterações das fontes dos dados primários de um artigo para o outro ocorreram mediante a necessidade de refino da escala analisada da pesquisa.



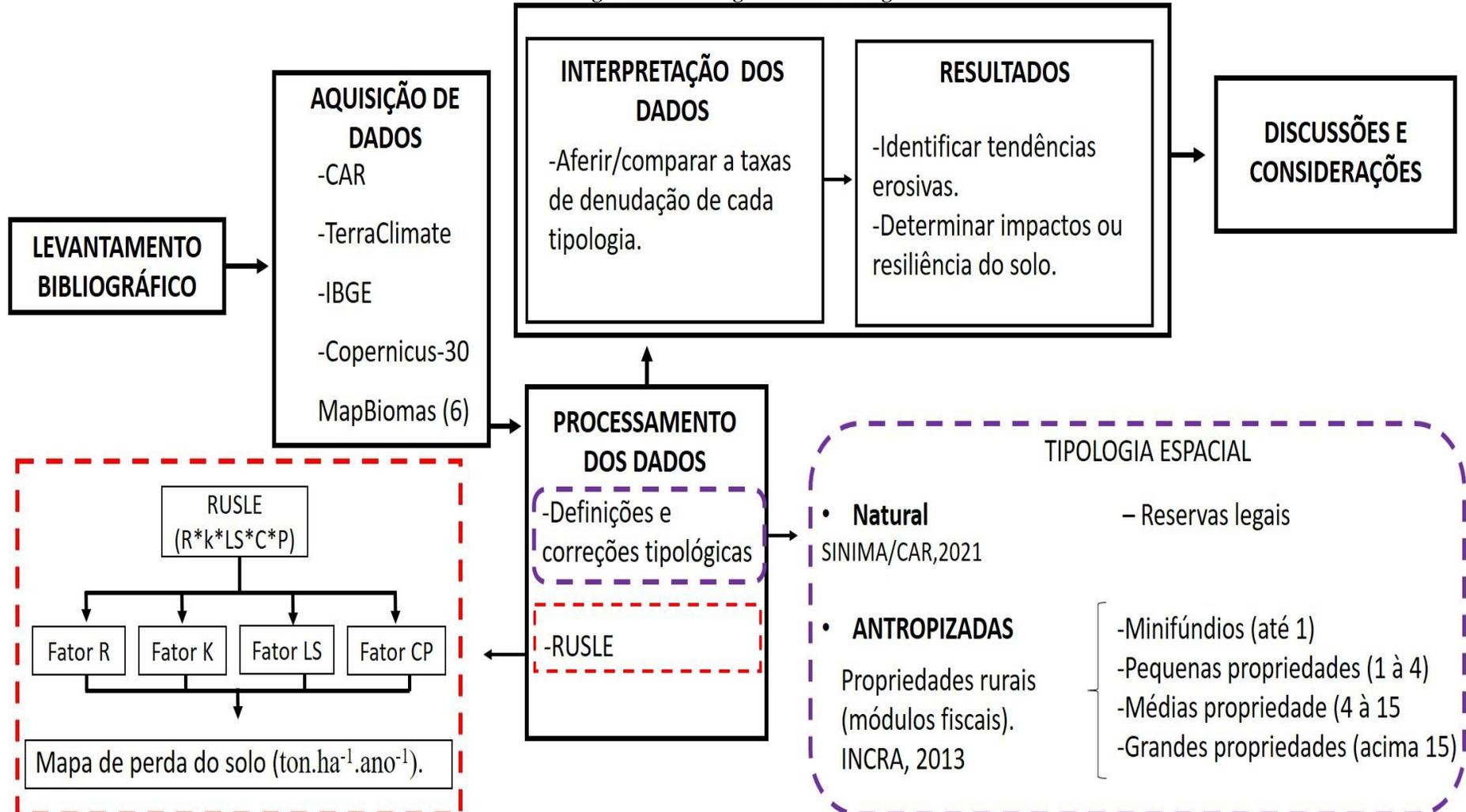
Fonte: Elaborado pelo autor.

A terceira etapa consiste na análise quantitativa espaço-temporal dos dados RUSLE. No primeiro artigo, foi delimitado o espaço temporal de 1990 a 2020, com análise de cenário nos seguintes anos: 1990, 2000, 2012 e 2020. No segundo artigo, a delimitação temporal foi de 1990 a 2020, com intervalos iguais de seis anos; portanto, foram analisados os anos: 1990, 1996, 2002, 2008, 2014 e 2020. Após a delimitação espaço-temporal e a realização da segunda

etapa, será possível identificar possíveis tendências espaciais de processos erosivos em cada tipologia e, posteriormente, confrontar os resultados das taxas de erosão e apurar padrões de erosão entre as tipologias. Para atingir esse objetivo, serão utilizadas as seguintes ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), tais como os programas ArcGIS 10.5, QGIS3, e os principais comandos estão presentes na Figura 04. Com a finalidade de organizar o banco de dados e elaborar planilhas, utilizar-se-ão as ferramentas do Microsoft Excel.

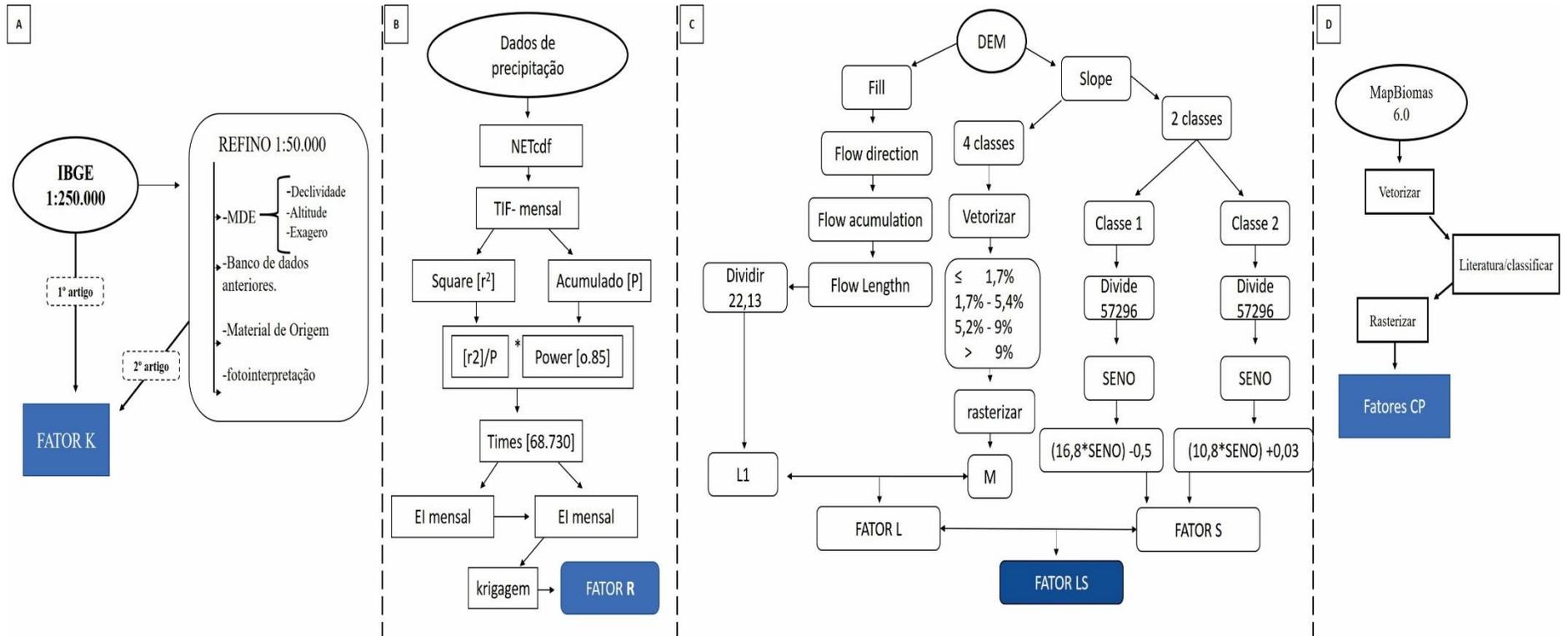
A interpretação dos dados consta da quarta etapa, a fim de investigar a existência de parâmetros erosivos de cada tipologia de propriedade rural dentro do espaço temporal delimitado e também correlacionar os possíveis padrões existentes entre as tipologias de propriedades rurais. Além disso, aferir-se-á a possível ocorrência de padrão de resiliência do solo em relação às taxas de erosão das propriedades e das reservas legais.

Figura 03 – Fluxograma Metodológico



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 04 – Fatores da RUSLE e Comandos nos ARCGIS 10.5 e QGIS 3



Fonte: Elaborado pelo autor.

## CAPÍTULO 1

### VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PERDA DE SOLOS NA ÁREA PERIURBANA DE SÃO DESIDÉRIO (BA) E SUAS RELAÇÕES COM A ESTRUTURA FUNDIÁRIA E A CONSOLIDAÇÃO DO AGRONEGÓCIO NO CERRADO SETENTRIONAL

#### Resumo

No Cerrado Setentrional, o aumento da pressão da Sociedade sobre a Natureza tem intensificado problemas já existentes, como a perda de solo em áreas produtivas. Nesse artigo, avalia-se a variabilidade espacial e temporal da perda de solos na área periurbana de São Desidério (BA), um dos maiores produtores de grãos do país, e suas relações com a estrutura fundiária e a consolidação do agronegócio na região. Para tanto, foi calculada a Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE – para os anos de 1990, 2000, 2010 e 2020, para cada propriedade rural, classificadas por tamanho de módulo rural. As pequenas propriedades apresentam maiores taxas de perda de solo, seguidas dos minifúndios, médias e grandes. As áreas de proteção tiveram os resultados mais baixos. No período, houve uma tendência geral ao aumento da perda de solo em torno de 50%. Os minifúndios e as pequenas propriedades tiveram taxas médias duas vezes mais altas frente às médias e grandes, evidenciando a necessidade de melhorar as práticas de manejo dos solos.

**Palavras-chave:** Perda de solo; Modelagem Ambiental; Cerrado.

#### 1.1 Introdução

O solo é um dos recursos naturais mais importantes para a humanidade, por ser responsável pela produção de alimentos, suporte da biodiversidade de parte do nosso planeta, responsável por alguns serviços ecossistêmicos e ser o sustentáculo do espaço geográfico (LEPSCH, 2002). As sociedades fazem uso do solo para atividades produtivas desde o início das primeiras civilizações, há 10.000 anos (BERTONI, 2010) e, com o aumento da população mundial, principalmente no último século e o aumento do padrão de consumo de alimentos, principalmente carne, fez com que os solos produtivos se tornassem um recurso ainda mais dispendioso, já que toda uma cadeia produtiva depende da constante incorporação de novas áreas para a agricultura e pecuária, e de outros *commodities*, para produção de combustíveis (seja carvão vegetal, seja etanol e biodiesel).

O constante aumento do consumo de mercadorias em geral, associado ao uso de técnicas não sustentáveis, é uma preocupação global desde a década de 1990, quando a Organização das Nações Unidas (ONU) identificou que cerca de 800 milhões de pessoas no mundo viviam em condições de insegurança alimentar (FAO, 2016). Assim, o direito ao acesso a alimentos seguros e nutritivos, em consonância ao direito à alimentação adequada, sem passar fome, não foi garantido com o aumento exponencial da produção de alimentos no início do século XXI e a produção agrícola em um país com extensas áreas de solos agricultáveis como o Brasil dá o tônus da tendência mundial: o aumento da ocupação de terras agricultáveis não influencia diretamente na expansão da área destinada a produção de alimentos (FAO, 2016). Assim, mesmo que a produção mundial de alimentos seja suficiente para suprir a demanda das 7.3 bilhões de pessoas (projeção da população mundial para o ano da publicação), uma em cada nove pessoas viviam em condição de fome no mundo (FAO, 2016).

Embora os solos sejam reconhecidos como recurso natural não renovável e medidas para sua conservação tenham sido adotadas por parte dos agricultores (BERTONI, 2010; GUERRA, 1999), a perda de solos e de nutrientes ainda é o principal problema enfrentado na agricultura/pecuária, gerando extensas áreas de terras degradadas em um cenário de constante expansão da ocupação de terras agricultáveis (FAO, 2016; FERREIRA JR. *et al.*, 2020; GOMES *et al.*, 2019). Por outro lado, a universalização de técnicas agrícolas mais modernas, desde a introdução do *Plantation* (BERTONI, 2010), há aumento da preocupação com a conservação dos solos agricultáveis (FAO, 2016; FERREIRA JR. *et al.*, 2020; GOMES *et al.*, 2019), bem como a recente atenção ao sequestro de carbono atmosférico (BRUCE *et al.*, 1999; GOMES, 2006), têm, teoricamente, permitido a reversão do crescente quadro de erosão dos solos em algumas áreas (GUERRA, 1999). Apesar disso, a perda de solos ainda atinge valores espantosos. Além desses impactos diretos, esse quadro tem impactos indiretos bastante significativos, como colocar em risco a segurança alimentar e toda a cadeia produtiva de *commodities* (FAO, 2020).

A expansão de novas áreas agrícolas ainda é uma realidade tangível em um Brasil que enxerga toda a Amazônia como fronteira agrícola e com atores que se esforçam para que esse avanço seja consolidado (XAVIER, 2019) e que tem, na última década, avançado para a porção setentrional do Cerrado, região com maior área remanescente e menos ocupada por pastagens e culturas nesse Bioma (FERREIRA JR. *et al.*, 2020). Dentre os municípios dessa porção setentrional, São Desidério, localizado no Extremo Oeste Baiano, foi o que mais recebeu investimentos e teve maior produção agrícola no Cerrado Setentrional (IBGE, 2020), sendo,

ainda, um dos municípios que rapidamente transformou regiões naturais em terras agrícolas nos últimos anos (FERREIRA, 2020).

Essa realidade do agronegócio que se expande para as melhores terras se choca com demanda por alimentos de qualidade e em quantidade adequada para abastecer a população, principalmente no entorno das sedes urbanas, conhecidas por perímetro periurbano, e entorno das Regiões Metropolitanas, conhecidas por Cinturões Verdes (TEIXEIRA; LAGES, 1997; SANTOS, 1996). É nesse entorno onde há o *continuum* entre o Rural e o Urbano (GRAZIANO DA SILVA, 1997), as principais atividades estão ligadas às explorações de produção de hortaliças e horticultura, granjas, criação de animais de pequenos portes: como suínos, caprinos e pequenas quantidade de gados, em prol da comercialização dos seus derivados (VALE, 2005), além da criação dos “guetos do lazer” (LEFEBVRE, 1969), com hotéis-fazenda, clubes, parques aquáticos, pequenas propriedades com finalidade recreativas de uso final de semana ou feriados prolongados e o turismo ecológico. É nesse espaço periurbano onde o antagonismo entre o uso das terras agricultáveis pelo agronegócio e para a agricultura para produção de alimentos se encontra e pode sintetizar uma variabilidade de processos como na perda de solos.

Quando essa realidade de produção agropecuária em grandes propriedades voltada para exportação de *commodities* para exportação, que está atrelada a um planejamento nacional, se integra a realidade local voltada para o abastecimento de alimentos para o mercado interno em médias, pequenas e micro propriedades, que está atrelada a um planejamento regional, há um certo antagonismo de forças que pode repercutir diretamente na perda de solos agricultáveis. Nesse sentido, objetiva-se investigar as relações da variabilidade espaço-temporal da perda de solos calculada a partir da equação universal de perda de solos (EUPS-R/RUSLE) com a estrutura fundiária na área periurbana de São Desidério (BA) nos últimos 30 anos, sendo tendo esse município o maior PIB agropecuário do Cerrado Setentrional, para onde a expansão do agronegócio encaminhou seus investimentos a partir da década de 2010 (SPAGNOLO, 2012).

## **1.2 Materiais e Método**

A estrutura da pesquisa consiste em três etapas principais: (i) definição do perímetro urbano de São Desidério (BA) e classificação da estrutura fundiária; (ii) cálculo da perda de solos a partir da Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-R / RUSLE, da sigla em inglês) para os anos de 1990, 2000, 2012 e 2020; e (iii) determinação da perda de solos para cada uma das propriedades rurais e para as reservas legais e interpretação integrada dos

resultados. Os dados necessários para a classificação fundiária foram obtidos a partir do Cadastro Ambiental Rural (CAR) (EMBRAPA TERRITORIAL, 2021) e classificados segundo a Lei Federal n. 8.629, de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993). Para o cálculo da RUSLE, teve-se com base o Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, o mapa de solos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE, 2001), o Modelo de Elevação Digital (MDE) da ALOS PALSAR (2021) e a coleção de uso e cobertura do solo do MapBiomias.

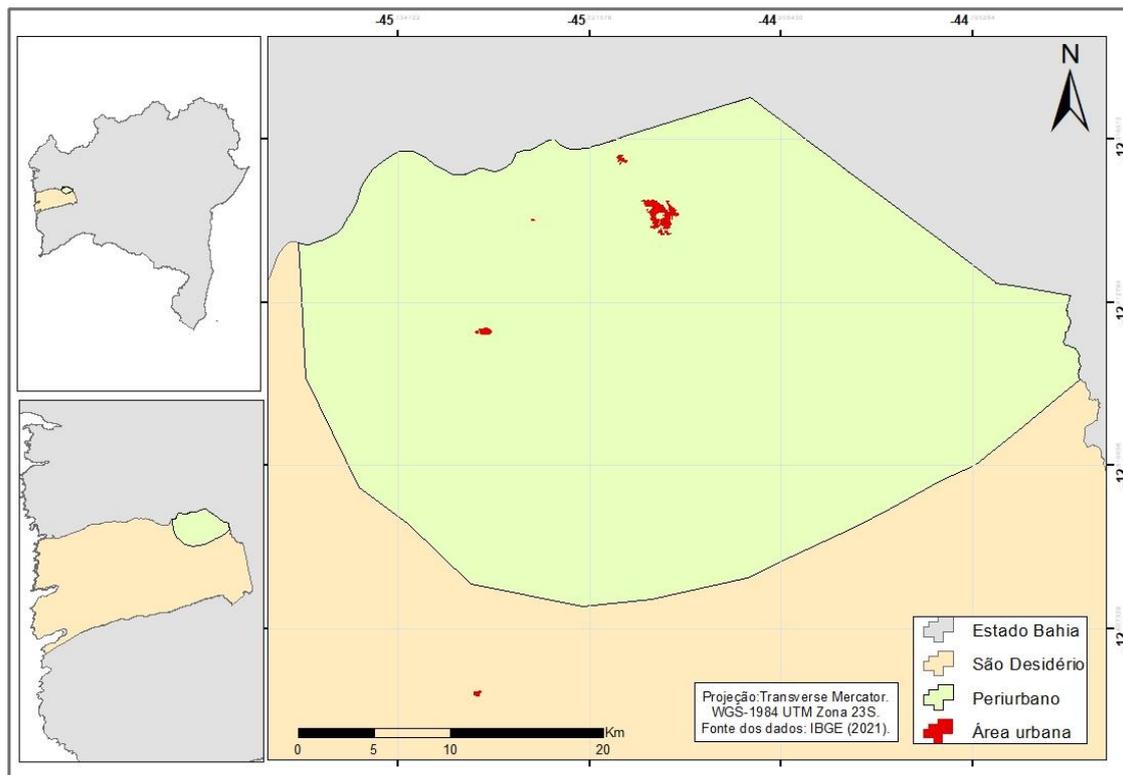
### 1.3 A Área de Estudo

O município de São Desidério (Figura 05) está na Latitude: -12.3521 Longitude: -44.9842. Desta forma, localizada na mesorregião do Extremo Oeste Baiano. Com uma área de 15.156,712 km<sup>2</sup> (IBGE, 2021) e com uma população estimada de 34764 habitantes. Cerca de 70% da população do município é rural, com uma densidade de apenas 1,82 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2021), com uma população masculina de cerca 52% (IBGE, 2021).

Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, o clima é Aw (tropical, com inverno seco e verão chuvoso), a precipitação anual média é de 1330 mm (Abatzoglou, 2020), chuvas concentradas entre os meses de outubro a abril. A temperatura apresenta uma amplitude média entre 21°C e 27°C. O município possui uma rede de drenagem que tem 24 rios perenes, com potencial hídrico elevado; o rio Grande, principal afluente da margem esquerda do São Francisco, tem sua nascente no município. O município tem catalogado 146 grutas. Situado no chapadão oeste da Bahia, a variação altimétrica é baixa, variando de 471 a 1030m em relação ao nível do mar.

Os solos são bem intemperizados e com baixa fertilidade natural, geralmente bem drenado e com baixa capacidade de retenção de água (SANTOS *et al.*, 2008). Nas áreas mais planas ocorrem o predomínio de latossolos vermelho e latossolo vermelho-amarelo. Outros solos encontrados na região são: O neossolo quartzarênico, neossolo litólico além de argissolos. A geologia é composta por dois grupos geológicos: Urucuia (Cretáceo) e o Grupo Bambuí (Neoproterozóico) (SPAGNOLO, 2012). No que tange à vegetação, o Cerrado é predominante.

**Figura 05 – Mapa de Localização do periurbano São Desidério-BA**



Fonte: Elaborado pelo autor.

#### **1.4 Definição do Perímetro Urbano de São Desidério (BA) e Classificação da Estrutura Fundiária**

O perímetro periurbano de São Desidério não foi definido em legislação municipal, como é comum em grande parte dos municípios brasileiros, sendo um tema pouco estudado e pouco discutido, conforme Vale (2005). A partir disso, essa área foi delimitada a partir da ideia do *continuum* do periurbano (GRAZIANO DA SILVA, 1997), com base na estrutura agrária do município e na interpretação de imagens de satélite de alta resolução.

As propriedades rurais em território nacional são definidas mediante ao tamanho, que é condicionado a quantidade de módulos rurais, que se constitui de unidade de medida que possibilita estabelecer critérios de comparação que não se limite apenas ao tamanho, mas também às condições e atributos presentes em cada município brasileiro. Portanto, cada município vai possuir uma classificação de módulos rurais. Perante essa condição, as propriedades estão classificadas segundo a Lei 8.629, de 25 de fevereiro de 1993, da seguinte forma: (1) Minifúndio: imóvel rural com área inferior a Fração Mínima de Parcelamento; (2)

Pequena Propriedade: imóvel com área entre a Fração Mínima de Parcelamento e 4 módulos fiscais; (3) Média Propriedade: imóvel rural de área superior a 4 e até 15 módulos fiscais; e (4) Grande Propriedade: imóvel rural de área superior a 15 módulos fiscais.

As tipologias definidas estão em duas categorias as propriedades rurais, sendo dividida em minifúndios, pequena, médias e grandes, por meio da Lei 8.629, de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993), que dá autonomia para cada município definir o tamanho do módulo fiscal. A segunda categoria de tipologia são as áreas protegidas, como: reservas legais, geoparques. Com o auxílio da Lei n. 12.651/2012, de 25 maio de 2012, criou-se o Cadastro Ambiental Rural – CAR, que proporcionou a criação de banco de dados que possibilita, além de compreensão, fiscalização e a criação de políticas públicas (BRASIL, 2012), base que permite avaliar os impactos e passivos ambientais para cada uma das propriedades rurais.

### 1.5 Cálculo EUPS-R / RUSLE

O processo erosivo de transporte de partículas é um fenômeno natural causado por ação do vento ou por ação da água erosões eólica e hídrica respectivamente (Pruski, 2009). Em regiões tropicais, por conta das condições climáticas como elevado índice pluviométrico e nas porções que têm influência da continentalidade, ainda tem a questão da amplitude térmica influenciando esse processo, adquire uma intensidade maior, somado ao uso e ocupação do solo, principalmente por conta do desenvolvimento da agropecuária, sobretudo agricultura, que tende ocorrer em regiões com menor declividade, facilitando a mecanização e a produção monocultura de *commodities*, de forma a corroborar para alterar a paisagem. Guerra (1999) aponta que a intensidade e a forma de ocupação provam alterações significativas na biodiversidade, acelerando processo erosivos e alterando o equilíbrio hidrogeomorfológico.

Os processos erosivos compreendem dois grandes grupos: os fluxos superficiais, que dizem respeito aos escoamentos superficiais pluviais, e os fluxos subsuperficiais. Para quantificar os processos erosivos superficiais, inúmeros modelos matemáticos e empíricos são utilizados, WEPP, USLE, SWAT (CHRISTOFOLETTI, 1999; WISCHMEIER; SMITH, 1978; LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992; RENARD *et al.*, 1997; OLIVEIRA *et al.*, 2012; ZHANG *et al.*, 2013; NUNES, 2015; ZHANG *et al.*, 2017; GOMES *et al.*, 2019; KEBEDE, 2020; MHASKE *et al.*, 2021; GETU *et al.*, 2022; SAHA *et al.*, 2022). O modelo selecionado foi a Equação Universal de perda dos solos – Revised Universal Soil Loss Equation

- (RUSLE), proposto por Wischmeier e Smith (1978), que determina a relação entre fatores naturais e antrópicos, a partir da determinação do fator A, derivado da equação:

$$A = R \cdot K \cdot (LS) \cdot (CP) \quad \text{equação 01}$$

onde *A* corresponde a resultante dada perda do solo por unidade de área dado por t/ha; *R* corresponde ao índice de erosão pela precipitação, consistindo no número que aponta a capacidade da chuva provocar erosão em uma determinada área dado em MJ/ha.mm/ha); *K* corresponde ao fator de erodibilidade do solo, uma constante obtida em cada tipo solo, mediante a resistência ao processo erosivo; *LS* corresponde aos fatores de comprimento e declividade da vertente; e *CP* corresponde aos fatores de uso e ocupação do solo e práticas conservacionistas.

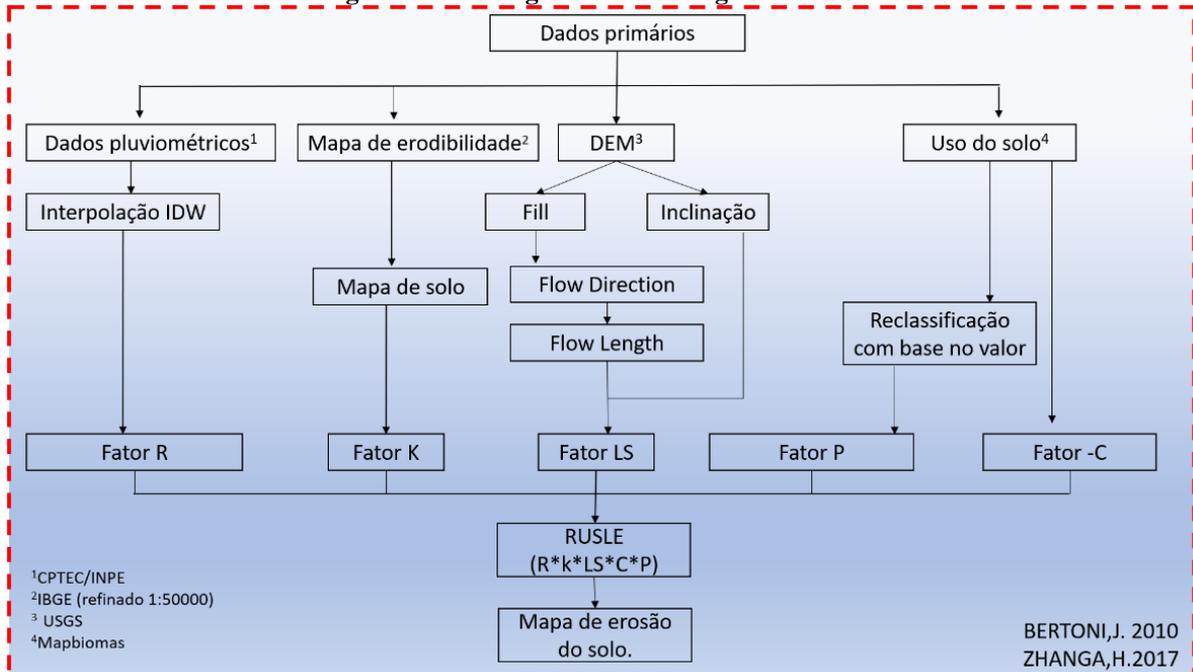
Os dados utilizados na equação são secundários, as fontes utilizadas e o percurso para geração de cada fator estão na figura 06. O fator R, os dados primários consultados das estações pluviométricas foram do Banco de Dados Meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET<sup>1</sup>. O Fator K teve como banco de dados o mapeamento na escala de 1:250.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas - IBGE. Diante da ausência de mapeamentos mais detalhados na região, assumiu-se essa escala mediante à homogeneidade morfopedogênica da região. Para construção do fator LS, foi utilizado o Modelo de Elevação Digital -MDE da ALOS PALSAR. O Fator CP a base de dados consultada foi a MapBiomias<sup>2</sup> coleção 6.0 de uso e cobertura do solo. As tipologias utilizadas são oriundas da base de dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural – SICAR, cujas estruturas das tipologias espaciais serão analisadas no município de São Desidério.

---

<sup>1</sup> Todas as 5 estações são convencionais: Barreiras 86236; Bom Jesus da Lapa 83288; Posse 83332; Taguatinga 83235; Correntina 83286.

<sup>2</sup> É importante ressaltar que os dados obtidos no mapbiomas não passaram por nenhum processo de refino tanto na classificação tipológica quanto da escala utilizada.

**Figura 06 – Fluxograma Metodológico da RUSLE**



Fonte: Elaborado pelo autor.

## 1.6 Determinação da Perda de Solos para cada uma das Propriedades Rurais e para as Reservas Legais e Interpretação Integrada dos Resultados

As taxas de perda de solo foram calculadas para todo o perímetro periurbano em uma base matricial a partir da qual foram derivados os valores medianos, máximos e mínimos dessas taxas para cada uma das propriedades rurais, em uma base vetorial de polígonos. Esses polígonos foram, por sua vez, agrupados de acordo com seu tamanho na classificação da estrutura fundiária em micro, pequenas médias e grandes propriedades, além das áreas de preservação, das quais, por sua vez, foram calculados os valores máximos, mínimos, medianos 2º e 3º quartis. Assim, tem-se os valores das perdas de solo de acordo com a estrutura fundiária. Esses cálculos foram feitos para todos os anos considerados (1990, 2000, 2012 e 2020) e analisados de acordo com a estrutura *Boxplot*.

## 1.7 Apresentação dos Resultados

### 1.7.1 A Estrutura Fundiária Periurbana em São Desidério

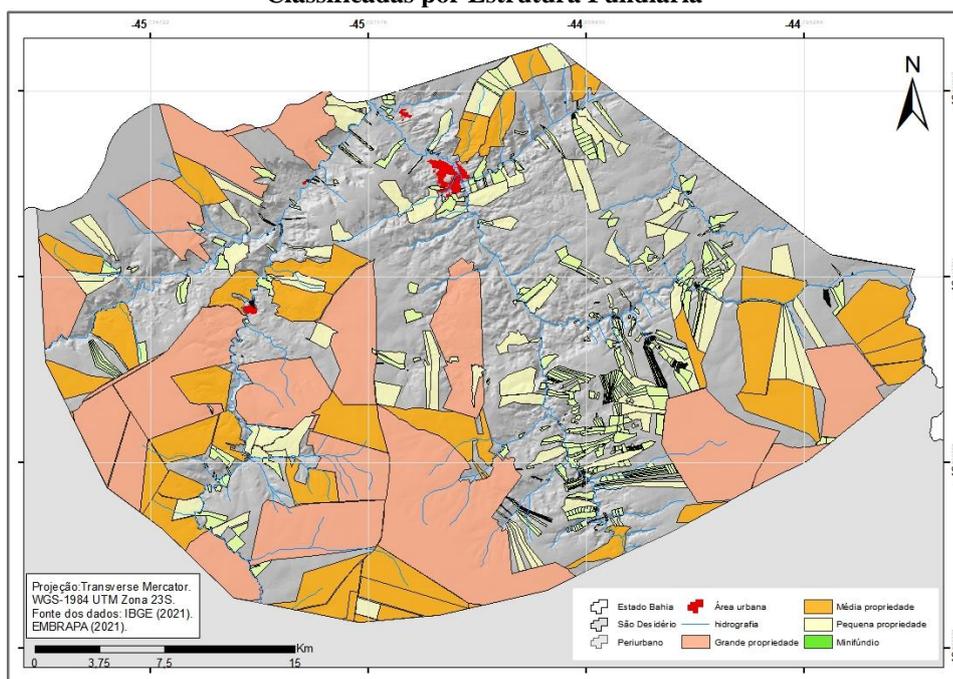
A estrutura fundiária no perímetro periurbano do município de São Desidério (BA) evidencia o predomínio de minifúndios (532), seguido de pequenas propriedades (72), médias propriedades (42) e grandes propriedades (17), conforme se observa na Tabela 1. Essa ordem se inverte quando se trata do tamanho total dessas propriedades, pois as 17 grandes propriedades correspondem a 49,4% da área total do perímetro periurbano (Tabela 01). Já as 42 médias correspondem a 30,1%; as 72 pequenas, a 12,5%; e os 532 minifúndios amargam apenas 8,0% da área do perímetro periurbano. Essa estrutura fundiária é clássica no Brasil: uma estrutura marcada pela concentração de terras em grandes latifúndios (Figura 07).

**Tabela 01 – Estrutura Agrária do Periurbano do Município de São Desidério-BA**

Tamanho	Número de propriedades	Porcentagem dos números	Área em Hectares	Porcentagem da área
Minifúndios	532	80,2	91,4	8,0
Pequenas	72	10,9	143,0	12,5
Médias	42	6,3	343,6	30,1
Grandes	17	2,6	564,3	49,4

Fonte: Elaborado pelo autor.

**Figura 07 – Propriedades Rurais no Periurbano no Município de São Desidério-BA, Classificadas por Estrutura Fundiária**

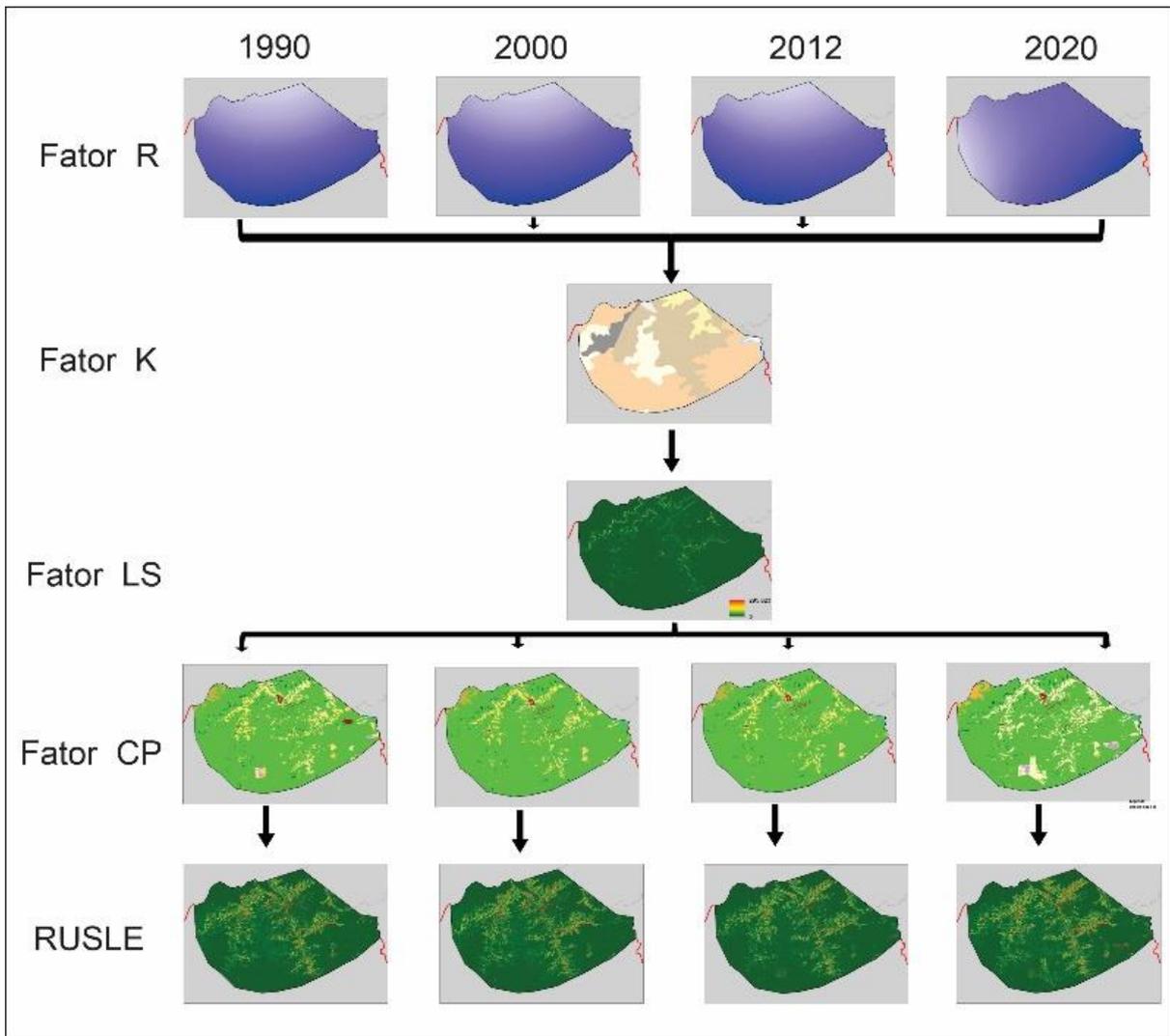


Fonte: Elaborado pelo autor.

### 1.7.2 Cálculo da Perda de Solos a partir da Equação Universal de Perda de Solos Revisada

Cada um dos quatro fatores para o cálculo final da perda de solo foi calculado (R, K, LS e CP) (Figura 08).

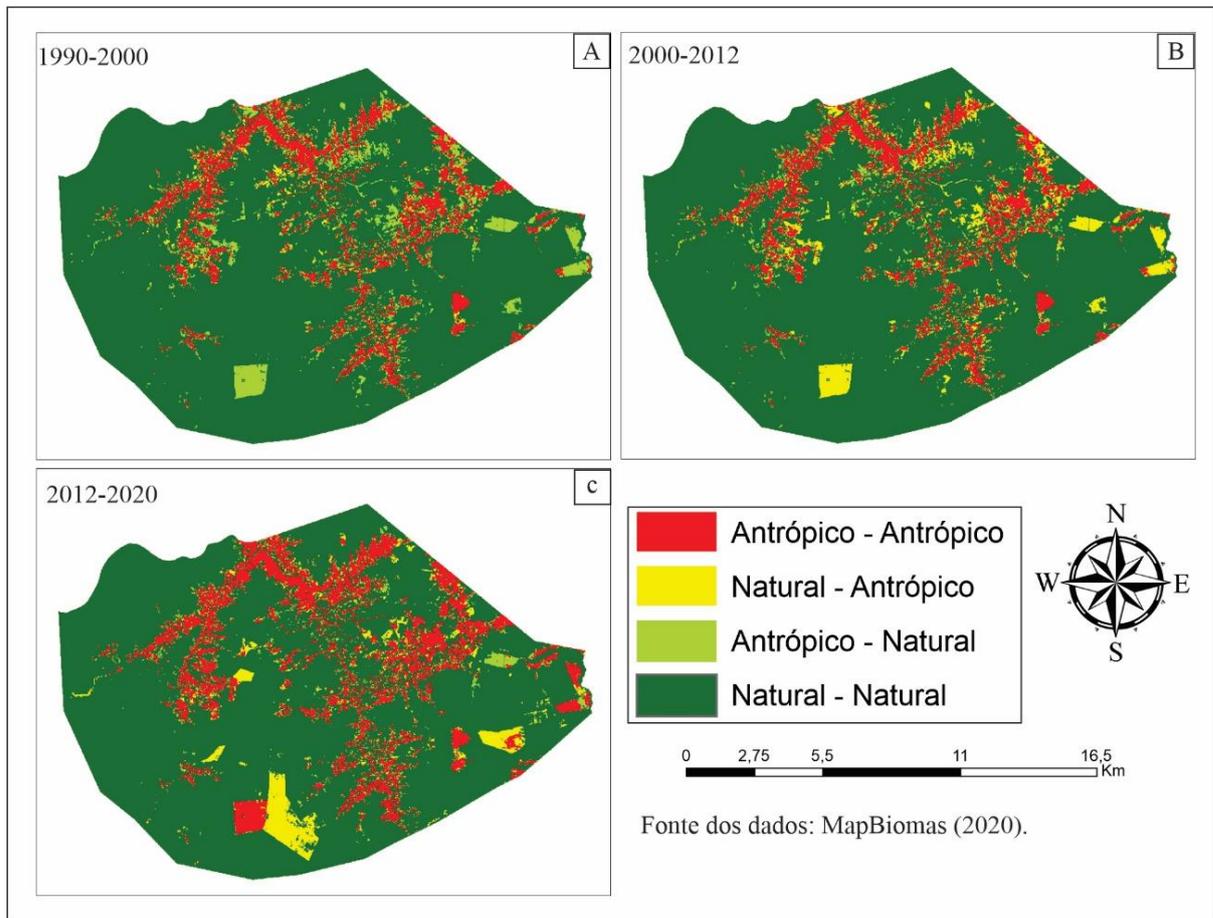
**Figura 08 – Resultado de cada fator da Equação Universal de Perda de Solo Revisada periurbano do município de São Desidério (BA)**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tais análises ocorrem em áreas plenamente alteradas e sobretudo nas suas bordas e nas regiões agrícolas, para observar as diferentes culturas e a variação do grau de suscetibilidade ao longo do espaço e tempo em uma área (Figura 09).

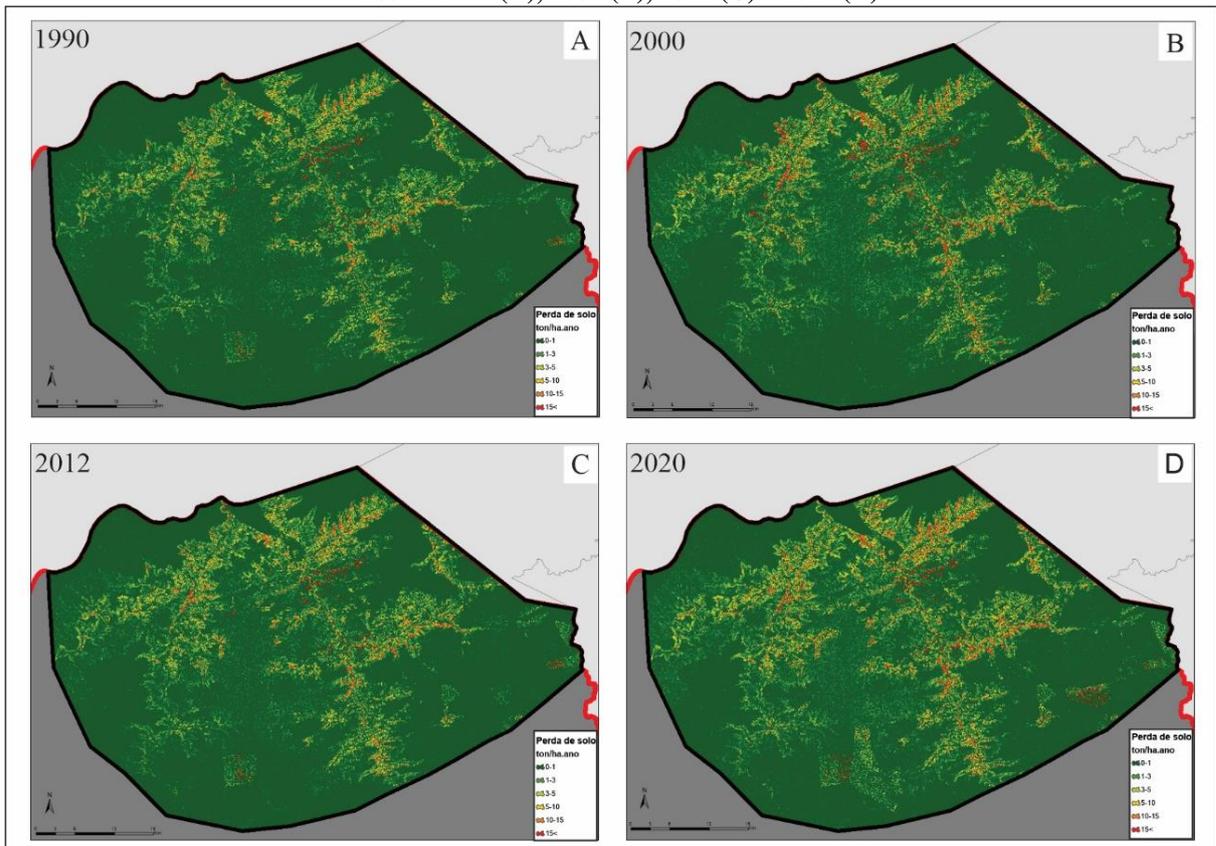
**Figura 09 – Conversão do uso do solo do periurbano do município de São Desidério (BA) entre 1990 e 2000 (A), 2000 e 2012 (B) e entre 2012 e 2020. A classificação utilizada segue os critérios estabelecidos pelo Mapbiomas para cobertura natural e uso antropizado, na coleção 6.0**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Após aplicação desta equação e obtenção da capacidade de transporte anual, possível projetar susceptibilidade erosiva e análises multitemporais para avaliar os efeitos de tais alterações na produção de sedimentos. O resultado de forma cartográfica é apresentado na figura 10, o mapa da RUSLE no periurbano do município de São Desidério.

**Figura 10 – Perda anual de solo ( $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ ) do perímetro periurbano de São Desidério (BA) para os anos de 1990 (A), 2000 (B), 2012 (C) e 2020 (D)**



Fonte: Elaborado pelo autor.

A RUSLE com uso tecnologia de SIG, permite a geração de dados que compilados e analisado estatisticamente possibilita uma compreensão cenário a cenário escolhido e também de um todo do processo espaço-temporal dos elementos naturais analisados. Além de oportunizar o diálogo com os espectros socioeconômicos que envolve a transformação da paisagem geográfica tanto local quanto as relações com o global.

### 1.7.3 A Variabilidade da Perda de Solos na Zona Periurbana

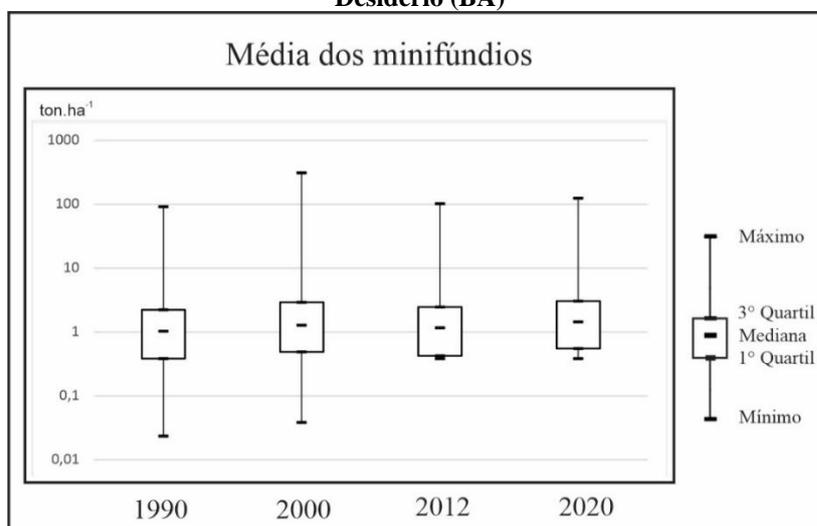
Nos minifúndios ocorre um aumento significativo nas taxas de perda de solos do ano de 1990 em relação ao ano de 2000 em todos os momentos, no valor mínimo que em 1990 era de  $0,02 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  e em 2000 é  $0,03 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  (Figura 11). No 1º quartil, os valores respectivos são de  $0,38 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  para  $0,48 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  com aumento de 21%. Já na mediana, os valores são de  $1,03 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  em 2012 e  $1,28 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  em 2020, o que representa 20% a mais que o cenário anterior. No 3º quartil, a perda de solos sobe de  $2,23 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  para  $2,93 \text{ ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ , um aumento quase 24%. No 4º quartil, ocorreu um

aumento mais expressivo não somente na análise dos dados dos minifúndios do periurbano, mas de todo o amostral, pois, em 1900 o valor máximo foi de 91,52 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e em 2000 foi de 309,28 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, o que representa 337 % de aumento (Figura 11).

Diferentemente do cenário anterior, no qual houve aumento em todos os cenários, na comparação do ano de 2000 em relação ao ano de 2012 há uma significativa redução das perdas de solo, o fato de somente o valor mínimo não ter sido alterado, mantendo em 0,03 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> tanto em 2000 quanto em 2012 (Figura 11). Entretanto, nos demais pontos de análise houve uma redução nos demais momentos. No 1º quartil, os valores respectivos são de 0,48 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> à 0,42 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, relativamente estáveis. O mesmo ocorre para os valores de mediana e 3º quartil, com valores de 1,28 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000 e 1,16 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2012, em 2000 o valor é de 2,93 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e vai para 2,46 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente. No 4º quartil, ocorreu uma redução significativa de 309,28 em 2000 e de apenas 102,46 em 2012 (Figura 7).

No último cenário comparativo de 2012 a 2020, novamente não houve alteração no valor mínimo (0,03 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>). Em contrapartida, a os demais momentos apresentam elevação nas taxas de perda de solos (Figura 11). No 1º quartil, os valores respectivos são de 0,42 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 0,55 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, um aumento de 24%. Já na mediana, os valores são de 1,16 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2012 e 1,55 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2020, o que representa 26% a mais que o cenário anterior. No 3º quartil o valor é de 2,46 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e vai para 3,14 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> com elevação de 22%. Essa tendência foi observada também no 4º quartil, ocorreu uma variação positiva, todavia menor que no cenários anteriores, pois em 2012 era de 102,46 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e foi para 124,37 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000, um aumento de 18% (Figura 11).

**Figura 11 – Boxplot das taxas de perda de solos nos minifúndios do perímetro periurbano de São Desidério (BA)**



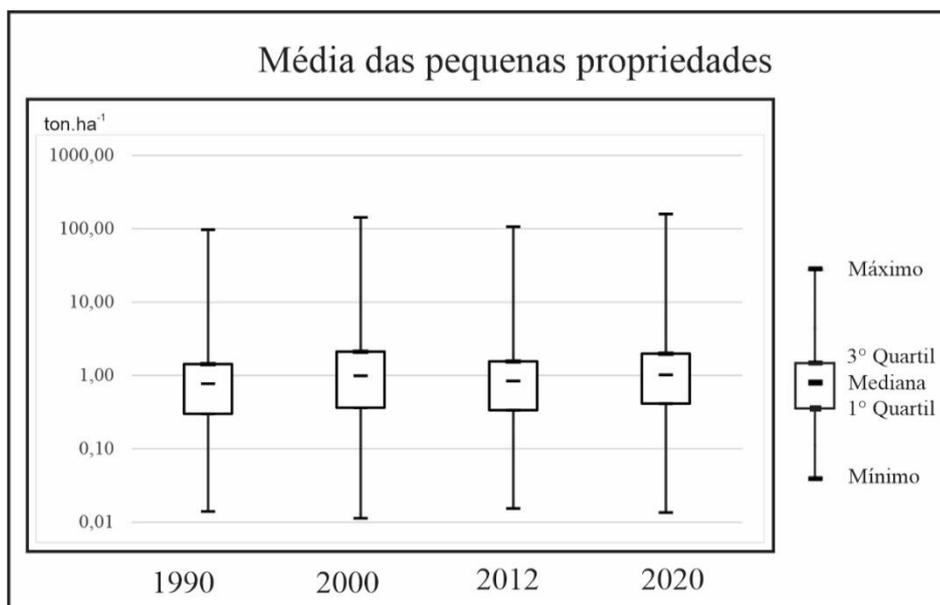
Fonte: Elaborado pelo autor.

Nas pequenas propriedades, quando comparando os cenários de 1990 e 2000, apenas o valor mínimo da perda de solos mínimo não aumentam (Figura 12), correspondendo a 0,01 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em ambos períodos. No 1º quartil, os valores ficam relativamente estáveis, sendo 0,30 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 1990 e para 0,36 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> com aumento de 17%. Já na mediana, os valores são de 0,77 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 1990 e 0,99 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000, o que representa 23% a mais que o cenário anterior. No 3º quartil, houve o aumento de 1,42 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 2,12, ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> uma elevação de 44%. No 4º quartil, ocorreu um aumento significativo, já que em 1990 era de 97,72 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e tendo atingido 143,29 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000, com um aumento real de 42% (Figura 12).

Na comparação do de 2000 em relação ao ano de 2012, o valor mínimo as taxas de perda de solos mantiveram-se estável, variando de 0,01 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 0,02 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 12). Essa estabilidade também foi observada no 1º quartil, com taxas variando de 0,36 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, em 2000 a 0,34 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 2012. Contudo, nos demais comparativos, verifica-se uma redução nas taxas de perda de solos na mediana, os valores são de 0,99 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000 e 0,85 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2012, o que representa 15% a menos que o cenário anterior. No 3º quartil, em 2000 o valor é de 2,12 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> é vai para 1,56 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, tendo havido redução de 27%. No 4º quartil, ocorreu uma redução significativa de 143,29 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000 e em 2012 107,14 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> com uma redução de quase 26% (Figura 12).

No último cenário comparativo de 2012 a 2020, o valor mínimo das taxas de perda de solos manteve-se estável, sendo, respectivamente, 0,02 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e 0,01 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 12). Apesar disso, todos os demais momentos comparativos apresentam elevação nas taxas de perda de solos. No 1º quartil, os valores respectivos são de 0,34 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 0,41 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> com aumento de 18%. Já na mediana, os valores são de 0,85 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2012 e 1,02 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2020, o que representa 17% a mais que o cenário anterior. No 3º quartil o valor é de 1,56 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2012 e vai para 1,99 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, tendo sido 22% de elevação. No 4º quartil, ocorreu um aumento de 33% pois os valores em 2012 é 107,14 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e em 2020 o valor é de 159,31 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 12).

**Figura 12 – Boxplot das taxas de perda de solos nas pequenas propriedades do perímetro periurbano de São Desidério (BA)**



Fonte: Elaborado pelo autor

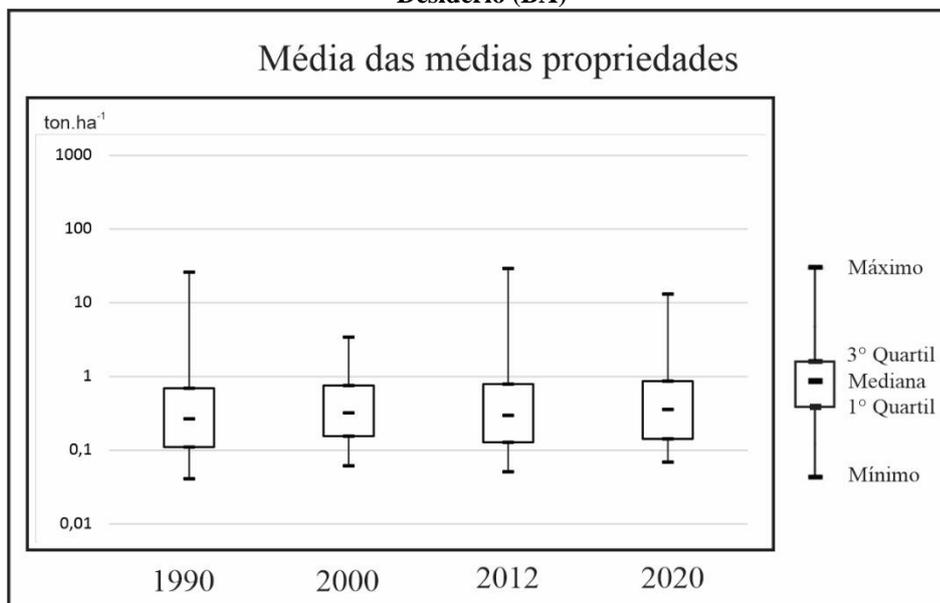
Nas médias propriedades ocorre o valor mínimo da taxa de perda de solo foi de, em 1990, 0,04 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> e, em 2000, 0,06 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (GRÁFICO 03). No 1º quartil, os valores respectivos são de 0,11 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> a 0,15 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, um aumento de 27%. Já na mediana, os valores são de 0,26 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 1990 e 0,32 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000, tendo um aumento de 19%. No 3º quartil, 0,69 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 0,75 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>, houve certa estabilidade com apenas 8% de elevação. No valor máximo, houve redução significativa de 26,07 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 1990 e de apenas 3,41 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2000, uma redução de 87% (Figura 9).

Na comparação do de 2000 em relação ao ano de 2012, os valores mínimos são 0,06 ton.ha<sup>-1</sup> para 0,05 ton.ha<sup>-1</sup>. No 1º quartil os valores são 0,15 ton.ha<sup>-1</sup> à 0,12 ton.ha<sup>-1</sup> com redução de 20% (Figura 9). Já na mediana, os valores são de 0,32 ton.ha<sup>-1</sup> em 2000 e 0,29 ton.ha<sup>-1</sup> em 2012, indicando certa estabilidade. No 3º e 4º quartil, ocorrem aumentos nas taxas de perda de solos. No 3º quartil, em 2000 o valor é de 0,75 ton.ha<sup>-1</sup> ficando em 0,78 ton.ha<sup>-1</sup> para 2012, também indicando certa estabilidade. Já o valor máximo reduziu 89% entre 2000 e 2012, de 29,07 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 3,41 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Gráfico 03).

No último cenário comparativo de 2012 a 2020, o valor mínimo permanece estável, variando de 0,05 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 0,06 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Gráfico 03). O mesmo acontece para os valores mínimos, variando de 0,12 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 0,14 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Já na mediana, os valores aumentam de 0,29 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2012 para 0,35 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2020, um acréscimo de 18%. No 3º quartil, há certa estabilidade entre os valores de perda de solos de

2012 e 2020, sendo  $0,78 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $0,86 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. Por sua vez, para o valor máximo, há uma redução significativa de  $29,07 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2012 e de apenas  $13,14 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000, correspondendo a 55% (Gráfico 03).

**Figura 13 – Boxplot das taxas de perda de solos nas médias propriedades do perímetro periurbano de São Desidério (BA)**



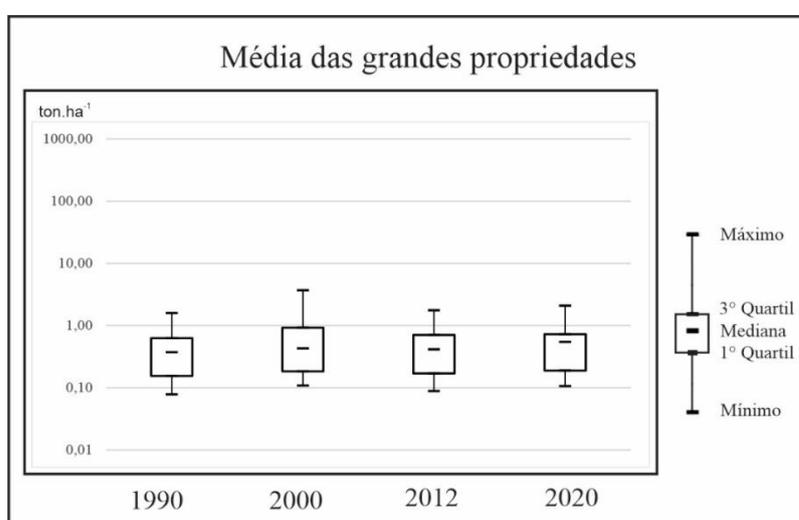
Fonte: Elaborado pelo autor

Nas grandes propriedades, o valor mínimo da taxa de perda de solo em 1990 era de  $0,08 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e em 2000 é  $0,11 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Figura 14). No 1º quartil, os valores respectivos são de  $0,16 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $0,18 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. Os valores da taxa mediana variaram de  $0,37 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em 2012, para  $0,43 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em 2020, um aumento de 14%. No 3º quartil a taxa de perda de solo aumenta de  $0,63 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,92 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , havendo um aumento de 40% e o valor máximo aumenta de  $1,6 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em 1990 para  $3,69 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000, com um aumento de 57% (Figura 14).

Diferentemente do cenário anterior no qual houve aumento em todos os cenários, na comparação do de 2000 em relação ao ano de 2012, verifica-se uma redução nas taxas de perda de solos em todos os momentos (Figura 14). O valor mínimo varia pouco entre 2000 e 2012: de  $0,11 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,09 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . No 1º quartil, os valores também ficam estáveis, variando de  $0,18 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,17$ . O mesmo ocorre para a mediana, com  $0,43 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000 e  $0,42 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2012. No 3º quartil, em 2000 o valor é de  $0,92 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e cai ligeiramente para  $0,71 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , com redução de 33%. Para o valor máximo, houve queda significativa na taxa de perda de solos, de  $3,69 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000 para  $1,76 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2012, uma redução de 53% (Figura 14).

Em geral, entre 2012 e 2020, houve certa estabilidade nas taxas de perda de solos (Figura 14). No valor mínimo, ocorre alteração de  $0,09 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,11 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , respectivamente. No 1º quartil, os valores respectivos são de  $0,17 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  e  $0,19 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . Já na mediana, os valores são de  $0,42$  em 2012 e  $0,55$  em 2020, um aumento de 24%. No 3º quartil, a taxa fica estável, sendo  $0,77 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em 2012, e  $0,73 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em 2020. O valor máximo aumenta 16%, de  $1,76 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2012, para  $2,09 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , em 2000.

**Figura 14 – Boxplot das taxas de perda de solos nas grandes propriedades do perímetro periurbano de São Desidério (BA)**



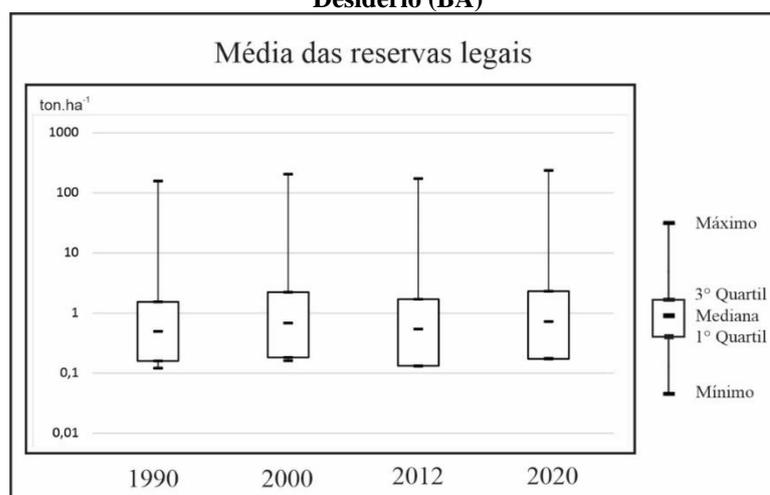
Fonte: Elaborado pelo autor

Nas reservas legais entre os anos de 1990 e 2000, os valores mínimos são  $12 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,16 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . No 1º quartil, houve de  $0,16 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,18 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  (Figura 15). Já os valores da mediana aumentaram 28%, de  $0,49 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2012 para  $0,68 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000. No 3º quartil, o valor das taxas sobe 32%, de  $1,53 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $2,22 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . No 4º quartil, o aumento é 57% subindo de  $158,09 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 1990 para  $205,56 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000 (Figura 15).

Em 2012, houve a redução geral nos valores da taxa de perda de solos em comparação do de 2000 (Figura 15). Os valores mínimos vão de  $0,16 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,13 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . No 1º quartil, cai de  $0,18 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  para  $0,13 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ , uma redução de 25%. Já na mediana, os valores são de  $0,68 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000 e  $0,54 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2012, o que representa uma queda de 21%. No 3º quartil, em 2000 o valor é de  $2,22 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  caiu 24% para  $1,69 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ . O valor máximo da taxa de perda de solo foi reduzido em 16%, de  $205,56 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2000 para  $173,33 \text{ ton.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$  em 2012 (Figura 15).

De 2012 para 2020, houve o aumento geral nas taxas de perda de solos (Figura 15). Os valores mínimos e os valores de 1º quartil são respectivamente os mesmos, apresentando aumento de 24%, de 0,13 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 0,17 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. Os valores medianos sobem 25%, de 0,54 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2012 para 0,72 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> em 2020. No 3º quartil, o aumento foi de 27%, de 1,69 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 2,31 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>. O valor máximo sobe 27%, de 173,33 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> para 236,68 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (Figura 15).

**Figura 15 – Boxplot das taxas de perda de solos nas reservas legais do perímetro periurbano de São Desidério (BA)**



Fonte: Elaborado pelo autor

## 1.8 Discussão

O intervalo temporal analisado apresenta uma tendência variação de redução e aumento das taxas de perdas dos solos, que podem estar relacionados com fenômenos atmosféricos de *El Niño* e *La Niña*, pois interferem diretamente no regime pluviométrico da região. Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos/ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -CPTEC/INPE, houve o registro de *La Niña* no biênio 2009/2010 e também 2020/2021. O que resultou no aumento das taxas de perdas do solo. No primeiro cenário (1990) e no terceiro (2012), não foi registrado ocorrência de nenhum dos fenômenos atmosféricos. O que corrobora para a relevância do fator R erosividade, na equação da RUSLE, na região, uma vez que os demais fatores apresentam pouca variação.

Mediante os resultados, pode-se compreender que a perda de solos nas propriedades rurais no perímetro periurbano de São Desidério (BA) apresentou dois grandes agrupamentos: (1) minifúndios e pequenas propriedades e (2) médias e grandes propriedades. O primeiro agrupamento apresentou taxas medianas entre 2,0 e 4,0 ton.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> (uma ordem de grandeza

de  $10^0$ ), sendo sempre mais alta para as pequenas propriedades e com tendências semelhantes. Nesse agrupamento, as taxas máximas têm a ordem de grandeza de  $10^2$  e as mínimas, de  $10^{-2}$ , o que evidencia uma elevada amplitude.

O comportamento da distribuição dos valores das taxas medianas de perda de solo por propriedade desse primeiro agrupamento revela como há grande variabilidade da cobertura e do manejo dos solos em minifúndios e pequenas propriedades, tendo taxas mais baixas que as grandes propriedades e tão baixas quanto as reservas legais. Por outro lado, estão as taxas elevadas que revelam o outro lado da moeda, propriedades com as mais altas taxas que revelam um certo nível de degradação dos solos agrícolas.

O segundo agrupamento apresentou taxas entre 1,5 e 0,5  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$  (uma ordem de grandeza de  $10^{-1}$ ), sendo mais alta nas médias propriedades em 1990, 2012 e 2020 e nas grandes propriedades em 2000. Em geral, a mediana da perda de solos nas grandes propriedades girou em torno de 0,5  $\text{ton}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{ano}^{-1}$ . Nesse agrupamento, as taxas máximas têm a ordem de grandeza que variam de  $10^0$  a  $10^2$  e as mínimas, de  $10^{-1}$ , o que evidencia uma reduzida amplitude, especialmente nos valores mínimos e, em geral, quando comparada com o outro agrupamento dos minifúndios e pequenas propriedades. As reservas legais, por sua vez, apresentam taxas máximas na ordem de  $10^2$ , e médias, do 1º quartil e mínimas da ordem de  $10^{-1}$ .

O comportamento da distribuição dos valores das taxas medianas de perda de solo por propriedade desse primeiro agrupamento revela como há pequena variabilidade da cobertura e do manejo dos solos em médias e grandes propriedades. As grandes propriedades não têm as menores taxas mínimas, mas, em média, tem baixas taxas com baixíssima variabilidade entre as taxas máxima e mínima. Assim, o manejo do solo, certamente atrelado a técnicas avançadas do plantio direto, tem papel importante, mas que não conseguem atingir taxas mínimas de perda de solos tão baixas como àquelas de minifúndios e pequenas propriedades. Os valores máximos mais elevados em médias propriedades são significativamente mais elevados do que nas grandes propriedades, o que evidencia que há nesse tipo de propriedade uma grande variabilidade de manejo e uso do solo.

Essa tendência observada no perímetro periurbano de São Desidério (BA) são um retrato o que acontece em geral no cerrado, exceto pelo ainda grande número de minifúndios e pequenas propriedades rurais. Enquanto as grandes propriedades tem acesso a financiamentos que sustentam a aplicação de técnicas mais robustas de manejo e conservação de solo oriundas da mecanização do cultivo, nas pequenas propriedades e minifúndios, o menor acesso a esses recursos requer que haja maior organização social e qualificação dos proprietários para

melhorar a conservação dos solos, especialmente por ser nessas propriedades que, em geral, são produzidos os alimentos que abastecem o centro urbano de São Desidério (BA).

### **1.9 Considerações finais**

Por intermédios dos resultados obtidos na RUSLE nos anos de 1990, 2000, 2012 e 2020 foi possível analisar as propriedades rurais do periurbano do município de São Desidério, mediante à sua classificação e também às reservas legais, obtendo assim suas taxas de perdas dos solos. Além disso, pode-se constatar que, no ano de 2020, todos os 5 cenários apresentaram os maiores valores de mediana dentre os anos analisado. Situação que não se pode apenas apontar como causador do processo erosivo os fenômenos climáticos, mas também a transformação no bioma Cerrado na região.

Os minifúndios e pequenas propriedade apresentam as maiores variações entre si, nos anos representados. As pequenas propriedades apresentam o maior valor mediano de taxas de perdas do solo, seguidos pelos minifúndios. Os valores obtidos por meio da RUSLE, evidencia uma característica do periurbano, o processo erosivo na agricultura familiar e de subsistência; no cinturão verde que envolve não somente as metrópoles, mas também as pequenas e médias cidades que estão conectadas aos circuitos superiores do mundo globalizado. Isso, devido à pouca ou nenhuma prática preservacionista do solo, além de serem carregados ainda do tradicionalismo de técnicas rurais que promovem o processo erosivo. Soma-se a isso o fato de essas propriedades estarem muito relacionadas com lazer, “os guetos do lazer” (LEFEBVRE,1969), estando relacionadas a atividades que não demandam uma preocupação com os processos de denudação.

As médias propriedades apresentaram o menor valores mediano no ano de 2000 de todos os recortes analisados. Entretanto, quando analisamos dados, percebemos que as médias propriedades têm uma aproximação dos dados das reservas legais e das grandes propriedades. As grandes propriedades rurais obtêm números medianos nas taxas de perda dos solos baixos. Ao analisar apenas as propriedades, as grandes teriam larga vantagem se comparada às demais propriedades. O único cenário espacial é que elas apresentam números maiores que a reserva legal de 2000. Nos demais cenários (1990, 2012 e 2020), as grandes propriedades apresentaram valores iguais ou muito próximo aos valores das reservas legais, apresentando-se com praticamente uma “constante” que valida o valor de resistência do solo. Vale destacar que, no ano de 2020, o valor da grande propriedade é menor que nas reservas legais.

As reservas legais, apresentaram os menores valores médios das taxas de perdas de solo em três de quatro anos dos amostrais e no ano que não obteve o menor valor, essa diferença foi mínima. Assim, podemos compreender que, dentro do nosso amostral, as reservas legais estabeleceram um patamar de resiliência do solo aos processos erosivos, delimitando o que seria uma dinâmica natural e os impactos gerados pela alteração antrópica no solo. É necessário ressaltar que, mesmo ela obtendo valores menores que os demais recortes analíticos, esses valores estão sobre a influência de toda degradação no Cerrado nas últimas décadas.

## CAPÍTULO 2

### MODELAGEM DA PERDA DE SOLOS E SUAS RELAÇÕES COM A ESTRUTURA FUNDIÁRIA NA CONSOLIDAÇÃO DO AGRONEGÓCIO NO CERRADO SETENTRIONAL

#### Resumo

A porção setentrional do Bioma Cerrado é considerada a última fronteira agrícola do país, reorganizando o espaço geográfico da região nas últimas décadas, sendo objeto de políticas públicas setoriais. A transformação dessa região conduziu ao aumento da produção de *commodities* agrícolas na região, o que implica em impactos ambientais inerentes à produção agrícola de larga escala, sendo o principal deles a erosão dos solos agrícolas. Nesse sentido, tem-se o objetivo de avaliar a relação entre a consolidação da estrutura agrária e a variação espacial e temporal da perda de solos do Cerrado Setentrional para a produção de *commodities* agrícolas entre 1990 e 2020. A proposta tem como área de estudo o município de São Desidério – BA, principal produtor agrícola da região com o maior PIB agropecuário do país em 2018. Para alcançar esse objetivo, é utilizado o modelo matemático da Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPS-R / RUSLE, em inglês), aplicado para os anos de 1990, 1996, 2002, 2008, 2014 e 2020. As perdas de solos calculadas para cada propriedade agrícola são classificadas de acordo com a tipologia de módulo rural (minifúndios, pequenas, médias e grandes propriedades), considerando-se também as reservas legais. Os resultados obtidos revelam uma distinção em dois grupos: o constante aumento da perda de solo nas pequenas, médias e grandes propriedades e perdas mais elevadas para minifúndios e reservas legais em todos os anos analisados. No primeiro grupo, o fator que controlou o aumento nas perdas de solo foi a cobertura dos solos (CP), enquanto no segundo, os fatores que controlaram as perdas de solos mais altas durante todo o período foram o comprimento da rampa (L) e declividade (S) e o solo (K). Essa estrutura espacial e temporal das perdas de solo no município indica que a perda de solos aumentou nas maiores propriedades devido à conversão dos cerrados, apesar de estarem nos relevos e solos mais adequados à agropecuária, enquanto nos minifúndios e reservas legais, os valores mais elevados se devem às características naturais do município, pois essas estão, em geral, em relevos mais declivosos e solos mais frágeis. Observa-se, nesse sentido, que a estrutura fundiária é fator determinante para explicar a perda de solos no município. Ademais, quando analisado os valores totais de perda de solo por tipologia temos resultados distintos da análise das médias e medianas. O comportamento crescente também é

observado nos valores totais com dois grupos distintos, entretanto com novas configurações, pois, as grandes e médias propriedades apresentam valores bem superiores que as pequenas propriedades, minifúndios e reservas legais.

**Palavras-chave:** Perda de Solo; Modelagem Ambiental; Cerrado.

## 2.1 Introdução

Os solos são um dos recursos naturais essenciais à humanidade desde o início da sedentarização no Holoceno tardio, sendo base para a produção de alimentos, dando suporte à biodiversidade de parte do nosso planeta e sendo responsáveis por parte dos serviços ecossistêmicos (LEPSCH, 2002; MINAMI, 2009; KER, 2012). Com o crescimento populacional mundial, especialmente após a Segunda Guerra Mundial, os solos se tornaram um recurso ainda mais valioso. O aumento de seu valor induziu a inovação tecnológica na produção agrícola, permitindo que áreas antes improdutivas fossem ocupadas e os problemas de baixa produtividade corrigidos.

Embora a inovação tecnológica tenha fortalecido a eficiência na produção agrícola, a necessidade de expansão para novas áreas é contínua e nem sempre leva em conta a potencial perda de solos por erosão, como acontece em áreas com pastagens e de culturas sazonais, que podem ter curta vida útil e ficarem, por fim, degradadas. Esse quadro faz com que, em um cenário de elevada demanda por *commodities* agrícolas, haja também a perda de produtividade e perda de solos, o que potencialmente reduz a capacidade de atender o mercado (MINAMI, 2015). Conforme destaca Bertoni (2010), a erosão dos solos, ou perda de solos, é um dos elementos importantes para que haja desabastecimento de alimentos e fome.

A perda de solo e seus nutrientes é um dos principais problemas da agricultura e da pecuária, gerando problemas indiretos, como assoreamento de rios e mortalidade de animais da fauna aquática (FERREIRA JR. *et al.*, 2020; GOMES *et al.*, 2019). Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (FAO, 2016), a perda de solos é um problema socioambiental e muito preocupante, pois suas consequências não ficam restritas apenas no espectro ambiental e afetam os aspectos sociais, tais como a dinâmica econômica local e sua relação com o global e, sobretudo, a questão da insegurança alimentar de um país e toda a cadeia produtiva de *commodities*, uma das bases da economia agroexportadora como o Brasil (FAO, 2020).

O desenvolvimento técnico e tecnológico e a crescente preocupação com a conservação dos solos agricultáveis têm mitigado essa perda, principalmente nos países com extensas áreas de solos agricultáveis, como o Brasil e os Estados Unidos da América (BERTONI, 2010; FAO, 2016; FERREIRA JR. *et al.*, 2020; GOMES *et al.*, 2019). O Brasil, conhecido internacionalmente como o ‘celeiro do mundo’, é um dos principais produtores de alimentos e *commodities* agrícolas (ANDRADE, 2015; SILVA, 2020). Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, o Brasil foi o primeiro colocado na produção mundial de café, soja e açúcar, e o terceiro colocado na produção mundial de milho, feijão e frutas em 2021, sendo um dos países com maior extensão de solos agricultáveis (FAO, 2013). Desde o início dos anos 2000, com a ocupação já consolidada na Região Centro-Sul do Brasil, a expansão tem se direcionado para o arco do desmatamento na Amazônia (OLIVEIRA, 2016; SILVA, 2020; FEARNSSIDE, 2020) e para a porção setentrional do Cerrado, conhecida por MATOPIBA, acrônimo para os Estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (BUAINAIN, 2017; DUTRA E SILVA, 2018; PEREIRA, 2018; LIMA, 2020; BEZERRA, 2022). Essa segunda região tem a maior área remanescente e menos ocupada por pastagens e culturas do Bioma Cerrado (FERREIRA JR. *et al.*, 2020), enquanto algumas áreas já foram incorporadas pela agropecuária, como é o caso de São Desidério, na Bahia.

Localizado no Extremo Oeste Baiano, São Desidério foi o município que mais recebeu investimentos e teve maior produção agrícola no Cerrado Setentrional nos últimos anos (IBGE, 2020), sendo um dos municípios que mais modificou os cerrados em terras agrícolas (FERREIRA, 2020). Diante desse cenário, urge a necessidade de aprofundar estudos que quantifiquem o processo erosivo, visto que, nas últimas décadas, São Desidério apresentou crescimento considerável, figurando dentre as maiores produtoras de grãos no país, pois é o município com um dos maiores PIB agropecuários do Cerrado, para onde a expansão do agronegócio conduziu investimentos a partir da década de 2010 (SPAGNOLO, 2012).

São Desidério é o município do MATOPIBA mais representativo para entender como o processo de incorporação de terras ao setor produtivo de *commodities* para exportação se relaciona à dinâmica de perda de solos ao longo dos anos. Desta forma, o município tem características essenciais para investigar as relações da variabilidade espaço-temporal da perda de solos. Para tanto, adota-se um método matemático computacional por modelagem matemática com implementação da Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE com a escala de análise da estrutura fundiária das propriedades rurais: pequenas, médias,

grandes e minifúndios, e também nas áreas protegidas como reservas legais do município de São Desidério, BA, nos últimos 30 anos (1990-2020, com intervalos de seis anos).

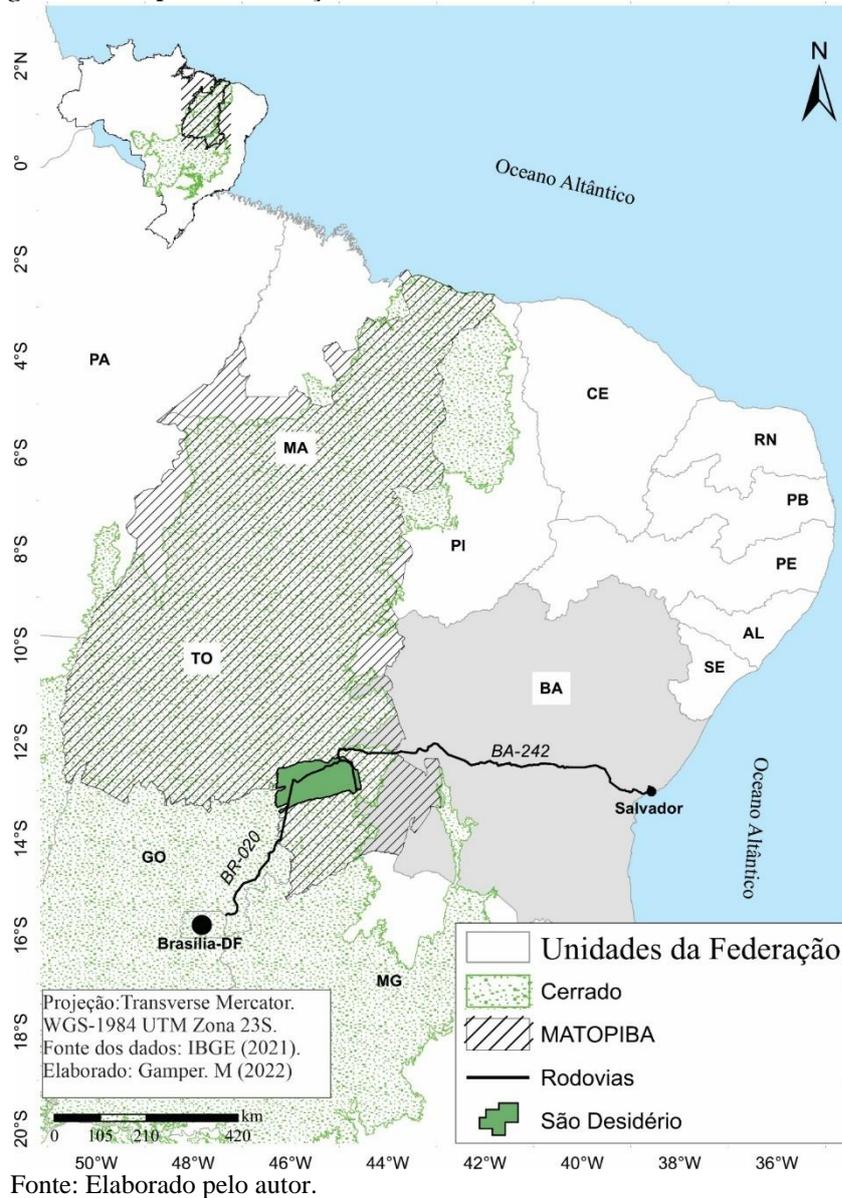
O espaço agrário do município de São Desidério está inserido em uma lógica de produção agrícola que atende à demanda do mundo globalizado. Assim, sua produção é essencialmente de *commodities* e voltada para exportação (SPAGNOLO, 2011). A inserção de políticas públicas que promoveram a expansão da fronteira agrícola para a porção setentrional do Bioma Cerrado, associada às condições físico-naturais que possibilitam a mecanização da produção e o desenvolvimento técnico-científico informacional no campo, permitem que esse município seja um dos maiores produtores de grãos do país. Assim sendo, o município está repleto de conglomerados nacionais e internacionais que produzem em terras próprias e/ou arrendam terras (CUNHA, 2016), condicionando sua produção à lógica de exportação de *commodities*. Nesse sentido, objetiva-se investigar as relações da variabilidade espaço-temporal da perda de solos calculada a partir da equação universal de perda de solos RUSLE com a estrutura fundiária no município de São Desidério (BA) nos últimos 30 anos.

## **2.2 Materiais e Método**

### **2.2.1 Área de Estudo**

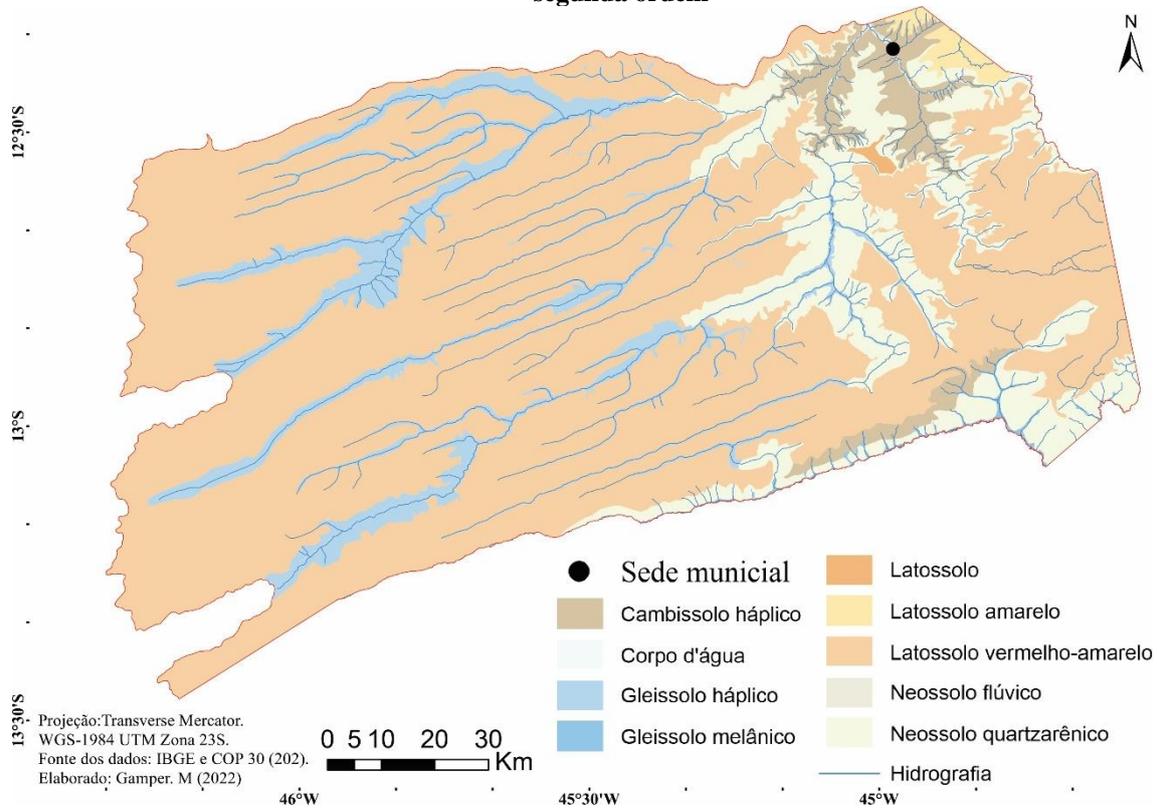
O município de São Desidério está localizado entre as coordenadas de longitude 46°19'29" W e 44°34'32" W e latitude 12°17'20" S e 13°20'55" S, na mesorregião do extremo Oeste Baiano, na microrregião de Barreiras. Ele está situado a 880 km de Salvador, capital do Estado, pela rodovia federal BR-242, e a 581 km da capital federal, Brasília (Figura 16).

**Figura 16 - Mapa de localização da área de estudo no contexto do MATOPIBA**



No município de São Desidério é predominante Latossolos Vermelho a Vermelho-Amarelo profundos e com baixa quantidade de nutrientes, presentes em regiões mais planas (FONTANA *et al.*, 2016). Já na porção nordeste do município, há ocorrência de Cambissolos (DE SOUZA BARBOSA *et al.*, 2018), e de Neossolo Quartzarênicos na porção de relevo mais dissecado da chapada, e Gleissolos ao longo da rede hidrográfica (BATISTELLA *et al.*, 2002) (Figura 17). Esses solos estão assentados sobre arenitos eólicos do Grupo Urucuaia do Cretáceo Superior e de coberturas sedimentares mais recentes (BATISTELLA *et al.*, 2002). Em geral, esses solos apresentam baixa fertilidade natural devido ao intenso processo de intemperismo, o que promove uma boa drenagem e baixa capacidade de troca catiônica. Porém, por estarem em relevo plano, favorecem a mecanização.

**Figura 17 – Distribuição dos solos no município de São Desidério, segundo classificação da EMBRAPA, segunda ordem**



Fonte: Elaborado pelo autor.

O clima do município é classificado como tropical com inverno seco e verão chuvoso, com as médias de precipitação mais elevadas concentradas entre os meses de novembro a janeiro, totalizando uma média anual de 1700 mm (Aw), segundo a classificação de Köppen. Os meses de maio a setembro são os que apresentam os menores índices pluviométricos. A temperatura média de máxima é de 37°C e a mínima é de 17°C (SANTOS *et al.*, 2008).

### 2.2.2 Procedimentos metodológicos

A pesquisa é estruturada em quatro etapas: (i) levantamento bibliográfico; (ii) aquisição de dados secundários; (iii) cálculo da perda de solo utilizando a Revised Universal Soil Loss Equation (Equação Universal de Perda de Solo Revisada - RUSLE, na sigla em inglês); e (iv) determinação da perda de solo para cada propriedade rural e reserva legal, seguida de interpretação integrada dos resultados.

### 2.2.2.1 Base de Dados

Os dados necessários para o cálculo da RUSLE tiveram como base a cartografia de solos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2001) em escala de 1:250.000, que foi refinada para 1:50.000, o Modelo de Elevação Digital (MDE) Copernicus GLO-30 (2021) e a coleção de uso e cobertura dos solos do MapBiomias (2021) para os anos de 1990, 1996, 2002, 2008, 2012 e 2020. Os dados da classificação fundiária foram adquiridos no Cadastro Ambiental Rural (CAR) (EMBRAPA TERRITORIAL, 2021) e classificados segundo a Lei Federal n. 8.629, de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993). É importante destacar que, como não há estações pluviométricas listadas na base de dados do BDMEP-INMT no município de São Desidério, para compor a síntese pluviométrica, foram utilizados dados do TerraClimate. Este é um conjunto de dados climáticos e de balanço hídrico que abrange as superfícies globais, com resolução espacial de aproximadamente 4 km<sup>2</sup> e resolução temporal mensal (ABATZOGLOU, 2018). Embora os dados do TerraClimate sejam amplamente utilizados em modelagem espacial, principalmente na parte hídrica e climática, eles também contribuíram para a modelagem multitemporal de estimativa de perda do solo em nascente de bacia hidrográfica do rio Araguaia (AKASHI JUNIOR, 2020).

### 2.2.2.2 Procedimentos Metodológicos Equação Universal de Perda de Solos Revisada (EUPSR, RUSLE do inglês)

A aplicação de modelos matemáticos para previsão da perda potencial do solo ganhou força somente na década de 1940, quando os primeiros trabalhos de forma empírica foram discutidos nos Estados Unidos, na região do Corn Belt (Cinturão do Milho, região produtora de milho). A técnica utilizada tratava de relacionar declividade e o comprimento da vertente com perda do solo, sendo chamada de plantio de declives, e foi aplicada de forma empírica até 1956, quando Zingg (1940) a desenvolveu. Com o acréscimo do fator chuva e manejo do solo, resultou na equação de Musgrave (1947), que foi largamente utilizada para estimar o processo erosivo em bacias hidrográficas e também para o planejamento de reduções de inundação. Desta forma, a equação norteou práticas conservacionistas por vários anos. Todavia, a aplicação da equação ficou restrita mediante a ausência de informações básicas e incapacidade de adaptar às diferenças espaciais da pluviosidade, seus tipos, intensidade e o desenvolvimento de práticas agrícolas locais e demais variáveis.

Os trabalhos de Wischmeier e Smith (1958; 1959; 1960 e 1960a) no final da década de 1950 contribuíram para a superação das limitações das equações anteriores, tais como: (a) um índice de erosão de chuva; (b) um método de avaliar os efeitos do manejo de uma cultura com vistas às condições climáticas locais; (c) um fator quantitativo de erodibilidade do solo; (d) um método que leva em conta os efeitos de interpelação de certas variáveis, tais como nível de produtividade, sequência de culturas e manejo dos resíduos (BERTONI, 2010).

Com todas essas alterações, em 1965, Wischmeier e Smith denominaram a *Universal Soil Loss Equation* - Equação Universal de Perda do Solo (USLE). Em 1978, *Equação Universal de Perda de Solo Revisada – RUSLE*:

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

onde A corresponde à resultante da perda do solo por unidade de área em t/ha; R corresponde ao índice de erosão pela precipitação, consistindo no número que indica a capacidade da chuva de provocar erosão em uma determinada área, em MJ/ha.mm/ha; K corresponde ao fator de erodibilidade do solo, uma constante obtida em cada tipo de solo, mediante a resistência ao processo erosivo; L corresponde ao fator comprimento do declive (perda de solo em um comprimento de rampa de 25m e grau de declive); S corresponde ao fator grau de declive (para 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa); e C corresponde ao fator uso e manejo do solo. O fator R é a variável que mensura de forma numérica os possíveis impactos da chuva no processo erosivo de determinada área sem proteção. Ele consiste no fator que analisa a erosividade, que se constitui de um índice numérico que expressa a capacidade da chuva de ocasionar a erosão hídrica (NEARING, 2017).

A precipitação é a principal responsável pelo processo de erosão hídrica, devido ao impacto direto das gotas da chuva no solo e ao escoamento superficial (PRUSKI, 2010). Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) encontraram um alto coeficiente de correlação para a regressão linear entre o índice médio mensal de erosão e o coeficiente de chuva, após 22 anos de análise de precipitação no município de Campinas-SP. A relação é expressa na fórmula:

$$EI = 68,730 (p^2/P)0,841$$

onde EI representa a média mensal do índice de erosão em MJ.mm/ha.L; 68,730 é um coeficiente utilizado na equação; p se refere à precipitação média mensal em milímetros, enquanto P representa a precipitação média anual em milímetros; e 0,841 é um expoente empregado na equação. O fator R, que corresponde ao índice de erosão média anual para um determinado local, é obtido pela soma dos valores mensais dos índices de erosão (BERTONI,

2010). Dessa forma, para um intervalo temporal longo, acima de 20 anos, essa equação apresenta uma relativa precisão.

Já o fator K corresponde à variável que expressa a erodibilidade do solo. Ele está relacionado às características do solo que influenciam no transporte de partículas pela precipitação e pelo escoamento, como textura, estrutura, matéria orgânica e aspectos mineralógicos e físico-químicos que se manifestam nas características morfológicas do solo (BISSONNAIS, 2006; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2010). A tabela 02 apresenta uma síntese dos valores adotados para a composição desse fator.

**Tabela 02 – Referências bibliográficas utilizadas no fator K**

Solo	Área Km <sup>2</sup>	%	FATOR K	Referência
Cambissolo háplico	546,81	3,58%	0,036	Silva (2005)
Gleissolo háplico	1666,08	10,89%	0,001	Cabral (2009)
Gleissolo melânico	53,87	0,35%	0,001	
Latossolo	21,05	0,14%	0,015	Bertoni (2010) Lombardi Neto (2010)
Latossolo amarelo	107,66	0,70%	0,015	
Latossolo vermelho-amarelo	10994,13	71,89%	0,022	
Neossolo flúvico	17,97	0,12%	0,046	Farinasso (2006)
Neossolo quartzarênico	1872,97	12,25%	0,056	Castro (2002)
Corpo d'água	12,66	0,08%	0	Costa <i>et al.</i> (2016)

Fontes: Silva (2005); Cabral (2009); Bertoni, (2010); Lombardi Neto (2010); Farinasso (2006); Castro (2002); Costa *et al.* (2016)

Para a aplicação efetiva da equação RUSLE, os fatores topográficos L (comprimento da rampa) e S (declividade) devem ser considerados juntos, conforme ilustrado na Figura 13, e podem ser chamados de fatores topográficos (WISCHMEIER; SMITH, 1965). O fator LS pode ser considerado a dimensão linear que teoricamente se estende desde o início da formação do escoamento até o ponto de encontro com o canal, sendo responsável pela energia potencial e seus efeitos erosivos (MINELLA *et al.*, 2010). Portanto, Bertoni (2010) afirma que a intensidade de erosão pela chuva é grandemente afetada tanto pelo comprimento do declive quanto pelo seu gradiente.

Os fatores C (uso e manejo do solo) e P (práticas conservacionistas) complementam-se na composição da fórmula RUSLE e, portanto, são tratados juntos como fator CP. A Tabela 3 resume os valores adotados para a composição desse fator.

Tabela 03 – Referências bibliográficas utilizadas na determinação do fator CP

Uso e cobertura do solo	P	Referência
Agricultura	0,05	Silva (2008)
Cerradão	0,0005	
Outras Lavouras Temporárias	0,05	
Pastagem	0,008	
Agricultura (soja)	0,05	
Mosaico de Agricultura e Pastagem	0,029	
Área Urbana	0	Paranhas Filho <i>et al.</i> (2003)
Campo úmido	0,001	Tomazoni <i>et al.</i> (2005)
Reflorestamento (Silvicultura)	0,003	
Outras Áreas não vegetadas	1	Costa <i>et al.</i> (2005)

Fontes: Silva (2008); Paranhas Filho *et al.* (2003); Tomazoni *et al.* (2005); Costa *et al.* (2005).

O processo de desenvolvimento da RUSLE envolve a combinação de cada fator, o que pressupõe a estrutura de camadas. Com sua aplicação em SIG, é possível produzir uma representação espacial de cada fator, permitindo a geração de um arcabouço cartográfico completo de cada fator (Figura 18). Enquanto os fatores K e LS são relativamente estáticos dentro da série temporal analisada, os fatores CP e R apresentam variações significativas de cenário para cenário. Portanto, o mapa 6 apresenta seis mapas do fator CP e seis mapas do fator R. Ao combinar todos os fatores em cada análise temporal, é possível obter uma análise espaço-temporal precisa da estimativa de perda de solo (WISCHMEIER; SMITH, 1978).



### 2.2.3 Estrutura e Tipologia Fundiária

Para uma melhor compreensão das propriedades rurais no Brasil, é necessário recorrer à legislação nacional, especificamente à Lei Federal n. 8.629, de 25 de fevereiro de 1993 (BRASIL, 1993), que foi alterada pela Lei Federal n. 13.465, de 11 de julho de 2017 (BRASIL, 2017). Essa legislação trata do módulo rural e atribui ao Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA a função de definir o módulo fiscal por município. O módulo fiscal é definido como o valor da mediana da área em hectares, levando em consideração quatro fatores baseados nas características de cada município: a predominância de exploração no município, a renda obtida por essa exploração predominante, outras explorações existentes no município e o conceito de propriedade familiar. Dessa forma, cada município terá uma dimensão territorial do módulo fiscal.

No Brasil, os valores dos módulos rurais variam de 5 a 110 hectares. O município de São Desidério, por exemplo, tem fixado pelo INCRA o valor do seu módulo fiscal em 65 hectares; as propriedades rurais em quatro grupos (conforme a Tabela 01): Minifúndio – imóvel rural com área inferior à fração mínima de parcelamento, ou seja, menor que um módulo fiscal; Pequena Propriedade – imóvel com área entre a fração mínima de parcelamento e quatro módulos fiscais; Média Propriedade – imóvel rural de área superior a quatro e até quinze módulos fiscais; e Grande Propriedade – imóvel rural de área superior a quinze módulos fiscais. As reservas legais das propriedades rurais são regidas pela Lei Federal n. 12.651, de 25 de maio de 2012 (BRASIL, 2012), especificamente pelos seus artigos 3º e 12º. Essa legislação estabelece que as reservas legais devem corresponder a 20% da área das propriedades.

## 2.3 Descrição dos Resultados

### 2.3.1 Propriedades Rurais

Os minifúndios correspondem a cerca de 3/4 das propriedades rurais registradas nos dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural - SICAR no município de São Desidério, e ocupam apenas 2% da área total das propriedades (Tabela 01). Eles predominam na porção nordeste do limite territorial, nas proximidades do núcleo urbano e em áreas com maior declividade do relevo e de solos menos desenvolvidos, como Neossolos e Gleissolos, caracterizando-se por serem usados para agricultura de subsistência, produção de hortaliças e

horticultura, granjas e criação de animais de pequeno porte, como suínos, caprinos e gado em pequena quantidade, para comercialização dos seus derivados (VALE, 2005). Regiões com essa natureza espacial são chamadas de Cinturões Verdes (TEIXEIRA; LAGES, 1997; SANTOS, 1996). É nessa região onde há uma transição entre o rural e o urbano (GRAZIANO DA SILVA, 1997). Além disso, há a criação de "guetos do lazer" (LEFEBVRE, 1969), com hotéis-fazenda, clubes, parques aquáticos, pequenas propriedades com finalidade recreativa de uso em finais de semana ou feriados prolongados e o turismo ecológico. Os minifúndios estão localizados nas partes mais baixas, com uma média hipsométrica de 663 metros.

As pequenas propriedades, com 543 propriedades rurais, correspondem a 13% do total de propriedades, mas ocupam apenas 7% da área total das propriedades rurais do município, e a média do tamanho das pequenas propriedades rurais é de 1,66 km<sup>2</sup> (Tabela 01). Elas estão bem distribuídas por todo o município, mas predominam em áreas com declividade baixa e o tipo de solo predominante nesta tipologia são os Latossolos. Entre as propriedades rurais, somente a declividade dos minifúndios é maior do que a das pequenas propriedades. As pequenas propriedades possuem uma média hipsométrica de 752 metros.

**Tabela 4 – Distribuição das propriedades rurais e suas dimensões por tipologia no município de São Desidério**

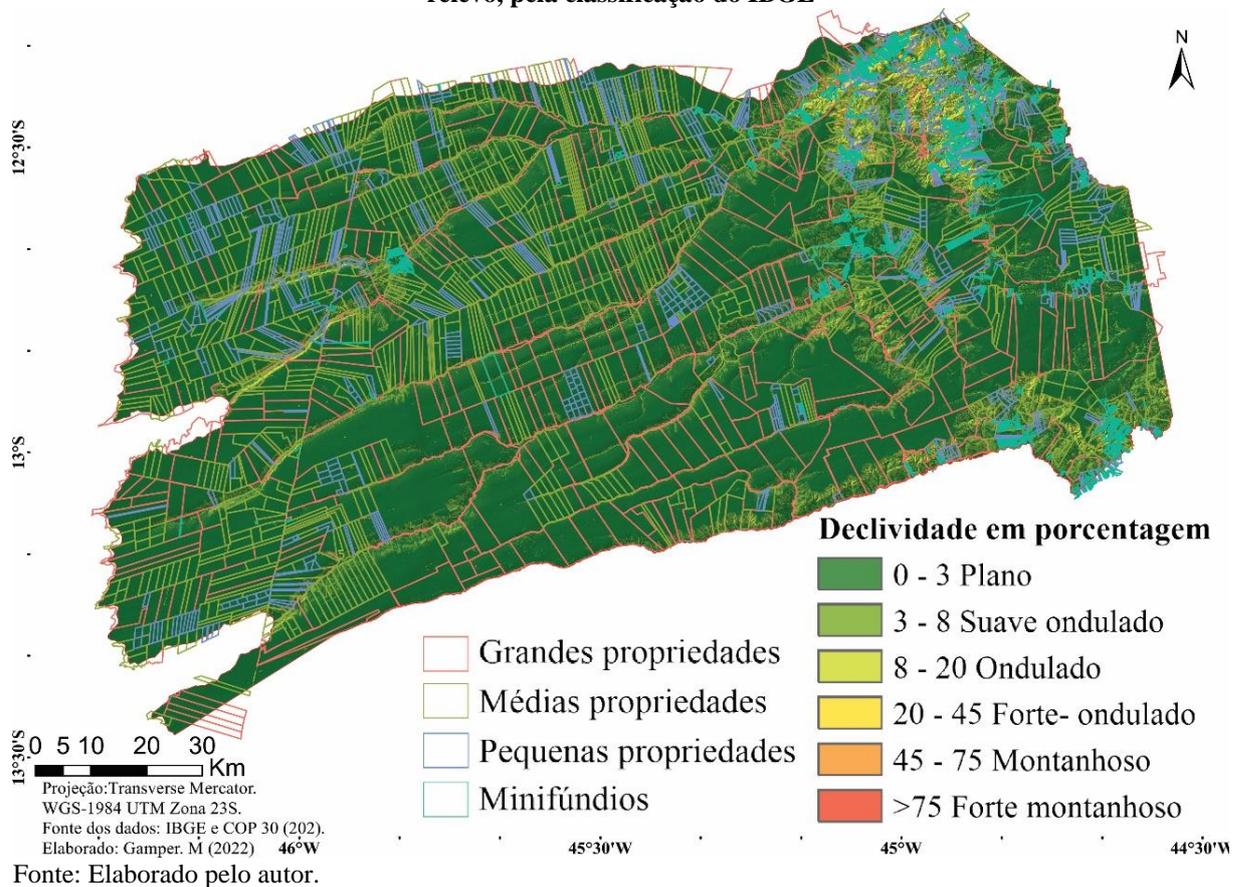
<b>Tipologia</b>	<b>Nº de Propriedades</b>	<b>% propriedades</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>% da área das propriedades</b>	<b>Média da das propriedades (km<sup>2</sup>)</b>
<b>Minifúndio</b>	4341	72%	335,5	2%	0,1
<b>Pequena</b>	543	13%	907,2	7%	1,7
<b>Média</b>	805	9%	4257,0	32%	5,3
<b>Grande</b>	381	6%	8010,8	59%	21,0
<b>Total</b>	6070	100%	13.5	100%	--

Fonte: Autores.

As médias propriedades correspondem a 805 unidades rurais, o que representa 9% do total de propriedades do município e 32% da área das propriedades rurais cadastradas no SICAR (ver Tabela 01). Embora haja um ligeiro predomínio da porção centro-noroeste do município, é possível identificar a presença de médias propriedades em toda a extensão territorial. Em relação à altitude, as médias propriedades possuem uma média hipsométrica de 772 metros, apresentando uma variação altimétrica de 443 metros entre os valores obtidos, além de possuir a menor declividade entre as tipologias analisadas e cerca de 79% do solo presente nesta tipologia ser de Latossolos.

Por sua vez, as grandes propriedades compreendem 381 registros no SICAR, correspondendo a 6% do total de propriedades do município, mas ocupando 59% da área das propriedades rurais (ver Tabela 01). Essas propriedades estão localizadas principalmente na porção sul do município, apresentando a menor declividade em graus, juntamente com as médias propriedades. A média hipsométrica desse grupo é de 766 metros, com uma variação altimétrica de 385 metros entre os valores registrados. Somado a essas características, tem-se nas grandes propriedades o predomínio de Latossolos, registrando 78% do tipos de solos presente na tipologia.

**Figura 19 – Distribuição espacial das propriedades rurais do município de São Desidério sobre o mapa de relevo, pela classificação do IBGE**

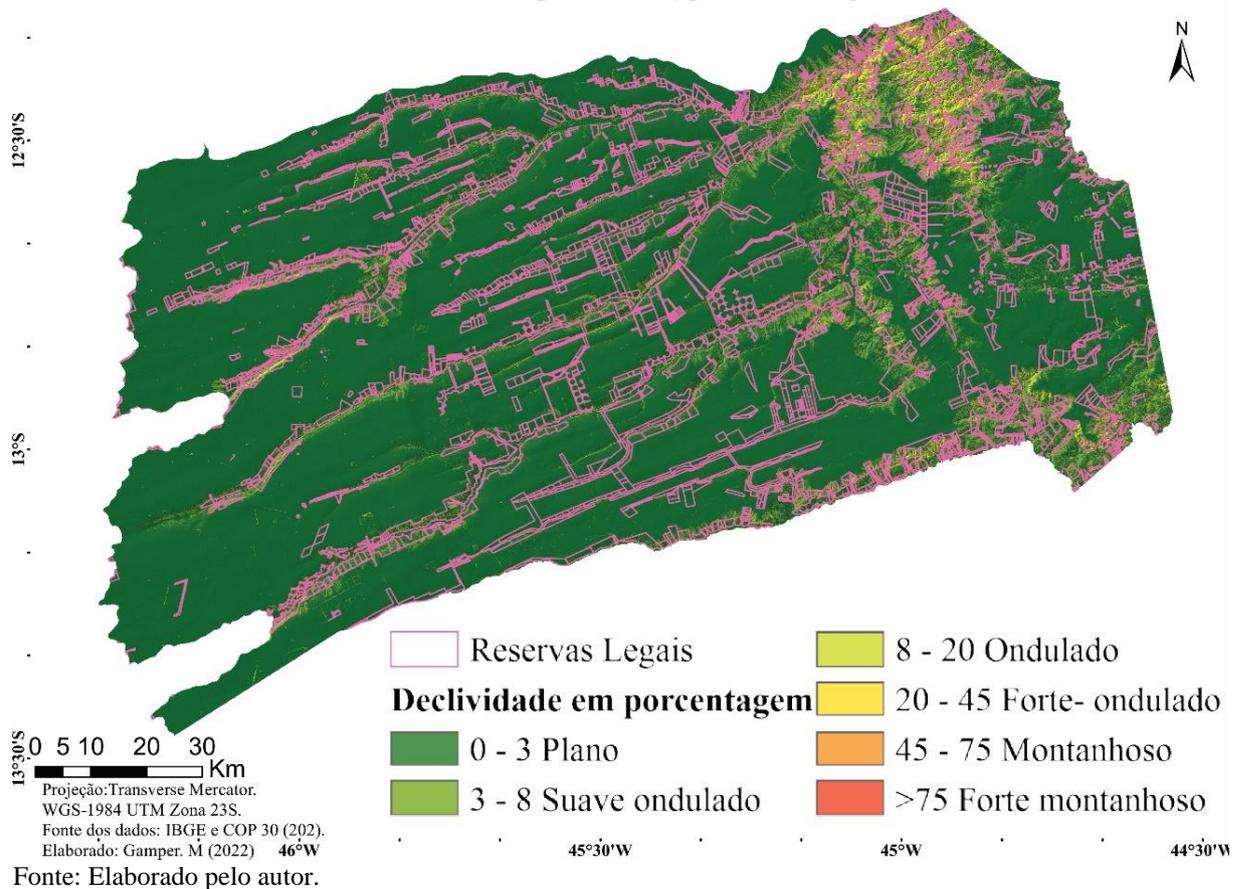


### 2.3.2 Reservas Legais

O município de São Desidério está localizado no bioma Cerrado, fora da área da Amazônia Legal. Conforme a legislação ambiental, é exigida uma reserva legal de 20% da área total das propriedades rurais. A figura 20 apresenta a distribuição espacial das reservas legais, sendo predominantes nas margens de recursos hídricos e em áreas de encostas, que possuem as

maiores declividades entre as tipologias analisadas. Segundo os dados do SICAR, são registrados 5539 polígonos de Reservas Legais dentro dos limites do município, totalizando uma área de 2587,2 km<sup>2</sup> e uma média de 0,46 km<sup>2</sup> por reserva legal. As reservas legais estão margeando os cursos de água e, por conta disso, apresenta a maior declividade entre as tipologias, além da expressiva presença de solos pouco desenvolvidos, sendo 20% de Neossolos e 25% de Gleissolos.

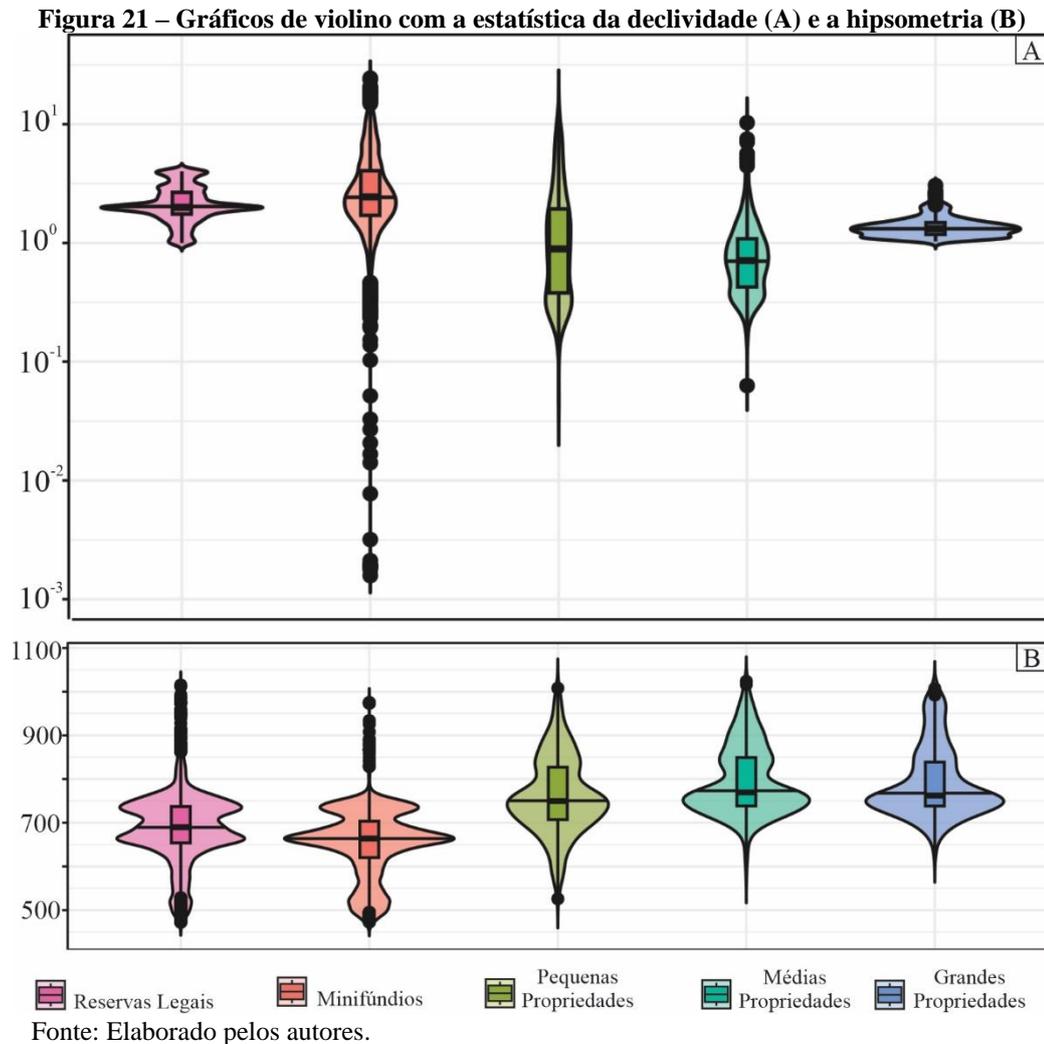
**Figura 20 – Distribuição espacial das reservas legais, presente dentro dos limites políticos do município de São Desidério sobre o mapa de relevo, pela classificação do IBGE**



#### 2.4 Fatores da RUSLE e sua influência sobre a variabilidade das taxas de perda de solo

Para realizar uma análise de modelagem da RUSLE de forma adequada, é necessário seguir duas etapas analíticas fundamentais. A primeira etapa consiste em analisar cada cenário de forma individualizada, observando como cada fator da RUSLE influencia de forma ativa nos resultados obtidos na delimitação espacial. A segunda etapa envolve a análise da influência dos resultados de cada ano e a alteração do uso do solo dentro do recorte temporal.

Embora todos os fatores da RUSLE sejam importantes para a composição da equação, na etapa de compreensão dos resultados individualizados, os fatores LS, K e R são determinantes no resultado. Isso não significa que o fator CP não tenha sua contribuição, no entanto, ele se torna crucial na análise temporal dos resultados.

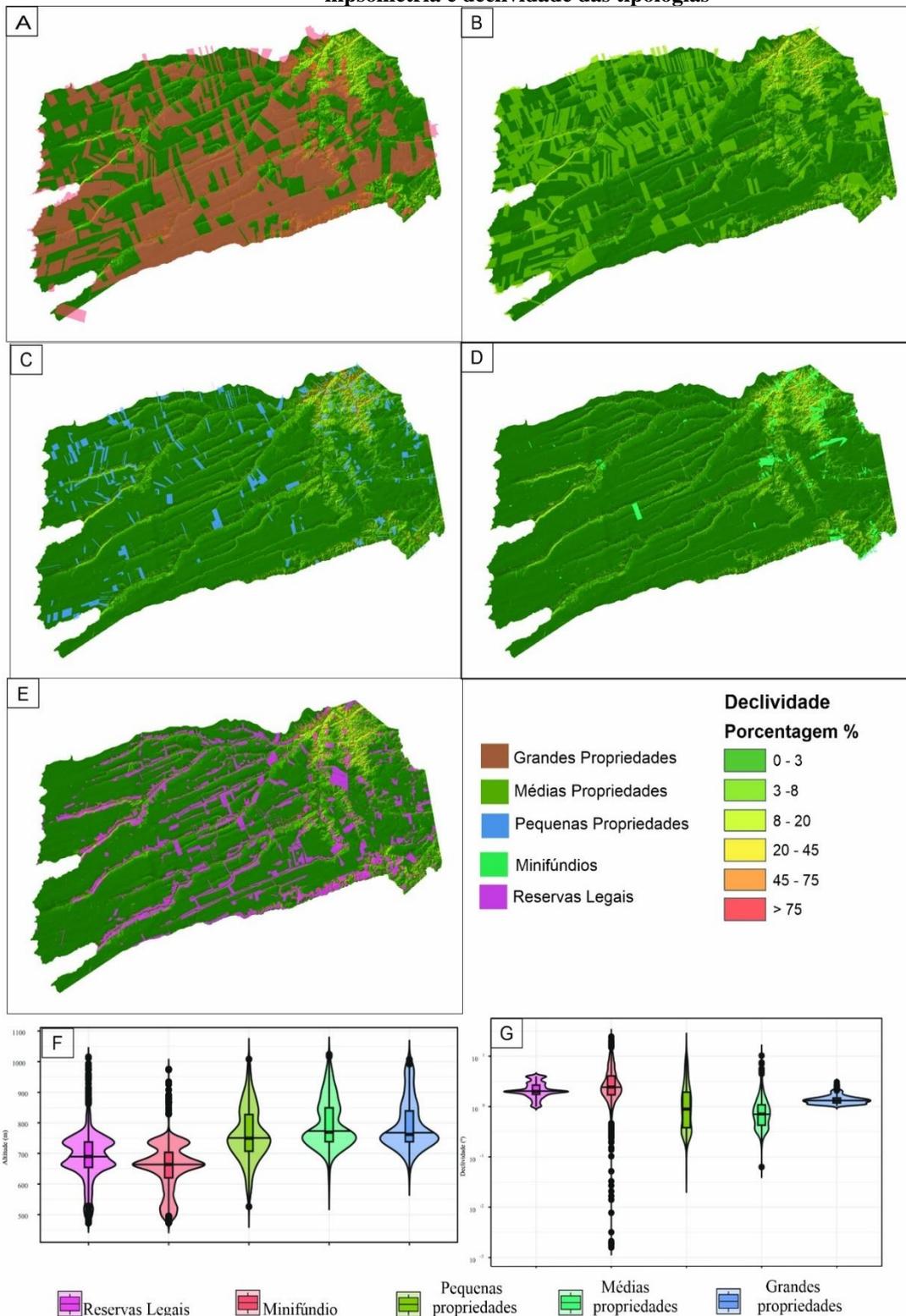


No fator LS, a declividade do município apresenta uma distribuição quase uniforme em relação ao recorte espacial, mas contribui de forma significativa não somente para a equação, mas também para a distribuição espacial das propriedades rurais e reservas legais. A Figura 22 ilustra essa distribuição espacial.

Com base na Figura 22, é possível constatar que as grandes e médias propriedades estão localizadas em regiões com menor amplitude de declividade e também nas regiões mais altas. Em contrapartida, as reservas legais e os minifúndios estão alocados em regiões com maiores

medianas de declividade, além de estarem também nas regiões de menor elevação, como encostas, vales e, principalmente, ao nível de base da área.

**Figura 22 – Distribuição espacial das tipologias, sobre o mapa de declividade e gráficos de boxplot de hipsometria e declividade das tipologias**



Fonte: Elaborado pelos autores. (A) ano de 1990; (B) ano de 1996; (C) ano de 2002; (D) ano de 2008; (E) ano de 2014; (F) ano de 2020.

O fator K desempenha um papel crucial na determinação da perda de solo na RUSLE e é essencial para analisar cada cenário. No entanto, é importante notar que o valor do fator K geralmente permanece inalterado entre cenários. Ao delimitar as tipologias analisadas espacialmente, descobriu-se que aquelas com menor perda de solo têm uma proporção maior de Latossolos, com média de 79%, grande de 78%, pequenas de 67% e reservas legais de 52%. Essas áreas também apresentam quantidades consideráveis de Gleissolos (23%) e Neossolos (20%). Em contraste, os minifúndios têm apenas 25% de Latossolos, 48% de Neossolos e 22% de Gleissolos.

Segundo Bertoni (2010), o fator R é de aferição do processo erosivo. Na etapa analítica individualizada de cada cenário é essencial compreender o peso do fator. Para que haja essa mesma importância, é necessário que ocorra variação climática dentro do recorte temporal. Segundo os dados obtidos do TerraClimate, o município de São Desidério não apresenta variação climática significativa dentro do recorte analisado, assim como mostra a síntese pluviométrica e a média móvel do período (Figura 23).

**Figura 23 – Síntese e média móvel pluviométrica do município de São Desidério de 1990-2020**

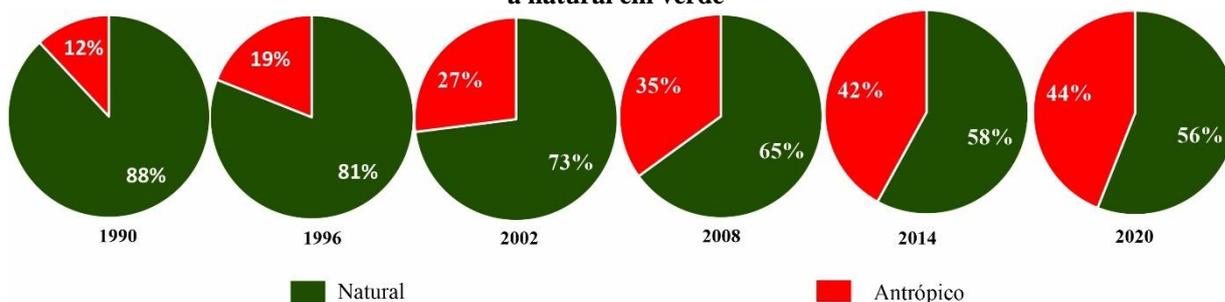


Fonte: Elaborado pelos autores; Dados do TerraClimate.

O município de São Desidério apresenta um rápido processo de expansão agrícola e antropização da paisagem, que não se limita à porção oeste e tem avançado em direção ao leste do município, conforme as Figuras 21 e 22 evidenciam. Assim, o fator CP possui a maior variabilidade, pois está atrelado às alterações na paisagem, sobretudo, na transformação da

paisagem natural para antropizada. Assim, seu peso maior está associado à segunda etapa analítica dos fatores da RUSLE. Dessa forma, é possível observar com clareza sua contribuição na composição dos resultados dentro do limite temporal, destacadamente na porção ocidental do município de São Desidério (Figura 24).

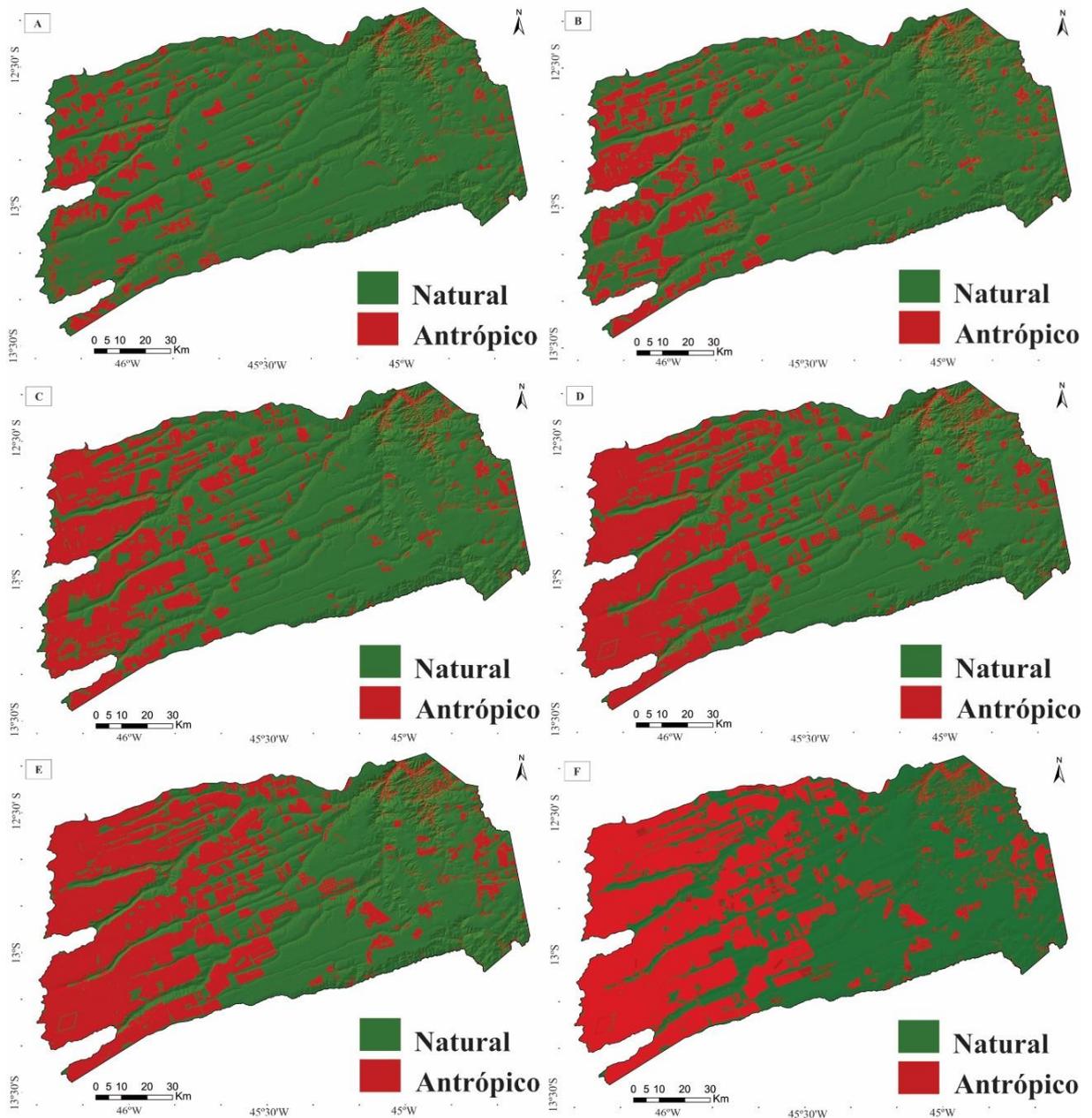
**Figura 24 – Gráfico de alteração do uso do solo, sendo a cobertura antrópica representada em vermelho e a natural em verde**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Outro ponto importante a ser destacado é o crescente número de pivôs centrais no município. Segundo Spagnolo (2012), em 1984 não havia nenhum pivô central instalado em São Desidério. Já em 2008, o número subiu para 254 e, de acordo com Sateles (2019), em 2019 esse valor aumentou para 437. Esses dados evidenciam a expansão da agricultura irrigada na região e a conseqüente redução da área de solo ocupada por rios e lagos. Segundo informações do MapBiomas, essa área foi reduzida em 62% entre 1990 e 2020.

**Figura 25 – Alteração do uso do solo ao longo do tempo considerando os anos analisados, observa-se a conversão que avança do extremo oeste em direção ao leste do município**

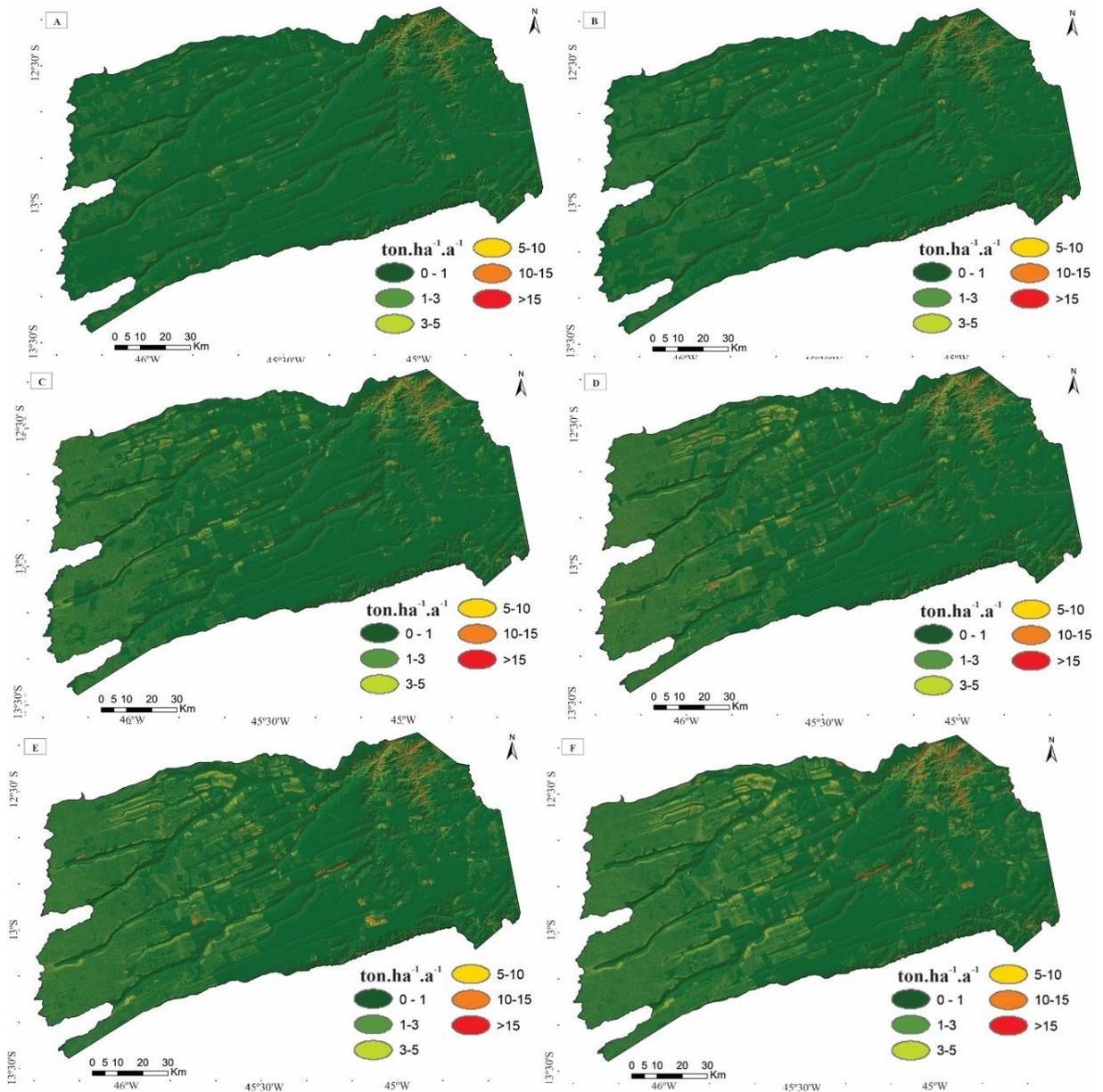


Fonte: Elaborado pelo autor. Alteração do uso do solo classificado em paisagem Natural e antrópica, segundo a coleção seis do MapBiomias. (A) ano de 1990; (B) ano de 1996; (C) ano de 2002; (D) ano de 2008; (E) ano de 2014; (F) ano de 2020.

## 2.5 A perda de solos no município por tipologia de propriedades

Após aplicar a equação e obter a capacidade de transporte anual, a suscetibilidade à erosão e a análise multitemporal podem ser previstas para avaliar o impacto de tais mudanças na produção de sedimentos (Figura 26).

Figura 26 – Distribuição espacial da taxa de perda de solos para cada um dos anos analisados



Fonte: Elaborado pelo autor. RUSLE (perda de solo  $\text{ton} \cdot 0,09\text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ) São Desidério. (A) ano de 1990; (B) ano de 1996; (C) ano de 2002; (D) ano de 2008; (E) ano de 2014; (F) ano de 2020.

Em 1990, a mediana da taxa de perda das reservas legais é de 1,128  $\text{ton}/0,09 \text{ha}/\text{ano}$ ; dos minifúndios, 0,891; das pequenas propriedades, 0,073; das médias, 0,029; e, das grandes, 0,025. Observam-se dois grupos na distribuição estatística das taxas de perda, havendo um primeiro grupo com maior homogeneidade nas mais baixas perdas das grandes e médias propriedades e levemente mais heterogêneas nas pequenas propriedades, dentre as quais é dominante valores maiores que a mediana. No outro grupo, as perdas de solo são mais altas e têm também maior variabilidade para os minifúndios e reservas legais, tendo propriedades com taxas de perda tão baixas quanto as grandes, médias e pequenas propriedades (Figura 9).

Destaca-se que em todos os tamanhos de propriedades há um predomínio modal em torno das medianas.

Em 1996, a mediana de perda das reservas legais é de 0,766 ton/0.09 ha/ano, dos minifúndios, 0,687; das pequenas propriedades, 0,079; das médias, 0,048 e das grandes, 0,038. Observam-se também dois grupos, das grandes e médias propriedades, com menores valores gerais e menor variabilidade e dos minifúndios e reservas legais com valores e variabilidade maiores. Neste ano, as pequenas propriedades apresentam um comportamento transicional entre os dois grupos principais, tendo mediana de taxas e variabilidade intermediárias (Figura 9). Destaca-se que, em todos os tamanhos de propriedades, há dois predomínios modais: um, mais representativo com valores abaixo da mediana, e outro menos expressivo acima, indicando a existência de duas modas.

Em 2002, a mediana de perda das reservas legais é de 1.399 ton.0.09ha-1.a-1; dos minifúndios, 1.253; das pequenas propriedades, 0.160; das médias, 0.112; e, das grandes, 0.094. Observa-se que há apenas um grande grupo na distribuição estatística das taxas de perda, que se subdivide pela amplitude das taxas em torno da mediana, sendo que há maior variabilidade em minifúndios e em reservas legais (Figura 9). Destaca-se que, em todos os tamanhos de propriedades, há dois predomínios modais: um com valores abaixo da mediana e outro acima, indicando a existência de duas modas bem marcantes.

Em 2008, a mediana de perda das reservas legais é de 1.226 ton.0.09ha-1.a-1; dos minifúndios, 1.207; das pequenas propriedades, 0.196; das médias, 0.148; e, das grandes, 0.129. Observa-se que, assim como em 2002, há apenas um grande grupo na distribuição estatística das taxas de perda, que se subdivide pela amplitude das taxas em torno da mediana, sendo que há maior variabilidade em minifúndios e em reservas legais (Figura 9). Destaca-se que, da mesma forma, em todos os tamanhos de propriedades, há dois predomínios modais: um com valores abaixo da mediana e outro acima, indicando a existência de duas modas bem marcantes, sendo que o grupo modal superior à mediana é levemente maior do que o inferior à mediana.

Em 2014, a mediana de perda das reservas legais é de 1.209 ton.0.09ha-1.a-1; dos minifúndios, 1.404; das pequenas propriedades, 0.205; das médias, 0.164; e, das grandes, 0.141. Observa-se que, assim como nos outros dois anos anteriores (2002 e 2008), há apenas um grande grupo na distribuição estatística das taxas de perda, que se subdivide pela amplitude das taxas em torno da mediana, sendo que há maior variabilidade em minifúndios e em reservas legais (Figura 9). Destaca-se que, da mesma forma, em todos os tamanhos de propriedades, há dois predomínios modais: um com valores abaixo da mediana e outro acima, indicando a

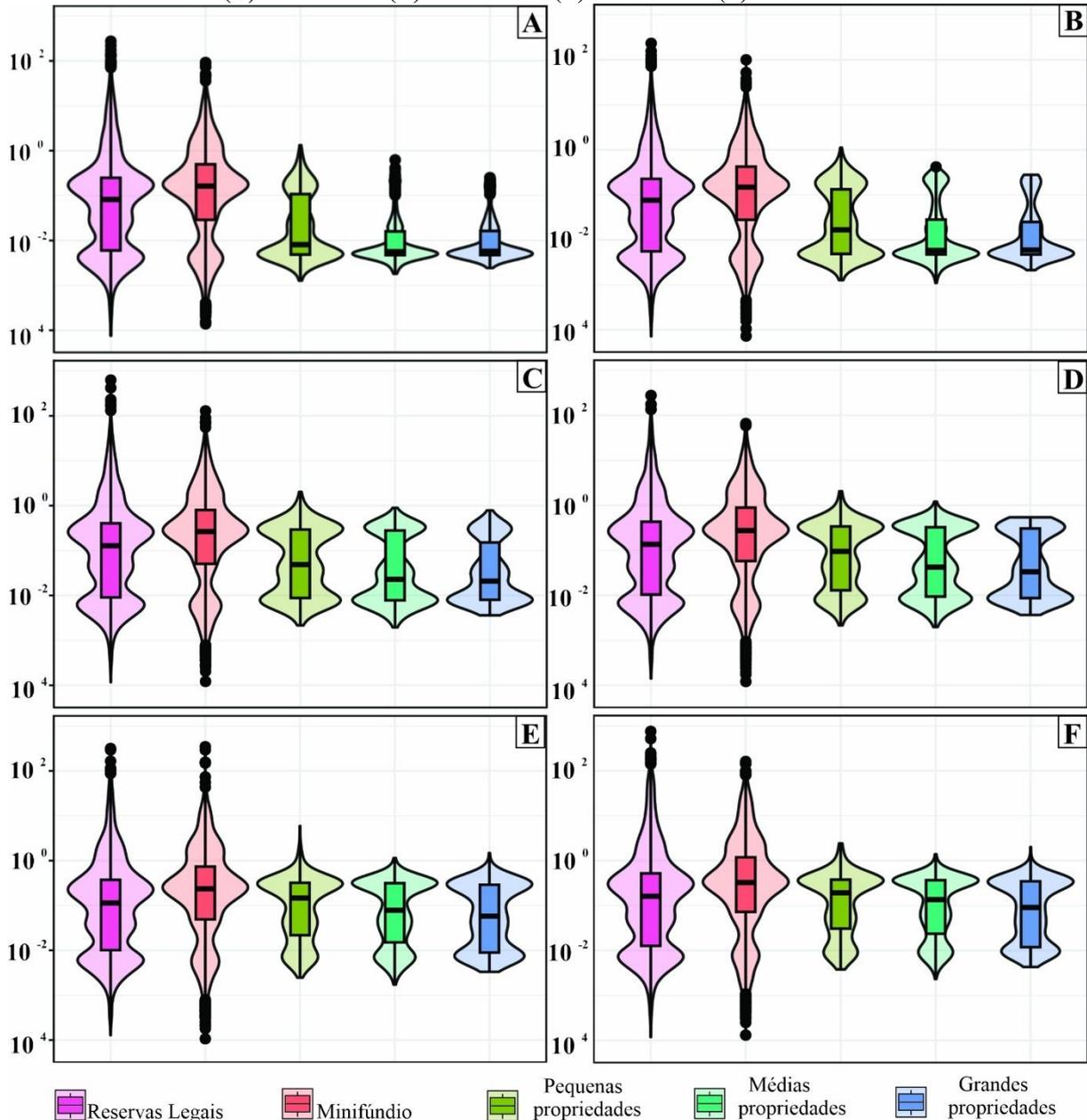
existência de duas modas bem marcantes, sendo que o grupo modal superior à mediana é marcadamente maior do que aquele inferior à mediana.

Em 2020, a mediana de perda das reservas legais é de 2.412 ton.0.09ha<sup>-1</sup>.a<sup>-1</sup>; dos minifúndios, 2.234; das pequenas propriedades, 0.253; das médias, 0.201; e, das grandes, 0.174. Observa-se que o comportamento estatístico das medianas das perdas de solo em 2020 é bastante similar ao de 2014, o que indica certa estabilidade entre esses anos (Figura 9).

Em todas as tipologias analisadas, houve aumento dos valores das medianas em comparação aos anos extremos da análise temporal. Entretanto, é perceptível o comportamento das tipologias de maneira semelhante em dois grupos distintos: o primeiro grupo é composto pelas grandes, médias e pequenas propriedades, e o segundo pelos minifúndios e reservas legais. Observa-se certa estabilidade estatística, principalmente pela constante alta variabilidade de taxas de perda de solo para as reservas legais e minifúndios ao longo do tempo, considerando os anos analisados.

Por outro lado, o grupo das grandes, médias e pequenas propriedades que, no início do período analisado, tinha valores mais baixos, passa a ser um grupo bimodal com dois grupos principais, um acima da mediana e outro abaixo dela. Há uma inversão do tamanho do grupo inferior em direção ao superior (Figura 27). Com esse aumento da importância da moda superior, as taxas predominantes nas grandes, médias e pequenas propriedades se aproximam da mediana de reservas legais e minifúndios.

**Figura 27 – Gráficos de violino com a estatística das taxas de medianas de perda de solo ( $\text{ton.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ ) calculadas para as propriedades e reservas legais para os anos analisados: (a) ano de 1990 (B) ano de 1996 (C) ano de 2002 (D) ano de 2008 (E) ano de 2014 (F) ano de 2020**

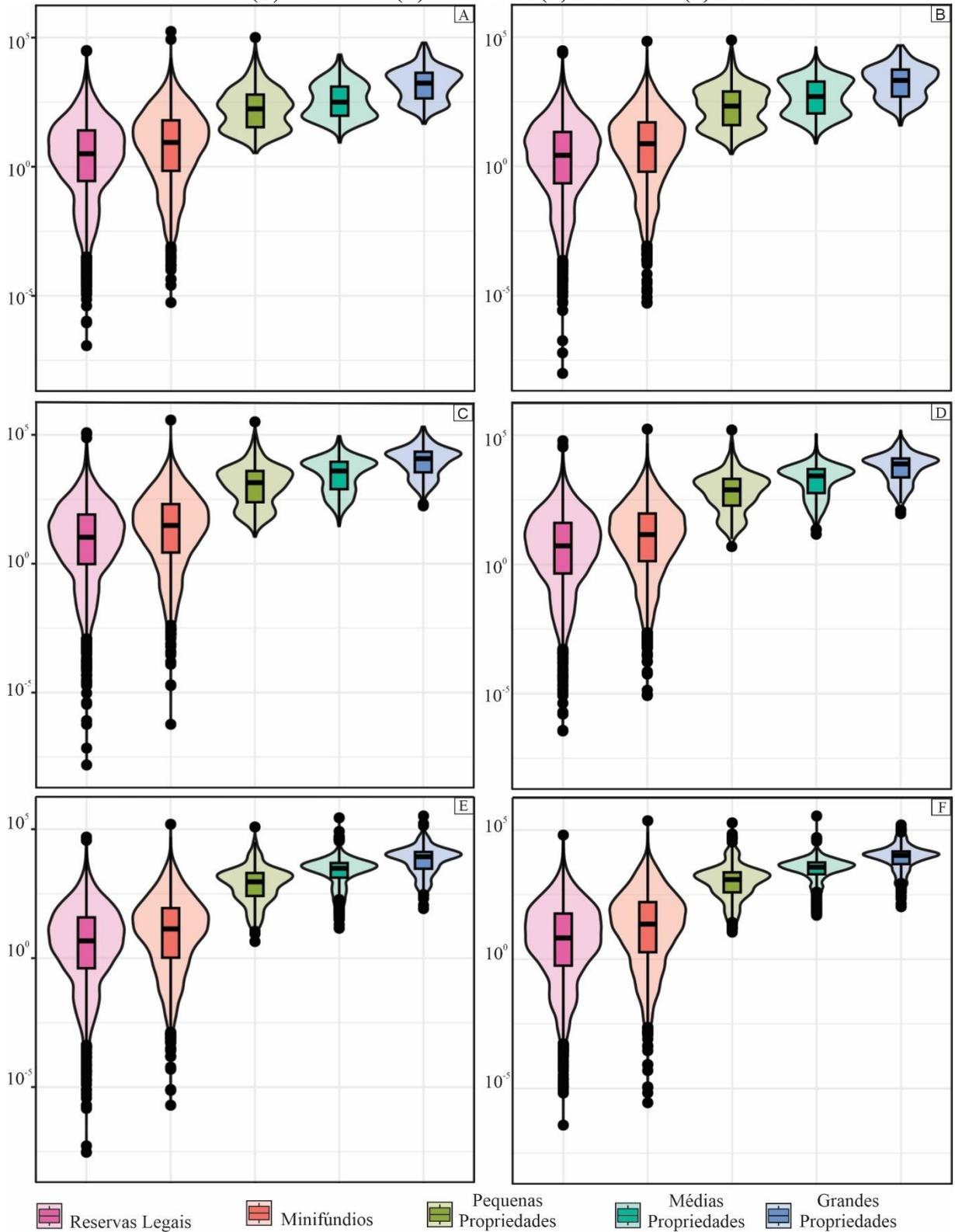


Fonte: Elaborado pelo autor.

Ao analisar os valores totais de perda de solo por tipologia, percebe-se que os resultados obtidos das medianas são distintos (Figura 28). Isso ocorre devido ao volume de perda de solo em relação ao tamanho das tipologias. Dessa forma, podemos afirmar que a estrutura fundiária está diretamente relacionada com a quantidade de perda de solo. Nesta análise, houve a formação de dois grupos, com resultados diferentes da análise anterior das medianas. Ambos apresentam crescimento, porém em ritmos diferentes. O primeiro grupo é composto por grandes, médias e pequenas propriedades, que apresentam um valor total muito superior em

todos os cenários em comparação ao segundo grupo. Para dimensionar esses valores, foi feita a média dos resultados das medianas das somatórias dos cenários e, em seguida, dividiu-se o valor obtido nas grandes propriedades pelas reservas legais, que foi o menor valor. O resultado é uma diferença de 1557. O segundo grupo é composto por minifúndios e reservas legais, apresentando um volume menor em relação ao primeiro em todos os cenários. Além disso, as reservas legais foram definidas como padrão de resiliência de perda de solo por tipologia no município de São Desidério no recorte temporal.

**Figura 28 – Gráficos de violino com a estatística dos valores totais perda de solo ( $\text{ton.km}^{-2}.\text{a}^{-1}$ ) por tipologia. Calculadas para as propriedades e reservas legais para os anos analisados: (a) ano de 1990 (B) ano de 1996 (C) ano de 2002 (D) ano de 2008 (E) ano de 2014 (F) ano de 2020**

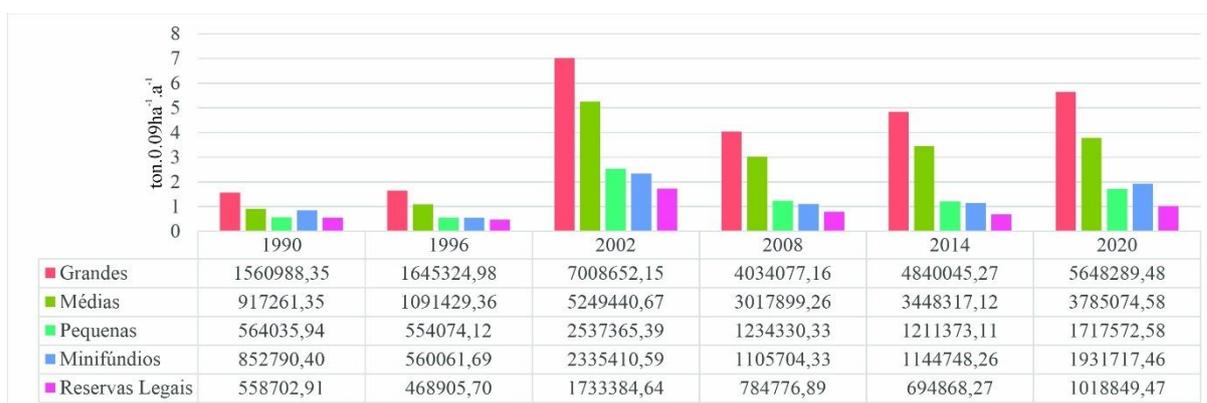


Fonte: Elaborado pelo autor.

Quando os valores totais de cada tipologias são somados por cenários, é possível visualizar também dois grupos, nos quais os valores aumentam ao longo do tempo, assim como nos grupos de taxa média. Entretanto, as tipologias de propriedades têm composição diferente (Figura 29). O aumento contínuo é distorcido pela elevada perda de solos em todo o município em 2002, devido às questões climáticas já apresentadas acima. O primeiro grupo apresenta valores maiores em todos os cenários e com ritmo de crescimento mais acelerado do que o segundo grupo; esse grupo é composto pelas grandes e médias propriedades. O segundo grupo composto por pequenas, minifúndios e reservas legais apresentam valores inferiores em relação ao primeiro grupo. Esse fato ocorre em todos os cenários.

Ao somar os valores totais de cada tipologia em diferentes cenários, é possível observar novamente duas categorias com comportamentos distintos no período analisado. Embora ambas apresentem um crescimento crescente, elas possuem ritmos diferentes e uma nova configuração pode ser observada na Figura 29. O primeiro grupo, composto por grandes e médias propriedades, apresenta valores mais elevados em todos os cenários e um ritmo de crescimento mais acelerado. Já o segundo grupo, formado por pequenas propriedades, minifúndios e reservas legais, apresenta valores inferiores em comparação ao primeiro grupo, em todos os cenários.

**Figura 29 – Gráfico em barras com a estatística da somatória dos valores totais por tipologia**



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados dos valores totais e das somatórias dos valores totais por tipologia é resultado da estrutura fundiária, pois ela induz os valores obtidos devido às dimensões das propriedades e também ao número total, além da distribuição espacial.

## 2.6 Discussão

Os dados de perda de solo no município de São Desidério, por meio da RUSLE, apresentam uma tendência de aumento da perda de solo em todas as tipologias em todos as variáveis analíticas. Desta forma, foi observável que existem dois grupos com padrão de crescimento distintos em todas as variáveis. Quando a variável é a mediana, o primeiro grupo é composto pelas pequenas, médias e grandes propriedades, que apresentam, nos seis cenários, uma crescente constante de crescimento médio da mediana da taxa de perda de solo por  $\text{ton} \cdot 0.09\text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ . Apesar de apresentar redução no ano de 2008, as pequenas propriedades são inseridas nesse grupo por apresentar temporalmente o mesmo comportamento das grandes e médias propriedades. O segundo grupo é composto pelos minifúndios e reservas legais que possuem os maiores médios de mediana em todos os cenários. Apenas esses dados já os caracterizam diferentes do grupo anterior. Entretanto, apresentam um ritmo de crescimento diferente daquele grupo: os minifúndios apresentam dois cenários de redução (nos anos de 1996 e 2008). Já as reservas legais apresentam três cenários de redução (em 1996, 2008 e 2014). Assim, dentro do intervalo temporal analisado nos minifúndios, é registrado o aumento apenas nos dois cenários, com precipitação elevada em 2002 e 2020.

Quando se analisa a variação do valor total de perda de solo por tipologia por cenário, pode-se observar que o primeiro grupo é composto por pequenas, médias e grandes propriedades, as quais apresentam um volume de perda de solo crescente em todos os cenários, com um ritmo ainda maior do que o segundo grupo. Já o segundo grupo é composto pelos minifúndios e reservas legais, que também apresentam um volume crescente em todos os cenários, porém com um ritmo mais lento em comparação ao primeiro grupo. É importante destacar que a amplitude do volume de perda de solo entre as grandes propriedades no ano de 2020, o qual registrou o maior valor dentre todos os cenários e tipologias, e as reservas legais, que apresentaram o menor valor no ano analisado, é superior a 1500 vezes.

Ademais, é essencial compreender a relevância da estrutura fundiária condicionando o processo de alocação das propriedades rurais e, assim, interferindo diretamente no uso e manejo do solo. Além do fato das propriedades rurais, que tem como objetivo a produção de *commodities*, serem privilegiadas ao estarem em áreas que possuem melhores condições físicas naturais e, por consequência, apresentarem a menor taxa de perda de solo em todos os cenários dentro do recorte, analisado. Conquanto, os valores apresentam aumento cenário após cenário, ao ponto de que, no último cenário, houve a menor amplitude entre os dois grupos.

Por conta disso, foi necessário compreender a variabilidade de cada cenário e, posteriormente, analisá-los para dimensionar o recorte temporal. Dessa forma, é fundamental conceber a importância de todos os fatores RUSLE. Assim, cada fator desempenha papel importante dentro de cada análise para compreensão sistêmica da modelagem de perda de solo nas propriedades rurais do município de São Desidério.

Segundo Bertoni (2010), o fator R é o dínamo dos processos erosivos. É indiscutível a pertinência do fator R, sobretudo nos cenários nos quais apresentaram os maiores índices pluviométricos (em 2002 e 2020). Na perspectiva sistêmica ambiental, deve-se compreender um fenômeno e suas variáveis. Tratando a área como um sistema, é fundamental compreender os *inputs*. E, nos anos destacados, são anos de influência do fenômeno *La Niña*. Assim, o elevado índice pluviométrico é o principal agente no processo erosivo dos anos destacados. O fator K apresenta representatividade nos resultados de cada cenário, uma vez que o grupo que apresentou menor taxa de perda de solo possuía uma proporção de mais de  $\frac{3}{4}$  de Latossolo. Já o grupo que apresentou os maiores valores taxa de perda de solo apresentava valores menores que 50% de Latossolo e valores expressivos de Neossolos e Gleissolos. A declividade, condição natural preponderante no processo de perda de solo, que está diretamente relacionada com fator LS, apresenta suas menores taxas nas tipologias que possuem em todos os cenários as menores perdas de solo, o que promove o desenvolvimento de uma agricultura mecanizada e solos mais desenvolvidos. Condições encontradas nas grandes, médias e pequenas propriedades rurais. Já nas reservas legais e minifúndios, a declividade é maior do que o grupo anterior (Figura 22), o que condiciona solos menos desenvolvidos e a impossibilidade de produção em larga escala.

No entanto, o fator que condiciona, dinamiza e potencializa a velocidade do processo erosivo, a partir da análise temporal no município de São Desidério, são os fatores CP, que também apresentam uma tendência de crescimento contínuo e acelerado (Figura 06). O termo "potencializar" é utilizado em detrimento da afirmação de Bertoni (2010) de que os efeitos das variáveis de uso e manejo do solo não podem ser avaliados independentemente, devido às diversas interações que ocorrem. Essas interações de ordem natural, como precipitação, relevo, declividade, solo, geologia, somadas às de ordem social, que atendem à demanda de produção capitalista, e as de ordem territorial política, juntas acarretaram no protagonismo do fator CP para a compreensão da perda de solo no município de São Desidério. Assim, eles estão diretamente relacionados com a severa transformação/alteração da paisagem natural, sobretudo pela expansão da fronteira agrícola na região designada MATOPIBA (BOLFE, 2016; COLUSSI, 2017; MATRICARDI, 2019; MARCIAL, 2020), fenômeno crescente no município

de São Desidério, como apontam Spagnolo (2011, 2012) e Satelles (2019). Isso é resultado de política pública de favorecimento do desenvolvimento do agronegócio, como em nível federal, POLOCENTRO e PROCEDER (OLIVEIRA, 2002), em nível estadual, PROALBA e AGRIVEST (SPAGNOLO, 2011), e das condições físicas naturais, como relevo com baixa amplitude de declividade, clima com temperatura elevada o ano todo e estações climáticas bem definidas, e solo com boa aptidão agrícola, que condicionaram o aumento progressivo do processo erosivo.

Assim, a estrutura fundiária, que atende a demanda do capital de produção agrícola que faz que o município tenha o maior PIB agrícola do país, está geolocalizada a partir das características físicas naturais. A localização das grandes, médias e pequenas propriedades rurais é em áreas com elevado potencial de produção, devido às suas condições físicas-naturais. Já a localização do segundo grupo, são áreas de baixo interesse dos grandes conglomerados agrícolas, isso devido às condições físicas-naturais. Cabe ressaltar que as reservas legais estão margeando os cursos d'água, recebendo um grande volume de água durante o período chuvoso, o que impacta nos resultados, pois, além da influência dos fatores supracitados, soma-se a influência dos fatores LS. Já os minifúndios estão localizados predominantemente na porção leste e principalmente no Nordeste, próximo ao nível de base do município. Essas características são opostas às tipologias e à lógica de produção do primeiro grupo.

## **2.7 Considerações Finais**

O modelo matemático de predição de perda de solo por meio da RUSLE nos anos de 1990, 1996, 2002, 2008, 2014 e 2020 permitiu aferir as resiliências do processo erosivo entre as tipologias analisadas (propriedades rurais seguindo a classificação sugerida pelo INCRA - minifúndios, pequenas, médias e grandes propriedades - e as reservas legais) obtidas pelo SICAR do município de São Desidério-BA. Na delimitação temporal analisada, foi verificada uma tendência crescente da perda de solo em todas as tipologias e em todas as variáveis analisadas, atingindo seu pico no último cenário. Apesar dos dados pluviométricos do ano de 2020 terem apresentado a maior quantidade entre os anos analisados, não se pode apontar essa condição como única responsável por esse ápice. Uma vez que as transformações da paisagem natural em detrimento da paisagem antropizada, em consequência da dinamicidade da produção do agronegócio no bioma Cerrado e, sobretudo, na área analisada, apontam para a mesma

tendência de aumento, sendo essa a principal causa do processo erosivo na delimitação espacial da pesquisa.

Desta forma, a utilização da RUSLE com esta escala de análise (propriedades rurais e reservas legais) não deve se limitar a São Desidério, mas é possível abranger todos os 337 municípios do MATOPIBA, uma vez que a fronteira agrícola é recente, o que permitirá análise de perda do solo em níveis de consolidação dessa metamorfose promovida por alterações socioambientais e socioeconômicas. Isso facilitaria a recondução de políticas públicas ambientais, visto que as reservas legais estão localizadas exatamente em áreas de pouco interesse do agronegócio, devido à sua incapacidade produtiva em larga escala, que impulsiona a perda de solo nestas áreas. Além de políticas públicas destinadas aos proprietários (as) dos minifúndios, com a finalidade de oferecer formação que trate da importância do solo e da sua preservação e cursos de práticas preservacionistas. Sendo assim, os reflexos na economia seriam nítidos, uma vez que esses minifúndios produzem para o mercado local.

Por fim, pode-se dizer que a produção agrícola do município de São Desidério é caracterizada pela produção em larga escala de *commodities*, principalmente grãos, para atender principalmente o mercado externo. Isso explica porque o município tem o maior PIB agrícola do Brasil (IBGE,2019). No entanto, a população urbana local não é alimentada diretamente com esses grãos, uma vez que parte da produção é destinada ao cultivo de algodão, principalmente nas propriedades próximas à cidade. De acordo com Pitta (2017), esse processo de internacionalização da produção agrícola, juntamente com as condições naturais como de relevo, solo e clima, influenciam na configuração espacial da estrutura fundiária dentro do município.

Consequentemente, contemplar esse processo em regiões do Bioma Cerrado com características similares proporciona uma melhor compreensão do ponto de vista socioambiental, socioeconômico e socioespacial. Assim sendo, urge a necessidade de estudo desta natureza metodológica nas antigas regiões de fronteiras agrícolas nacionais como é o caso da região Sudeste do Estado de Goiás. É possível compreender a dinâmica, fatos e alterações ambientais e socioeconômicas, a fim de ações preditivas não somente relativas à perda de solo.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação da Equação Universal de Perda de Solo Revisada (EUPS-R / RUSLE, no inglês) é amplamente feita para avaliar a variabilidade espaço temporal da perda de solos por erosão laminar em diversas escalas espaciais e temporais. Desta forma, os resultados obtidos da aplicação da RUSLE para a escala de propriedades rurais e reservas legais no município de São Desidério foi satisfatório, vista que foi identificado uma tendência de crescimento no intervalo temporal analisado, além de identificar semelhança entre as tipologias e compreender a existência de dois grupos com ritmos de crescimentos diferentes.

Ademais, a influência da estrutura fundiária está diretamente relacionada à perda de solo no município de São Desidério. Visto que essa a localização das tipologias é condicionada por fatores naturais, determinando o uso e manejo do solo. Assim, os resultados do volume total e a somatória por tipologia de cada cenário é fruto direto das dimensões e da espacialidade de cada tipologia. Além disso, a ação antrópica, através da transformação da paisagem natural para uma paisagem antropizada durante o intervalo temporal analisado, foi determinante nos resultados, sobretudo no último cenário. Foi nítido o avanço das práticas agrícolas sobre o Cerrado presente no município. Entretanto, cabe ressaltar que tais práticas é predominantemente voltadas para a produção de *commodities*, atendendo a uma demanda internacional. Assim, o abastecimento alimentício da população não é decorrente da elevada produção de grãos.

É válido ressaltar que a unidade de análise das propriedades rurais é pouco utilizada em trabalho científico e os dados primários disponíveis não são completos nem sempre compatíveis, podendo mesmo ter inconsistências topológicas, o que pode prejudicar e, até mesmo, inviabilizar a análise. Assim, análises locais não são muito difundidas. Corroborando com a análise realizada por Gomes (2019) do Bioma Cerrado, demonstram-se similaridades de valores encontrados nos dois artigos: no artigo do periurbano os anos são os mesmos e, no artigo do município, são anos próximos. E que os valores obtidos por Gomes (2019) estão em todos os cenários e em todas as tipologias, com valores médios das medianas ligeiramente mais elevados. Faz-se mister, portanto, pontuar que a análise realizada por Gomes (2019) é de escala do Bioma Cerrado; assim, seus dados primários estão em escala para tal, com nível de detalhamento, que perde precisão. Ratificando, a necessidade de dados primários adequados para essa escala foram alterados pelo MDE, pela base de dados pluviométrica e pelo refino do mapa de solo, que condicionou um resultado com maior precisão no segundo artigo.

Nesse contexto de necessidade de expansão da produção agrícola e de insegurança alimentar, é essencial não limitar essa análise escalar de perda do solo ao município de São Desidério. Mas expandir essa metodologia em todo MATOPIBA, devido ao fato de as metamorfoses scocioambientais e socioeconômicas estarem em curso na região nas últimas décadas, promovidas com auxílio de políticas públicas. Estas permitem uma internacionalização da produção agrícola com a inserção do meio técnico-científico informacional na produção agrícola, a fim de atender a uma demanda de produção de *commodities* voltada para o mercado externo, vide o expressivo crescimento da monocultura de soja, algodão, milho, café na região. Tais estudos auxiliaria na compreensão da dinâmica econômica da agropecuária no MATOPIBA.

O fenômeno observado em São Desidério e no MATOPIBA, já observado em outras regiões de fronteira do Bioma Cerrado, na porção sul, especialmente os Estados de Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, foi a grande fronteira agrícola nacional na segunda metade do século XX. Ademais, essa região foi alvo de alterações sistêmicas e significativas da ambientais que promoveram uma antropização da paisagem do Bioma. Para exemplificar tal fato, tem-se as regiões Sudoeste do Estado de Goiás, que já vivenciaram essa transformação. Conseqüentemente, contemplar esse processo em regiões do Bioma Cerrado, com características similares, proporciona uma melhor compreensão do ponto de vista socioeconômico e socioambiental.

## REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, John T. et al. **TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015**. Scientific data, v. 5, n. 1, p. 1-12, 2018.

AKASHI JUNIOR, José. **Modelagem multitemporal da estimativa de perda de solos e análise da eficiência do Programa Produtor de Água na bacia hidrográfica das nascentes do rio Araguaia-GO/MT**. 2020.

ALMEIDA, R. T. S. **COMPARAÇÃO ENTRE BASES DE DADOS PARA MAPEAMENTO E MODELAGEM EM BACIAS HIDROGRÁFICAS**. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Goiás. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. 2015.

ANDRADE, R. P. **The poor soil of the barn of the world: forestry development and fight against hunger in the Brazilian Amazon**. Estudos Históricos Rio de Janeiro, vol. 28, n. 56, p. 285-304. 2015.

ARAÚJO BEZERRA GAMPER, M.; ARAÚJO RAMOS DOS SANTOS, D.; FELIPE SOARES CHEREM, L. **Variabilidade espaço-temporal da perda de solos na área periurbana de São Desidério (BA) e suas relações com a estrutura fundiária e a consolidação do agronegócio no Cerrado Setentrional**. Ateliê Geográfico, Goiânia, v. 16, n. 3, p. 192–214, 2022. DOI: 10.5216/ag.v16i3.71510. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/ateliê/article/view/71510>. Acesso em: 2 jan. 2023.

BALDOTTO, Julielza Betzel; BUARQUE, Diogo Costa; DE OLIVEIRA, Ednaldo Miranda. **Levantamento da perda de solo e produção de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Santa Maria do Doce (Espírito Santo) por modelagem matemática**. Revista Brasileira de Meio Ambiente, v. 9, n. 3, 2021.

BERTONI, J. **Conservação do solo**. José Bertoni, Francisco Lombardi Neto. 7 ed. São Paulo: Ícone, 2010.

BOLFE, Édson L. *et al.* **MATOIPIBA em crescimento agrícola Aspectos territoriais e socioeconômicos**. Revista de Política Agrícola, v. 25, n. 4, p. 38-62, 2016.

BRAGHIROLI, T. L. P. **Implicações naturais e antrópicas responsáveis pelo desencadeamento de feições erosivas no Parque do Goiabal em Ituiutaba (MG)**. 2017. 171 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2017.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de Maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília. 2012.

BRASIL. **Lei n. 8.629, de 25 de Fevereiro de 1993.** Regulamenta e disciplina disposições relativas à reforma agrária. Brasília. 1993.

BUAINAIN, Antônio Marcio; Garcia, Junior Ruiz; Vieira Filho, José Eustáquio Ribeiro (2017): **Dinâmica da economia e da agropecuária no MATOPIBA**, Texto para Discussão, N. 2283, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), Brasília.

CARNEIRO, A.F.S.; FARIA, K.M.S.; ROSA, L.E. **Perda de solos em bacias hidrográficas da microrregião do Vão do Paranã–GO.** Boletim Geograia. Maringá, v39, a2021, e61356, p440-458.

CHORLEY, R. J.; HAGGETT, P. **Models, Paradigmes and The New Geography.** In: Physical and Information Models in Geography. CHORLEY, R. J. e HAGGETT, P. (Ed.), Londres: Methuen & Co., 1967.

CHRISTOFOLETTI. **Modelagem de sistemas ambientais.** 1 ed. São Paulo, 1999.

COLUSSI, Joana. **MATOPIBA: mudanças no uso da terra na nova fronteira agrícola do Brasil e impactos socioeconômicos.** 2017.

DE SOUZA BARBOSA, Arianne *et al.* **Principais fatores condicionantes da formação e implicações para uso de Cambissolos em São Desidério, Oeste da Bahia.** Revista Espinhaço, 2018.

DUTRE E SILVA, S.; DE JESUS BOAVENTURA, K.; PORFÍRIO JÚNIOR, E. D.; DE MELO E SILVA NETO, C. **A última fronteira agrícola do Brasil: o Matopiba e os desafios de proteção ambiental no Cerrado.** Estudios Rurales, [S. l.], v. 8, n. 15, 2022. DOI: 10.48160/22504001er15.395. Disponível em: <https://estudiosrurales.unq.edu.ar/index.php/ER/article/view/395>. Acesso em: 2 ene. 2023.

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação- FAO, 1996. **Declaração de Roma Sobre a Segurança Alimentar Mundial e Plano de Acção da Cimeira Mundial da Alimentação.** Disponível em: <<http://www.fao.org/3/w3613p/w3613p00.htm>>. Acesso em 15 jul. 2021.

FAO. FAO statistical yearbook 2013 world food and agriculture. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**, Romep. 307, 2013

FAO. Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação-FAO *et al.* **The State of Food Security and Nutrition in the World (SOFI):transforming food systems for affordable healthy diets.** 2020.

FERNANDES, N. F. **Modelagem em Geografia Física: Teoria, Potencialidades e Desafios.** Espaço Aberto, PPGG - UFRJ, V. 6, N.1, p. 209-247, 2016. ISSN 2237-3071.

FEARNSIDE, P. M. 2020. **Desmatamento na Amazônia brasileira: História, índices e consequências.** p. 7-19. In: Fearnside, P.M. (ed.) *Destruição e Conservação da Floresta Amazônica*, Vol. 1. Editora do INPA, Manaus, Amazonas. 368 p.

FONTANA, A; Teixeira WG, Balieiro FC, Moura TPA, Menezes AR, Ignez C. 2016. **Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região.** O Estado da Bahia. Pesquisa Agropecuária Brasileira51(9): 1457-1465.

GOMES, L.; SIMÕES, S.J.C; NORA, E.L.D; *et al.* **Agricultural Expansion in the Brazilian Cerrado: Increased Soil and Nutrient Losses and Decreased Agricultural Productivity.** Land. 2019.

GRAZIANO DA SILVA, J. G **Sobre a delimitação do rural e do urbano no Brasil: testando as aberturas geográficas das novas Pnads.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL: O público e o privado na agricultura brasileira, 35., Natal, RN, 1997. **Anais.** Brasília: SOBER, p.114-45, 1997

GRAZIANO DA SILVA, J. G. **O NOVO RURAL BRASILEIRO.** Campinas: Ed. Unicamp, 1999.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: Conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Betrand Brasil, 1999.

IBGE. Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. **Produção Agrícola Municipal 2020.** Rio de Janeiro: IBGE, 2020.

KEBEDE, Y.S; Endalamaw, N.T; Sinshaw, B.G.; *et al.* **Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia.** Elsevier. 2020.

LEFÉBRVE, H. **O direito à cidade.** São Paulo: Ed. Documentos, 1969.

LEPSCH, Igo F. **Formação e Conservação dos Solos/** Igo F. Lepsch. São Paulo: Oficina de textos,2002.

LIMA, A. M. **Avaliação da geodiversidade do município de Caiapônia - GO.** 2020. 136 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.

LIMA, Elaine Carvalho de. **MATOPIBA: desenvolvimento rural em uma nova fronteira agrícola.** 2020. 151 f. Tese (Doutorado em Economia) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020. DOI <http://doi.org/10.14393/ufu.te.2020.427>

LIMA, G.S.A de; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M. E. **Modelagem da perda superficial de solo para cenários de agricultura e pastagem na região metropolitana de Goiânia.** Revista Brasileira de Cartografia, vol. 70, n. 4, Out-Dez, 2018 pag. 1510-1536.

LOMBARDI NETO, F., MOLDENHAUER, W.C., **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas (SP).** Brangantia, Campinas, 51(2),1992, pp. 189-196.

MARCIAL, Carolina Sousa. **Fragmentação da paisagem nas últimas décadas na região do MATOPIBA.** 2020.

MATRICARDI, Eraldo Aparecido Trondoli et al. **Dinâmica no uso e cobertura da terra na região do MATOPIBA entre 2000 e 2016.** Nativa, v. 7, n. 5, p. 547-555, 2019.

MINAMI, Katsuyuki. **Soil and humanity: Culture, civilization, livelihood and health.** Soil science and plant nutrition, v. 55, n. 5, p. 603-615, 2009.

NEVES, Pedro Dias Mangolini. **Efeitos socioespaciais do agronegócio canavieiro no sul goiano.** 2019. 294 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

OLIVEIRA, Ariovaldo Umbelino. **A FRONTEIRA AMAZÔNICA MATO-GROSSENSE: Grilagem, Corrupção e Violência.** São Paulo: Iandé Editorial, 2016, 530 p. Inclui bibliografia. 1. Geografia Agrária 2. Agricultura Brasileira 3. Fronteira 4. Mato Grosso 5. Grilagem

OLIVEIRA, P. S.; MARQUIS, R. J.(Orgs.), **The Cerrados of Brazil: Ecology and Natural History of a Neotropical Savana.** Columbia University Press, New York, 69-88,2002.

PEREIRA, C.N.;Porcionato, G. L.;Castro, C. N. de; **Aspectos socioeconômicos da região do Matopiba.Repositório do conhecimento do IPEA.2018.** Disponível em: <<https://repositorio.ipea.gov.br/handle/11058/8462>>. Acesso em: 02 jan. 2023.

Pimentel ML. 2011. **Mudanças de uso da terra e expansão da agricultura no Oeste da Bahia.** Rio de Janeiro: Embrapa Solos. Disponível 06-11-2023 <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/964161/mudancas-de-uso-da-terra-e-expansao-da-agricultura-no-oeste-da-bahia#:~:text=Ap%C3%B3s%20a%20d%C3%A9cada%20de%201970,para%20a%20exporta%C3%A7%C3%A3o%20C%20contraposta%20%C3%A0s>>.

PITTA, Fábio Teixeira; MENDONÇA, Maria Luisa; BOECHAT, Cássio Arruda. **A produção do espaço na região do MATOPIBA: violência, transnacionais imobiliárias agrícolas e capital fictício.** *Estudos Internacionais: revista de relações internacionais da PUC Minas*, v. 5, n. 2, p. 155-179, 2017.

PÔSSAS, I. B. **A efetividade do Refúgio de Vida Silvestre Veredas do Oeste Baiano frente ao avanço da fronteira agrícola MATOPIBA.** 2017. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2017.

PRUSKI, F.F. **Fatores que interferem na erosão hídrica do solo.** In: PRUSKI, F.F., ed. **Conservação de solo e água: Práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica.** 2.ed. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 2009a. p.41-74.

RENARD, K.G.; FOSTER, G.R.; WEESIES, G.A.; McCOOL D. K.; YODER, D. C. (Coord.). **Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).** U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, n. 703, 1997, 404 p.

ROSA, Lucas Espíndola. **Modelagem de perda de solos: correlação entre modelos matemáticos e isótopos cosmogênicos.** II Jornada de Integração do IESA e XXIV Seminário Interno da Pós-Graduação em Geografia, p. 70.

SANTOS, M. **A urbanização Brasileira.** 3 ed., São Paulo: Hucitec, 1996.

SATELES, Taynara Souza *et al.* **Uso de imagens de satélite na quantificação temporal das áreas ocupadas por pivô central em São Desidério-BA.**

SILVA, Elaine Eluizy Ribeiro *et al.* **Modelagem de perda de solo por erosão laminar em cenários pré e pós cadastro ambiental rural no município de Mineiros-GO.** 2021.

SILVA, L. S. **Mato Grosso: celeiro do mundo. Um estudo sobre as relações de poder e as implicações nas políticas públicas.** Tese (Doutorado em Sociologia). Universidade Federal de São Carlos, UFSCAR, Brasil. 2020

SPAGNOLO, Thiago Felipe de Oliveira. **Análise da dinâmica espacial da expansão agrícola no Oeste Baiano entre 1984 e 2008: estudo de caso do Município de São Desidério-BA.** 2011.

TEIXEIRA GUERRA, SILVA, A. S. da S, BOTELHO, G. M. (Org). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999.

TEIXEIRA, M. A.; LAGES, V. N. **Transformações no espaço rural e a geografia Rural: ideias para discussão.** Geografia. São Paulo, v. 14, p.9-33, 1997.

TRINDADE, S. P. **Aptidão agrícola, mudanças de usos dos solos, conflitos e impactos diretos e indiretos da expansão da cana-de-açúcar na região sudoeste goiano. 2015.** 187 f. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

VALE, A. R. **Expansão urbana e plurifuncionalidade no espaço periurbano do município de Araraquara (SP).** Tese (doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro: [s.n.], 2005.

VIEIRA, B. C.; MARTINS, T. D. **Modelos em geografia física: conceitos e aplicações na previsão de escorregamentos.** Geosp – Espaço e Tempo (Online), v. 20, n. 1, p. 194-206, mês. 2016. ISSN 2179-0892.

WISCHEMEIER, W.H. & SMITH. D.D. **Predicting a rainfall erosion losses – a guide to conservation planning.** (Agricultural Hándbook no 573). Washington: USDA/ARS, 1978. 58 p.