



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

HERMILIANO FELIPE DECCO

**MODELAGEM E DISTRIBUIÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL
DE PROCESSOS EROSIVOS EM SOLOS FORMADOS DE
ARENITO E BASALTO NO PARANÁ – BR.**

Londrina
2021

HERMILIANO FELIPE DECCO

**MODELAGEM E DISTRIBUIÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL
DE PROCESSOS EROSIVOS EM SOLOS FORMADOS DE
ARENITO E BASALTO NO PARANÁ – BR.**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do Título de DOUTOR em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame

Londrina
2021

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

D291m Decco, Hermiliano Felipe.

Modelagem e distribuição espacial e temporal de processos erosivos em solos formados de arenito e basalto no Paraná - BR. / Hermiliano Felipe Decco. - Londrina, 2021.
119 f. : il.

Orientador: Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame.

Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2021.
Inclui bibliografia.

1. erosão - Tese. 2. formações geológicas - Tese. 3. RUSLE - Tese. 4. NDVI - Tese. I. Vendrame, Pedro Rodolfo Siqueira. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título.

CDU 91

HERMILIANO FELIPE DECCO

**MODELAGEM E DISTRIBUIÇÕES ESPACIAL E TEMPORAL
DE PROCESSOS EROSIVOS EM SOLOS FORMADOS DE
ARENITO E BASALTO NO PARANÁ – BR.**

Tese de doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para a obtenção do Título de DOUTOR em Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira
Vendrame
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Profa. Dra. Isabel Cristina Moroz-Caccia Gouveia
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul -
UFMS

Prof. Dr Luciano Nardini Gomes
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 2 de julho de 2021.

Dedico este trabalho aos meus pais Jorge e Fátima, avós Idalina (*in memoriam*) e Astrogilda (*in memoriam*) e avô Antônio (*in memoriam*), meus irmãos Elias e Hernani, sobrinho Maurício e a todos que acreditam na ciência.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Universidade Estadual de Londrina, principalmente, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia do Centro de Ciências Exatas pelo trabalho sério e digno de uma universidade em tempos adversos.

À Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, pela concessão do afastamento remunerado para a minha qualificação profissional, na qual espero estar contribuindo com os conhecimentos que adquiri neste período.

Ao meu orientador Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame pelo auxílio e conhecimento repassado para o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos professores do Departamento de Geociências do CCE/UEL, que contribuíram na transmissão de seus conhecimentos mediante as disciplinas, além das intervenções em laboratório, nas quais não se furtaram a repassar técnicas e procedimentos, especialmente aos professores Dr. José Paulo Peccinini Pinese e Dr. Luciano Nardini Gomes.

Ao curso de Graduação e Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, *campus* de Três Lagoas, pela minha formação acadêmica anterior, onde comecei a trilhar o conhecimento geográfico. Especialmente, aos professores Dr. Arnaldo Yoso Sakamoto, Dr. Francisco Avelino Júnior (China), Dra. Luiza Luciana Salvi e Dr. Wallace de Oliveira que tanto contribuíram nesta trilha, além dos conhecimentos de vida.

Aos atuais professores e amigos do curso de Graduação e Pós-Graduação em Geografia da UFMS/CPTL, Dr. Frederico dos Santos Gradella, Dr. Mauro Henrique Soares da Silva, Dr. Thiago Araújo Santos e Dr. Vitor Matheus Bacani e ao técnico Dr. Cesar Cardoso Ferreira, que me incentivaram e prestaram todo o auxílio durante este período de afastamento junto ao curso.

Ao Prof. Me. Paulo Cesar Waltrick, por ceder o banco de dados de erosividade do estado do Paraná, e ao pesquisador do Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), João Henrique Caviglione (*in memorian*), pela disponibilidade dos dados de solos do município de Bela Vista do Paraíso (PR).

A Profa. Dra. Keila Roberta Ferreira de Oliveira e ao Prof. Dr. Edwaldo Henrique Barbosa Bazana pela essencial ajuda com as análises estatísticas desenvolvidas na pesquisa, além do companheirismo de longa data.

Ao Prof. Dr. Cesar Gustavo da Rocha Lima pelas inúmeras discussões sobre a erodibilidade dos solos.

Aos servidores públicos tanto da UEL como da UFMS, que, em tempos de ataques às

instituições públicas de ensino, mantêm-se aguerridos na luta contra um obscurantismo bossal.

Às amizades que a vida nos concede para que se torne mais leve, não podendo deixar de citar Beatrice, Josilene, Marine, Mariane Sakuma, Suzane e, principalmente, ao Glauber (vulgo Polar) por estar ao meu lado em Londrina, nesta aventura de querer passar o portal do doutorado.

As amizades que a estadia em Londrina me proporcionou: Rosana, Jaqueline, Vinicius (Rasta), Diego, Wiliam, Guilherme, Marcos (Marquinho), Mariele, Fabiana (Fabi), etc.

Já aproveito, aqui, para pedir as minhas mais sinceras desculpas pela falta de inúmeros nomes, mas são tantas lembranças misturadas com poeiras de solos que irei me resguardar para não cometer mais injustiças.

Aos “demonhos” de laboratório que me auxiliam a compreender como orientar não é somente um trabalho acadêmico, mas sim uma orientação para vida, na qual, muitas vezes, aprendemos mais do que ensinamos.

Ao meu padrinho Maurício e minha tia Sônia, que no início desta trajetória tanto me incentivaram.

Aos meus familiares que, algumas vezes, já me escutaram dizer das agruras de ser cientista em tempos de *fake news* de *WhatsApp*.

“Só quando a última árvore for derrubada, o último peixe for morto e o último rio for poluído é que o homem perceberá que não pode comer dinheiro.”

(Provérbio indígena)

DECCO, Hermiliano Felipe. **Modelagem e distribuição espacial e temporal de processos erosivos em solos formados de arenito e basalto no Paraná - BR**. 2021. 119 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2021.

RESUMO

Processos erosivos são eventos naturais, porém podem ser acelerados pelo uso incorreto do solo na produção agrícola. Nessa perspectiva, a utilização de modelos preditivos e georreferenciados para quantificar e classificar a suscetibilidade erosiva vem se tornando uma importante ferramenta na compreensão dos processos e, conseqüentemente, no planejamento do uso adequado dos solos. A região norte paranaense é caracterizada pela grande predisposição ao cultivo de lavouras temporárias, destacando-se o município de Bela Vista do Paraíso que apresenta como substratos geológicos predominantes rochas eruptivas basálticas, pertencentes à Formação Serra Geral (JKsg) e rochas areníticas da Formação Adamantina (Ka), sendo estas a gênese de material para os solos encontrados no município. Desta forma a presente tese demonstra em três estudos, onde a erosividade dos solos de diferentes litologias é avaliada, a utilização do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) mensal e posterior conversão para o fator C_r e a utilização do modelo preditivo da Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE – *Revised Universal Soil Loss Equation*), em análises mensais, para a estimativa de perda e degradação dos solos na área de estudo. No primeiro estudo estimou-se o fator de erodibilidade dos solos (fator K) a partir da metodologia de Boyoucos (1935), identificando que solos formados em rochas areníticas se encontram em classes alta a muito alta de erodibilidade, enquanto os formados em rochas basálticas têm valores menores devido ao incremento substancial de argila nos horizontes superficiais. Também se constatou que a metodologia poderia apresentar uma subestimação dos valores, acarretando uma análise inconsistente das classes de erodibilidade. No segundo estudo objetivou-se estabelecer as classes de uso e manejo dos solos e práticas conservacionistas de caráter mensal, utilizando-se o cálculo NDVI, proposto por Rouse *et al.* (1973), com imagens do satélite Sentinel-2. Posteriormente, houve uma conversão para o fator C_r , proposto por Durigon *et al.* (2014), para que não apresentassem valores negativos e apontassem valores mais próximos da realidade da cobertura vegetal da região dos trópicos. Foram identificadas três fases distintas quanto aos seus usos: sendo uma fase de pousio, em que o solo se encontra com baixo índice de cobertura vegetal ou até mesmo nula; uma fase intermediária, com propriedades já em cultivo e outras ainda em pousio; e uma fase de cultivo intensivo das lavouras temporárias, demonstrando, assim, que a técnica responde positivamente para a análise do calendário agrícola. Como última etapa da presente tese, para consecução da RUSLE mensal para o município, empregou-se o *plugin* GISus-M, no *software* ArcGIS. Nesta etapa, o fator C_r foi utilizado para ponderar os fatores C e P, contribuindo assim para a compreensão do modelo com as três fases distintas de usos, além de indicar a associação do fator LS com a erodibilidade dos solos. Sendo que no mês de janeiro de 2018 apresentou a maior perda de solos com 194,201 ton/ha/mês, porém em uma área de somente 0,022 km² e o menor valor de perda ocorreu no mês de agosto de 2018 com o valor de 36,081 ton/ha/mês. Com isso, o trabalho demonstrou-se relevante para a compreensão da dinâmica das lavouras temporárias para a modelagem preditiva da RUSLE, além de que a utilização do NDVI auxiliou no mapeamento de forma ágil com respostas precisas em um período mais curto de análise.

Palavras-chave: erosão; formações geológicas; RUSLE; NDVI.

DECCO, Hermiliano Felipe. **Modeling and spatial and temporal distribution of erosive processes in sandstone and basalt soils in Paraná - BR.** 2021. 119 p. Thesis (Doctorate in Geography) – State University of Londrina, Londrina, 2021.

ABSTRACT

Erosive processes are natural events, but they can be accelerated by incorrect use of the soil in agricultural production. From this perspective, the use of predictive and georeferenced models to quantify and classify erosive susceptibility has become an important tool in understanding the processes and, consequently, in planning the proper use of land. The northern region of Paraná is characterized by the great predisposition to the cultivation of temporary crops, highlighting the municipality of Bela Vista do Paraíso, which presents as predominant geological substrates basaltic eruptive rocks, belonging to the Serra Geral Formation (JKsg) and sandstone rocks from the Adamantina Formation (Ka), these being the genesis of material for the soils found in the municipality. Thus, this thesis demonstrates in three studies, where the erosivity of soils from different lithologies is evaluated, the use of the monthly NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and subsequent conversion to the Cr factor and the use of the predictive model of the Universal Equation of Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), in monthly analyses, to estimate the loss and degradation of soils in the study area. In the first study, the soil erodibility factor (K factor) was estimated using the methodology of Boyoucos (1935), identifying that soils formed in sandstone rocks are in high to very high erodibility classes, while those formed in basaltic rocks have lower values due to the substantial increment of clay in the superficial horizons. It was also found that the methodology could present an underestimation of values, leading to an inconsistent analysis of the erodibility classes. The second study aimed to establish the classes of use and management of soils and monthly conservation practices, using the NDVI calculation, proposed by Rouse et al. (1973), with images from the Sentinel-2 satellite. Subsequently, there was a conversion to the Cr factor, proposed by Durigon et al. (2014), so that they did not present negative values and pointed out values closer to the reality of vegetation cover in the region of the tropics. Three distinct phases were identified regarding their uses: being a fallow phase, in which the soil has a low level of vegetation cover or even zero; an intermediate phase, with properties already under cultivation and others still fallow; and a phase of intensive cultivation of temporary crops, thus demonstrating that the technique responds positively to the analysis of the agricultural calendar. As the last step of this thesis, to achieve the monthly RUSLE for the city, the GISus-M plugin was used, in ArcGIS software. At this stage, the Cr factor was used to weight the C and P factors, thus contributing to the understanding of the model with the three distinct phases of uses, in addition to indicating the association of the LS factor with soil erodibility. In January 2018 it had the greatest loss of soil with 194,201 ton/ha/month, but in an area of only 0.022 km² and the lowest loss value occurred in August 2018 with the value of 36.081 ton/ ha/month. Thus, the work proved to be relevant for understanding the dynamics of temporary crops for predictive modeling of RUSLE, in addition to the use of NDVI assisted in mapping quickly with accurate responses in a shorter period of analysis.

Keywords: erosion; geological formations; RUSLE; NDVI.

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------------------|---|----|
| Figura 4.1.: | Localização do município de Bela Vista do Paraíso (PR). | 30 |
| Figura 4.2.: | Compartimentos Geomorfológicos em Bela Vista do Paraíso (PR). | 31 |
| Figura 4.3.: | Litologia do município de Bela Vista do Paraíso (PR). | 32 |
| Figura 4.4.: | Levantamento de solos realizado por Gomes et al. (2011). | 33 |
| Figura 4.5.: | Pontos de coleta para amostragem. | 35 |
| Figura 4.6.: | PC1 a) foto do perfil completo; b) horizonte Ap; c) horizonte AB; d) horizontes Bi e Bi/Cr; e) horizonte Cr. | 40 |
| Figura 4.7.: | Perfis de coleta dos pontos PC2 e PC3. | 41 |
| Figura 4.8.: | Estrada Rural com destaque para a remoção de forma antrópica do horizonte A e então, um possível Antropossolo Decapítoco. | 42 |
| Figura 4.9.: | Perfis de coleta dos pontos PC4 e PC5. | 43 |
| Figura 5.1.: | Localização do município de Bela Vista do Paraíso (PR). | 53 |
| Figura 5.2.: | Fator Cr utilizando o NDVI (15/10/2017). | 58 |
| Figura 5.3.: | Fator Cr utilizando o NDVI (24/11/2017). | 59 |
| Figura 5.4.: | Fator Cr utilizando o NDVI (19/12/2017). | 60 |
| Figura 5.5.: | Fator Cr utilizando o NDVI (23/01/2018). | 61 |
| Figura 5.6.: | Fator Cr utilizando o NDVI (07/02/2018). | 62 |
| Figura 5.7.: | Fator Cr utilizando o NDVI (24/03/2018). | 63 |
| Figura 5.8.: | Fator Cr utilizando o NDVI (28/04/2018). | 64 |
| Figura 5.9.: | Fator Cr utilizando o NDVI (28/05/2018). | 65 |
| Figura 5.10.: | Fator Cr utilizando o NDVI (22/06/2018). | 66 |
| Figura 5.11.: | Fator Cr utilizando o NDVI (27/07/2018). | 67 |
| Figura 5.12.: | Fator Cr utilizando o NDVI (26/08/2018). | 68 |
| Figura 5.13.: | Fator Cr utilizando o NDVI (10/09/2018). | 69 |
| Figura 5.14.: | Índice pluviométrico da normal climatológica (1981-2010) da estação automática do INMET em Londrina (PR). | 71 |
| Figura 5.15.: | Dendograma dos agrupamentos. | 74 |
| Figura 6.1.: | Localização do município de Bela Vista do Paraíso-PR. | 80 |
| Figura 6.2.: | Mapeamento das classes de solos até o 2º nível categórico, segundo Gomes et al. (2011). | 82 |
| Figura 6.3.: | Etapas realizadas no procedimento metodológico. | 87 |

| | | |
|----------------------|--|-----|
| Figura 6.4.: | Resultado da RUSLE (15/10/2017). | 90 |
| Figura 6.5.: | Resultado da RUSLE (24/11/2017). | 91 |
| Figura 6.6.: | Resultado da RUSLE (19/12/2017). | 92 |
| Figura 6.7.: | Resultado da RUSLE (23/1/2018). | 93 |
| Figura 6.8.: | Resultado da RUSLE (7/2/2018). | 94 |
| Figura 6.9.: | Resultado da RUSLE (24/3/2018). | 95 |
| Figura 6.10.: | Resultado da RUSLE (28/4/2018). | 96 |
| Figura 6.11.: | Resultado da RUSLE (28/5/2018). | 97 |
| Figura 6.12.: | Resultado da RUSLE (23/6/2018). | 98 |
| Figura 6.13.: | Resultado da RUSLE (27/7/2018). | 99 |
| Figura 6.14.: | Resultado da RUSLE (26/8/2018). | 100 |
| Figura 6.15.: | Resultado da RUSLE (10/9/2018). | 101 |
| Figura 6.16.: | Pluviosidade histórica mensal associada à erosividade da chuva (Fator R)..... | 103 |
| Figura 6.17.: | Dendograma dos agrupamentos..... | 109 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|---------------------|---|-----|
| Tabela 4.1.: | Classes de Erodibilidade segundo Castro et al. (2011)..... | 36 |
| Tabela 4.2.: | Características morfológicas dos pontos de coleta ao longo da estrada vicinal que interliga Bela Vista do Paraíso a Indiana. | 37 |
| Tabela 4.3.: | Localização, classes, horizontes, profundidades de coleta e granulometria dos solos coletados por Gomes et al. (2011). | 44 |
| Tabela 4.4.: | Determinação dos valores de erodibilidade. | 45 |
| Tabela 5.1.: | Quantificação mensal da área em km ² do Fator Cr segundo as classes de Carvalho et al. (2014)..... | 72 |
| Tabela 6.1.: | Valor mensal da Erosividade da chuva do município de Bela Vista do Paraíso, PR (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹). | 81 |
| Tabela 6.2.: | Valores do fator K para os solos do município de Bela Vista do Paraíso (PR). | 82 |
| Tabela 6.3.: | Intervalo de perda de solos proposta por Beskow et al. (2009). | 88 |
| Tabela 6.4.: | Área em km ² da perda de solos utilizando os intervalos de Beskow et al. (2009). | 102 |
| Tabela 6.5.: | Área das classes de declividade para Bela Vista do Paraíso, PR (EMBRAPA, 1979)..... | 104 |
| Tabela 6.6.: | Intervalo de perda de solos (BESKOW et. al. 2009) para as diferentes classes de solos. | 104 |
| Tabela 6.7.: | Matriz de correlação de Spearman..... | 108 |

SUMÁRIO

| | | |
|-----------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 15 |
| 2. | OBJETIVOS | 16 |
| 3. | REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO | 16 |
| 3.1. | GEOGRAFIA(S) | 16 |
| 3.1.1. | O Espaço Como Objeto Da Geografia | 19 |
| 3.1.2. | A Paisagem Como Uma Cartegoria De Análise | 20 |
| 3.2. | GEOGRAFIA E SUAS TECNOLOGIAS | 23 |
| 3.3. | SOLOS E GEOGRAFIA | 24 |
| 3.3.1. | Modelos Preditivos De Erosão | 25 |
| 4. | ARTIGO I | 28 |
| 4.1. | INTRODUÇÃO | 28 |
| 4.2. | MATERIAL E MÉTODOS | 29 |
| 4.3. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 36 |
| 4.4. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 46 |
| | REFERÊNCIAS | 47 |
| 5. | ARTIGO II | 51 |
| 5.1. | INTRODUÇÃO | 51 |
| 5.2. | MATERIAIS E MÉTODOS | 53 |
| 5.3. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 56 |
| 5.3.1. | Análise Visual do Fator Cr | 56 |
| 5.3.2. | Análise Estatística do Fator Cr | 71 |
| 5.4. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 75 |
| | REFERÊNCIAS | 75 |
| 6. | ARTIGO III | 78 |
| 6.1. | INTRODUÇÃO | 78 |
| 6.2. | MATERIAIS E MÉTODO | 79 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 6.2.1. | Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE)..... | 80 |
| 6.2.1.1. | Erosividade das chuvas (Fator R) | 81 |
| 6.2.1.2. | Erodibilidade dos solos (Fator K) | 81 |
| 6.2.1.3. | Comprimento e declividade das vertentes (Fator LS)..... | 83 |
| 6.2.1.4. | Uso e manejo dos solos (Fator C) e práticas conservacionistas (Fator P) | 84 |
| 6.2.2. | Utilização da Ferramenta GISus-M | 86 |
| 6.2.3. | Análise Estatística dos Dados | 88 |
| 6.3. | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 88 |
| 6.4. | CONSIDERAÇÕES FINAIS | 110 |
| | REFERÊNCIAS | 110 |
| | CONCLUSÃO | 115 |
| | REFERÊNCIAS | 115 |

1. INTRODUÇÃO

Processos erosivos são ameaças globais para a sustentabilidade e a produtividade dos solos. A compreensão da sua gênese e a distribuição espacial destes processos são chaves centrais para o planejamento e gestão ambientais, pois permitem modelar, quantificar e classificar a susceptibilidade do solo à erosão (FERNANDEZ *et al.*, 2016).

A degradação dos solos por processos erosivos é um dos principais problemas apresentados em áreas de produção agrícola no Brasil. Observamos que este fenômeno ocorre de forma natural, porém cada vez mais é acelerado pelo uso incorreto dos solos, gerando a perda da capacidade produtiva e diminuição das áreas de plantio (SOUZA; GASPARETTO, 2012).

Com o advento da utilização de técnicas matemáticas pela ciência geográfica na espacialização dos fenômenos, tornou-se possível a produção de modelos preditivos em diversas áreas.

Os modelos matemáticos de simulação de predição de erosão auxiliam nas práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação (CHAVES, 1996; CUNHA, 2015). Destacando-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida a partir de 1950 por Wischmeier e Smith (1978). Visando melhorá-la, esta equação, ela foi revisada, na qual se manteve a estrutura da USLE, porém as formas de determinação dos fatores (fator topográfico e uso e manejo do solo) mudaram, denominando-se, assim, de Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE – *Revised Universal Soil Loss Equation*) (RENARD *et al.*, 1997).

A região Norte Central do estado do Paraná (IBGE, 2010) apresenta grande capacidade de produção agrícola. Devido a isso, o estudo de processos erosivos se faz importante, sendo que estimar e modelar os processos erosivos da região pode corroborar na melhor utilização dos solos para a produção agrícola local e, conseqüentemente, na sua conservação.

A região apresenta solos altamente produtivos, sendo de formação basáltica, advindos de derramamentos resultantes de vulcanismo (STIPP, 2000) e solos de formação arenítica da bacia sedimentar do Paraná (MAACK, 1968; SANTOS *et al.* 2006; SOUZA; GASPARETTO, 2012).

Assim, há a necessidade de estudos mais aprimorados sobre as diferenças de comportamento dos fatores da RUSLE, nos quais as análises em caráter mensal deste modelo podem auxiliar na melhor compreensão dos processos erosivos laminares no

município de Bela Vista do Paraíso (PR), que têm predomínio do uso do solo de lavouras temporárias, onde a observação mensal com valores obtidos pelo NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) podem auxiliar no melhor manejo e conservação do solo.

Afim da melhor a compreensão da problemática proposta em estudos de processos erosivos em solos desenvolvidos de arenito da Formação Adamantina (Ka) e da Formação Serra Geral (JKsg), a presente tese foi dividida em três estudos aqui dispostos para a melhor organização e compreensão dos objetivos propostos:

O artigo 1 propõe o estudo da erosividade dos solos encontrados no município de Bela Vista do Paraíso, Estado do Paraná, onde temos solos desenvolvidos em litologias de Arenito e Basalto.

No artigo 2 é apresentada a análise do NDVI mensal das imagens Sentinel-2B, onde estas foram reclassificadas para o Fator C_r com a metodologia proposta por Durigon *et al.* (2014).

Para finalizar, no artigo 3 é aplicada a Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE) com a utilização dos valores do Fator C_r obtidos no artigo 2.

2. OBJETIVOS

A presente tese tem como objetivo principal diagnosticar a distribuição espacial e temporal dos processos erosivos laminares por meio da equação da RUSLE utilizando-se o NDVI para obtenção dos valores em seus fatores C (uso e manejo dos solos) e P (práticas conservacionistas), no município de Bela Vista do Paraíso.

2.1. Objetivos Específicos

- Identificar a erosividade dos solos desenvolvidos de basalto e arenito presentes no município;
- Avaliar a viabilidade de mapeamentos de uso e manejo do solo utilizando-se o índice NDVI de forma mensal;
- Aplicar a Equação Universal de Perdas de Solos Revisada (RUSLE).

3. REFERENCIAL TEÓRICO-METODOLÓGICO

3.1. Geografia(s)

Dentre todas as ciências, acredita-se que a Geografia tem em seu objeto de estudo algo complexo, pois analisar o espaço não é algo tão simplório. Mas a que se deve está dificuldade?

A Geografia, ao se propor a estudar e compreender o espaço, busca a síntese da relação entre o **homem** e a **natureza**, de forma que estes agentes venham a serem estudados de forma conjunta. Quando os desassociamos, têm-se uma problemática: o que estamos discutindo é de fato Geografia ou somente uma compartimentação desta, assim não compreendendo o todo, ou seja, o espaço.

Gonçalves (1978), ao analisar a crise da Geografia, apresenta como ponto factual que no “[...] momento que os homens se organizam socialmente não é mais possível fazer-se uma rígida separação entre a História da Natureza e a História da Sociedade” (GONÇALVES, 1978, p. 25). Tendo como base está breve reflexão, devemos lembrar que o espaço é uno e, portando, indissociável.

Corrêa (1995) afirma, assim, que o ambiente geográfico é formado pela natureza e o espaço socialmente produzido, o qual a sociedade está inserida. Nessa perspectiva, Suertegaray (2001) expõe esta problemática da Geografia, desde a sua origem, apresentando este paradoxo da compartimentação entre homem e natureza e sua consequente divisão entre áreas físicas e humanas.

Partimos então da seguinte consideração: a Geografia como área de conhecimento sempre expressou (desde sua autonomia) sua preocupação com a busca da compreensão da relação do homem com o meio (entendido como entorno natural). Neste sentido ela se diferenciou e se contrapôs as demais ciências, que por força de seus objetos e das classificações, foram individualizadas em Ciências Naturais e Sociais. Este paradoxo acompanha a Geografia, ainda que hoje possa ser seu privilégio. Constitui um paradoxo, porque, na medida em que na modernidade se expandiu a racionalidade e se constituiu a ciência moderna, o caminho foi a disjunção, a separação, a compartimentação dos conhecimentos; a divisão entre as ciências naturais e as ciências sociais (SUERTEGARAY, 2001, p. 79).

Portando, a que se deve esta problemática?

Deve-se a uma compartimentação entre Geografia Física e Geografia Humana (SUERTEGARAY, 2003), que se fez e faz para um estudo/análise de um objeto de forma mais particular, no qual as relações para a compreensão do todo não se faz mais tão importante.

Santos (1988), ao explicar a filosofia das técnicas, exalta que a natureza ao ser humanizada deixa de ser física, tornando-se social e por que isto se deve? Verifica-se que as técnicas utilizadas pelo homem para as alterações da natureza são de cunho social (econômicas e políticas) com vistas aos modos de produção, tanto para a modificação de uma natureza virgem como por uma já modificada pelas antigas gerações.

Mendonça (2001), ao relatar a discussão dicotômica entre Geografia Física x Geografia Humana, ressalta a importância da unicidade do conhecimento geográfico pela interação entre diversos elementos e fatores que compõe o objeto de seu estudo. No caso da Geografia em si, tratando-se do espaço.

Suertegaray (2001) demonstra a importância do objeto da Geografia, o **espaço**, como um objeto que faz a ligação entre a natureza e a sociedade, as ciências naturais e as ciências sociais. Neste sentido, Moraes (2003), ao apresentar a formação epistemológica do pensamento geográfico no seu livro *Geografia: pequena história crítica*, corrobora essencialmente acerca da unicidade dos fenômenos naturais e humanos.

Veyret (1999) demonstra o quanto é importante ao profissional geógrafo esta interdependência entre natureza e homem ao descrever o objeto de estudo da Geografia.

De fato para um geógrafo, a noção de meio ambiente não recobre somente a natureza, ainda menos a fauna e a flora somente. Este termo designa as relações de interdependência que existem entre o homem, as sociedades e os componentes físicos, químicos, bióticos do meio e integra também seus aspectos econômicos, sociais e culturais. (VEYRET, 1999, p. 6 traduzido por MENDONÇA, 2001, p. 117).

Nunes *et al.* (2006) tece comentários sobre o profissional geógrafo para que exerça sua profissão, tanto com a temática ambiental quanto social, com o dever de **compreender, explicar e discutir** os processos de construção e modificação do espaço, principalmente por sua formação acadêmica ampla.

Estes deveres do profissional geógrafo se fazem necessários na sua capacidade argumentativa de compreender o espaço que o cerca, haja vista a gama de disciplinas teóricas e técnicas durante a graduação.

Observa-se na Geografia uma grande complexidade de se lidar com todo este arcabouço teórico, mas deveria romper este paradigma ao ter como seu principal objeto de estudo o espaço geográfico, o qual possui diversos agentes que se relacionam, interagem e, conseqüentemente, o modificam a todo o instante.

Portanto, por mais que haja compartimentações dentro da Geografia entre

disciplinas físicas e humanas, devemos sempre nos recordar que a Geografia é uma e compreender as interações e as relações naturais e sociais.

3.1.1. O espaço como objeto da Geografia

Braga (2007), ao realizar um levantamento bibliográfico sobre a definição de espaço, tem como uma de suas conclusões que o espaço geográfico é o resultado final das relações socioespaciais e suas interações.

Santos (1978), ao definir o conceito de espaço para a Geografia, demonstra a importância da totalidade nos estudos, ao considerar as escalas espacial e temporal, pois o espaço expressa todas as relações da sociedade e também da própria natureza, com incorporações durante o tempo pretérito, atual e de um possível cenário futuro.

O espaço deve ser considerado como uma totalidade, a exemplo da própria sociedade que lhe dá vida (...) o espaço deve ser considerado como um conjunto de funções e formas que se apresentam por processos do passado e do presente (...) o espaço se define como um conjunto de formas representativas de relações sociais do passado e do presente e por uma estrutura representada por relações sociais que se manifestam através de processos e funções (SANTOS, 1978, p. 122).

Santos (1997) ao conceituar suas afirmações sobre a natureza do espaço geográfico demonstra que o mesmo é indissociável, complementar e contraditório dos objetos e das ações.

é formado por um conjunto indissociável, solidário e também contraditório, de sistemas de objetos e sistemas de ações, não considerados isoladamente, mas como um quadro único na qual a história se dá. No começo era a natureza selvagem, formada por objetos naturais, que ao longo da história vão sendo substituídos por objetos fabricados, objetos técnicos, mecanizados e, depois cibernéticos fazendo com que a natureza artificial tenda a funcionar como uma máquina. (SANTOS, 1997, p. 51).

Sorre (1968) salienta que o espaço geográfico não somente não se define pelas suas dimensões geométricas, mas sim pela possibilidade de existência que este nos oferece.

Suertegaray (2003) também corrobora com esta discussão ao afirmar que o espaço geográfico pode ser definido da seguinte forma:

o espaço geográfico pode ser lido através do conceito de paisagem e ou território, e ou lugar, e ou ambiente, sem desconhecermos que cada uma dessas dimensões está contida em todas as demais. Paisagens contêm territórios que contêm lugares que contêm ambientes valendo, para cada um, todas as conexões possíveis. (SUERTEGARAY, 2003, p. 49).

O espaço não é estático, pois reflete processos produtivos de hoje e outrora (SANTOS, 1988). Portanto, ao se analisar o espaço de hoje, sempre devemos levar em consideração o seu passado e o seu possível futuro. Esta análise é a chave para compreender como nossa sociedade é refletida no espaço.

Assim, é demonstrada a importância dos diversos conceitos de espaço, para que a ciência geográfica tenha unicidade e a relação homem *versus* natureza continue a balizar os estudos na área. Por mais que se tenham diversas definições, essas se alinham e fundamentam a conceituação do principal objeto de estudo da Geografia, o **espaço geográfico**.

3.1.2. A paisagem como uma categoria de análise

A Geografia tem quatro categorias de análise para balizar seus estudos do espaço, sendo estes: paisagem, território, região e lugar.

Suertegaray (2001) utiliza o conceito de paisagem na definição do espaço geográfico, demonstrando a relevância deste, pois é imensamente utilizado ao se descrever ambientes, nos quais o geógrafo compreende a união dos estudos entre o homem e a natureza.

Este conceito é mais antigo que a ciência geográfica em si, porém foi utilizado de uma forma não acadêmica, como podemos ver em gravuras de diversos pintores ao retratarem a natureza, no qual Passos (2000) relata que, inicialmente, o termo paisagem estava implicado a uma visão romântica-naturalista e, no século XX, passa a ter um caráter científico.

Bertrand (2004) discute a indissociabilidade entre o homem e a natureza para que estes evoluam em sua conceituação de paisagem.

a paisagem não é a simples adição de elementos geográficos disparatos. É numa determinada porção do espaço, o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perfeita evolução. (BERTRAND, 2004, p. 141).

Baudry (1988) relata a organização da paisagem por um sistema de auto-organização.

considérer le paysage comme un niveau d'organisation et non seulement comme un produit de la société humaine ou le support de contraintes physiques, (et) conduit à lui reconnaître une certaine autonomie, à le percevoir comme un système auto-organisé ayant ses dynamiques propres. D'un point de vue écologique, le paysage peut être défini comme une mosaïque organisée (avec des réseaux associés) d'unités écologiques en interaction. (BAUDRY, 1988, p. 15).

Taillefer (1972, p. 136) incorpora ao seu conceito de paisagem também os fatores invisíveis “*un ensemble de faits, visibles ou invisibles, dont nous ne percevons, à un donné que Le résultat global*”. Tricart (1977) também se refere aos fatores invisíveis, em interação com os fatores visíveis, para definir paisagem.

Estes fatores invisíveis são de ampla discussão, afinal podem ser considerados subjetivos por alguns pelo simples fato de não serem palpáveis, mas estes apresentam reflexos na paisagem de forma relevante. Um exemplo são as relações de poder, tanto políticas quanto financeiras, que diversas vezes não são visíveis, porém deixam inscritas as relações entre o homem e a natureza.

Ao analisarmos o espaço com a perspectiva do conceito de paisagem, impomos um problema ao método de análise, como é lembrado pelo próprio Bertrand (2004) em sua tese de doutoramento, na qual indica a dificuldade de se compreender o todo sem uma ferramenta adequada de observação.

Costa e Rocha (2011) analisam que na Geografia há duas correntes para o estudo da paisagem: uma se pauta mais na análise dos elementos naturais mais a ação antrópica e outra na perspectiva da cultura humana, denominando-se, assim, de paisagem cultural.

Na tentativa de sistematizar os estudos da paisagem em uma análise integrada do homem com os elementos naturais, diversos autores desenvolvem métodos de análise utilizando-se da “Teoria Geral dos Sistemas” proposta por Bertalanffy (1973). Essa teoria trata o sistema como algo conjunto e que mantém uma ligação: “um sistema pode ser definido como um conjunto de elementos em inter-relação entre si e com o ambiente” (BERTALANFFY, 1973).

Tricart (1977), ao conceituar a teoria de Bertalanffy, define-a como um conjunto de fenômenos que atuam com fluxos de energia e matéria, acarretando uma dependência

mútua.

Christofoletti (1999) destaca a interação de fluxos de energia nos sistemas ambientais, os quais interagem dentro de um próprio sistema.

Os sistemas ambientais físicos representam a organização espacial resultante da interação dos elementos componentes físicos da natureza (clima, topografia, rochas, águas, vegetação animais, solos) possuindo expressão espacial na superfície terrestre e representando uma organização composta por elementos, funcionando através dos fluxos de energia e matéria, dominante numa interação areal (CHRISTOFOLETTI, 1999, p. 42).

Visto essa interação de fluxos, instiga-se saber como compartimentar a escala deste estudo, como devemos definir os inícios e fins, os *inputs e outputs* da energia (MONTEIRO, 2000). Diante disso, diversos geógrafos começam a delimitar bacias hidrográficas como o sistema de interação de fluxos de energia.

Christofoletti (1980), ao caracterizar as bacias hidrográficas, faz como uma área limitada por divisores de água, da qual são drenados os recursos hídricos, ao longo de um curso de água principal, como um rio. Essa delimitação tem grande importância como uma unidade de planejamento.

Ross (1994) interpreta que estudos ambientais em bacias hidrográficas são fundamentais para o entendimento dos processos que ocorrem nessas unidades, contribuindo para o uso racional e a conservação dos recursos naturais neste espaço.

Ao se realizarem pesquisas em bacias hidrográficas, onde são utilizadas como as escalas espaciais dos estudos, é possível dimensionar o quanto queremos explorar e ordenar neste espaço geográfico, visto que é possível estudos em pequenas bacias ou com algumas centenas de metros quadrados, até mesmo com dimensões continentais.

Porém sempre devemos lembrar que diversas ações de planejamento no Brasil são realizadas a nível municipal, nas quais se utilizam malhas municipais para planejar o espaço, criando-se, assim, problemas quanto à descontinuidade de programas governamentais.

Cunha et al. (2011) ao trabalhar com a construção de modelos de avaliação de vulnerabilidade social, demonstram a dificuldade das escalas de estudo, mesmo em um país relativamente pequeno como Portugal, com a escala nacional de estudos e a escala municipal, onde salientam que a mesma deve ter uma articulação.

3.2. Geografia e suas tecnologias

Com o advento da incorporação de tecnologias de outras ciências pela Geografia, hoje é possível a realização de modelos matemáticos para explicar algumas interações no ambiente. Gomes (2005), ao descrever esta importância da incorporação dos modelos matemáticos, verifica a evolução da ciência geográfica:

A visão sistêmica, a utilização de modelos e a submissão à lógica matemática penetraram fortemente nas ciências naturais e sociais a partir dos anos cinquenta. É neste contexto que se faz a passagem de uma geografia clássica para uma geografia dita moderna. Aliás, os novos adeptos deste modelo sempre sublinharam o caráter de ruptura, de revolução, desta passagem do clássico ao moderno. (GOMES, 2005).

Reis Júnior (2003) disserta que, conforme a matemática foi sendo cada vez mais utilizada por geógrafos, baseados no neopositivismo como conceito filosófico, salientando suas relações qualitativas, foi ganhando cada vez mais defensores nas ciências tidas como humanas ou sociais. Estes modelos matemáticos de levantamento de dados, composição de modelos, apresentando eficácia com cenários tanto em estudos socioeconômicos, como da natureza para explicar o espaço-tempo no seu passado, presente e um possível cenário futuro.

De uma maneira geral, definia-se a Geografia como uma das disciplinas (senão a única) mais próxima da real e intrincada relação entre os fenômenos espaciais. Um número muito grande de variáveis, envolvidas para dar expressão à superfície terrestre, representa fatos múltiplos; esferas superpostas relativas ao humano (o social, o econômico) e ao físico. Combinações de variáveis diferenciam-se no tempo e no espaço; há, portanto, mudança e evolução dos padrões de organização. (REIS JÚNIOR, 2003, p. 33).

Uma das grandes possibilidades de utilização de modelos matemáticos para a representação do espaço é no sensoriamento remoto e nas novas tecnologias para estudo do espaço. Hayakawa *et al.* (2016) ressalta a relevância destas ferramentas nos estudos geográficos: “As habilidades do geógrafo em analisar e refletir sobre os fatos e fenômenos que ocorrem no espaço geográfico podem ser potencializados com o uso integrado do SR e demais geotecnologias”. (HAYAKAWA *et al.* 2016, p. 94).

A cartografia contribui para que a espacialização do objeto estudado venha a ser mais bem visualizada, possibilitando realizar melhores análises deste no espaço

geográfico Uma das mais célebres histórias de utilização da cartografia para representar o objeto de uma pesquisa foi realizada pelo médico John Snow, em 1854, em surto de cólera na cidade de Londres, na Inglaterra, ao espacializar casos de cólera e correlacionar a seu conhecimento de que essa é transmitida pela água. Snow sugere que o poço de água potável da *Broad Street* fosse fechado, tão logo a epidemia cessasse (CAMERON; JONES, 1983).

Este episódio é conhecido como a fundação da epidemiologia moderna e, para os geógrafos, como o início da Geografia da Saúde, no entanto a cartografia não se restringe somente a Geografia da Saúde nos estudos geográficos. Pode ainda incorporar modelos estatísticos para representar o espaço, formando, assim, um ramo da Geografia chamado de Geoestatística, além de ser usada para outras ramificações.

Os métodos geoestatísticos têm como principal objetivo fomentar a correlação espacial entre dados, de forma que não demonstrem somente uma aleatoriedade, mas que indiquem uma estruturação no espaço (YAMAMOTO; LANDIM, 2013).

Essas correlações podem ser trabalhadas por meio de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nas quais as informações coletadas em campo georreferenciadas são espacializadas e trabalhadas com o interesse de demonstrar ao usuário como pode ser encontrada no espaço. Há inúmeras formas de se utilizar estas informações, desde o mapeamento de casos de cólera, como já observado anteriormente, como também mapeamento de solos.

3.3. Solos e Geografia

Com o advento do desenvolvimento das pesquisas na Ciência Geográfica, temos a área da Pedologia como um dos ramos, devido a sua relevância para a compreensão do espaço e ao fato de suas pesquisas terem boa aceitação da utilização de modelos matemáticos para explicar fenômenos.

Os solos começam a ter atenção para a ciência com o pesquisador russo Vasilevich Dokuchaev (1846-1903), pois seus estudos estabeleceram o primeiro conceito, firmando a Pedologia como o ramo da ciência que estuda a formação, desenvolvimento, espacialização e conservação dos solos.

Queiroz Neto (2001) definiu os solos como formações superficiais com materiais inconsolidados que recobrem parcialmente a parte emersa da crosta terrestre. São ainda provenientes da alteração das rochas por intemperismos físicos, químicos ou biológicos

e que podem ter sido remanejados ou retrabalhados sobre superfícies de erosão, planícies fluviais e que testemunharam processos pedogenéticos e morfogenéticos responsáveis pela evolução e dinâmica da superfície terrestre. Retratando-se, com isto, a relevância dos mesmos na dinâmica e evolução da superfície terrestre ao longo do tempo.

Kämpf e Curi (2012) ao descreverem os limites nos estudos de solos os definiram como sendo um componente significativo nos geossistemas, sendo dinâmicos e constantemente perturbados pelos agentes internos ou externos.

Ruelan (1988), ao conceituar a Pedologia, o quanto é primordial se estudar os solos:

O importante papel do solo sobre o desenvolvimento é pouco conhecido. O objetivo da Pedologia a serviço do desenvolvimento é aprender a utilizar os solos sem destruí-los. A contribuição da Pedologia para o desenvolvimento, sobretudo dos países e sociedades mais pobres, dá-se através da caracterização e cadastramento dos solos, das pesquisas sobre os constituintes e seus modos de organização, do funcionamento das coberturas pedológicas e dos estudos dos fatores de fertilidade. É preciso fazer um esforço no sentido de obter resposta para problemas de: a) reconhecimento da morfologia dos solos; b) observação e medida do comportamento dos solos, quando utilizados, a fim de evitar processos de degradação; c) transferência dos conhecimentos adquiridos de um meio pedológico a outro. (RUELLAN, 1988, p. 69).

Uma das formas de se estudar os solos é por meio de modelos matemáticos, nos quais podemos espacializar as informações para que os resultados finais estejam cartografados, de forma que fiquem compreensíveis a todos que tenham a intenção de utilizar os dados.

3.3.1. Modelos preditivos de erosão

Os modelos de simulação, como os matemáticos de predição de erosão, são ferramentas poderosas na pesquisa e nas práticas agrícolas, pois auxiliam na determinação das práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação (CHAVES, 1996).

Wischmeier e Smith (1978), para definir, erosão relacionam os processos de desagregação, transporte e deposição dos solos aos fatores de tipos de clima, solos, declividade e comprimento de rampa do relevo, uso e manejo deste solo.

As décadas de 1930 e 1940 foram marcantes no acúmulo de dados experimentais

em processos erosivos. Posteriormente, na década de 1950, esses dados foram intensamente trabalhados no processo de criação de modelos matemáticos relacionados à erosão (BARRETTO, 2007).

Bertoni e Lombardi Neto (2008) afirmam que o uso das equações empíricas para avaliar as perdas de solos em áreas de cultivo é relevante para a conservação do ambiente.

Wischmeier e Smith (1958) publicaram um dos primeiros trabalhos associando modelos matemáticos ao estudo de erosão, “Rainfall energy and its relationship to soil loss”, no qual a intensidade das chuvas é considerada em quatro parcelas com manejos diferentes, relacionando, assim, à quantidade de perda de solos.

Dedecek, Resck e Freitas Júnior (1986) relataram mediante experimentos em latossolos vermelho-escuros no cerrado brasileiro, que solos com manejo adequado têm uma redução significativa nas perdas de solos e água. Silva *et al.* (1994) também estudaram a erodibilidade, empregando um comparativo entre métodos indiretos e diretos de predição, no qual valendo-se de técnicas estatísticas para comprovar a necessidade de práticas adequadas de uso e conservação dos solos.

Cunha, Bacani e Panachuki (2017) explicitaram o quanto a aplicação de um modelo (RUSLE) em uma bacia, onde estava sendo implantado um assentamento, pode ser considerável no planejamento e gestão de um território.

Constata-se a relevância da utilização dos modelos matemáticos, principalmente para conservação dos solos, em função dos processos erosivos que ocorrem. A erosão é um processo de desagregação, deslocamento e deposição do solo em outro local, podendo chegar aos canais fluviais, acarretando, assim, no assoreamento dos rios, além de ser a principal causa do empobrecimento precoce das terras produtivas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2005; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008; SHIH; YANG, 2009; ARAGÃO; DE ALEMIDA, 2011; GANASRI; RAMESH, 2016; MEYER, 2017; SANTOS *et al.*, 2018; POLYAKOV; NEARING; STONE, 2020).

Modelos matemáticos e dados estatísticos podem ser espacializados e, conseqüentemente, cartografados com o advento da evolução dos SIGs. Esta evolução vem se tornando, cada vez mais, estimulante à pesquisa geográfica e a outras ciências afins para a compreensão do espaço.

Pinto e Garcia (2005) contextualizam a evolução da utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto para estudos de erosão no Brasil, desde a utilização de fotografias aéreas nos anos 50 do século XX, até sensores com melhor resolução espacial como o Ikonos II (1 metro) e Quickbird (0,64 metro), sendo também salientado a importância

destes para o acompanhamento temporo-espacial dos processos erosivos.

Dados espacializados contribuem para evolução da ciência pedológica, pois, devido à grande escala temporal dos processos formadores de solos, pode-se realizar a modelagem de cenários, tanto pretéritos como preditivos. Esses modelos matemáticos podem auxiliar também na melhor conservação dos solos para que seu uso venha a ser da forma mais racional e sustentável possível.

Pode-se concluir que fica evidente a importância dos modelos matemáticos como uma ferramenta para a realização da síntese do espaço geográfico e consequente relação homem e natureza.

4. ARTIGO I

DETERMINAÇÃO DA ERODIBILIDADE EM SOLOS DESENVOLVIDOS DE ARENITO E DE BASALTO

DETERMINATION OF ERODIBILITY IN SOILS DEVELOPED FROM SANDSTONE AND BASALT

Resumo: Solos são corpos naturais que podem se diferenciar, principalmente, pelo seu material de origem. O município de Bela Vista do Paraíso, se encontra na Região Norte do estado do Paraná, em duas litologias diferentes, arenitos da Formação Adamantina do Grupo Bauru e rochas magmáticas da Formação Serra Geral do Grupo São Bento. Essas diferentes litologias originaram cinco classes de solos. Neste artigo, objetiva-se determinar os valores de erodibilidade dos solos no município por meio da metodologia de Boyoucos (1935), que leva em conta a porcentagem de areia, silte e argila da amostra. As classes de erodibilidade constatadas no município foram, principalmente, as classes muito baixa a baixa, porém as amostras identificadas em solos de origem arenítica apresentaram classificação de alta a muito alta, demonstrando, assim, que o material de origem está relacionado às classes de erodibilidade.

Palavras-chave: Erosão; Formação Adamantina; Formação Serra Geral; Boyoucos (1935).

Abstract: Soils are natural bodies that can be differentiated mainly by their source material. The municipality of Bela Vista do Paraíso is located in the northern region of the state of Paraná, in two different lithologies, sandstones from the Adamantina Formation of the Bauru Group and magmatic rocks from the Serra Geral Formation of the São Bento Group. These different lithologies gave rise to five classes of soils. In this article, the objective is to determine the erodibility values of soils in the municipality through the methodology of Boyoucos (1935), which takes into account the percentage of sand, silt and clay in the sample. The erodibility classes found in the municipality were mainly very low to low classes, but the samples identified in sandstone soils were classified from high to very high, thus demonstrating that the source material is related to the erodibility classes.

Keywords: erodibility; Adamantine Formation; Serra Geral Formation; Boyoucos (1935).

4.1. INTRODUÇÃO

Solos são corpos naturais presentes nas paisagens do planeta e estes têm em seu processo de formação diversos fatores, sendo que o material de origem é determinante para os seus atributos.

Lal (1988) define que a erodibilidade é representada pela forma em que a água infiltra em um solo. Sua desagregação pelo impacto da chuva e, consequentemente, transporte manifestando seu comportamento frente a processos erosivos.

Diversos solos no Brasil já possuem valores definidos de erodibilidade como apresentado por Denardin (1990), porém, em regiões tropicais, há uma grande variação destes valores. Assim, El-Swaify e Dangler (1982) afirmam que não é suficiente estimar

a erodibilidade baseando-se somente na classificação dos solos.

Cunha *et al.* (2005), ao analisarem uma topossequência de transição arenito basalto, indicam que os teores de óxidos de ferro são bons indicadores para se diferenciar as características pedológicas de formação dos solos. Também corrobora, neste sentido, Silva *et al.* (2020) ao examinarem a variabilidade espacial dos óxidos de ferro, na qual a hematita é mais sensível à litologia e a goethita, à dissecação da paisagem.

Solos dos trópicos podem ser caracterizados pela sua limitação em culturas comerciais advindas da sua acidez elevada e o intenso processo de lixiviação dos mesmos (MELLO PRADO, 2003). Contudo, com o processo de intensificação da agricultura a incorporação de tecnologias na cadeia produtiva e a utilização de fertilizantes para as correções de solo, como calagem, essas limitações tendem a diminuir e esse se torna produtivo.

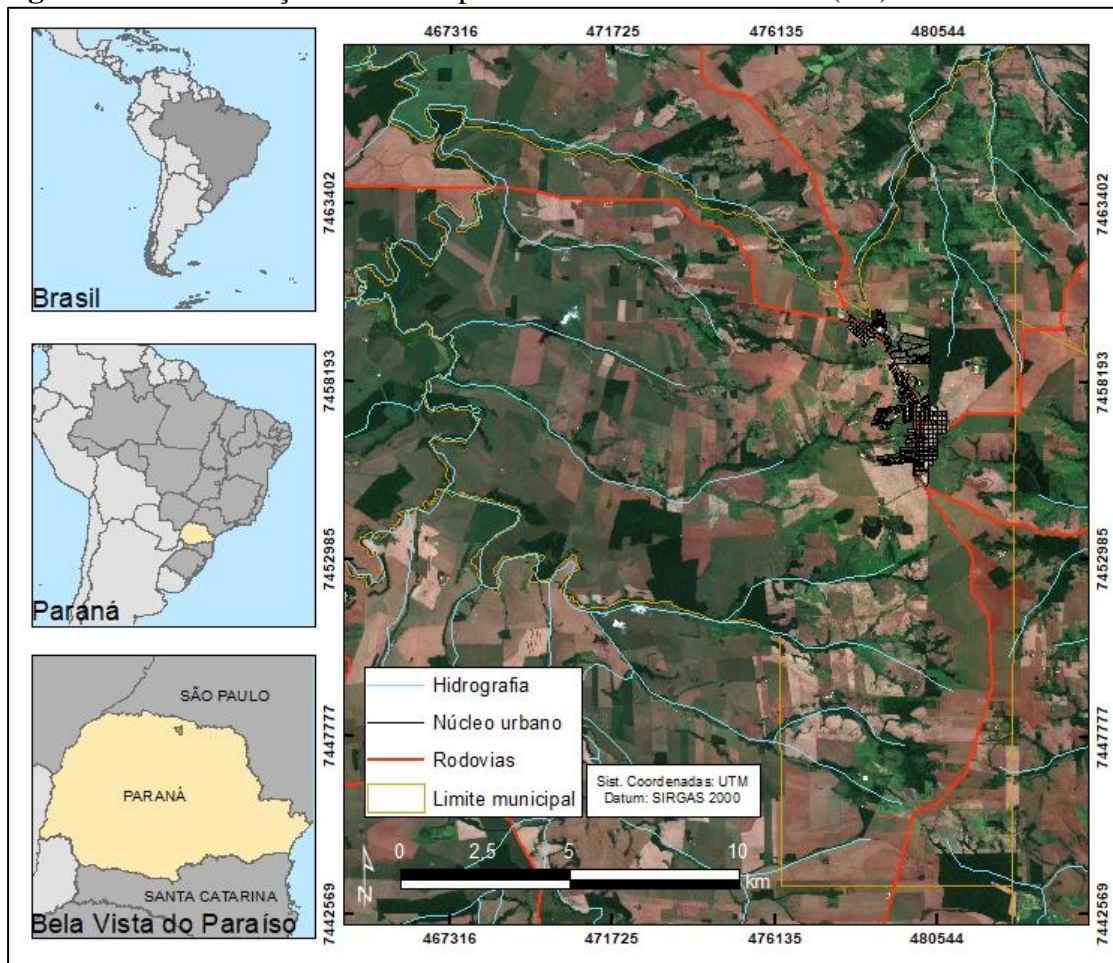
Marques *et al.* (1997) ressalta que ao usar modelos para estimar a perda de solos por processos erosivos, como a *RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)*, necessitam de valores de erodibilidade de um solo por intermédio de simuladores de chuva, porém estes têm custos elevados, inviabilizando estudos. Por isso, alguns pesquisadores desenvolveram métodos indiretos de medir estes valores de perdas de solo (WISCHMEIER; JOHNSON; CROSS, 1971; BERTONI; LOMBARDI NETO, 1985; DENARDIN, 1990; MARQUES *et al.*, 1997).

O objetivo do presente artigo é realizar o cálculo do valor de erodibilidade de amostragens realizadas no município de Bela Vista do Paraíso, no estado do Paraná, utilizando-se o método de Bouyoucos (1935) para determinação destes valores.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O município de Bela Vista do Paraíso se encontra na Região Norte do estado do Paraná, entre as coordenadas: 22° 53' 53" e 23° 7' 10" Sul e 51° 9' 59" e 51° 20' 39" oeste, com uma variação de altitude entre 343 e 649 metros e sua extensão territorial é de 243 km² (figura 4.1).

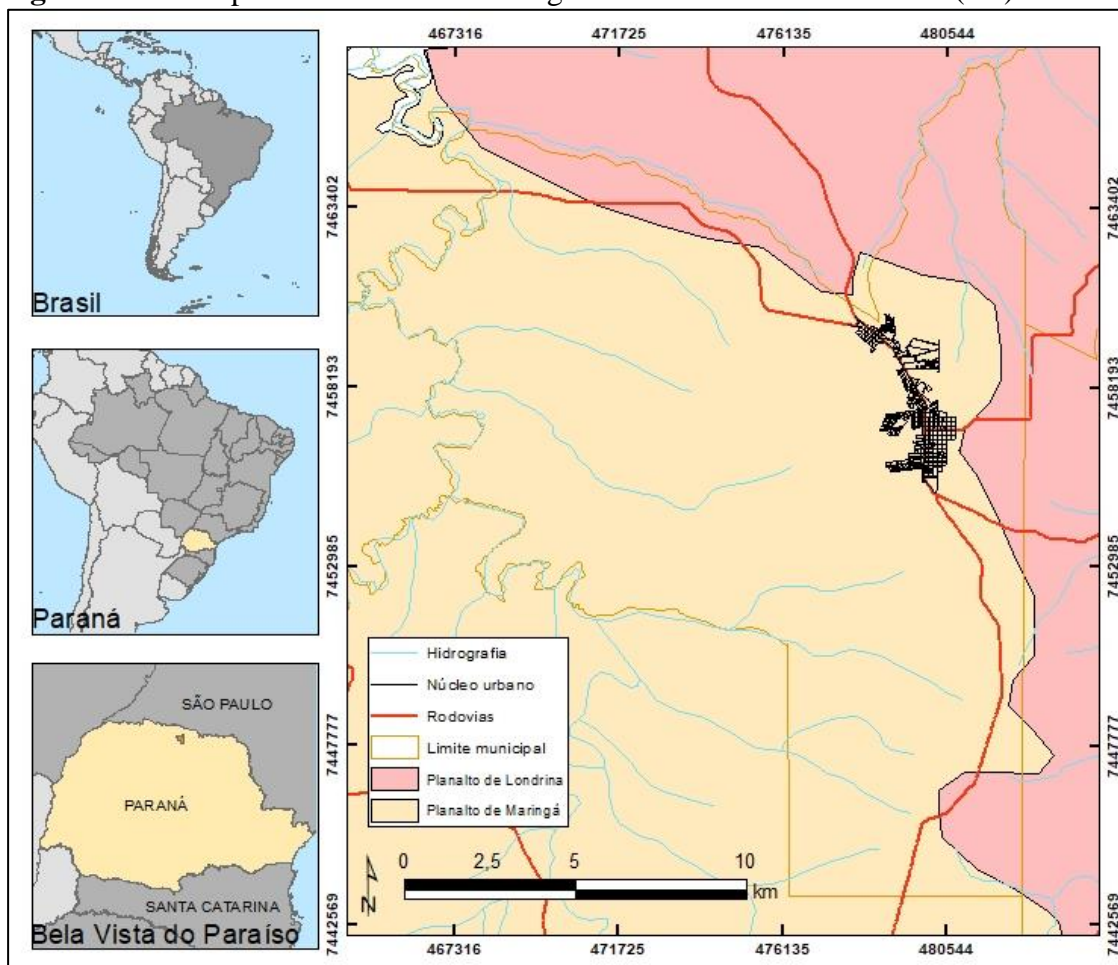
Figura 4.1.: Localização do município de Bela Vista do Paraíso (PR).



Fonte: DECCO, 2021.

Segundo o mapeamento geomorfológico de Santos *et al.* (2006), o município encontra-se entre o Planalto de Londrina e Planalto de Maringá, ambos na unidade conhecida como Terceiro Planalto Paranaense, que corresponde a um derrame no mesozoico de rochas eruptivas básicas adjuntos com rochas areníticas do Grupo Bauru na porção Noroeste (figura 4.2).

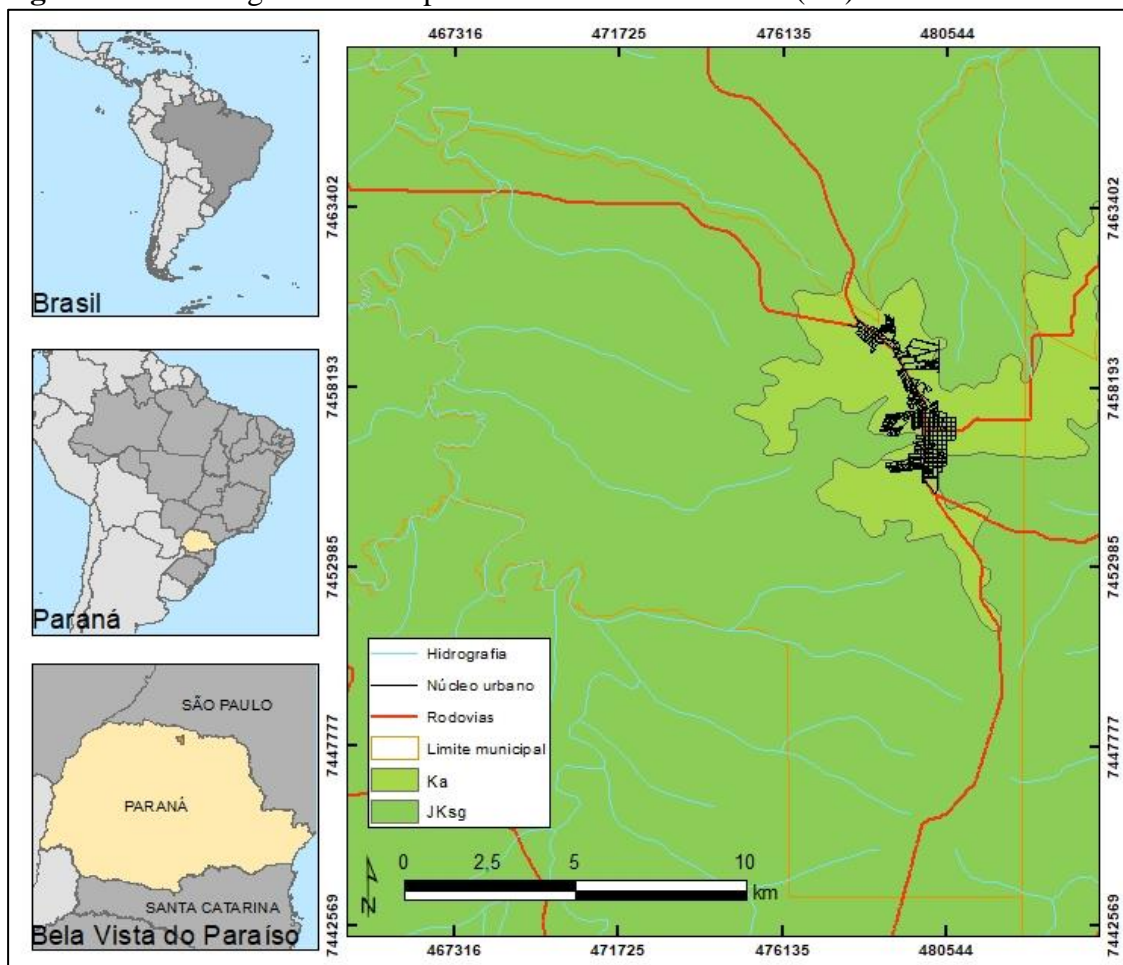
Figura 4.2.: Compartimentos Geomorfológicos em Bela Vista do Paraíso (PR).



Fonte: SANTOS *et al.*, 2006.

A litologia do município é constituída por rochas eruptivas básicas do Grupo São Bento da Formação Serra Geral (JKsg) de idade do Cretáceo-Jurássico (predominante no município), com deposições de rochas areníticas do Grupo Bauru da Formação Adamantina (Ka) (PINESE, 2002) (figura 4.3).

Figura 4.3.: Litologia do município de Bela Vista do Paraíso (PR).

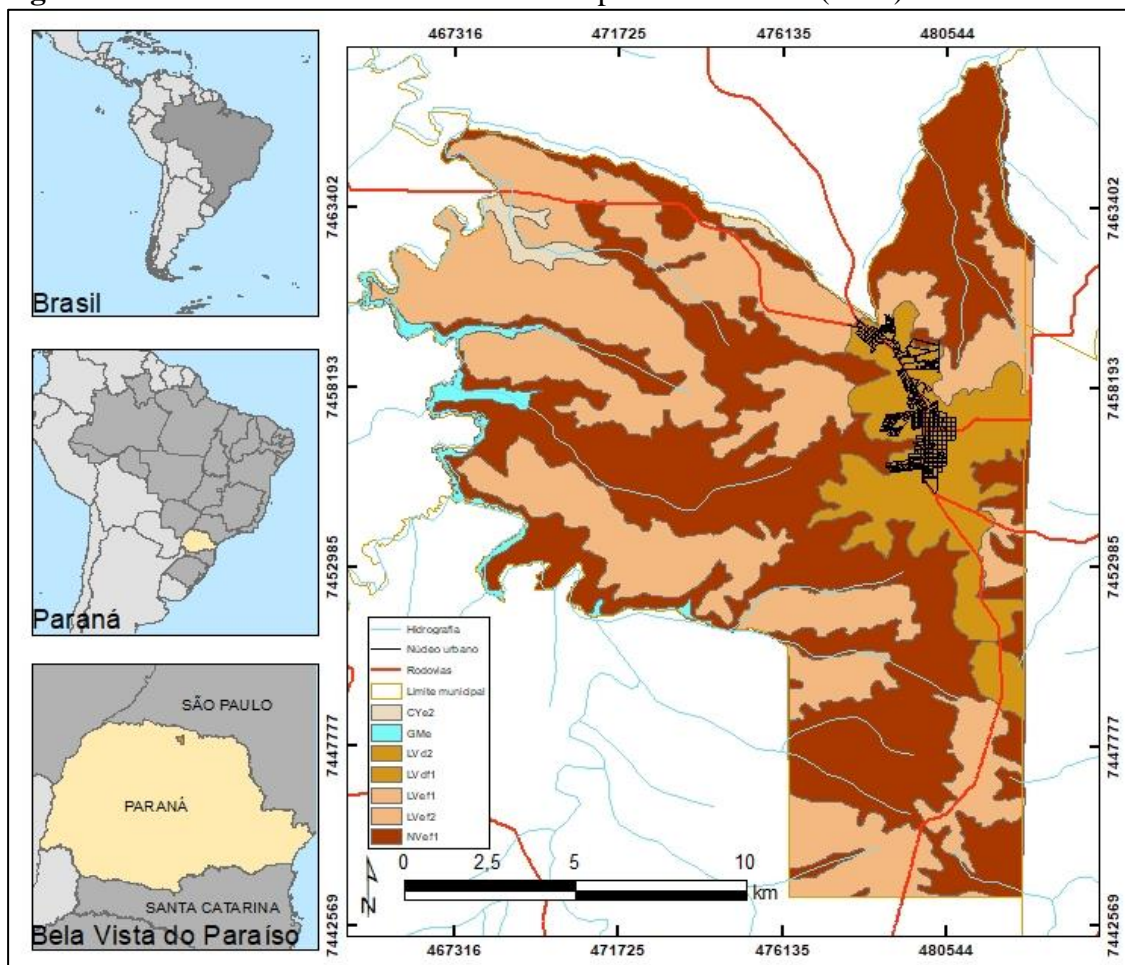


Fonte: PINESE, 2002.

O clima do município segundo a classificação de Köppen, como do tipo Cfa (clima subtropical, úmido, com média do mês mais quente superior a 22°C), onde a precipitação média anual é 1495 mm, o mês mais chuvoso é janeiro (210 mm) e o menos chuvoso é agosto (47 mm) (GOMES et al. 2011).

Segundo levantamento de solos realizado por Gomes *et al.* (2011), em uma escala de 1:50.000, são identificadas cinco classes de solos no município: Cambissolos Flúvicos, Gleissolos Melânicos, Latossolos Vermelhos, Neossolos Regolíticos e Nitossolos Vermelhos (figura 4.4).

Figura 4.4.: Levantamento de solos realizado por Gomes *et al.* (2011).



Fonte: GOMES *et al.*, 2011.

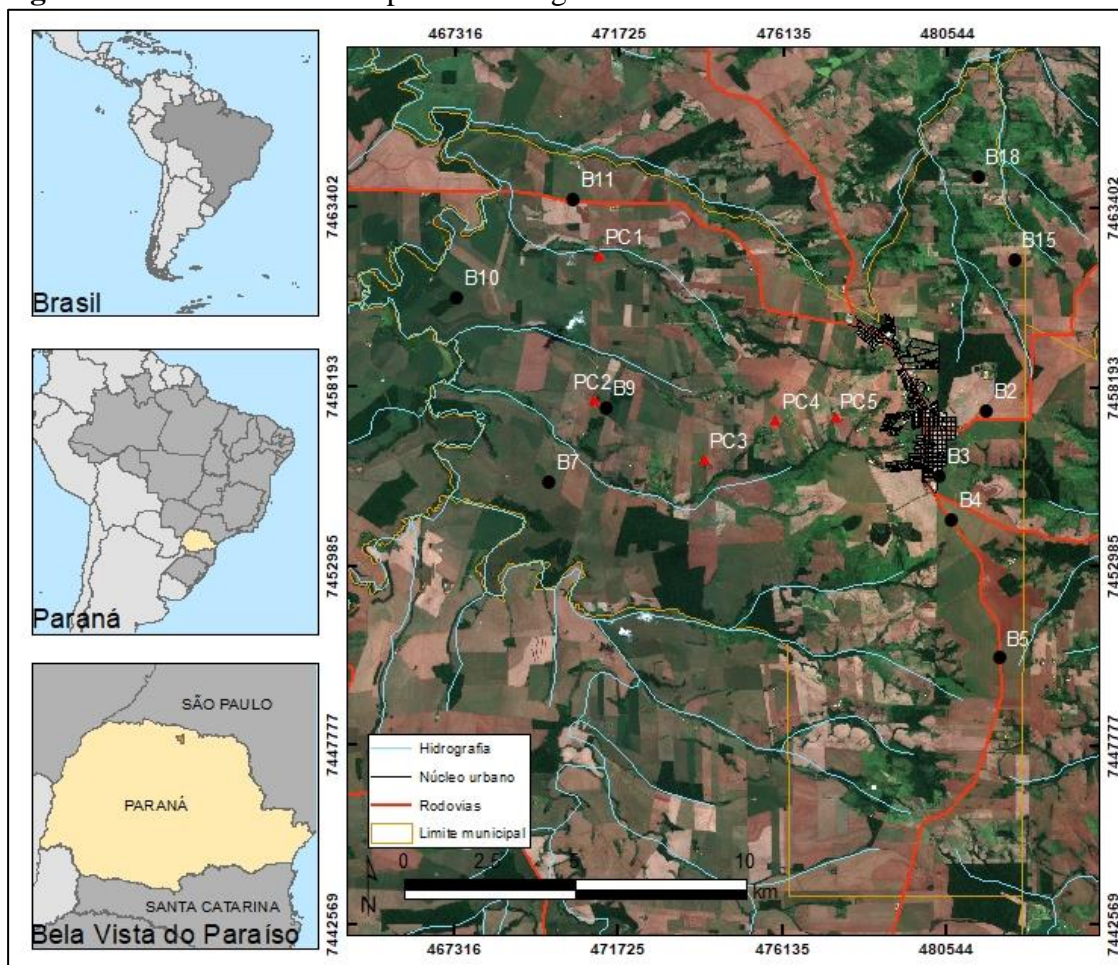
Com base neste levantamento, foi realizada uma saída de campo na estrada vicinal que interliga o núcleo municipal de Bela Vista do Paraíso ao distrito de Indiana. No decorrer do trajeto, foram identificados “cortes de barranco” ao longo da estrada, sendo realizadas cinco descrições e a consequente amostragem dos dezessete horizontes, representados na figura 4.5 pelas iniciais PC, utilizando-se a metodologia de Manfredini, Furian e Queiroz Neto (2005) para a descrição do perfil de solo.

[...] a primeira observação a ser feita é a distinção e a diferenciação das camadas ou horizontes. Para diferenciá-los, usa-se o parâmetro visual das cores. Pela delimitação das diferentes cores apresentadas pelo material, faz-se uma primeira distinção dos horizontes. Em seguida, com o auxílio de uma faca, pode-se acrescentar ao visual, o parâmetro tátil, que implica sentir a resistência do material à penetração da ponta da faca por meio de sucessivas e suaves batidas, para testar se os limites dos horizontes efetuados pela diferenciação de cor representam, também, um limite de resistência do material, já que esses critérios são indicativos de características morfológicas do solo. Os horizontes se diferenciam um dos outros pelo conjunto de suas características morfológicas (MANFREDINI; FURIAN; QUEIROZ NETO 2005).

Depois de identificadas e descritas, as amostras dos horizontes coletadas nos perfis foram secas (TFSA) para, posteriormente, serem tamisadas em malha de 2,0 mm e, na sequência, encaminhadas para análise granulométrica, de acordo com o método da pipeta (EMBRAPA, 1997). Essa etapa foi realizada no Laboratório de Pedologia do Departamento de Geociências da Universidade Estadual de Londrina.

Além das amostras dos horizontes descritas e coletadas ao longo da estrada vicinal, também foram utilizados dados granulométricos de dez amostragens realizadas por Gomes *et al.* (2011), simbolizados na figura 4.5 pela inicial B, efetuadas no município para a confecção do mapeamento de solos na escala de 1:50.000.

Figura 4.5.: Pontos de coleta para amostragem.



Fonte: DECCO, 2021.

Depois de obtidos todos os valores de granulometria (% areia, % silte e % argila), esses foram organizados em uma tabela e foi aplicada a expressão de Bouyoucos (1935) para determinação da erodibilidade (Fator K), nos horizontes superficiais, conforme a equação 1.

Equação 1:

$$K = \frac{\left[\frac{(\% \text{areia} + \% \text{silte})}{(\% \text{argila})} \right]}{100}$$

A aplicação da equação de Bouyoucos (1935) somente foi realizada nas amostras superficiais (0-20 cm), tanto nas coletadas dos 5 perfis descritos, como nas 10 amostras realizadas por Gomes *et al.* (2011) na área do município, para o levantamento

semidetalhado dos solos, pois é nesta camada que o processo erosivo laminar se encontra mais atuante.

Posteriormente ao cálculo dos valores de erodibilidade das amostragens, os valores foram classificados segundo Castro *et al.* (2011) como pode ser observado na tabela 4.1.

Tabela 4.1.: Classes de Erodibilidade segundo Castro *et al.* (2011).

| Intervalo de K | Classe | Intervalo de K | Classe |
|-----------------------|---------------|-----------------------|-------------------|
| < 0,009 | Muito baixa | 0,03 – 0,045 | Alta |
| 0,009 – 0,015 | Baixa | 0,045 – 0,06 | Muito alta |
| 0,015 – 0,03 | Média | > 0,06 | Extremamente alta |

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente são demonstrados os resultados das coletas realizadas ao longo da estrada vicinal entre Bela Vista do Paraíso e o distrito de Indiana.

Na tabela 2, apresentam-se os dados morfológicos dos solos coletados que, na figura 5, são representados pelos pontos PC.

Tabela 4.2.: Características morfológicas dos pontos de coleta ao longo da estrada vicinal que interliga Bela Vista do Paraíso a Indiana.

| Amostra | Coordenas da coleta (UTM 22K) | Material de origem | Classe de solo segundo Gomes <i>et al.</i> (2011) | Profundida de (cm) | Horizon te | Cor (Munsell) | | Estrutura | Cerosida de | Consistência | | Textura | | |
|------------|-------------------------------|--------------------|---|--------------------|------------|---------------|---------|----------------------------------|-------------|--------------------|---------------|--------------|--------------|---------------|
| | | | | | | Seco | Úmido | | | Seco | Úmido | Areia (g/kg) | Silte (g/kg) | Argila (g/kg) |
| Perfil PC1 | | | | | | | | | | | | | | |
| PC1-1 | 471.203 7.462.044 | Basalto (JKsg) | CYe | 0-20 | Ap | 10R 3/2 | 10R 4/4 | Blocos sub-angulares | Pouca | Muito Dura | Muito Firme | 321 | 214 | 463 |
| PC1-2 | | | | 20-60 | AB | 10R 2.5/2 | 10R 3/4 | Prismática | Abundant e | Muito Dura | Muito Firme | 343 | 204 | 452 |
| PC1-3 | | | | 60-90 | Bi | 10R 5/2 | 10R 3/4 | Blocos sub-angulares/pri smática | Abundant e | Muito Dura | Muito Firme | 336 | 224 | 438 |
| PC1-4 | | | | 90-110 | Bi/Cr | 10R 5/1 | 10R 4/1 | Blocos sub-angulares | Pouca | Muito Dura | Firme | 580 | 209 | 210 |
| Perfil PC2 | | | | | | | | | | | | | | |
| PC2-1 | 471.061 7.457.833 | Basalto (JKsg) | NVef | 0-28 | Apu | 10R 5/2 | 10R 3/3 | Granular | Abundant e | Muito Dura | Muito Firme | 121 | 334 | 544 |
| PC2-2 | | | | 28-47 | Apu/Bw | 10R 5/2 | 10R 3/3 | Granular | Comum | Dura | Friável | 247 | 321 | 430 |
| PC2-3 | | | | 47-65 | Bw | 10R 3/3 | 10R 4/3 | Blocos Angulares | Comum | Dura | Firme | 229 | 305 | 464 |
| PC2-4 | | | | 65-80 | Bw | 10R 3/2 | 10R 3/4 | Blocos Angulares | Pouca | Muito Dura | Friável | 338 | 329 | 331 |
| PC2-5 | | | | 80-100 (freático) | Bw/C | 10R 3/2 | 10R 4/3 | | Comum | Muito Dura | Firme | 369 | 265 | 365 |
| Perfil PC3 | | | | | | | | | | | | | | |
| PC3-1 | 474.030 7.456.120 | Basalto (JKsg) | NVef | 0-35 | Ap | 10R 3/3 | 10R 3/4 | Granular | Pouca | Dura | Friável | 186 | 222 | 590 |
| PC3-2 | | | | 35-180 | Bt | 10R 3/4 | 10R 4/6 | Blocos Angulares | Comum | Dura | Friável | 62 | 174 | 763 |
| PC3-3 | | | | 180+ | Cr | 10R 3/4 | 10R 4/6 | Blocos Angulares | Pouca | Extrema mente Dura | Muito Firme | - | - | - |
| Perfil PC4 | | | | | | | | | | | | | | |
| PC4-1 | 475.982 7.457.249 | Arenito (Ka) | LVef | 0-40 | Ap | 10R 3/6 | 10R 3/3 | Blocos Angulares | Não | Ligeira mente Dura | Muito Friável | 683 | 68 | 247 |
| PC4-2 | | | | 40-120 | Bw | 10R 3/6 | 10R 3/3 | Granular | Não | Dura | Muito Friável | 675 | 54 | 270 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|-----------|---------------------------------------|------|----|------------|--|------------|--|----------|-----|------|------------------|-----|-----|-----|
| PC4-3 | | | 120+ | Bw | 10R 3/4 | | 10R 3/3 | | Granular | Não | Dura | Muito Friável | 617 | 98 | 284 |
| Perfil PC5 | | | | | | | | | | | | | | | |
| PC5-1 | 477.606 | Transição o Basalto/ Arenito | 0-52 | Bt | 10R 3/4 | | 10R 3/3 | | Granular | Não | Dura | Friável | 220 | 139 | 640 |
| PC5-2 | 7.457.367 | Transição JKsg/Ka | 52+ | Cr | - | | - | | - | - | - | - | - | - | - |

Material de origem - JKsg: Formação Serra Geral; Ka: Formação Adamantina.

Classes de solos segundo Gomes et al. (2011) – CYe: Cambissolo Flúvico eutrófico; NVef: Nitossolo Vermelho eutroférico; LVef: Latossolo Vermelho eutroférico; RRe: Neossolo Regolítico eutrófico.

Horizonte – Ap: horizonte mineral, superficial com aração ou perturbações; AB: horizonte mesclado com partes de horizonte A e horizonte B; Bi: horizonte subsuperficial de acumulação de argila de desenvolvimento incipiente; Cr: horizonte ou camada mineral de material inconsolidado sob o solum/ presença do saprolito; Apu: horizonte mineral, superficial com aração ou perturbações havendo o acúmulo de modificações antropogênicas; Bw: horizonte subsuperficial com intensa alteração com inexpressiva acumulação de argila, com ou sem concentração de sesquióxidos; C: horizonte ou camada mineral de material inconsolidado sob o solum; Bt: horizonte subsuperficial de acumulação de argila.

Ao se analisar a cor dos perfis, pode-se observar que estes se encontram na página 10R da carta Munsell, observando-se, assim, uma homogeneidade de cores. Ademais, ao se encontrarem todas nesta página, indica presença considerável de óxidos de ferro, visto que a cor de um solo se dá pela presença destes óxidos e a matéria orgânica, além de outros fatores (FERNANDEZ; SCHULZE, 1992; CAMPOS; DEMATTÊ, 2004). A presença destes óxidos em solos de regiões tropicais e subtropicais pode ser ocasionada pelo intenso processo de lixiviação e, consequentemente, ferralitização nos perfis (FERREIRA *et al.*, 2003).

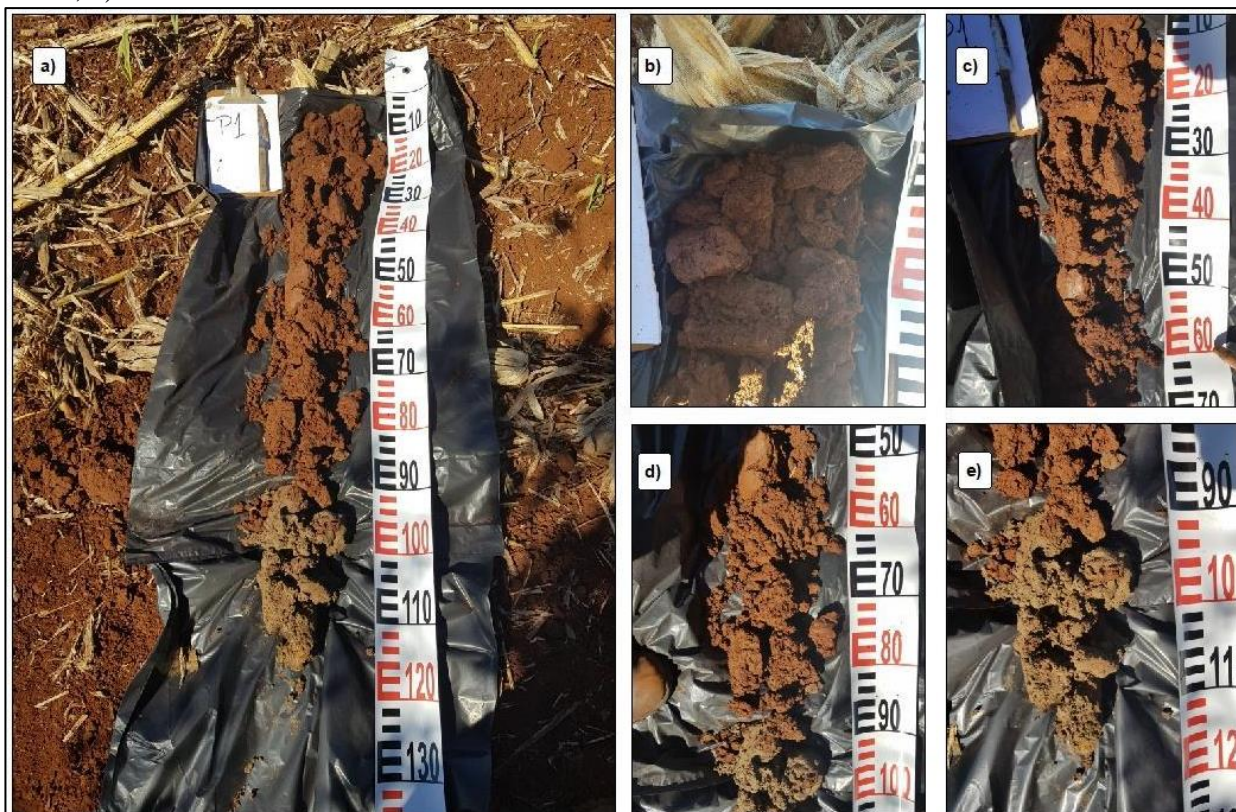
Silva, Souza Júnior e Costa (2010), ao trabalharem com suscetibilidade magnética de horizontes B no estado do Paraná, encontraram hematita (Fe_2O_3) e goethita (FeOOH) na maioria das amostras de solos formados por rochas magmáticas, como podemos observar nos pontos PC1, PC2 e PC3, sendo a hematita o mineral responsável pela cor avermelhada (LU *et al.* 2008). Figueiredo (1999) cita também a possibilidade de que, em locais com profusão destes dois óxidos, maior pode ser a idade do regolito.

Nos PC3 e PC5, em suas últimas camadas, não foi possível a caracterização morfológica e granulométrica, pois em ambos os “cortes de barranco” apresentaram o saprolito, que se diferencia por ser uma camada onde a rocha ainda está sendo intemperizada.

Melfi e Pedro (1977) afirmam que alguns materiais primários podem ser mais e menos estáveis. Portanto, não se alteram com a mesma velocidade, porém no caso é observado na parte inferior do perfil, o que também caracteriza que estes ainda estão passando pelo processo de intemperização da rocha para a formação deste solo, formando uma camada saprolítica, onde a mesma pode restringir a penetração das raízes (PEDRON *et al.*, 2009).

O PC1 pode ser classificado como um Cambissolo Flúvico (CY), sendo caracterizado pela EMBRAPA (2018) como solos constituídos por material mineral com um horizonte B incipiente subjacente, ou qualquer outro sendo exceto o hístico com 40 cm ou mais em sua espessura ou horizonte A chernozêmico, quando o horizonte B incipiente conter argila de alta atividade e alta saturação por bases e sua subordem flúvica é devido este apresentar características flúvicas nos 150 cm a partir de sua superfície ou de um horizonte glei, como o observado nos horizontes Bi (60-90cm) e no Bi/Cr (90-110cm) (figura 4.6).

Figura 4.6.: PC1 a) foto do perfil completo; b) horizonte Ap; c) horizonte AB; d) horizontes Bi e Bi/Cr; e) horizonte Cr.



Fonte: DECCO, 2021.

Este caráter flúvico ou de um horizonte glei pode ser observado principalmente no horizonte Cr, pois o ponto de coleta se encontrava próximo ao Córrego das Minas. Na amostragem foram observados sedimentos com características aluvionares no perfil, além deste apresentar um aumento dos seus valores (PC1-4 10R 5/1 seco) na tabela Munsell, que pode ser caracterizado pela atividade freática no perfil dissolvendo assim os óxidos de ferro possivelmente a hematita e a goethita (MACEDO; BRYANT, 1989; FONTES; WEED, 1991; CUNHA; FONTES; LANI, 2019).

Além de esses conterem uma quantidade significativa de materiais primários nos horizontes Bi/Cr e Cr, os quais podem ter sua origem nos processos pedogenéticos em que há a transformação da rocha em solo, podem também ter sido transportados do topo da vertente para o patamar mais baixo do vale.

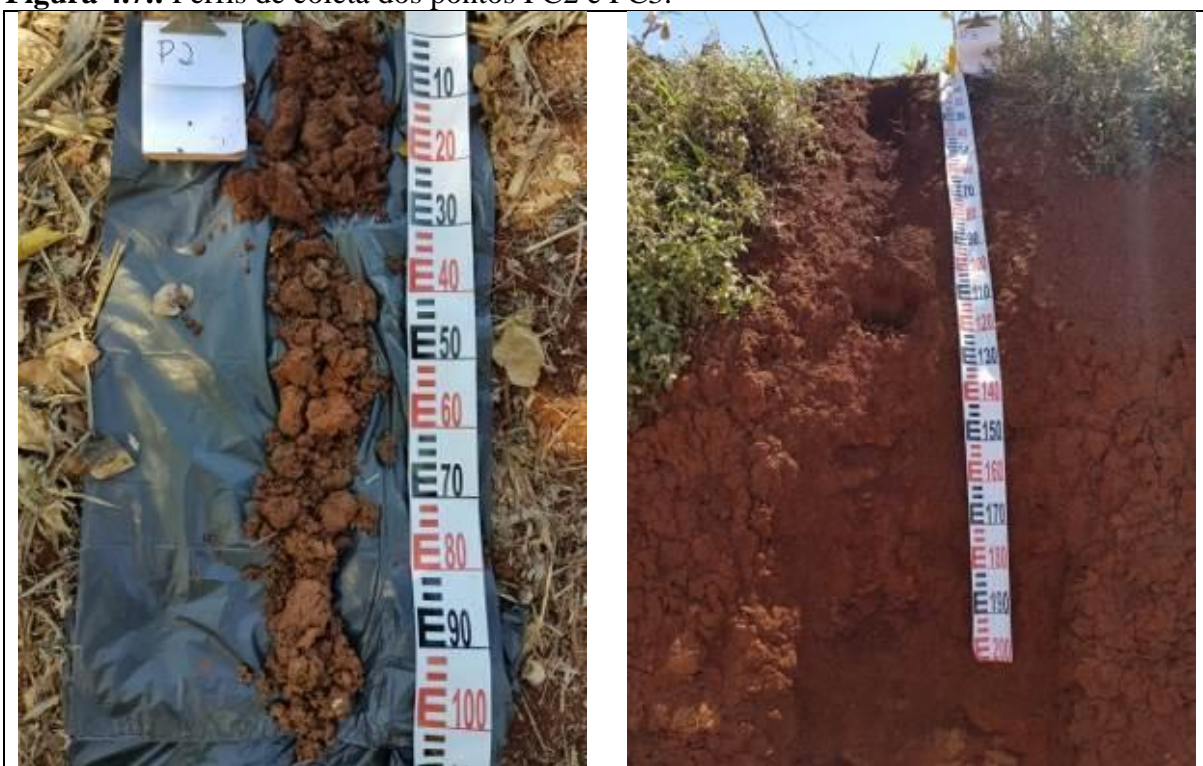
Também é salientado pelo IBGE (2015), ao caracterizar um horizonte B incipiente, como aquele que sofreu alteração física e química em grau não muito avançado, mas sendo suficiente para que ocorra a concepção de cor ou estrutura, como pode ser observado na tabela 1.

Quanto à textura nesse perfil, chama-se a atenção para o horizonte Cr. Diferentemente das demais camadas, esse tem um acréscimo significativo de areia, no qual acredita-se que há menor ação dos processos pedogenéticos, como observado por Guimarães (2019), ao analisar horizontes

Cr e R no DRX, concluindo que há uma menor concentração dos minerais de argila nestes.

Os perfis PC2 e PC3 (figura 4.7) podem ser classificados como Nitossolos Vermelhos (NV) Ao se analisar tanto suas características morfológicas como granulométricas, observa-se que essas são condizentes com os parâmetros do Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (SiBCS), nos quais praticamente todas as amostras contêm mais de 350 g/kg de argila. Somente a amostra do P2-4 (Bw) foi inferior, apresentando 331 g/kg de argila, considerada pouco distante da quantidade caracterizada pela EMBRAPA (2018) como característica dos Nitossolos. Esta pequena quantidade pode estar associada à proximidade com o lençol freático, que acarreta uma movimentação da argila no interior dos perfis.

Figura 4.7.: Perfis de coleta dos pontos PC2 e PC3.



Fonte: DECCO, 2021.

Outra característica dos Nitossolos é a falta de policromia abundante no perfil. Todas as cores se encontram na mesma página do matiz da tabela Munsell, reflexo do processo de latolização que esse solo vem desenvolvendo (EMBRAPA, 2018), sendo observado nos dois perfis na tabela 2. São também identificados como Vermelhos, pois tem a matiz na página 10R em todo o seu perfil.

Também é característica dos Nitossolos a presença de um horizonte B nítico (EMBRAPA, 2018), podendo ser identificado em ambos: no PC2 entre as profundidades de 47 cm a 80 cm (PC2-3 e PC2-4) e no PC3 entre 35 a 180 cm, onde há um acréscimo de argila no horizonte Bt

(PC3-2), caracterizando-se como um horizonte B nítico, pois sua espessura maior que 30 cm, a textura entre argilosa à muito argilosa, como observado em ambos os perfis, e da estrutura em blocos ou prismática associada à cerosidade (DRIESSEN *et al.*, 2001; COOPER; VIDAL-TORRADO, 2005; EMBRAPA, 2018). Salienta-se que no PC2 o horizonte superficial Ap possui uma quantidade importante de argila para um horizonte A, além de apresentar características de perturbação antropogênica, devido ao uso agrícola intenso dos solos em Bela Vista do Paraíso. Também se levanta a hipótese de que, como o uso agrícola é significativo no município, os antigos horizontes superficiais foram erodidos, e ou retirados para a utilização de aterros, reforçando a presença abundante de cerosidade neste.

Com estas ações antrópicas acentuadas nas lavouras, modificam-se características originais dos solos, podendo, assim, diminuir o desenvolvimento de culturas, alterar a ciclagem dos solos e o comportamento da água no interior do perfil (CURCIO; LIMA; GIAROLA, 2004).

Solos que apresentam tal característica, como observado na figura 4.8, poderiam ser classificados como Antropossolos Decapíticos, pois há remoção de forma antrópica do horizonte A, ocasionando fortes modificações na paisagem pelo homem e expondo horizontes diagnósticos (CURCIO; LIMA; GIAROLA, 2004; TEIXEIRA *et al.*, 2019). No entanto, o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos ainda não reconhece esta classe.

Figura 4.8.: Estrada Rural com destaque para a remoção de forma antrópica do horizonte A e então, um possível Antropossolo Decapítico.

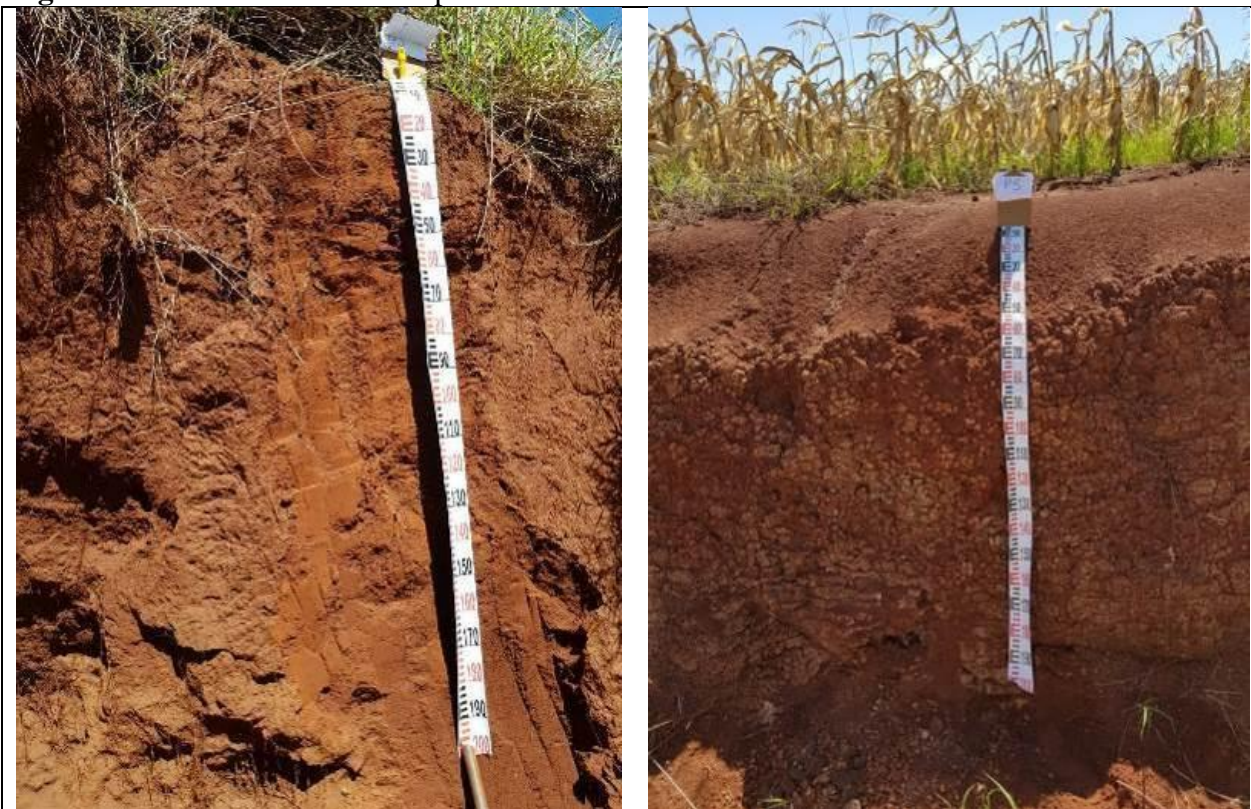


Fonte: DECCO, 2021.

Os perfis PC4 e PC5 (figura 4.9) são identificados pelo levantamento de solos do

município, realizado por Gomes *et al.* (2011), como Latossolos Vermelhos (LV), porém os dois demonstram diferenças, principalmente, quanto à sua granulometria. Também se salienta que o PC5 não apresenta características de LV como foi mapeado, mas de Neossolos Regolíticos (RR). Devido ao processo erosivo intenso no local de coleta nos horizontes superficiais, não foi possível caracterizá-lo de forma adequada.

Figura 4.9.: Perfis de coleta dos pontos PC4 e PC5.



Fonte: DECCO, 2021.

O PC4 apresenta características de um horizonte B latossólico (PC4-3), pois há um incremento de 14% de argila do horizonte superficial para o mais profundo, não apresentando uma diferença maior e assim caracterizá-lo como um horizonte B textural (IBGE, 2015; EMBRAPA, 2018). Cabe salientar que a transição dos horizontes neste perfil foi pouco nítida, ficando somente possível observar pela pequena mudança na cor do 10R 3/6 até os 120 cm iniciais para 10R 3/4 nos subjacentes. As demais características se mantiveram pouco alteradas como é observado na tabela 2.

Observa-se no PC4 que sua textura é classificada como franco argilo-arenosa, enquanto o PC5 é classificado como muito argiloso (LEMOS; SANTOS, 1996).

O perfil do PC4 em sua análise granulométrica demonstrou uma predominância da fração areia, estando entre 600 g/kg a 700 g/kg. Esse fator pode estar relacionado ao material de origem,

pois esse ponto se localiza na área em que o material de origem é identificado como arenitos da Formação Adamantina do Grupo Bauru. Esses possuem uma maior suscetibilidade à erosão, devido à característica de ser um material mais arenoso, como é descrito por Gomes *et al.* (2011). Por sua vez, o PC5 está assentado sobre rochas ígneas da Formação Serra Geral do Grupo São Bento, onde estas rochas são do Triássico/Cretáceo, formadas há 120 milhões de anos (PETRI; FÚLFARO, 1983).

Observa-se que o PC5, ao ser caracterizado como um possível Neossolo Regolítico, não pode ser determinado como um solo de baixa fertilidade, pois, como Pedron *et al.* (2009) destacam, devido à baixa profundidade, é comum classificar esse solo como limitado para seu uso agrícola. Assim, podemos reforçar a hipótese dos intensos processos erosivos laminares na região.

Gomes *et al.* (2011), ao realizarem o levantamento semidetalhado dos solos de Bela Vista do Paraíso, coletaram amostras e realizaram as análises granulométricas apresentadas na tabela 4.3.

Tabela 4.3.: Localização, classes, horizontes, profundidades de coleta e granulometria dos solos coletados por Gomes *et al.* (2011).

| Código do ponto | Coordenadas UTM | Classe de solo | Horizonte | Profundidade (cm) | Areia | Silte (dag kg ⁻¹) | Argila |
|-----------------|-----------------|-------------------|-----------|-------------------|-------|-------------------------------|--------|
| B2 | 481.641 | LVd | Ap | 0-20 | 81 | 3 | 16 |
| | 7.457.538 | | Bw | 50-70 | 67 | 2 | 31 |
| B3 | 480.370 | LVd | Ap | 0-20 | 79 | 3 | 18 |
| | 7.455.643 | | Bw | 40-60 | 66 | 2 | 32 |
| B4 | 480.711 | LVd | Ap | 0-20 | 78 | 4 | 18 |
| | 7.454.363 | | Bw | 130-150 | 67 | 2 | 31 |
| B5 | 481.993 | LVdf | Ap | 0-20 | 21 | 8 | 71 |
| | 7.450.344 | | Bw | 50-70 | 16 | 8 | 76 |
| B7 | 469.859 | LVef | Ap | 0-20 | 12 | 12 | 76 |
| | 7.455.447 | | Bw | 50-70 | 11 | 9 | 80 |
| B9 | 471.379 | LVef | Ap | 0-20 | 16 | 20 | 64 |
| | 7.457.618 | | Bw | 50-70 | 8 | 12 | 80 |
| B10 | 467.374 | LVef | Ap | 0-20 | 15 | 15 | 70 |
| | 7.460.831 | | Bw | 50-70 | 8 | 8 | 84 |
| B11 | 470.507 | LVef | Ap | 0-20 | 22 | 16 | 62 |
| | 7.463.681 | | Bw | 50-70 | 14 | 10 | 76 |
| B15 | 482.376 | LVef | Ap | 0-20 | 21 | 16 | 63 |
| | 7.461.944 | | Bw | 50-70 | 12 | 9 | 79 |
| B18 | 481.401 | NVef ¹ | Ap | 0-20 | 37 | 22 | 41 |
| | 7.464.356 | | Bt | 40-60 | 27 | 14 | 59 |

Fonte: Gomes *et al.* (2011) org. Decco (2019).

¹ No anexo II do livro de Gomes *et al.* (2011), este ponto está classificado como MXf (Chernossolo Háplico Férrico), porém, no mapeamento, encontra-se localizado em uma área de Nitossolo Vermelho Eutroférico.

Observe-se que, na tabela 4.3, a maioria das granulometrias amostradas é de solos argilosos a muito argilosos, menos os B2, B3 e B4, caracterizados com textura média possivelmente, pelo fato de terem em seu material primário o arenito da Formação Adamantina, que desenvolve um material mais arenoso. Ao contrário dos demais que têm sua origem na Formação Serra Geral, decorrentes dos derrames basálticos do cretáceo (PINESE, 2002).

Os solos provenientes da Formação Adamantina são mais suscetíveis à erosão e, devido à intensa mecanização da agricultura que ocorre no município, acarreta um aumento desta suscetibilidade erosiva (GOMES *et al.* 2011).

Zhao *et al.* (2006) afirma que, por estes materiais terem uma concentração maior de areia, tendem a ter uma diminuição da concentração de nutrientes no solo.

Bertol e Almeida (2000), ao realizarem estudos de tolerância de perda de solos por erosão em Santa Catarina, encontraram solos com horizonte B latossólico (Bw) como observados em Bela Vista do Paraíso. Assim afirmam que a estrutura bem desenvolvida desses, facilita a drenagem no interior do perfil e, associados com a textura argilosa a muito argilosa, como observado nos B5, B7, B9, B10, B11, B15 e B18, dão-lhe uma maior resistência a processos erosivos.

Desta forma, após a coleta, descrição e determinação da textura dos pontos e os da literatura de Gomes *et al.* (2011) em Bela Vista do Paraíso, os valores da granulometria foram utilizados na equação de Bouyucos (1935) para a determinação das suas erodibilidades, apresentado na tabela 4.4.

Tabela 4.4.: Determinação dos valores de erodibilidade.

| Ponto | Fator K | Material de Origem | Areia* | Silte* | Argila* |
|-------|---------|--------------------|--------|--------|---------|
| P1 | 0,01154 | JKsg | 32 | 21 | 46 |
| P2 | 0,00835 | JKsg | 12 | 33 | 54 |
| P3 | 0,00692 | JKsg | 18 | 22 | 59 |
| P4 | 0,03042 | Ka | 68 | 6 | 24 |
| P5 | 0,00561 | JKsg | 22 | 13 | 64 |
| B2 | 0,05250 | Ka | 81 | 3 | 16 |
| B3 | 0,04555 | Ka | 79 | 3 | 18 |
| B4 | 0,04555 | Ka | 78 | 4 | 18 |
| B5 | 0,00408 | JKsg | 21 | 8 | 71 |
| B7 | 0,00315 | JKsg | 12 | 12 | 76 |
| B9 | 0,00562 | JKsg | 16 | 20 | 64 |
| B10 | 0,00428 | JKsg | 15 | 15 | 70 |
| B11 | 0,00612 | JKsg | 22 | 16 | 62 |
| B15 | 0,00587 | JKsg | 21 | 16 | 63 |
| B18 | 0,01439 | JKsg | 37 | 22 | 41 |

* (dag kg⁻¹)

Observa-se que há uma variação considerável entre os valores, sendo que o menor valor foi observado no B7 (0,00315) e o maior, no B2 (0,0525). Essa diferença se dá pela variabilidade de texturas encontradas.

Castro *et al.* (2011) dividiram os valores da erodibilidade entre classes que vão desde muito baixa a extremamente alta. Portanto, temos, na classe muito baixa, as amostras B5, B7, B9, B10, B11, B15, PC2, PC3 e PC5; na classe baixa, as B18 e PC1; na classe alta, PC4; e, na muito alta, as B2, B3 e B4.

Os pontos classificados quanto à sua erodibilidade como muito alta se encontram em regiões levantadas por Gomes *et al.* (2011) como Latossolo Vermelho distrófico. Além de serem os mais arenosos quanto à sua textura, apresentam uma dificuldade de formar agregados e, consequentemente, uma menor estabilidade (SANTOS *et al.*, 2011).

Lima *et al.* (2016) também correlacionam estes altos valores de erodibilidade à qualidade química de um solo. Por serem distróficos, possuem uma baixa saturação por bases (>50%), na qual solos com essa característica possuem uma elevada carga de íons de hidrogênio e alumínio e uma deficiência de cátions metálicos, ou seja, baixa saturação de bases (V%) (GONÇALVES *et al.*, 2019).

Além de esses solos terem em seus materiais de origem o arenito da Formação Adamantina, estes apresentam um material mais grosseiro quanto à sua textura. Ao contrário, temos a categoria de muito baixa associada à Latossolos Vermelhos eutroféricos que possuem uma saturação por bases acima de 50%. Portanto, seria possível associar a saturação por bases à sua erodibilidade.

4.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. Os solos do município de Bela Vista do Paraíso demonstram diferentes atributos, principalmente, quanto à sua textura em função de seus materiais de origem. Os solos desenvolvidos em arenitos da Formação Adamantina possuem uma granulometria mais arenosa, enquanto os solos formados sob a Formação Serra Geral têm um incremento maior de argila.

2. Observou-se que a erodibilidade dos solos encontra-se entre as classes muito baixa até muito alta, o que evidencia uma variabilidade de classes, porém, ao se utilizar a metodologia de Boyoucos (1935), observa-se uma possível subestimação dos valores. Portanto, é indicada a utilização de demais métodos de cálculo de erodibilidade para uma possível aferição dos valores e um conhecimento prévio de valores possíveis na literatura.

3. A identificação no município de um possível Antropossolo Decápico, em função da utilização intensiva dos solos para agricultura, por mais que a classe ainda não esteja incorporada ao Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos, deveria ser estudada de uma forma

mais profunda. Isso possibilitaria melhorar o manejo dos processos erosivos que ocorrem no município e que possa estar sendo realizado de forma inadequada.

REFERÊNCIAS

- BERETTA, A. N.; SILBERMANN, A. V.; PALADINO, L.; TORRES, D.; BASSAHUN, D.; MUSSELLI, R.; GARCÍA-LAMOHE, A. Soil texture analyses using a hydrometer: modification of the Bouyoucos method. **Ciencia e investigación agraria**, v. 41, n. 2, p. 263-271, 2014.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 657-668, 2000.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 8 ed. São Paulo, Livrocercos, 1985.
- BOUYOUCOS, G. J. A comparison between the suction method and the centrifuge method for determining the moisture equivalent of soils. **Soil Science**, v. 40, n. 2, p. 165-172, 1935.
- CAMPOS, R. C.; DEMATTÊ, J. A. M. Cor do solo: uma abordagem da forma convencional de obtenção em oposição à automatização do método para fins de classificação de solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 5, p. 853-863, 2004.
- CASTRO, W. J.; LEMKE-DE-CASTRO, M. L.; LIMA, J. O.; OLIVEIRA, L. F. C.; RODRIGUES, C.; FIGUEIREDO, C. C. Erodibilidade de solos do cerrado goiano. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 4, n. 2, p. 305-320, 2011.
- COOPER, M.; VIDAL-TORRADO, P. Caracterização morfológica, micromorfológica e físico-hídrica de solos com horizonte B nítico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, vol. 29, n. 4, p. 581-595, 2005.
- CUNHA, A. M.; FONTES, M. P. F.; LANI, J. L. Mineralogical and chemical attributes of soils from the Brazilian Atlantic Forest domain. **Scientia Agricola**, v. 76, n. 1, p. 82-92, 2019.
- CUNHA, P.; MARQUES JÚNIOR, J.; CURI, N.; PEREIRA, G. T.; LEPSCH, I. F. Superfícies geomórficas e atributos de Latossolos em uma sequência arenítico-basáltica da região de Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 29, n. 1, p. 81-90, 2005.
- CURCIO, G. R.; LIMA, V. C.; GIAROLA, N. F. B. **Antropossolos: proposta de ordem (1ª aproximação)**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004.
- DENARDIN, J. E. **Erodibilidade do solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1990. 81 p.
- DI RAIMO, L. A. D. L.; AMORIM, R. S. S.; TORRES, G. N.; BOCUTI, E. D.; COUTO, E. G. Variabilidade espacial da erodibilidade no estado de Mato Grosso, Brasil. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 1, p. 61-70, 2019.
- DRIESSEN, P. DECKERS, J. SPAARGAREN, O. NACHTERGAELE, F. Lecture notes on the major soils of the world. **Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)**, 2001. 337p.

EL-SWAIFY, S. A.; DANGLER, E. W. Rainfall erosion in the tropics: a state of art. *In*. KREBS, D. M., (ed.). *Determinants of soil loss tolerance*. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 1-25.

EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro. EMBRAPA-CNPS, 1997. 212 p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed. Rio de Janeiro. EMBRAPA-CNPS, 2018.

FERNANDEZ, R. N.; SCHULZE, D. G. Munsell colors of soils simulated by mixtures of goethite and hematite with kaolinite. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 155, p. 473-478, 1992.

FERREIRA, B. A.; FABRIS, J. D.; SANTANA, D. P.; CURI, N. Óxidos de ferro das frações areia e silte de um Nitossolo desenvolvido de basalto. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2003.

FIGUEIREDO, M. A. **Óxidos de Ferro Pedogênicos e sua Influência na Agregação de Partículas de Argila: Estudo de Caso nos Solos da Região de Gouveia-Serra do Espinhaço Meridional-MG**. 1999. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999. 92p.

FONTES, M. P. F.; WEED, S. B. Iron oxides in selected Brazilian oxisols: I. Mineralogy. **Soil Science Society of America Journal**, v. 55, n. 4, p. 1143-1149, 1991.

GASPARETTO, N. V. L.; SOUZA, M. L. Contexto geológico geotécnico da formação Caiuá no terceiro planalto paranaense – PR. *In*. ENCONTRO GEOTÉCNICO DO TERCEIRO PLANALTO PARANAENSE, 1., Maringá, 2003. **Anais [...]**. Maringá, ENGEOPAR, 2003. p.53-65.

GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; CURCIO, G. R.; CAVIGLIONE, J. H.; UHLMANN, A.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P., **Levantamento semidetalhado de solos do município de Bela Vista do Paraíso--PR**. 1. ed. Londrina: IAPAR, 2011. 68 p.

GONÇALVES, F.; CORREA, C. Z.; LOPES, D. D.; VENDRAME, P. R. S.; TEIXEIRA, R. S. Monitoring of the process of waste landfill leachate diffusion in clay and sandy soil. **Environmental monitoring and assessment**, v. 191, n. 9, art. 577, p. 1-16 2019.

GUIMARÃES, C. C. B. **Intemperismo de solos e a energia eletromagnética sob a ótica de várias faixas do espectro (Gama, raios X, Vis, NIR, SWIR e MIR)**. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2019.

IBGE. **Manuais técnicos em geociências: manual técnico de pedologia**. 3. ed. Brasília, DF: IBGE, 2015.

LAL, R. Erodibility and erosivity. *In*. LAL, R. (ed). **Soil erosion research methods**. Ankeny: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.
- LIMA, C. G. R.; CARVALO, M. P.; SOUZA, A.; COSTA, N. R.; MONTANARI, R. Influência de atributos químicos na erodibilidade e tolerância de perda de solo na Bacia Hidrográfica do Baixo São José dos Dourados. **Geociências**, v. 35, n. 1, p. 63-76, 2016.
- LU, S. G.; XUE, Q. F.; ZHU, L.; YU, J. Y. Mineral magnetic properties of weathering sequence of soils derived from basalt in Eastern China. **Catena**, v. 73, p. 23-33, 2008.
- MACEDO, J.; BRYANT, R. B. Preferential microbial reduction of hematite over goethite in a Brazilian Oxisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 53, n. 4, p. 1114-1118, 1989.
- MANFREDINI, S.; FURIAN, S. M.; QUEIROZ NETO, J. P. Técnicas em Pedologia. In. VENTURI, L. A. B. (org.). *Praticando Geografia*. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005, v.1.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados: primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 427-434, 1997.
- MELFI, A. J.; PEDRO, G. Estudo geoquímico dos solos e formações superficiais do Brasil. Parte 1 - Caracterização e repartição dos principais tipos de evolução pedogeoquímica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 7, n. 4, p. 271-286, 1977.
- MELLO PRADO, R.. A calagem e as propriedades físicas de solos tropicais: revisão de literatura. **Revista Biociências**, v. 9, n. 3, p. 7-16, 2003.
- MINEROPAR, S. A. Mapa geológico do Estado do Paraná. Londrina, **Escala**, v. 1, n. 250.000, 2006.
- PEDRON, F. A.; AZEVEDO, A. C.; DALMOLIN, R. S. D.; STÜRMER, S. L. K.; MENEZES, F. P. Morfologia e classificação taxonômica de Neossolos e saprolitos derivados de rochas vulcânicas da Formação Serra Geral no Rio Grande no Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 1, p. 119-128, 2009.
- PETRI, S.; FULFARO, V. J. **Geologia do Brasil (Fanerozóico)** São Paulo, EDUSP, 1983.
- PINESE, J. P. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In. MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. (orgs.). **A Bacia do Rio Tibagi**. Londrina: ME Medri, p. 21-38, 2002.
- QUEIROZ NETO, J. P. Estudo de Formações Superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22, n 1-2, p. 65-78, 2001.
- SANTOS, D. C.; PILLON, C. N.; FLORES, C. A.; LIMA, C. L. R.; CARDOSO, E. M. C.; PEREIRA, B. F.; MANGRICH, A. S. Agregação e frações físicas da matéria orgânica de um Argissolo Vermelho sob sistemas de uso no bioma Pampa. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 35, n. 5, p. 1735-1744, 2011.
- SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J.

M. F.; ROSS, J. M. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

SILVA, A. R.; SOUZA JUNIOR, I. G.; COSTA, A. C. S. Suscetibilidade magnética do horizonte B de solos do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 2, p. 329-337, 2010.

SILVA, L. S.; MARQUES JÚNIOR, J.; BARRÓN, V.; GOMES, R. P.; TEIXEIRA, D. B.; SIQUEIRA, D. S.; VASCONCELOS, V. Spatial variability of iron oxides in soils from Brazilian sandstone and basalt. **Catena**, v. 185, p. 104258, 2020.

TEIXEIRA, R. C.; ROCHA, P. A.; FARIA, A. L. L.; COSTA, L. M.; ALVES, E. E. N. Quantificação química em perfis de antropossolos por fluorescência de raios-X com vistas a identificação de descontinuidades de camadas. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 10, n. 1, p. 10-17, 2019.

WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B.V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **J. Soil Water Cons.**, Ankeny, v. 26, p. 189-193, 1971.

ZHAO, H.; YI, X.; ZHOU, R.; ZHAO, X.; ZHANG, T.; DRAKE, S. Wind erosion and sand accumulation effects on soil properties in Horqin Sandy Farmland, Inner Mongolia. **Catena**, v. 65, n. 1, p. 71-79, 2006.

5. ARTIGO II

APLICAÇÃO DO NDVI E CONVERSÃO PARA O FATOR C_r PARA IDENTIFICAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO

APPLICATION OF NDVI AND CONVERSION TO THE C_r FACTOR FOR IDENTIFICATION OF SOIL COVERAGE

Resumo: O estado do Paraná demonstra grande relevância para a agricultura brasileira, sendo um dos maiores exportadores de grãos do país e para que se consiga estimar áreas de plantio são utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto. Um dos índices utilizados é o NDVI, que tem a sua determinação através do índice de biomassa presente nas imagens de satélite. Diante disso, objetiva-se neste artigo converter e identificar os valores do NDVI para o Fator C_r , proposto por Durigon *et al.* (2014), utilizando imagens do sensor Sentinel-2B. Foram também realizadas análise visual das cenas e análise estatística por meio da correlação de Spearman e o agrupamento de *clusters*. Observa-se que o município de Bela Vista do Paraíso tem três fases distintas quanto ao índice de sua biomassa no solo: 1) o solo se encontra exposto, sendo denominado de pousio; 2) uma fase intermediária, na qual algumas áreas têm o solo exposto e outras ainda com o cultivo de lavouras temporárias; e, 3) na última fase, e o índice de biomassa se manifesta elevado, correspondendo ao período de cultivo das culturas indicando que a técnica responde positivamente para a análise do calendário agrícola do município.

Palavras-chave: NDVI; fator C_r ; análise visual; análise estatística; lavouras temporárias.

Abstract: The state of Paraná demonstrates great relevance for Brazilian agriculture, being one of the largest grain exporters in the country and, in order to be able to estimate planting areas, Remote Sensing techniques are used. One of the indices used is the NDVI, which is determined through the biomass index present in satellite images. Therefore, the objective of this article is to convert and identify the NDVI values for the C_r Factor, proposed by Durigon *et al.* (2014), using images from the Sentinel-2B sensor. Visual analysis of the scenes and statistical analysis using Spearman's correlation and clustering were also performed. It is observed that the municipality of Bela Vista do Paraíso has three distinct phases regarding the index of its biomass in the soil: 1) the soil is exposed, being called fallow; 2) an intermediate phase, in which some areas have the soil exposed and still others with the tillage cultivation of temporary crops; and 3) in the last phase, and the biomass index is high, corresponding to the period of cultivation of the crops, indicating that the technique responds positively to the analysis of the agricultural calendar of the municipality.

Keywords: NDVI; C_r factor; Visual analysis; Statistical analysis; Temporary crops.

5.1. INTRODUÇÃO

O estado do Paraná possui notoriedade na produção agrícola brasileira, sendo destaque na produção de soja e milho. A região Norte Central do estado corresponde, em boa parte, pelo plantio e colheita destes grãos. Devido à importância de se estimar a quantidade a ser colhida para que haja uma determinação de preços, manutenção de estoques, produção de insumos etc., algumas tecnologias como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foram incorporadas pela cadeia produtiva do agronegócio (ESQUERDO, 2007).

Técnicas de Sensoriamento Remoto são aplicadas em estudos da superfície terrestre, sendo que o NDVI tem o intuito de determinar o índice de biomassa por meio de dados orbitais,

constituindo-se uma tecnologia passível de análises temporais e contribuindo para o monitoramento de lavouras de forma remota (LENNEY *et al.*, 1996; MOTTA; FONTANA; WEBER, 2003; SOUDANI *et al.*, 2012).

Jensen (2009) salienta que, ao contrário dos levantamentos de campo que podem durar dias e têm custos elevados, os dados de sensores orbitais podem ser adquiridos de forma sistemática e para grandes áreas. Este monitoramento de culturas através de sensores orbitais apresenta a sua relevância para o acompanhamento ao longo do tempo de cultivo, no qual é possível compreender, desde o plantio, falhas, pragas e até o momento exato da colheita (MARTINKO *et al.*, 2000; JAKUBAUSKAS; LEGATES; KASTENS, 2002).

Rouse *et al.* (1973), ao proporem este índice para determinação da biomassa com a utilização de bandas espectrais dos sensores orbitais, tem interesse em reduzir a influência do solo e separar o brilho da vegetação. O índice NDVI se propõe com a utilização das bandas espectrais do infravermelho próximo (IVP) e o vermelho (VER) (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; JENSEN, 2009).

O NDVI é utilizado para formar uma série temporal das lavouras, servindo, assim, para evidenciar a evolução da biomassa sadia com o decorrer do tempo (JENSEN, 2009; FONTANA *et al.*, 2015).

Uma das formas de também utilizar o NDVI é na Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE) (RENARD *et al.*, 1997; DURIGON *et al.*, 2014), mediante os fatores C (uso e ocupação do solo) e P (prática conservacionista utilizada). Esse modelo matemático tem como objetivo quantificar através de algumas variáveis a quantidade de solo possivelmente erodido pela erosão laminar.

Guerra e Botelho (1996) salientam que a ação antrópica venha a ser o principal fator para a aceleração de processos erosivos. Em áreas rurais, o desmatamento, queimadas, monocultivos, compactação dos solos pela intensa mecanização do campo, pisoteio do gado e falta de manejo adequado impactam no ciclo de infiltração das chuvas pelo solo, resultando em erosão laminar, ravinas e voçorocas.

A utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica é amplamente utilizada para quantificar a perda de solos por intermédio da RUSLE (KUMAR; DEVI; DESHMUKH, 2014), pois, assim, permitem o monitoramento de amplas áreas, além do seu custo efetivo baixo.

Durigon *et al.* (2014) utilizaram o índice NDVI para determinar valores de C e P do modelo RUSLE, através de uma equação, na qual os valores do índice são reescalados de forma que não se tenha números negativos e este índice fique entre 0 e 1, além de ser adaptada às regiões de

clima tropical.

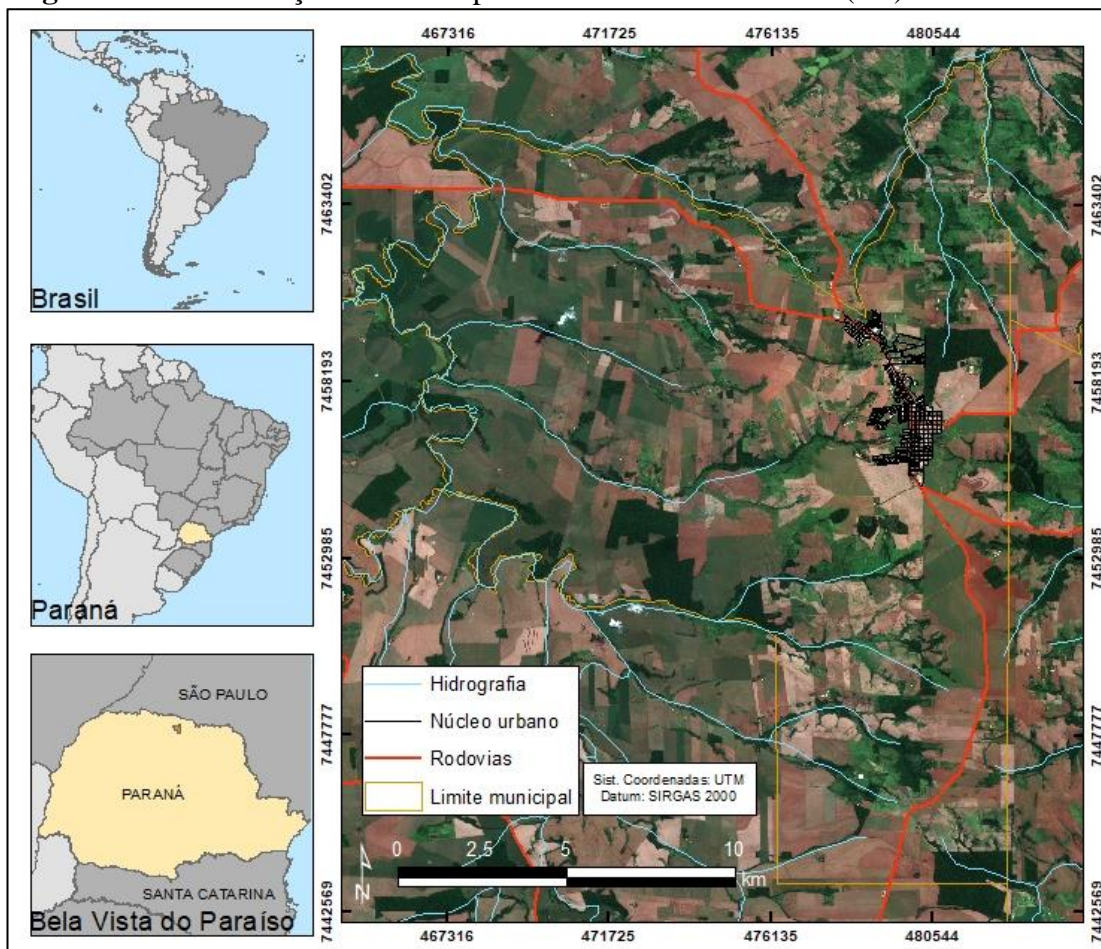
Diante disso, objetiva-se neste artigo realizar a análise sazonal do uso e cobertura do solo no período de 1 (um) ano, no município de Bela Vista do Paraíso (PR), utilizando-se do NDVI convertido para fator C_r (uso e manejo do solo reescalonado) pela metodologia de Durigon *et al.* (2014).

5.2. MATERIAIS E MÉTODOS

O município de Bela Vista do Paraíso localiza-se na região Norte Central do Paraná na microrregião geográfica de Porecatu, que engloba esse município e mais os de Alvorada do Sul, Primeiro de Maio, Florestópolis, Miraselva, Prado Ferreira, Bela Vista do Paraíso e Sertanópolis.

Situando-se entre os paralelos 22° 53' 50" e 23° 7' 5" de latitude sul e os meridianos 51° 9' 59" e 51° 20' 42" de longitude oeste, possuindo uma área de aproximadamente 250 km², na qual a principal atividade econômica é o plantio de culturas temporárias como soja e milho (figura 5.1).

Figura 5.1.: Localização do município de Bela Vista do Paraíso (PR).



Fonte: Decco, 2021.

Para a confecção do fator C_r temporal do município, foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2B (órbita descendente 81), disponíveis no sítio da *United States Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). As cenas foram selecionadas, primeiramente, pela quantidade de nuvens presentes no município (não superiores a 10% da cena). Assim, foram observadas as imagens com parâmetros de *cloud cover* satisfatórios para o período de outubro de 2017 a setembro de 2018 (15/10/2017, 24/11/2017, 19/12/2017, 23/1/2018, 7/2/2018, 24/3/2018, 28/4/2018, 28/5/2018, 22/6/2018, 27/7/2018, 26/8/2018 e 10/9/2018).

As imagens do satélite estão disponíveis em formato *.jp2*. Por isso, o primeiro passo foi transformá-las em arquivos *.geotiff*. Em seguida, utilizando-se a ferramenta *clip* para recortá-las com a malha municipal de Bela Vista do Paraíso, cedida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dois procedimentos foram realizados no *software* ArcGis 10.3. Após os processos mencionados, as imagens foram corrigidas atmosféricamente e convertidas radiometricamente no *software* QGIS 3.4.8 para serem utilizadas na confecção do NDVI.

No *software* QGIS 3.4.8, utilizou-se o *plugin* SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), no qual, na função *preprocessing*, escolheu-se o algoritmo do satélite Sentinel-2. Esse trabalha automaticamente para esta correção, como é descrito por Congedo (2016) e Rezende, Marques e Rosa (2017).

Para a obtenção do fator C_r é necessário a confecção do NDVI, conforme a equação 1 proposta por Rouse *et al.* (1973).

Equação 1: Cálculo do NDVI

$$NDVI = \frac{IVP - VER}{IVP + VER}$$

Onde:

IVP – Infravermelho Próximo

VER – Vermelho

As bandas utilizadas foram as 4 e 8. A banda 4 trabalha na faixa do Vermelho (VER) e a 8, na faixa do infravermelho próximo (IVP).

Para a realização do processamento digital destas bandas e o reescalonamento para o fator C_r , o *Add-in* GISus-M foi instalado no *software* ArcGis, onde optou-se pela utilização da equação de Durigon *et al.* (2014), que propõe uma equação para que os valores de NDVI em conversão

para o fator C_r estejam mais próximos da realidade de uma cobertura vegetal mais densa, como apresentado nas regiões tropicais (equação 2).

Equação 2: Reescalamento do fator C_r conforme equação de Durigon *et al.* (2014).

$$C_r = \left(\frac{-NDVI + 1}{2} \right)$$

Onde:

C_r = C reescalado

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Durigon *et al.* (2014) explicam que, para que os resultados venham a ser condizentes com os valores dos fatores C e P da RUSLE, os valores mais próximos a 1 são de locais em que, possivelmente, o solo está exposto e as técnicas de manejo sejam inadequadas. Os valores mais próximos a 0 são de áreas onde temos uma boa cobertura vegetal e o solo esteja protegido.

Desta forma, há uma inversão dos valores comumente observados no NDVI propostos por Rouse *et al.* (1973).

Realizada esta etapa, os valores obtidos pelo fator C_r foram divididos em 7 classes, conforme Carvalho *et al.* (2014), sendo essa: 0 – 0,1; 0,1 – 0,2; 0,2 – 0,3; 0,3 – 0,4; 0,4 – 0,5; 0,5 – 0,6; 0,6 – 1.

Posteriormente, foi realizada a quantificação da área em km² de cada uma das 7 classes propostas por Carvalho *et al.* (2014), sendo assim tabuladas para a análise estatística. Os dados de área extraídos foram analisados quanto à distribuição normal, de acordo com o teste de Anderson-Darling, a um nível de confiança de 95%. Foram realizados testes de correlação de Spearman para o conjunto de variáveis (equação 3)

Equação 3: Correlação de Spearman.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{(n^3 - n)}$$

Onde:

n = número de pontos de dados das duas variáveis

d_i = diferença de alcance do elemento n

Finalmente realizou-se a análise multivariada de agrupamento (*cluster*) para descrever ou validar as similaridades presentes no grupo de variáveis entre os períodos investigados. Adotou-se o agrupamento de variáveis pelo método de ligação completa, medida de distância por correlação e três agrupamentos predominantes, utilizando-se o *software* Minitab®.

As variáveis de agrupamento usam um procedimento hierárquico para formar os agrupamentos. As variáveis são agrupadas com aquelas que são semelhantes (correlacionadas) entre si. O método de ligação indica ou especifica como a distância entre dois agrupamentos é definida. No caso do agrupamento de variáveis, a distância se refere à distância entre variáveis e a ligação se refere à distância entre agrupamentos de variáveis.

A distância entre dois agrupamentos é a distância máxima entre uma observação (ou variável) em um agrupamento e uma observação (ou variável) no outro agrupamento. Este método, também chamado de método do vizinho mais distante, assegura que todas as observações (ou variáveis) em um agrupamento estejam dentro de uma distância máxima e tende a produzir agrupamentos que têm diâmetros similares.

A medida de distância foi definida por correlação, fornece distâncias entre 0 e 1 para correlações positivas e entre 1 e 2 para correlações negativas. Entende-se que faz sentido considerar dados negativamente correlacionados como mais afastados do que dados correlacionados positivamente, use o método de correlação. Assim, é possível entender como mais distantes aquelas variáveis inversamente correlacionadas.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a melhor organização e discussão dos dados, este capítulo foi compartimentado entre dois sub-itens: **5.3.1. Análise visual do Fator C_r** , no qual serão apresentados os mapas já trabalhados, conforme a metodologia de Durigon *et al.* (2014) de reescalonamento dos valores de NDVI para o Fator C_r ; **5.3.2. Análise estatística do Fator C_r** , em que se apresenta a quantificação dos valores de área para cada classe de fator C_r , conforme as classes de Carvalho *et al.* (2014) e seu tratamento estatístico.

5.3.1. Análise visual do Fator C_r

Devido à suscetibilidade agrícola do município para a produção de grãos, com aproximadamente 15 mil ha de cultivo, onde somente a soja corresponde por 2,5 t/ha/ano (IBGE, 2020). O calendário agrícola do município tem como base a produção de *comodites* como a soja para a exportação, na qual os produtores possuem riscos e respectivos períodos de melhor

aproveitamento das condições para plantio e colheita (MELO; SILVA; ESPERANCI, 2012).

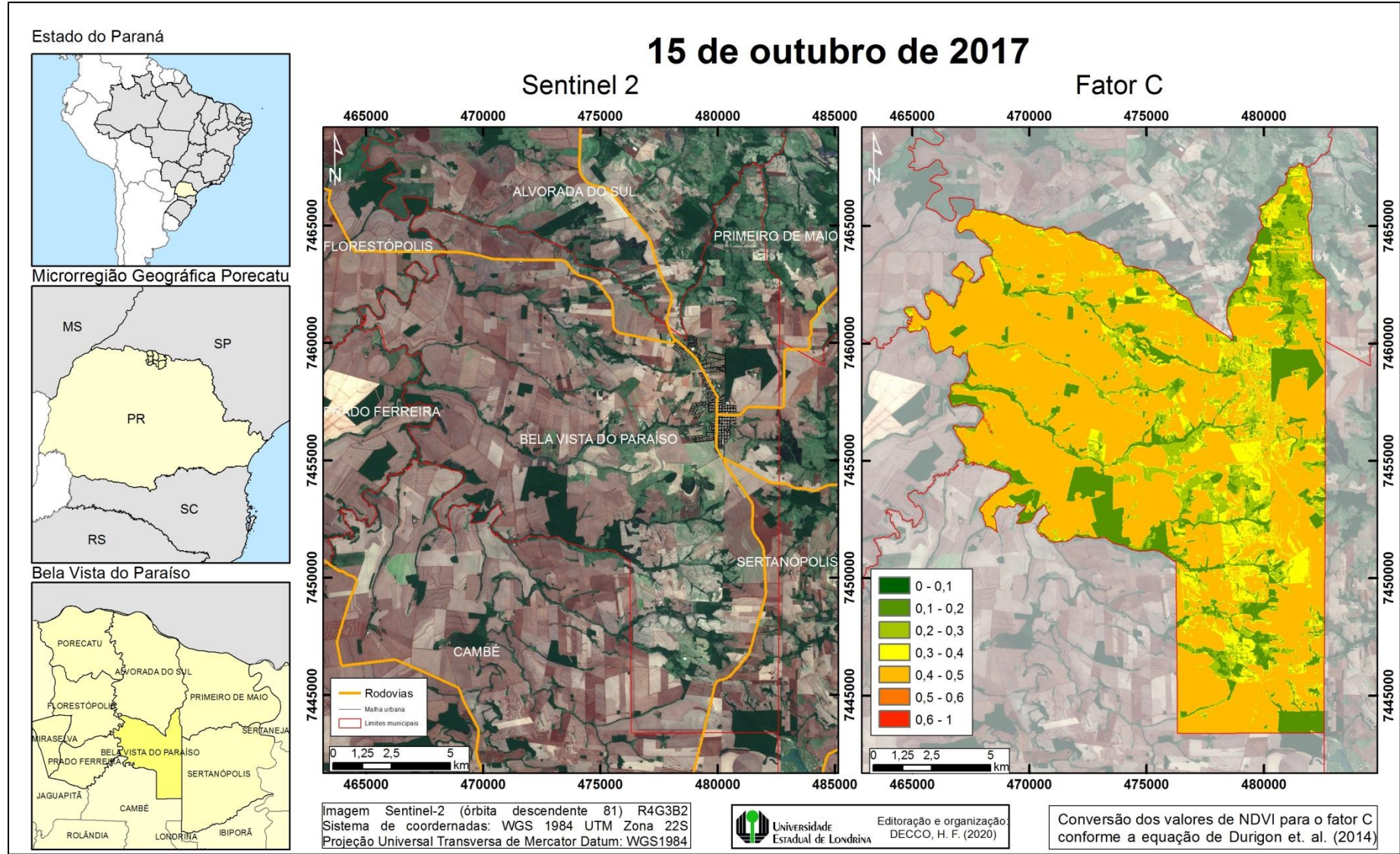
O período de outubro de 2017 a setembro de 2018 (figuras 5.2 a 5.13) foi escolhido, primeiramente, pela disponibilidade de imagens do satélite Sentinel-2B, além de que a observação anual pode corroborar na análise das áreas de lavouras temporárias, principal objetivo deste artigo, e consequente reescalonamento do NDVI para o Fator C_r de Durigon *et al.* (2014).

Van Oort *et al.* (2004), ao estudar a acurácia da classificação de paisagens na Holanda, discorre sobre a variabilidade e precisão que ocorrem neste processo de categorização. Ao utilizar classificações de culturas temporárias como o NDVI mensal, como aqui realizado, acredita que é uma forma de organizar o mapeamento com melhor acurácia, pois não há a discriminação de cada classe e, consequentemente, é necessário visita *in loco* para aferição da “verdade terrestre”, o que acaba facilitando o mapeamento destes locais. Castro *et al.* (2018) também utilizaram técnicas de NDVI para o monitoramento temporal das culturas no estado da Califórnia nos Estados Unidos da América.

Fontana *et al.* (2015), ao estudar o calendário agrícola da cultura de soja com perfis temporais de NDVI/MODIS, para o estado do Rio Grande do Sul, demonstraram como essa ferramenta permite acompanhar os ciclos e consequente evolução temporal das culturas. Como é observado no período de outubro de 2017 a setembro de 2018, havendo o plantio de soja, ocorre um pequeno pousio para a transição da cultura de milho ou trigo e um posterior, mais longo, para a realização de calagem e práticas de conservação do solo.

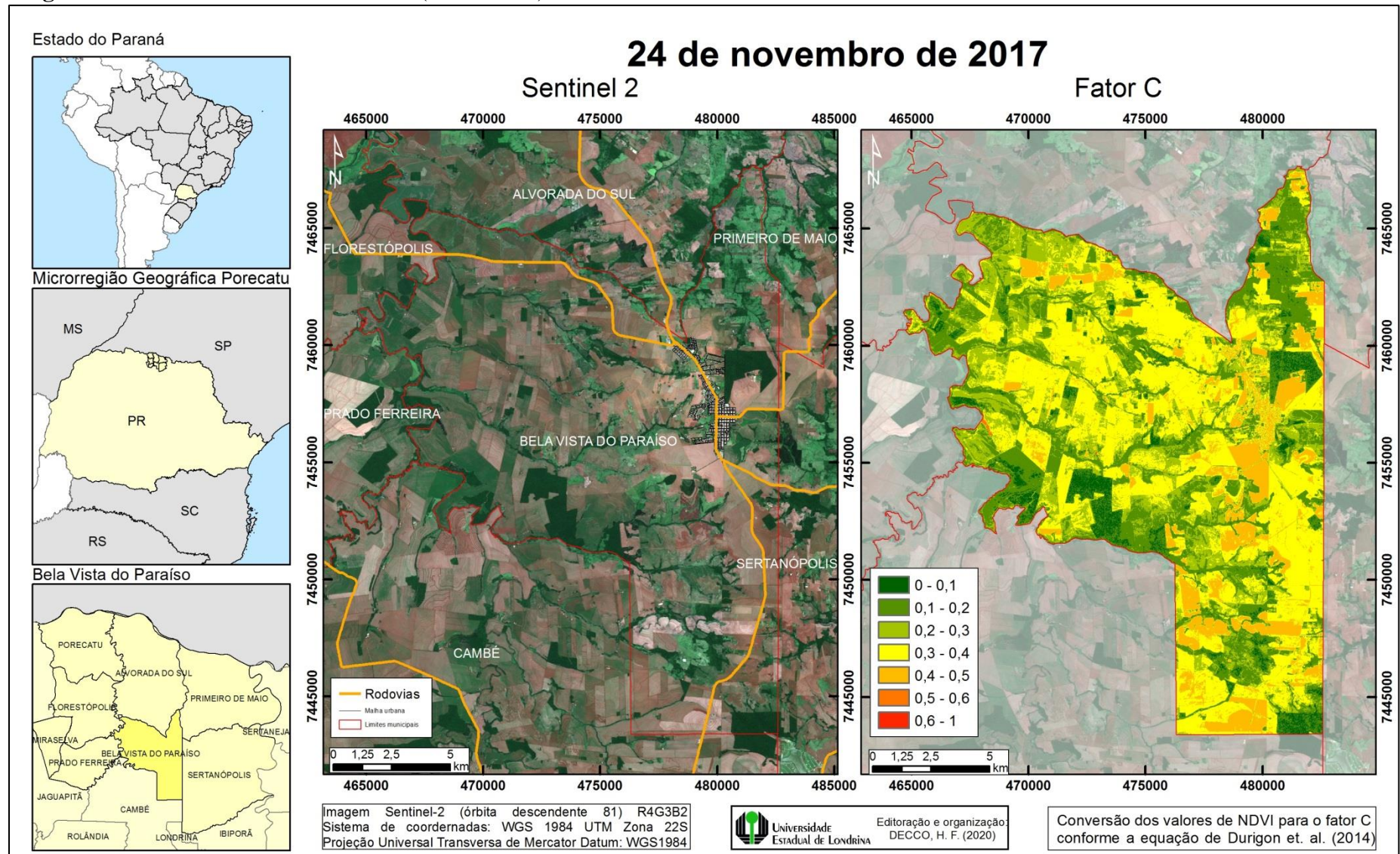
Johann *et al.* (2016) utilizaram também dados do sensor MODIS para estimar o ciclo de desenvolvimento da soja no estado do Paraná e a provável data em que as empresas cerealistas receberão o grão, podendo, assim, planejar a logística da cadeia produtiva da cultura. Chamam atenção ainda para a Resolução nº 4.427 (26/6/2015) do Banco Central do Brasil que passa a exigir a utilização de dados orbitais para o financiamento rural para fins de seguro da safra e aferição de fraudes.

Figura 5.2.: Fator C_r utilizando o NDVI (15/10/2017).



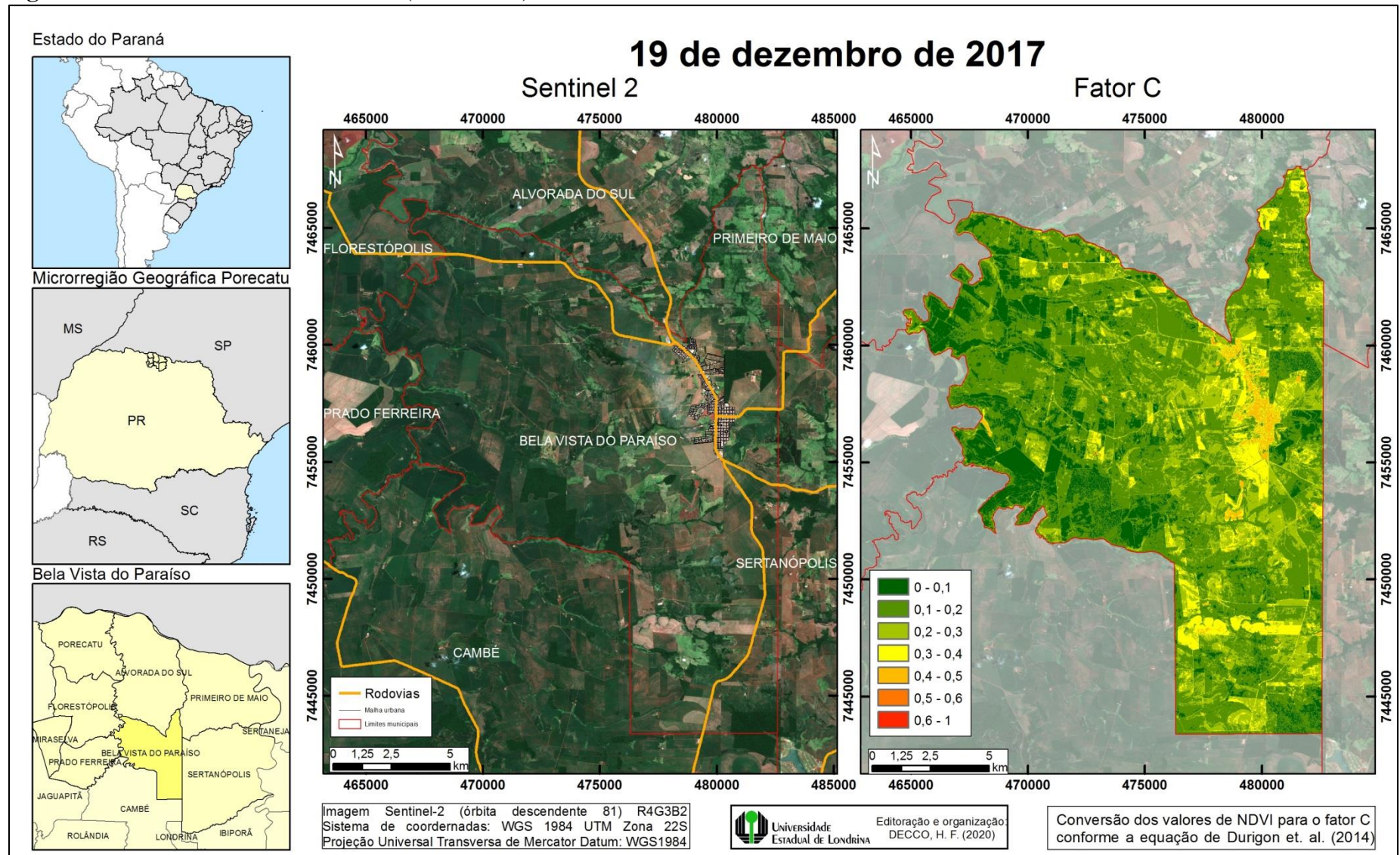
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.3.: Fator C_r utilizando o NDVI (24/11/2017).



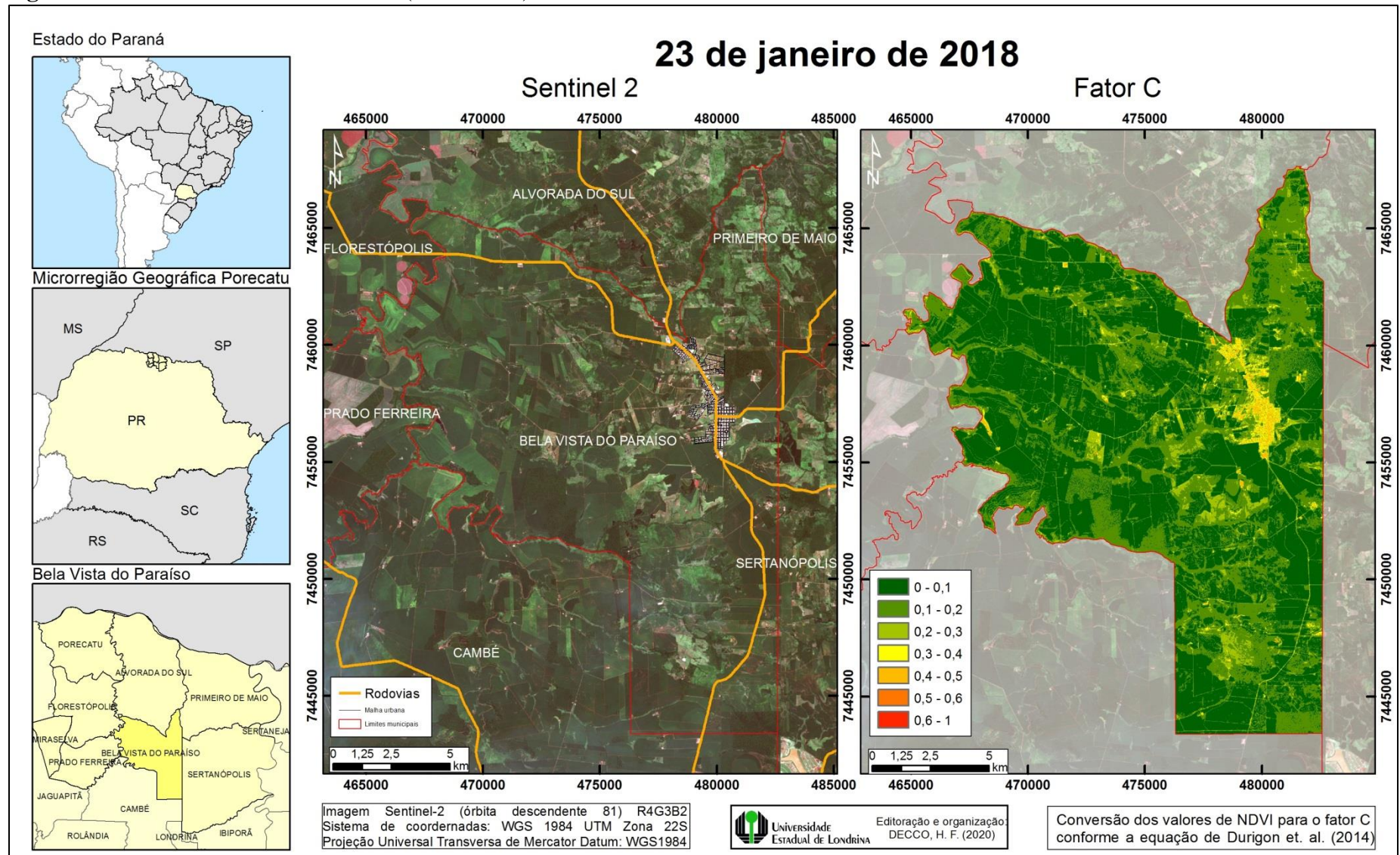
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.4.: Fator C_r utilizando o NDVI (19/12/2017).



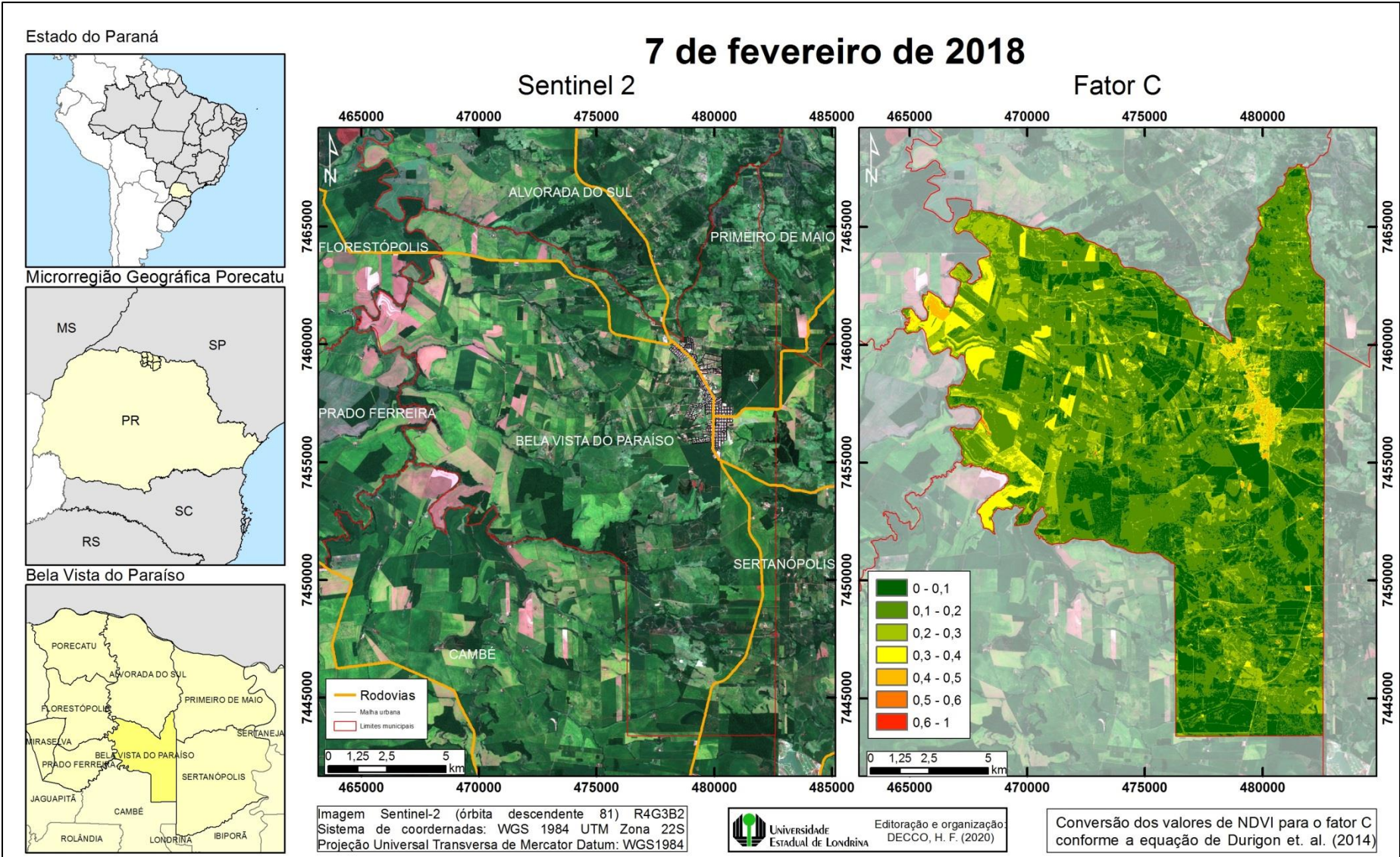
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.5.: Fator C_r utilizando o NDVI (23/01/2018).



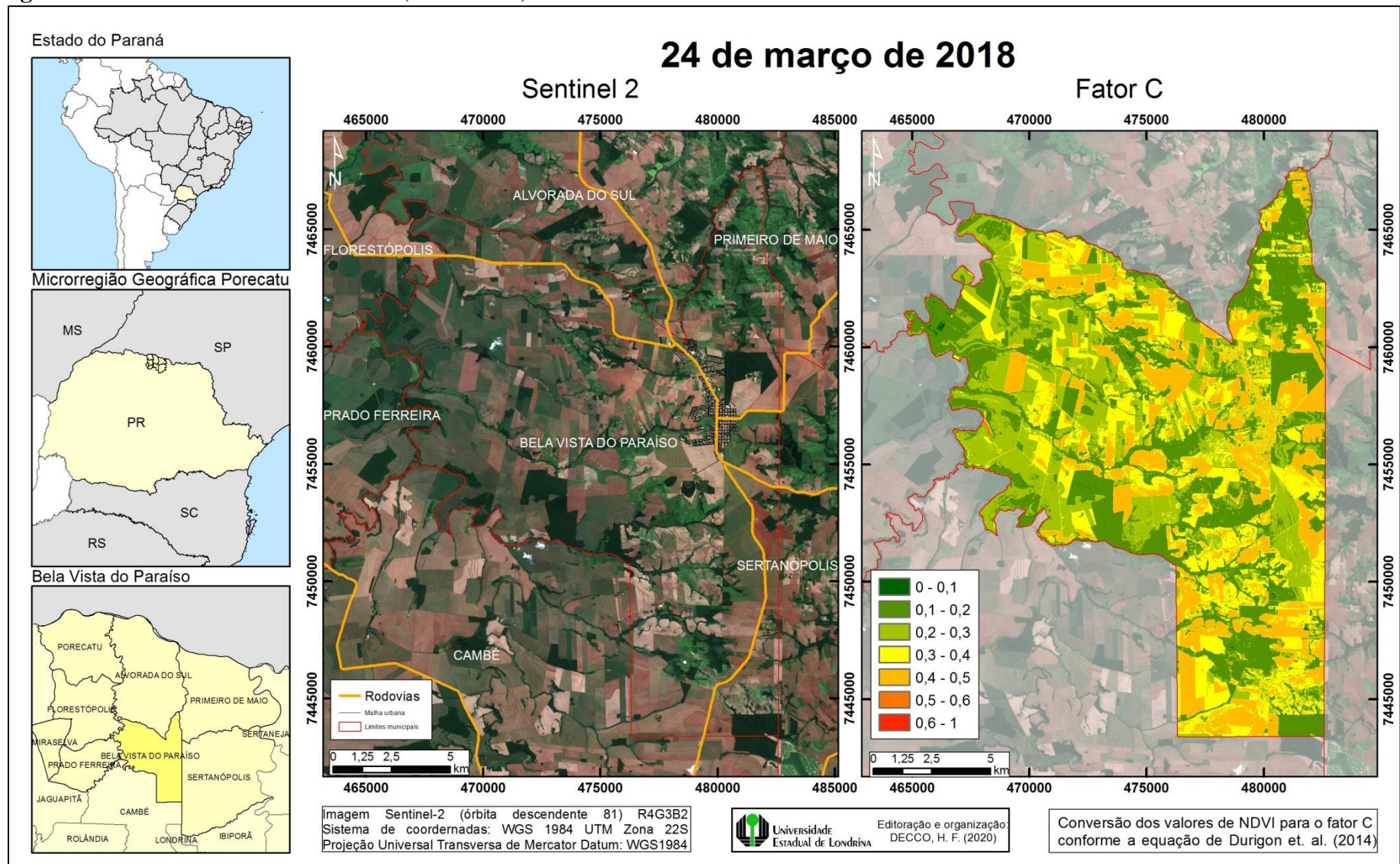
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.6.: Fator C_r utilizando o NDVI (07/02/2018).



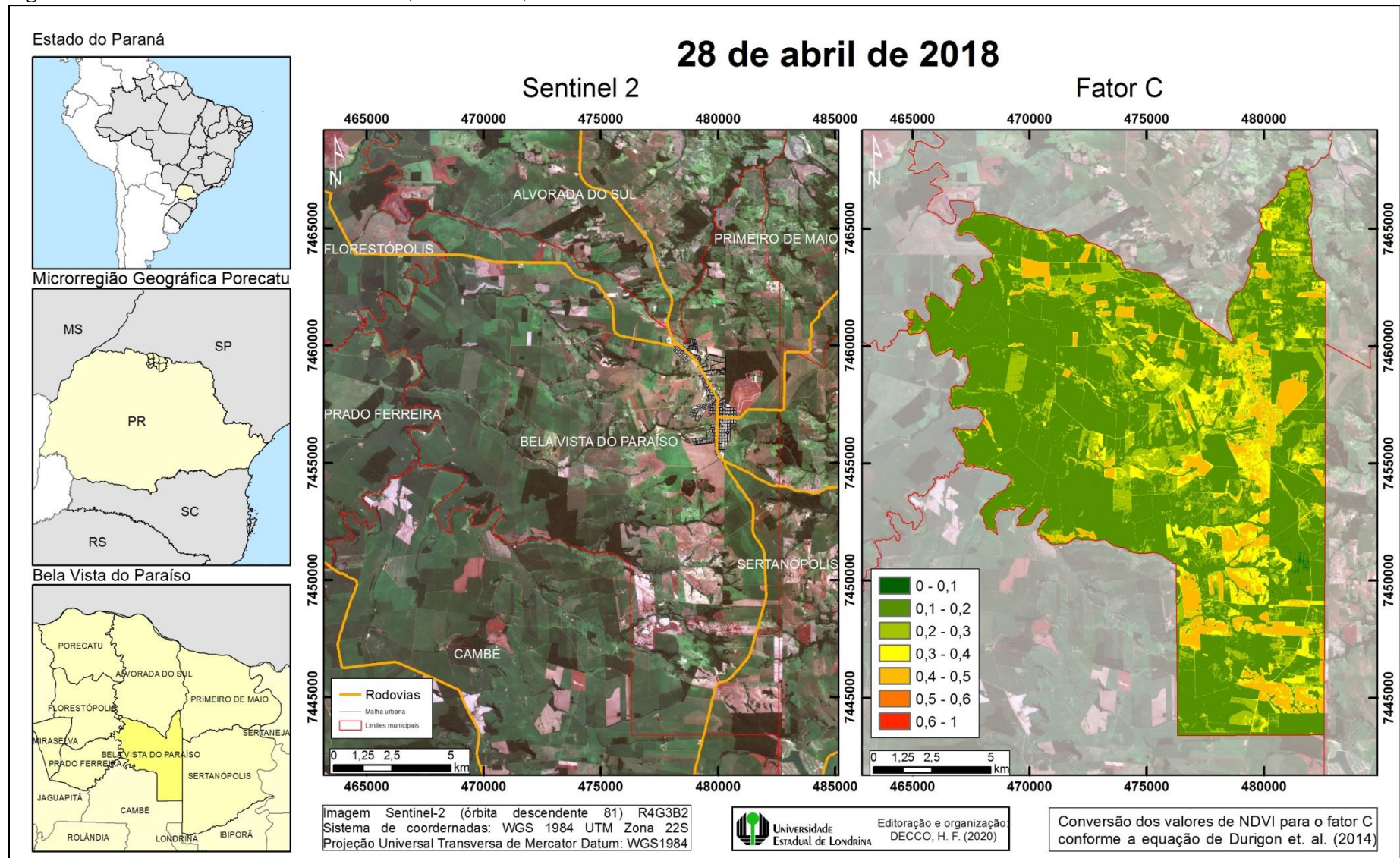
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.7.: Fator C_r utilizando o NDVI (24/03/2018).



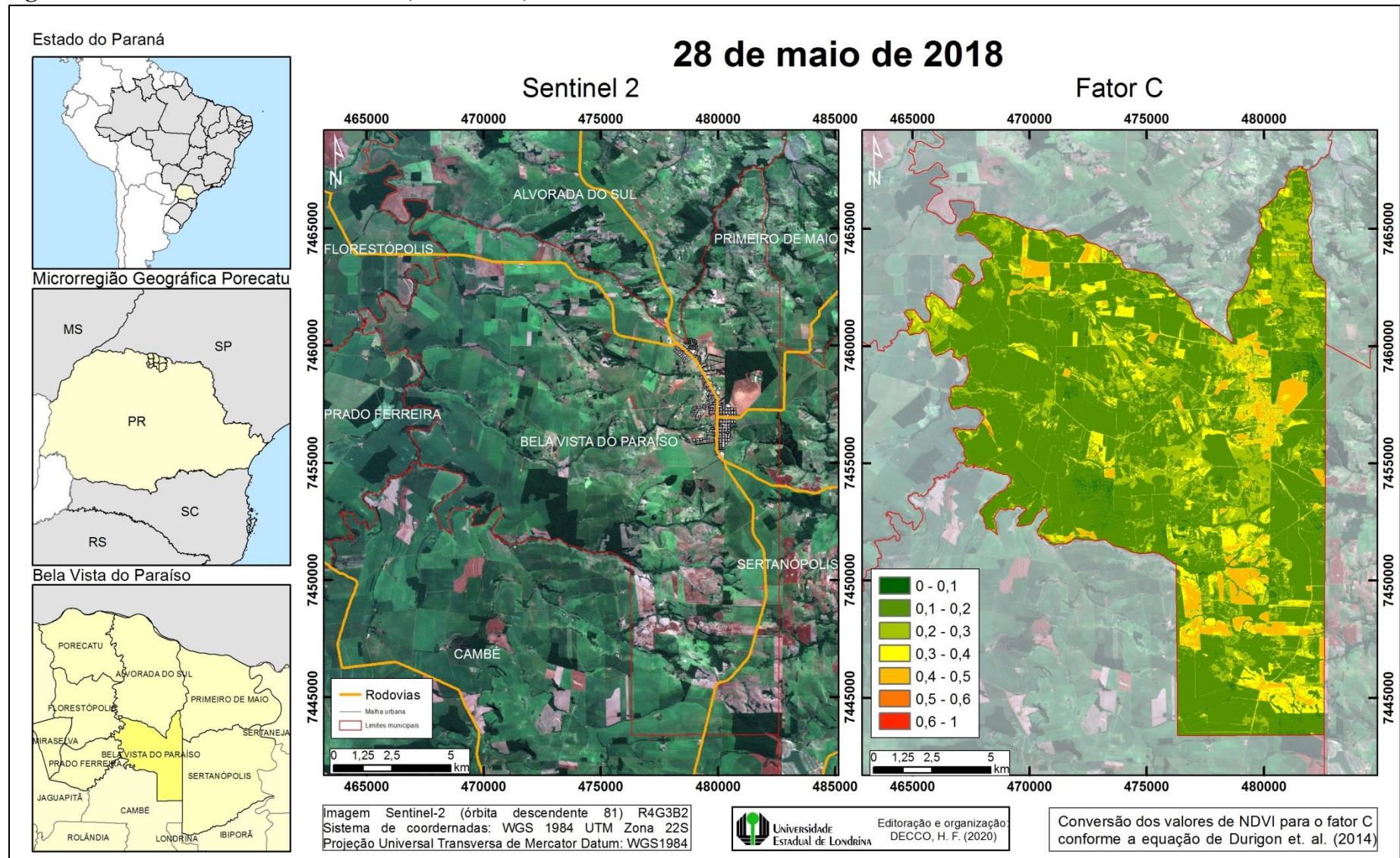
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.8.: Fator C_r utilizando o NDVI (28/04/2018).



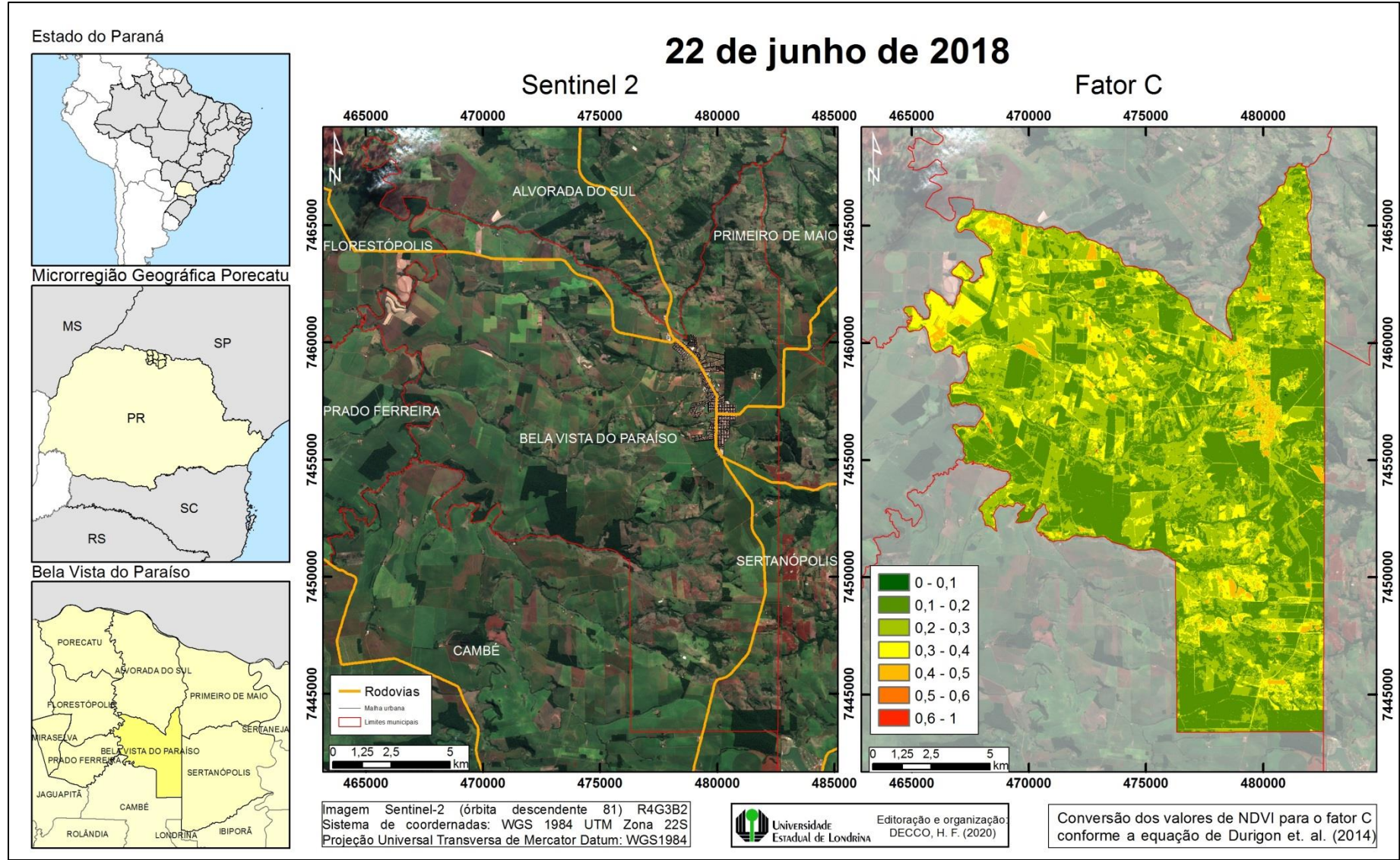
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.9.: Fator C_r utilizando o NDVI (28/05/2018).



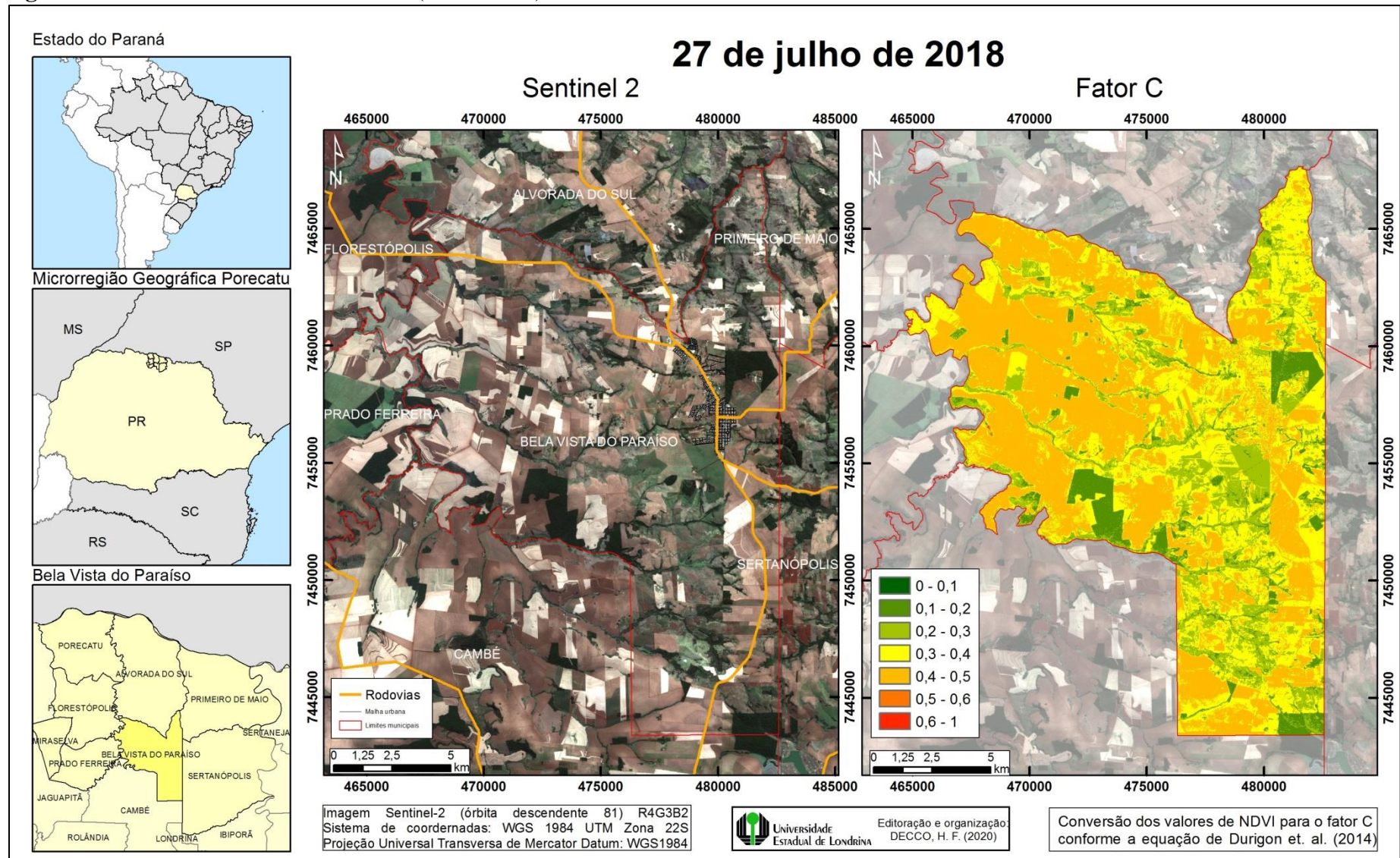
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.10.: Fator C_r utilizando o NDVI (22/06/2018).



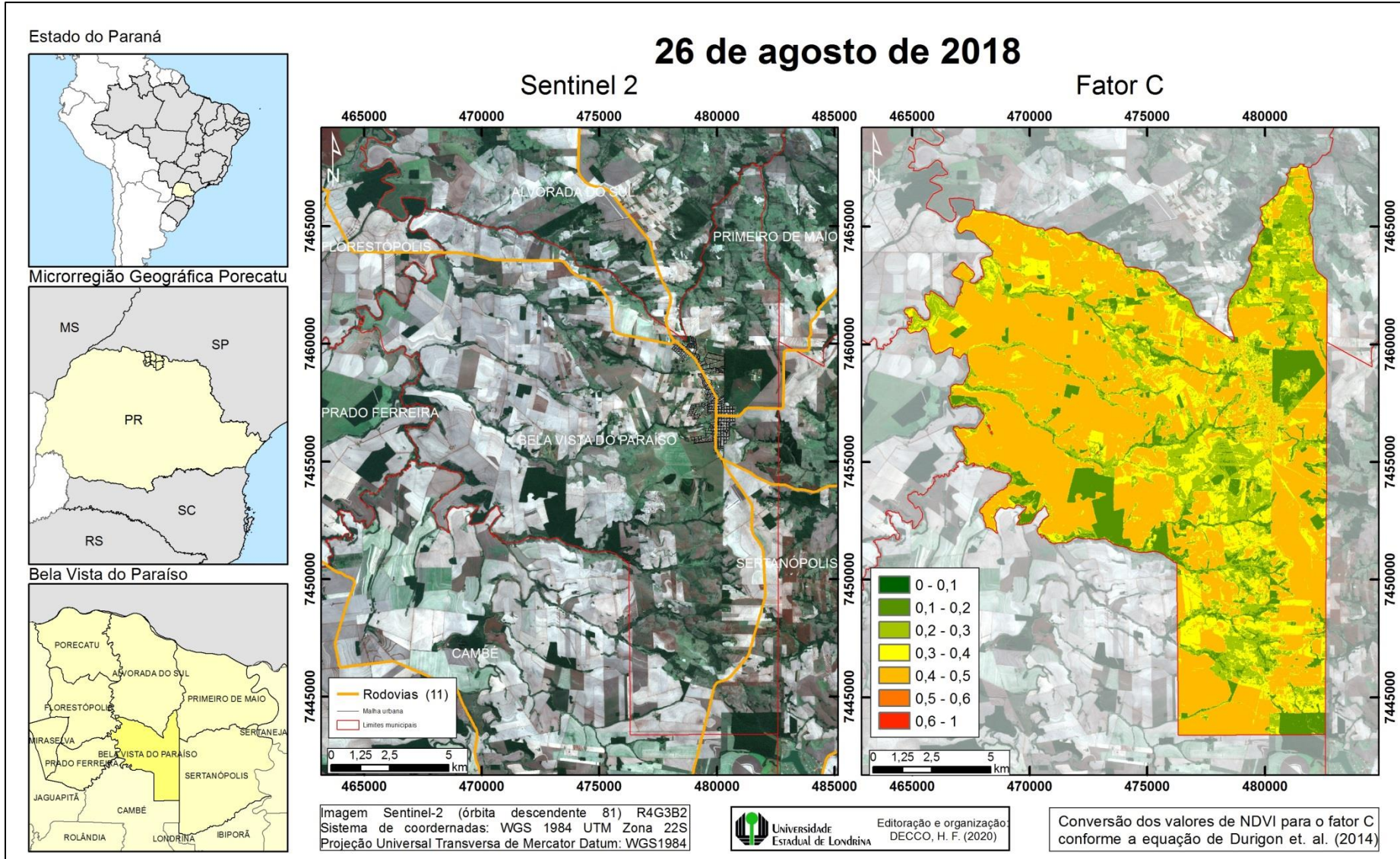
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.11.: Fator C_r utilizando o NDVI (27/07/2018).



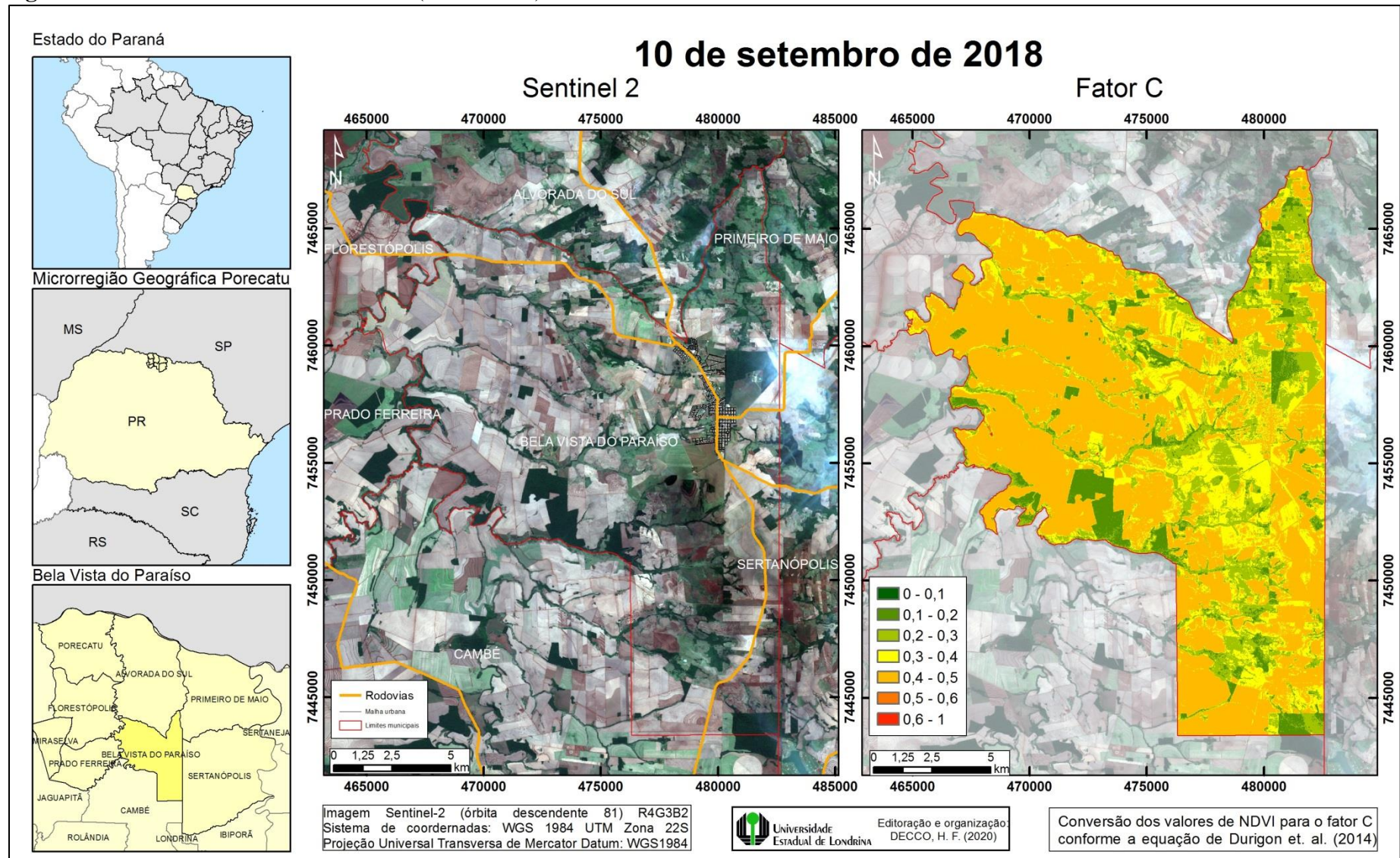
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.12.: Fator C_r utilizando o NDVI (26/08/2018).



Fonte: DECCO, 2021.

Figura 5.13.: Fator C_r utilizando o NDVI (10/09/2018).



Fonte: DECCO, 2021.

Observa-se, nas figuras 5.2 (outubro/2017), 5.12 (agosto/2018) e 5.13 (setembro/2018), que a resposta ao fator C_r , por se dar mais alta em locais onde não há cobertura vegetal do solo, está associada à colheita dos grãos e o chamado período de pousio.

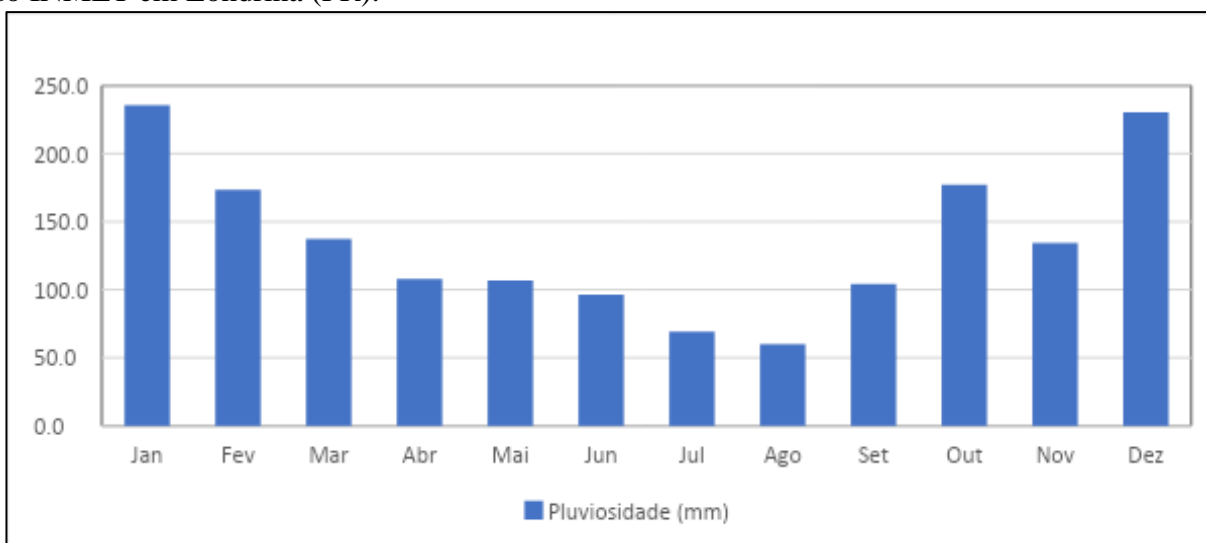
Nas figuras 5.4 (dezembro/2017), 5.5 (janeiro/2018), 5.6 (fevereiro/2018), 5.8 (abril/2018) e 5.9 (maio/2018), verifica-se uma área mais expressiva de valores menores do fator C_r , pois há o maior acúmulo de biomassa, ressaltando-se a figura 5.5 (janeiro/2018) período próximo ao do florescimento da cultura de soja (FONTANA *et al.*, 2015).

Levando-se em conta o período estudado com as imagens de satélite e aplicação do NDVI através do fator C_r para o monitoramento de plantio de culturas (MERCANTE *et al.*, 2009; ARAUJO *et al.*, 2011; RISSO *et al.*, 2012; ALFACE *et al.*, 2019), observa-se que o mês de outubro de 2017 (figura 5.2) é o final do pousio e já início em algumas propriedades do plantio da safra de verão, em que a soja tem seu plantio intenso no município, com o desenvolvimento da planta até o mês de fevereiro de 2018 (figura 5.6). A colheita da cultura é realizada (JOHANN *et al.*, 2016), tão logo se inicia o plantio de milho, onde são colhidos até o mês de junho de 2018 (figura 5.10), posteriormente alguns produtores já iniciam um período de pousio com utilização de calcário para a correção da acidez do solo, como observado nas figuras 5.11 (julho/2018), 5.12 (agosto/2018) e 5.13 (setembro/2018) observado nas imagens de composição RGB.

Técnicas de manejo e conservação dos solos são amplamente observadas no município. O pousio é um período em que o solo é mantido sem culturas destinadas à produção agrícola e sem remanejos mecânicos, porém alguns produtores diminuem esse tempo e plantam aveia ou *Brachiaria* na região de Bela Vista do Paraíso. Essas coberturas vegetais tem como propósito principal a manutenção da cobertura do solo e incorporação de matéria orgânica, melhorando o ambiente radicular para a cultura principal, no caso, a soja. (PRIMAVESI, 2016).

Durigon *et al.* (2014) também chamam a atenção para as condições climáticas na utilização do NDVI, principalmente, quanto às chuvas, pois dão maior vigor à vegetação, aumentando assim o índice. Em janeiro de 2018 (figura 5.5), o pico de pluviosidade média para o município é atingido, com aproximadamente 235 mm e consequente aumento de dias com chuvas erosivas. Esse aumento do índice de pluviosidade é observado na figura 5.14.

Figura 5.14.: Índice pluviométrico da normal climatológica (1981-2010) da estação automática do INMET em Londrina (PR).



Fonte: INMET, 2021.

As figuras 5.3 (novembro/2017), 5.7 (março/2018) e 5.10 (junho/2018) podem ser caracterizadas por períodos de colheita tardia e/ou início de plantio das culturas, pois é possível observar com o auxílio das imagens RGB os valores altos do fator C_r onde o solo está exposto, e áreas com um maior índice de biomassa com valores baixos do fator C_r , onde consequente há cobertura vegetal visível nas imagens RGB.

5.3.2. Análise estatística do Fator C_r

Após a confecção das figuras 5.2 (outubro/2017) a 5.13 (setembro/2018), foram quantificadas as áreas em km^2 , de acordo com as classes de Carvalho *et al.* (2014), com os seguintes resultados apresentados na tabela 5.1:

Tabela 5.1.: Quantificação mensal da área em km² do Fator Cr segundo as classes de Carvalho *et al.* (2014).

| Classes | Out/17 | Nov/17 | Dez/17 | Jan/18 | Fev/18 | Mar/18 | Abr/18 | Mai/18 | Jun/18 | Jul/18 | Ago/18 | Set/18 |
|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0-0,1 | 0 | 9,887 | 35,759 | 136,009 | 69,925 | 0,427 | 0,176 | 1,48 | 0,026 | 0 | 0,003 | 0 |
| 0,1-0,2 | 30,268 | 62,61 | 134,439 | 88,601 | 130,41 | 74,813 | 154,429 | 156,211 | 98,091 | 15,298 | 25,975 | 17,691 |
| 0,2-0,3 | 31,217 | 52,397 | 52,153 | 12,655 | 32,376 | 64,396 | 44,467 | 49,709 | 102,96 | 42,264 | 44,397 | 43,278 |
| 0,3-0,4 | 27,605 | 89,302 | 17,008 | 3,439 | 14,002 | 51,687 | 22,62 | 20,973 | 34,468 | 78,86 | 43,71 | 46,152 |
| 0,4-0,5 | 153,195 | 28,112 | 3,061 | 1,747 | 2,56 | 50,957 | 20,723 | 13,98 | 6,812 | 107,894 | 128,209 | 135,202 |
| 0,5-0,6 | 0,202 | 0,167 | 0,063 | 0,042 | 0,107 | 0,196 | 0,072 | 0,121 | 0,125 | 0,149 | 0,132 | 0,147 |
| 0,6-1 | 0,011 | 0,015 | 0,004 | 0,002 | 0,004 | 0,019 | 0,006 | 0,014 | 0,012 | 0,022 | 0,061 | 0,017 |

Observa-se, na tabela 5.1, que as classes 0-0,1, 0,1-0,2 e 0,2-0,3 que representam os maiores índices de biomassa, segundo o fator C_r de Durigon *et al.* (2014), apresentam as maiores áreas nos meses de cultivo das lavouras. Como é observado em dezembro de 2017, a área da classe 0-0,1 foi quantificada em 35,759 km², a 0,1-0,2 com 134,439 km². Em janeiro de 2018, a área da classe 0-0,1 com 136,009 km² e a 0,1-0,2 com 88,601 km². Fevereiro de 2018 apresenta a classe 0-0,1 com 69,925 km² e a 0,1-0,2 com 130,41 km². Abril de 2018, a classe 0,1-0,2 evidencia 154,429 km². Seguida de 156,211 km² na mesma classe no mês de maio de 2018. Isso é resultante do plantio de culturas temporárias no município, onde temos períodos de colheita e pousio.

O pousio é apontado em compensação nas classes 0,4-0,5, 0,5-0,6 e 0,6-1 que correspondem às classes que possuem um índice menor de biomassa, vide: o mês de outubro de 2017, com a classe 0,4-0,5, logra o valor de 153,195 km²; julho de 2018, com 107,894 km²; agosto de 2018, com 128,209 km²; e setembro de 2018, com 135,202 km², o que denota uma área representativa do município sem cobertura vegetal do solo.

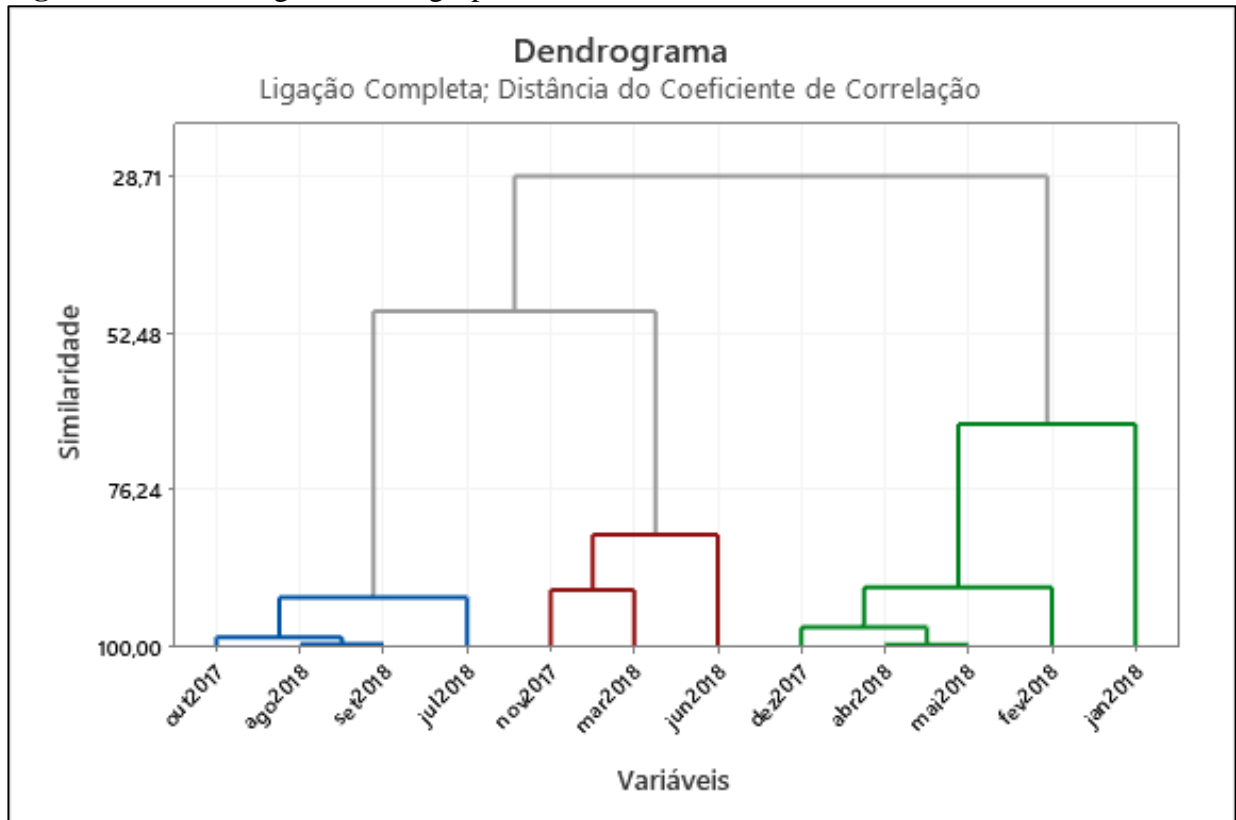
Os meses de novembro de 2017, março de 2018 e junho de 2018 evidencia certa uniformidade dos valores intermediários quanto às suas áreas. Esses resultados apontam os meses em que há transição entre culturas.

Os valores representados na tabela 5.1 foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson-Darling indicando que a maioria das variáveis não segue a distribuição normal ao nível de confiança de 95%, exceto as amostras realizadas no mês de novembro de 2017, fevereiro de 2018, março de 2018 e julho de 2018. Em função disso, optou pela realização do teste de correlação de Spearman para avaliar as correlações entre os períodos.

Observou-se forte correlação entre os meses de julho, agosto, setembro e outubro; entre os meses de março, abril, maio, junho e novembro; entre os meses de janeiro, fevereiro, março, abril e maio e dezembro. Todos apresentando coeficientes de correlação acima de 0,821. Essas correlações entre os períodos do ano tornaram possível a confirmação de similaridades por meio da análise de agrupamento de variáveis.

Quanto maior o nível de similaridade, mais correlacionadas as variáveis estão em cada agrupamento. Quanto menor o nível de distância, mais próximas as variáveis estão. . Idealmente, os agrupamentos devem ter um nível de similaridade relativamente alto e um nível de distância relativamente baixo, contudo, uma quantidade elevada de grupos pode não ser útil. Assim, a adoção de 3 permitiu um nível de similaridade de 66,3962 e distância de 0,67208.

Isso pode ser identificado na figura 5.15 que apresenta o dendograma dos agrupamentos.

Figura 5.15.: Dendrograma dos agrupamentos.

Fonte: DECCO, 2021.

O dendrograma apresentou três agrupamentos, sendo estes:

- 1- Outubro de 2017, agosto de 2018, setembro de 2018 e julho de 2018.
- 2- Novembro de 2017, março de 2018 e junho de 2018.
- 3- Dezembro de 2017, janeiro de 2018, fevereiro de 2018, abril de 2018 e maio de 2018.

Verifica-se que estes três agrupamentos atestam a similaridade com os períodos apresentados mediante a análise visual do fator C_r do sub-capítulo 5.3.1., no qual apresentamos: um período de pousio (outubro de 2017, agosto, 2018, setembro de 2018 e julho de 2018); um período intermediário, no qual algumas lavouras já foram colhidas e a camada superficial do solos encontra-se sem biomassa e outras em que ainda não houve a colheita (novembro de 2017, março de 2018 e junho de 2018); e um período em que as lavouras temporárias estão se desenvolvendo, havendo um índice elevado de biomassa (dezembro de 2017, janeiro de 2018, fevereiro de 2018, abril de 2018 e maio de 2018).

5.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1. A utilização de imagens Sentinel-2B permitiu obter ótima resposta espectral para a formulação das imagens NDVI e posterior conversão para o fator C_r .
2. A conversão dos índices de NDVI para o fator C_r se mostrou satisfatória para observação da biomassa presente no município, além de ser uma metodologia simples para conversão com fácil aplicabilidade com a utilização do *Add-in* GiSus-M.
3. Tanto as análises visuais como a análise estatística evidenciaram que o município de Bela Vista do Paraíso possui para o período analisado, três subperíodos distintos quanto ao seu índice de biomassa: i) prevalece o pousio e o solo não possui cobertura vegetal, ii) intermediário com locais de cobertura vegetal do solo e outras áreas com o solo exposto; iii) o índice de biomassa que recobre o solo se expressa acentuado, acarretado pelos períodos de cultivo das lavouras temporárias.

REFERÊNCIAS

- ALFACE, A. B.; PEREIRA, S. B.; FILGUEIRAS, R.; CUNHA, F. F. Monitoramento espaço-temporal da cana-de-açúcar e estimativa do coeficiente de cultivo por meio do NDVI. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 5, p. 330-335, 2019.
- ARAÚJO, G. K. D.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C.; ROCHA, A. M. Mapping of summer crops in the State of Paraná, Brazil, through the 10-day spot vegetation NDVI composites. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 4, p. 760-770, 2011.
- CARVALHO, D. F.; DURIGON, V. L.; ANTUNES, M. A. H.; ALMEIDA, W. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 215-224, 2014.
- CASTRO, A. I.; SIX, J.; PLANT, R. E.; PEÑA, J. M. Mapping crop calendar events and phenology-related metrics at the parcel level by object-based image analysis (OBIA) of MODIS-NDVI time-series: a case study in central California. **Remote Sensing**, v. 10, n. 11, p. 1745, 2018.
- CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Versão 5.1.0.1. Tutorial. 2016. Disponível em: <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v5-pt/latest/semiautomaticclassificationmanual-v5-pt.pdf>. Acesso em: 24 jun. 2019.
- DURIGON, V. L.; CARVALHO, D. F.; ANTUNES, M. A. H.; OLIVEIRA, P. T. S.; FERNANDES, M. M. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014.
- ESQUERDO, J. C. D. M. **Utilização de perfis multi-temporais do NDVI/AVHRR no acompanhamento da safra de soja no oeste do Paraná**. Campinas, SP. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. 186 p.

FONTANA, D. C.; PINTO, D. G.; JUNGES, A. H.; BREMM, C. Inferências sobre o calendário agrícola a partir de perfis temporais de NDVI/MODIS. **Bragantia**, v. 74, n. 3, p. 350-358, 2015.

GUERRA, A. J. T.; BOTELHO, R. G. M. Características e propriedades dos solos relevantes para os estudos pedológicos e análise dos processos erosivos. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 19, p. 93-114, 1996.

IBGE, (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/bela-vista-do-paraiso/pesquisa/24/76693>) acessado dia 28 de outubro de 2020

JAKUBAUSKAS, M. E.; LEGATES, D. R.; KASTENS, J. H. Crop identification using harmonic analysis of time-series AVHRR NDVI data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, p. 127-139, 2002.

JENSEN, J. R.; **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese Editora, 2009.

JOHANN, J. A., BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital Modis na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o estado do Paraná-Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 126-142, 2016.

KUMAR, A.; DEVI, M.; DESHMUKH, B. Integrated remote sensing and geographic information system based RUSLE modelling for estimation of soil loss in western Himalaya, India. **Water resources management**, v. 28, n. 10, p. 3307-3317, 2014.

LENNEY, M. P.; WOODCOCK, C. E.; COLLINS, J. B.; HAMDI, H. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from Landsat TM. **Remote Sensing of Environment**, v. 56, n. 1, p. 8-20, 1996.

MARTINKO, E. A.; PRICE, K. P.; EGBERT, S. L.; WHISTLER, J. L.; JAKUBAUSKAS, M. E.; CROOKS, T. J. Building three decades of remote sensing and decision support: The NASA Great Plains RESAC and the Kansas Applied Remote Sensing (KARS) Program. **Photogrametric Engineering and Remote Sensing**, v. 66, n. 10, p. 1158-1165, 2000.

MELO, C. O.; SILVA, G. H.; ESPERANCICNI, M. S. T. Análise econômica da produção de soja e de milho na safra de verão, no Estado do Paraná. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 1, n. 21, p.121-131, 2012.

MERCANTE, E.; LAMPARELLI, R. A. C.; URIBE-OPAZO, M. A.; ROCHA, J. V. Características espectrais da soja ao longo do ciclo vegetativo com imagens Landsat 5/TM em área agrícola no oeste do Paraná. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 2, p.328-338, 2009.

MOTTA, J. L. G.; FONTANA, D. C.; WEBER, E. Evolução temporal do NDVI/NOAA em áreas cobertas por pixels com proporções variáveis de soja. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 11, n. 2, p. 353-369, 2003.

PRIMAVESI, A. **Manual do solo vivo**. São Paulo: Expressão Popular, 2016.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**.

São José dos Campos: Parêntese, 2007. 127 p.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A., McCOOL, D. K.; YODER, D. C. **Predicting soil erosion by water:** a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). United States Government Printing, 1997.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; ROSA, R. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da reflectância aparente e de superfície. *In. XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 2017, Santos-SP. **Anais [...]** Santos-SP: SBSR, 2017. p. 4181-4188.

RISSE, J.; RIZZI, R.; RUDORFF, B. F. T.; ADAMI, M.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. Índices de vegetação Modis aplicados na discriminação de áreas de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 9, p. 1317-1326, 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHIELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. *In. Proc. 3rd ERTS Symposium*, Washington, 1973. *Proceedings...* Washington: NASA, 1974, v. 1, p. 309-317, 1973.

SOUDANI, K.; HMIMINA, G.; DELPIERRE, N.; PONTAILLER, J. Y.; AUBINET, M.; BONAL, D.; CAQUET, B.; GRANDCOURT, A.; BURBAN, B.; FLECHARD, C.; GUYON, D.; GRANIER, A.; GROSS, P.; HEINESH, B.; LONGDOZ, B.; LOUSTAU, D.; MOUREAUX, C.; OURCIVAL, J. M.; RAMBAL, S.; SAINT ANDRÉ, L.; DUFRÊNE, E. Ground-based Network of NDVI measurements for tracking temporal dynamics of canopy structure and vegetation phenology in different biomes. **Remote sensing of environment**, v. 123, p. 234-245, 2012.

VAN OORT, P. A. J.; BREGT, A. K.; BRUIN, S. de; WIT, A. J. W. de; STEIN, A. Spatial variability in classification accuracy of agricultural crops in the Dutch national land-cover database. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 18, n. 6, p. 611-626, 2004.

6. ARTIGO III

UTILIZAÇÃO DA FERRAMENTA GISus-M PARA ESTIMATIVA DA PERDA DE SOLOS DESENVOLVIDOS DE BASALTO E ARENITO

USE OF THE GISus-M TOOL TO ESTIMATE THE LOSS OF SOILS DEVELOPED FROM BASALT AND SANDSTONE

Resumo: Processos erosivos acelerados são ameaças globais, podendo ser quantificados e classificados. A região norte do Paraná é conhecida pela sua alta produtividade de grãos e a rotatividade de culturas (soja, milho, trigo e aveia). O município de Bela Vista do Paraíso tem a particularidade de estar assentado sobre duas formações geológicas, uma eruptiva básica da Formação Serra Geral (JKsg) e uma arenítica da Formação Adamantina (Ka). A utilização de SIGs para a quantificação de perda de solos vem se intensificando nas ciências da terra, na qual o software GISus-M tem relevância pela sua praticidade. Observou-se que os fatores C, que no caso tem seus valores determinados pela metodologia de Durigon *et al.* (2014), estão ligados à perda de solos mensais pelos processos erosivos em função da rotatividade de culturas e seu período de pousio, além de que a erodibilidade (fator K) também tem sua significância, principalmente, associada aos fatores LS. A utilização de modelagem mensal para RUSLE expressa uma melhor observação dos processos erosivos que ocorrem, além de contribuir para medidas de conservação dos solos e o planejamento e ordenamento de estradas vicinais no município.

Palavras chave: erosão; RUSLE; formações geológicas; GISus-M.

Abstract: Accelerated erosive processes are global threats that can be quantified and classified. The northern region of Paraná is known for its high grain yield and crop rotation (soybeans, corn, wheat and oats). The municipality of Bela Vista do Paraíso has the particularity of being located on two geological formations, a basic eruptive of the Serra Geral Formation (JKsg) and a sandstone of the Adamantina Formation (Ka). The use of GIS to quantify soil loss has been intensifying in earth sciences, in which the GISus-M software is relevant for its practicality. It was observed that the C factors, which in this case have their values determined by the methodology of Durigon *et al.* (2014), are linked to monthly soil loss due to erosion due to crop rotation and their fallow period, in addition to erodibility (K factor) also having its significance, mainly associated with LS factors. The use of monthly modeling for RUSLE expresses a better observation of the erosive processes that occur, in addition to contributing to soil conservation measures and the planning and ordering of local roads in the municipality.

Keywords: erosion; RUSLE; geological formations; GISus-M.

6.1. INTRODUÇÃO

Erosões são ameaças globais para a sustentabilidade e a produtividade dos solos. A compreensão da sua gênese e a distribuição espacial destes processos são chaves centrais para o planejamento e gestões ambientais, pois é possível modelar, quantificar e classificar a susceptibilidade do solo a processos erosivos (FERNANDEZ *et al.*, 2016).

A degradação de solos por meio de processos erosivos é um dos principais problemas apresentados em áreas de produção agrícola no Brasil. Observamos que este fenômeno natural é cada vez mais acelerado pelo uso inadequado do solo, acarretando a perda da capacidade produtiva em áreas de plantio (SOUZA; GASPARETTO, 2012).

Com o advento da utilização de técnicas matemáticas pela ciência geográfica, tornou-se

possível a produção de modelos preditivos em diversas áreas. Os modelos matemáticos de simulação de predição de erosão auxiliam nas práticas conservacionistas e de manejos mais indicados para os diferentes cenários de aplicação (CHAVES, 1996; RENARD *et al.* 1997; MILLWARD, MERSEY, 1999; ANGIMA *et al.*, 2003; FU *et al.*, 2005; ONORI; BONIS; GRAUSO, 2006; OLIVEIRA *et al.*, 2015; CUNHA, 2015). Destacando-se a Equação Universal de Perda de Solo (USLE – *Universal Soil Loss Equation*), desenvolvida a partir de 1950 por Wischmeier e Smith (1978). Esta equação foi revisada. Visando melhorá-la, manteve-se a estrutura da USLE, porém as formas de determinação dos fatores (fator topográfico e uso e manejo) mudaram, sendo sucedida pela Equação Universal de Perda de Solo Revisada (RUSLE – *Revised Universal Soil Loss Equation*) (RENARD *et al.*, 1997).

A região Norte Central do estado do Paraná apresenta uma grande capacidade de produção agrícola, com uso intenso do solo. Devido a isso, é necessário darmos monta a essas causas, sendo que estimar e modelar processos erosivos na região pode corroborar na melhor utilização dos solos e, conseqüentemente, sua melhor conservação (MURATORI, 1983).

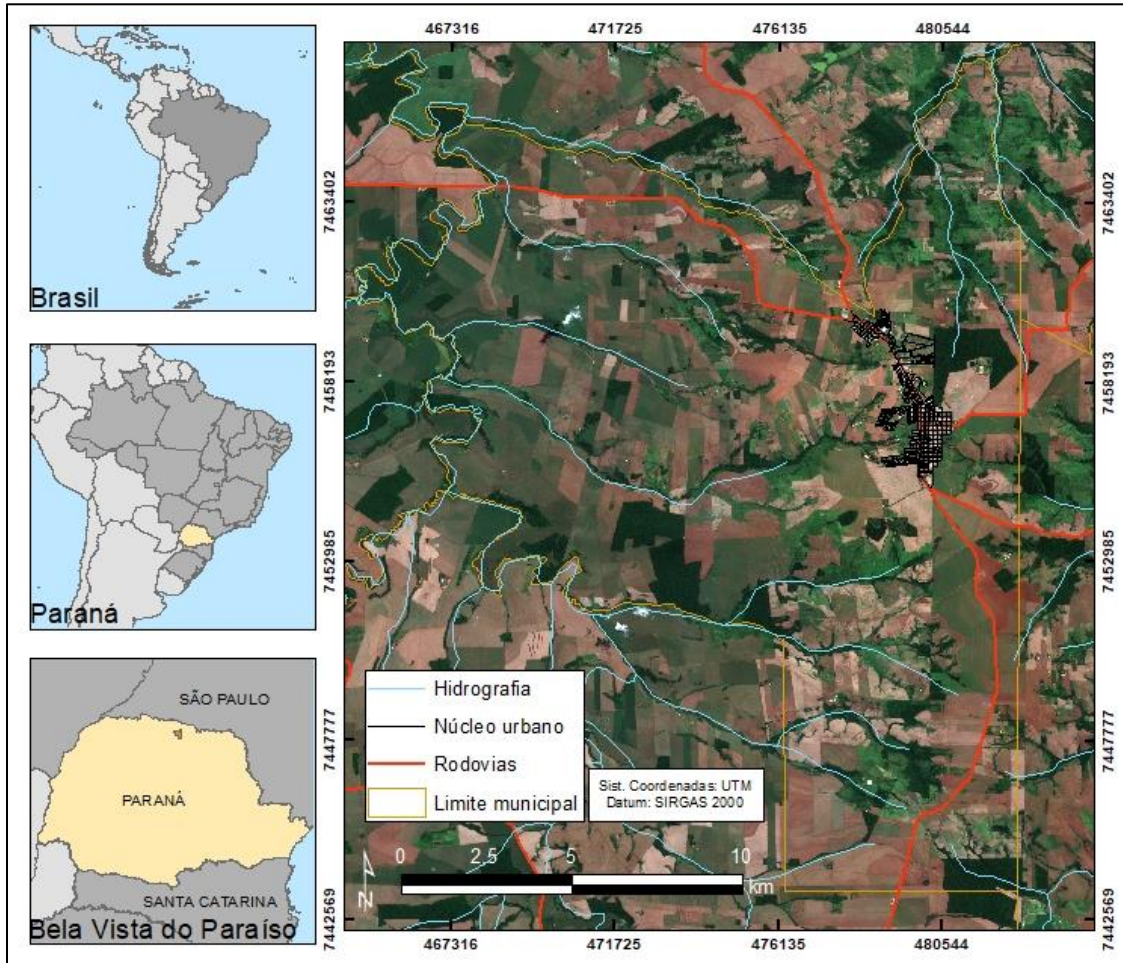
A aplicação de modelos matemáticos é amplamente conhecida na Geografia, principalmente, utilizando-se limites de bacias hidrográficas como sua escala espacial (CHRISTOFOLLETI, 1999). No entanto, pouco se aplica a recortes municipais, visto que a RUSLE tem como sua escala espacial a característica de ser adimensional, pois tem origem em uma pesquisa em parcelas agrícolas (WISCHMEIER e SMITH, 1978), o que corrobora para a aplicação da equação e posterior planejamento pelos gestores municipais.

O presente artigo propõe estudar os valores de perdas de solos por intermédio da RUSLE para o município de Bela Vista do Paraíso (PR), que está localizada no Terceiro Planalto Paranaense (SANTOS *et al.*, 2006). A geologia do município é constituída por rochas eruptivas básicas do Grupo São Bento da Formação Serra Geral (JKsg) de idade do Cretáceo-Jurássico (predominante no município), com um assentamento de rochas areníticas do Grupo Bauru da Formação Adamantina (Ka) (PINESE, 2002).

6.2. MATERIAIS E MÉTODO

O município de Bela Vista do Paraíso se encontra na região norte do estado do Paraná, entre as coordenadas 22° 53' 53" a 23° 7' 10" sul e 51° 9' 59" a 51° 20' 39" oeste, com uma variação de altitude entre 343 e 649 metros. Sua extensão territorial é de 243 km², onde a área para plantio de lavouras é de aproximadamente 153 km² (IBGE, 2020) (figura 6.1).

Figura 6.1.: Localização do município de Bela Vista do Paraíso-PR.



Fonte: DECCO, 2021.

6.2.1. Equação Universal de Perda de Solos Revisada (RUSLE)

O modelo RUSLE permite estimar a quantidade de perdas de solo por hectare a partir de uma equação que considera cinco fatores (equação 1):

Equação 1: RUSLE

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Onde:

A = Perda de solo por unidade de área ($\text{Mg ha}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

R = Erosividade causada pelas chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ano}^{-1}$).

K = Erodibilidade dos solos face suas características físicas, químicas e biológicas ($\text{Mg h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$).

L = Fator comprimento da vertente ou rampa.

S = Fator declividade média da rampa ou vertente.

C = Fator uso e manejo da terra.

P = Fator prática conservacionista adotada.

6.2.1.1. Erosividade das chuvas (Fator R)

O primeiro fator a ser determinado é o valor do índice de erosividade no município. Dias e Silva (2003; 2003b) explicam como é determinado o valor de R:

O fator R deve ser determinado por registros diários de pluviógrafos nos quais são calculados os índices de erosividade (EI_{30}) das chuvas individuais. Os valores desse índice são obtidos pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de determinado local: energia cinética total da chuva (E), em MJ mm (ha h)⁻¹, e intensidade máxima em 30 min (I_{30}), em mm h⁻¹. (DIAS; SILVA, 2003b, p. 348).

Os valores de erosividade (fator R) para o município foram adquiridos na literatura de Waltrick (2010) e Waltrick *et al.* (2011; 2015), na qual se obteve os valores de erosividade anual e mensais.

O valor anual é 8611 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, porém, como o foco do trabalho está na avaliação mensal de perda de solos, foi necessário o levantamento dos valores de MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mensais (tabela 6.1).

Tabela 6.1.: Valor mensal da Erosividade da chuva do município de Bela Vista do Paraíso, PR (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹).

| Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1868 | 1035 | 688 | 474 | 599 | 383 | 299 | 274 | 535 | 711 | 774 | 971 |

Fonte: Waltrick (2010), Waltrick *et al.* (2011, 2015).

Esses valores foram espacializados no recorte municipal em formato *raster* correspondentes a cada mês para, posteriormente, serem utilizados na equação.

6.2.1.2. Erodibilidade dos solos (Fator K)

Para o levantamento dos valores de erodibilidade (fator K), adotou-se como ponto de partida o levantamento realizado por Gomes *et al.* (2011) em uma escala de 1:50.000 dos solos do município.

Lal (1988) define a erodibilidade de um solo pela sua capacidade de infiltração e consequente resistência à desagregação e transporte das partículas.

Os resultados obtidos com o mapeamento de Gomes *et al.* (2011) identificaram 13 tipos de solos classificados até o 4º nível categórico, porém foram somente consideradas as classes até o 2º nível categórico, pois os valores da erodibilidade na literatura somente foram descritos até este nível.

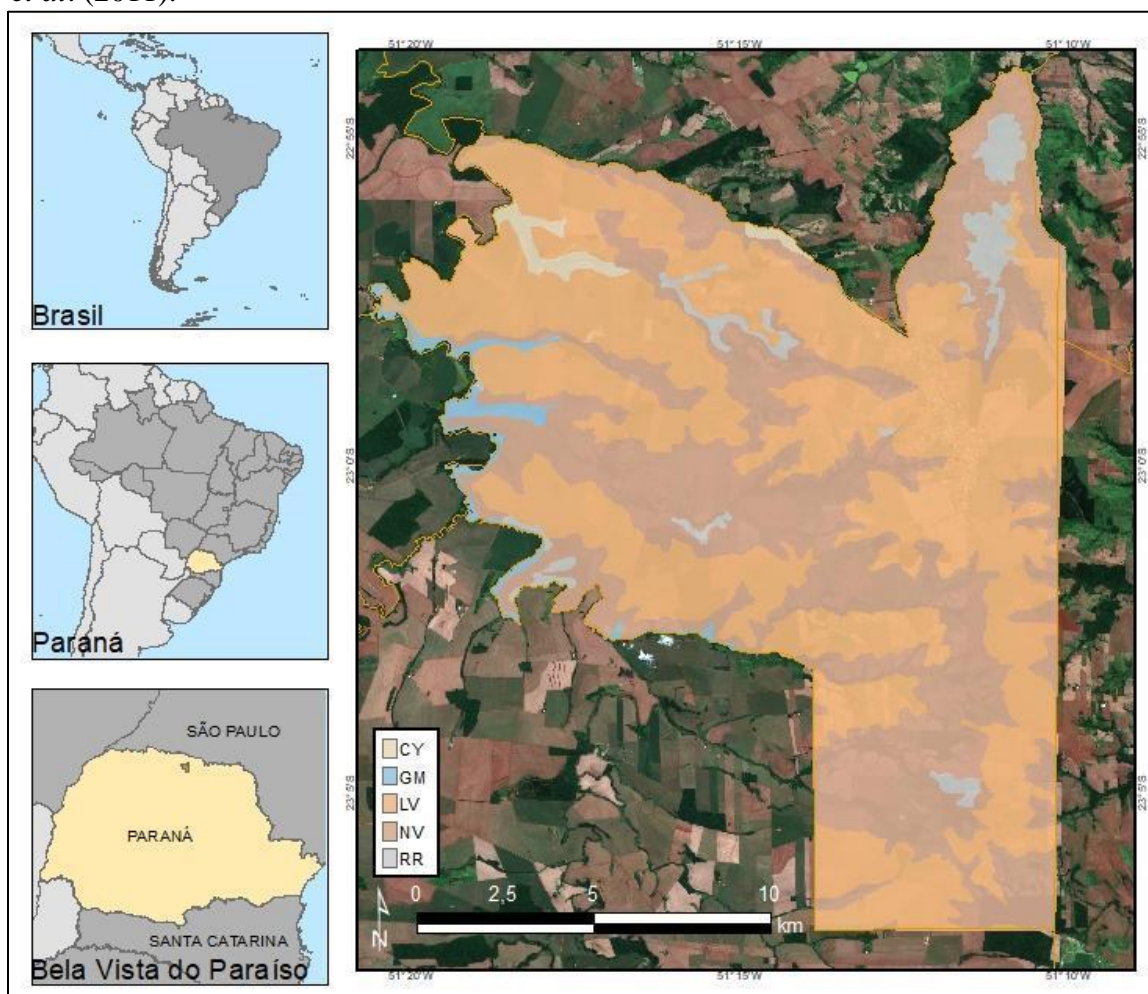
Com o levantamento bibliográfico, decidiu-se utilizar os valores conferidos a erodibilidade de Silva e Alvares (2005) que realizaram este levantamento para o estado de São Paulo, valores que se encontravam dentro de uma média das demais literaturas. As classes consideradas foram: Cambissolos Flúvicos (CY), Gleissolos Melânicos (GM), Neossolos Regolíticos (RR), Nitossolos Vermelhos (NV) e Latossolos Vermelhos (LV), sendo estes os valores, expostos na tabela 6.2 e a figura 6.2.

Tabela 6.2.: Valores do fator K para os solos do município de Bela Vista do Paraíso (PR).

| CY | GM | LV | RR | NV |
|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0,0508 | 0,0279 | 0,0162 | 0,0351 | 0,0237 |

Fonte: Elaborado pelos autores com base em Silva e Alvares (2005).

Figura 6.2.: Mapeamento das classes de solos até o 2º nível categórico, segundo Gomes *et al.* (2011).



Fonte: GOMES, *et al.*, 2011; org. DECCO, 2021.

Os valores foram classificados quanto ao seu valor de erodibilidade, segundo Castro *et al.* (2011), em: LV – baixa, GM e NV – média, RR – alta, CY – muito alta.

Com base no levantamento de Gomes *et al.* (2011), o arquivo *shapefile* foi convertido em formato *raster* com o *software* ArcGis 10.3; posteriormente, utilizou-se a ferramenta *reclassify*, na qual os valores de cada Fator K foram atribuídos a cada classe de solo.

6.2.1.3. Comprimento e declividade das vertentes (Fator LS)

Para a determinação do fator LS (L = fator comprimento da vertente ou rampa; S = fator declividade média da rampa ou vertente), utilizou-se uma imagem do sensor SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) com resolução especial de 30 metros (órbita 222 ponto 76), a qual foi recortada com a malha municipal disponibilizada pelo IBGE, utilizando-se a ferramenta *clip* no *software* ArcGis 10.3.

Para a realização das próximas etapas, tornou-se necessária a instalação do *Add-in* GISus-M (*GIS-based procedure for automatically calculating soil loss from the Universal Soil Loss Equation*), o qual foi desenvolvido para o ArcGis (OLIVEIRA *et al.*, 2015). Posteriormente, utilizou-se o *Add-in* GISus-M para a confecção do fator LS usando a ferramenta LS-TOOL, proposta por Zhang *et al.* (2013), a qual vem incorporada junto ao *Add-in*, facilitando assim a confecção e utilização desses dados.

O fator L foi obtido por meio do cálculo da expressão (equação 3) que considera a área de contribuição superficial por unidade de largura. Assim, foi calculado por meio da divisão da área de contribuição pela largura ao longo do fluxo que pode passar dentro de uma célula. Essa largura depende da direção do fluxo, sendo calculada utilizando-se o aspecto de direção (DESMET; GOVERS, 1996; CUNHA, 2015).

Equação 3: Determinação do fator comprimento da vertente ou rampa (Fator L)

$$L(i, j) = \frac{(A(i, j) + D^2)^{m+1} - A(i, j)^{m+1}}{x^{me} D^{m+2} * (22,13)^m}$$

Onde:

$L(i, j)$ = fator de comprimento de vertente de uma célula com coordenadas (i, j).

$A_{i, j}$ = área de contribuição de uma célula com coordenadas (i, j) (m^2).

D = tamanho da grade de células (m).

$X_{i,j}$ = valor da direção do fluxo.

m = coeficiente dependente da declividade.

22,13= tamanho padrão em metros da parcela USLE (WISCHMEIER; SMITH, 1978) e RUSLE (RENARD *et al.*, 1997).

O fator S algoritmo, desenvolvido por (McCOOL *et al.* 1987, 1989), também é utilizado na RUSLE para a obtenção do fator topográfico, sendo assim os valores do expoente (m) são calculados conforme a equação 4:

Equação 4: Determinação do fator declividade média da rampa ou vertente (Fator S)

$$m = \beta / (1 + \beta)$$

Onde β é o quociente entre a erosão em sulcos e entressulcos que é calculado conforme a equação 5:

Equação 5: Cálculo de β

$$\beta = \left(\frac{\text{sen}\theta}{0,0896} \right) / [3(\text{sen}\theta)^{0.8} + 0.56]$$

A inclinação do declive (S) foi calculada de acordo com os parâmetros de McCool *et al.* (1987).

$$S = 10,8\text{sen}\theta + 0,03 (S < 9\%)$$

$$S = 16,8\text{sen}\theta - 0,5 (S \geq 9\%)$$

Onde: θ = ângulo em graus da encosta.

6.2.1.4. Uso e manejo dos solos (Fator C) e práticas conservacionistas (Fator P)

Posteriormente, para determinação do fator C, que correspondente ao uso e manejo do

solo e sua vulnerabilidade à erosão (BESKOW *et al.* 2009), foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2B (órbita descendente 81) disponíveis no sítio da *United States Geological Survey*.

As cenas foram selecionadas, primeiramente, pela quantidade de nuvens presentes no município. Assim, foram observadas as imagens com parâmetros de *cloud cover* satisfatórios para o período de outubro de 2017 a setembro de 2018 (15/10/2017, 24/11/2017, 19/12/2017, 23/01/2018, 07/02/2018, 24/03/2018, 28/04/2018, 28/05/2018, 22/06/2018, 27/07/2018, 26/08/2018 e 10/09/2018).

As imagens do satélite estão disponíveis em formato *.jp2*. Por isso, o primeiro passo foi transformá-las em arquivos *.geotiff*. Em seguida, utilizou-se a ferramenta *clip* para recortá-las com a malha municipal de Bela Vista do Paraíso. Esses procedimentos foram realizados no *software* ArcGis 10.3. Após esses processos, as imagens foram corrigidas atmosféricamente pelo método da subtração de objetos escuros (*Dark Object Subtraction – DOS*) e convertidas radiometricamente no *software* QGIS 3.4.8 com a ferramenta *Semi-Automatic Classification Plugin – SCP* (CONGEDO, 2017), para serem utilizadas na confecção do NDVI, segundo a equação de Rouse *et al.* (1973).

Equação 6: Determinação do NDVI proposto por Rouse *et al.* (1973)

$$NDVI = \frac{IVP - VER}{IVP + VER}$$

Onde:

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.

IVP – Infravermelho Próximo.

VER – Vermelho.

Como foram utilizadas imagens do satélite Sentinel-2, as bandas utilizadas foram as 4 e 8. A banda 4 trabalha na faixa do Vermelho (VER) e a 8, na faixa do infravermelho próximo (IVP).

No *software* QGIS 3.4.8, utilizou-se o *plugin* SCP (*Semi-Automatic Classification Plugin*), no qual na função *preprocessing* escolheu-se o satélite Sentinel-2. O *software* trabalha automaticamente para esta correção como é descrito por Congedo (2017) e Rezende, Marques e Rosa (2017).

O fator C_r (uso e manejo do solo) foi considerado utilizando-se como variável os valores de NDVI (OLIVEIRA *et al.*, 2015). O *Add-in* GISus-M já oferece a possibilidade de realizar a

conversão do NDVI em valores para o fator C_r utilizar na RUSLE, conforme proposto por De Jong (1994).

Durigon *et al.* (2014) propõe uma equação para que os valores de NDVI em conversão para o fator C_r estejam mais próximos da realidade de uma cobertura vegetal mais densa, como apresentado nas regiões tropicais (equação 7).

Equação 7: Determinação do fator C_r proposto por Durigon *et al.* (2014).

$$C_r = \left(\frac{-NDVI + 1}{2} \right)$$

Onde:

C_r = C reescalado

NDVI = Índice de Vegetação da Diferença Normalizada

Durigon *et al.* (2014) explicam que, para os resultados serem condizentes com os valores dos fatores C e P utilizados na RUSLE, os valores mais próximos a 1 são de locais em que possivelmente o solo está exposto e as técnicas de manejo sejam inadequadas. Os valores mais próximos a 0 são de áreas onde temos uma boa cobertura vegetal e o solo está protegido. Desta forma, há uma inversão dos valores comumente observados pelo NDVI.

Para os valores do fator P, que corresponde às práticas conservacionistas adotadas para redução dos processos erosivos, utilizou-se a opção do *Add-in* GISus-M que adota os mesmos valores do fator C_r (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

6.2.2. Utilização da ferramenta GISus-M

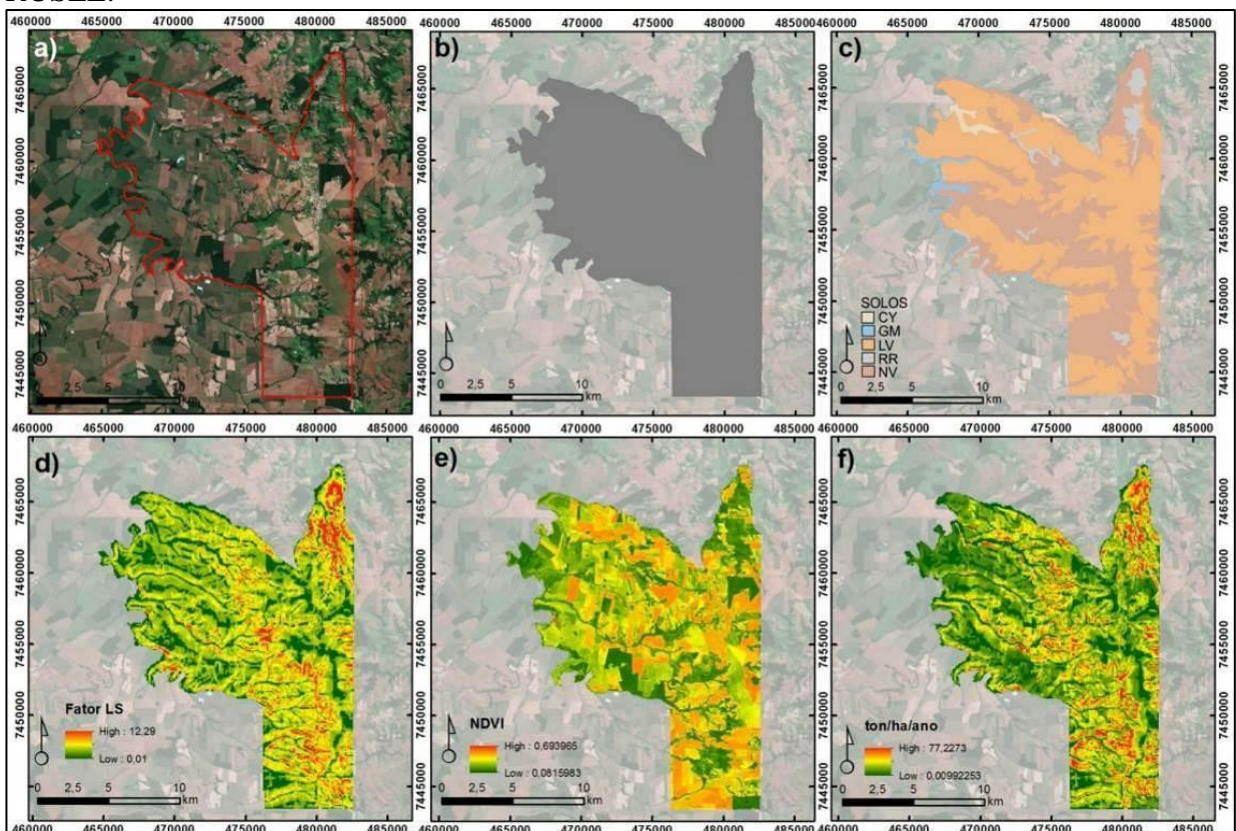
De posse de todos essas variáveis e com o *Add-in* GISus-M instalado no ArcGis 10.3, o processo de confecção dos mapas da RUSLE foi iniciado para o período selecionado, que compreendeu os meses de outubro de 2017 a setembro de 2018. Nesse, primeiramente, foi inserido o fator R (erosividade), sendo que este foi específico para cada mês e seus valores já citados na tabela 1; posteriormente, foi acrescentado o fator K (erodibilidade), este sempre permanecerá o mesmo arquivo, pois é uma variável de valores que não se altera com o período proposto, como também o próximo, o fator LS. Os valores de C e P são inseridos, obtidos através do NDVI convertidos para o índice C_r .

A figura 6.3 ilustra os passos que foram seguidos para a confecção do modelo RUSLE, na qual cada item representa um passo:

- Imagem Sentinel-2 (órbita descendente 81) de 24/03/2018 mostrando a composição colorida RGB 432 e a malha municipal segundo o IBGE;
- Para cada mês houve um fator R como já apresentado na tabela 6.1;
- Mapa de solos de Gomes *et al.* (2011) com adaptações de classes ao segundo nível categórico;
- Fator LS onde o maior valor foi de 12,29 e o menor 0,01;
- Fatores C e P com valores obtidos no NDVI;
- Resultado final do modelo USLE.

Figura 6.3.: Etapas realizadas no procedimento metodológico.

a) Recorte municipal de Bela Vista do paraíso; **b)** erosividade das chuvas; **c)** mapeamento de solos para definição dos valores de erodibilidade; **d)** comprimento e declividade do relevo; **e)** Uso e manejo dos solos e práticas conservacionistas com base no fator C_r ; **f)** Mapeamento da RUSLE.



Fonte: DECCO, 2021.

Após esses procedimentos, a simulação da equação universal de perda de solos revisada (RUSLE) foi realizada e interpretada no presente artigo. Para a melhor interpretação dos resultados da RUSLE, foi quantificada a área para cada classe proposta por Beskow *et al.* (2009)

(tabela 6.3.).

Tabela 6.3.: Intervalo de perda de solos proposta por Beskow *et al.* (2009).

| ton/ha/ano | Vulnerabilidade |
|------------|-------------------|
| 0-2,5 | Ligeira |
| 2,5-5 | Leve a moderado |
| 5-10 | Moderado |
| 10-15 | Moderado a alto |
| 15-20 | Alto |
| 20-50 | Alto a muito alto |
| 50-100 | Muito alto |
| >100 | Extremamente alto |

6.2.3. Análise estatística dos dados

Após a quantificação da área em km² de cada uma das 8 classes propostas por Beskow *et al.* (2009), os dados de área extraídos foram submetidos ao teste de normalidade de Anderson-Darling, a um nível de confiança de 95% e, posteriormente, foram realizados testes de correlação de Spearman para o conjunto de variáveis (equação 8).

Equação 8: Correlação de Spearman.

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{(n^3 - n)}$$

Onde:

n = número de pontos de dados das duas variáveis.

d_i = diferença de alcance do elemento n .

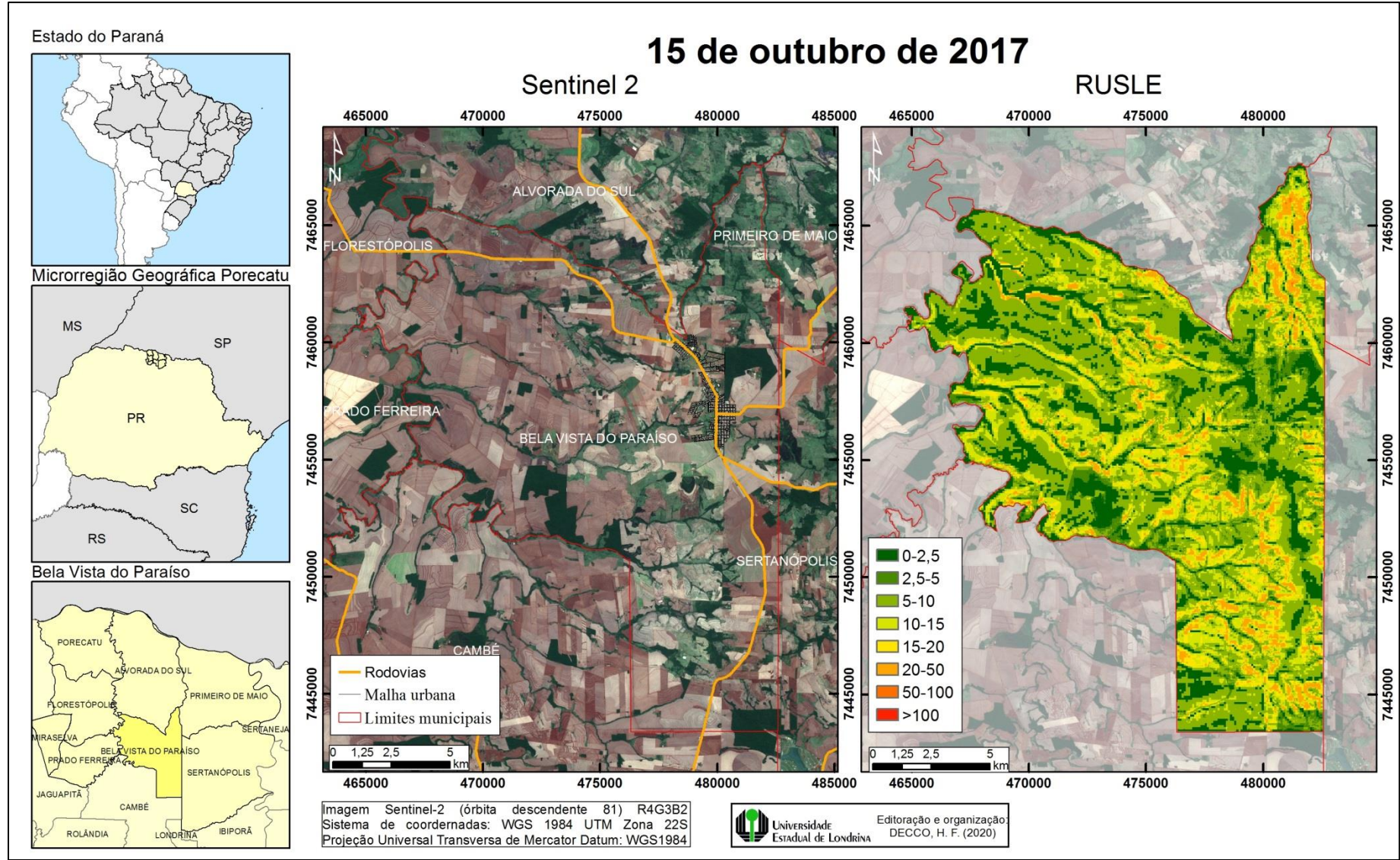
Após esses procedimentos, realizou-se a análise multivariada de agrupamento (*cluster*) para descrever ou validar as similaridades presentes no grupo de variáveis entre os períodos investigados adotando-se o agrupamento de variáveis pelo método hierárquico, no qual os parâmetros medida de distância foi o euclidiano, utilizando o *software Action Stat*.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se analisar o resultado dos mapas da RUSLE (figuras 6.4 a 6.15 e tabela 6.4) do período proposto de outubro de 2017 a setembro de 2018, foi observado que os processos erosivos estão extremamente correlacionados com os valores dos fatores C e P. Consequentemente, observou-se a periodicidade das lavouras no município, além dos valores do

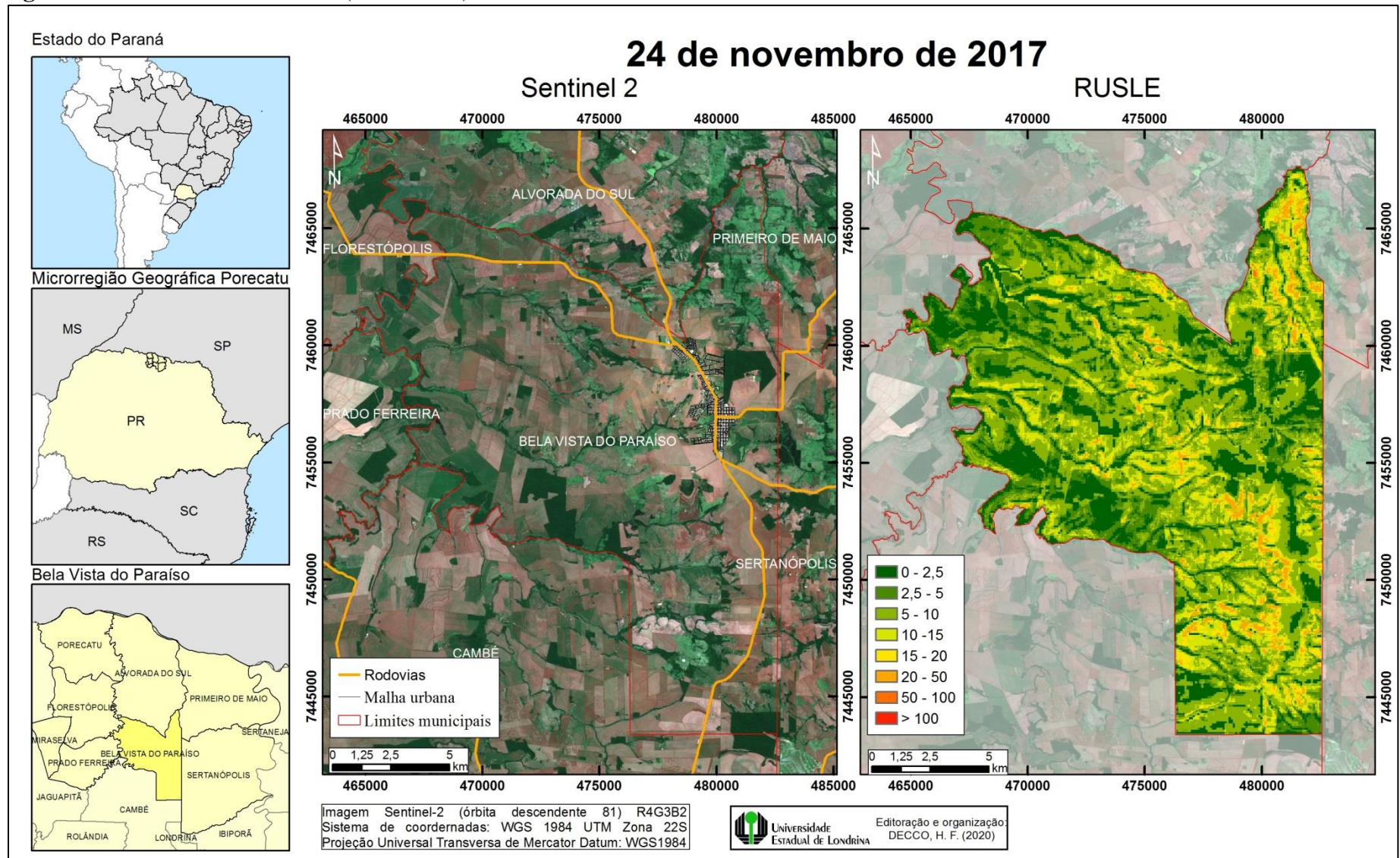
Fator K, principalmente, nos locais onde a classe de solo mapeada é o Neossolo Regolítico (0,0508), predominante na porção norte do município, pois os valores do Latossolo Vermelho (0,0162) e Nitossolo Vermelho (0,237) apresentam-se menores.

Figura 6.4.: Resultado da RUSLE (15/10/2017).



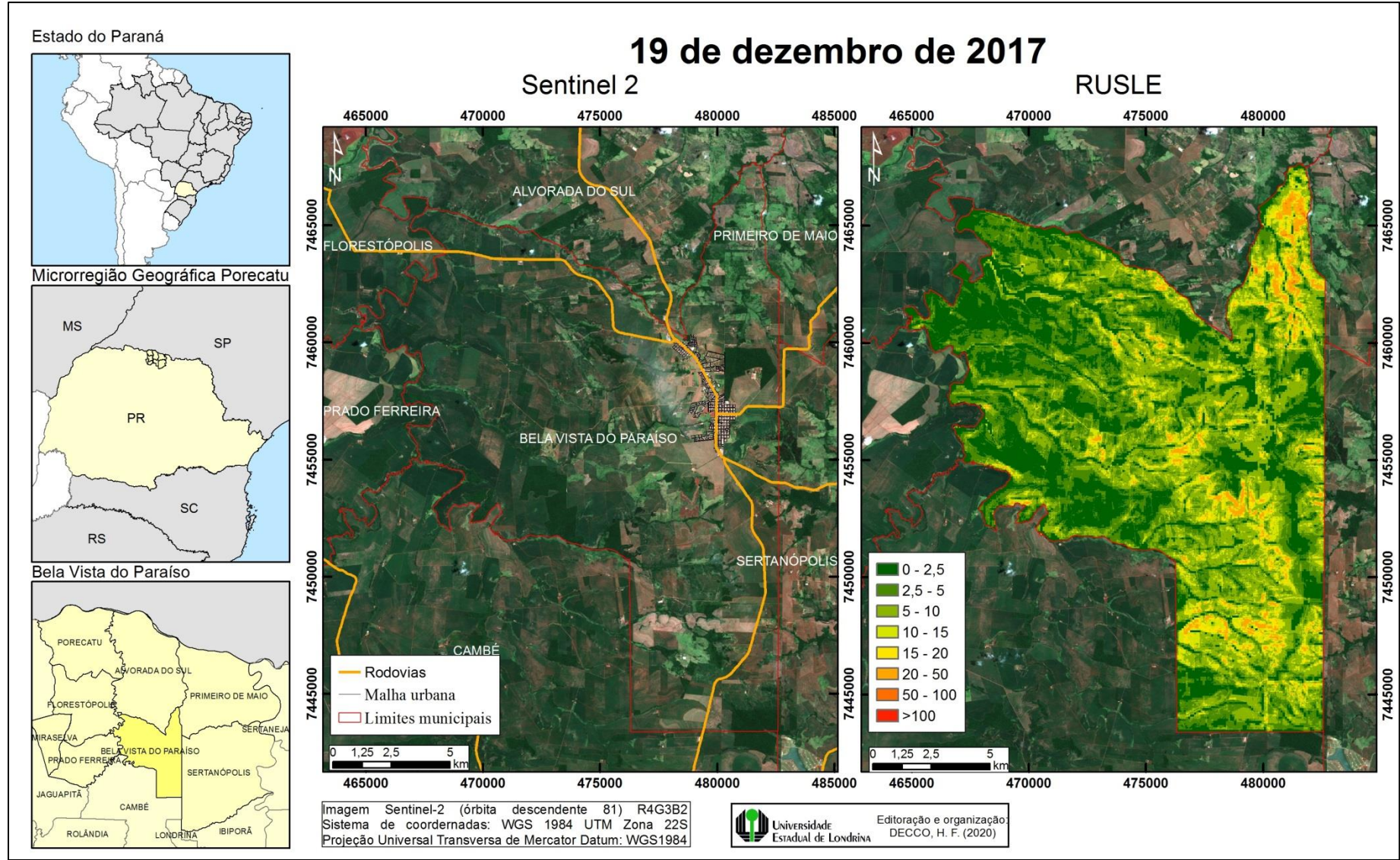
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.5.: Resultado da RUSLE (24/11/2017).



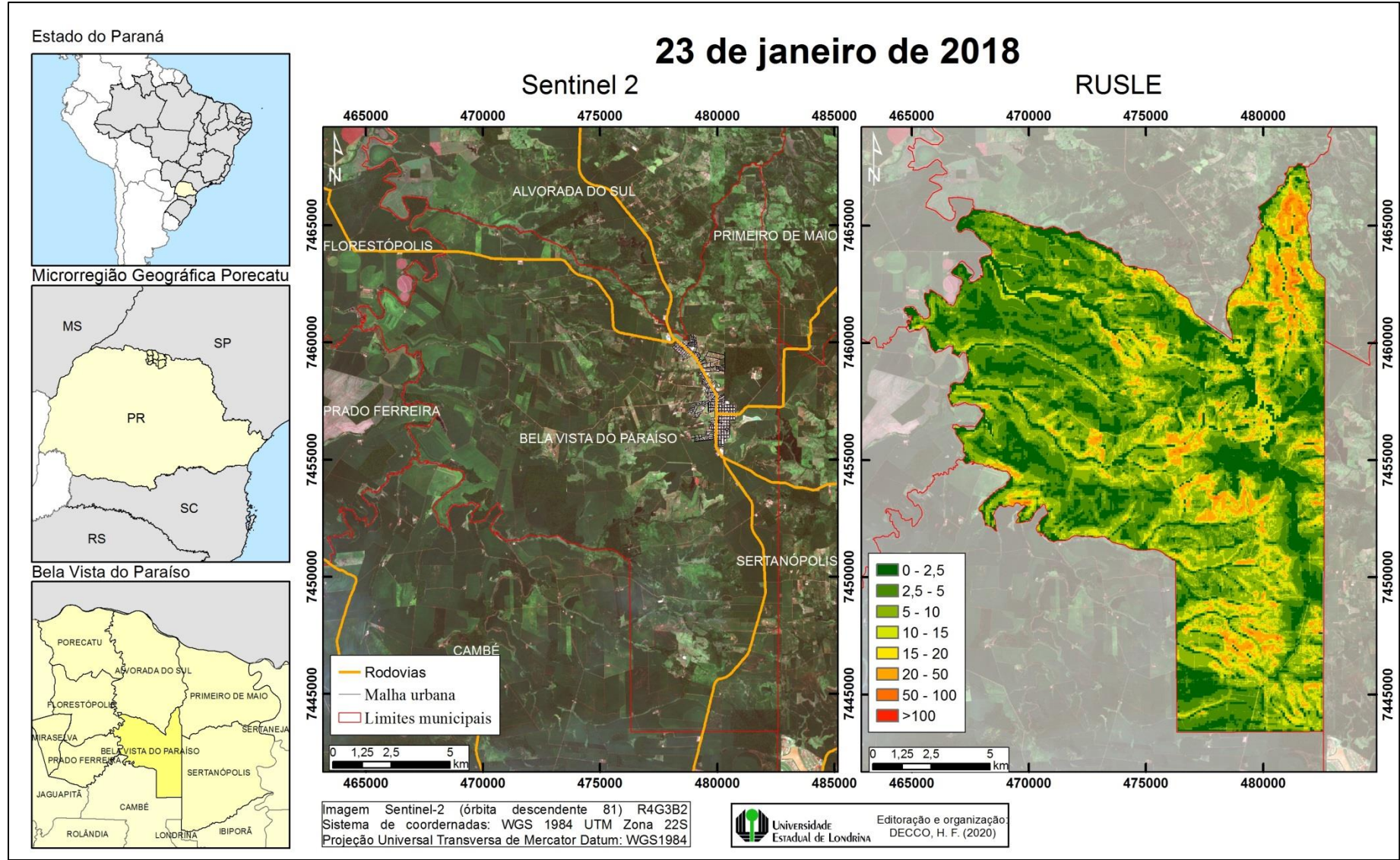
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.6.: Resultado da RUSLE (19/12/2017).



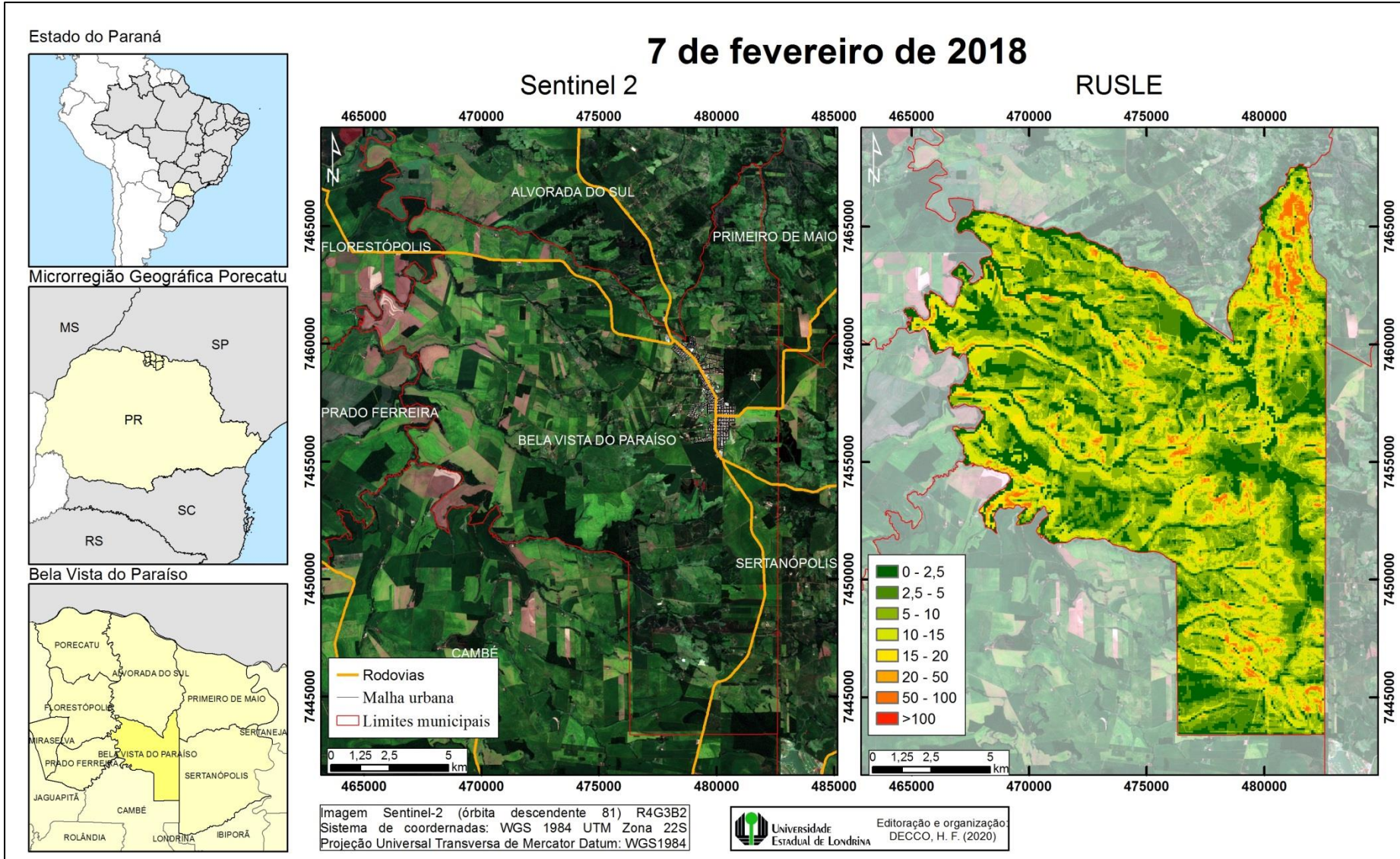
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.7.: Resultado da RUSLE (23/1/2018).



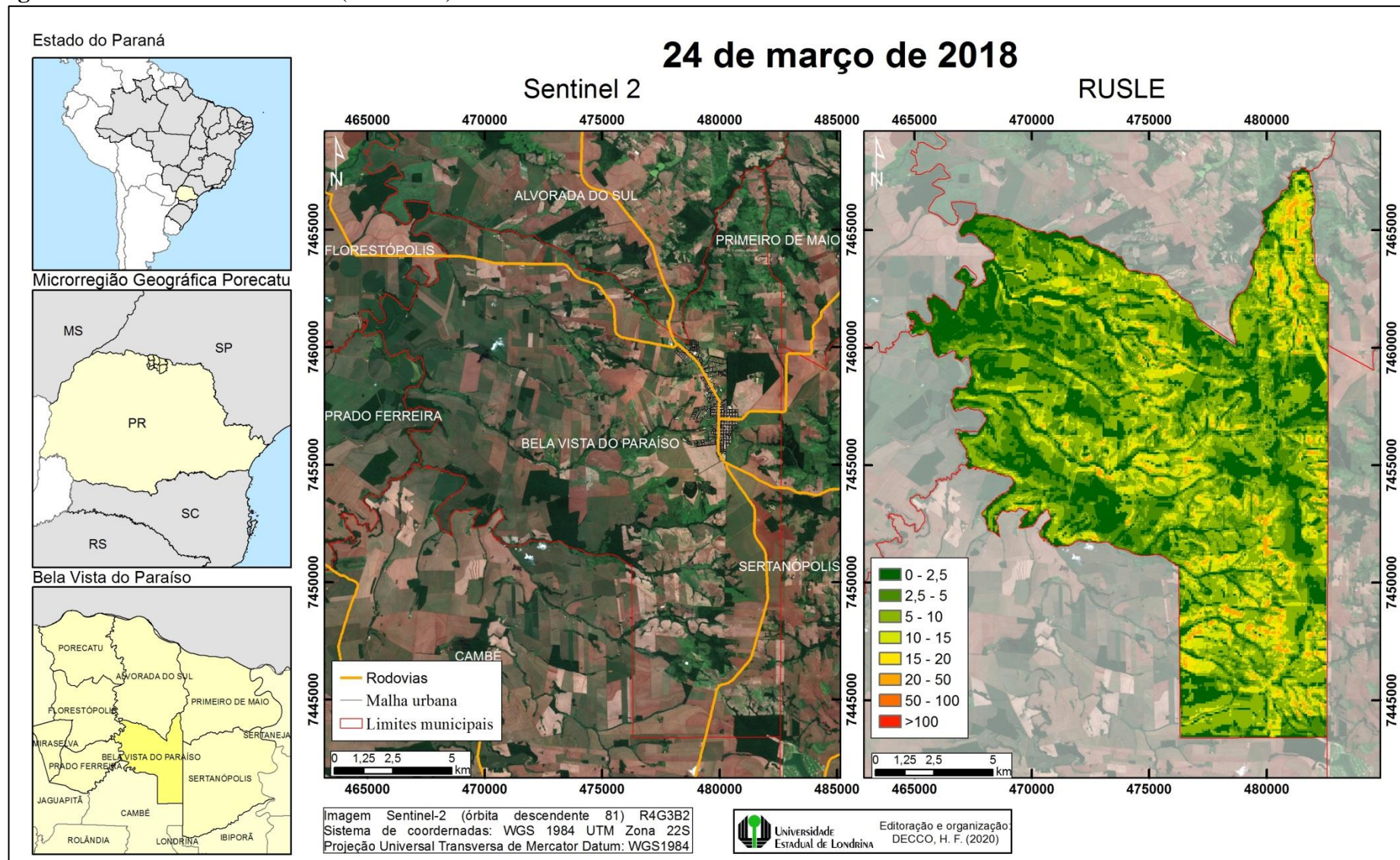
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.8.: Resultado da RUSLE (7/2/2018).



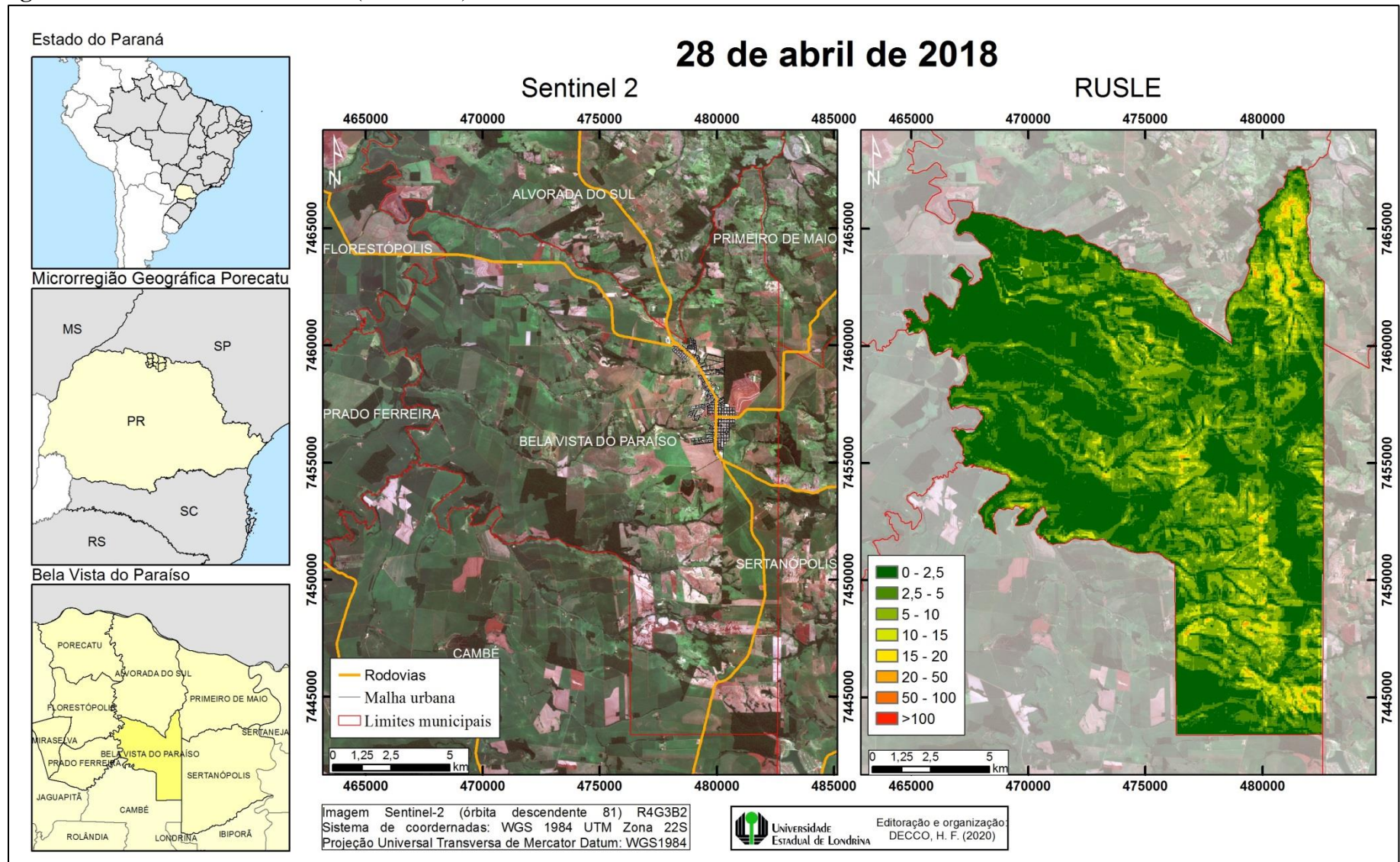
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.9.: Resultado da RUSLE (24/3/2018).



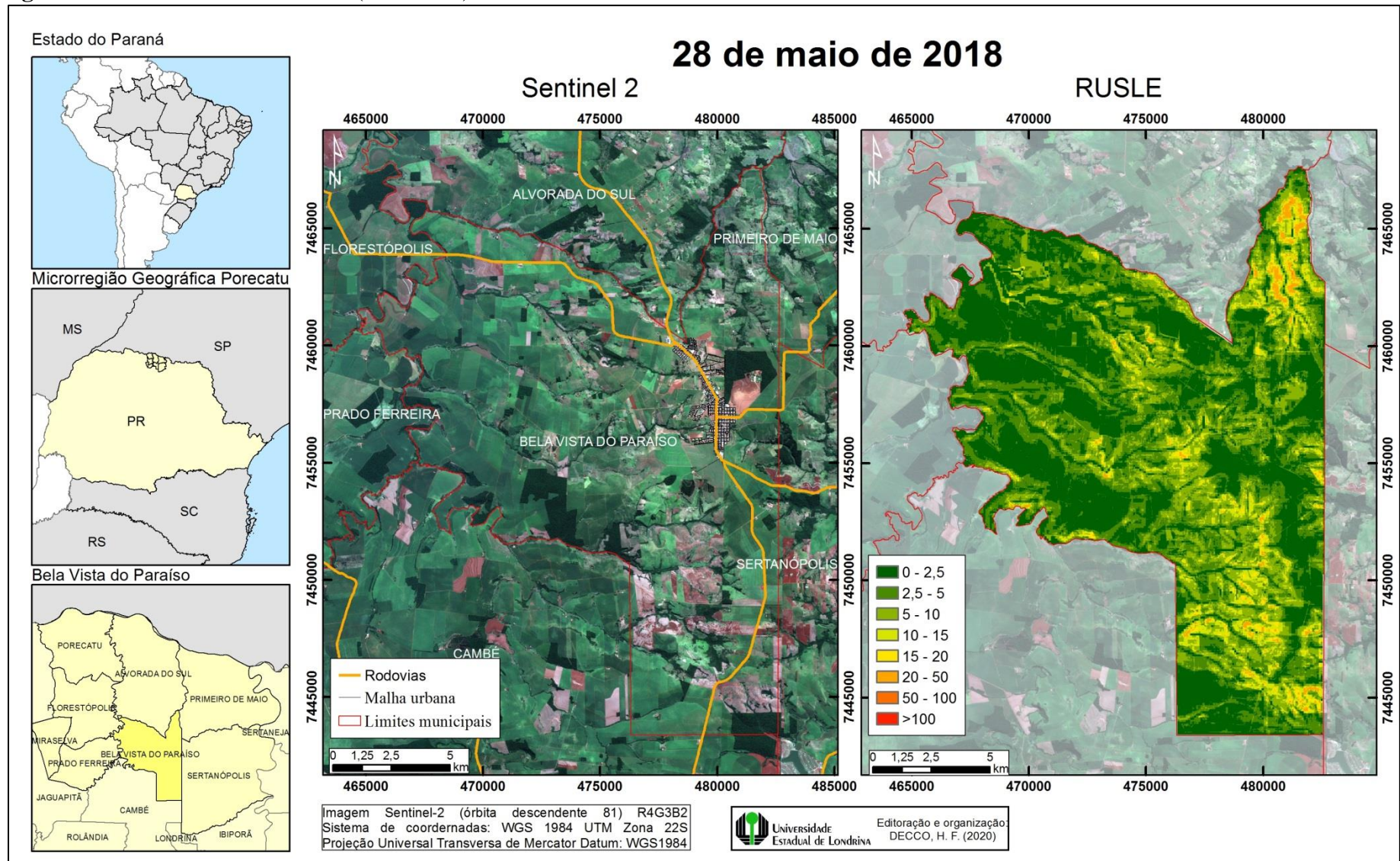
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.10.: Resultado da RUSLE (28/4/2018).



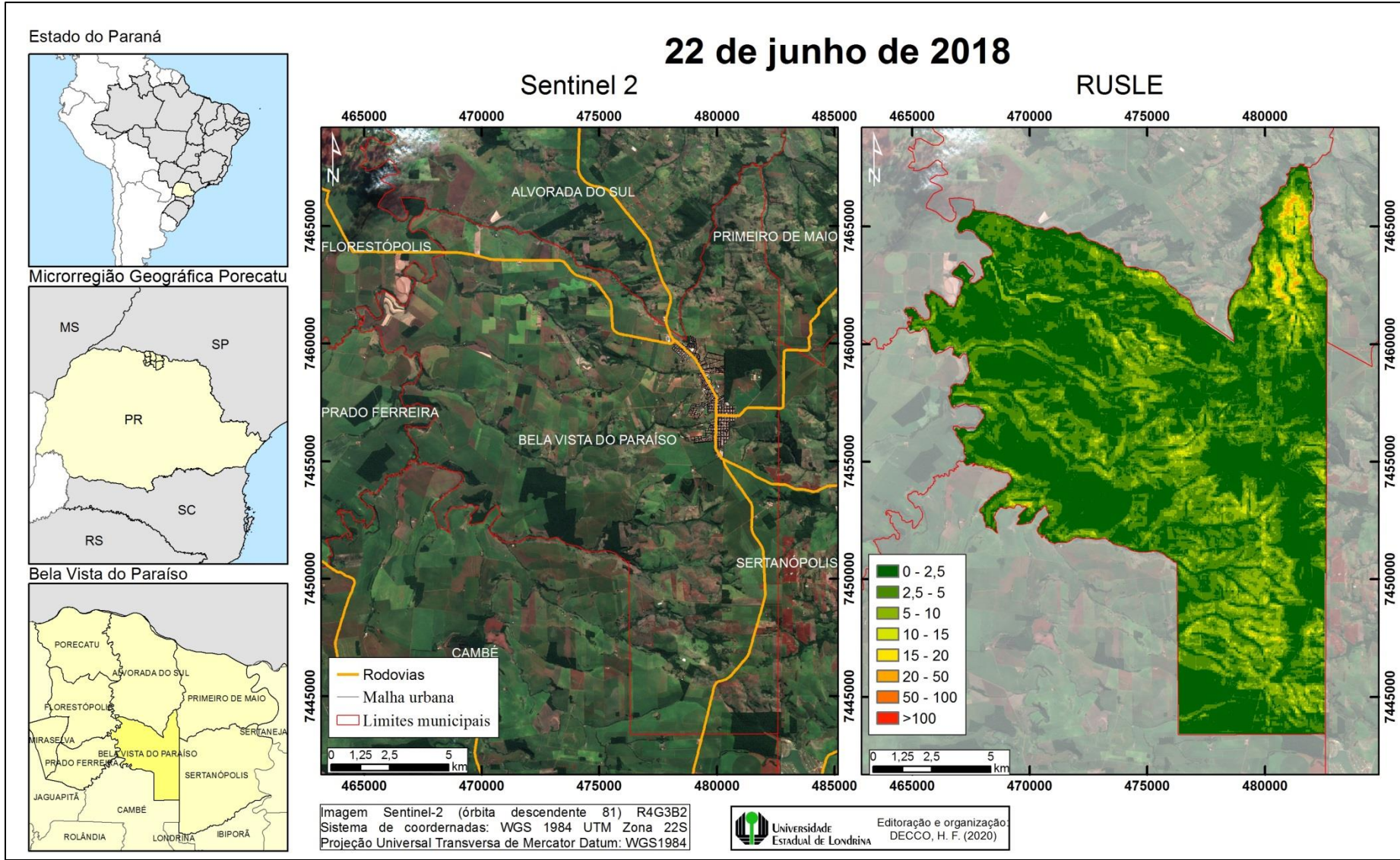
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.11.: Resultado da RUSLE (28/5/2018).



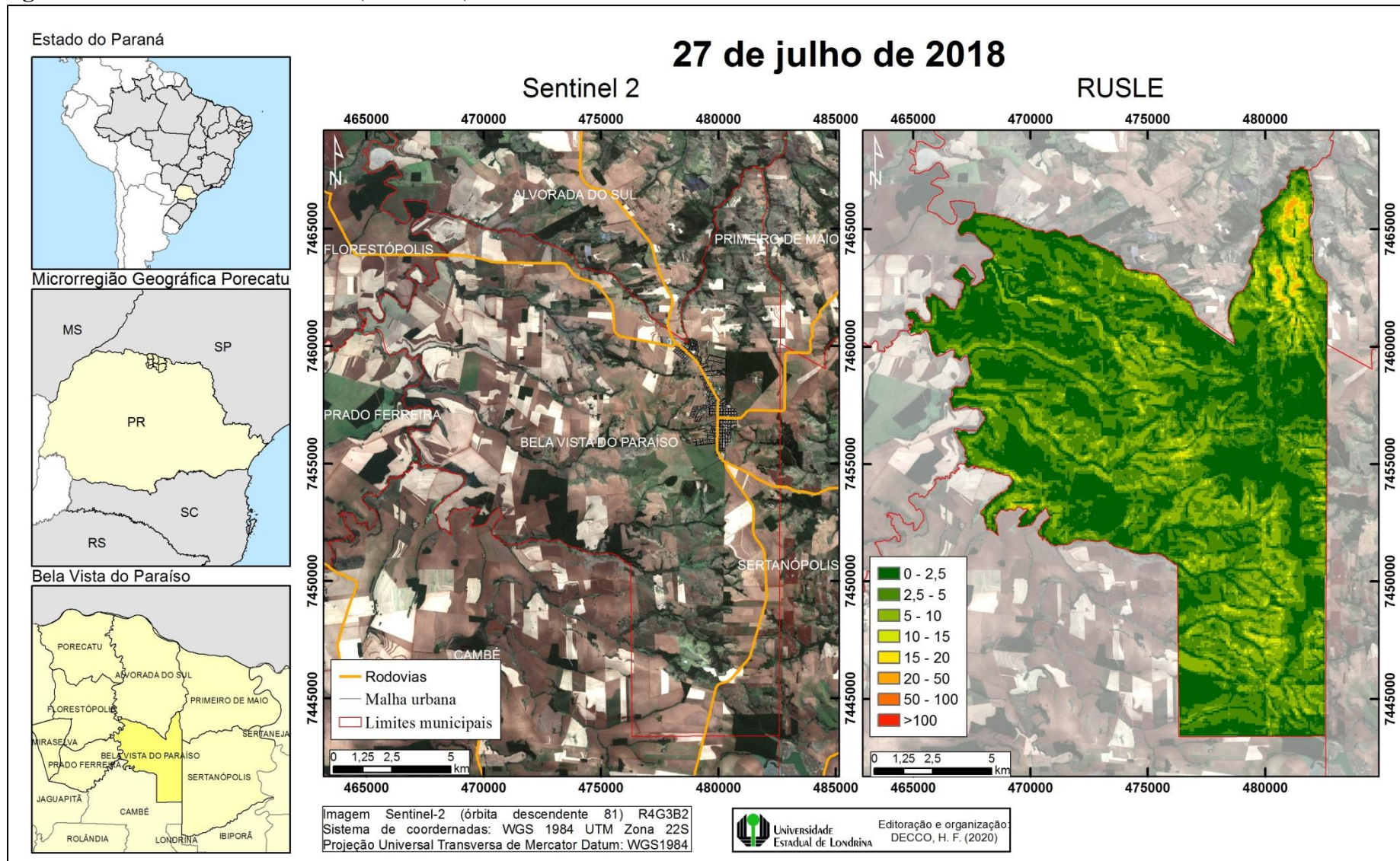
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.12.: Resultado da RUSLE (23/6/2018).



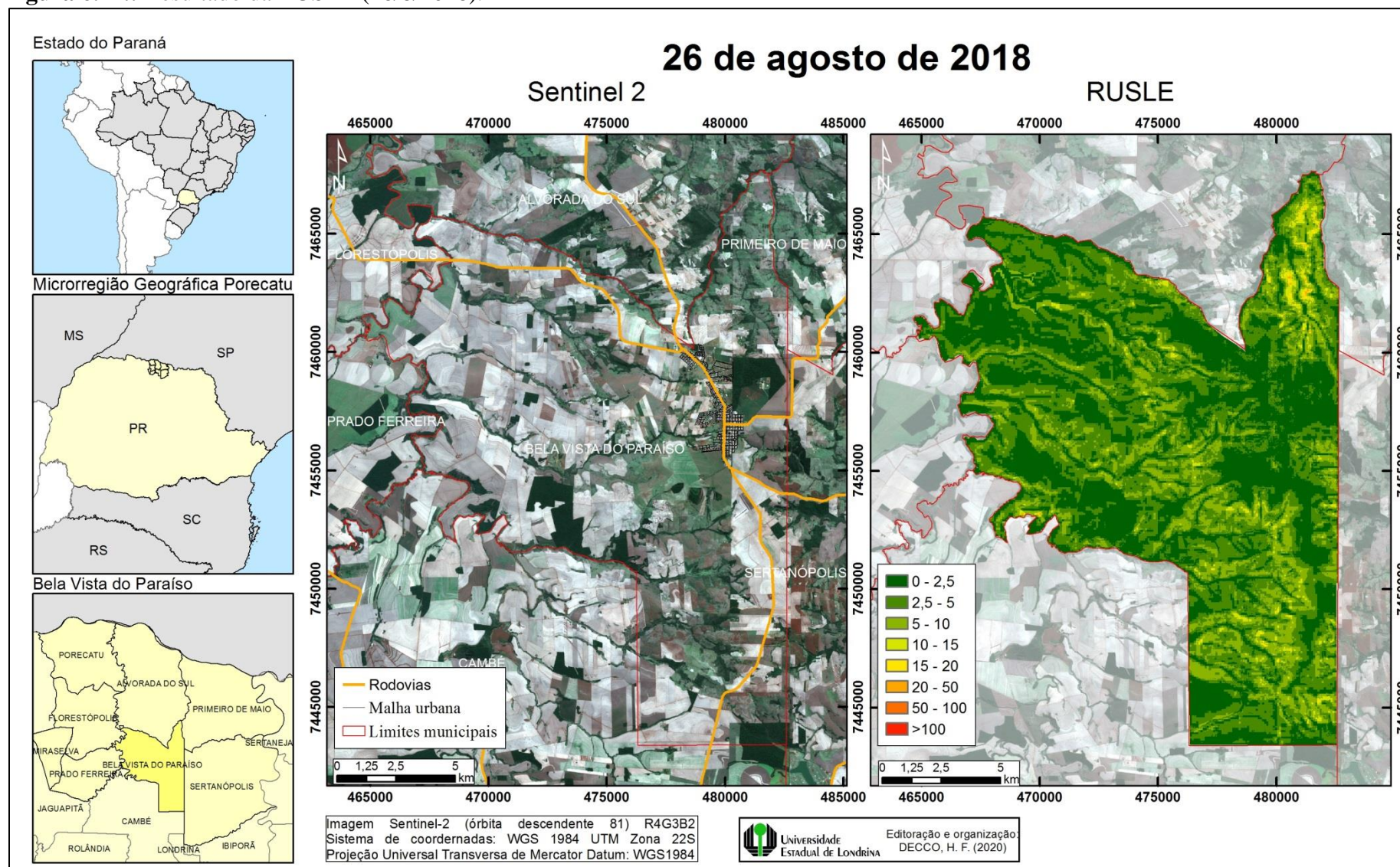
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.13.: Resultado da RUSLE (27/7/2018).



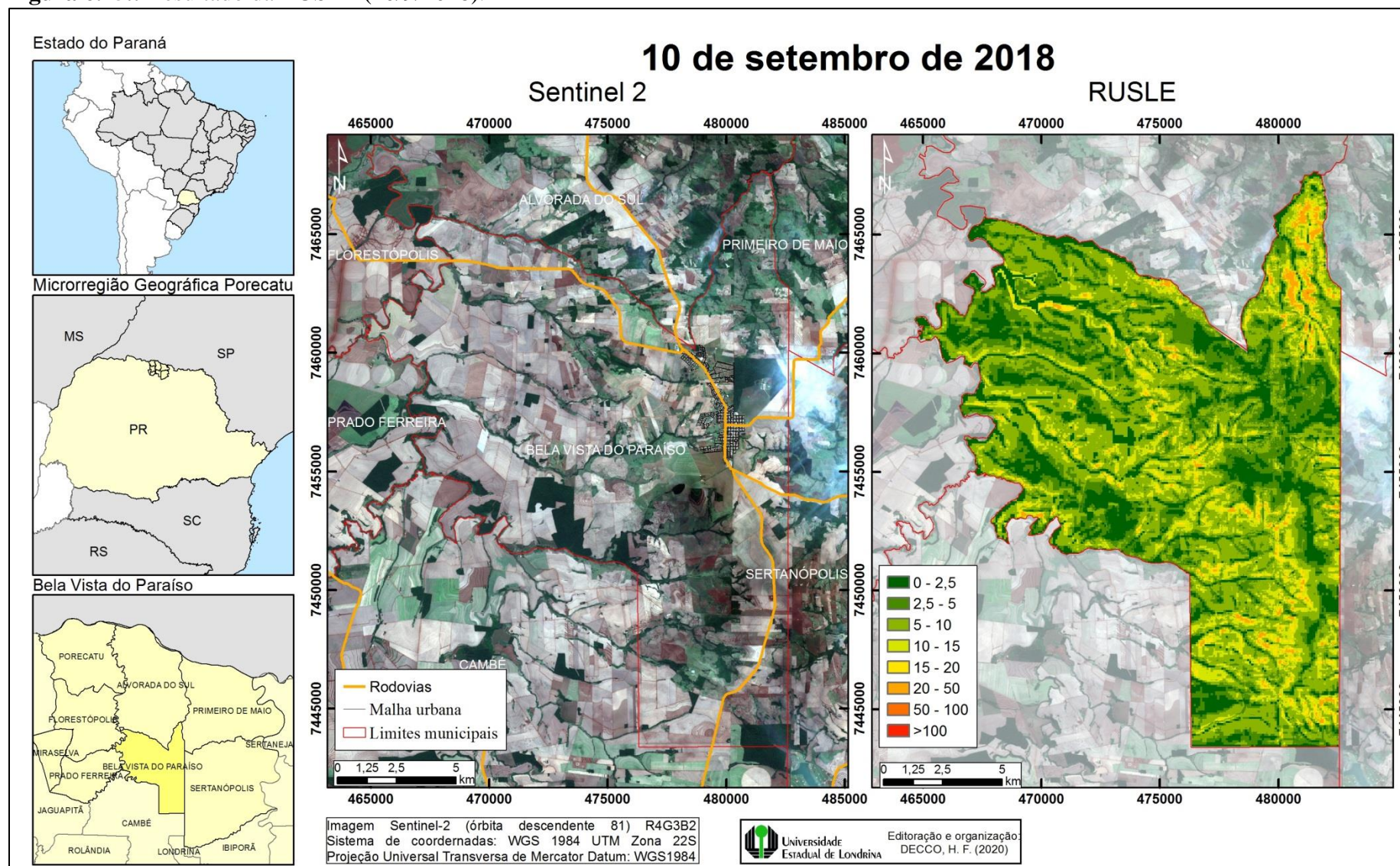
Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.14.: Resultado da RUSLE (26/8/2018).



Fonte: DECCO, 2021.

Figura 6.15.: Resultado da RUSLE (10/9/2018).



Fonte: DECCO, 2021.

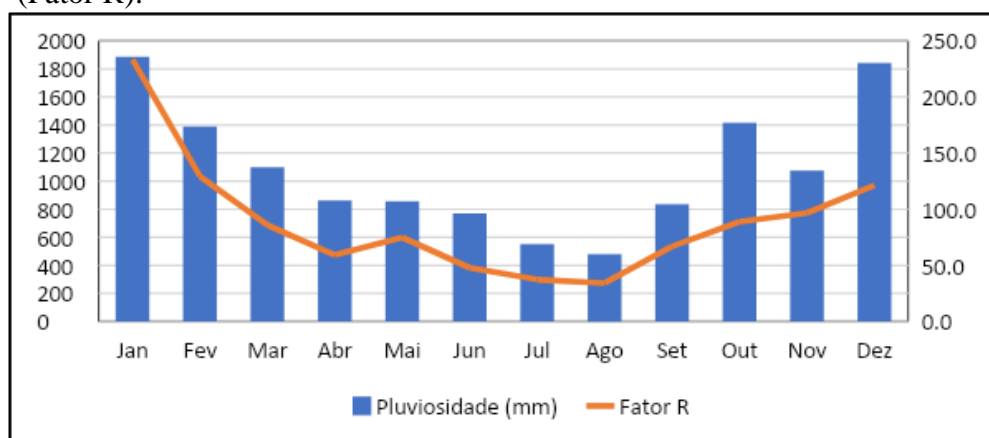
Tabela 6.4.: Área em km² da perda de solos utilizando os intervalos de Beskow *et al.* (2009).

| ton/ha/mês | out/17 | nov/17 | dez/17 | jan/18 | fev/18 | mar/18 | abr/18 | mai/28 | jun/18 | jul/18 | ago/18 | set/18 |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 0 - 2,5 | 44,737 | 52,509 | 67,413 | 48,249 | 72,511 | 54,683 | 119,277 | 98,127 | 122,762 | 92,311 | 98,299 | 97,161 |
| 2,5 - 5 | 16,315 | 44,472 | 66,717 | 67,878 | 70,532 | 58,367 | 68,391 | 72,691 | 78,292 | 96,989 | 97,979 | 56,016 |
| 5 - 10 | 101,50 9 | 91,751 | 69,734 | 68,242 | 67,132 | 84,456 | 40,345 | 48,809 | 33,109 | 44,472 | 39,984 | 45,746 |
| 10 - 15 | 45,388 | 33,44 | 21,626 | 26,876 | 19,083 | 28,353 | 9,053 | 13,508 | 4,463 | 4,878 | 3,53 | 29,244 |
| 15 - 20 | 19,437 | 11,682 | 8,428 | 12,486 | 6,75 | 9,866 | 2,44 | 4,622 | 1,17 | 1,116 | 0,497 | 8,414 |
| 20 - 50 | 12,897 | 6,469 | 6,237 | 15,579 | 4,325 | 4,67 | 0,893 | 2,624 | 0,603 | 0,626 | 0,108 | 3,791 |
| 50 - 100 | 0,105 | 0,067 | 0,139 | 0,955 | 0,073 | 0,011 | - | 0,008 | - | - | - | 0,015 |
| >100 | - | - | - | 0,022 | - | - | - | - | - | - | - | - |

O valor máximo de perda de solos foi verificado no mês de janeiro de 2018 (23/01/2018), figura 6.4, com uma perda máxima de 194,201 ton/ha/mês, porém com uma área de 0,022 km². Esse é o único mês que atingiu a classe de perda superior a 100 ton/ha/mês. Isso se deve, principalmente, ao seu fator R ser de 1898 MJ mm ha h mês em uma região de Neossolo Regolítico. Salienta-se que esse resultado somente não foi maior pelo fato de ser um mês em que grande parte das lavouras do município estão em desenvolvimento, sobretudo a soja (JOHANN *et al.*, 2016), nas quais a cobertura vegetal impede que processos erosivos se intensifiquem ainda mais. (AMARAL *et al.*, 2008).

No entanto, ainda temos nas estações de primavera e verão os maiores valores de perda de solos entre o intervalo estudado. Isso pode estar associado à época de semeadura das culturas, no caso a soja, pois o solo fica pouco protegido e associado às intensas chuvas erosivas com suas enxurradas acarretam em processos erosivos (COGO; LEVIEN; SCHWARZ, 2003). Como pode ser observado na figura 6.16 que demonstra a pluviosidade histórica mensal da estação meteorológica do INMET no município de Londrina (PR) com os valores de erosividade do município de Bela Vista do Paraíso, segundo Waltrick (2010), Waltrick *et al.* (2011, 2015).

Figura 6.16.: Pluviosidade histórica mensal associada à erosividade da chuva (Fator R).



Fonte: Waltrick, 2010; Waltrick *et al.*, 2011; 2015; INMET, 2021.

O menor valor se deu no mês de agosto de 2018, apresentado na figura 6.14, o valor de 36,081 ton/ha/mês, também tem seu resultado ligado ao valor do fator R, 274 MJ mm ha h mês, o menor valor de erosividade para o período estudado, grande em parte por ser o mês com o mais baixo índice pluviométrico (60 mm), onde se pode caracterizar por ser um mês com escassez de chuvas erosivas (McGREGOR *et al.*, 1995).

Contribuindo para que o seu resultado de perda de solos não venha a ser maior, pois neste mês geralmente as áreas de lavouras estão iniciando a sua época de pousio anual, onde o solo fica exposto, porém é muito comum no município a utilização da palhada do milho colhido entre os

meses de junho (figura 6.12) e julho (figura 6.13) para proteção do solo, proporcionando assim uma manutenção de resíduos culturais na superfície do solo, acarretando o aumento da retenção de água e maior proteção do solo contra o impacto direto das chuvas (IGUE, 1984).

Observa-se que a erosividade das chuvas (fator R) é associada aos fatores de uso e manejo do solo (fator C) e práticas conservacionistas (fator P). Em meses que o pousio é realizado com um índice de chuvas erosivas acarretam resultados na classe 5 a 10 ton/ha/mês, chegando a uma área máxima de 101,509 km².

A classe de 0 a 2,5 ton/ha/mês tem a maior média de 79,17 km² (tabela 6.4) de ocupação no município, o que se deve ao relevo do município ser predominante da classe suave ondulada (EMBRAPA, 1979) como pode ser observado na tabela 6.5.

Tabela 6.5.: Área das classes de declividade para Bela Vista do Paraíso, PR (EMBRAPA, 1979).

| Declividade (%) | Descriminação do relevo | Área (km ²) | Área (%) |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|----------|
| 0-3 | Plano | 29,05 | 11,98 |
| 3-8 | Suave ondulado | 126,239 | 52,06 |
| 8-20 | Ondulado | 85,5 | 35,26 |
| 20-45 | Forte ondulado | 1,674 | 0,7 |
| 45-75 | Montanhoso | - | - |
| >75 | Forte montanhoso | - | - |

Observando a perda de solos do município em sua totalidade, também podemos correlacionar com as diferentes classes de solos apresentadas, já que a erodibilidade (fator K) também influencia significativamente para os resultados da RUSLE.

O município possui cinco classes de solos, sendo a predominante o LV com 129,468 km² (52,94%), seguido do NV com 99,876 km² (40,84%), RR com 8,024 km² (3,28%), GM 4,498 km² (1,83%) e CY com 2,67 km² (1,09%).

A tabela 6.6 demonstra a área em km² de perda de solos mensais para cada classe de solo, utilizando-se novamente os intervalos de Beskow *et al.* (2009).

Tabela 6.6.: Intervalo de perda de solos (BESKOW et. al. 2009) para as diferentes classes de solos.

| Solos | Intervalo de perda de solos ano (ton/ha/mês) | | | | | | | |
|---------------------|--|---------|--------|--------|---------|---------|----------|------|
| | 0 – 2,5 | 2,5 – 5 | 5 – 10 | 10- 15 | 15 – 20 | 20 – 50 | 50 – 100 | >100 |
| Outubro 2017 | | | | | | | | |
| LV | 31,838 | 9,504 | 73,227 | 11,286 | 1,674 | 0,323 | 0,001 | - |
| RR | 0,686 | 0,106 | 0,99 | 1,516 | 1,511 | 3,105 | 0,092 | - |
| NV | 9,106 | 6,29 | 26,419 | 31,759 | 15,552 | 8,738 | 0,012 | - |
| CY | 1,056 | 0,003 | 0,224 | 0,198 | 0,473 | 0,657 | - | - |
| GM | 2,019 | 0,406 | 0,637 | 0,626 | 0,226 | 0,074 | - | - |

| Novembro 2017 | | | | | | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|-------|-------|
| LV | 37,828 | 29,008 | 52,985 | 6,826 | 1,046 | 0,16 | - | - |
| RR | 0,696 | 0,468 | 1,873 | 1,991 | 1,44 | 1,514 | 0,024 | - |
| NV | 10,798 | 14,147 | 35,456 | 23,821 | 8,887 | 4,725 | 0,043 | - |
| CY | 1,058 | 0,089 | 0,534 | 0,581 | 0,284 | 0,066 | - | - |
| GM | 2,095 | 0,75 | 0,894 | 0,221 | 0,024 | 0,003 | - | - |
| Dezembro 2017 | | | | | | | | |
| LV | 52,485 | 43,407 | 27,927 | 3,421 | 0,494 | 0,118 | 0,001 | - |
| RR | 0,691 | 0,375 | 1,493 | 1,665 | 1,442 | 2,228 | 0,112 | - |
| NV | 11,013 | 21,636 | 38,643 | 16,225 | 6,397 | 3,933 | 0,026 | - |
| CY | 1,066 | 0,155 | 1,012 | 0,258 | 0,081 | 0,04 | - | - |
| GM | 2,126 | 1,136 | 0,649 | 0,055 | 0,015 | 0,007 | - | - |
| Janeiro 2018 | | | | | | | | |
| LV | 35,464 | 59,408 | 24,932 | 5,269 | 1,843 | 0,916 | 0,019 | - |
| RR | 0,683 | 0,017 | 0,609 | 1,075 | 0,938 | 3,982 | 0,682 | 0,02 |
| NV | 8,999 | 8,443 | 40,96 | 19,438 | 9,389 | 10,397 | 0,248 | 0,001 |
| CY | 1,055 | 0,016 | 0,384 | 0,694 | 0,234 | 0,226 | 0,003 | - |
| GM | 2,016 | 0,094 | 1,349 | 0,394 | 0,078 | 0,055 | 0,003 | - |
| Fevereiro 2018 | | | | | | | | |
| LV | 58,572 | 43,432 | 22,608 | 2,752 | 0,377 | 0,112 | - | - |
| RR | 0,689 | 0,22 | 1,6 | 1,772 | 1,518 | 2,136 | 0,07 | - |
| NV | 10,133 | 26,385 | 41,606 | 13,597 | 4,3 | 1,861 | 0,002 | - |
| CY | 1,059 | 0,018 | 0,535 | 0,462 | 0,378 | 0,158 | - | - |
| GM | 2,025 | 0,047 | 0,771 | 0,495 | 0,176 | 0,057 | - | - |
| Março 2018 | | | | | | | | |
| LV | 40,246 | 39,106 | 42,395 | 5,253 | 0,73 | 0,125 | - | - |
| RR | 0,695 | 0,413 | 2,094 | 2,222 | 1,431 | 1,148 | 0,004 | - |
| NV | 10,576 | 17,85 | 38,466 | 20,241 | 7,389 | 3,355 | 0,006 | - |
| CY | 1,058 | 0,062 | 0,67 | 0,484 | 0,302 | 0,035 | - | - |
| GM | 2,074 | 0,924 | 0,822 | 0,153 | 0,014 | 0,007 | - | - |
| Abril 2018 | | | | | | | | |
| LV | 91,279 | 27,301 | 8,704 | 0,538 | 0,038 | 0,003 | - | - |
| RR | 0,759 | 1,123 | 2,843 | 1,882 | 0,931 | 0,469 | - | - |
| NV | 23,543 | 38,007 | 27,961 | 6,487 | 1,466 | 0,415 | - | - |
| CY | 1,069 | 0,729 | 0,673 | 0,131 | 0,003 | 0,006 | - | - |
| GM | 2,593 | 1,218 | 0,16 | 0,015 | 0,003 | - | - | - |
| Mai 2018 | | | | | | | | |
| LV | 79,3 | 34,722 | 12,624 | 1,042 | 0,13 | 0,038 | - | - |
| RR | 0,707 | 0,589 | 2,162 | 1,797 | 1,209 | 1,533 | 0,008 | - |
| NV | 14,9 | 35,836 | 32,547 | 10,365 | 3,187 | 1,04 | - | - |
| CY | 1,065 | 0,188 | 0,989 | 0,27 | 0,09 | 0,011 | - | - |
| GM | 2,122 | 1,344 | 0,48 | 0,033 | 0,007 | 0,002 | - | - |
| Junho 2018 | | | | | | | | |
| LV | 95,215 | 29,597 | 2,971 | 0,071 | 0,008 | 0,002 | - | - |
| RR | 0,771 | 1,143 | 2,759 | 1,782 | 0,964 | 0,588 | - | - |
| NV | 23,283 | 45,973 | 26,013 | 2,432 | 0,162 | 0,013 | - | - |
| CY | 1,071 | 0,353 | 0,981 | 0,171 | 0,035 | - | - | - |
| GM | 2,386 | 1,213 | 0,382 | 0,007 | 0,001 | - | - | - |
| Julho 2018 | | | | | | | | |
| LV | 72,289 | 51,663 | 3,822 | 0,081 | 0,001 | 0,001 | - | - |
| RR | 0,742 | 0,943 | 2,831 | 1,892 | 0,988 | 0,612 | - | - |

| | | | | | | | | |
|----------------------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|---|
| NV | 15,892 | 42,962 | 36,243 | 2,643 | 0,125 | 0,013 | - | - |
| CY | 1,069 | 0,213 | 1,068 | 0,26 | 0,002 | - | - | - |
| GM | 2,283 | 1,195 | 0,506 | 0,003 | 0,001 | - | - | - |
| Agosto 2018 | | | | | | | | |
| LV | 75,242 | 49,316 | 3,277 | 0,022 | 0,002 | - | - | - |
| RR | 0,865 | 1,524 | 3,557 | 1,55 | 0,408 | 0,101 | - | - |
| NV | 18,609 | 45,769 | 31,631 | 1,776 | 0,087 | 0,006 | - | - |
| CY | 1,078 | 0,276 | 1,079 | 0,179 | - | - | - | - |
| GM | 2,466 | 1,082 | 0,438 | 0,003 | - | - | - | - |
| Setembro 2018 | | | | | | | | |
| LV | 32,667 | 45,398 | 46,91 | 2,639 | 0,217 | 0,023 | - | - |
| RR | 0,69 | 0,19 | 1,608 | 1,877 | 1,685 | 1,942 | 0,015 | - |
| NV | 9,281 | 9,935 | 47,239 | 23,774 | 5,986 | 1,662 | - | - |
| CY | 1,056 | 0,02 | 0,294 | 0,618 | 0,463 | 0,161 | - | - |
| GM | 2,019 | 0,466 | 1,1 | 0,336 | 0,063 | 0,003 | - | - |

A classe dos LV, predominante no município, oscila entre os três primeiros intervalos de perda de solos 0-2,5, 2,5-5 e 5 a 10 ton/ha/mês, com a variação encontrada atrelada aos fatores C e P, pois, em meses com fator R alto, há uma cobertura vegetal que realiza o contrapeso na RUSLE. Em meses com fator R baixo, as áreas de plantio estavam no período de pousio, sendo também observado nos locais onde há NV.

Evidenciam os maiores resultados de perda de solos onde se localizam os RR. Esses são relacionados ao fator LS que, segundo a classificação da EMBRAPA (1979), encontrando-se nas categorias de ondulado a forte ondulado. As áreas com essa classe de solo apresentaram perdas de solos no intervalo de 20 a 50 ton/ha/mês. Salienta-se que esses locais geralmente não são áreas de agricultura de cultivo temporário. Em saídas à campo para reconhecimento da área, verificou-se que locais estavam destinados à pecuária presente no município, que é praticamente inexpressiva.

Os RR podem se caracterizar como solos com alta suscetibilidade à erosão. Borges, Athayde e Reginato (2017), ao estudarem a vulnerabilidade de contaminação do aquífero Serra Geral no Paraná, caracterizaram-no como um solo com capacidade de infiltração moderada, o que com o valor do fator LS dessa região que se encontram entre mais elevados, assim contribuindo para que os valores de perdas de solos venham a ser elevados.

A classe dos CY, que apresenta o maior valor para o fator K com $0,0508 \text{ t ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, compreende áreas associadas à classe de 20 a 50 ton/ha/mês muito em razão da sua susceptibilidade a processos erosivos, pois se encontram em áreas de planícies de inundação, que se caracterizam por ter uma permeabilidade muito lenta da água no interior do perfil (CURCIO *et al.*, 2007).

Os CY e os GM se encontram em áreas de planície de inundação do município. Portanto, não possuem um fator LS de valores elevados, valendo salientar que essas áreas de planície de

inundação devem ser preservadas pelo seu alto grau de fragilidade (GALVÃO; STEVAUX; SAAD, 2014).

Os resultados apresentados são frutos de modelos espaciais. Portanto, é importante enfatizar que esses devem ser atualizados constantemente, para que suas informações passem a ter cada vez mais confiabilidade (KYRIAKIDIS; DUNGAN, 2001).

Uma vez realizada a avaliação visual dos modelos mensais da RUSLE para o município de Bela Vista do Paraíso, também foi efetuada a análise estatística dos dados da tabela 4 com os valores de área de cada classe de Beskow *et al.* (2009).

Segundo os dados apresentados, a distribuição de normalidade pelo teste de Anderson-Darling, em sua maioria, não seguiu uma distribuição normal, ou seja, com valores acima de 95% de confiança, exceto os meses de outubro de 2017, novembro de 2017, janeiro de 2018, março de 2018 e setembro de 2018. Por isso, foi realizada a correlação de Spearman que é indicada para dados que não seguem uma distribuição normal.

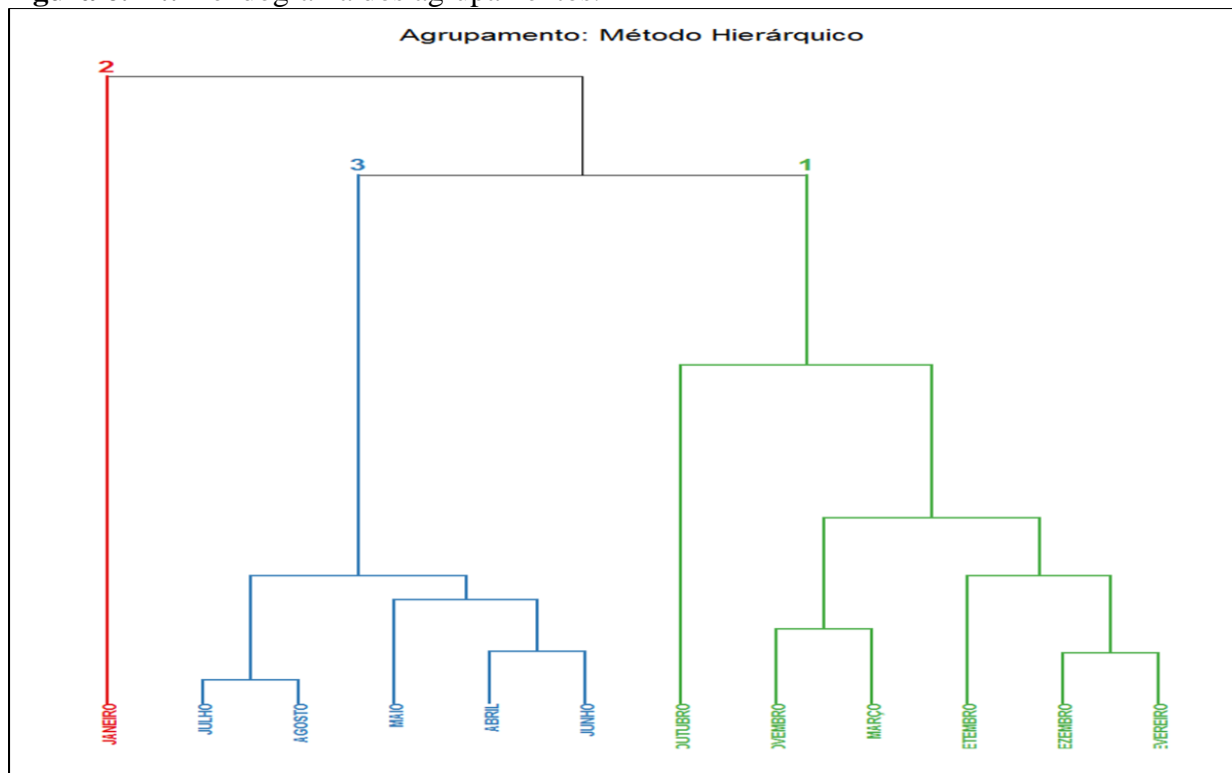
A matriz de correlação de Spearman demonstrou uma correlação acima de 0,95 nos meses de: novembro de 2017, dezembro de 2017, janeiro de 2018 e março de 2018. Outra correlação foi verificada nos meses de: fevereiro de 2018, abril de 2018, maio de 2018, junho de 2018, julho de 2018, agosto de 2018 e setembro de 2018. O mês de outubro de 2017 teve os menores índices de correlação com os demais meses, porém todos os valores foram superiores a 0,88, como é apresentado na tabela 6.7.

Tabela 6.7.: Matriz de correlação de Spearman.

| | Out/17 | Nov/17 | Dez/17 | Jan/18 | Fev/18 | Mar/18 | Abr/18 | Mai/18 | Jun/18 | Jul/18 | Ago/18 | Set/18 |
|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Out/17 | 1 | 0,880 | 0,880 | 0,785 | 0,738 | 0,833 | 0,730 | 0,738 | 0,730 | 0,682 | 0,730 | 0,738 |
| Nov/17 | 0,880 | 1 | 1 | 0,952 | 0,928 | 0,976 | 0,922 | 0,928 | 0,922 | 0,898 | 0,922 | 0,928 |
| Dez/17 | 0,880 | 1 | 1 | 0,952 | 0,928 | 0,976 | 0,922 | 0,928 | 0,922 | 0,898 | 0,922 | 0,928 |
| Jan/18 | 0,785 | 0,952 | 0,952 | 1 | 0,880 | 0,976 | 0,874 | 0,880 | 0,874 | 0,898 | 0,874 | 0,880 |
| Fev/18 | 0,738 | 0,928 | 0,928 | 0,880 | 1 | 0,904 | 0,994 | 1 | 0,994 | 0,970 | 0,994 | 1 |
| Mar/18 | 0,833 | 0,976 | 0,976 | 0,976 | 0,904 | 1 | 0,898 | 0,904 | 0,898 | 0,922 | 0,898 | 0,904 |
| Abr/18 | 0,730 | 0,922 | 0,922 | 0,874 | 0,994 | 0,898 | 1 | 0,994 | 1 | 0,975 | 1 | 0,994 |
| Mai/18 | 0,738 | 0,928 | 0,928 | 0,880 | 1 | 0,904 | 0,994 | 1 | 0,994 | 0,970 | 0,994 | 1 |
| Jun/18 | 0,730 | 0,922 | 0,922 | 0,874 | 0,994 | 0,898 | 1 | 0,994 | 1 | 0,975 | 1 | 0,994 |
| Jul/18 | 0,682 | 0,898 | 0,898 | 0,898 | 0,970 | 0,922 | 0,975 | 0,970 | 0,975 | 1 | 0,975 | 0,970 |
| Ago/18 | 0,730 | 0,922 | 0,922 | 0,874 | 0,994 | 0,898 | 1 | 0,994 | 1 | 0,975 | 1 | 0,994 |
| Set/18 | 0,738 | 0,928 | 0,928 | 0,880 | 1 | 0,904 | 0,994 | 1 | 0,994 | 0,970 | 0,994 | 1 |

Desta forma, sendo evidenciada a correlação entre as análises mensais, foi realizada a análise de agrupamento dos *clusters*, sendo possível observar a formação de três grupos por similaridade como é observada na figura 6.17 que apresenta o dendograma.

Figura 6.17.: Dendograma dos agrupamentos.



Fonte: Decco, 2021.

O dendograma de agrupamentos pode ser dividido em três grupos:

Grupo 1 (verde): outubro de 2017, novembro de 2017, dezembro de 2017, fevereiro de 2018, março de 2018 e setembro de 2018;

Grupo 2 (vermelho): Janeiro de 2018;

Grupo 3 (azul): abril de 2018, maio de 2018, junho de 2018, julho de 2018 e agosto de 2018.

A divisão destes grupos está correlacionada aos valores de erosividade mensal (fator R), principalmente quanto à formação de um grupo somente com o mês de janeiro de 2018, em que é observado o maior valor ($1868 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$), acarretando, assim, valores nas classes de maior perda de solo por hectare.

O grupo 1 apresenta valores de erosividade entre 535 (setembro) a 1035 (fevereiro) $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$, e o grupo 3 demonstra valores menores de erosividade entre 274 (agosto) a 599 (maio) $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ (WALTRICK, 2010; WALTRICK *et al.* 2011; 2015).

Além desta ligação relacionada à erosividade, também é observado que os agrupamentos, quanto aos fatores de uso e manejo do solo (fatores C e P), estes valores aqui elencados conjuntamente podem explicar os agrupamentos, onde o grupo 1 apresenta valores de perda de solos por hectare predominantes na classe moderada de Beskow *et al.* (2009), entre 5 a 10 ton/hect.

O grupo 3 na classe ligeira (0-2,5 ton/hect), onde mesmo apresentando valores altos de fatores C e P, os valores de erosividade foram os mais baixos em função de valores do fator R serem mais baixos.

6.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

1) Observa-se que os processos erosivos no município estão principalmente relacionados à erosividade (fator R), em que a sazonalidade das chuvas determina os maiores e menores valores de perda de solos, mas também ao seu uso, cobertura vegetal e práticas conservacionistas.

2) Os valores de erodibilidade (fator K) também têm influência no resultado final da RUSLE, mesmo não apresentando variabilidade mensal, as classes de solos mais erodíveis como RR e CY têm maiores valores de perda de solo. No caso do RR também está atrelado aos maiores valores do fator LS.

3) A utilização de imagens de satélite do período de um ano com observações mensais apresenta uma melhor análise de como os processos erosivos laminares ocorrem, conforme a sazonalidade das lavouras, o que pode contribuir na melhoria das técnicas de manejo dos solos.

4) Práticas conservacionistas devem ser adotadas nas áreas de lavoura do município de forma intensiva, tal como curvas de nível, pois tem 35,26% do relevo classificado como ondulado.

5) A utilização da RUSLE com o recorte espacial do município é uma grande ferramenta para que as prefeituras possam planejar a melhor forma de gerir seus recursos, como a conservação de estradas vicinais que auxiliam no processo de aceleração dos processos erosivos.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A. J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; BARBOSA, F. T. Redução da erosão hídrica em três sistemas de manejo do solo em um Cambissolo Húmico da região do Planalto Sul-Catarinense. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas. v. 32, n. 5, p. 2145-2155, 2008.

ANGIMA, S. D.; STOTT, D. E.; O'NEILL, M. K.; ONG, C. K.; WEESIES, G. A. Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 97, n. 1-3, p. 295-308, 2003.

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

BORGES, V. M.; ATHAYDE, G. B.; REGINATO, P. A. R. Avaliação da vulnerabilidade natural à contaminação do sistema aquífero Serra Geral no Estado do Paraná-Brasil. **Águas Subterrâneas**, v. 31, n. 4, p. 327-337, 2017.

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

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista brasileira de ciência do solo**, Campinas. v. 27, n. 4, p. 743-753, 2003.

CONGEDO, L. Semi-Automatic Classification Plugin Documentation Versão 5.1.0.1. Tutorial. 2017. Disponível em: < <https://media.readthedocs.org/pdf/semiautomaticclassificationmanual-v5-pt/latest/semiautomaticclassificationmanual-v5-pt.pdf> > Acesso em: 24 jun. 2019.

CORRÊA, A. R. **Características Climáticas de Londrina**. 2. ed. Londrina, PR: Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR, 1982.

CUNHA, E. R. **Geoprocessamento aplicado a estimativa de perdas de solo da bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2015.

CURCIO, G. R.; GALVÃO, F.; BONNET, A.; BARDDAL, M. L.; DEDECEK, R. A. A floresta fluvial em dois compartimentos do rio Iguaçu, Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 37, n. 2, p. 125-147, 2007.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of soil and water conservation**, v. 51, n. 5, p. 427-433, 1996.

DE JONG, S. M., **Applications of reflective remote sensing for land degradation studies in a Mediterranean environment**. PhD Thesis - Utrecht University, Utrecht, 1994. 237 pp.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): I-Distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno-1ª aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 335-345, 2003.

DIAS, A. S.; SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE). II-correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 2, p. 347-354, 2003b.

DURIGON, V. L.; CARVALHO, D. F.; ANTUNES, M. A. H.; OLIVEIRA, P. T. S.;

FERNANDES, M. M. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In. REUNIÃO TÉCNICA DE LEVANTAMENTO DE SOLOS, 10, 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p.

FERNANDEZ, H. M.; MARTINS, F. M. G.; ISIDORO, J. M. G. P.; ZAVALA, L.; JORDÁN, A. Soil erosion, Serra de Grândola (Portugal). **Journal of Maps**, v. 1, n. 5, p. 1138-1145, 2016.

FU, B. J.; ZHAO, W. W.; CHEN, L. D.; ZHANG, Q. J.; LÜ, Y. H.; GULINK, H.; POESEN, J. Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS: a case study in the Loess Plateau of China. **Land degradation & development**, v. 16, n. 1, p. 73-85, 2005.

GALVÃO, V.; STEVAUX, J. C.; SAAD, A. R. Análise Geoambiental dos Ambientes da Planície Aluvial do Alto Curso do Rio Paraná: Fragilidade e Impactos Ambientais Relativos ao Desenvolvimento do Uso Turístico. **Geociências**, v. 33, n. 3, p. 472-491, 2014.

GOMES, J. B. V.; BOGNOLA, I. A.; CURCIO, G. R.; CAVIGLIONE, J. H.; UHLMANN, A.; CARDOSO, A.; CARVALHO, A. P. **Levantamento semidetalhado de solos do município de Bela Vista do Paraíso-PR**. Londrina, PR: Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR. 2011.

IBGE, (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/bela-vista-do-paraíso/pesquisa/24/76693>) acessado dia 28 de outubro de 2020

IGUE, K. Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos nas propriedades do solo. In. FUNDAÇÃO CARGIL. ADUBAÇÃO verde no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-267.

JOHANN, J. A., BECKER, W. R.; URIBE-OPAZO, M. A.; MERCANTE, E. Uso de imagens do sensor orbital Modis na estimação de datas do ciclo de desenvolvimento da cultura da soja para o estado do Paraná-Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 1, p. 126-142, 2016.

KYRIAKIDIS, P. C.; DUNGAN, J. L. A geostatistical approach for mapping thematic classification accuracy and evaluating the impact of inaccurate spatial data on ecological model predictions. **Environmental and ecological statistics**, v. 8, n. 4, p. 311-330, 2001.

LAL, R. Erodibility and erosivity. In. LAL, R. *et al.* Soil erosion research methods. Washington: Soil and Water Conservation Society, 1988. p. 141-160.

McCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 30, n. 5, p. 1387-1396, 1987.

McCOOL, D. K.; FOSTER, G. R.; MUTCHLER, C. K.; MEYER, L. D. Revised slope length factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the ASAE**, v. 32, n. 5, p. 1571-1576, 1989.

McGREGOR, K. C.; BINGER, R. L.; BOWIE, A. J.; FOSTER, G. R. Erosivity index values for northern Mississippi. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 38, n. 4, p. 1039-1047, 1995.

MINEROPAR, S. A. Mapa geológico do Estado do Paraná. **Escala**, Londrina, v. 1, n. 250.000, 2006.

MILLWARD, A. A.; MERSEY, J. E. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. **Catena**, v. 38, n. 2, p. 109-129, 1999.

MURATORI, A. M. **Erosão no Noroeste do Paraná: uma proposta metodológica de estudo sistemático através do uso de fotografias aéreas**. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1983.

OLIVEIRA, J. A.; DOMINGUEZ, J. M. L.; NEARING, M. A.; OLIVEIRA, P. T. S. A GIS-based procedure for automatically calculating soil loss from the universal soil loss equation: Gius-m. **Applied engineering in agriculture**, v. 31, n. 6, p. 907, 2015.

ONORI, F.; BONIS, P.; GRAUSO, S. Soil erosion prediction at the basin scale using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a catchment of Sicily (southern Italy). **Environmental Geology**, v. 50, n. 8, p. 1129-1140, 2006.

PINESE, J. P. P. Síntese geológica da bacia do rio Tibagi. In: MEDRI, M. E.; BIANCHINI, E.; SHIBATTA, O. A.; PIMENTA, J. A. (orgs.) A Bacia do Rio Tibagi. Londrina: ME Medri, 2002. p. 21-38.

RENARD, K. G.; FOSTER, G.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agricultural Handbook**, n. 703, United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1997.

REZENDE, P. S.; MARQUES, D. V.; ROSA, R. Uso de dados do Sentinel-2 para cálculo de NDVI com base nos valores da reflectância aparente e de superfície. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2017, Santos-SP. **Anais [...]** Santos-SP, SBSR, 2017. p. 4181-4188.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHIELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, 1973. Proceedings... Whashington: NASA, 1974, v. 1, p. 309-317, 1973.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 7, n. 2, p. 3-12, 2006.

SILVA, A. M.; ALVARES, C. A. Erodibilidade dos solos paulistas: levantamento de informações e estruturação de um banco de dados. **Geociências**, v. 24, n. 1, p. 33-42, 2005.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N.V.L. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 13, n. 3, p. 267-278, 2012.

WALTRICK, P. C. **Erosividade de chuvas no Paraná: atualização, influência do “El niño” e “La niña” e estimativa para cenários climáticos futuros**. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M.; OLIVEIRA, D.; GRIMM, A. M.; DIECKOW, J. Erosividade de chuvas no estado do Paraná: Atualização e influência dos eventos “El Niño” e “La Niña”. **Boletim Técnico da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Curitiba, 2012.

WALTRICK, P. C.; MACHADO, M. A. M; DIECKOW, J.; OLIVEIRA, D. Estimativa da erosividade de chuvas no estado do Paraná pelo método da pluviometria: atualização com dados de 1986 a 2008. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 39, n. 1, p. 256-267, 2015.

WISCHMEIER, W. H, SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation. **Agricultural Handbook** No. 537. Planning, Science and Education Administration. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1978.

ZHANG, H.; YANG, Q.; LI, R.; LIU, Q.; MOORE, D.; HE, P.; RITSEMA, C.J.; GEISSEN, V. Extension of a GIS procedure for calculating the RUSLE equation LS factor. **Computers and Geosciences**, v. 52, p. 177-188, 2013.

CONCLUSÃO

Com os resultados apresentados no trabalho de doutoramento podemos ter as seguintes conclusões:

Mesmo utilizando-se a equação de Boyoucos (1935) que subestima a determinação da erodibilidade dos solos no município, observa-se que o material de origem tem influência no resultado, onde solos desenvolvidos em arenitos da Formação Adamantina apresentam em sua textura um material mais grosseiro, enquanto nos solos formados sob a Formação Serra Geral possuem valores de erodibilidade mais próximos a 0.

Cabe aqui também salientar que processos erosivos laminares influenciam na determinação dos valores de erodibilidade, pois há áreas em que o horizonte A já foi erodido, expondo assim o horizonte B, tanto nítico como textural, onde o incremento de argila é predominante, influenciando principalmente na drenagem das águas pluviais no interior do perfil.

Além dos estudos de erodibilidade, foi de grande importância à verificação dos valores mensais de uso e manejo dos solos (fatores C e P) na RUSLE, pois como o município tem em sua atividade principal culturas temporárias com períodos de pousio, estes valores demonstraram influência nos valores finais de erosão laminar, cabendo aqui salientar que a utilização do índice NDVI para esta determinação é de fácil aplicabilidade e alta confiabilidade.

A análise da erosividade mensal (fator R) também contribui significativamente na compreensão dos processos erosivos laminares, pois associada aos outros fatores pode-se compreender que técnicas de manejo apropriadas em cada período de cultivo e pluviométrico.

A aplicação da RUSLE mensal em um município que têm lavouras temporárias como predominante na sua área de cultivo auxilia na compreensão de como processos erosivos comprometem o solo, além da melhor percepção de como as prefeituras podem planejar e gerir seus recursos para a conservação de suas estradas vicinais.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. W.; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 153-160, 2005.
- ARAGÃO, R; DE ALMEIDA, J. A. P. Mapeamento do potencial de erosão laminar na bacia do rio Japarutuba, SE, via SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 731-740, 2011.
- BARRETTO, A. G. O. P. **História e geografia da pesquisa brasileira em erosão do solo**. 2007. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

BAUDRY J. Approches écologiques des paysages. **Le Courrier de l'environnement de l'INRA**, v. 4, n. 4, p. 15-16, 1988.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes, 1973.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. São Paulo: Ícone., 2008. p. 355.

BERTRAND, G. Paisagem e geografia física global. Esboço metodológico. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 8, p. 141-152, 2004.

BOUYOUCOS, G. J. A comparison between the suction method and the centrifuge method for determining the moisture equivalent of soils. **Soil Science**, v. 40, n. 2, p. 165-172, 1935.

BRAGA, R. O espaço geográfico: um esforço de definição. **GEOUSP Espaço E Tempo (Online)**, v. 22, p. 65-72, 2007.

CAMERON, D.; JONES, I. G. John Snow, the Broad Street pump and modern epidemiology. **International journal of epidemiology**, v. 12, n. 4, p. 393-396, 1983.

CARVALHO, D. F.; DURIGON, V. L.; ANTUNES, M. A. H.; ALMEIDA, W. S.; OLIVEIRA, P. T. S. Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 3, p. 215-224, 2014.

CHAVES, H. M. L. Modelagem matemática da erosão hídrica: passado, presente e futuro. *In*. ALVAREZ V. H.; FONTES, L. E.; FONTES, M. P. F. (eds.) **O solo nos grandes domínios, morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Universidade Federal de Viçosa, p. 731-750, 1996.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, , 1980.

CHRISTOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CORRÊA, R. L.. A dimensão cultural do espaço: alguns temas. **Espaço e cultura**, n. 1, p. 1-22, 1995.

COSTA, F. R.; ROCHA, M. M. Geografia: conceitos e paradigmas-apontamentos preliminares. **Revista de Geografia, Meio Ambiente e Ensino**, v. 1, n. 2, 2011.

CUNHA, E. R. **Geoprocessamento aplicado a estimativa de perdas de solo da bacia hidrográfica do córrego Indaiá-MS**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2015.

CUNHA, E. R.; BACANI, V. M.; PANACHUKI, E. Modeling soil erosion using RUSLE and GIS in a watershed occupied by rural settlement in the Brazilian Cerrado. **Natural Hazards**, v. 85, n. 2, p. 851-868, 2017.

CUNHA, L.; MENDES, J. M.; TAVARES, AL.; FREIRIA, S. Construção de modelos de avaliação de vulnerabilidade social a riscos naturais e tecnológicos: o desafio das escalas. *In*.

SANTOS, N; CUNHA, L. (eds.) **Trunfos de uma Geografia Activa: desenvolvimento local, ambiente, ordenamento e tecnologia**. Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra, p. 627-637, 2011.

DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JUNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, n. 3, p. 265-272, 1986.

DURIGON, V. L.; CARVALHO, D. F.; ANTUNES, M. A. H.; OLIVEIRA, P. T. S.; FERNANDES, M. M. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. **International Journal of Remote Sensing**, v. 35, n. 2, p. 441-453, 2014.

FERNANDEZ, H. M.; MARTINS, F. M. G.; ISIDORO, J. M. G. P.; ZAVALA, L.; JORDÁN, A. Soil erosion, Serra de Grândola (Portugal). **Journal of Maps**, p. 1-5, 2016.

GANASRI, B. P.; RAMESH, H. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. **Geoscience Frontiers**, v. 7, n. 6, p. 953-961, 2016.

GOMES, P. C. **Geografia e modernidade**. 5. ed. Rio de Janeiro, Bertrand. 2005.

GONÇALVES, C. W. P. A geografia está em crise. Viva a geografia! **Boletim Paulista de Geografia**, n. 55, p. 5-30, 1978.

HAYAKAWA, E. H.; BACANI, V. M.; BREUNIG, F. M.; SILVA, A., TRENTIN, R.; PEREIRA FILHO, W. Sensoriamento Remoto Aplicado aos estudos Geográficos: Considerações a partir dos Trabalhos Submetidos ao XI ENANPEGE. **Revista da ANPEGE**, v. 12, n. 18, p. 77-96, 2016.

IBGE, IBGE. Cidades@. **Available from: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm>**, v. 1, 2010.

KÄMPF, N.; CURI, N. Formação e evolução do solo (Pedogênese). In. KER, J. C.; SHAEFER, C. E. G. R.; VIDAL-TORRADO, P. V. (eds.) **Pedologia: fundamentos**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 207-302, 2012.

KNIJFF, J. M.; JONES, R. J. A.; MONTANARELLA L. **Soil erosion risk assessment in Italy**. Brussels: European Commission, 1999. 58p.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro, José Olympio Ed./ Secr. Cult. Esp. Est. Paraná, 1968.

MENDONÇA, F. Geografia socioambiental. **Terra Livre**, v. 1, n. 16, p. 139-158, 2001.

MEYER, L. D. Rainfall simulators for soil erosion research. In. LAL, R. (ed.) **Soil erosion research methods**. Routledge, p. 83-104, 2017.

MONTEIRO, C. A. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MORAES, A. C. R. **Geografia: pequena história crítica**. São Paulo: Annablume, 2003.

NUNES, J. O. R.; SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G.; AMORIM, M. C. C. T.;

PERUSI, M. C. A influência dos métodos científicos na Geografia Física. **Terra Livre**, v. 2, n. 27, p. 121-132, 2006.

PASSOS, M. M. Por um estudo da evolução da vegetação: da pirâmide ao NDVI. **Geosul**, v. 15, n. 30, p. 90-110, 2000.

PINTO, S. A. F.; GARCIA, G. J. Experiências de aplicação de geotecnologias e modelos na análise de bacias hidrográficas. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 30-37, 2005.

POLYAKOV, V. O.; NEARING, M. A.; STONE, J. J. Soil loss from small rangeland plots under simulated rainfall and run-on conditions. **Geoderma**, v. 361, p. 114070, 2020.

QUEIROZ NETO, J. P. O estudo de formações superficiais no Brasil. **Revista do Instituto Geológico**, v. 22, n. 1-2, p. 65-78, 2001.

REIS JÚNIOR, D. F. C. **O humano pelo viés quantitativo**: um exame do (neo) positivismo em Speridião Faissol, através da leitura de textos selecionados. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro (SP), 2003.

RENARD, K. G.; FOSTER, G.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). **Agricultural Handbook** No 703. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1997.

ROSS, J. L. S. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia** v. 8, p. 63-74, 1994.

RUELLAN, A. Contribuição das pesquisas em zona tropical ao desenvolvimento da ciência do solo. In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 21, 1988, Campinas. **Anais** [...] A responsabilidade social da ciência do solo. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1988, p. 405-414.

SANTOS, M. **Por uma Geografia Nova**. São Paulo: Hucitec, 1978.

SANTOS, M. O espaço geográfico como categoria filosófica. **Terra Livre**, n. 5, 1988.

SANTOS, M. **A natureza do espaço**. São Paulo: Hucitec, 1996.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço**. Técnica e Tempo. Razão e Emoção. 2. ed. São Paulo: Editora Hucitec, 1997.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T.; SILVA, J. M. F.; ROSS, J. L. S. Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de geomorfologia**, v. 7, n. 2, 2006.

SANTOS, M. A. N.; BERTOL, I.; KAUFMANN, D. S.; JUNIOR, J. M.; BAGIO, B. Rusle parameters for modeling the loss of a soil subjected to pig slurry application. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 53, n. 10, p. 1167-1176, 2018.

SHARPLEY, A. N.; WILLIAMS, J. R. EPIC-erosion/productivity impact calculator: 1. **Model documentation**, 1990.

SHIH, H. M; YANG, C. T. Estimating overland flow erosion capacity using unit stream power. **International Journal of Sediment Research**, v. 24, p. 46–62, 2009.

SILVA, M. L. N.; CURI, N; OLIVEIRA, M. S.; FERREIRA, M. M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre Métodos Direto e Indiretos para Determinação da erodibilidade em Latossolos sob Cerrado. **Área de Informação da Sede-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, p. 1751-1761, 1994.

SORRE, M. **Recontres de la géographie et de la sociologie**. Paris: Librairie Marcel Rivière et Cie., 1968.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N.V.L. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. v.13 n.3 p.267-278. 2012.

STIPP, N. A. F. **Macrozoneamento ambiental da bacia hidrográfica do Rio Tibagi, PR**. Editora UEL, 2000.

SUERTEGARAY, D. M. A. Espaço geográfico uno e múltiplo. **Scripta Nova**, v. 93, p. 741-798, 2001.

SUERTEGARAY, D. M. A. Geografia e interdisciplinaridade. Espaço geográfico: interface natureza e sociedade. **Geosul**, v. 18, n. 35, p. 43-54, 2003.

TAILLEFER, F. Le premier colloque interdisciplinaire sur la « science du paysage » et ses applications. Rapport de synthèse. In. **Revue géographique des Pyrénées et du Sud-Ouest**, Toulouse, t. 43, f. 2, 1972. Actes du premier colloque sur la science du paysage. pp. 135-141.

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

VEYRET, Y. **Géo-environnement**. Paris: Sedes, 1999.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 39, n. 2, p. 285-291, 1958.

WISCHMEIER, W. H, SMITH, D. D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation. **Agricultural Handbook** No. 537. Planning, Science and Education Administration. United States Department of Agriculture, Washington, DC, 1978.

YAMAMOTO, J. K.; LANDIM, P. M. B. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. Oficina de textos, 2013.