

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**CLEITON MESSIAS RODRIGUES ABRÃO**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO  
ANTÔNIO, MATO GROSSO DO SUL, BRASIL**

**Dourados-MS  
2021**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS  
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**CLEITON MESSIAS RODRIGUES ABRÃO**

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO  
ANTÔNIO, MATO GROSSO DO SUL, BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação –  
Doutorado em Geografia, da Faculdade de Ciências  
Humanas, da Universidade Federal da Grande  
Dourados como requisito para a obtenção do título  
de Doutor em Geografia.

Orientador: Prof. Dr. André Geraldo Berezuk  
Co-orientador: Prof. Dr. Adelsom Soares Filho

**Dourados-MS  
2021**

## Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

A159z Abrão, Cleiton Messias Rodrigues  
Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Mato Grosso do Sul, Brasil [recurso eletrônico] / Cleiton Messias Rodrigues Abrao. -- 2021.  
Arquivo em formato pdf.

Orientador: André Geraldo Berezuk .  
Coorientador: Adelsom Soares Filho.  
Tese (Doutorado em Geografia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2021.  
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

Bacia Hidrográfica. 2. Uso da terra. 3. EUPS. 4. Geoprocessamento. 5. Zoneamento Ambiental. I. Berezuk, André Geraldo. II. Soares Filho, Adelsom . III. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**ZONEAMENTO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO  
ANTÔNIO, MATO GROSSO DO SUL, BRASIL**

Banca Examinadora

---

Prof. Dr. André Geraldo Berezuk  
(Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal da Grande  
Dourados/UFGD).  
Presidente e Orientador

---

Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva  
(Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal da Grande  
Dourados/UFGD).

---

Prof. Dr. Emerson Figueiredo Leite  
(Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal do Mato  
Grosso do Sul UFMS/CPAq).

---

Prof. Dr. Vitor Matheus Bacani  
(Programa de Pós-Graduação em Geografia - Universidade Federal do Mato  
Grosso do Sul UFMS/CPTL).

---

Prof. Dr. Paulo Roberto Fitz  
(Diretor da TotalBooks Brasil).

**Dourados-MS  
2021**

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho a minha mãe, Ramona Elza,  
que me deu a vida e amar todas as coisas boas da vida.*

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela força que me deu para chegar até aqui em momentos tão difíceis que estamos vivendo.

Agradeço a minha mãe, Ramona Elza, pela vida, pelo incentivo nos estudos, pela confiança e pelo companheirismo.

Agradeço ao meu orientador, prof. Dr. André Berezuk, por ter me aceitado no doutorado, confiado no meu projeto e na minha capacidade em realizar essa pesquisa e também por compartilhar seus conhecimentos nos momentos de orientação.

Agradeço ao meu co-orientador e amigo, prof Dr. Adelson Sores, por sua colaboração com os trabalhos de campo, nas análises de laboratório e nas orientações com os mapas. Agradeço também por compartilhar seus conhecimentos nesse período, sempre me lembrarei dos seus conselhos.

Agradeço as professoras Dra. Carla Carducci e Dra. Elaine Reis Pinheiro da Faculdade de Ciências Agrárias (UFGD/FCA) pelo apoio com as análises laboratoriais das amostras, considerando que esta foi uma das etapas fundamentais na construção dos resultados. Agradeço também por compartilharem seus conhecimentos sobre os solos, tenho a certeza que os levarei comigo para sempre.

Agradeço aos professores Dr. Marcos Boin e Dr. Eduardo Salinas pelo aprendizado nas suas respectivas disciplinas e por compartilharem inúmeras publicações de livros, artigos e manuais técnicos que foram de grande valia.

Agradeço aos professores Dr. Charlei Aparecido e Vitor Bacani pelas contribuições na banca de qualificação e aos professores Dr. Paulo Roberto Fitz e Dr. Emerson Figueiredo Leite por aceitarem participar na banca de defesa.

Agradeço a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de estudos.

Agradeço ao meu amigo de gabinete, Gilberto Assis (engenheiro) a quem sou grato com ajuda pela preciosa colaboração nos trabalhos de campo e nos momentos de descontração ao longo do curso.

Agradeço a todos os meus colegas e amigos de turma, em especial ao Cristiano, João Batista, Lucas e Claudia. Agradeço aos amigos de pós-

graduação, Rafael, Alex, José Vitor, Cleiton Jesus, Gesliane, Lorrane e Renata. Guardarei na memória os momentos que passamos juntos, os churras lá em casa. E claro, as histórias do Fábio (Fabinho).

Agradeço aos meus professores, pelos conhecimentos compartilhados nas aulas da pós, me fizeram amar ainda mais a geografia.

Por fim, agradeço a vida!!

## RESUMO

ABRÃO, C. M. R. **Zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, Mato Grosso do Sul, Brasil.** 2021. 171p. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências Humanas, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2021.

Esta tese tem por objetivo elaborar uma proposta de zoneamento ambiental para Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio a partir da estimativa de perda de solo, capacidade de uso da terra e Áreas de Preservação Permanente (APP). A organização desse trabalho se deu em formato de artigos, contendo uma introdução, área de estudo, procedimentos metodológicos, resultados e discussão e considerações finais. Cada capítulo ficou responsável por apresentar uma temática ou objetivo específico. No primeiro capítulo, foi escrito um de referencial teórico sobre os principais conceitos e temáticas abordadas no decorrer da tese. O segundo capítulo, apresenta um diagnóstico físico ambiental, como os aspectos físicos e os tipos de uso da terra e cobertura vegetal. Os resultados desse capítulo demonstram que há um predomínio das atividades agropecuárias nesta bacia, especialmente pastagem e agricultura. O terceiro capítulo apresenta os resultados obtidos com aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS). As características físicas, tanto dos solos quanto das formas de relevo influenciaram nas altas taxas de perda natural de solo. Quando são acrescentados os tipos de uso da terra, as maiores perdas ocorreram em áreas que são ocupadas pela pastagem e agricultura, em especial situadas no médio curso. No quarto capítulo são expostos e discutidos os níveis de capacidade de uso da terra, levando em consideração a declividade, os tipos de solos e uso da terra e cobertura vegetal. Os resultados demonstram que existem lugares propícios para ocupação agropecuária, onde o relevo é favorável e solos bem desenvolvidos, com menos riscos de erosão. No entanto, verifica-se um avanço das áreas agrícolas em direção ao médio curso dessa bacia que apresentam altas restrições à ocupação, devido à presença de solos mais frágeis, como neossolos litólico e regolítico, que ainda estão em processo de desenvolvimento. Ressalta-se também a criação de uma classe de uso especial para os neossolos quartzarênicos que apresentaram alta fragilidade e que deve ser manejado com cautela, recomendado apenas para preservação ou conservação da vegetação. Por fim, no quinto capítulo, são apresentados os resultados da integração das variáveis entre o mapa de perda de solos, capacidade de uso e Áreas de Preservação Permanente (APP), que culminou no produto final dessa tese, o zoneamento ambiental da área de estudo. Os resultados demonstram que grande parte da bacia é favorável à ocupação, devido as suas características com relevo plano a suave e com solos desenvolvidos, como os latossolos vermelhos. Na zona de alta restrição ao uso, é recomendado apenas a manutenção da cobertura vegetal para proteção dos topos de morro e morrotes contra o surgimento de processos erosivos. Em trabalho de campo, foi possível observar que algumas dessas áreas estão sendo pressionadas para o uso agrícola. A situação é preocupante, pois nesses locais à presença de grandes processos erosivos ocasionados pela ausência de medidas para prevenção a esses fenômenos, bem como a conversão das áreas de pastagem para agricultura em locais inapropriados ao uso agrícola e altas taxas de perda de solo por erosão. Também é necessária a recuperação das APPs que não estão de acordo com a legislação florestal. Deve-se ter mais atenção, em especial às nascentes e córregos que apresentaram maior perda de vegetação aluvial.

**Palavras Chaves:** Bacia Hidrográfica. Uso da terra. EUPS. Geoprocessamento. Zoneamento Ambiental.

## ABSTRACT

ABRÃO, C. M. R. **Environmental Zoning of the Santo Antônio river basin, Mato Grosso do Sul, Brazil**. 2021. 171p. Thesis (Doctorate in Geography) – Faculty of Human Sciences, Federal University of Grande Dourados, Dourados, 2021.

This thesis aims to elaborate an environmental zoning proposal for the Santo Antônio River Hydrographic Basin from the estimate of soil loss, land use capacity and Permanent preservation Area (PPA). This work was organized in the form of articles, containing an introduction, area of study, methodological procedures, results and discussion and final considerations. Each chapter was responsible for presenting a specific theme or objective. In the first chapter, a theoretical referential on the main concepts and themes addressed during the thesis was written. The second chapter presents a physical environmental diagnosis, such as physical aspects and types of land use and vegetation cover. The results of this chapter demonstrate that there is a predominance of agricultural activities in this basin, especially pasture and agriculture. The third chapter presents the results obtained with the application of the Universal Soil Loss Equation (USLE). The physical characteristics of both the soils and the relief forms influenced the high rates of natural soil loss. When the types of land use are added, the greatest losses occurred in areas that are occupied by pasture and agriculture, especially located in the middle course. In the fourth chapter, the levels of land use capacity are exposed and discussed, taking into account the slope, the types of soils and land use and vegetation cover. The results show that there are suitable places for agricultural occupation, where the relief is favorable and well-developed soils, with less risk of erosion. However, there is an advance of agricultural areas towards the middle course of this basin, which have high occupation restrictions, due to the presence of more fragile soils, such as lithic and regolithic neosoils, which are still in the process of development. It is also important to highlight the creation of a class of special use for quartzrenic neosols that presented high fragility and that should be handled with caution, recommended only for preservation or conservation of vegetation. Finally, in the fifth chapter, the results of the integration of the variables between the map of soil loss, capacity for use and Permanent Preservation Areas (PPA) are presented, which culminated in the final product of this thesis, the environmental zoning of the study area. The results show that a large part of the basin is favorable for occupation, due to its characteristics with flat to smooth relief and developed soils, such as red oxisols. In the highly restricted zone of use, only the maintenance of vegetation cover is recommended to protect the tops of hills and small hill against the emergence of erosive processes. In field work, it was possible to observe that some of these areas are being pressured for agricultural use. The situation is worrying, because in these places the presence of large erosion processes caused by the absence of measures to prevent these phenomena, as well as the conversion of pasture areas for agriculture in inappropriate places for agricultural use and high rates of soil loss by erosion. It is also necessary to recover PPA that do not comply with forestry legislation. More attention should be paid, especially to springs and streams that showed greater loss of alluvial vegetation.

**Keywords:** Hydrographic Basin. Land Use. USLE. Geoprocessing. Environmental Zoning.

## RESUMEN

ABRÃO, C. M. R. **Zonificación ambiental de la cuenca del río Santo Antônio, Mato Grosso do Sul, Brasil**. 2021. 171p. Tesis (Doctorado en Geografía) - Facultad de Ciencias Humanas, Universidad Federal de Grande Dourados, Dourados, 2021.

Esta tesis tiene como objetivo elaborar una propuesta de zonificación ambiental para la Cuenca Hidrográfica del Río Santo Antônio a partir de la estimación de pérdida de suelo, capacidad de uso del suelo y Áreas de Preservación Permanente (APP). Este trabajo se organizó en forma de artículos, conteniendo una introducción, área de estudio, procedimientos metodológicos, resultados y discusión y consideraciones finales. Cada capítulo se encargó de presentar un tema u objetivo específico. En el primer capítulo se redactó un marco teórico sobre los principales conceptos y temas abordados durante la tesis. El segundo capítulo presenta un diagnóstico ambiental físico, como aspectos físicos y tipos de uso del suelo y cobertura vegetal. Los resultados de este capítulo demuestran que existe un predominio de las actividades agrícolas en esta cuenca, especialmente el pastoreo y la agricultura. El tercer capítulo presenta los resultados obtenidos con la aplicación de la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (EUPS). Las características físicas tanto de los suelos como de las formas de relieve influyeron en las altas tasas de pérdida natural de suelos. Cuando se suman los tipos de uso del suelo, las mayores pérdidas ocurrieron en áreas que son ocupadas por pastos y agricultura, especialmente ubicadas en el curso medio. En el cuarto capítulo, se exponen y discuten los niveles de capacidad de uso del suelo, teniendo en cuenta la pendiente, los tipos de suelos y el uso del suelo y la cobertura vegetal. Los resultados muestran que existen lugares aptos para la ocupación agrícola, donde el relieve es favorable y suelos bien desarrollados, con menor riesgo de erosión. Sin embargo, se observa un avance de las áreas agrícolas hacia el curso medio de esta cuenca, las cuales tienen altas restricciones de ocupación, debido a la presencia de suelos más frágiles, como los neosuelos litolíticos y regolíticos, que aún se encuentran en proceso de desarrollo. También es importante resaltar la creación de una clase de uso especial para los neo-suelos cuarzénicos que presentaban alta fragilidad y que deben manejarse con precaución, recomendada solo para la preservación o conservación de la vegetación. Finalmente, en el quinto capítulo se presentan los resultados de la integración de las variables entre el mapa de pérdida de suelo, capacidad de uso y Áreas de Preservación Permanente (APP), que culminó en el producto final de esta tesis, la zonificación ambiental del área de estudio. Los resultados muestran que gran parte de la cuenca es favorable para la ocupación, por sus características con relieve llano a liso y suelos desarrollados, como los oxisoles rojos. En la zona de uso altamente restringido, solo se recomienda el mantenimiento de la cubierta vegetal para proteger las cimas de colinas y colinas contra la aparición de erosión. En el trabajo de campo se pudo observar que algunas de estas áreas están siendo presionadas para uso agrícola. La situación es preocupante, pues en estos lugares la presencia de grandes procesos de erosión provocados por la ausencia de medidas para prevenir estos fenómenos, así como la conversión de áreas de pastoreo para la agricultura en lugares inapropiados para uso agrícola y altas tasas de pérdida de suelo por erosión. . También es necesario recuperar APP que no cumplan con la legislación forestal. Se debe prestar más atención, especialmente a los manantiales y arroyos que mostraron mayor pérdida de vegetación aluvial.

**Palabras Clave:** Cuenca Hidrográfica. Uso del suelo. EUPS. Geoprocesamiento. Zonificación Ambiental.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio...	51
<b>Figura 2.</b> Mapa Geológico da BHSA.....	57
<b>Figura 3.</b> Afloramentos rochosos. ....	59
<b>Figura 4.</b> Mapa de Unidades Geomorfológicas da BHSA. ....	60
<b>Figura 5.</b> Unidades geomorfológicas .....	61
<b>Figura 6.</b> Unidades geomorfológicas da BHSA.....	62
<b>Figura 7.</b> Área com predomínio de morros .....	62
<b>Figura 8.</b> Mapa de solos para BHSA. ....	64
<b>Figura 9.</b> Solos hidromórficos.....	65
<b>Figura 10.</b> Solos em processo de formação .....	66
<b>Figura 11.</b> Solos com horizontes bem desenvolvidos .....	67
<b>Figura 12.</b> Cambissolo e seus horizontes.....	68
<b>Figura 13.</b> Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal para BHSA .....	70
<b>Figura 14.</b> Vegetação típica da BHSA .....	71
<b>Figura 15.</b> Vegetação de cerrado na BHSA.....	71
<b>Figura 16.</b> Tipos de Uso da terra. ....	72
<b>Figura 17.</b> Áreas alagadiças na BHSA .....	73
<b>Figura 18.</b> Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio	79
<b>Figura 19.</b> Instrumentos usados para peneiramento.....	85
<b>Figura 20.</b> Pesagem e Agitação das amostras de solo.....	86
<b>Figura 21.</b> Processo de decantação e estufa .....	87
<b>Figura 22.</b> Equação utilizada para calcular as frações de areia, argila e silte para cada amostra de solo.....	88
<b>Figura 23.</b> Triângulo textural de solo para análise granulométrica.....	89
<b>Figura 24.</b> Mapa com fatores R e K para BHSA .....	94
<b>Figura 25.</b> Mapa dos Fatores L e S para BHSA.....	96
<b>Figura 26.</b> Mapa de Potencial Natural a Erosão para BHSA.....	98
<b>Figura 27.</b> Mapa do Fator C e P paraBHSA .....	100
<b>Figura 28.</b> Mapa de uso da terra e cobertura vegetal para BHSA .....	102
<b>Figura 29.</b> Mapa de perda de solos para BHSA .....	104
<b>Figura 30.</b> Locais com altas taxas de perda de solos. ....	105
<b>Figura 31.</b> Processos erosivos e técnicas de proteção do solo. ....	106

<b>Figura 32.</b> Mapa de Localização da BHSA.....	110
<b>Figura 33.</b> Mapa de Declividade para BHSA .....	116
<b>Figura 34.</b> Mapa de solos para BHSA e Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da BHSA.....	118
<b>Figura 35.</b> Mapa de capacidade de uso da terra para BHSA.....	120
<b>Figura 36.</b> Classes de capacidade de uso da terra.....	121
<b>Figura 37.</b> Locais forte declividade e pouca capacidade para uso agropecuário .....	122
<b>Figura 38.</b> Locais com restrição ao uso agropecuário. ....	123
<b>Figura 39.</b> Locais com capacidade de uso especial. ....	124
<b>Figura 40.</b> Mapa de localização da BHSA. ....	128
<b>Figura 41.</b> Fluxograma metodológico para elaboração do zoneamento ambiental para Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio .....	129
<b>Figura 42.</b> Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal para BHSA .....	138
<b>Figura 43.</b> Mapa de perda de solos e capacidade de uso para BHSA.....	141
<b>Figura 44.</b> Mapa das APPs na BRSA. ....	143
<b>Figura 45.</b> Mapa de conflito legal entre APPs e Uso da terra .....	145
<b>Figura 46.</b> Locais com ausência de vegetação aluvial.....	147
<b>Figura 47.</b> Mapa de Zoneamento Ambiental da BHSA .....	149
<b>Figura 48.</b> Classes de zoneamento .....	151

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Exatidão e avaliação do índice <i>Kappa</i> . .....	56
<b>Tabela 2.</b> Quantificação das formações geológicas. ....	59
<b>Tabela 3.</b> Quantificação das unidades geomorfológicas. ....	63
<b>Tabela 4.</b> Quantificação das classes de solo. ....	69
<b>Tabela 5.</b> Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal... 73	73
<b>Tabela 6.</b> Plano de Informação. ....	80
<b>Tabela 7.</b> Pontos para coleta de amostras de solos. ....	83
<b>Tabela 8.</b> Granulometria das classes de solo e valor do fator K. ....	89
<b>Tabela 9.</b> Valores atribuídos aos fatores C e P.....	92
<b>Tabela 10.</b> Quantificação do Potencial Natural de Erosão (PNE). ....	99
<b>Tabela 11.</b> Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal. .....	101
<b>Tabela 12.</b> Quantificação da taxa de perda de solos pela EUPS. ....	105
<b>Tabela 13.</b> Quantificação da declividade na BHSA. ....	115
<b>Tabela 14.</b> Quantificação das Classes de Solos na BHSA.....	115
<b>Tabela 15.</b> Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal. .....	117
<b>Tabela 16.</b> Quantificação das classes de capacidade de uso da terra.....	119
<b>Tabela 17.</b> Classes de APP e suas respectivas dimensões.....	134
<b>Tabela 18.</b> Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.. .....	137
<b>Tabela 19.</b> Quantificação da taxa de perda de solos pela EUPS.. ....	139
<b>Tabela 20.</b> Quantificação das classes de capacidade de uso da terra.....	140
<b>Tabela 21.</b> Quantificação das APPs na BHSA. ....	142
<b>Tabela 22.</b> Quantificação dos conflitos entre uso da terra em APPs das nascentes, rios e reservatórios.....	144
<b>Tabela 23.</b> Quantificação dos conflitos de uso da terra e cobertura vegetal na APPs de topo de morro. ....	146

**LISTA DE QUADROS**

<b>Quadro 1</b> Conjunto de principais leis que orientam o planejamento ambiental.....	21
<b>Quadro 2.</b> Chave de interpretação para as classes mapeadas .....	54
<b>Quadro 3.</b> Média mensal e média anual de chuvas. ....	82
<b>Quadro 4.</b> Critérios adotados para elaboração da capacidade de uso da BHSA. ....	112
<b>Quadro 5.</b> Critérios adotados para elaboração da capacidade de uso da BHSA.....	132
<b>Quadro 6.</b> Definição das classes do zoneamento ambiental e seus critérios para Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio – MS, Brasil. ....	135

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	16
<b>JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE</b> .....	18
<b>OBJETIVOS</b> .....	19
Objetivo Geral .....	19
Objetivos Específicos .....	19
<b>CAPÍTULO I: REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	20
1. Planejamento e zoneamento ambiental: uma busca para o ordenamento do território.....	20
2. Bacia Hidrográfica como unidade de planejamento e zoneamento ambiental .....	25
3. Estimativa de perda de solo e avaliação da capacidade de uso da terra como subsídio ao planejamento ambiental e ordenamento territorial.....	31
4. Sensoriamento Remoto.....	38
5. As geotecnologias como âncora para o planejamento ambiental e ordenamento territorial .....	43
<b>CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO FÍSICO AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO</b> .....	48
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	48
<b>2. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	50
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	52
3.1 Correção do Modelo Digital de Elevação SRTM .....	52
3.2 Mapeamento Geológico .....	52
3.3 Mapeamento Geomorfológico .....	53
3.4 Mapeamento Pedológico.....	53
3.5. Mapeamento de Uso da Terra e Cobertura Vegetal .....	54
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	56
4.1 Geologia.....	56
4.2 Geomorfologia .....	59
4.3 Pedologia .....	63
4.4. Uso da terra e Cobertura Vegetal.....	69
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	74
<b>CAPÍTULO III: ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO – MATO GROSSO DO SUL, BRASIL</b> .....	76
<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	76
<b>2. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	78
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	80
3.1 Elaboração do Fator R .....	81
3.2 Elaboração do Fator K .....	83
3.3 Elaboração do Fator LS .....	89
3.4 Elaboração do Fator CP .....	91
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	92
4.1 Fator R e K.....	92
4.2 Fator LS .....	95
4.3 Fator CP.....	99
4.4 Uso da terra e cobertura vegetal .....	101
4.5 Estimativa de perda de solo .....	103
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	107

<b>CAPÍTULO IV: CAPACIDADE DE USO DA TERRA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO, MATO GROSSO DO SUL – BRASIL .....</b>	<b>108</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>108</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>109</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>111</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>114</b>
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>124</b>
<b>CAPÍTULO V: PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO PARA O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO, BRASIL.....</b>	<b>125</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>125</b>
<b>2. ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>126</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>129</b>
3.1 Roteiro metodológico para elaboração do zoneamento ambiental .....	129
3.2 Mapa de perda de solos.....	139
3.3 Mapa de capacidade de uso da terra .....	131
3.4 Mapa de uso da terra e cobertura vegetal e pontos de erosão.....	133
3.5 Mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e Conflito Legal.....	134
3.6 Mapa de zoneamento ambiental .....	135
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>136</b>
4.1 Uso da Terra e Cobertura Vegetal .....	136
4.2 Estimativa de Perda de Solos .....	137
4.3 Capacidade de Uso da terra na BHSA .....	139
4.4 Quantificação e resultados obtidos referentes às APPs .....	140
4.5 Espacialização do zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio.....	147
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>152</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS GERAIS DA TESE .....</b>	<b>153</b>
<b>REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>155</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>168</b>

## INTRODUÇÃO GERAL

O processo de uso e ocupação dos sistemas naturais, muitas vezes é realizado de maneira desordenada, sem nenhum conhecimento das fragilidades e potencialidades, tampouco realizando-se diagnósticos sobre as características físicas e naturais (ROSS, 2009). Fato que um planejamento e ordenamento físico-territorial com diretrizes de uso e conservação das terras sanaria os inúmeros problemas encontrados e que são refletidos de forma adversa em tais sistemas

A análise e discussão sobre o uso e degradação ambiental, em especial nas bacias hidrográficas, são amplamente discutidas e debatidas em diversas esferas da sociedade, tomando esse espaço delimitado como unidade de planejamento e gestão dos recursos naturais (CARVALHO, 2014).

A preocupação com a disponibilidade e qualidade da água são os principais temas que fazem essa unidade espacial ser adotada como célula do planejamento ambiental, pois as bacias hidrográficas são uma fonte de água doce que abastece as cidades, ambientes que conservam a biodiversidade, preservam e protegem locais considerados frágeis do meio ambiente.

Diante de tais questões legais, a ideia de trabalhar com bacia hidrográfica remete-se a compreensão de que esta não é apenas uma área delimitada por divisores de água, mas um sistema ambiental complexo e integrado, com subsistemas natural, social, econômico e político integrados e que apresentam dependência mútua. Logo, são passíveis de serem entendidas sob a ótica sistêmica.

É necessário, portanto, pensar nas inter-relações existentes entre os elementos naturais, em particular o solo que é um dos principais recursos para o desenvolvimento econômico e social, pois é nele que as atividades antrópicas vão se estabelecer (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Todavia, raramente as fragilidades, limitações e intensa exploração do solo são respeitadas, e quando perde sua fertilidade é abandonado e não recuperado, levando a sua total degradação. Toda essa concepção de inter-relações deve partir de uma visão integrada da paisagem, calcada na visão geossistêmica.

Nesta perspectiva, essa tese propõe-se a analisar e minimizar os inúmeros problemas ambientais que atingem a Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio (BHSA), localizada nos municípios sul-mato-grossenses de Nioaque, Guia Lopes da Laguna, Maracajú e Ponta Porã, de forma a propor um uso racional e sustentável das terras, seguindo suas potencialidades e fragilidades.

Tem-se que considerar que o Estado de Mato Grosso do Sul vem passando por contínuos processos de uso e ocupação das terras, alterando grande parte de suas vegetações nativas (Mata Atlântica e Cerrado) e utilizando o solo além de sua real capacidade. E é sobre tais fatos que o Zoneamento Ambiental adentra à discussão, sob a possibilidade de compactuar o uso das terras e as potencialidades e/ou fragilidades de dada área.

O zoneamento enquanto fator de impacto positivo no equilíbrio entre uso e capacidade, busca articular e definir zonas com relativa homogeneidade, em que as características naturais se atrelam de modo racional com o uso atuante. Com esse instrumento torna-se possível oferecer importantes tomadas de decisões para minimizar os impactos ambientais e possibilita elaborar caminhos que oportunizam o desenvolvimento sustentável.

Dessa forma, essa tese e os seus capítulos foram organizados em formato de artigos, seguindo uma sequência lógica: a) apresentando uma breve introdução; b) procedimentos metodológicos; c) resultados e discussão; d) considerações finais em cada capítulo/artigo.

Desse modo, No capítulo I foi realizado um referencial teórico sobre os principais temas abordados nessa tese. No capítulo II estão descritas as principais características físicas da área (geologia, geomorfologia, pedologia e clima), bem como aspectos de uso da terra e cobertura vegetal. São apresentados os produtos cartográficos de base atualizados em escala de 1:100.000. No capítulo III são apresentados os resultados e discussões impostas pela Equação Universal de Perda de Solos EUPS, desde o processo de coleta e análise das amostras de solos, bem como os procedimentos técnicos utilizados para calcular cada variável desta equação. No final, os dados são espacializados com auxílio dos Sistemas de Informação Geográfica SIGs.

No capítulo IV, são apresentados os resultados para metodologia de capacidade de uso da terra desenvolvida por Bertoni e Lombardi Neto (2012) com algumas adaptações que foram julgadas importantes para atender as características da área de estudo, bem como, para que esse produto, considerado uma cartografia de síntese, seja realmente aplicável à bacia hidrográfica em questão.

Por fim, no capítulo V, são apresentados os resultados da integração das variáveis entre o mapa de perda de solos, capacidade de uso e Áreas de Preservação Permanente (APP), que culminou no produto final dessa tese, o zoneamento ambiental da área de estudo. Ao final, se desenvolveu as considerações finais deste trabalho, assim como a apresentação de todas as referências bibliográficas utilizadas em cada capítulo.

## **JUSTIFICATIVA E HIPOTESE**

A BHSA tem grande importância para os moradores do município de Guia Lopes da Laguna, Mato Grosso do Sul, devido ao seu uso para abastecimento de água, tanto situados na zona rural, como na zona urbana, pois, segundo o relatório de abastecimento público da Agência Nacional das Águas (2015), 100% do abastecimento de água da cidade de Guia Lopes da Laguna é realizado por meio deste manancial, sendo a principal fonte deste recurso para essa cidade. Assim, a sociedade deve ser conscientizada dos problemas que ocorrem de uma maneira geral na bacia, e buscar uma forma mais adequada de uso que esteja de acordo com as condições geomorfológicas dessa área, além de buscar recuperar ou mitigar os impactos ambientais já existentes.

Esta pesquisa tem, por pressuposto inicial que as mudanças ocorridas na paisagem pelo uso das terras vêm, de maneira intensiva, causando impactos ambientais negativos sobre os recursos naturais da BHSA, potencializando a ocorrência de processos erosivos (ravinas e voçorocas) associadas à susceptibilidade erosiva dos solos. Além disso, é notória a busca pelo aumento da produção agrícola em novas áreas desta bacia, cuja ocupação se mostra desordenada e, conseqüentemente, amplia-se os danos já existentes.

Fato que reflete em alterações em todo o sistema (bacia hidrográfica), que, a partir da remoção da cobertura vegetal para cultivos agrícolas, diminui a proteção do solo, o que potencializa as taxas de erosão e perda da fertilidade do solo. Devido às constantes mudanças na paisagem pela ação antrópica, é necessário sempre estar monitorando periodicamente o avanço das atividades econômicas sobre as áreas naturais e propondo soluções e indicações para a melhor forma de usar os recursos naturais e mitigar os danos.

Somado a isso, há um déficit grande em relação aos estudos que abordam a Bacia Hidrográfica o do rio Santo Antônio, aqueles que existem, exibem documentos técnicos de maior abrangência espacial (maior escala de análise), contemplando informações a respeito da bacia hidrográfica do rio Miranda, na qual o rio Santo Antônio pertence, tendo apresentam informações generalizadas, pouco específicas e detalhadas sobre as sub-bacias.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo Geral**

Elaborar uma proposta de zoneamento ambiental para Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio a partir da estimativa de perda de solo, capacidade de uso da terra e APPs.

### **Objetivos Específicos**

- Representar os componentes físicos para formação de banco de dados, permitindo a correlação e análise geográfica;
- Identificar os graus de vulnerabilidade que causa a perda de solos na área de estudo, com aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS);
- Avalizar a capacidade de uso da terra para BHSA;
- Correlacionar os dados sobre perda de solos, com área de processos erosivos e capacidade de uso da terra como subsídio ao planejamento ambiental da bacia;
- Propor tipos de uso da terra adequados quanto à respectiva vulnerabilidade a perda de solos;
- Oferecer subsídios para ordenamento territorial das atividades econômicas da área de estudo.

## CAPÍTULO I: REFERÊNCIAL TEÓRICO

### **1. Planejamento e zoneamento ambiental: uma busca para o ordenamento do território**

A ideia de organização do espaço vem sendo observada desde a antiguidade, através da importância de como as sociedades alteravam as paisagens naturais, levando em consideração a presença e exploração de recursos para sobrevivência (SANTOS, 2004). Segundo Silva e Santos (2011), o planejamento é uma atividade contínua que busca as melhores soluções para os problemas da humanidade, na atualidade e futuramente, com enfoque sistêmico das interações da Sociedade com a paisagem natural, compreendendo as modificações do meio natural quando este é impactado pela ação humana, partindo de uma análise holística da realidade. O termo ambiente, usado como adjetivo refere-se às temáticas humanas, físicas e bióticas no que diz respeito ao planejamento ambiental, que pode até ser confundido como planejamento territorial (SANTOS, 2004).

O planejamento físico territorial surgiu no Reino Unido no início do século XX, desenvolvido por arquitetos e agrimensores que definiam os tipos de uso das terras para agricultura, indústria, comércio, etc. (SILVA; SANTOS, 2011). A União Soviética também foi um dos primeiros países a realizar ações voltadas para o planejamento econômico e exploração dos recursos naturais do território, com o modelo de desenvolvimento socialista centralizado (SILVA; SANTOS, 2011). Além disso, foi neste mesmo país que foi formulada a teoria da análise sistêmica da paisagem (Geossistema). Segundo Rodriguez; Silva e Leal (2012), os geógrafos soviéticos tiveram papel importante para elaboração de projetos de avaliação de áreas naturais para identificação das potencialidades de uso e sua distribuição pelo território.

Nos Estados Unidos o planejamento, antes da década de 1950, possuía uma estreita ligação com o desenvolvimento social, geração de renda e análise custo benefício, do que para com questões ambientais, no qual esta era visto como um segmento das ciências da natureza (SANTOS, 2004). Entretanto, com o aumento dos impactos ambientais e da poluição de recursos hídricos, o governo americano passou a exigir Estudos de Impacto Ambiental (EIA) para emissão de licenças e autorização do funcionamento de uma determinada

atividade que pode gerar algum impacto. Segundo Westman (1985), as modificações sobre os ambientes naturais também afetam os meios sociais, sendo que uma avaliação conjunta dos aspectos envolvidos revelarão totalmente os efeitos sobre os ecossistemas.

Com o surgimento dos movimentos ecológicos pelo mundo e com a popularização das teorias sistêmicas (Geossistema, Geoecologia e Ecodinâmica/Ecogeografia), a natureza passou a ser vista de maneira dinâmica e integrada. Foi a partir disso que o planejamento ambiental passou a integrar as forças ambientais, econômicas e sociais, não apenas voltado às recomendações dos tipos de uso da terra (SANTOS; SILVA, 2011).

A geografia física passou a incorporar esses métodos sistêmicos, bem como o entendimento dos processos sociais e suas relações com a natureza em seus estudos (MENDONÇA, 2014). Segundo Ross (2009), as pesquisas geográficas ligadas a questões ambientais surgiram a partir da década de 1970, com destaque para os mapeamentos geomorfológicos e de impactos ambientais que subsidiaram o planejamento e gestão do território com bases técnicas-científicas, bem com as intervenções antrópicas na paisagem a partir dos tipos de uso da terra. Nesse contexto, também se destacaram os avanços na área de informática e Sistemas de Informações Geográficas (SIG's), que ampliaram a produção de mapas digitais em menos tempo e mais baratos (CAMARA; DAVIS, 2001)

O planejamento ambiental, segundo Santos (2004), surgiu nas últimas décadas devido à disputa pelos recursos naturais e a necessidade de organizar o uso da terra, proteção de ambientes ameaçados e melhorar a qualidade de vida das pessoas. O planejamento exige ações do estado em gestão e controle, com maneiras de intervir na sociedade ao criar regras de uso dos recursos, bem como melhores tipos de uso da terra, sendo uma ferramenta do estado para organizar, integrar, gerir e controlar (TROMBETA; LEAL, 2016; BELEM, 2012). No quadro 1, a seguir, é apresentado algumas das principais leis e decretos criadas no Brasil sobre meio ambiente.

**Quadro 1.** Conjunto de principais leis que orientam o planejamento ambiental no Brasil.

<b>Tipo Norma</b>	<b>Data</b>	<b>Assunto</b>
Decreto nº 24.643	10.07.1943	Código das Águas.
Lei nº 4.771	15.09.1965	Código Florestal (revogado).
Lei nº 5.197	03.01.1967	Proteção da Fauna.

Lei nº 6.513	20.12.1977	Criação das Áreas Especiais e de Locais de interesse turístico; sobre o inventário com finalidades turísticas dos bens de valor cultural e natural.
Lei nº 6.938	31.08.1981	Política Nacional do Meio Ambiente, seus afins e mecanismos de formulações e aplicações.
Resolução CONAMA nº 001	23.01.1986	Diretrizes para avaliação de impacto ambiental.
Lei nº 7.511	07.07.1986	Altera os dispositivos da lei 4.771/65.(revogado)
Constituição Federal do Brasil, artigo 225	05.10.1988	Capítulo VI – do Meio Ambiente
Lei nº 9.433	08.01.1997	Política Nacional dos Recursos Hídricos.
Lei nº 9.605	12.03.1998	Lei de Crimes Ambientais
Lei nº 9.985	18.06.2000	Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC).
Res. CONAMA nº 302	20.03.2002	Definições e limites de Áreas de Preservação Permanentes de reservatórios artificiais (APP)
Res. CONAMA nº 303	20.03.2002	Definições e limites de Áreas de Preservação Permanentes em cursos d'água
Decreto nº 4.297	10.07.2002	Estabelece Critérios para elaboração do Zoneamento Ecológico Econômico no Brasil
Res. CONAMA nº 357	17.03.2005	Classificação dos Corpos de água.
Lei 11.284	02.03.2006	Gestão de Florestas Públicas
Res. CONAMA nº 396	07.04.2008	Classificação e enquadramento das águas subterrâneas
Lei nº 12.187	29.12.2009	Política Nacional de Mudanças Climáticas
Lei nº 12.305	02.08.2010	Política Nacional dos Resíduos Sólidos
Res. CONAMA nº 430	13.05.2011	Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes
Lei nº 12.651	25.05.2012	Novo Código Florestal

Fonte: Adaptado e atualizado de SANTOS (2004). Elaboração e Organização: Abrão (2017).

Dentro desse conjunto de leis, Santos (2004) considera que a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) foi um marco nas políticas de planejamento, pois foi à primeira vez no Brasil que surgiu uma proposta ligada a preocupação do uso e exploração dos recursos naturais, dando base jurídica para gestão do meio ambiente. Foi a partir da sua promulgação que se criaram diretrizes de avaliação de impactos, planejamento e gerenciamento ambiental,

usando como unidade de planejamento as bacias hidrográficas. Outro importante documento legal que merece destaque é o Código Florestal, que determina uso, conservação, recuperação e preservação da vegetação nativa, principalmente aquelas que desempenham algum tipo de proteção a locais de extrema fragilidade, como Áreas de Preservação Permanentes (APP) a beira dos corpos d'água.

No entanto, com a reformulação desta lei em 2012, este importante instrumento jurídico flexibilizou, no ponto de vista de alguns autores, as normas de recuperação e conservação das áreas de vegetação nativa, levando em conta aspectos que estão fora de conhecimentos técnicas de hidrografia, pedologia, geomorfologia e sim o tamanho da propriedade rural para se definir o tamanho da APP (ABRÃO; KUERTEN, 2016; GARCIA, 2012). Apesar desse retrocesso, é imprescindível a utilização do que está nessa lei e suas normas para a elaboração de um planejamento ambiental integrado, ou até mesmo com propostas mais bem desenvolvidas para execução de projetos de recuperação das áreas degradadas. Segundo Ross (2009), a base jurídica existente estabelece um zoneamento não demarcado em mapas, mas sim sobre o território, trazendo medidas restritivas de uso ou preservação.

O Zoneamento surge, portanto, como um instrumento jurídico criado pela PNMA para o planejamento ambiental e ordenamento territorial, instituído pelo decreto 4.297/2002 que criou o programa de Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE). Segundo o Artigo 2º (BRASIL, 2002), o ZEE deve ser um mecanismo legal de uso obrigatório para implantação de planos e obras das atividades públicas e privadas, estabelecendo medidas e padrões de proteção ambiental destinado a assegurar a qualidade ambiental dos recursos naturais e conservação da biodiversidade. O zoneamento ambiental é apresentado através de mapas temáticos onde estão especializadas sobre um território os espaços e as recomendações de uso, considerando todo o levantamento das potencialidades e fragilidades naturais do ambiente, bem como locais que devem ser recuperados ou preservados (ROSS, 2009).

Partindo da mesma premissa, Silva e Santos (2011) consideram boas caracterizações do meio natural, biológico e social realizada em alguns trabalhos com objetivo de apresentar um zoneamento ambiental final, porém é fraca a análise integrada dos componentes da paisagem, na qual é a base para

correlacionar às funcionalidades dos elementos uns com os outros e definir as unidades de paisagens.

Segundo Silva e Santos (2011), existem vários tipos de zoneamentos, sendo que nos últimos anos, o ZEE vem sendo a proposta do governo brasileiro para subsidiar as decisões de planejamento social, econômico e ambiental almejando o desenvolvimento sustentável. Neste contexto, a bacia hidrográfica é adotada como unidade de planejamento e ordenamento do território, com vista à preservação e conservação dos recursos hídricos integrados aos outros recursos naturais e os tipos de uso da terra (ROSS; DEL PRETTE, 1998).

Segundo Santos (2004), a adoção da bacia hidrográfica como unidade de planejamento e gerenciamento ambiental é um consenso entre os planejadores, na qual se elaboram diversos produtos com diretrizes para a proteção e conservação, no que diz respeito a qualidade da água e uso do terra. O uso da bacia hidrográfica, como unidade de planejamento ambiental e territorial, foi estabelecido pela Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH), que criou instrumentos para subsidiar a elaboração dos planos estaduais de recursos hídricos e a formação de comitês e unidades de planejamento e gerenciamento de cada bacia hidrográfica (TROMBETA; LEAL, 2016; BRASIL, 1997).

Neste contexto, de acordo com Silva e Rodriguez (2014), o planejamento ambiental deve realçar as potencialidades, capacidades e limitações das paisagens, a partir de uma análise integrada através dos diagnósticos ambientais. Ross (2009) ressalta a importância do conhecimento das potencialidades dos recursos naturais a partir do levantamento da geologia, geomorfologia, clima, tipos de solos, hidrografia que compreendem os componentes do estrato geográfico onde o homem habita. É com base nesse levantamento de dados, juntamente com os tipos de uso da terra, pode-se determinar a fragilidade ambiental das áreas (ROSS, 1994; 2012).

É necessário pensar um planejamento com a perspectiva da preservação, conservação e recuperação ambiental dos recursos naturais para seu melhor aproveitamento, com a realização de processos produtivos sustentáveis, práticas conservacionistas e, conseqüentemente, melhorias na paisagem, bem como o monitoramento das atividades proposta (SILVA;

SANTOS, 2011; SILVA; GORAYEB; RODRIGUEZ, 2010). Conforme ressalta Trombeta e Leal (2016), o desenvolvimento das atividades agropecuárias ou processo de urbanização, muitas vezes, não leva em consideração a fragilidade dos ambientes naturais no qual podem ser desencadear o surgimento dos impactos ambientais na paisagem como erosão, assoreamento dos cursos hídricos, poluição das águas, refletindo a falta de planejamento físico do território.

As trocas de energia, fluxo e matéria dos sistemas naturais são desconsideradas durante o processo de uso e ocupação pela sociedade, na qual acarreta em desequilíbrios que, além de afetar o sistema natural, também prejudica o meio social e econômico (SILVA; RODRIGUEZ, 2014). Neste sentido, é necessário conhecer a dinâmica e limitações dos sistemas naturais, em especial a das bacias hidrográficas, antes de qualquer intervenção e ocupação, bem como estabelecer diretrizes de uso racional, cumprindo as leis que restringem a ocupação de áreas protegidas e adoção de práticas conservacionistas para mitigação dos impactos ambientais (SILVA NETO, 2014).

## **2. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento e zoneamento ambiental**

Os primeiros estudos registrados na literatura científica, que apresentam a hidrografia e bacia hidrográfica como objetos de análises, foram publicados por Horton (1945) e Strahler (1952), referentes a métodos para extrair informações sobre as características morfométricas das redes de drenagem (CRISTOFFOLETTI, 1980). No final dos anos de 1960, Chorley publicou outro artigo de forte impacto, reconhecendo-a como elemento espacial da geografia, na qual abordou as bacias hidrográficas como unidade geomórfica fundamental (BOTELHO; SILVA, 2014). Porém, foi nos últimos 20 ou 30 anos que esse recorte espacial passou a ser adotado como unidade ou referencia espacial, não só por geógrafos, mas também por agrônomos que incorporaram o termo, bem como as ciências ambientais para o planejamento e gestão ambiental, no que diz respeito a conservação da qualidade da água (BOTELHO; SILVA, 2014).

Segundo Guerra (2012), a bacia hidrográfica ou bacia de drenagem trata-se de qualquer área da superfície terrestre por onde são escoadas água, sedimentos e matérias dissolvidas dos locais mais altos em direção as áreas mais baixas, drenadas por um canal que pode desembocar em outro canal, lagos ou oceano. Os limites de uma bacia hidrográfica são chamados de divisores de água, delimitados a partir da maior cota altimétrica do relevo, onde estão localizadas as nascentes por onde aflora água do lençol freático (GUERRA, 2012; NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008).

Neste contexto, a bacia hidrográfica é considerada como um sistema físico com entrada (input) de volume de água pela precipitação e saída (output) desse volume, que carrega outros materiais através do escoamento superficial que são transportados pelos canais (TUCCI, 2004). A rede fluvial ou rede de drenagem é constituída de todos os cursos d'água da bacia e seus respectivos afluentes que podem ser organizados hierarquicamente, bem como realizar análises morfométricas, como o calculo de área, de perímetro, de densidade de drenagem, de altimetria e declividade (que são extraídos de mapas), cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite e radar (CRISTOFFOLETTI, 1980).

Segundo Botelho e Silva (2014), na bacia hidrográfica é possível observar, de maneira integrada, as inter-relações entre os recursos naturais e as ações do homem sobre a paisagem e suas implicações nos sistemas hidrológico e ecológico, na qual estudos de processos erosivos, manejo e conservação do solo, água e planejamento ambiental são os mais aplicados. As apreensões em manter a qualidade da água potável para consumo foi o principal motivo em adotar as bacias hidrográficas como unidade básica de planejamento e gestão ambiental, com a proposição de elaborar-se Plano de Recursos Hídricos (PHR) (SANTOS, 2004; ROSS; DEL PRETTE, 1998).

Segundo Ross e Del Prette (1998), nas décadas de 1960 e 1970, iniciaram-se as primeiras tentativas de gerenciamento e desenvolvimento regional, adotando, como exemplo, as bacias hidrográficas do Alto Tietê e Baixada Santista como modelos de atuação, que tinham por objetivo resolver conflitos decorrentes de obras de infraestrutura (usinas hidroelétricas e represas) e abastecimento de água. Destaca-se também o uso da bacia hidrográfica como referencial para integração e desenvolvimento econômico

como, por exemplo, a do rio Paraíba do Sul nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais, estados brasileiros com área drenada por esta bacia (ROSS; DEL PRETTE, 1998). Neste cenário, as bacias hidrográficas passaram a ser adotadas como referência espacial para o manejo e adoção de práticas de aproveitamento dos recursos naturais, principalmente a água.

No entanto, a água não deve ser o único elemento referencial, pois devem ser levados em consideração os outros componentes naturais, como geologia, relevo, solo, flora e fauna e os aspectos econômicos, sociais e políticos e, assim, passar a compreender esta totalidade (TROMBETA; LEAL, 2016; ROSS; DEL PRETTE, 1998). Foi a partir da década de 1980 que os projetos de planejamento ambiental passaram a adotar a bacia hidrográfica como unidade básica onde os elementos naturais se integram, bem como o seu fácil reconhecimento espacial e caracterização (SANTOS, 2004).

As funções dos componentes ambientais passaram a ser compreendidos de maneira sistêmica, onde cada elemento influencia o outro, produzindo mudanças que podem alterar seu estado ou provocar desequilíbrios (CARVALHO, 2014). As concepções teóricas e metodológicas da Teoria Geral dos Sistemas influenciam o surgimento de outras teorias (Geossistema, Ecologia ou Geoecologia da Paisagem, Ecodinâmica), que passaram a subsidiar os trabalhos de planejamento ambiental na bacia hidrográfica, pois ela permite uma visão holística do comportamento dos elementos naturais e da ação antrópica na paisagem (TROMBETA; LEAL, 2016; CARVALHO, 2014).

Os autores Rodriguez e Silva (2016) consideram a bacia hidrográfica como um Geossistema, organizado de acordo com o escoamento hídrico com características físicas, biológicas e geográficas delimitadas onde há interação natureza e sociedade. É neste contexto que os autores propõem uma análise de bacias hidrográficas voltadas para o planejamento ambiental, e para o ordenamento do território, de acordo com as inter-relações dos elementos da paisagem natural e antrópica deixando de ser descritivo dos agentes hidroclimático. Seguindo este viés, Mateo; Silva e Leal (2011) apresentam algumas proposições para o planejamento ambiental em bacias hidrográficas:

- Espaço de interação dos sistemas ambientais (eco, geo e sociossistema);

- Espaço da interação entre os aspectos naturais, sociais, econômicos, culturais e políticos;
- Representa o espaço onde os sistemas se manifestam de forma complexa, formando sistemas espaciais, territoriais e paisagísticos, permitindo analisar as unidades geoecológicas;
- Organizador de rede de drenagem que impõe fluxos de águas e materiais, que não são completamente subordinados à hidrodinâmica, tendo sua própria organização e sua própria lógica;
- Base para o planejamento e gestão ambiental, com caráter holístico e prospectivo com apresentação de diferentes cenários a partir das necessidades e expectativas da população local;
- Portador de sustentabilidade, considerando como espaço de uso racional dos recursos naturais para atender as necessidades da população, melhorar a qualidade de vida no presente e para o futuro.

Segundo Lima (2008), em projetos de manejo de bacia hidrográfica, deve-se levar em considerações as interrelações dos elementos naturais e os impactos (reações) que podem surgir devido às alterações resultantes naturalmente (clima, precipitação) ou das atividades antrópicas (desmatamento, uso da terra) ocorridas na área da bacia. As modificações antrópicas sobre os sistemas naturais em áreas vulneráveis, dependendo dos tipos de uso e ausência de práticas conservacionistas, podem ocasionar desequilíbrios que, concomitantemente, irão refletir nos elementos naturais, como perda de solos, perda da fertilidade, assoreamento de cursos d'água, poluição dos recursos hídricos, diminuição da biodiversidade (SILVA NETO, 2013).

Esses impactos também atingem o meio social e econômico, como a disponibilidade hídrica e encarecimento da produção agrícola, aumentando o custo do tratamento da água e reposição de nutrientes do solo, partindo da relação causa-efeito (DIBIESO, 2013; TUCCI, 2004). As perdas de solo e fertilidade têm aumentado nos últimos anos, onde os proprietários tentam reagir utilizando práticas conservacionistas para mitigar os processos erosivos,

principalmente, pois estes geram prejuízos que atingem os próprios produtores rurais (TUCCI, 2004).

Sob o ponto de vista hidrológico, Lima (2008) ressalta que as alterações e os tipos de uso da terra influenciam nos processos de escoamento superficial, ou seja, aumento da erosão e da perda de solos e nutrientes, além de aumento nas taxas de infiltração, na qual há perda de água. Além disso, Tucci (2004) salienta que esses eventos provocam danos não apenas no local, pois, podendo atingir outras áreas a jusante como, por exemplo, a poluição da água por dejetos químicos, irão se dispersar pelos rios através da fluidez e mobilidade da água, provocando a contaminação de animais ou até mesmo pessoas que usam dessa água (LIMA, 2008).

Neste sentido, Tundisi (2011) revela a importância de se observar alguns indicadores para o índice de qualidade de uma bacia hidrográfica, que podem envolver a qualidade da água e a contaminação das fontes de abastecimento de água, taxa de biodiversidade com presença de vegetação nativa, animais, e conservação das áreas alagáveis, taxa de urbanização e ocupação urbana e rural. As ações humanas também influenciam nos índices de qualidade ambiental, devido aos tipos de uso da terra que produzem diversos impactos, como, por exemplo, erosão, poluição, urbanização, etc. (BOTELHO; SILVA, 2014).

No entanto, Santos (2004) expõe algumas questões sobre o uso de bacias hidrográficas, principalmente as que abrangem mais de um município, estado ou país. Os dados socioeconômicos são apresentados de acordo com essas unidades administrativas, que, na maioria das vezes não estão de acordo com os limites da bacia hidrográficas, o que dificulta a caracterização socioeconômica desta área. Neste sentido, é necessário que cada realidade socioeconômica seja minimamente detalhada para identificar os índices de ocupação humana, índices de urbanização, principais atividades econômicas (primário, secundário, terciário) que podem estar relacionados com os problemas ambientais e auxiliar nas proposições de zoneamento ambiental (TROMBETA; LEAL, 2016; DIBIESO, 2013).

Do ponto de vista legal, a bacia hidrográfica passou a ser usada como unidade básica de planejamento e gestão ambiental a partir da elaboração da Política Nacional dos Recursos Hídricos (PNRH, Lei 9.433/97). Nesta lei, esta

estipulada a gestão das águas no Brasil, instrumentos de fiscalização e regulamentação dos recursos hídricos, bem como a implementação da bacia hidrográfica ou como referência de como unidade de planejamento (CARVALHO, 2014). Esta política propôs, a cada estado, a elaboração de um Plano Estadual dos Recursos Hídricos (PERH), com objetivo de apresentar um panorama da situação em que se encontram as maiores bacias hidrográficas do país.

O estado de Mato Grosso do Sul, por exemplo, já conta com este plano, que apresenta 15 Unidades de Planejamento e Gerenciamento (UPG), onde foram delimitadas e caracterizadas em seus aspectos físico-naturais e socioeconômicos. Foi realizado um diagnóstico sobre os recursos hídricos abordando a quantidade e qualidade da água, disponibilidade hídrica atual da bacia de acordo com os vários tipos de uso da água, bem como um prognóstico futuro sobre a disponibilidade hídrica (MATO GROSSO DO SUL, 2010). Em acordo com a política nacional e estadual, em 2016 foi apresentado um Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Miranda, que dá continuidade, numa escala maior, na descrição dos cenários naturais, sociais e na quantidade e qualidade da água nas sub bacias.

Esses instrumentos jurídicos e estes planos trazem subsídios para elaboração do planejamento e gestão ambiental, bem com a definição de zonas de uso, conservação e preservação nas bacias hidrográficas. No entanto, ainda existem problemas quanto a utilização desses planos ou projetos como instrumentos de ordenamento territorial, em virtude das diferenças de escalas nos mapeamentos (CARVALHO, 2014). O decreto 4.297/2002 estipula que o zoneamento ambiental seja feito entre as escalas de 1:1.000.000 e 1:100.000, ou seja, áreas que abrangem uma escala menor que esta são incompatíveis com as normas do ZEE.

Além disso, esse decreto não considera a elaboração dos ZEEs a partir das bacias hidrográficas, na qual orienta que sua produção seja realizada em nível nacional, macrorregional, estadual/regional e local (BRASIL, 2002). Neste contexto, segundo Carvalho (2014) os ZEEs poderão sair desarticulados com os respectivos PRHs, com diferentes escalas de mapeamentos, dificultando a execução das ações e cumprimento das metas voltadas ao ordenamento territorial e ambiental.

Atualmente, existem inúmeros trabalhos publicados que tratam de zoneamento ambiental e ordenamento territorial utilizando bacias hidrográficas como unidades de planejamento e gestão ambiental. A abordagem sistêmica, junto com método a geocologia das paisagens, vêm subsidiando para construção de modelos e planejamentos ambientais voltados para bacias hidrográficas, ao analisar os elementos naturais e sociais, bem como buscar a racionalidade e a estabilidade das paisagens (TROMBETA; LEAL, 2016; SILVA; RODRIGUES, 2014).

Entre os trabalhos revisados destaca-se o de Silva Neto (2014), na qual elaborou-se uma proposta de zoneamento ambiental para bacia hidrográfica do rio Salobra, de acordo com a vulnerabilidade da paisagem a perdas de solos, na perspectiva de mitigar os efeitos da ocupação antrópica na área da bacia, principalmente em relação a supressão de APPs e presença de processos erosivos, com o uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e dados de sensoriamento remoto. Outro trabalho destacado é o de Bacani e Luchiarri (2014) na bacia do alto Coxim, com uso das mesmas técnicas, porém usando o estudo do nível de fragilidade ambiental destas, na qual resultou na elaboração de um modelo de ordenamento físico-territorial especializado em forma de mapas com indicação das áreas de acordo com o seu nível de fragilidade encontrado.

Estes trabalhos, geralmente, delimitam uma bacia hidrográfica e buscam descrever suas características físicas naturais e os tipos de uso da terra, além de identificar e analisar os impactos decorrentes das intervenções. A paisagem passa ser objeto de análise, na qual se podem observar as relações intrínsecas entre os elementos naturais. Em grande maioria das pesquisas, os processos erosivos são os mais discutidos em bacias hidrográficas, na qual indicam o estado em que se encontra todo o sistema.

### **3. Estimativa de perda de solo e avaliação da capacidade de uso da terra como subsídio ao planejamento ambiental e ordenamento territorial**

A erosão dos solos vem se tornando uma preocupação aos planejadores do meio ambiente, pois este recurso é à base de todas as atividades que o homem desenvolve sobre o espaço. Segundo Guerra e Mendonça (2014), a

erosão é um processo natural relacionado com fatores climáticos, declividade, comprimento e forma das encostas, propriedades físicas e químicas do solo, cobertura vegetal. Entretanto, a ação antrópica também influencia pelos tipos de manejos que são usados no uso ou cultivo da terra, podendo potencializar este processo.

A preocupação em manter um ambiente estável, preservando a qualidade dos recursos naturais é um desafio a ser enfrentado pela sociedade, que tende a buscar soluções para mitigar os impactos causados pela erosão. Segundo Miqueloni e Bueno (2012), os maiores danos aos solos são desencadeados pela agricultura que ainda, é praticada de modo convencional, com ausência de técnicas conservacionistas, como a utilização das curvas de nível, do plantio direto e do terraceamento, que minimizam a ação dos processos erosivos.

Segundo Guerra (2012), apesar da grande relevância dos solos para vida humana, biológica, ecossistêmica, bem como a estabilidade da paisagem, ainda é dada pouca atenção na utilização e conservação deste recurso, usado de maneira intensiva pelas pastagens ou monoculturas sem a reposição de nutrientes, tornando-os exauridos. Neste sentido, quando os solos diminuem a produtividade, afetam a ordem socioambiental de uma região, pois os produtores rurais deixam os abandonados e não os recuperaram, tornando-se degradados e sujeitos a processos erosivos (SILVA NETO, 2013).

Segundo Guerra e Mendonça (2014), os solos e as paisagens são sistemas abertos, com ganho e perda de matéria e energia, estabelecendo relações intrínsecas entre si, na qual um elemento irá influenciar o outro. Neste contexto, os atributos dos solos dependerão, então, do tipo de rocha que influenciará a geomorfologia, geomorfologia esta que será moldada pela ação do intemperismo (físico, químico e biológico) e que vai dar as características físicas e químicas a este recurso (MIQUELONI; BUENO, 2012). Entretanto, os processos erosivos irão se desenvolver com maior ou menor intensidade de acordo com as características físicas de cada paisagem: declividade e comprimento das encostas, intensidade pluviométrica, e os atributos físicos e químicos dos solos.

O tipo de erosão mais comum é a de origem hídrica, causada pela ação da chuva, apresentando três principais tipos: laminar, sulcos, ravinas e

voçorocas (LEPSCH, 2010). Há também a erosão eólica, causada pela ação do vento, mais comum em áreas de clima semiárido e desértico. A erosão laminar ocorre de maneira uniforme, com a remoção da camada superior do terreno, através do escoamento superficial que formam as enxurradas (GUERRA, 2012). A concentração da água da chuva nas irregularidades da superfície aumenta a remoção das partículas dos solos e vai ampliando até formar grandes cavidades.

A este processo já se pode chamar de formador de sulcos, que podem evoluir para outros estágios mais severos de erosão. As práticas agrícolas como semeaduras no mesmo sentido das encostas, locais por onde transitam os animais ou máquinas agrícolas e estradas rurais, tornam caminhos por onde a água escoar com mais facilidade, removendo as partículas dos solos e acelerando os processos erosivos desse tipo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), é esse tipo de erosão que os produtores rurais devem controlar, caso contrário, podem evoluir para processos mais avançados com perda de nutrientes, o que causará prejuízos. Com o alongamento desses sulcos, se originam as ravinas, localizadas na base das encostas onde a água da chuva é canalizada, que pode estar ou não conectada com a rede de drenagem (SALOMÃO, 2012).

Segundo Guerra e Mendonça (2014), o avanço desses processos erosivos pode concentrar uma rede de voçorocas na paisagem, atingindo vários quilômetros de extensão e com capacidade de atingir o lençol freático e o substrato rochoso. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), as voçorocas são as formas mais evoluídas de erosão, atingindo grande profundidade (10 e 20 metros), indicando uma destruição total de áreas agrícolas e de pastagem, dificultando o trabalho de máquinas agrícolas. Nesses casos, é necessária uma intervenção urgente para estabilização da área degradada, com medidas de controle e recuperação do solo. Há também a ocorrência de processos erosivos em áreas urbanas, devido à impermeabilização do solo por obras em geral e por construção de estradas sem pavimentação e de galerias pluviais.

Neste cenário, deve ser considerada a ação do homem sobre a paisagem, modificando seus elementos, aumentando riscos de degradação e potencializando os processos que ocorrem de maneira natural (SILVA NETO, 2013). No caso dos processos erosivos, o homem contribui ao remover a

cobertura vegetal, e ao ocupar encostas com declividade acentuada com agricultura ou pastagem sem práticas conservacionistas que aceleram as taxas de erosão, perda de fertilidade e solo, que são transportados para as áreas mais baixas do relevo, em direção aos leitos dos cursos d'água, causando assoreamento e poluição da água (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

Nesta perspectiva, torna-se interessante realizar estudos para calcular a estimativa de perdas de solos levando em conta as características físicas naturais da paisagem e uso da terra. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), o uso de equações empíricas, para avaliar as perdas de solos, em áreas usadas para cultivo, vem se tornando uma ferramenta indispensável para o planejamento conservacionista. As primeiras tentativas de estimar as perdas de solos foram propostas por pesquisadores americanos, em 1940, na região do *Corn Belt* dos Estados Unidos, através da realização de experimentos.

Foram realizados vários estudos e experimentos, bem como adaptações, pois no início dos levantamentos de perdas de solos, havia falta de informações básicas e de métodos para calcular os valores de chuva, práticas agrícolas, duração do período de desenvolvimento da cultura e outras variáveis (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). No início da década de 1950, foi apresentada a equação de perda de solos resultante da interpretação e análise dos dados básicos, superando as limitações das outras propostas, no Runoff and Soil-Loss Data Center, do Agricultural Research Service, com sede na Universidade de Purdue.

Porém em 1978, Wischmeier e Smith publicaram um modelo revisado dessa equação que incorporava novos dados disponíveis denominado de Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), e, em 1997, Renard et al. anunciaram um novo modelo, na qual manteve a estrutura da EUPS, porém modificados alguns parâmetros na metodologia, para determinar os fatores (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), foram incorporadas melhorias, dentre as quais:

- Índice de erosão de chuva;
- Método de avaliação dos efeitos de manejos de cultura e condições climáticas locais;
- Erodibilidade do solo;

- Método sobre o efeito de interpelações de certas variáveis, como nível de produtividade e manejo de culturas e resíduos.

Essas alterações possibilitaram que este método superasse as restrições climáticas e geográficas, próprias dos primeiros estudos, definindo métodos para obter as variáveis (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). De acordo com Salomão (2012), os resultados dessa equação consideram a relação do potencial erosivo da paisagem compreendido com os fatores que influenciam este processo. A equação pode ser expressa assim (WISCHMEIER; SMITH, 1978):

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

Onde:

A = Perda de solo calculada por unidade de área t/ha;

R = Fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = Fator de erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico, que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais, em um declive de 9% e comprimento de rampa de 25m, t/ha (MJ/ha.mm/ha);

L = Fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive;

S = Fator declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = Fator de uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P = Fator práticas conservacionistas: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

O fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que indica a intensidade pluviométrica da chuva em um determinado período e sua capacidade de provocar erosão (CREPANI et al., 2001). A intensidade pluviométrica, segundo Crepani et al. (2001), representa a relação entre quanto

chove e quando chove, permitindo verificar a distribuição ou concentração das chuvas ao longo do ano e sua influência na capacidade de causar erosão.

O fator K, por sua vez, expressa a erodibilidade do solo de acordo com suas propriedades físicas e químicas, principalmente textura, estrutura, permeabilidade e densidade, o que vai mostrar a sua maior ou menor resistência quando a erosão, mesmo quando a declividade, a precipitação, a cobertura vegetal e as práticas de controle de erosão são as mesmas (SALOMÃO, 2012; BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). Esse fator tem seu índice calculado pela perda de solo (A) e pelo índice de erosão da chuva (EI) (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

O comprimento de rampa e grau de declive é representado na equação de perda de solo através das variáveis L e S respectivamente. No entanto, para aplicação prática, são considerados como fator topográfico: LS. Este fator é a relação esperada entre a perda de solo por unidade de área em um declive qualquer com relação às perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 25m de comprimento com 9% de declive, bem com a velocidade do escoamento superficial (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

O fator de manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005). O uso da terra e cobertura vegetal influencia nas perdas de solo ao oferecer diferentes níveis de proteção contra os agentes erosivos, principalmente a chuva (GUERRA, 2012). No entanto, a real proteção exercida pela cobertura vegetal também depende do seu desenvolvimento, adensamento, bem como da estação do ano onde há presença de folhas que interceptam as gotas de chuva (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2005).

O fator prática conservacionista (P) é a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) (SALOMÃO, 2012). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2005), as práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, plantio direto, terraceamento e alternância de capinas. Ressalta-se que a adoção dessas práticas está

relacionada com o nível de desenvolvimento tecnológico dos agricultores nos manejos com o solo ou com a falta de assistência técnica.

Neste contexto, a EUPS passou a ser amplamente difundida para estimativas de perda de solo com uso das geotecnologias e dados de sensoriamento remoto para auxiliar na obtenção, processamento e espacialização dos dados, bem como servindo de informação para o planejamento do uso da terra (MIQUELONI; BUENO; FERRAUDO, 2012). Segundo Demarchi (2012), além desses modelos de quantificação de perda de solos, é relevante conciliá-la com o sistema de avaliação de aptidão agrícola do uso das terras, segundo sua capacidade de uso, considerando as características do meio físico e as limitações de uso.

Esse sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras foi desenvolvido por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para indicar os tipos de uso agrícola mais recomendados para as áreas, levando em conta as características físicas naturais (solo, topografia, hidrografia, vegetação) e o nível de manejo permitido (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; RAMALHO FILHO; PERREIRA, 1999). Segundo Ramalho Filho e Pereira (1999), os resultados demonstram ser um importante artifício cartográfico, para identificação e espacialização da aptidão agrícola mais recomendada para as terras, além de ser um instrumento imprescindível para a elaboração de zoneamentos econômicos ou agroecológicos, integrando uma “coerência ecológica” dos recursos naturais disponíveis, segundo sua aptidão, evitando incongruências.

Com o amplo uso das técnicas de geoprocessamento, o sensoriamento remoto, usando os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), é importante para a elaboração de produtos cartográficos com mais rapidez, menores custos e uma confiabilidade aceitável. Segundo Demarchi (2012), as geotecnologias são importantes ferramentas para a elaboração do planejamento ambiental avaliando o uso e degradação do solo, bem como predizer as perdas de solo por erosão e indicar o melhor tipo de uso para agricultura e simulação de cenários futuros numa perspectiva otimista (aderindo às recomendações de uso) ou pessimista (não aderindo às recomendações de uso).

Em trabalhos de pesquisa revisados, é muito utilizada a vulnerabilidade ou fragilidade da paisagem à perda de solos, que se utiliza de apenas variáveis

físico naturais (geologia, geomorfologia, solo, declividade, intensidade pluviométrica), diferente da EUPS que usa práticas conservacionistas e informações do manejo do solo, obtida através de técnicas de geoprocessamento (álgebra de mapas, sobreposição e reclassificação) que tem, por resultado final, um mapa de perda de solos. Em outra etapa, é realizado o cruzamento deste produto com o mapa de uso da terra e cobertura vegetal, na qual se podem verificar áreas que estão mais sujeitas a perder solos em relação ao grau de proteção contra os processos erosivos.

Por fim, é gerado um produto que pode ser a base para o zoneamento ambiental e ordenamento territorial, com a espacialização das áreas e recomendações de uso, recuperação e conservação dos recursos naturais. Neste contexto, é relevante utilizar-se dessas técnicas e metodologias para subsidiar recomendações de planejamento ambiental e a elaboração de um zoneamento ambiental, com objetivo de propor melhores caminhos para ocupação e conservação dos recursos naturais, em espacial, nas bacias hidrográficas com predomínio de atividades agropecuárias.

#### **4. Sensoriamento Remoto**

Segundo Florenzano (2008), o sensoriamento remoto é a tecnologia de adquirir dados e informações à distância sobre objetos e fenômenos da superfície terrestre (alvos), por meio de sensores que captam a energia eletromagnética emitida ou refletida. Para Jensen (2009), o sensoriamento remoto, além de uma técnica, pode ser considerado como uma arte, pois o intérprete deve ter um conhecimento visual empírico das cores, formas e objetos representados na imagem. A principal fonte de energia eletromagnética da terra é o sol, que emite ondas, na qual uma parte dela é absorvida pelos elementos da superfície terrestre e outra parte é emitida novamente para o espaço (MOREIRA, 2007).

A energia eletromagnética se propaga em ondas na velocidade da luz e o espectro eletromagnético representa a distribuição dessa radiação em diferentes regiões, segundo o comprimento de onda e frequência (FLORENZANO, 2011). Uma mesma imagem pode apresentar diferentes comprimentos de onda e frequência, nas faixas espectrais que podem ser

denominadas de canais ou bandas. Segundo Jensen (2009), os sistemas multiespectrais têm a capacidade de registrar energia refletida ou emitida do objeto, ou área de interesse, em múltiplas bandas do espectro eletromagnético, e os sistemas hiperespectrais registram, em instantes, centenas de bandas.

Os sistemas sensores são formados, basicamente, por uma parte óptica (coletor), constituída por lentes e espelhos que captam a energia eletromagnética, provinda dos alvos para os detectores (MOREIRA, 2007). Eles são classificados em não-imageadores e imageadores. Segundo Moreira (2007), os sistemas não-imageadores são utilizados para medir a radiação de forma pontal em áreas como, por exemplo, em lavouras na qual os dados são coletados por um espectrorradiômetro, com informações processadas e geradas em formato de curvas espectrais e tabelas com valores.

Os sistemas imageadores (scanners) são equipamentos que geram, como produto, uma imagem do terreno (cena) em diferentes bandas do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2007). A imagem obtida através desse sistema é uma representação matricial dos valores que correspondem à intensidade de energia refletida e emitida pelos objetos da superfície terrestres, formando o conjunto de pixel que representa o valor da intensidade de energia, numa escala de tons de cinza (FLORENZANO, 2011). Segundo Florenzano (2011), com uso de softwares especializados, são aplicadas técnicas de processamento para melhorar a qualidade visual através da combinação de cores, em composições coloridas ou em falsa-cor.

Os sistemas de sensores são acoplados em plataformas, que podem ser terrestres, instalados em boias ou em barcos; aéreos, instalados em balões ou aviões; e os orbitais, acoplados a satélites artificiais (MOREIRA, 2007). Além disso, os sensores podem ser ativos ou passivos. Segundo Florenzano (2002), os sensores ativos são aqueles que emitem pulsos de energia de origem própria que é refletida pelo alvo e capturada novamente pelo sensor. Esses sensores possuem a vantagem de operar, tanto na presença de nebulosidade, quanto de dia e à noite.

Um exemplo desse sistema sensor são os radares, como o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), lançado em 11 de fevereiro de 2000 pela Agência Espacial Norte Americana (NASA) a bordo do ônibus espacial Endeavour (JENSEN, 2009). Esse radar fornece dados que são capazes de

gerar o Modelo Digital de Elevação (MDE), de onde podem ser extraídas outras variáveis sobre a superfície terrestre: hipsometria, declividade, orientação de vertentes, etc. (FLORENZANO, 2011). Recentemente, a NASA passou a disponibilizar os dados SRTM com resolução espacial de 30m (a partir de 2016), pois antes as imagens eram fornecidas, entre as latitudes 60°N e 58°S, com resolução espacial de 90m.

Entretanto, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) do Brasil criou, em 2008, o banco de dados topográficos TOPODATA, cujo projeto foi resultado do trabalho de Valeriano (2008) que reamostrou os pixels das imagens SRTM original que recobrem todo território nacional para 30m, utilizando o método de interpolação por *Krigagem* (VALERIANO, 2008). Esses dados são disponibilizados gratuitamente e estão se estendendo para outras localidades da América Latina e África (FLORENZANO, 2011).

Outra importante fonte de dados de radar é o sensor Palsar, lançado a bordo do satélite Alos, comandado pela Agência Espacial Japonesa (JAXA). Este sensor opera na banda L, capaz de obter imagens diurnas ou noturnas em quaisquer condições atmosféricas (EMBRAPA, 2017). A resolução espacial deste sensor varia de 10 a 100m, bem como a área recoberta por imagem entre 20 a 350 km de extensão, ambos dependendo do modo de operação: Fino, ScanSar ou Polarimétrico (HH, HV, VV e VH) (FLORENZANO, 2011). Essas imagens também estão disponíveis gratuitamente na internet e são usadas para mapeamentos de precisão, elaboração de modelos digitais de elevação e suas variáveis (EMBRAPA, 2017).

De outro modo, os sensores passivos são aqueles que dependem de uma fonte externa que emita energia, como, no caso, do Sol, que emana energia para a Terra, onde esta energia é refletida novamente para o espaço e captada pelo sensor óptico. Os sensores mais conhecidos e bem sucedidos pertencem aos satélites da série Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*) que começou a operar em julho de 1972. O objetivo geral desta missão é mapear, monitorar os recursos naturais, uso da terra e cobertura vegetal e as mudanças na paisagem (FLORENZANO, 2002). Conforme os satélites da família Landsat eram lançados para o espaço, os sensores foram evoluindo desde o Multiespectrais Scanner System (MSS) para o *Thematic Mapper* (TM) até o *Enhanced Thematic Mapper Plus* (ETM+), bem como as suas características

de resolução espacial, radiométrica e temporal foram sempre melhoradas (FLORENZANO, 2011).

Atualmente, esta em operação o Landsat 8 com sensor OLI (*Operational Land Imager*) e o sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), lançado em fevereiro de 2013. O sensor OLI possui 9 bandas espectrais para coleta de dados na faixa do visível, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas, além de uma banda pancromática. O sensor TIRS possui duas bandas espectrais na faixa do infravermelho termal, com objetivo de adquirir informações climáticas da superfície terrestre (EMBRAPA, 2017). Devido a sua alta resolução temporal (mais de 40 anos), as imagens Landsat permitem realizar análises multitemporais de vários anos e identificar as principais mudanças ocorridas na superfície terrestre e seus principais efeitos (MOREIRA, 2007). As imagens também estão disponíveis, para download, no site do INPE (<http://www.inpe.br/>) que possui um catalogo tanto das imagens atuais quanto das mais antigas.

O Brasil vem desenvolvendo pesquisas na área de sensoriamento remoto, por meio do INPE, desde 1960, país começa a fazer parte do seleto grupo de países que têm pesquisa na área de sensoriamento remoto (FLORENZANO, 2011). Atualmente, em parceria com a China, o Brasil desenvolve o projeto CBERS (*China-Brasil Earth Resources Satellite*), que conta com uma série de satélites utilizados para levantamento e monitoramento dos recursos naturais, principalmente na região amazônica. Esse projeto faz parte da coleta de dados ambientais, na qual as imagens são distribuídas gratuitamente aos usuários em todo território nacional, subsidiando órgãos e pesquisadores interessados em mapear e monitorar os recursos naturais.

Nesse conjunto de dados oriundos de sensoriamento remoto, estão empresas privadas que comercializam esses produtos como, por exemplo, as imagens do satélite GeoEye que são vendidas desde 2006. Esse satélite leva a bordo dois sensores, pancromáticos e multiespectral, que alcançam respectivamente 41 centímetro (cm) a 1,6 metros de resolução espacial. Pretende-se aumentar a resolução espacial para 25 cm, que tem, como principal aplicação, mapeamentos de alta precisão em áreas urbanas (cadastros, redes, planejamento, telecomunicações) e agricultura de precisão (EMBRAPA, 2017).

Sendo assim, cada tipo de sensor presente nos satélites possuem características distintas quanto a resolução que tem de haver com a finalidade em pesquisa que estes dados terão. Existem vários tipos de resolução: espacial ou geométrica, temporal, espectral e radiométrica. A resolução espacial condiz com o campo de visada do sensor, ou seja, a capacidade que ele possui de discriminar objetos em função do seu tamanho (FLORENZANO, 2011). A resolução temporal é a quantidade de dias que o satélite leva para registrar uma nova cena da área. A resolução espectral refere-se à capacidade do sensor de diferenciar os objetos quanto à sua interação com a energia eletromagnética, por meio das bandas ou canais que ele possui (MOREIRA, 2007). A resolução radiométrica diz respeito à diferença de intensidade de energia refletida ou emitida pelos alvos (NOVO, 2010).

Segundo Moreira (2007), cada alvo da superfície terrestre interage de forma diferente com a energia eletromagnética. O monitoramento das mudanças climáticas, derretimento das calotas polares e o monitoramento dos recursos naturais, como vegetação, solo, minérios, é, sem dúvida, seu maior propósito (JENSEN, 2009). Dentre os satélites que contribuem para o monitoramento dos recursos naturais estão os da série Landsat, desenvolvidos pela Agência Espacial Norte Americana (NASA) e pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), que atualmente estão operando com sua oitava geração (EMBRAPA, 2017).

As imagens de satélite são constantemente atualizadas, devido à sua resolução temporal, uma das vantagens que beneficia o monitoramento das mudanças na paisagem. Segundo Florenzano (2011), o enfoque multitemporal das imagens permite avaliar e monitorar o avanço do desmatamento e sua progressão no decorrer dos anos. Ab' Saber (2003), cita o uso de imagens de satélite como ferramenta para identificar e monitorar o avanço das atividades agropecuárias sobre o bioma da Amazônia e os problemas causados, como desmatamento, processos erosivos, dentre outros. Neste cenário, os dados de sensoriamento remoto permitem monitorar continuamente extensas áreas da superfície terrestre, identificando as mudanças que ocorreram num determinado período de tempo e que poderão continuar progredindo, bem como seus efeitos sobre a paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009).

Segundo Jensen (2009), o sensoriamento remoto possui a vantagem de não ser intrusivo, ou seja, de não alterar as condições em que se encontra o objeto ou o fenômeno investigado. No entanto, ele não fornece todos os dados, pois isso dependerá dos objetivos da pesquisa. Os pesquisadores devem selecionar os dados que são de seu interesse e ter um entendimento de como aplicar as informações presentes nesses dados, usando técnicas computacionais que estejam de acordo com a sua manipulação (JENSEN, 2009).

## **5. As geotecnologias como âncora para o planejamento ambiental e ordenamento territorial**

As geotecnologias devem ser compreendidas como as novas tecnologias ligadas às geociências e áreas afins que auxiliam significativamente no desenvolvimento de pesquisas e ações de planejamento, em processos de gestão, manejo, dentre outros aspectos relacionados ao espaço geográfico (FITZ, 2008). Neste conjunto de tecnologias estão os produtos de sensoriamento remoto, softwares, hardwares, etc. especializados em métodos de geoprocessamento, que formam, por sua vez, os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que permitem especializar os fenômenos e dados geográficos (SILVA NETO, 2013). Segundo Câmara e Monteiro (2001), a ciência da geoinformação tem, como objetivo, o estudo e a elaboração de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico.

Segundo Câmara e Davis (2001), o geoprocessamento é uma disciplina que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Os primeiros países a utilizarem essa técnica foram os Estados Unidos e a Inglaterra, com o objetivo de diminuir custos de manutenção e confecção de mapas. Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica (SIG) surgiram no Canadá, com o propósito de realizar um levantamento dos recursos naturais do território (CÂMARA; DAVIS, 2001).

O avanço tecnológico de computadores e processadores, que estavam ficando cada vez mais velozes, proporcionou um forte crescimento no emprego das técnicas de geoprocessamento por diversos pesquisadores do mundo, além do avanço na área de sensoriamento remoto que contribuía com o

fornecimento de imagens de satélite. No Brasil, a tecnologia foi introduzida, no início dos anos de 1980, pelo Prof. Jorge Xavier da Silva, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) (CÂMARA; DAVIS, 2001).

Neste sentido, a forma de representação do espaço geográfico e seus elementos são realizados através dos mapas que, por diversas vezes, trata-se de uma ferramenta esquecida por muitos geógrafos (FITZ, 2008a). A produção dos mapas também obteve avanços significativos com a revolução das tecnologias da informática e evolução dos computadores, que impulsionou o surgimento dos SIG (FITZ, 2008b). Segundo Florenzano (2011), o SIG pode ser considerado uma ferramenta computacional (software), que permite armazenar (em forma de banco de dados), processar, integrar, analisar, calcular áreas, visualizar e representar em forma de mapas informações geoespaciais.

Esses dados geoespaciais devem estar ajustados a uma base cartográfica com um sistema de coordenadas (x,y), podendo ter diferentes tipos de informações sobre o espaço natural, social e econômico obtidos por meio de sensoriamento remoto, GPS, dados censitários, etc. (FLORENZANO, 2002). Os SIG's também armazenam informações não-espaciais denominados de alfanuméricos, registrados na tabela de atributos incluindo alguma descrição, valor e número sobre o plano de informação (PI) (CÂMARA; MONTEIRO, 2001). De maneira geral, os SIG possuem cinco componentes principais, se relacionando de maneira hierárquica (CÂMARA; DAVIS, 2001).

No primeiro nível, a interface é o conjunto de funções que serve como suporte de entrada e integração dos dados, através de comandos acionados por menus. A entrada refere-se a aquisição dos dados, tipos de dados (mapa, fotografias aéreas, cartas topográficas, imagens de satélite, tabelas) e o formato desse dado (vetorial ou matricial). A consulta e análise espacial é a manipulação desses dados que vão resultar em novas informações, que envolve todos os softwares de pré-processamento, classificação, análise e pós-processamento. E a visualização e plotagem seria a impressão final dos dados tanto em formato de mapas e em tabelas (MOREIRA, 2007).

Todo tipo de informação e produtos gerados no SIG devem estar armazenados no seu Banco de Dados Geográficos (BDG), que armazena os dados de projeção, localização (lat/log) e características alfanuméricos. O BDG

deve estar estruturado na forma de projetos e cada projeto contém os Planos de Informações (PI), camadas ou Layers (MOREIRA, 2007). Um BDG pode conter mais de um projeto e cada projeto pode ter diversas camadas que podem ser usadas em mais de um projeto, desde que esteja na mesma base cartográfica (coordenadas, projeção e datum). Os PI podem ser representados em formato matricial ou vetorial.

Segundo Fitz (2008a), a representação vetorial pode ser feita de três maneiras: linha, ponto e polígono. Essa representação tenta reproduzir um objeto ou elemento a sua forma real, desde que esteja associada a um par ou conjunto de coordenadas (CÂMARA; MONTEIRO, 2001). Por exemplo, no contexto de uma bacia hidrográfica, sua rede de drenagem é melhor representada por linhas, seu limite através de um polígono e estações pluviométricas por pontos. Nesse tipo de representação, cada elemento pode estar associado a um banco de dados alfanuméricos ou tabela de atributos, contendo informações e valores (FITZ, 2008a). Os dados em estrutura matricial ou raster é representado por um conjunto de linhas e colunas (m, n), formando o pixel da imagem que apresenta um valor numérico que indica altitude, cor ou tom de cinza atribuído a ele (FITZ, 2008a).

A partir dessas representações, são geradas as informações referentes ao espaço que podem ser categorizadas em: dados temáticos, dados cadastrais, redes, imagens de satélite e modelos numéricos do terreno. Os dados temáticos podem ser representados em formato matricial ou vetorial, descrevendo a distribuição espacial de um fenômeno de maneira qualitativa como, por exemplo, mapa de uso da terra, aptidão agrícola. As informações podem ser levantadas em campo e conciliadas com classificação de imagens de satélite, gerando o mapa temático sobre uso da terra (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Os dados cadastrais podem estar associados a várias representações gráficas, contendo informações sobre o objeto geográfico analisado. Por exemplo, um município apresenta os seguintes dados cadastrais: área, código do município, população, renda per capita, etc. Os dados em rede são armazenados em coordenadas vetoriais, com topologia arco-nó<sup>1</sup>, na qual seus

---

<sup>1</sup> Segundo Câmara e Monteiro (2001, p. 21) “a topologia arco-nó é a representação vetorial associada a uma rede linear conectada. Um nó pode ser definido como o ponto de intersecção

atributos incluem informações sobre o sentido de fluxo e os recursos que fluem entre as localizações geográficas (CÂMARA; MONTEIRO, 2001). Têm-se, como exemplo, uma rede de transporte que conecta cidades, distribuição de mercadorias e serviços.

Os Modelos Numéricos do Terreno (MNT), ou Modelo Digital de Elevação (MDT), são modelos matemáticos que reproduzem o comportamento da superfície terrestre, representados por pontos e linhas (isolinhas), com algum valor referente a altitude ou cota altimétrica (FITZ, 2008a). Os MDE representam as formações e a elevação da superfície terrestre, a partir de imagens de radar que possuem as coordenadas x,y e um atributo z que refere-se a altitude. Esses modelos podem ser representados em modelos tridimensionais por meio de interpoladores, que utilizam grade de pontos com as cotas altimétricas, usando pacote de ferramentas em um SIG (CÂMARA; MONTEIRO, 2001).

Os dados representados em imagens de satélite são extraídos a partir de técnicas de interpretação e classificação para individualizá-los, utilizando classificadores automáticos ou semiautomáticos (MOREIRA, 2007). Essas informações são expressas em mapas temáticos de uso da terra e cobertura vegetal, pedologia, geologia, geomorfologia, integrando com as representações vetoriais. Grande parte das operações e análise dos dados em SIG é realizada em formato matricial ou na sobreposição dos PI, combinando as informações existentes em formato vetorial e raster dando origem a outro produto. Segundo Fitz (2008a), na estrutura matricial, as informações processadas geram um novo arquivo de igual tamanho aos arquivos originais, e na estrutura vetorial são adicionadas mais informações, dependendo da quantidade de arquivos sobrepostos.

Os SIG's apresentam uma grande potencialidade de realizar operações de análise e gerar produtos sínteses, com a combinação de várias informações espaciais, utilizando software especializado que pode trabalhar melhor com dados matriciais ou vetoriais ou ambos os formatos (CÂMARA; MONTEIRO, 2001). Segundo Fitz (2008a), o método de reclassificação é a substituição dos

---

entre duas ou mais linhas, correspondente ao ponto inicial ou final de cada linha. Nenhuma linha poderá estar desconectada das demais para que a topologia da rede possa ficar totalmente definida.

valores das entidades geográficas de acordo com a necessidade do usuário, ou seguindo uma proposta metodológica definida. Os valores dos pixels são substituídos ou multiplicados por outros valores, que alteram o arquivo original, criando um novo arquivo reclassificado de acordo com as categorias.

Um bom exemplo do emprego dessa metodologia é a elaboração de um mapa de potencial à erosão (ROSS, 1994) que é resultado da combinação dos PI de solo, declividade, intensidade pluviométrica e uso da terra e cobertura vegetal sobrepostos e reclassificados, de acordo com os pesos definidos para suscetibilidade à erosão. Segundo Chávez e Puebla (2013), os SIG's auxiliam na elaboração de mapas de paisagens, ampliando as oportunidades de combinação entre os elementos físicos naturais, e, com a intervenção antrópica, seguindo uma metodologia de classificação das unidades de paisagem. Trata-se, então, de gerar novas informações com base em outros dados já disponíveis que tem como resultado um mapa síntese das unidades de paisagem (LANG; BLASCHKE, 2009; CREPANI et al., 2001).

Neste contexto, segundo Lang e Blaschke (2009), os métodos de processamento de informações geográficas, atualmente são imprescindíveis para subsidiar as mais diferentes etapas de planejamento, no que se refere à análise dos elementos da paisagem a partir da combinação dos dados. As informações sobre os recursos naturais devem estar teórica e metodologicamente embasadas a partir de uma análise sistêmica, onde os SIG's permitem a integração dos dados, combinados e correlações, proporcionando uma visão holística e socioambiental da interação sociedade e natureza (ROSS, 2009). Os SIG's, portanto, são ferramentas de alta capacidade de medir, avaliar e regular as intervenções antrópicas, fornecendo um diagnóstico da paisagem, prevendo os efeitos e propondo medidas mitigadoras para minimizar os prejuízos (LANG; BLASCHKE, 2009).

## CAPÍTULO II: DIAGNÓSTICO FÍSICO-AMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO

### 1. INTRODUÇÃO

Segundo Guerra (2012), a bacia hidrográfica, ou bacia de drenagem, se constitui como qualquer área da superfície terrestre por onde são escoadas água, sedimentos e matérias dissolvidas das mais altas cotas em direção as áreas mais baixas, drenadas por um canal que pode desembocar em outro canal, lago ou oceano. Portanto, os limites de uma bacia hidrográfica são chamados de divisores de água, delimitados a partir da maior cota altimétrica do relevo, onde estão localizadas as nascentes por onde aflora água do lençol freático (GUERRA, 2012; NASCIMENTO; VILLAÇA, 2008).

Neste contexto, a bacia hidrográfica é considerada como um sistema físico com entrada (*input*) de volume de água pela precipitação e saída (*output*) desse volume, que carrega outros materiais através do escoamento superficial que são transportados pelos canais (TUCCI, 2004). A rede fluvial ou rede de drenagem é constituída de todos os cursos d'água da bacia e seus respectivos afluentes, que podem ser organizados hierarquicamente, bem como podem ser passivas de análise morfométrica, com o cálculo de área, de perímetro, de densidade de drenagem, de altimetria e declividade (que são extraídos de mapas), cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélite e radar (CRISTOFFOLETTI, 1980).

Segundo Botelho e Silva (2011), na bacia hidrográfica é possível observar de maneira integrada, as inter-relações entre os recursos naturais e as ações do homem sobre a paisagem e suas implicações nos sistemas hidrológico e ecológico, na qual estudos de processos erosivos, manejo e conservação do solo, água e planejamento ambiental são os mais aplicados.

Segundo Ross e Del Prette (1998), nas décadas de 1960 e 1970, iniciaram-se as primeiras tentativas de gerenciamento e desenvolvimento regional, adotando, como exemplo, as bacias hidrográficas do Alto Tietê e Baixada Santista como modelos de atuação, que tinham por objetivo resolver conflitos decorrentes de obras de infraestrutura (usinas hidroelétricas e represas) e abastecimento de água. Destaca-se, também, o uso da bacia hidrográfica como referencial para integração e desenvolvimento econômico,

como, por exemplo, a do rio Paraíba do Sul nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais (estados brasileiros com área drenada por esta bacia) (ROSS; DEL PRETTE, 1998).

Neste cenário, as bacias hidrográficas passaram a ser adotadas como referência espacial para o manejo e adoção de práticas de aproveitamento dos recursos naturais, principalmente a água, mas ainda sem uma legislação que especifique a bacia como unidade territorial para planejamento e gestão ambiental e territorial.

Deve-se ter em conta, que a água não deve ser o único elemento referencial, pois devem ser levados em consideração os outros componentes naturais, como geologia, relevo, solo, flora e fauna e os aspectos econômicos, sociais e políticos e, assim, passar a compreender esta totalidade (TROMBETA; LEAL, 2016). Logo, a água passa a ser considerada o resultado das ações antrópicas (um dos principais indicadores ambientais em uma bacia hidrográfica), ou seja, tudo que incidir em uma bacia, em maior ou menor magnitude, vai influenciar na resposta hidrológica, tanto na qualidade como na quantidade das águas.

As funções dos componentes ambientais passaram a ser compreendidos de maneira sistêmica, onde cada elemento influencia o outro, produzindo mudanças que podem alterar seu estado ou provocar desequilíbrios (CARVALHO, 2014). As concepções teóricas e metodológicas da Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 2013) influenciam o surgimento de outras teorias (Geossistema, Ecologia ou Geoecologia da Paisagem, Ecodinâmica), que passaram a subsidiar os trabalhos de planejamento ambiental na bacia hidrográfica, pois ela permite uma visão integrada do comportamento dos elementos naturais e da ação antrópica na paisagem (TROMBETA; LEAL, 2016; CARVALHO, 2014).

Segundo Lima (2008), em projetos de manejo de bacia hidrográfica, deve-se levar em consideração as inter-relações dos elementos naturais e os impactos (reações) que podem surgir devido às alterações resultantes naturalmente (clima, precipitação) ou das atividades antrópicas (desmatamento, uso da terra). As modificações antrópicas sobre os sistemas naturais em áreas vulneráveis, dependendo dos tipos de uso e ausência de práticas conservacionistas podem ocasionar desequilíbrios que,

concomitantemente, irão refletir nos elementos naturais, como perda de solos, perda da fertilidade, assoreamento de cursos d'água, poluição dos recursos hídricos e diminuição da biodiversidade (SILVA NETO, 2013).

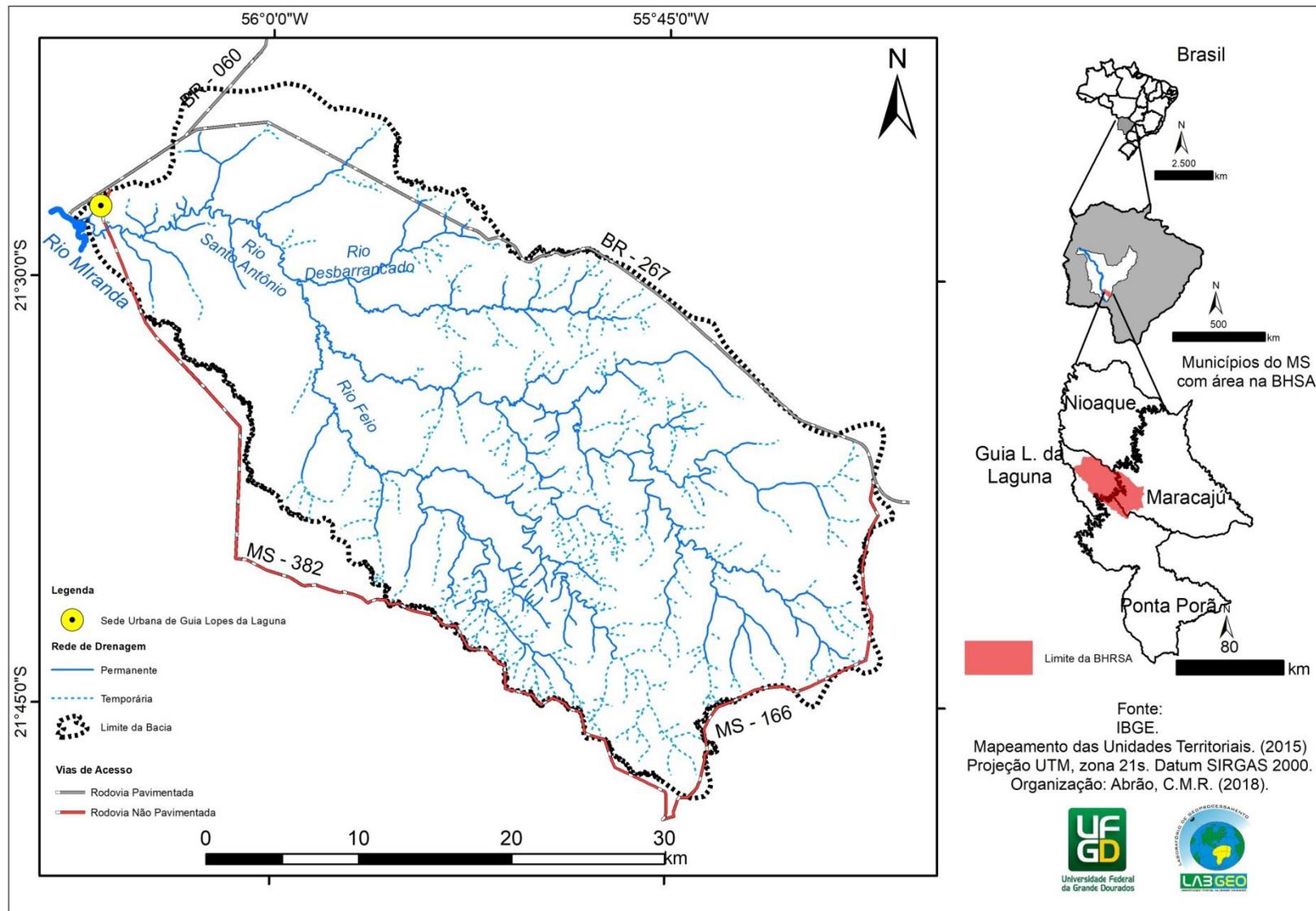
Esses impactos também atingem o meio social e econômico, como a disponibilidade hídrica e encarecimento da produção agrícola, aumentando o custo do tratamento da água e reposição de nutrientes do solo, partindo da relação causa-efeito (DIBIESO, 2013; TUCCI, 2004). Sob o ponto de vista hidrológico, Lima (2008) ressalta que as alterações e os tipos de uso da terra influenciam nos processos de escoamento superficial, ou seja, aumento da erosão e da perda de solos e nutrientes, além de aumento nas taxas de infiltração, na qual há perda de água.

Nesse contexto, este capítulo tem por objetivo representar os componentes físicos da Bacia Hidrográfica do Santo Antônio (BHSA), utilizando-se dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), para formação de banco de dados e permitir a correlação e análise entre as variáveis.

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

A BHSA está localizada em quatro municípios que compõem a mesoregião sudoeste e da Grande Dourados (SEMAC, 2011): Guia Lopes da Laguna, Nioaque, Maracaju e Ponta Porã (Figura 1). Entre os quatro municípios que compõem a BHSA, apenas Guia Lopes da Laguna tem sua sede municipal inserida parcialmente nessa bacia, bem como maior parte da sua extensão territorial (55,08%) seguido de Maracaju (34,07%), Ponta Porã (10,02%) e Nioaque (0,65%).

A bacia tem uma área calculada em aproximadamente 1.202 km<sup>2</sup>, cujo principal manancial é o rio Santo Antônio, com 54 km de extensão. Suas nascentes estão localizadas sobre o planalto Maracaju - Campo Grande, a mais de 670 m de altitude, e sua foz a 242 m em relação ao nível do mar. Ele é o primeiro grande afluente do rio Miranda, cuja sua foz é na divisa entre os municípios de Guia Lopes da Laguna e Jardim.



**Figura 1.** Mapa de localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1 Correção do Modelo Digital de Elevação SRTM**

Foi realizada a correção do Modelo Digital de Elevação (MDE) para diminuir a influência do efeito dossel vegetativo nos dados de altitude. Esse problema ocorre devido as copas das árvores em área de vegetação densa que acabam sendo mapeadas pelo sensor do radar como elevação superior ao terreno em volta, podendo variar de acordo com a altura das árvores (de 6 a 12m) e influenciar nos dados de altitude, declividade e comprimento de rampa. Esse procedimento, portanto, tem por objetivo melhorar a acurácia desses dados e evitar eventuais erros de mapeamento para uma escala de semi-detalhe, pois é a partir desses dados que foram reinterpretados os produtos cartográficos.

Para efetuar a correção do modelo digital de elevação SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) (SRTM, 2000), extraído do site do serviço geológico dos Estados Unidos (USGS, 2018), foram utilizadas curvas de nível com equidistância de 40 metros e as cotas altimétricas das cartas topográficas que cobrem a área de estudo, tais como: (Boqueirão SF 21-X-C-V; Jardim SF 21-X-C-II; Maracajú SF 21-X-D-IV e Nioaque SF 21-X-C-III); elaboradas pelo Serviço Geográfico do Exército (DSG).

Esses dados foram utilizados como referencial para suavização do efeito do dossel, pois representam as informações mais precisas sobre o terreno através das curvas de nível contínuas e das cotas topográficas sobre altitude do terreno. Em seguida, essas informações foram interpoladas com o MDT/SRTM, no qual resultou no modelo corrigido. Para validação da correção, foram utilizados pontos de GPS topográfico Ashtech L1 e L2 com antena portátil de alta precisão coletados em trabalhos de campo, realizados no mês de outubro de 2017.

#### **3.2 Mapeamento Geológico**

Para o tema geologia, foi utilizado o mapa elaborado pela CPRM para o estado do Mato Grosso do Sul, na escala de 1:250.000. Também foram utilizados dados de campo para coleta de amostras de rochas para análise em laboratório, bem como fotos e pontos de GPS para conferir a cota altimétrica.

### 3.3 Mapeamento Geomorfológico

O mapa geomorfológico foi elaborado a partir dos dados do MDT, curva de nível e cotas altimétricas das cartas topográficas do DSG, declividade, relevo absoluto e dados de campo. Assim, como a geologia, as informações referentes ao relevo existentes para área de estudo são em escalas maiores (de 1:250.000 do macrozonemanto ambiental ou 1.250.000 da CPRM). Foi seguida a divisão morfológica apresentada por Florenzano (2008), IBGE (2009) e Ross (1992; 2012), representando a morfoestrutura e morfoescultura para área de estudo.

### 3.4 Mapeamento Pedológico

O mapeamento de solos foi realizado a partir dos dados obtidos no Geoportal da Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária), (EMBRAPA, 2007), por meio dos arquivos em *shapefile* (shp.) de solo em baixa intensidade, na escala de 1.100.000 de alguns municípios do Estado do Mato Grosso do Sul. No caso da BHSA, foram utilizados os dados dos municípios de Guia Lopes da Laguna, Maracajú, Nioaque e Ponta Porã. Essas informações foram aferidas com os dados de campo, no qual utilizou-se a técnica de descrição dos perfis pedológicos, seguindo o manual de descrição e coleta de solos em campo (SILVA et al. 2005), bem como através de dados de análise granulométrica de laboratório. Com auxílio do MDT e a imagem de satélite Sentinel 2A, foram feitos alguns ajustes das classes de solos mapeadas.

### 3.5 Mapeamento de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

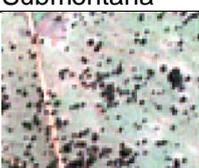
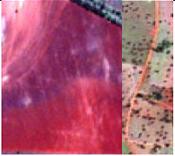
O mapa de uso das terras foi elaborado a partir de três cenas do satélite Sentinel 2A (21KWS; 21KXR e 21KXS), sensor MSI (*multi-spectral instrument*), bandas 2B, 3G e 4R, com resolução espacial de 10m, obtidas no dia 29 de abril de 2018, extraídas do bando de dados do USGS. O processamento dessas imagens foi realizado no software ENVI 5.0.

Já para cobertura vegetal utilizou-se dados do projeto GeoMS (SILVA et al. 2011), cujo mapeamento é na escala de 1:100.000 para todo estado de Mato Grosso do Sul - MS, desenvolvido pela Embrapa Informática. Foi extraída, desse mapeamento, informações sobre a fitofisionomia da cobertura vegetal identificada

pelo projeto, sendo corroborada com os dados de campo realizados na área de estudo.

Para classificar os objetos da imagem, foi elaborada uma chave de interpretação para auxiliar na discriminação dos alvos e evitar equívocos na hora de coletar as amostras. O Quadro 2 mostra as classes de uso das terras e cobertura vegetal encontradas e os critérios apontados para a classificação das amostras, conforme proposto por Florenzano (2011), Jensen (2009) e Moreira (2007).

**Quadro 2.** Chave de interpretação para as classes mapeadas.

<b>Amostra da classe</b>	<b>Forma</b>	<b>Cor</b>	<b>Textura</b>
 Vegetação Aluvial	Irregular	Verde escuro	Rugosa
 Vegetação Decidual Submontana	Irregular	Verde Claro	Rugosa
 Vegetação Secundária	Irregular e esparsa	Verde	Rugosa
 Vegetação de Savana/Cerrado	Irregular	Verde escuro	Rugosa
 Pastagem	Regular	Verde Claro	Lisa
 Agricultura	Regular	Verde Claro	Lisa
 Solo exposto	Regular	Vermelho	Liso

 Área Úmida	Irregular	Azul	Rugosa
 Corpos D'gua	Regular	Azul escuro	Lisa

Fonte: Florenzano (2011), Jensen (2009) e Moreira (2007).

Com a definição das classes de uso das terras, a classificação foi realizada de maneira supervisionada, onde há coleta de amostras dos pixels em diferentes regiões da imagem e o processamento pelo algoritmo *Maximum Likelihood Classification*. O padrão de cores das classes de uso da terra e cobertura vegetal foram definidos conforme descrito nos manuais técnicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de uso da terra (IBGE, 2013) e vegetação brasileira (IBGE, 2012).

Para validar o mapa de uso, foram coletados 400 pontos amostrais obtidos pela interpretação visual da mesma imagem Sentinel 2A e 20 pontos marcados em trabalho de campo, sendo distribuídos de acordo com a representatividade das classes de uso e cobertura vegetal identificadas na área de estudo. Na tabela de atributos desses pontos, foi criada uma coluna para inserir o nome da classe que eles representavam e, depois, exportada em formato shapefile (*shp*). O procedimento de validação foi realizado no software ENVI usando o arquivo *raster* classificado já corrigido.

O cálculo estatístico foi realizado por meio do Índice *Kappa* (Eq.1), na qual, Segundo Congatton (1991), o uso é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo.

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^k x_{ii} - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (x_{i+} \cdot x_{+i})} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde  $\hat{K}$ : valor estimado *Kappa*;  $k$ : número de linhas;  $\sum_{i=1}^k x_{ii}$ : soma dos elementos da matriz em sua diagonal principal;  $x_{i+}$ : soma total das observações para as linhas;  $x_{+i}$ : soma total das observações para as colunas e  $N$ : número de observações total.

Os valores obtidos pelo Índice *Kappa* para avaliar a confiabilidade dos mapas foram comparados a parâmetros estabelecidos por Landis e Koch (1977), conforme tabela 1 a seguir.

**Tabela 1** - Exatidão e avaliação do índice *Kappa*.

Índice <i>Kappa</i>	Qualidade
0,0 a 0,2	Ruim
0,2 a 0,4	Razoável
0,4 a 0,6	Bom
0,6 a 0,8	Muito Bom
> 0,8	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Geologia

A bacia hidrográfica do rio Santo Antônio (BHSA) apresentou quatro formações geológicas em sua área de abrangência (Figura 2): Aquidauana, Botucatu, Serra Geral e Caiuá. A formação Aquidauana ocupa áreas do baixo curso, próximo ao rio Miranda, e se estende por toda planície de inundação da área de estudo. Nessa formação, há presença de arenitos médios ou finos, com estratificação, na maioria das vezes, grosseira e menos fina (Figura 3a). Estudos indicam que os sedimentos dessa formação se originaram em um ambiente continental sobre ação de glaciações e com remoção e deposição de sistemas fluviais e lacustre (ALVARENGA et al., 1982)

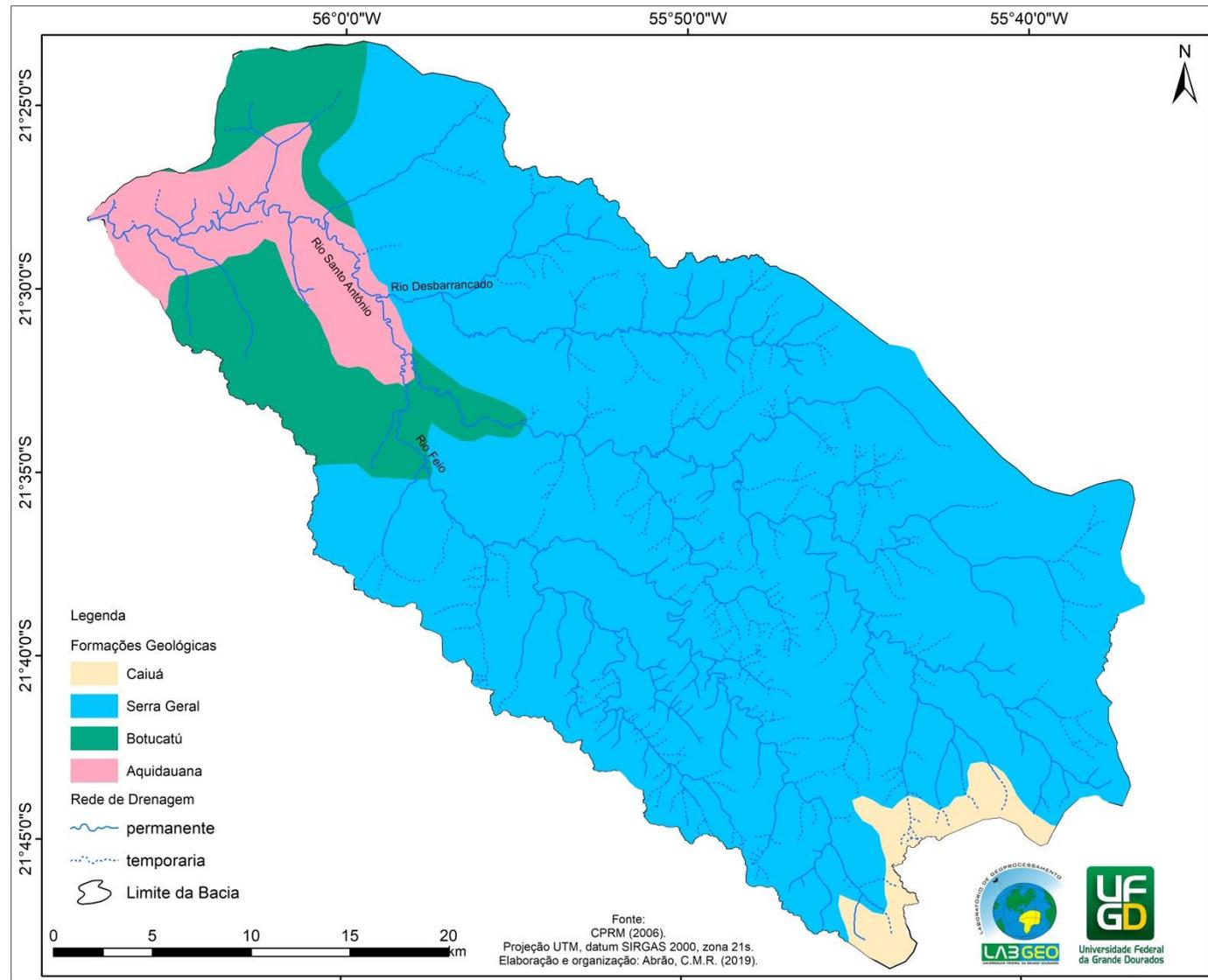
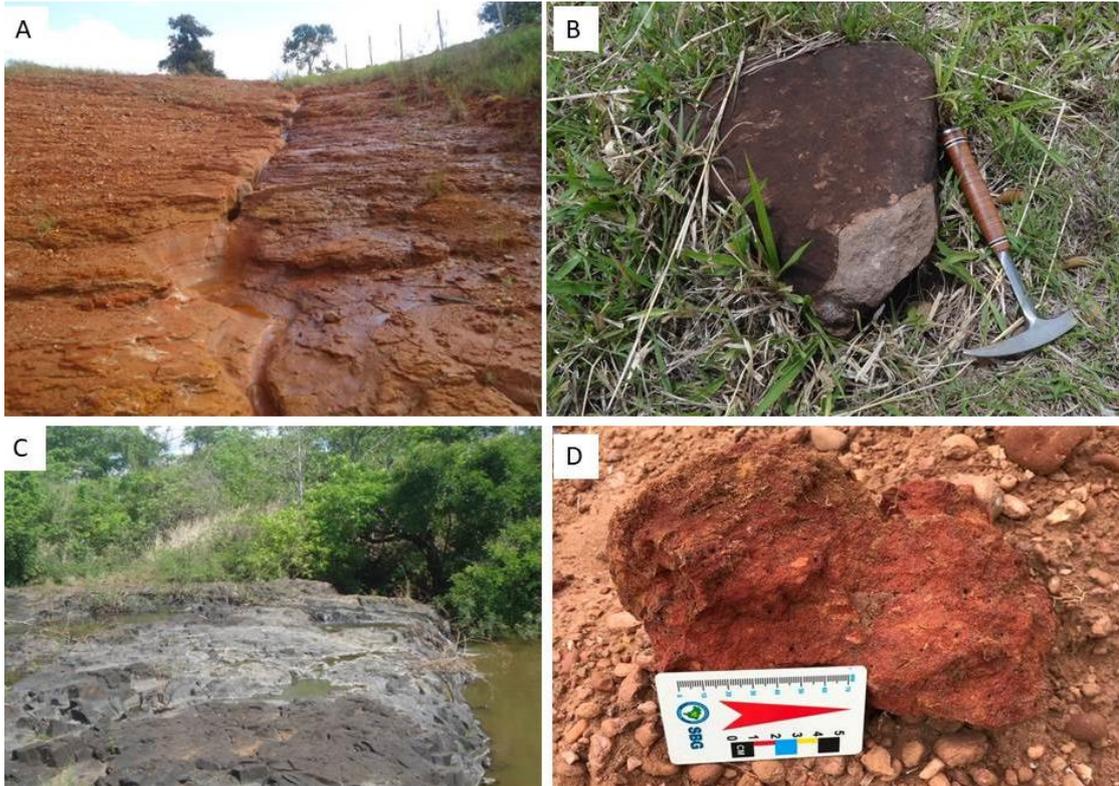


Figura 2. Mapa Geológico da BSA

Por sua vez, a formação Botucatu ocupa desde áreas do baixo curso até o médio curso do rio Santo Antônio. Segundo Almeida et al. (1982), mesmo com o início da atividade vulcânica, os depósitos de areia de origem desértica da formação Botucatu continuavam a ser depositados através da ação eólica, onde eram recobertas pela lava novamente, formando rochas mais resistentes à erosão (metaarenitos) (Figura 3b). Já para Araújo et al. (1982), estes são compostos por arenitos de coloração vermelha e, muitas vezes, em formas de conglomerados, que apresentam estratificações cruzadas de médio a grande porte, bem caracterizados.

A formação Serra Geral ocupa áreas do médio e alto curso da bacia e, às vezes, está sobreposta por arenitos, devido a já citada sobreposição da areia pela lava no período de vulcanismo. Segundo Araújo et al. (1982), ela teve, como origem, grandes derrames que, por milhões de anos, cobriram extensas áreas de dunas da Formação Botucatu. Devido a esse ambiente de grande atividade vulcânica, a formação Serra Geral apresenta grande quantidade de afloramentos de basalto e, dependendo da condição estratigráfica local, de diabásio (Figura 3c).

Já a formação Caiuá ocupa uma pequena área ao sul da BHSA, está em contato com as formações Serra Geral e Ponta Porã. Segundo Lacerda Filho et al. (2006) essa formação é composta por arenitos arcoseanos vermelhos e roxo com granulometria variável de material muito fino e grossos, como boa seleção, conforme foi encontrado na área de estudo (Figura 3d). Acredita-se que o ambiente de sedimentação tenha origem fluvial na base e eólico nos topos dos sedimentos (LACERDA FILHO et al., 2006).



**Figura 3.** Afloramentos rochosos. A) Afloramento da formação Aquidauana. B) Rocha da formação Botucatu. C) Afloramento rochoso da formação Serra Geral. D) Arenito da formação Caiuá.  
Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

Dentre a abrangência das quatro formações geológicas, a formação Serra Geral é a que ocupa maior área da bacia, com 81,84%, seguida da formação Botucatu (8,48%), Aquidauana (7,14%) e Caiuá (2,52%) conforme pode ser visto na tabela 2.

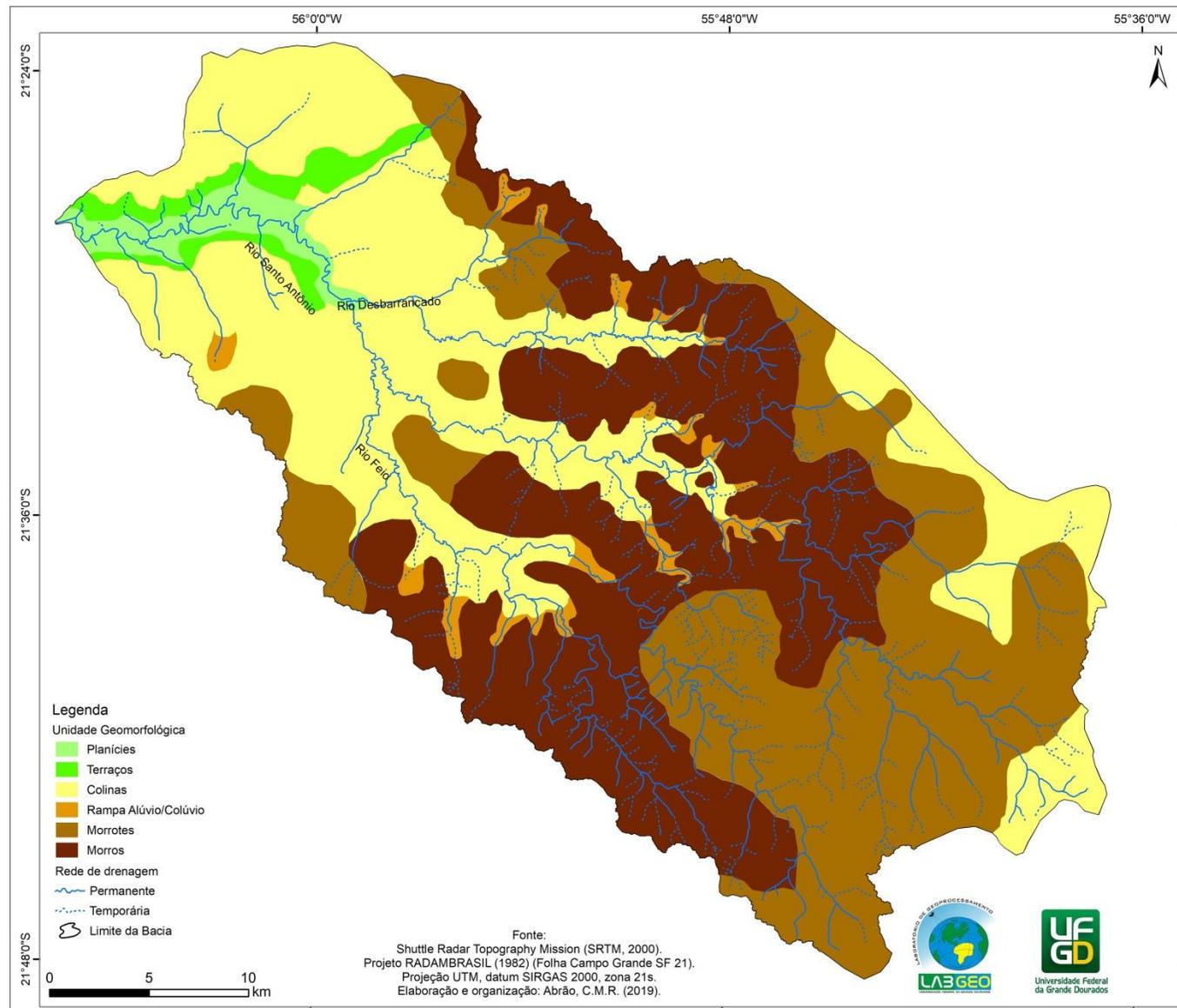
**Tabela 2.** Quantificação das formações geológicas.

Formação Geológica	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Aquidauana	85,84	7,14
Botucatu	101,9	8,48
Serra Geral	983,7	81,84
Caiuá	30,56	2,54
<b>Total</b>	<b>1.202</b>	<b>100</b>

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

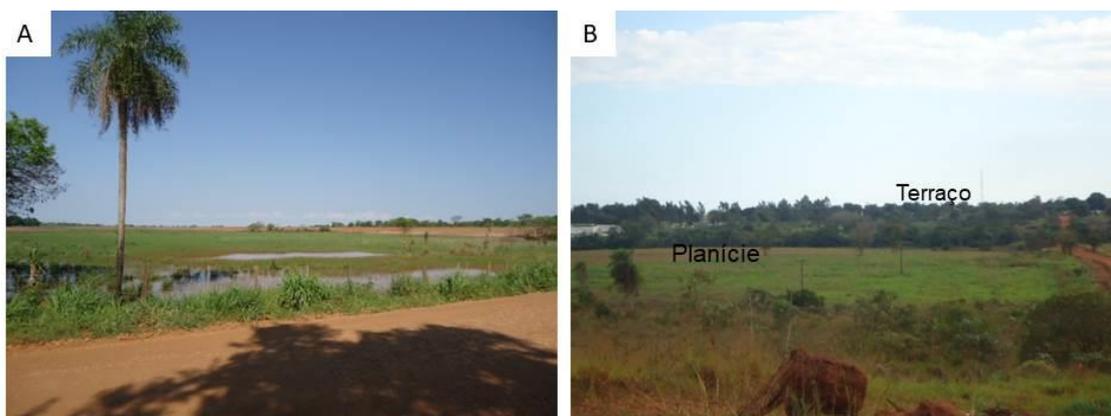
## 4.2 Geomorfologia

Sobre o aspecto geomorfológico, a BHSA localiza-se na macrounidade geomorfológica da bacia sedimentar do Paraná, na divisão entre as bordas de dissecação oriental e ocidental, tendo esta, como divisor, o planalto de Maracajú-Campo Grande (ALVARENGA et al. 1982). Foram identificadas seis unidades geomorfológicas, em mesoescala, para a bacia: Planície, Terraços, Colinas, Rampas de Alúvio/Colúvio, Morrotes e Morros (Figura 4):



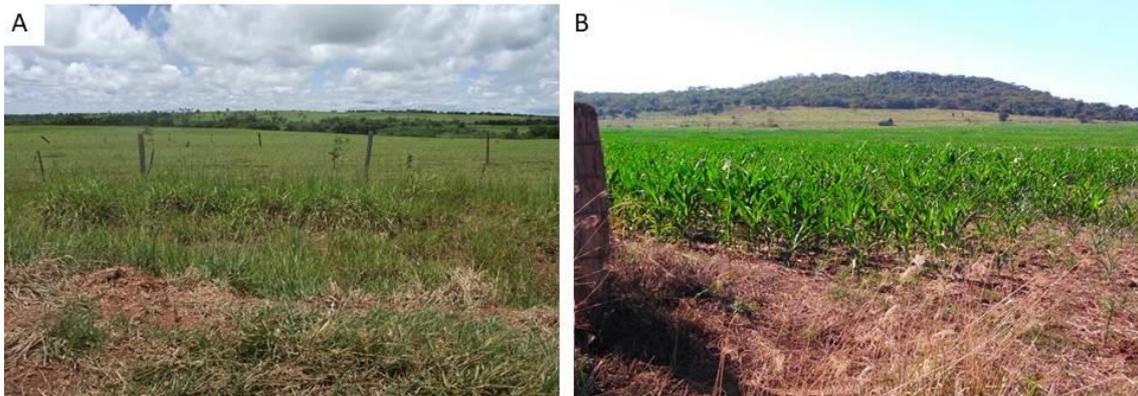
**Figura 4.** Mapa de Unidades Geomorfológicas da BSA.

As áreas de planícies foram mapeadas como aquelas com declividade inferior a 2% e com altitude entre 230 a 250m (Figura 5a). A maior parte dela está situada no baixo curso, próxima do canal principal. Boa parte dessa área já está ocupada por atividades antrópicas, como criação de bovinos, moradia e agricultura. Já os terraços foram identificados na adjacência da planície, formando um tipo de degrau, conforme pode ser visto na figura 5b.



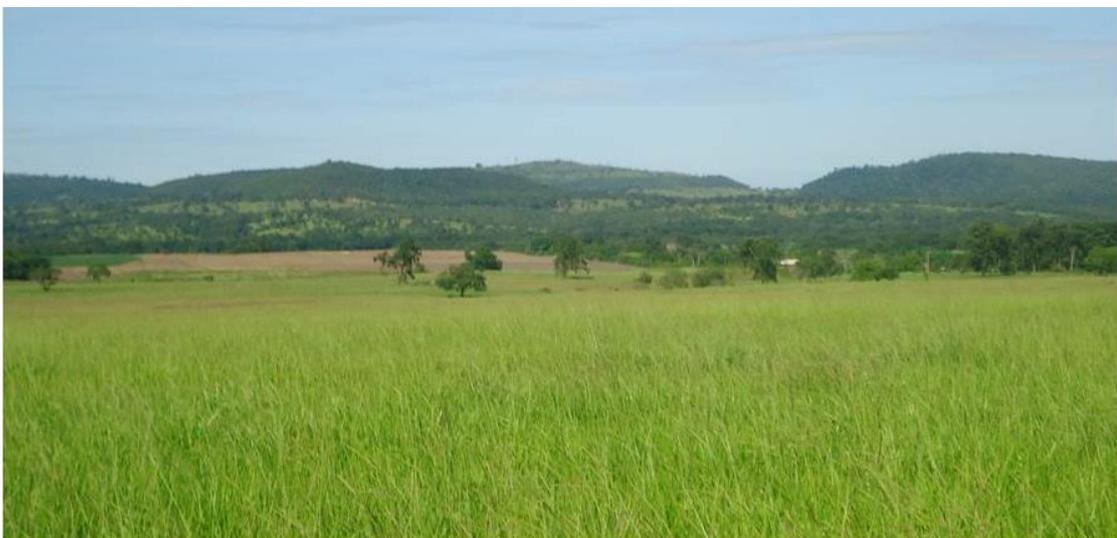
**Figura 5.** Unidades geomorfológicas. A) Planície da BHSA. B) Área de terraço adjacente à planície.  
Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

As áreas de colinas se caracterizam por constituírem locais com declividade baixa, entre 3 a 8%, dotadas de relevo suave ondulado e topo arredondado (Figura 6a). Estão localizadas do baixo até o médio curso (em áreas mais contínuas) e pequenas faixas no alto curso. São utilizadas para criação de bovinos em pastagem e para cultivo agrícola mecanizado no alto curso (Figura 6b). Já os morrotes se caracterizam por apresentar áreas com declividade média a alta (12 a 20%), com relevo ondulado e topo arredondado, cuja vegetação ainda permanece. Entretanto, algumas áreas foram totalmente ocupadas por pastagem exótica da espécie *Brachiaria (Decumbes)*. Nessas áreas existem afloramentos de rochas da formação Botucatu e Serra Geral.



**Figura 6.** Unidades geomorfológicas da BHSA. A) Relevo de colinas. B) Morrote ocupado por vegetação e pastagem na base.  
Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

As áreas de morro são caracterizadas, por sua vez, pela forte declividade, acima de 20%, com relevo ondulado a fortemente ondulado e topo arredondado (Figura 7). A BHSA localiza se no médio curso, em áreas de contato (*intertrapps*) da formação Botucatu e Serra Geral. São áreas que ainda possuem vegetação remanescente densa, caracterizadas pelas Florestas Deciduais, ainda remanescentes de Mata Atlântica porém, algumas áreas já estão ocupadas pela pastagem ou agricultura. Próxima a essas áreas estão às rampas de alúvio e colúvio, caracterizadas por alta declividade e amplitude do relevo em relação aos fundos de vale. São locais onde ocorre a erosão de matérias em direção aos canais, onde são depositados ou transportados pela força da correnteza.



**Figura 7.** Área com predomínio de morros.  
Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

Dentre as unidades geomorfológicas, as colinas e os morros abrangem mais de 30% da área, caracterizando um relevo ondulado entre fortemente a forte

ondulado, resultado da influência das diferentes formações litológicas existentes nessa bacia, conforme mostra a tabela 3.

**Tabela 3.** Quantificação das unidades geomorfológicas.

Unidade Geomorfológica	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Planície	28,70	2,38
Terraço	15,74	1,30
Colina	407,28	33,67
Rampa de Alúvio/Colúvio	23,80	1,98
Morrotes	357,79	29,76
Morro	368,69	30,67
Total	1.202	100

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

### 4.3 Pedologia

Foram identificadas e mapeadas sete classes de solo existentes na BHSA (Figura 8). Com os dados de geologia e geomorfologia ajustados, a base de solos foi corrigida de acordo com essas informações, bem como pelas técnicas de sensoriamento remoto, trabalho de campo e análise física em laboratório.

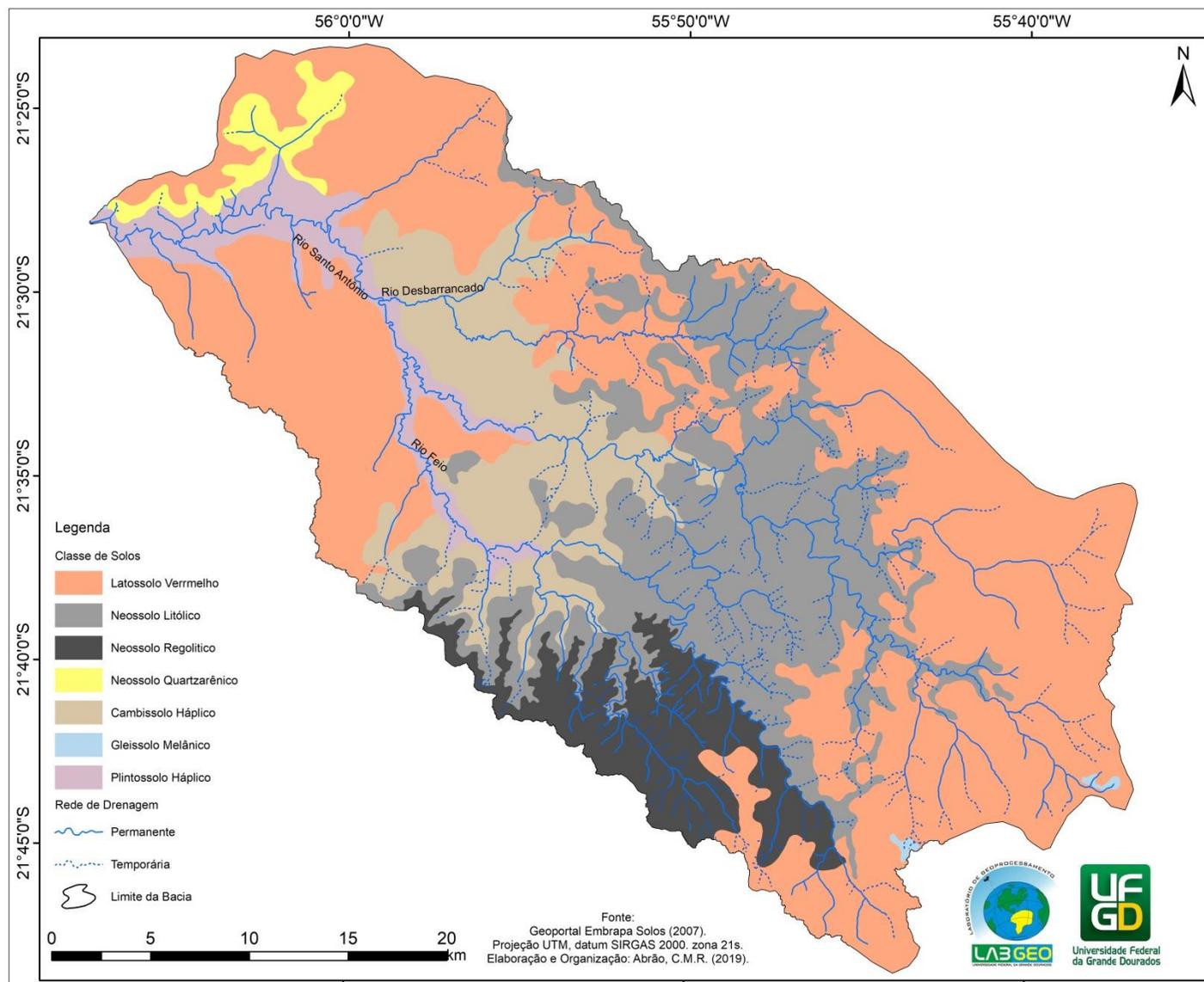


Figura 8. Mapa de solos da BSA.

Foram identificados dois solos hidromórficos que sofrem alterações devido a presença de água: os Gleissolos Melânicos (Figura 9a) e os Plintossolos Háplicos (Figura 9b). São solos que estão localizados em áreas planas e sujeitas a inundação, ou com a presença do lençol freático mais próximo da superfície. Os Gleissolos que ocorrem apenas em duas áreas do alto curso em áreas de nascentes (foram identificados em dois horizontes: o com espessura de 20 cm, coberto por matéria orgânica, e o horizonte Glei acinzentado, característico desse tipo de solo). Sua textura não variou, permanecendo muito arenosa nos dois horizontes.

Os Plintossolos Háplicos, por sua vez, ocorrem na área de planície do canal principal, desde o médio até o baixo curso. Também sofrem alterações com a presença da água, revelando cor acinzentada, com formação de plintitas, que são pedaços de solo petrificados devido a ação da água com ferro existente no solo. Foram identificados três horizontes nesse solo, sendo estes: o horizonte A, com espessura de 15cm e com acumulação de material orgânico; o horizonte A/B ou E (eluvial) com espessura de 10cm mais claro; e o horizonte B ou Plíntico, onde ocorre a oxidação do ferro com água dando coloração mais amarelada, o que caracteriza esse tipo de solo. Apresentou uma variação de textura entre os horizontes com A arenoso para o Plíntico mais argiloso.



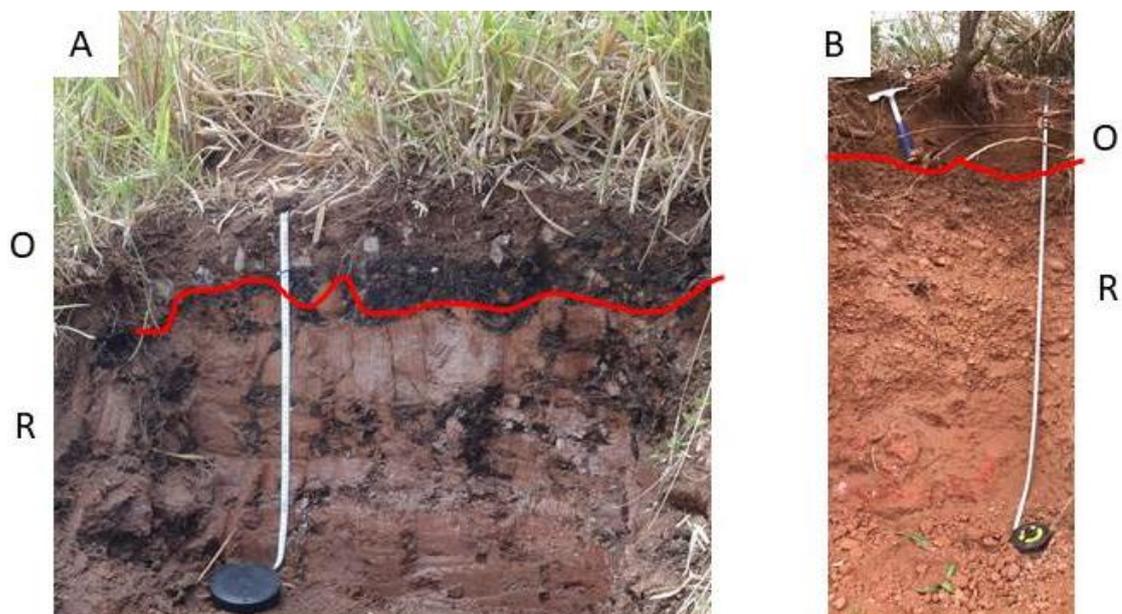
**Figura 9.** Solos hidromórficos. A) Gleissolo Melânico e seus horizontes. B) Plintossolo Háplico e seus horizontes.

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

Foram identificados também, solos em processo de pedogênese (formação) na área, que compreendem os Neossolos Litólico e Regolítico (Figura 10a e b). Ambos os solos estão situados em área de relevo ondulado a fortemente ondulado, em áreas com presença de afloramentos de rochas basálticas, areníticas e seixos.

Os Neossolos Litólicos foram caracterizados como solos rasos, com horizonte superficial. O escuro com presença de muita matéria orgânica com espessura não superior a 15 cm. apresenta uma textura argilosa, devido ao incremento da matéria orgânica nos componentes dos minerais e, logo abaixo, já se encontrava, a rocha mãe, em processo de intemperismo.

Os Neossolos Regolíticos foram descritos, por sua vez, como rasos, com horizonte O pouco maior que 20 cm de espessura e, logo em seguida, em contato com o horizonte R. Apresentou pouca matéria orgânica no horizonte superficial e com textura muito arenosa.



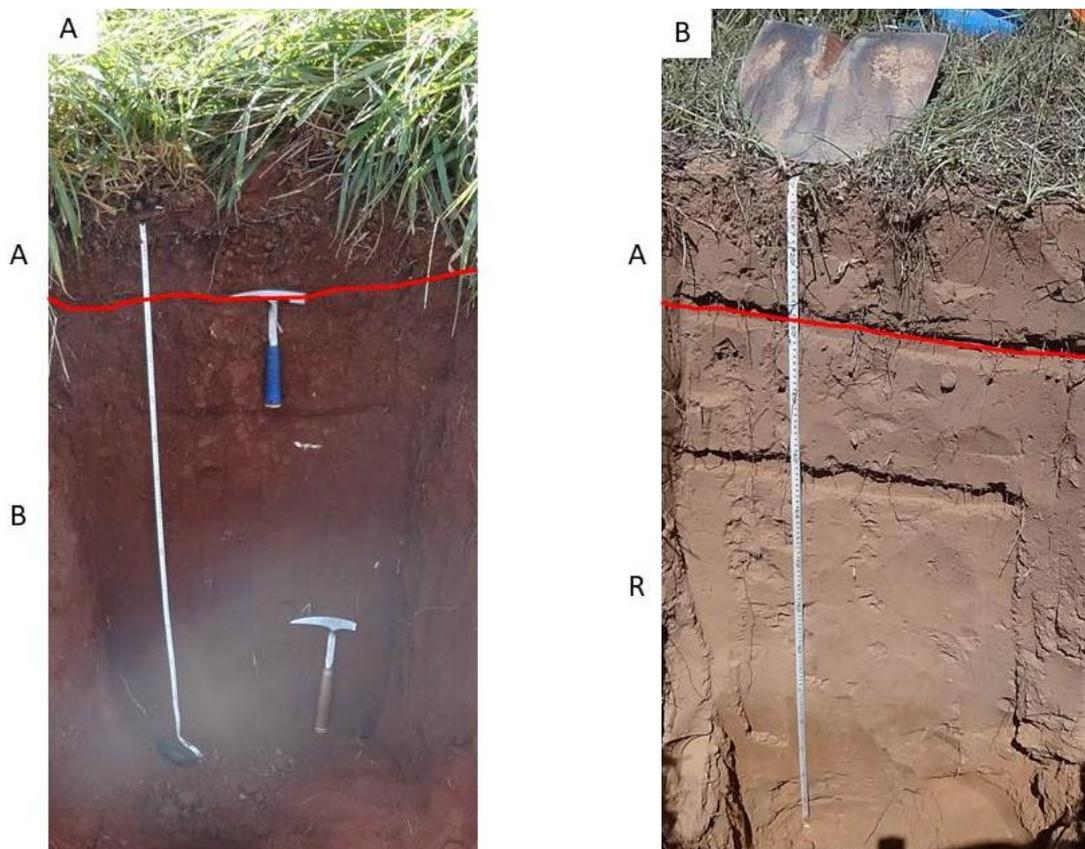
**Figura 10.** Solos em processo de formação A) Neossolo Litólico e seus horizontes. B) Neossolo Regolítico e seus horizontes.  
Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

As duas classes de solo que são consideradas como as mais desenvolvidas na bacia foram os Latossolos Vermelhos e os Neossolos Quartzarênicos. Os Latossolos Vermelhos (Figura 11a) ocupam grande parte do alto e médio curso, tendo em vista o predomínio de um relevo mais plano sobre essas áreas, com materiais originários da formação Serra Geral. As áreas compostas pelo Latossolo

Vermelho foram caracterizadas como dotadas de dois horizontes, a saber: o horizonte A, com 12cm de espessura e cor escura avermelhada, devido a presença de material orgânico, e o horizonte B, de cor vermelha, bem intemperizado, indicando grande desenvolvimento.

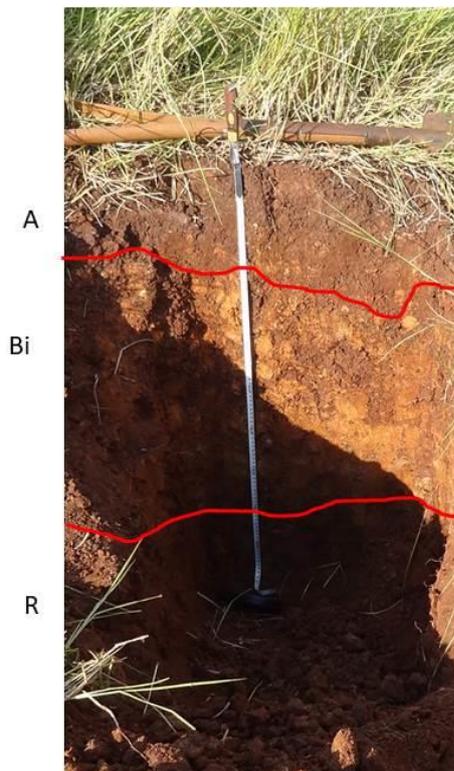
Em sua textura, prevaleceu a argilosa, com grande acréscimo do horizonte A para o B. Esse solo é amplamente antropizado, seja pelo uso agrícola e pastoril, devido sua significativa fertilidade natural e pelas condições topográficas locais propícias (relevo plano a pouco ondulado) favoráveis à mecanização.

Já o Neossolo Quartzarênico (Figura 11b) foi localizado em trabalho de campo, numa pequena faixa no baixo curso, em áreas de relevo plano a suave ondulado. Foi caracterizado por possuir dois horizontes, sendo ambos muito arenosos: o horizonte A (de cor bem clara e com 12 cm de espessura, indicando pouca matéria orgânica) e um horizonte R (de cor clara e bem desenvolvido que representa o material de origem).



**Figura 11.** Solos com horizontes bem desenvolvidos. A) Latossolo Vermelho e seus horizontes. B) Neossolo Quartzarênico e seus horizontes. Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

Por fim, foram identificados os Cambissolos, sendo estes solos em estágio intermediário de desenvolvimento, (Figura 12). Essa classe foi encontrada em áreas onde o relevo varia de suave a ondulado, onde ainda estão ocorrendo os processos de pedogênese. Os Cambissolos foram caracterizados com três horizontes: o A, com espessura de 10 cm (dotado de cor escura, com presença da matéria orgânica); o horizonte Bi (B incipiente) que caracteriza essa classe de solo, ou seja, esse tipo de solo ainda não possui seu horizonte B (pedogenético) totalmente desenvolvido, pois ainda é possível notar a presença de fragmentos de rochas, cuja espessura é apresentada em até 23 cm; e o horizonte R que se constitui como o material de origem do solo, neste caso o basalto.



**Figura 12.** Cambissolo e seus horizontes.  
Fonte: Abrão, C.M.R. (2018).

A classe de solo predominante na bacia é o Latossolo Vermelho, ocupando 49,83% da área, seguida da classe dos Neossolos Litólicos (24,29%) e Neossolos Regolíticos com 13,37%, conforme mostra a tabela 4.

**Tabela 4.** Quantificação das classes de solo.

Classe de Solos	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Latossolo Vermelho	599,07	49,83
Neossolo Litólico	292,04	24,29
Neossolo Regolítico	160,80	13,37
Neossolo Quartzarênico	24	1,99
Cambissolo Háptico	62,34	5,18
Plintossolo Háptico	62,01	5,15
Gleissolo Melânico	1,74	0,14
<b>Total</b>	<b>1.202</b>	<b>100</b>

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

#### 4.4 Uso da terra e Cobertura Vegetal

Na área correspondente à BHSA foram identificadas quatro classes de cobertura vegetal e sete classes de uso da terra, conforme figura 13. O mapa obteve uma acuraria de 0,93 segundo índice *Kappa* calculado, sendo classificado como excelente.

As áreas classificadas como dotadas de vegetação aluvial ou mata ciliar estão localizadas ao longo de todos os cursos d'água, fazendo parte das Áreas de Preservação Permanente (APP) (Figura 14a). São áreas de vegetação natural responsáveis pela proteção dos recursos hídricos contra possíveis impactos ou danos ambientais. Já as áreas de vegetação decidual submontana são enclaves da vegetação típica do bioma de mata atlântica localizadas em áreas em contato com vegetação de savana ou cerrado (Figura 14b), sendo que estão situadas, em maior parte na bacia, em áreas do médio curso, no topo dos morrotes e morros.

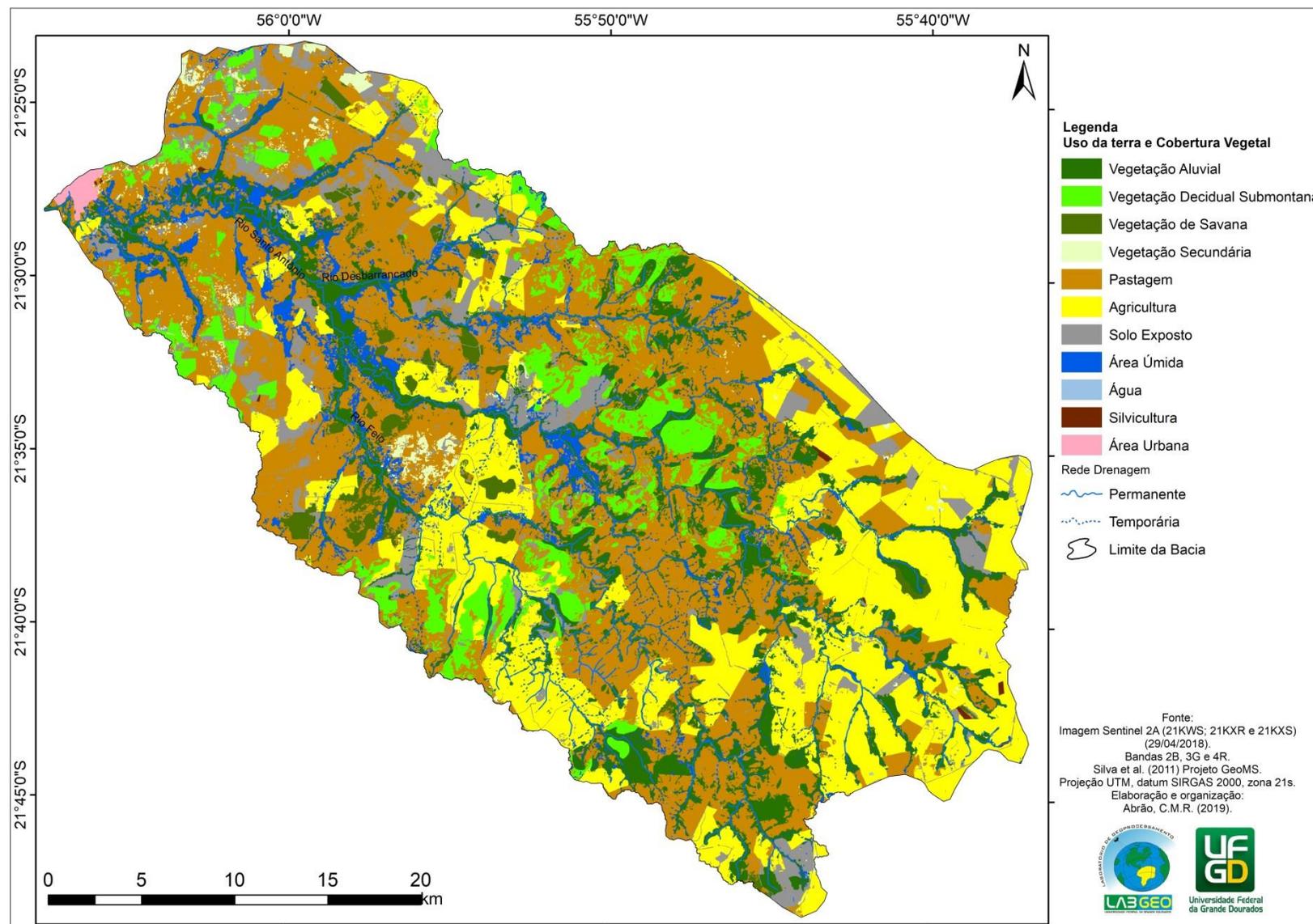
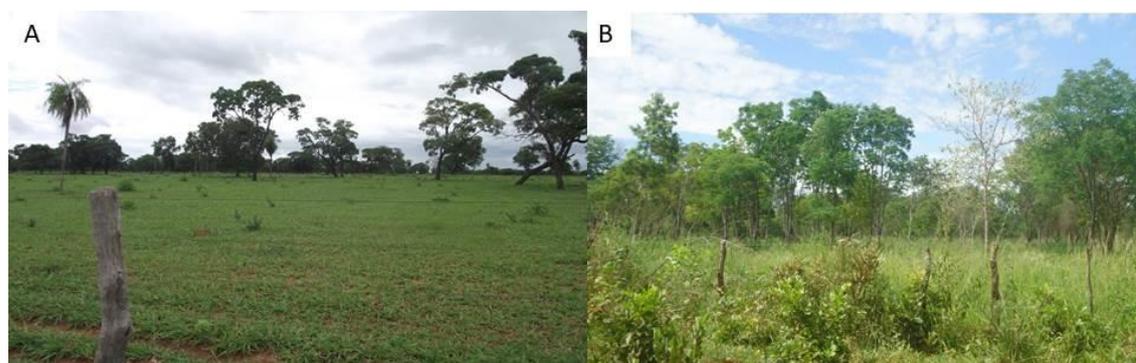


Figura 13. Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal para BSA.



**Figura 14.** Vegetação típica da BHSA. A) Vegetação Aluvial às margens do rio Santo Antônio. B) Vegetação Decidual Submontana em áreas com de morros e morrotes.  
Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

A vegetação de savana da área é formada por espécies típicas do bioma cerrado, com tronco retorcido de porte mediano a alto, com 5 a 15 metros de altura (Figura 15a). Na bacia, essa fitofisionomia encontra-se espalhada em pequenos fragmentos isolados, pois grande parte da área original dessa vegetação já foram convertidas em áreas de pastagem ou de agricultura. As áreas de vegetação secundária, por sua vez, são exatamente áreas em que a vegetação regenerou a um certo tempo, principalmente em áreas de pastagem nativa ou áreas de APP (Figura 15b). Também estas estão distribuídas de maneira irregular pela bacia, e apresentam características como porte baixo, com árvores com não mais que 10m de altura e tronco fino.

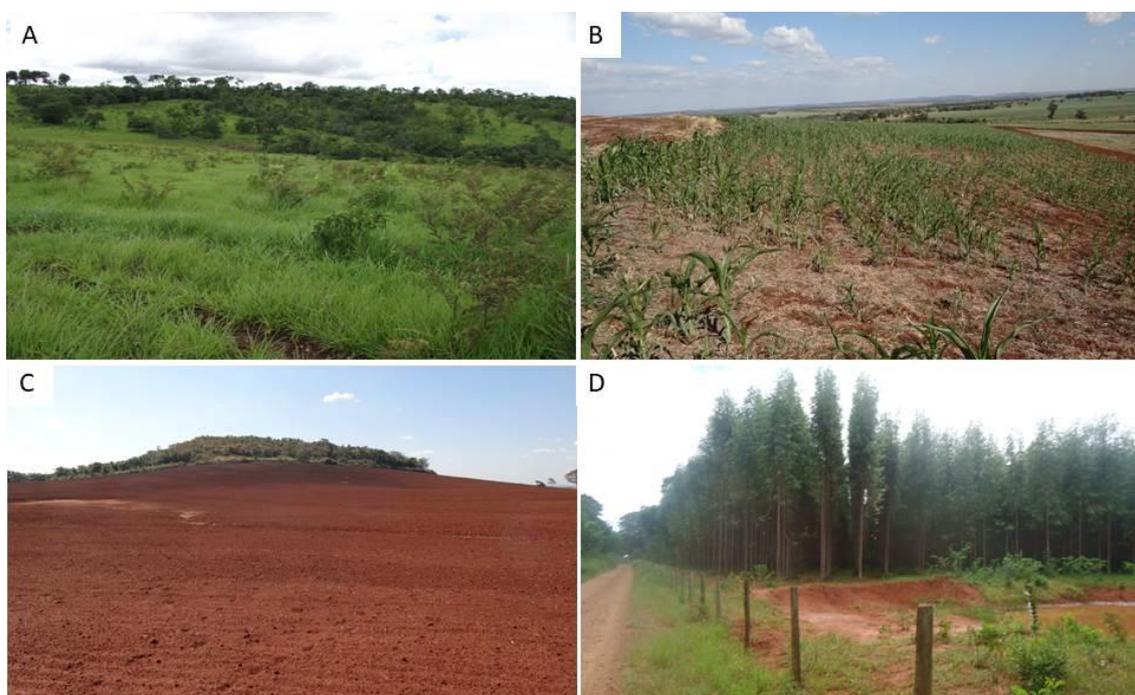


**Figura 15.** Vegetação de cerrado na BHSA. A) Vegetação de Savana em meio a pastagem. B) Vegetação Secundária em processo de recomposição. Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

A pastagem é a principal classe de uso da terra, está presente em todas as áreas da bacia. É utilizada para criação de bovinos para engorda ou produção de

leite, usa-se pastagem nativa ou exótica da espécie *Brachiaria (Decumbes)* (Figura 16a). A agricultura apresenta maior concentração em áreas do alto curso, devido a presença de solos mais férteis (Latosolo Vermelho) e relevo plano. No entanto, foi identificado e validado na etapa de trabalho de campo que, há um processo de expansão de áreas agrícolas para áreas do médio curso em áreas de relevo mais acidentado e com presença de solos mais rasos (Neossolos Litólicos e Regolíticos) (Figura 16b). São cultivadas lavouras de período cíclico, intercalando soja/milho e totalmente mecanizada.

Já as áreas de solo exposto foram classificadas como aquelas em que o solo estava em preparo para o plantio agrícola (Figura 16c) ou adubação e renovação de pastagem, bem como áreas com estradas vicinais. As áreas de silvicultura, por sua vez, estão distribuídas em pequenas áreas pela bacia, onde foi plantado eucalipto para recuperação de áreas degradadas ou recuperação de nascentes (Figura 16d).



**Figura 16.** Tipos de Uso da terra A) Pastagem cultivada para criação de animais. B) Agricultura, cultivo de milho safrinha. C) Solo exposto em preparado para o cultivo em área com alta declividade e, D) Silvicultura.

Fonte: Abrão, C.M.R. (2018)

As áreas úmidas foram identificadas, em sua maioria, próximas dos cursos d'água e na planície de inundação do rio Santo Antônio (Figura 17a). São áreas que permanecem com água o ano todo ou boa parte dele, influenciando nas características dos solos, pois é, em boa parte dessas áreas que estão os

plintossolos e os gleissolos. São áreas de extrema importância para conservação da água e da biodiversidade local. Os corpos d'água foram identificados como reservatórios de água construídos artificialmente, em áreas úmidas, para represamento da água para dessedentação de animais, irrigação de pequenas lavouras e criação de peixes, conforme mostra figura 17b.



**Figura 17.** Áreas alagadiças na BHSA. A) Área Úmida e com vegetação típica (Rabo de Burro). B) Corpo D'água construído em uma área úmida utilizado para dessedentação de animais e criação de peixes.

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

Entre as classes de vegetação, a classe de vegetação aluvial abrange maior área na bacia, ocupando mais de 13% da área total (Tabela 5). Isso se deve ao fato dessas áreas estarem em áreas de APP, que são áreas protegidas por lei. Em seguida, aparece a vegetação decidual submontana, ocupando 6,82% da área. As outras classes vegetacionais não ocupam mais que 2%.

**Tabela 5.** Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

Classe de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Vegetação Aluvial	168,13	13
Vegetação Decidual Submontana	82,08	6,82
Vegetação de Savana	23,36	1,94
Vegetação Secundária	13,17	1,09
Pastagem	453,16	37,70
Agricultura	297	24,70
Solo Exposto	102	8,48
Silvicultura	1,07	0,08
Área Úmida	58,5	4,86
Corpos D'água	0,52	0,04
Área Urbana	3,01	0,25
<b>Total</b>	<b>1.202</b>	<b>100</b>

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

Em relação a classe de uso da terra, a pastagem ocupa 37,70% da área, seguido da agricultura com 24,70% e áreas de solo exposto, com 8%. Isso demonstra que essa área é fortemente antropizada, pois mais da metade da sua área já foi convertida para algum tipo de uso comercial agropastoril. Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et al., (2021) na bacia do rio da Prata e Medeiros (2020) e na bacia do rio Formoso. Estes dois locais apresentaram grandes modificações na paisagem, principalmente um aumento de áreas destinadas a agricultura e vêm sofrendo fortes impactos na qualidade da água, com o turvamento recorrente dos mananciais cênicos da região de Jardim e Bonito, muito explorados pelo setor turístico.

Neste contexto, atualmente se percebe uma tendência para a expansão das atividades agrícolas, por essa região onde está inserida a BHSA, de forma agressiva, visando o aumento da produção, porém, não há reflexão sobre os impactos que podem ocorrer sobre os recursos naturais locais. Os municípios que se destacam na produção agrícola da área são Maracajú e Ponta Porã, sendo os responsáveis pela produção da soja, milho e cana de açúcar, segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico (SEMADE, 2017). Sobre a bacia, o município de Maracajú ocupa a segunda maior área, justamente onde estão localizadas grandes propriedades rurais que produzem, principalmente, soja e milho.

Na área de Ponta Porã, esta é também ocupada, com soja e milho e uma pequena parcela com cana de açúcar. Em Nioaque e Guia Lopes da Laguna se destaca-se a criação de bovinos de maneira extensiva, que abastecem os frigoríficos locais. Entretanto, em Guia Lopes da Laguna, recentemente, observou-se um aumento das áreas destinadas às lavouras de soja e milho que, em 2012, eram de apenas 460 hectares (ha) e, em 2016, já eram 24.154ha, segundo dados da SEMADE (2017).

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

As características ambientais da área de estudo revelam uma marcada tendência para a ocorrência de processos erosivos, em decorrência da ocupação de áreas com restrições ao uso agrícola. Nessas áreas dotadas de forte declividade,

onde se formam solos rasos tais como os Neossolos Litólicos, estas devem ser conservadas com vegetação nativa, pois estas protegerão os solos contra ação das chuvas e prevenção de processos erosivos (principalmente onde está havendo um avanço das atividades agrícolas no médio curso, onde predomina um relevo mais ondulado com morros e morrotes com declividade superior a 15%). São áreas, portanto, que devem permanecer com vegetação ou com uso mais restrito e práticas de conservação do solo. Além disso, nessa área existem afloramentos da formação Botucatu, cujas rochas são permeáveis, servindo como caminhos de recarga do aquífero Guarani.

Essa bacia possui áreas para utilização agropecuária no alto e baixo curso, com características favoráveis (com solos bem desenvolvidos e declividade não superior a 8%), no qual essas atividades podem ser desenvolvidas, utilizando-se, todavia, boas práticas conservacionistas, como plantio direto e terraceamento para proteção do solo nas áreas mais inclinadas. De acordo com o Zoneamento Econômico Ecológico do MS, essa área encontra-se apta para usos agropecuários, pastagem e agricultura, por suas características e solos de boa fertilidade. No entanto, suas fragilidades são deixadas de lado nesse documento, pois, mesmo essa área sendo propícia para ocupação para atividades agropecuárias, as fragilidades dos solos e relevo devem ser levadas em consideração nos planejamentos de uso e ocupação das terras.

### CAPÍTULO III

## ESTIMATIVA DE PERDA DE SOLOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO – MATO GROSSO DO SUL - BRASIL

### 1. INTRODUÇÃO

A erosão dos solos vem se tornando uma preocupação de várias áreas do conhecimento atreladas ao planejamento ambiental, pois este recurso natural é a base de todas as atividades humanas desenvolvidas sobre o espaço (SADEGHI et al., 2017). Segundo Guerra e Mendonça (2011), a erosão é um processo natural relacionado com os fatores climáticos, declividade, comprimento e forma das encostas, propriedades físicas e químicas do solo e cobertura vegetal.

Entretanto, a ação antrópica também influencia pelos tipos de manejos que são utilizados no uso e/ou cultivo da terra, podendo potencializar este processo. Sendo assim, é necessária uma conscientização sobre a saúde do solo, pois inúmeros estudos com viés conservacionistas partem dessa premissa, de que é necessário saber gerir as atividades econômicas que dependem do solo, qualidade e, produtividade e conservação desse que é indispensável para vida humana (KARLEN, 2019)

Segundo Miqueloni e Bueno (2012), os maiores danos aos solos são desencadeados pela agricultura que ainda é praticada de modo convencional, com ausência de técnicas conservacionistas, como a utilização das curvas de nível, do plantio direto e do terraceamento, que minimizam a ação dos processos erosivos. Entretanto, os processos erosivos irão se desenvolver com maior ou menor intensidade, de acordo com as características físicas de cada paisagem: declividade e comprimento das encostas, intensidade pluviométrica, e os atributos físicos e químicos dos solos (TEKA et al., 2020).

Nesta perspectiva, torna-se relevante realizar estudos para calcular a estimativa de perdas de solos, levando em conta as características físicas da paisagem e do uso da terra. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), o uso de equações empíricas, para avaliar as perdas de solos em áreas usadas para cultivo, vem se tornando uma ferramenta indispensável para o planejamento conservacionista. As primeiras tentativas de estimar as perdas de solos foram propostas pelo *Runoff and Soil – Loss Data Center*, do *Agricultural Research Service*, em 1950, na região de *Corn Belt* dos Estados Unidos, através da realização de experimentos.

Foram realizados vários estudos e experimentos, bem como adaptações, pois, no início dos levantamentos de perdas de solos, havia falta de informações básicas e de métodos para calcular os valores de chuva, práticas agrícolas, duração do período de desenvolvimento da cultura entre outras variáveis (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). No início da década de 1950 foi apresentada a equação de perda de solos, resultante da interpretação e análise dos dados básicos, superando as limitações das outras propostas, no *Runoff and Soil-Loss Data Center*, do *Agricultural Research Service*, com sede na Universidade de Purdue, no estado de Indiana.

Porém, em 1978, Wischmeier e Smith publicaram um modelo revisado dessa equação, que incorporava novos dados disponíveis, denominado de Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS), e Renard et al. (1997) anunciaram um novo modelo, na qual manteve a estrutura da EUPS, porém com alguns parâmetros modificados na metodologia, para uma melhor determinação dos fatores (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Neste contexto, será utilizado o modelo mais atualizado da EUPS (Renard et al. 1997), pois apresenta modificações no cálculo das variáveis de relevo e a possibilidade de trabalhar em ambiente SIG com uso da calculadora raster para inferir do fator topográfico a ser amplamente difundida para estimativas de perda de solo, com uso das geotecnologias e dados de sensoriamento remoto para auxiliar na obtenção, processamento e espacialização dos dados, bem como servindo de informação para o planejamento do uso da terra (LAL, 2019).

Além desses modelos de quantificação de perda de solos, é relevante conciliá-la com o sistema de avaliação de aptidão agrícola do uso das terras, segundo sua capacidade de uso, considerando as características do meio físico e as limitações de uso (ASMAMAW; MOHAMMED, 2019).

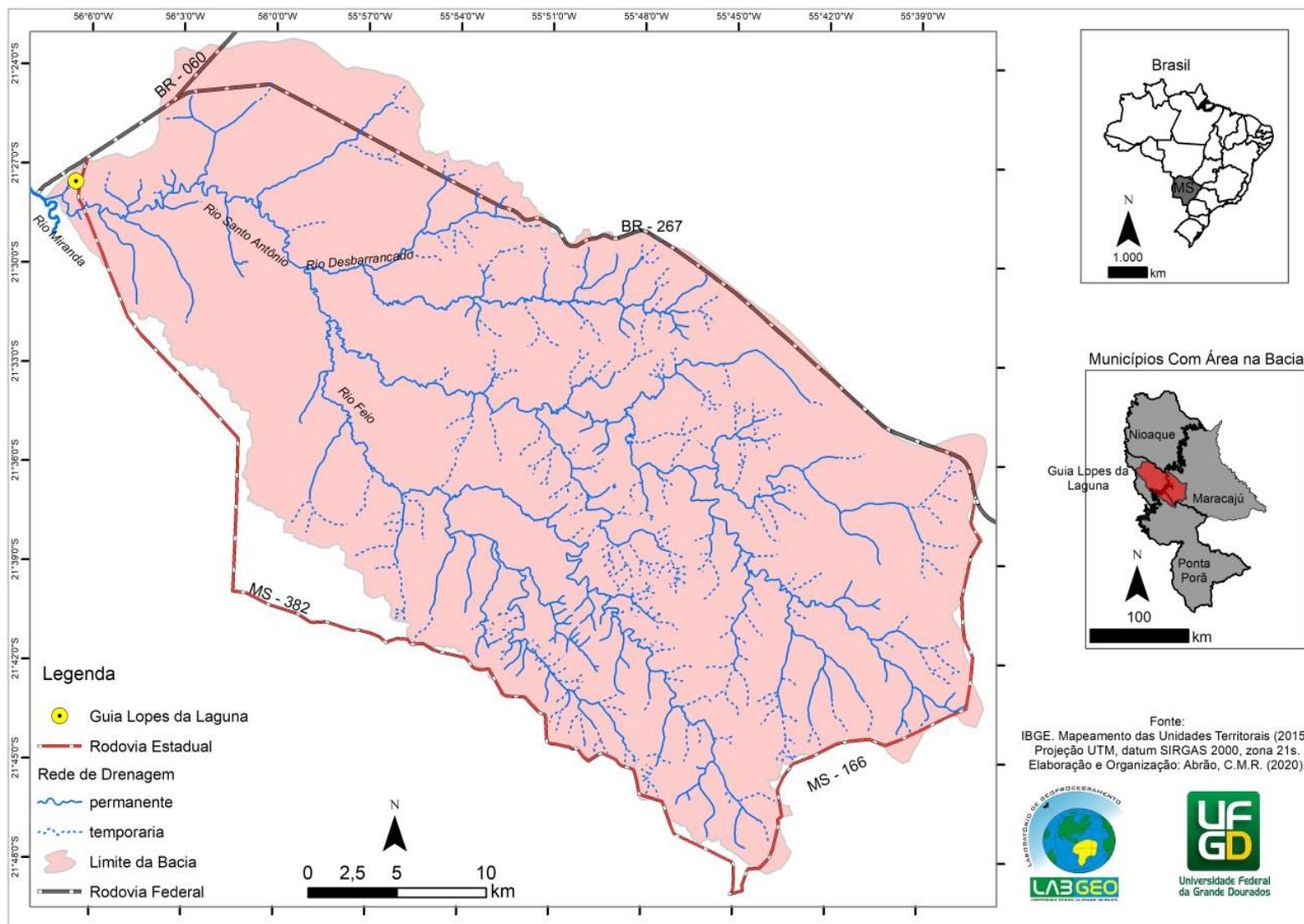
Portanto, este artigo tem por objetivo identificar os graus de vulnerabilidade da perda de solos na Bacia Hidrográfica do Santo Antônio, Mato Grosso do Sul, Brasil; por meio da aplicação da Equação Universal de Perdas de Solos (EUPS) e relacionar os dados sobre perda de solos com a existência de áreas originadoras de processos erosivos provenientes do uso local das terras. No mais, os dados da referente equação foram, posteriormente, utilizados na elaboração do zoneamento ambiental.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

Localizada nas mesorregiões Sudoeste e da Grande Dourados, a BHSA tem uma área de aproximadamente 1.202 km<sup>2</sup>, cujo principal canal é o rio Santo Antônio (Figura 18). Pela sua significativa extensão regional ela abrange quatro municípios, sendo eles: Guia Lopes da Laguna, Nioaque, Maracaju e Ponta Porã. Apenas Guia Lopes da Laguna tem sua sede municipal inserida parcialmente nessa bacia, bem como a maior parte da sua extensão territorial (55,08%) seguido de Maracaju (34,07%), Ponta Porã (10,02%) e Nioaque (0,65%).

O rio Santo Antônio é o primeiro grande afluente do rio Miranda no seu alto curso, próximo também das bacias do rio Prata e Formoso. Sua geologia é composta por afloramentos da formação Aquidauana, Botucatu, Serra Geral, Caiua e Ponta Porã (ARAÚJO et al., 1982; LACERDA FILHO et al., 2006). Nas áreas próximas ao rio Santo Antônio, existem planícies de inundação, localizadas principalmente no baixo curso. Já no médio e alto curso, o relevo sofre uma abrupta mudança, com a presença de morros e morrotes pertencentes ao planalto de Maracajú-Campo Grande.

Todo esse conjunto de características geológicas e geomorfológicas contribui para formação de diferentes classes de solos, em diferentes estágios de desenvolvimento e, conseqüentemente, diferentes níveis de fragilidade quanto a erosão. Nesse contexto, passa ser fundamental aplicar a estimativa para perda de solos em uma bacia com alto grau de ocupação por atividades agrícolas.



**Figura 18.** Mapa de Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para elaboração da estimativa de perda de solos através da EUPS, foi organizado um banco de dados contendo planos de informações, conforme mostra tabela 6.

**Tabela 6.** Plano de Informação.

Plano de Informação	Fonte
Mapa de Solos	Embrapa
Modelo Digital de Terreno Corrigido (SRTM)	USGS e Cartas Topográficas (1:100.000)
Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Imagem Sentinel 2A/Projeto GeoMS
Precipitação Média Mensal e Anual	Agência Nacional de Águas

Organização: Abrão, C.M.R (2019)

A modelagem de perda de solos foi elaborada por Wischmeier e Smith (1978), sendo composta por 6 parâmetros:

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

Onde:

A = Perda de solo calculada por unidade de área t/ha;

R = Fator chuva: índice de erosão pela chuva, (MJ/ha.mm/ha);

K = Fator de erodibilidade do solo: intensidade de erosão por unidade de índice de erosão da chuva para um solo específico, que é mantido continuamente sem cobertura, mas sofrendo as operações culturais normais em um declive de 9% e comprimento de rampa de 22m, t/ha (MJ/ha.mm/ha);

L = Fator comprimento do declive: relação de perdas de solo entre um comprimento de declive qualquer e um comprimento de rampa de 25m para o mesmo solo e grau de declive;

S = Fator declive: relação de perdas de solo entre um declive qualquer e um declive de 9% para o mesmo solo e comprimento de rampa;

C = Fator de uso e manejo: relação entre perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto, isto é, nas mesmas condições em que o fator K é avaliado;

P = Fator práticas conservacionistas: relação entre as perdas de solo de um terreno cultivado com determinada prática e as perdas quando se planta morro abaixo.

### 3.1 Elaboração do Fator R

O fator erosividade da chuva (R) é um índice numérico que indica a capacidade da chuva em provocar erosão, cuja unidade de medida é expressa (Megajoule por milímetro ao ano MJ/mm/ano). Os dados de precipitação para área de estudo foram obtidos de 8 estações pluviométricas próximas, contendo informações da média mensal e anual de precipitação (Quadro 3).

Com os dados de precipitação de cada mês, calculou-se a média anual para cada estação. Logo em seguida aplicou-se a equação (1 e 2) (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012) para calcular a média mensal de erosividade para cada mês e a soma desse resultado obteve-se a erosividade anual.

$$(Eq.1) EI = 67,355(r^2/P)*0,85$$

$$(Eq. 2) R = \sum_{j=1}^{12} E_j$$

Onde:

EI = Média do índice de erosividade

R= fator de erosividade da chuva

r= precipitação média mensal; e

P= precipitação média anual

Com os resultados de erosividade para cada estação meteorológica, foi realizada a interpolação utilizando o método IDW (*Inverse Distance Weighted*) ou Inverso do Quadrado pela Distância, que distribui de forma gradativa os valores do potencial erosivo das chuvas.

**Quadro 3.** Média mensal e média anual de chuvas.

Estações	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	M.A	Fator R
Jardim	158,6	126,4	182,9	121,5	83,1	37,8	20,4	1,5	120,2	151,5	129,4	253,7	1387	681,4
Nioaque	233	108,3	122,2	33,2	20,1	12,3	13,9	0	110	132	150	217	1152	457,12
Maracaju	235,4	138,4	123,5	80,12	52,6	25,2	30,1	8,3	129,1	155,2	180,6	249,8	1408	821,52
Bonito	33,7	222,1	242,1	149,1	80,2	43,1	30,2	10	80,2	184,8	190,4	214,1	1480	892,13
Ponta Porã	131,5	187,1	214,5	141,5	100,2	91,3	73,2	50	96	142,2	187,2	135,3	1550	925,31
Sidrolândia	170,4	140,2	130,6	100	85,1	50,7	35,1	20,1	120,5	145,9	190,3	209,1	1398	692,15
Antônio João	210,4	220,9	240,5	134	129,2	37,1	31,9	5,3	75,1	189	14,3	283,3	1571	965,12
Bela Vista	253	135	103	117	100,2	42,4	25,6	12,4	56	150,2	186,8	243,4	1425	891,23

Organização: Abrão, C.M.R (2019)

### 3.2 Elaboração do Fator K

O fator K corresponde a erodibilidade do solo em função de suas características físicas texturais. Esse índice é medido em t/ha (MJ/ha.mm/ha) considerando um solo descoberto e com ação da chuva sobre um relevo inclinado em 9%. Para calcular esse fator, foi necessária a coleta de amostras de solo para obter os valores de areia, silte e argila e definir sua classe textural.

Inicialmente, foi realizada uma saída de campo, entre os dias 23, 24 e 25 outubro de 2017, para o reconhecimento da área de estudo, acessibilidade e coleta das primeiras informações sobre os aspectos físicos da paisagem e socioeconômicos. Foram visitados 12 pontos para coleta de amostras de solos (Tabela 7), predefinidos em gabinete a partir de dados de sensoriamento remoto (Modelo Digital de Terreno-MDT e imagem de satélite Sentinel 2A).

Na escolha desses pontos foi observada a declividade da área sobreposta ao mapa de solo da Embrapa, onde foram escolhidos os locais para verificação das classes mapeadas em áreas planas, suaves e inclinadas.

**Tabela 7.** Pontos para coleta de amostras de solos.

Pontos	Latitude	Longitude	Altitude (m)
Ponto 1	21°38'57.89"S	55°43'47.26"O	495
Ponto 2	21°37'1.99"S	55°41'45.03"O	498
Ponto 3	21°34'6.10"S	55°45'4.33"O	517
Ponto 4	21°27'35.29"S	55°54'5.23"O	478
Ponto 5	21°27'40.36"S	56° 3'31.78"O	244
Ponto 6	21°27'34.42"S	56° 3'25.29"O	250
Ponto 7	21°26'21.79"S	56° 2'5.81"O	262
Ponto 8	21°26'53.89"S	55°54'49.25"O	398
Ponto 9	21°31'2.44"S	55°55'57.80"O	290
Ponto 10	21°43'23.64"S	55°37'45.95"O	617
Ponto 11	21°44'53.21"S	55°43'5.88"O	618
Ponto 12	21°46'4.11"S	55°43'30.34"O	640

Organização: Abrão (2018).

Foi utilizada uma ficha de campo para colher informações sobre os pontos visitados, um caderno de anotação, uma câmera fotográfica da marca Sony e dois GPS, sendo 1 Garmin Montana 600, com precisão de 3m e um GPS topográfico de

alta precisão com uma antena portátil. O GPS topográfico de alta precisão foi utilizado para coleta de dados altimétricos precisos, para auxiliar na delimitação das zonas de transição (curva de nível) das unidades de geologia, geomorfologia e solos.

Com as informações levantadas no primeiro trabalho de campo, organizou-se a segunda saída, para coleta das amostras de solos. Para tanto, foi seguido o Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo (SANTOS et al., 2005) e o Manual Técnico de Pedológico do IBGE (2015) para descrição do perfil de solo.

Em cada ponto, foi possível encontrar locais com parte do perfil de solo já exposto (barranco de estradas, córregos, e curvas de nível) onde foi realizada limpeza do perfil do solo com enxadão e pá reta, onde se retirou, pelo menos, 40 centímetros (cm) ao longo de todo perfil, sem causar grandes alterações na estrutura do solo. Após isso, os horizontes foram identificados e separados, por aspectos como cor, textura, consistência e formas de transição. Foi utilizada uma trena de 20 m para mensurar a profundidade e espessura de cada horizonte ao longo do perfil. As informações foram anotadas em ficha técnica de descrição pedológica (SANTOS et al., 2005), bem como informações sobre relevo, vegetação, tipo de uso e hidrografia do local onde estava cada perfil.

Ao final, eram tiradas fotos do perfil aberto com a trena ao lado e linhas que separam os horizontes, bem como do local onde estava o perfil. Logo, em seguida, era coletada aproximadamente 500 gramas de amostra de cada horizonte que seriam, posteriormente, utilizadas para as análises de granulometria em laboratório.

Com as amostras de solo coletadas e organizadas sistematicamente, iniciou-se os procedimentos para realização dos ensaios de granulometria para calcular a textura de cada amostra de solos, realizados no Laboratório de Microbiologia de solos e no Laboratório de Física dos Solos da FCA. Nesta etapa foram seguidas as recomendações do Manual de Métodos de Análise de Solos da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

Para melhor elucidação dos procedimentos referentes à granulometria, serão descritas as etapas em 4 passos:

*1º Passo: secagem das amostras, destorroamento, peneiramento e quarteamento* (Figura 19). - Os sacos plásticos com as amostras de solo foram abertos e deixados para secar em temperatura ambiente, sendo denominada de Terra Fina Seca ao Ar (TFSA). Com o excesso de unidade baixo, cada amostra foi destorroada e

fragmentada com cuidado para não alterar a estrutura das partículas, tendo em vista facilitar o peneiramento. Para separar as partículas maiores de solo, fragmentos de rochas que ainda permaneciam no solo, utilizou-se uma peneira granulométrica com abertura de 2,00 milímetro (mm) com a finalidade de separar as partículas do solo que seriam utilizadas para análise. Com as amostras peneiradas, foi separada (quarteada) uma quantidade de aproximadamente 200 g de solo para ser usada para análise granulométrica e o restante guardado, caso sejam necessárias a realização de novas análises, futuramente.



**Figura 19.** Instrumentos usados para peneiramento. : A) Peneira de 2mm acoplada ao fundo, com recipiente utilizada para separação das partículas. B e C) Partículas maiores que 2mm retidas na peneira. D) amostra de solo peneirada preparada para quarteamento. Fonte: O autor (2018).

*2º Passo: preparação das amostras com reagente químico, agitação mecânica e separação das frações areia, argila e silte (Figura 20) - No segundo passo, deu-se a preparação das amostras com o reagente químico Hidróxido de Sódio (NaOH) para dispersão das partículas. Em 1 litro (L) de água destilada, dissolveu-se 40g de NaOH.*

Posteriormente, em uma balança semi analítica, foi pesado 10g de solo e 10g de areia na fração de 1mm, usado como agente abrasivo para fração argila. O passo

seguinte ocorreu em um *Erlenmeyer* de 250 ml, foi adicionado os 10g de solo e de areia junto com 10ml de NaOH e 40ml de água destilada.

Logo em seguida, os *Erlenmeyer* foram encaixados numa mesa agitadora, onde ficaram sobre agitação mecânica por no mínimo 16h50min (das 16h até às 8h50min do dia seguinte) com rotação entre 120 a 130 rpm. Após o tempo de agitação decorrido, os fracos eram retirados e lavados com água destilada, sobre um conjunto de peneira com abertura de 0,53mm, com funil encaixado numa proveta de 500ml. Para o procedimento deve-se retirar todo resíduo de solo do *Erlenmeyer*, onde na peneira ficará a fração areia e na proveta argila e silte.

Ao retirar todo resíduo do *Erlenmeyer*, as partículas que ficaram na peneira devem ser lavadas até que a água fique totalmente clara, o que significa que toda fração argila e silte foi removida, ficando apenas areia que foi colocada numa lata de alumínio e, por fim, deve permanecer em uma estufa. Ao final é necessário completar o volume da proveta com água destilada até a marca de 500ml.



**Figura 20.** Pesagem e Agitação das amostras de solo. A e B) Amostra de solo e areia sendo pesadas em balança semi analítica e organizadas em *Erlenmeyer* com NaOH para agitação mecânica. C) Mesa agitadora utilizada para agitação e dispersão das partículas. D) Conjunto de peneira com abertura de 0,53mm, funil e proveta de 500ml para lavagem do *Erlenmeyer* e separação das frações de areia, argila e silte. Fonte: O Autor (2018)

3º Passo: *agitação manual, pipeta e estufa* (Figura 21). Para separação da argila e silte, através do método da pipeta, é necessária a agitação do líquido na proveta por tempo estimado em 1 minuto, com frequência e velocidade igual para todos, para que haja movimentação das partículas e depois ocorra o processo de sedimentação. Para saber o tempo exato de sedimentação da fração silte na profundidade de 5cm, utilizou-se um termômetro de mercúrio para medir a temperatura do líquido na proveta, conforme orientação do Manual de Métodos de Análise de Solos da EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017).

Com o tempo determinado para que houvesse a separação das frações argila e silte, foi utilizada uma pipeta de vidro para retirar 10ml da solução na proveta em uma profundidade de 5 cm e despejada em um becker de 10ml, o que representa a fração argila. Com a fração areia e argila já separadas, foram levadas em formas para estufa onde permaneceram por 24h sobre uma temperatura de 105°C.



**Figura 21.** Processo de decantação e estufa. A) Proveta de 500ml após agitação manual. B) Lata de alumínio com a fração areia e becker de 10ml pipetado contendo a fração argila. C e D) Areia e argila retirados da estufa. Fonte: O Autor (2018).

4° Passo: *calculo e determinação da porcentagem de cada fração.*

Antes de colocar cada fração nas latas de alumínio e beckers, estes foram tarados para conhecer o peso real de cada recipiente e, deste modo, descontar o seu peso no cálculo da massa de cada fração. Após o tempo de estufa, foi realizada uma nova pesagem de cada recipiente, para calcular através de diferença (peso inicial – peso final).

Foi necessária a determinação da umidade residual do solo utilizado para análise, onde foi pesado 10g de solo e levados para estufa, em seguida, foi pesado novamente para saber o valor exato de quantas gramas de solo havia em cada amostra, eliminando assim toda umidade. Para calcular a porcentagem de cada fração, utilizou-se a seguinte equação (Figura 22):

$$S_m = \left( \frac{m_{af} \cdot f}{m_i} \right) + \left( \frac{(m_{at} - m_{af}) \cdot f}{m_i} \right) + \left( \frac{(m_{sa} - m_{ar}) \cdot f}{m_i \cdot R_v} \right) + \left( \frac{(m_{ar} - m_{br}) \cdot f}{m_i \cdot R_v} \right)$$

Em que:

$S_m$  – somatório das massas das frações, em g.

$m_{af}$  – massa de areia fina, em g.

$m_{at}$  – massa de areia total, em g.

$m_{sa}$  – massa de silte + argila, seca em estufa, em g.

$m_{ar}$  – massa de argila, seca em estufa, em g.

$m_{br}$  – massa do controle, seca em estufa, em g.

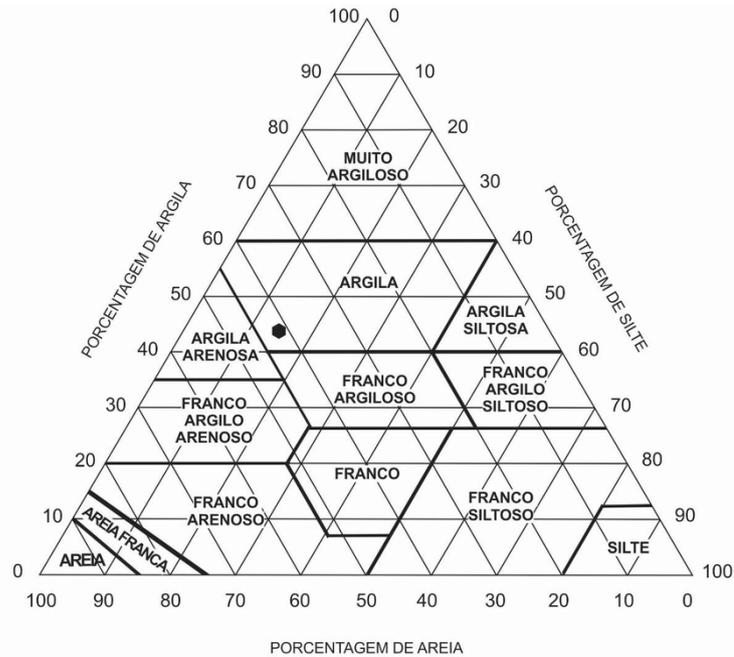
$m_i$  – massa inicial da amostra, em g.

$R_v$  – razão do volume pipetado para o volume total da proveta.

$f$  – fator de correção de umidade para a massa inicial (item 3.5).

**Figura 22.** Equação utilizada para calcular as frações de areia, argila e silte para cada amostra de solo. Fonte Teixeira et al. 2017.

Os valores foram transformados em porcentagem através de regra de três simples, e cruzado com o triangulo textural para classificação de cada horizonte (Figura 23).



**Figura 23.** Triângulo textural de solo para análise granulométrica.

Com os teores de areia, silte e argila calculados para cada solo, aplicou-se o método de Bouyoucos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012), conforme equação 3.

$$K = \frac{(\% \text{Areia} + \% \text{Silte})}{\% \text{Argila}} \times 100$$

(Eq. 3)

Os valores do fator K para cada classe de solo são apresentados na tabela 8.

**Tabela 8.** Granulometria das classes de solo e valor do fator K.

Classe de solo	Areia %	Silte %	Argila %	Fator K
Latossolo Vermelho	13	18	68	0,0135
Neossolo Litólico	32	24	43	0,0332
Neossolo Regolítico	61	26	11	0,0647
Neossolo Quartizarênico	82	9	7	0,0842
Cambissolo Háptico	35	21	41	0,0368
Plintossolo Háptico	64	18	17	0,0661
Gleissolo Melânico	75	10	14	0,0764

Organização: Abrão, C.M.R (2019).

### 3.3 Elaboração do Fator LS

O comprimento de rampa e grau de declive é representado na equação de perda de solo por intermédio das variáveis L e S respectivamente. No entanto, para aplicação prática, são considerados como fator topográfico denominado LS. Este fator é a relação esperada entre a perda de solo por unidade de área em um declive

qualquer com relação as perdas de solo correspondentes de uma parcela unitária de 22m de comprimento com 9% de declive, bem com a velocidade do escoamento superficial (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Para o cálculo desse parâmetro foi utilizado o MDT, onde foi criado um arquivo de direção e acumulação de fluxo que são variáveis da equação elaborada por Desmet e Govers (1996), utilizada para obter o valor de S, conforme apresentada a seguir:

$$(Eq. 5) \quad L(i,j) = \frac{(A(i,j)+D)^{m+1} - A(i,j)^{m+1}}{X^m * D^{m+1} (22,13)^m}$$

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 coordenada (i,j)(m<sup>2</sup>);

D=tamanho da grade de células (m);

X(i,j) valor da direção do fluxo; e

m= coeficiente dependente da declividade.

Já o fator S foi calculado a partir da equação 6 desenvolvida por McCool et al. (1987), onde a declividade é expressa em graus.

$$(Eq. 6) \quad \begin{aligned} SM &= 10,8 \operatorname{sen} \theta + 0,03 \quad (S < 9\%) \\ SM &= 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,50 \quad (S \geq 9\%) \end{aligned}$$

Onde:

SM é a inclinação média da vertente; e

$\theta$  é o ângulo de inclinação da encosta.

Ambos os procedimentos foram realizados utilizando a álgebra de mapas no ArcGIS, no qual entra com as variáveis e realizada operações matemáticas. Com os dois fatores calculados recorreu-se a mesma extensão para unir os dois através da multiplicação.

### 3.4 Elaboração do Fator CP

O fator de manejo do solo (C) é a relação esperada entre as perdas de solo de um terreno cultivado em dadas condições e as perdas correspondentes de um terreno mantido continuamente descoberto (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). O uso da terra e cobertura vegetal influencia nas perdas de solo, tal fato ocorre ao oferecer diferentes níveis de proteção contra os agentes erosivos, principalmente a chuva (GUERRA, 2012).

O fator prática conservacionista (P) é a relação entre a intensidade esperada de tais perdas com determinada prática conservacionista e aquelas quando a cultura está plantada no sentido do declive (morro abaixo) (SALOMÃO, 2012). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), as práticas conservacionistas mais comuns para as culturas anuais são: plantio em contorno, plantio em faixas de contorno, plantio direto, terraceamento e alternância de capinas.

Os fatores C e P foram calculados de acordo com os resultados de uso da terra e cobertura vegetal, assim como os trabalhos de campo realizados na área de estudo para identificar áreas protegidas pela vegetação e adoção de práticas conservacionistas. O mapa de uso da terra e cobertura vegetal foi elaborado a partir de imagens do satélite Sentinel 2A (21KWS; 21KXR e 21KXS), sensor MSI (*multi-spectral instrument*), bandas 2B, 3G e 4R, com resolução espacial em 10m, com data de 29/04/2018, extraídas do bando de dados do USGS. O processamento dessas imagens foi realizado no software ENVI 5.0.

As classes de vegetação foram mapeadas de acordo com a classificação proposta no projeto GeoMS (SILVA et al., 2011), cuja base de dados é para todo o estado de Mato Grosso do Sul na escala de 1:100.000. Foi utilizada a classificação supervisionada, pela coleta de amostras dos pixels em diferentes locais da imagem e utilizado o algoritmo *Maximum Likelihood Classification*, que apresentou melhores resultados para classificação de imagens. O padrão de cores das classes de uso da terra e cobertura vegetal seguiu os manuais técnicos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de uso da terra (IBGE, 2013) e vegetação brasileira (IBGE, 2012). A tabela 9 mostra os valores atribuídos, numa escala de 0 a 1, para as classes de uso da terra e cobertura vegetal e as práticas de conservação de solo. Assim como o fator LS, esse fator também apresenta valores adimensionais.

**Tabela 9.** Valores atribuídos aos fatores C e P.

<b>Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal</b>	<b>Fator C</b>	<b>Fator P</b>
Vegetação Aluvial	0,1	0,1
Vegetação Decidual Submontana	0,1	0,1
Vegetação de Savana	0,1	0,1
Vegetação Secundária	0,2	1
Pastagem	0,6	0,6
Agricultura	0,8	0,8
Solo Exposto	1	1
Silvicultura	0,3	0,2
Área Úmida	0,5	0,1
Corpos D'gua	1	0,1
Área Urbana	1	1

Organização: Abrão, C.M.R (2019).

Após a determinação de todas as variáveis, foi calculado o Potencial Natural de Erosão (PNE) onde são utilizados apenas os fatores físicos (R, K, LS) para identificar às áreas mais frágeis a perda de solos (sem ainda a presença dos fatores C e P. Logo, em seguida, os dois fatores foram incorporados na equação que resultou na modelagem completa de perda de solos, levando em conta a proteção da vegetação e os tipos de uso da terra. Esses procedimentos foram realizados no ArcGIS, através da multiplicação das variáveis.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Fator R e K**

A soma da erosividade média anual (fator R) encontrada para a BRSA, ficou em 6.325 Mj/mm.ha/h/ano, variando entre 662,28 a 804,21 na média mensal (Figura 24a). As áreas com os valores mais altos estão localizados no alto curso da bacia, devido ao maior acúmulo de chuvas registradas pelas estações de Maracajú, Ponta Porã e Antônio João. No meio e baixo curso estão os valores intermediários e mais baixos, entre 660 a 740 Mj/mm.ha/h/ano.

O clima regional apresenta duas estações bem definidas, sendo que o maior acúmulo de chuvas ocorre entre os meses de outubro a março e redução da pluviosidade em abril até setembro. A ação da chuva é a principal força de remoção das partículas do solo através da erosão hídrica, que vai adquirindo volume e força, que, por sua vez, gera a energia cinética da água e acaba fazendo o transporte dos agregados em maior ou menor quantidade, de acordo com as características físicas

do solo, cobertura vegetal e inclinação do relevo (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012).

Os valores para o fator K variaram de 0,0135 a 0,0642 t.ha/MJ/mm, com média de 0,0330 t.ha/MJ/mm. As áreas com Neossolo Regolítico e Neossolo Quartzarênico foram as que apresentaram maior valor (0,0600 a 0,0800 t.ha/MJ/mm), bem como os Plintossolos (Figura 24b). Estes solos foram classificados como arenosos, apresentando valores acima de 70% de areia em sua composição e, conseqüentemente, tornam-se mais susceptível a erosão.

Os Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos apresentaram valores menores, entre 0,0300 a 0,0600 t.ha/MJ/mm, mas são considerados frágeis devido ainda estarem em processo de formação e desenvolvimento. Os solos com menor valor de erodibilidade foram os Latossolos Vermelhos, devido a grande presença de argila em sua composição e serem bem desenvolvidos.

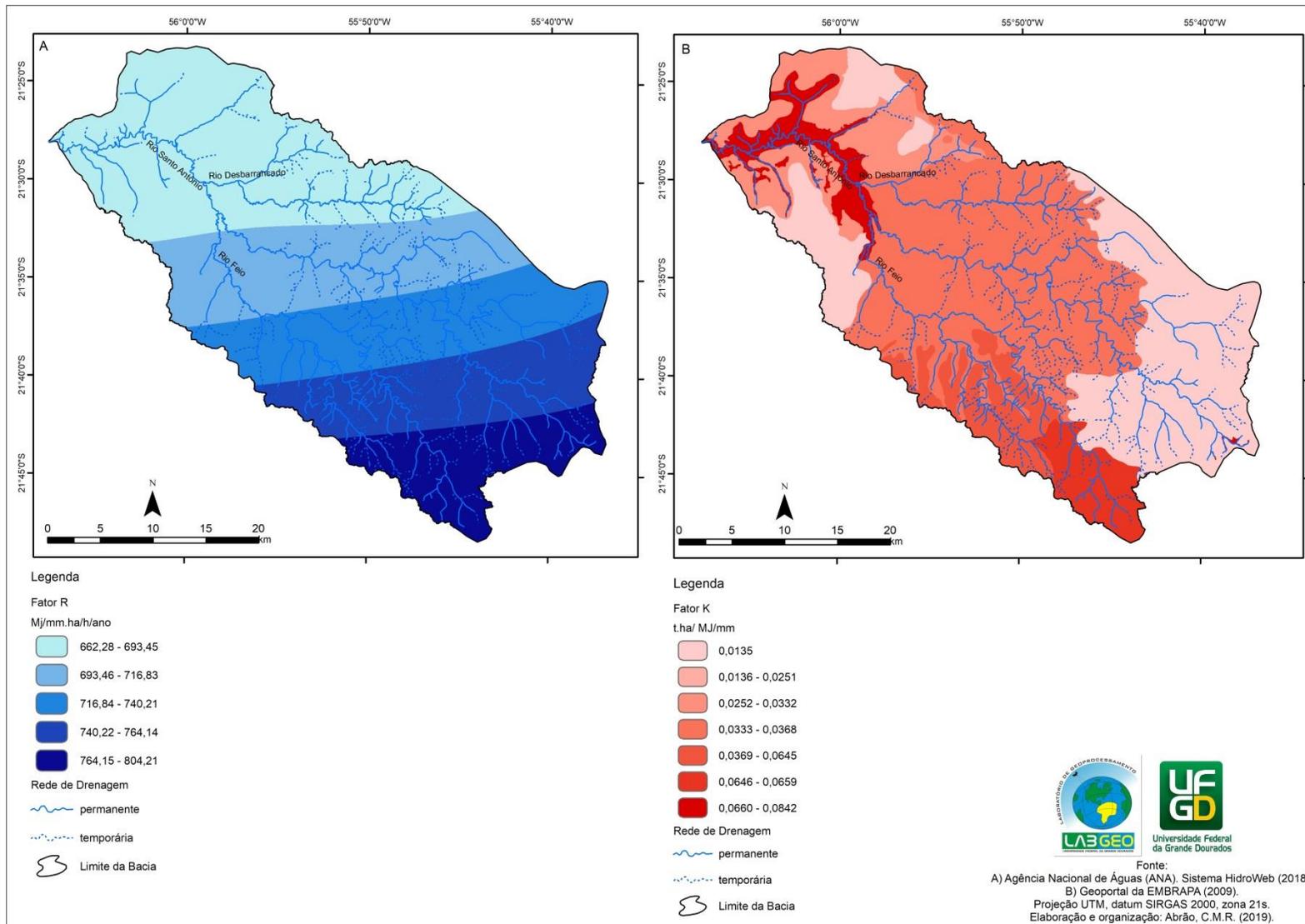


Figura 24. Mapa com fatores R e K para BSA.

## 4.2 Fator LS

O fator LS para BHSA ficou entre 0,03 a 8,75, com predomínio dos valores entre 1 a 3,45 (Figura 25). Estes valores estão especializados, principalmente, em áreas do médio curso, onde o relevo apresenta maior declividade (acima de 15%), com presença de morros e morrotes com alto grau de dissecação. Nesses mesmos locais ocorrem os solos mais rasos da bacia, os Neossolos Litólicos e Cambissolos Háplicos.

Os valores mais baixos estão localizados em áreas do alto e baixo curso, onde o relevo é mais plano e suave e com solos mais desenvolvidos, como os Latossolos Vermelhos. A compreensão da inclinação e distribuição das formas de relevo são essenciais para identificar áreas mais susceptíveis a processos erosivos e fornecem informações para o planejamento ocupacional das áreas com as diferentes atividades, bem com adoção de práticas conservacionistas (ROSS, 2009).

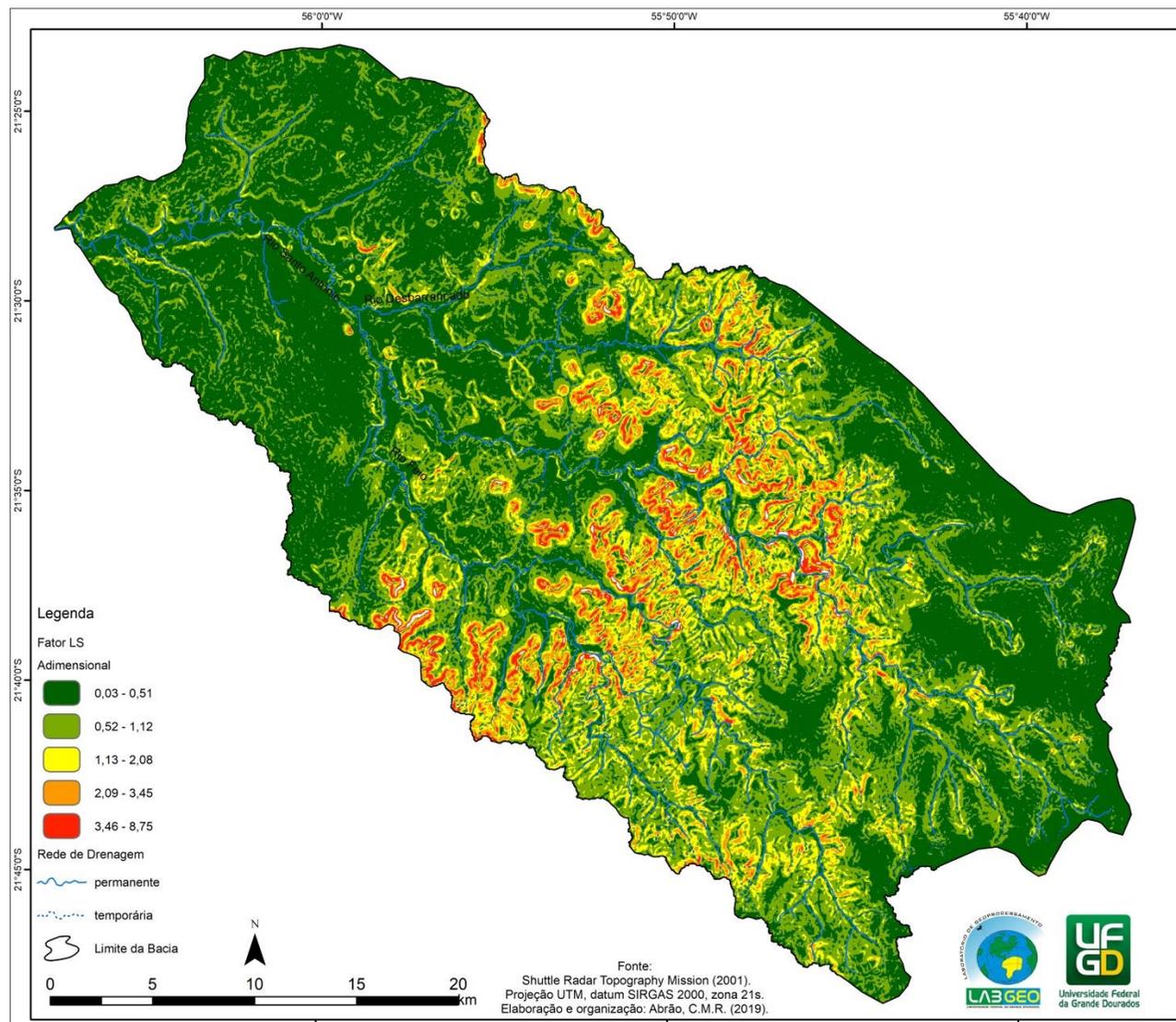


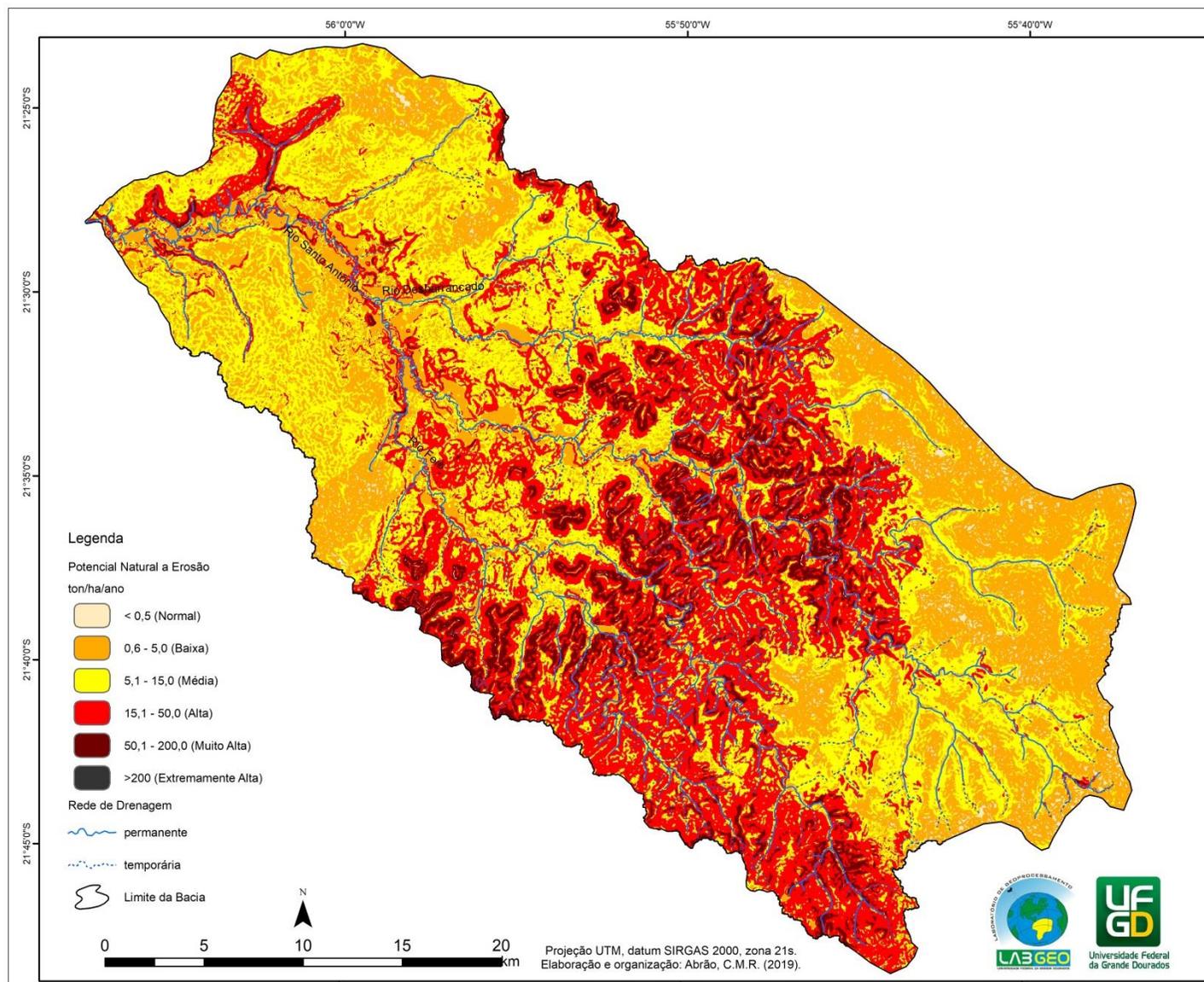
Figura 25. Mapa dos Fatores L e S para BHSA.

Com a elaboração dos fatores físicos da EUPS, foi possível gerar o mapa de Potencial Natural de Erosão (PNE) (Figura 26), com a identificação de todos os graus de erosão classificados pela *Food and Agriculture Organization* (FAO, 1980) dos locais mais frágeis da bacia com integração do solo/relevo/ chuva, sem levar em conta a cobertura vegetal, uso da terra e práticas conservacionistas.

Os resultados apontam que quase todo médio curso da bacia é frágil à ação da erosão e a perda de solos. Esse resultado se deve a presença de solos (Neossolos Litolíticos e Regolíticos) com pouca consistência textural e sendo muito rasos com espessura de até 12 cm, em área de relevo acidentado com declividade maior que 15%.

Segundo a classificação da FAO (1980) em relação às taxas de perda de solos, nessas áreas estima-se uma perda entre 5 a 15 ton/ha/ano e 15 a 50 ton/ha/ano de solos por ano, sendo classificada de média a alta, respectivamente. Áreas do alto e médio curso apresentaram taxas de normal a baixa, exceto nas áreas com Neossolo Quartzarênico e Plintossolo Háplico.

Entre as classes de erosão encontradas, o nível médio de potencial natural de erosão ocupa 33,71% da área total da bacia, seguido do nível alto de potencial natural de erosão, com 31,46% (Tabela 10). Nesse sentido, mais da metade da área é considerada frágil a perda de solo e devem ser protegidos pela cobertura vegetal, ou usados adequadamente. Conforme apontado no estudo de Asmamaw; Mohammed (2019) diferentes tipos de cobertura da terra irão oferecer maior ou menor proteção do solo, ao interceptar as gotas de chuvas e reduzir o escoamento superficial, protegendo-o contra erosão.



**Figura 26.** Mapa de Potencial Natural a Erosão para BHTA.

**Tabela 10.** Quantificação do Potencial Natural de Erosão (PNE).

<b>Tipo de Erosão (ton/ha/ano)</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
< 0,5 (Normal)	12,44	1,03
0,5 – 5 (Baixa)	322	26,79
5 – 15 (Média)	405,25	33,71
15 – 50 (Alta)	378,11	31,46
50 – 200 (Muito Alta)	84,2	7,00
> 200 Extremamente Alta	0,00	0,00
Total	1.202	100

Organização: Abrão, C.M.R (2019).

Resultados semelhantes foram encontrados por Cunha et al. (2017) e Galdino (2012) em bacias hidrográficas da região do Pantanal, cujas as áreas estudadas apresentaram alto índice de PNE. Os maiores valores de perda natural estavam associados à fragilidade dos solos, principalmente nas áreas compostas por Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Litólicos. Sendo assim, antes de qualquer tipo de uso destas terras, é relevante levar em conta essa informação, pois qualquer alteração na cobertura ou uso inadequado desses solos podem levar à degradação e severos impactos ambientais.

#### 4.3 Fator CP

Os fatores C e P estão relacionados aos tipos de uso da terra e cobertura vegetal e a forma que isso pode causar a mitigação ou aumento das taxas de perda de solos por erosão hídrica. Segundo Guerra (2012), a cobertura vegetal funciona como um “guarda-chuva” do solo, mantendo-o protegido durante os eventos de chuva, bem como fornecer nutrientes e matéria orgânica que são incorporados ao solo, pelos processos de decomposição da cobertura morta.

Os valores de C e P para área de estudo variaram de 0,1 a 1,0, onde as classes de vegetação receberam o menor valor, devido a proteção que já exercem aos solos (Figura 27). Já as classes de uso e cobertura da terra associadas à pastagem e à agricultura, ficaram entre 0,6 a 1,0, sendo mais susceptível aos processos de erosão e perda de solo. As práticas conservacionistas também foram classificadas de 0,0 a 1,0, sendo que os valores mais próximos de 0 representam maior proteção contra erosão e mais próximos de 1, menor proteção. Os pesos foram definidos de acordo com os resultados de trabalho de campo, ao observar o uso de práticas de plantio direto, terraços e manutenção da cobertura vegetal.

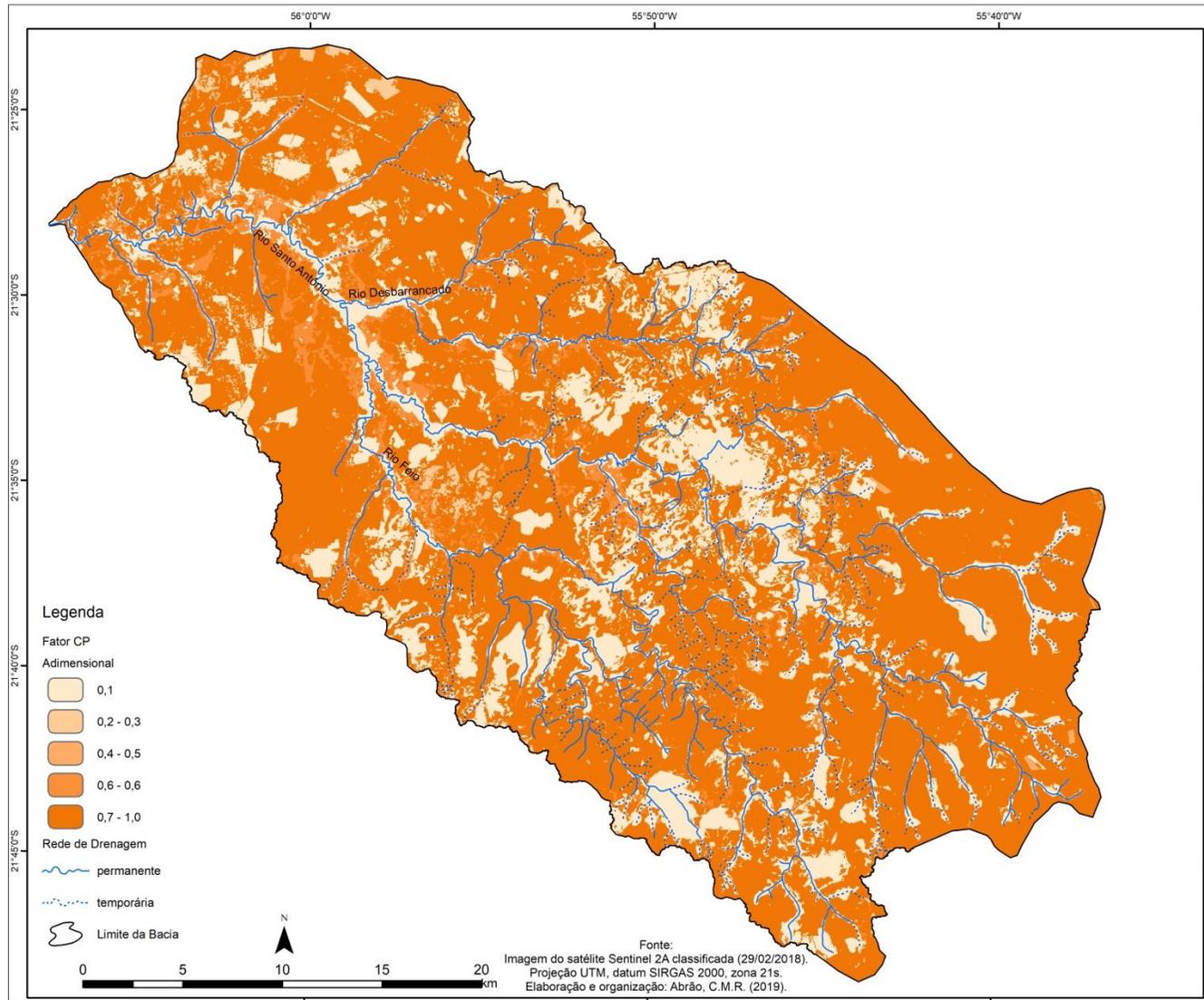


Figura 27. Mapa do Fator C e P para BSA.

#### 4.4 Uso da terra e cobertura vegetal

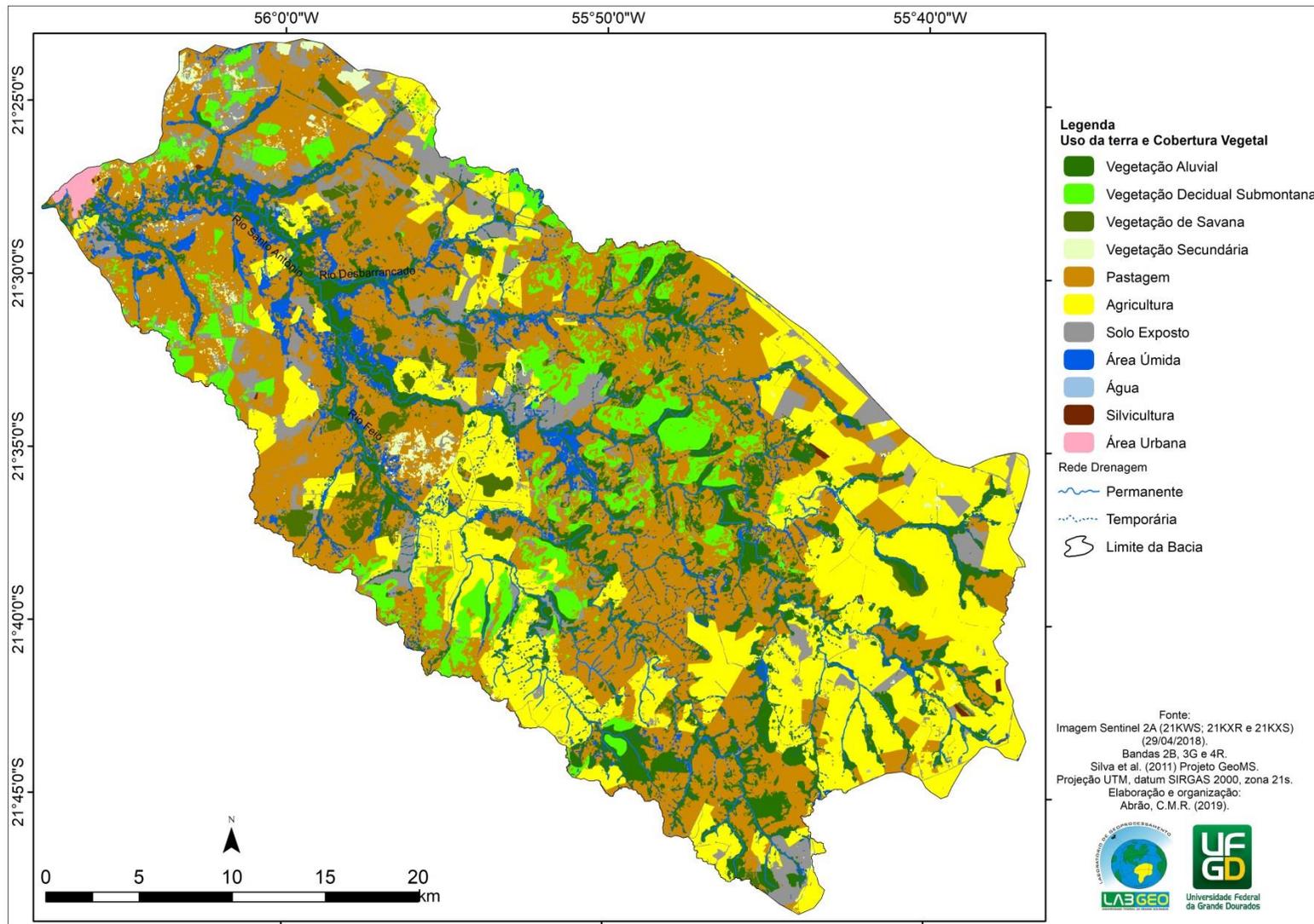
Na BHSA foram identificadas quatro classes de cobertura vegetal e sete classes de uso da terra (Figura 28). As classes de vegetação identificadas e mapeadas foram vegetação aluvial, que ocupam 13% da área (Tabela 11) identificadas próximas aos mananciais de água. A vegetação decidual submontana (6,82%), que são encaves da vegetação originária da mata atlântica que estão em contato com a vegetação de cerrado nas áreas mais elevadas da bacia (médio curso). A vegetação de savana ou cerrado (1,94%) está fragmentada pela bacia, pois grande parte de sua área já está ocupada por pastagem ou agricultura. Já as áreas de vegetação secundária (1,09) estão distribuídas irregularmente e são compostas pela regeneração de área de savanas e matas.

Em relação aos tipos de uso da terra, há um predomínio da pastagem (37,70%) ocupando todos os setores da bacia (baixo, médio e alto curso) e agricultura (24,70%), localizada principalmente no alto e médio setor. A pastagem serve como alimento para os bovinos que são criados em larga escala, assim como agricultura com cultivo de soja e milho em boa parte da área mapeada. Entre o intervalo entre um plantio e outro pode ocorrer o manejo de solos como a gradagem para descompactação, o que representa boa parte das áreas mapeadas como solo exposto (8,48%). Existe apenas uma área urbana (0,25%) mapeada que representa a cidade de Guia Lopes da Laguna localizada no baixo curso. Já as demais classes, como área úmida (4,86%) e corpos d'água (0,04%) estão fragmentados pela bacia geralmente próximos as planícies de inundação. As áreas de silviculturas (0,08%) são formadas pelo plantio de *Eucalipto* em áreas para recuperação de pastagens ou Áreas de Preservação Permanentes (APPs).

**Tabela 11.** Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

Classe de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Vegetação Aluvial	168,13	13
Vegetação Decidual Submontana	82,08	6,82
Vegetação de Savana	23,36	1,94
Vegetação Secundária	13,17	1,09
Pastagem	453,16	37,70
Agricultura	297	24,70
Solo Exposto	102	8,48
Silvicultura	1,07	0,08
Área Úmida	58,5	4,86
Corpos D'água	0,52	0,04
Área Urbana	3,01	0,25
<b>Total</b>	<b>1.202</b>	<b>100</b>

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).



**Figura 28.** Mapa de uso da terra e cobertura vegetal para BHS.

#### 4.5 Estimativa de perda de solo

Com a interação entre os fatores naturais e antrópicos da equação, foi estimada, portanto, a perda de solo para BHSA (Figura 29). Foram encontradas 5 classes de erosão, ambas com os valores que variam de 0,5 a > 50 ton/ha/ano. Os valores das classes entre alto e muito alto localizam-se em áreas do médio e uma pequena área do alto curso onde foi identificada a presença de Neossolo Regolítico, solo este predominantemente arenoso. Nessas áreas predominam os tipos de uso com pastagem e agricultura que potencializaram os valores de perda de solos e, assim como resultados apresentados por Bollati et al., (2019), são solos inadequados para o uso, pois apresentam grande quantidade de cascalho em sua composição e considerados solos de alta fragilidade a formação de ravinas e voçorocas.

Nas demais áreas houve um predomínio da classe baixa, principalmente pelas características do relevo suave ondulado e com solos mais estáveis à erosão, bem como algumas áreas de pastagem que oferecem mais proteção ao solo do que alguns cultivos agrícolas. Mais de 33% da bacia apresenta relevo de colinas com declividade que vão até 8% e com presença dos Latossolos Vermelho em 49,83% da sua área. Os locais com perda média estão localizados em áreas dotadas de morrotes, com declividade de até 12% e fundos de vale.

As áreas com perda normal de solos encontram-se nas áreas que ainda mantêm a vegetação, com pequenos fragmentos de savana e vegetação aluvial próximo as margens dos rios e nascentes. Observando o mapa e as distribuições dos tipos de erosão, as características de solo e relevo tiveram maior importância na espacialização dos dados, bem como a presença da cobertura vegetal que ajuda na proteção e redução dos índices na perda de solo, se comparado ao mapa PNE (CUNHA et al., 2017, BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012). Sem a presença da cobertura vegetal, a BHSA apresenta valores maiores de média e alta perda de solo.

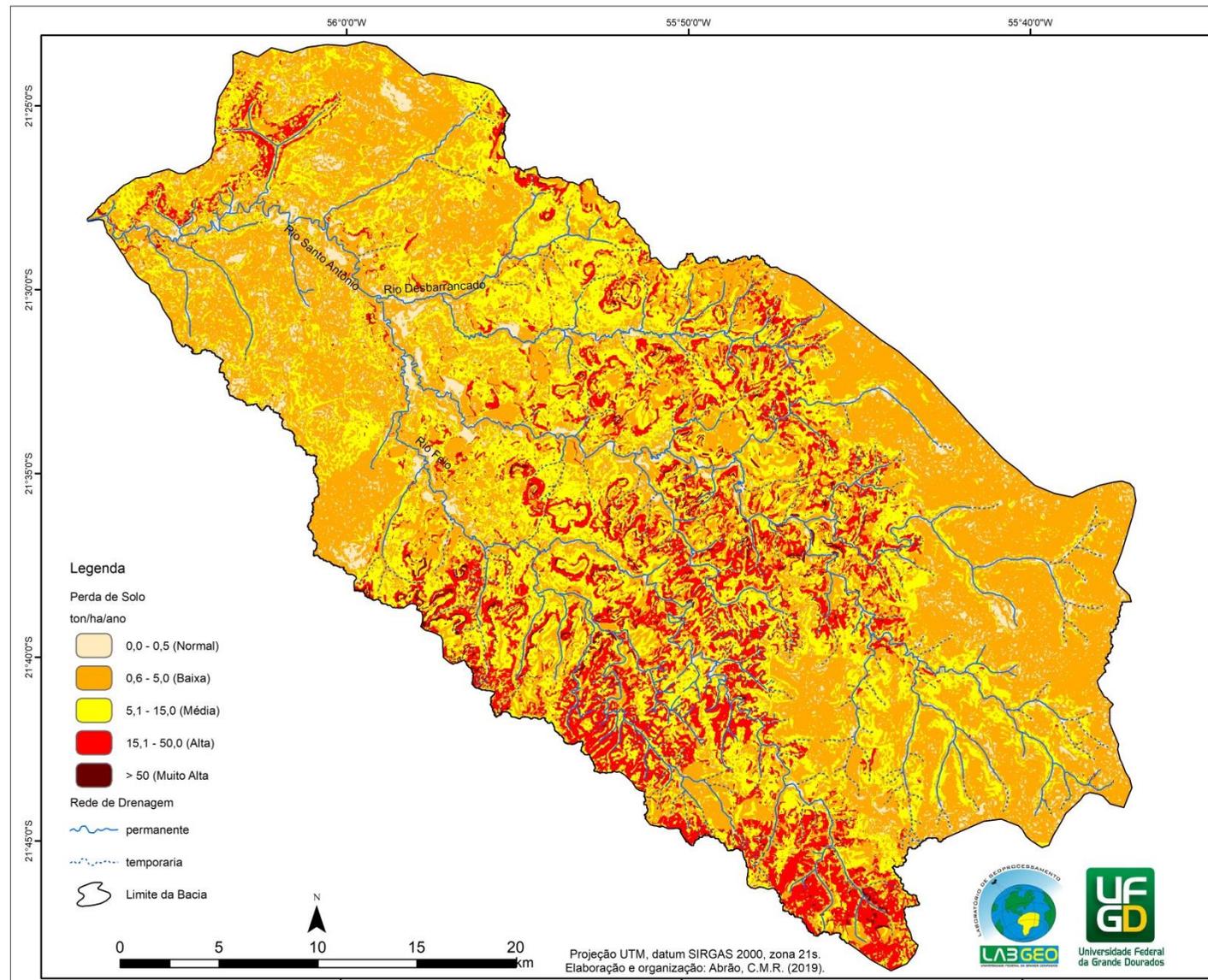


Figura 29. Mapa de perda de solos para BHSa.

A classe de perda de solos considerada baixa ocupa 35,68% da área, seguida pela média e alta, com 33,53% e 24,24% respectivamente (Tabela 12). Entretanto, se somar as classes média, alta e muito alta esse valor passa de 58%, indicado que essa área já se encontra em estado de atenção para com suas taxas de perda de solos.

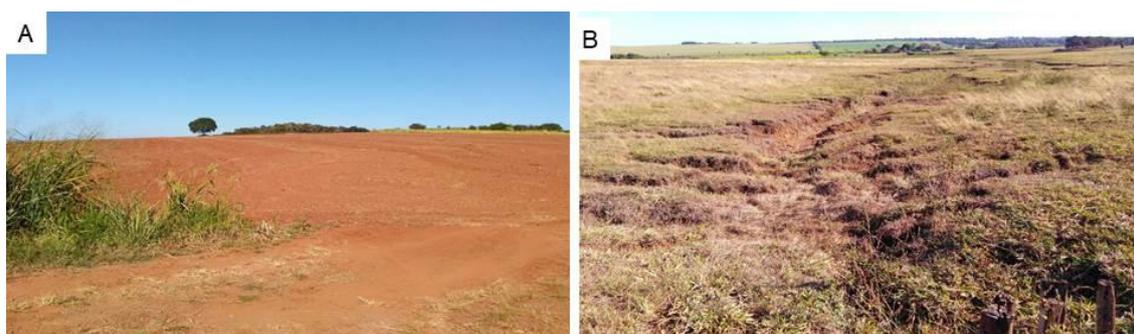
**Tabela 12.** Quantificação da taxa de perda de solos pela EUPS.

Tipo de Erosão (ton/ha/ano)	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
< 0,5 (Normal)	70,72	5,88
0,5 – 5 (Baixa)	428,9	35,68
5 – 15 (Média)	403,09	33,53
15 – 50 (Alta)	291,41	24,24
50 - 200 (Muito Alta)	7,88	0,66
> 200 (Extremamente Alta)	0,00	0,00
Total	1.202	100

Organização: Abrão, C.M.R (2019).

Em trabalho de campo, foi possível identificar áreas classificadas como de média e alta taxa de perda. Na figura 30a, é possível observar que o solo está descoberto, pois está sendo preparado para o cultivo agrícola em uma área de topo de morro com declividade acima de 15%. É possível observar que esses locais é comum a presença de fragmentos de rocha onde ocorrem os neossolos litólicos. Em trabalho publicado por Gusarov et al., (2019) ao estudar a perda de solos em paisagens com relevo muito íngremes ocupada por pastagens a perda de solos foi superior a 15 ton/ha/ano.

A Figura 30b apresenta uma erosão (Ravina) avançando em área de pastagem sobre um Cambissolo, cuja classificação para perda de solo é do nível médio. No entanto, é necessário que medidas sejam tomadas para estabilizar e não permitir o avanço da erosão.



**Figura 30.** Locais com altas taxas de perda de solos. A) Área classificada com alta perda de solo localizada em topo de morro. B) Erosão em área de pastagem classificada como média perda de solo.

Fonte: Abrão, C.M.R (2018).

Em outra área, o nível de perda de solos apresentou-se baixo devido à presença da vegetação aluvial, está localizada em área de Plintossolo, que foram texturalmente classificados como arenosos. Na Figura 31a foi observado o avanço de erosão em área úmida, localizada na planície do rio Santo Antônio. Essas áreas devem sempre permanecer cobertas com vegetação e preservadas, visto que, de acordo com sua extensão, podem fazer parte das APPs dos rios. Caso sejam utilizadas para outros fins, podem ser facilmente degradadas e de difícil recuperação, especialmente quando se instauram processos erosivos.

Em áreas dotadas de menores índices de perda de solo, isto se deve à utilização de técnicas de prevenção e conservação dos solos por alguns agricultores. Por exemplo, nas áreas com agriculturas, no alto curso da bacia, é adotado o sistema de plantio direto (Figura 31b). As condições de relevo plano e solos bem desenvolvidos favorecem o uso de máquinas e diminuem os custos de produção.

Segundo Lal (2019), essa técnica é de fundamental importância para manutenção da matéria orgânica no solo e fixação do carbono no solo. Solos cultivados sem proteção algumas são erodidos de forma mais acelerada e, dependendo da espessura do horizonte superficial, podem perder toda sua capacidade produtiva e as taxas de erosão superar a taxa de formação de solos e, desse modo, comprometer a sua total recuperação.



**Figura 31.** Processos erosivos e técnicas de proteção do solo. A) Ravina localizada na planície aluvial do rio Santo Antônio. B) Área com adoção de plantio direto. Fonte: Abrão, C.M.R (2018).

Segundo Bortoleti Junior et al. (2015), a principal característica do sistema de plantio direto é evitar a mobilização do solo, ou seja, o solo não precisa ser arado ou gradeado para semeadura, que diminui as perdas de solo e surgimento de processos erosivos. Segundo Silva e De Maria (2011) as taxas de perdas de solos são muito menores nas áreas agrícolas que adotam a técnica de plantio direto na

palha, além de manter a água por mais tempo no solo mantendo-o sempre úmido, bem como reposição dos nutrientes devido a grande presença de matéria orgânica.

No médio curso, existem áreas de agricultura que não adotam esse sistema, pois deixam o solo exposto em alguns períodos do ano. Isso potencializa a perda de solos, sem a camada protetora de restos vegetais, estes ficam expostos e vulneráveis a remoção dos agregados nos eventos de precipitação (SADEGHI et al., 2017). Nesse contexto, é imprescindível a conservação desse recurso com manejos corretos, como terraceamento dos terrenos inclinados, plantio direto para proteção do solo e respeitando sua limitação, para não causar a sua total inutilização e danos irreversíveis.

## **5. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados para PNE demonstram que a BHSA apresenta tendência de média a alta para a perda de solo em área do médio curso, onde os valores do fator K e LS foram maiores. Com a implementação do fator antrópico (C e P) houve uma redução nos valores para perda de solo para classe baixa, devido à presença da vegetação aluvial e de savana algumas áreas da bacia.

Porém, se os valores das classes, média, alta e muito alta forem somadas ele atinge mais de 58%, ou seja, a maior parte da bacia já se encontra em estado de atenção para com relação a perda de solos. Isso já é visualizado em alguns pontos visitados em trabalho de campo, em que a vegetação foi suprimida das encostas e topos de morros, cujos solos são facilmente erodidos, dando lugar para estas áreas, por sua vez, para cultivos agrícolas, ou em áreas de pastagem sem manejo, ambos locais encontram-se com ausência de práticas conservacionistas.

Caso não sejam adotadas medidas para contenção e diminuição das taxas de perda de solo, grandes áreas podem tornar-se improdutivas para produção agrícola, com a remoção dos horizontes mais superficiais do solo, além de causar o assoreamento dos cursos d'água. Por conseguinte, é importante o uso dessas informações para melhor planejar e ordenar a ocupação dessas áreas e elaborar novas informações a partir dos dados de perda de solos, como capacidade de uso, zoneamento ambiental e aptidão agrícola.

## **CAPÍTULO IV**

### **CAPACIDADE DE USO DAS TERRAS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO, MATO GROSSO DO SUL - BRASIL**

#### **1. INTRODUÇÃO**

Segundo Lepsch (2010), a exploração dos solos deve ser pautada no uso de técnicas conservacionistas para evitar a sua exaustão, baseando-se no uso correto de acordo com sua capacidade ou aptidão agrícola. O mesmo autor ainda afirma que a capacidade nada mais é do que potencialidades e limitações que são expressas pelas condições do meio físico, por exemplo, um solo raso e pedregoso, logicamente, seria menos capaz de possibilitar um uso agrícola, isto é, há uma baixa aptidão.

A capacidade agrícola visa indicar, segundo as propriedades físicas e químicas do solo e características do relevo, a melhor maneira de usar determinada área, tipo de cultura apropriada e técnicas de conservação do solo (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; SILVA NETO, 2012). Segundo Demarchi (2012), os modelos de quantificação de perda de solos, podem ser conciliados com o sistema de capacidade de uso das terras e aptidão agrícola, considerando as características do meio físico e as limitações de uso.

Esse sistema de avaliação de aptidão agrícola das terras foi desenvolvido por pesquisadores da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) para indicar os tipos de uso agrícola mais recomendados para as áreas, levando-se em conta as características físicas naturais (solo, topografia, hidrografia, vegetação) e o nível de manejo permitido (LEPSCH et al. 1991; RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; RAMALHO FILHO; PEREIRA, 1999).

Sendo assim, é necessário subsidiar esses planos com estudos com este viés e que sejam aplicados, com o principal objetivo de evitar usos inadequados dos recursos naturais e minimizar gastos financeiros para recuperação de áreas degradadas. Os problemas relacionados à erosão podem causar a perda de fertilidade dos solos cultivados, levando ao assoreamento dos rios, eutrofização da água, perda de biodiversidade e danos na infraestrutura, como erosão de estradas (SEPURA; DUBE, 2018)

Com o amplo uso das técnicas de geoprocessamento, e o sensoriamento remoto, usando os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), é importante para a elaboração de produtos cartográficos com mais rapidez, menores custos e uma

confiabilidade aceitável. Segundo Demarchi (2012), as geotecnologias são importantes ferramentas para a elaboração do planejamento ambiental, avaliação do uso e degradação do solo, bem como predizer as perdas de solo por erosão e indicar o melhor tipo de uso para agricultura e simulação de cenários futuros numa perspectiva otimista (aderindo às recomendações de uso) ou pessimista (não aderindo às recomendações de uso). Portanto, avaliar e classificar a capacidade de uso das terras é muito contributiva para a gestão das bacias hidrográficas, que se aplicada corretamente, torna-se uma ferramenta essencial para o desenvolvimento em bases sustentáveis.

Sendo assim, este capítulo tem por objetivo avaliar a capacidade de uso da terra na Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio (BHSA), para subsidiar medidas de planejamento e racionalização destes espaços, além de contribuir para que haja um redirecionamento das atividades agropecuárias.

## 2. ÁREA DE ESTUDO

A BHSA está localizada entre as coordenadas 21°28'06"S; 21°35'45"S e 55°59'20"O; 55°44'18"O nas regiões Sudoeste e da Grande Dourados do estado de Mato Grosso do Sul (MS) (Figura 32). Tem uma área de aproximadamente 1.202 km<sup>2</sup>, cujo principal canal é o rio Santo Antônio que desagua no rio Miranda. Pela sua grande extensão, ela abrange quatro municípios das regiões, sendo eles: Guia Lopes da Laguna, Nioaque, Maracaju e Ponta Porã.

Apenas Guia Lopes da Laguna tem sua sede municipal inserida parcialmente nessa bacia. Essas regiões se destacam na produção agropecuária e boa parte desses municípios apresentam altos índices de produtividade nas principais *commodities* como soja, milho e cana de açúcar.

Segundo dados compilados de Araujo et al., (1982) e Lacerda Filho et al. (2006) existem afloramentos formação Aquidauana, Botucatu, Serra Geral, Caiua e Ponta Porã que abrange boa parte da área. Sobre essas formações foram esculpidas formas de relevos aplainados no baixo curso e um relevo mais dissecado no médio curso, formando um conjunto de morros e morrotes com vertentes íngremes e um platô no alto curso, inseridos na macroformação geomorfológica da bacia sedimentar do paraná (ALVARENGA et al., 1982).

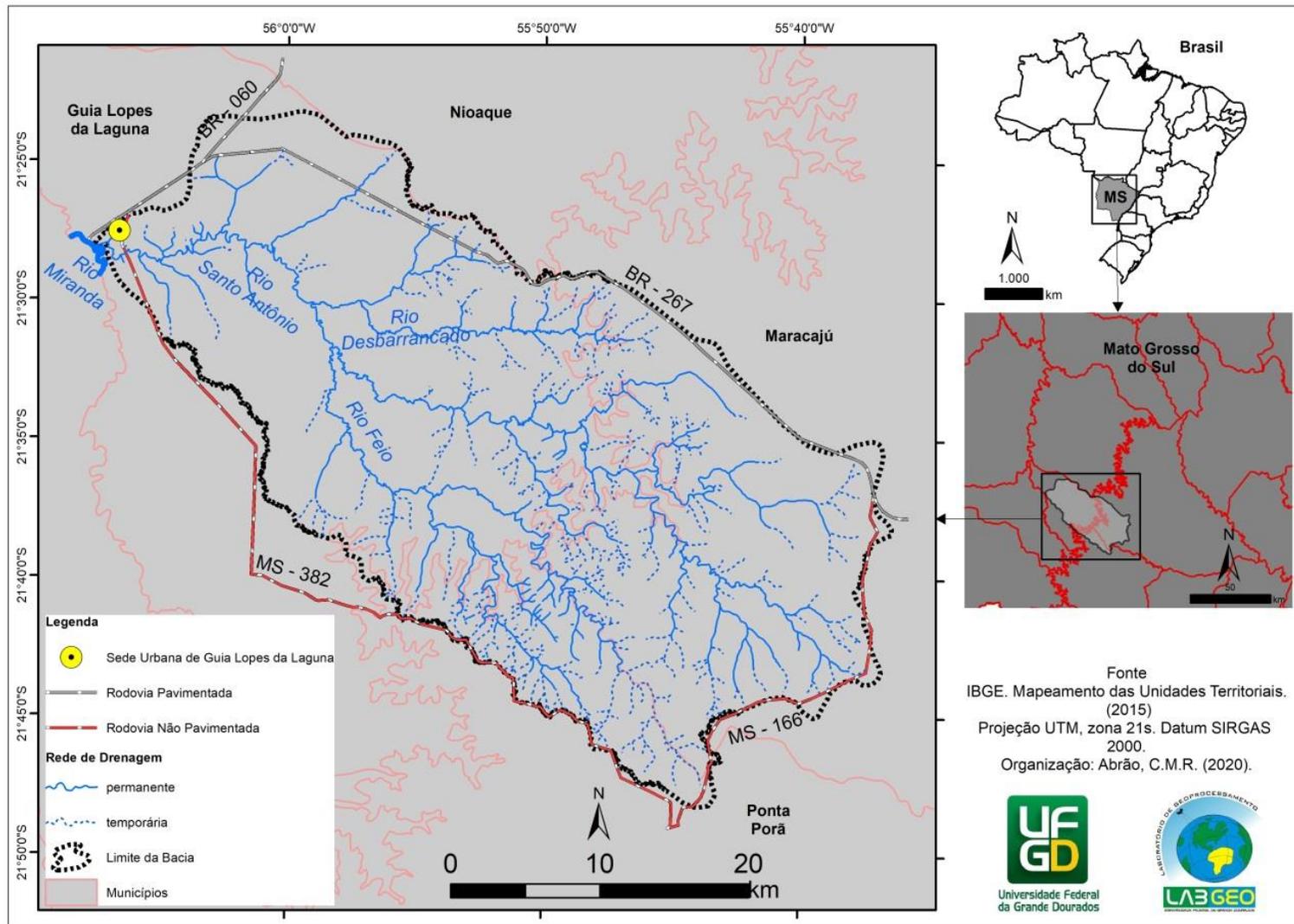


Figura 32. Mapa de Localização da BSA.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

A capacidade de uso das terras e aptidão agrícola é uma metodologia desenvolvida pela Embrapa (RAMALHO FILHO; PEREIRA, 1999), para avaliar a melhor forma de aproveitamento do solo para uso agrícola ou conservação da flora e fauna. São formadas por três grupos (indicando o nível de intensidade) e oito classes caracterizando cada tipo de solo e manejo a ser adotado, conforme descrito abaixo:

Grupo A – terras próprias para todos os tipos de usos, inclusive cultivo intensivo.

Classe I – solos profundos, e relevo plano, não sujeitos a inundação, necessitando de pequenas correções ou correções periódicas de fertilidade.

Classe II – terras com limitações moderadas de uso, ligeira inclinação e com riscos moderados de degradação e erosão do solo. Necessitam de práticas de conservação, como curva de nível e plantio direto.

Classe III – terras apropriadas para o cultivo, mas que necessitam de práticas mais complexas de conservação. Solos com declive maior, solos com desenvolvimento intermediário, são susceptíveis a erosão e com limitações edáficas. Necessitam de práticas de conservação, como terraços e plantio direto.

Grupo B – terras impróprias para cultivos intensivos, mas apta para pastagens e reflorestamento ou manutenção da vegetação natural.

Classe IV – terras com limitações permanentes a agricultura, pois apresentam forte declive, solos em formação e muita pedregosidade na superfície. Apta para pastagem ou cultivos permanentes (laranjais, cafezais) que protegem o solo ou silvicultura.

Classe V – terras com relevo quase plano, pouco sujeito a erosão, mas com limitações ao solo que sofrem com excesso de água (hidromórficos). É recomendando apenas para pastagem, reflorestamento ou manutenção da cobertura vegetal.

Classe VI – terras inaptas para cultivos e, quando usada para pastagem requer cuidados intensivos para evitar a erosão. Recomenda-se o reflorestamento com espécies comerciais ou manutenção da vegetação natural.

Classe VII – terras com severas limitações ao uso mesmo com pastagem ou reflorestamento. São terrenos muito inclinados, erodidos, ressecados ou pantanosos, considerados de baixa qualidade. Devem ser áreas destinadas apenas para reflorestamento ou manutenção da cobertura vegetal.

Grupo C – terras impróprias para cultivos, recomendadas para a proteção da flora e fauna.

Classe VIII – terras impróprias para uso agrícola, pastagem ou florestas comerciais. Devem ser mantidas com vegetação natural para proteção da flora e fauna silvestre. São áreas com terrenos íngremes, montanhosos ou com muitos afloramentos rochosos, dunas costeiras e mangues.

Para construção da capacidade de uso da terra na BHSA, foi necessário fazer algumas adaptações metodológicas e nas variáveis para área de estudo em relação a proposta apresentada por Lepsch et al. (1991) e Lepsch (2010). Foram utilizados, para mensuração desta capacidade de uso, os parâmetros físicos declividade e solo para os agrupamentos das classes, bem como as recomendações de uso e conservação (Quadro 4). Com isso, foram definidos três grupos e sete classes, onde três classes permitem o uso agrícola intensivo, moderado e com restrição. Já as outras quatro classes são recomendadas através do uso pela pastagem, reflorestamento ou manutenção da cobertura vegetal.

Além desses grupos presentes na metodologia, optou-se, nesta pesquisa, por criar grupo com a classe especial para os Neossolos Quartzarênicos, devido a sua alta suscetibilidade a erosão e por estarem localizados em um relevo ligeiramente inclinado, onde poderiam ser agrupados em classes que permitem uso intensivo pela agricultura ou pastagem. Esse solo deve receber tratamento diferenciado de uso e manejo, para evitar a sua degradação.

**Quadro 4.** Critérios adotados para elaboração da capacidade de uso da BHSA.

Grupos	Classe de capacidade de uso	Critérios adotados	Declividade (%)	Solos
A	Classe I	Apto para cultivo intensivo	0-3	Latossolo Vermelho Eutrófico
	Classe II	Apto ao cultivo intensivo, com limitações moderadas sobre a fertilidade do solo e com ligeira inclinação do relevo	3-8	Latossolo Vermelho Distrófico
	Classe III	Necessitam de práticas mais complexas de conservação, declividade moderada e limitações física e química do solo	8-12	Cambissolo
B	Classe IV	Limitações permanentes ao cultivo intensivo, mas apto	12-20	Neossolo Regolítico, Neossolo

		para pastagem e silvicultura		Litólico
	Classe V	Áreas sujeitas ao encharcamento do solo pela água ou áreas de riscos à inundações, aptas para pastagem ou manutenção da vegetação nativa	0-3	Plintossolo e Gleissolo
	Classe VI	Apta para pastagem com restrição, somente deve ser cultivada com uso de práticas conservacionistas. Apto para silvicultura	20-45	Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico
	Classe VII	Manutenção da vegetação nativa	>45	Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico
*	Classe de uso especial	Neossolo Quartzarênico	0-3	Neossolo Quartzarênico

Fonte: Lepsch (1991). Adaptado por: Abrão, C.M.R. (2019).

Os dados referentes à declividade foram elaborados a partir do Modelo Digital do Elevação (MDE) corrigido a partir de pontos amostrais da imagem de radar SRTM (2000), com resolução espacial de 30m, extraída do banco de imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2018) e dados das cartas topográficas que recobrem a área de estudo (Boqueirão SF 21-X-C-V; Jardim SF 21-X-C-II; Maracajú SF 21-X-D-IV e Nioaque SF 21-X-C-III) elaboradas pelo Serviço Geográfico do Exército (SGD). Os intervalos entre as classes de declividade foram definidos de acordo com os valores propostos pela Embrapa (1997), que representam as feições de relevo na área de estudo.

As classes de solos foram extraídas do banco de dados do Geoportal da Embrapa (2009). O mapa foi reinterpretado com base nas informações de campo, imagem de satélite Sentinel 2A, Modelo Digital de Elevação (MDE) e análise de laboratório. Com esses dados, procedeu-se alguns ajustes nos polígonos originais e acrescentando mais uma classe de solos, os neossolos quartzarênicos que antes estavam mapeados como Cambissolos.

Os tipos de uso da terra e cobertura vegetal foram obtidos através da classificação supervisionada de imagens do satélite Sentinel 2A (21KWS; 21KXR e 21KXS), sensor MSI (*multi-spectral instrument*), bandas 2B, 3G e 4R, com resolução espacial em 10m, com data de 29/04/2018, extraídas do bando de dados do USGS.

O processamento dessas imagens foi realizado no software ENVI 5.0. As cenas foram mosaicadas e exportadas em formato *raster*. Foram definidas as classes e coletados pixels em diferentes regiões pelas imagens. Para a classificação foi utilizado o algoritmo *Maximum Likelihood Classification*, que apresentou melhores resultados. Para identificar as fitofisionomias de vegetação teve como base as informações do projeto GeoMS (SILVA et al., 2011), cuja base de dados é para todo o estado de Mato Grosso do Sul na escala de 1:100.000.

Logo em seguida foi realizada sobreposição de camadas no software ArcGIS entre os fatores declividade e solo, onde foram especializadas as classes de capacidade de uso da terra, conforme visto no quadro 4. A classe especial dos neossolo quartzarênico foi definida posteriormente, de acordo com abrangência desta classe de solo, visto que na classificação inicial esse solo se enquadraria nas classes II e IV de uso. Em trabalho de campo, percebeu-se que essas áreas deveriam ser classificadas como especial, visto que já apresentam estágios avançados de degradação e seu uso para criação de animais e cultivos tornam-se inviáveis.

#### **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A BHSA apresentou extensas áreas com relevo plano com inclinação entre 0 a 8%, conforme pode ser visto na figura 33. São locais com predomínio de colinas com topo suave, localizadas no baixo e alto curso da bacia ou áreas planas próximas aos fundos de vale, que compreendem as planícies de inundações. Já as áreas mais inclinadas (com declividade acima de 8%) estão localizadas no médio curso, nas vertentes de morros e morrotes formando um conjunto de relevo mais acidentado. Também foram identificadas áreas mais declivosas nas bordas de terraço no baixo curso.

A faixa de declividade entre 3 a 8% é a classe que predomina na bacia, ocupando mais de 45% da área e, em seguida, o surgimento dos intervalos de 0 a 3% abrangendo 31,48%, conforme pode ser visto na tabela 13. Isso demonstra que essa bacia possui extensas áreas com relevo plano e passível de ocupação, respeitando os limites de uso.

Áreas com declividade acima de 12% apresentam dificuldades para o uso agrícola, devido ao grande risco de erosão dos solos, bem como a inviabilidade

econômica com gastos com maquinários e correção de solos. Resultados semelhantes foram constatados por Yuan et al. (2019) que aponta os fatores topografia, clima uso e cobertura como os principais fatores naturais para erosão do solo e que as atividades antrópicas potencializam esse fenômeno.

**Tabela 13.** Quantificação da declividade na BHSA.

Declividade (%)	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
0-3	378,38	31,48
3-8	551,60	45,89
8-12	148,74	12,37
12-20	90,97	7,56
20-45	32,05	2,66
>45	0,16	0,01
Total	1.202	100

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

Já os neossolos quartzarênicos estão localizados no terraço do rio Santo Antônio, compondo 1,99% da área. Nas áreas de transição entre um relevo com topografia mais inclinada e outro plano (terço/médio) se formam os cambissolos, que ocupam 5,18% de área. Nas áreas de planície e inundação, estão os solos hidromórficos, plintossolos háplicos e gleissolo melânico, ocupando 5,15% e 0,14% respectivamente.

**Tabela 14.** Quantificação das classes de solo.

Classe de Solos	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Latossolo Vermelho	599,07	49,83
Neossolo Litólito	292,04	24,29
Neossolo Regolítico	160,80	13,37
Neossolo Quartzarênico	24	1,99
Cambissolo Háptico	62,34	5,18
Plintossolo Háptico	62,01	5,15
Gleissolo Melânico	1,74	0,14
Total	1.202	100

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

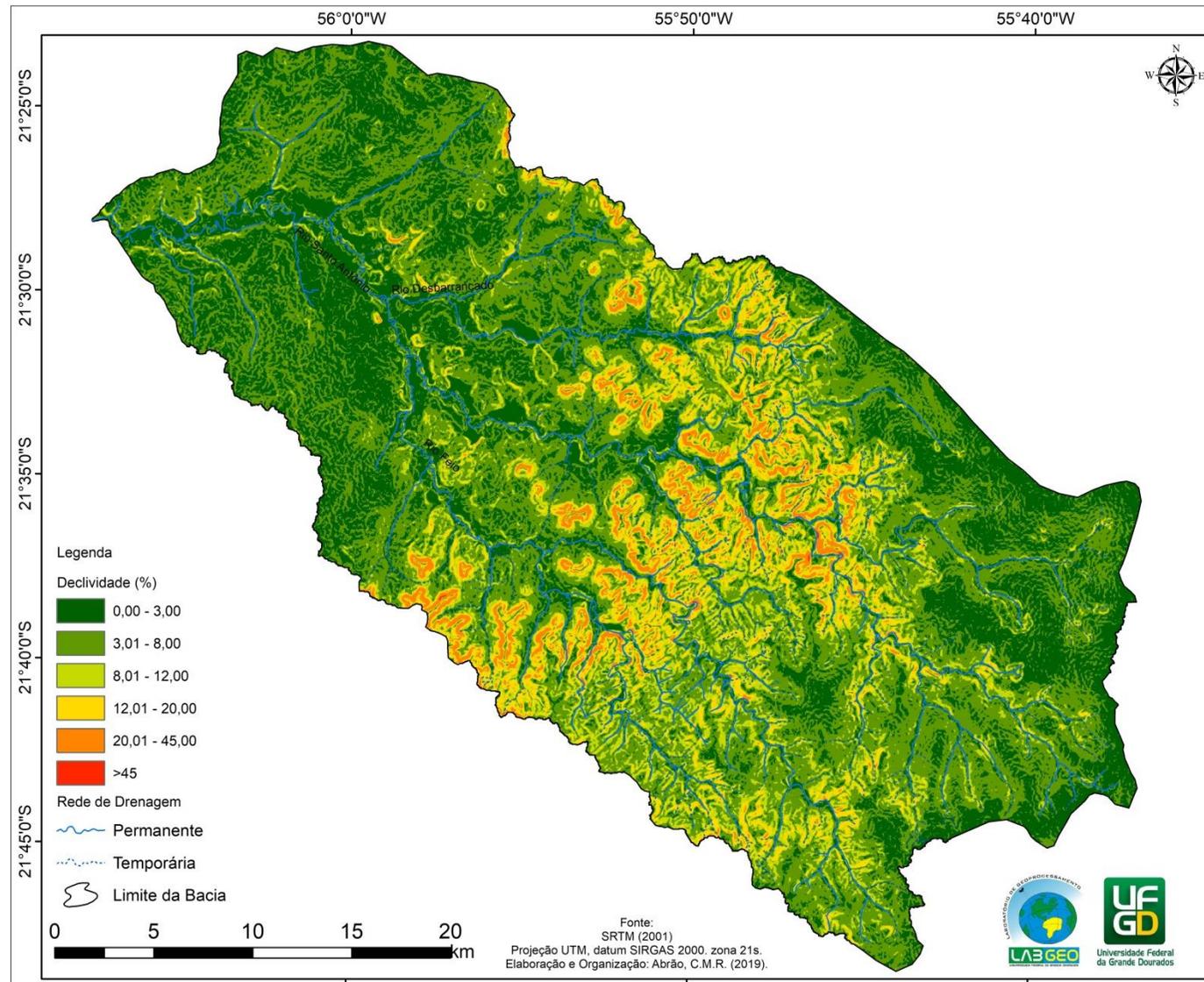


Figura 33. Mapa de Declividade para BSA.

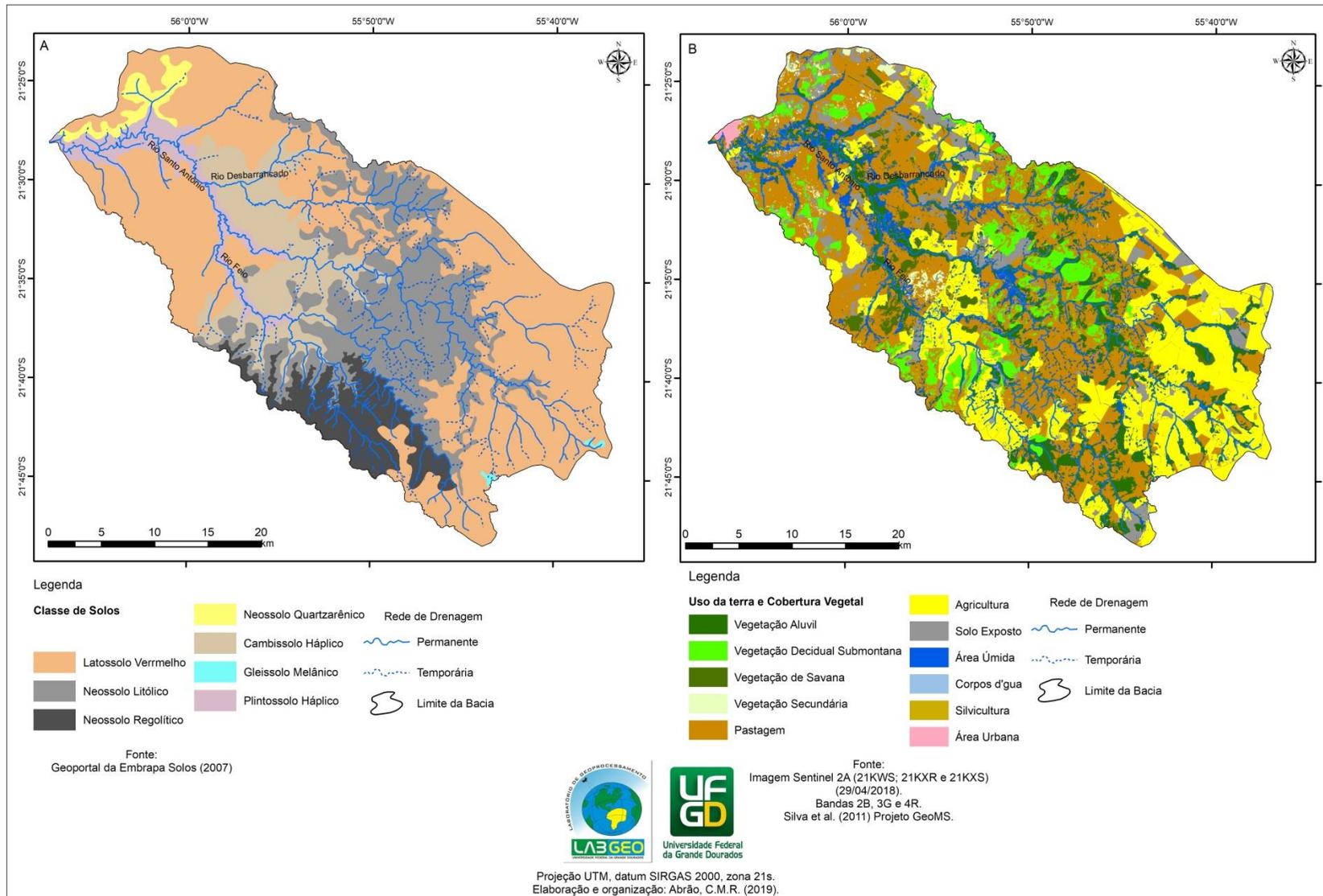
Para os tipos de uso da terra e cobertura vegetal a BHTA apresentou 11 classes, sendo 4 tipos de vegetação e 7 tipos de uso da terra (Figura 34b). Entre as classes de cobertura vegetal, a que mais predomina é vegetação aluvial ocupando 13% da área. Esse tipo de vegetação abrange boa parte das reservas nas Áreas de Preservação Permanentes (APPs) próximo aos córregos e rios. Em seguida, está a vegetação decidual submontana, ocupando 6,82% da área. Esse tipo de vegetação está situada em áreas do médio curso, sobre os topos de morros. As áreas de vegetação de savana ocupam 1,94% da bacia sendo encontrada de maneira fragmentada. E a vegetação secundária abrange 1,09% da bacia, composta por regeneração natural ou áreas de recuperação que também se encontram dispersas pela bacia.

Entre os tipos de uso, a pastagem é predominante em 37,70% da área total, sendo encontrada em todos os lugares da bacia (Tabela 15). A agricultura ocupa 24,70% está mais concentrada no alto e médio curso, juntamente com solo exposto que ocupa 8,48%. As áreas úmidas que ocupam e os corpos d'água estão localizados próximos as mananciais de água e ocupam 8,48% e 0,04% de área. A silvicultura compreende apenas 0,08% da área e são áreas reflorestadas por *Eucalipto*. A classe de área urbana mapeada ocupa apenas 0,25% da extensão dessa bacia e , é composta apenas pelo núcleo urbano de Guia Lopes da Laguna.

**Tabela 15.** Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

Classe de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Vegetação Aluvial	168,13	13
Vegetação Decidual Submontana	82,08	6,82
Vegetação de Savana	23,36	1,94
Vegetação Secundária	13,17	1,09
Pastagem	453,16	37,70
Agricultura	297	24,70
Solo Exposto	102	8,48
Silvicultura	1,07	0,08
Área Úmida	58,5	4,86
Corpos D'água	0,52	0,04
Área Urbana	3,01	0,25
<b>Total</b>	<b>1.202</b>	<b>100</b>

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).



**Figura 34.** A) Mapa de solos para BSA. B) Mapa de uso da terra e cobertura vegetal da BSA.

A partir da integração das variáveis declividade e de solos, a BHSA apresentou suas 8 classes de capacidade de uso da terra, conforme mostra a figura 35. A classe IV ocupa maior área, com mais de 25%, demonstrando que, de acordo com as características físicas dessa área, esta tem vocação para uso de pastagem (Tabela 16).

**Tabela 16.** Quantificação das classes de capacidade de uso da terra.

<b>Classes de capacidade de uso</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Classe I	205,38	17,09
Classe II	266,34	22,16
Classe III	154,52	12,86
Classe IV	308,22	25,64
Classe V	53,48	4,45
Classe VI	168,06	13,98
Classe VII	28,54	2,37
Classe de uso especial	17,46	1,45
Total	1.202	100

**Fonte:** Abrão, C.M.R (2019).

A classe I, que permite uso intensivo, ocupa 17,09% da área, está localizada nas áreas mais planas da bacia, exceto na planície de inundação que não deve ser ocupada por atividades intensivas nem criação de animais, onde predominam os latossolos vermelhos eutróficos, utilizada para agricultura intensiva.

Já a classe II ocupa 22,16% da área, localizada em áreas com relevo plano e suave, onde estão localizados os latossolos vermelhos distróficos, utilizada sobretudo pela pastagem intensiva, sendo destinada para criação de bovinos.

A classe III ocupa 12,86% localizada no médio curso, onde o relevo apresenta maior declividade, sendo necessário uso de técnicas mais complexas de conservação do solo. No entanto, ela também vem sendo usada para agricultura, como cultivo de soja e milho, bem como criação de bovinos em grandes

A classe V ocupa 4,45% da área localizada sobre a planície do rio Santo Antônio, onde estão os solos hidromórficos, plintossolo e gleissolo, com a presença de pastagens nativas. A classe VI ocupa 13,98% e está localizada do médio até o alto curso, em relevo dominado por morros e morrotes, bem com a classe VII, presente em 2,37% da área total, situado na área central da bacia, cuja declividade é maior que 20%, e, que existem alguns remanescentes de vegetação nativa ou pastagem. A classe de uso especial se refere apenas aos neossolos quartzarênicos, presente em 1,45% da área. Essa classe está presente em uma pequena faixa da planície e do terraço fluvial no baixo curso e a maior parte é destinada para pastagem e criação de bovinos em menor escala, formada por pequenas propriedades rurais.

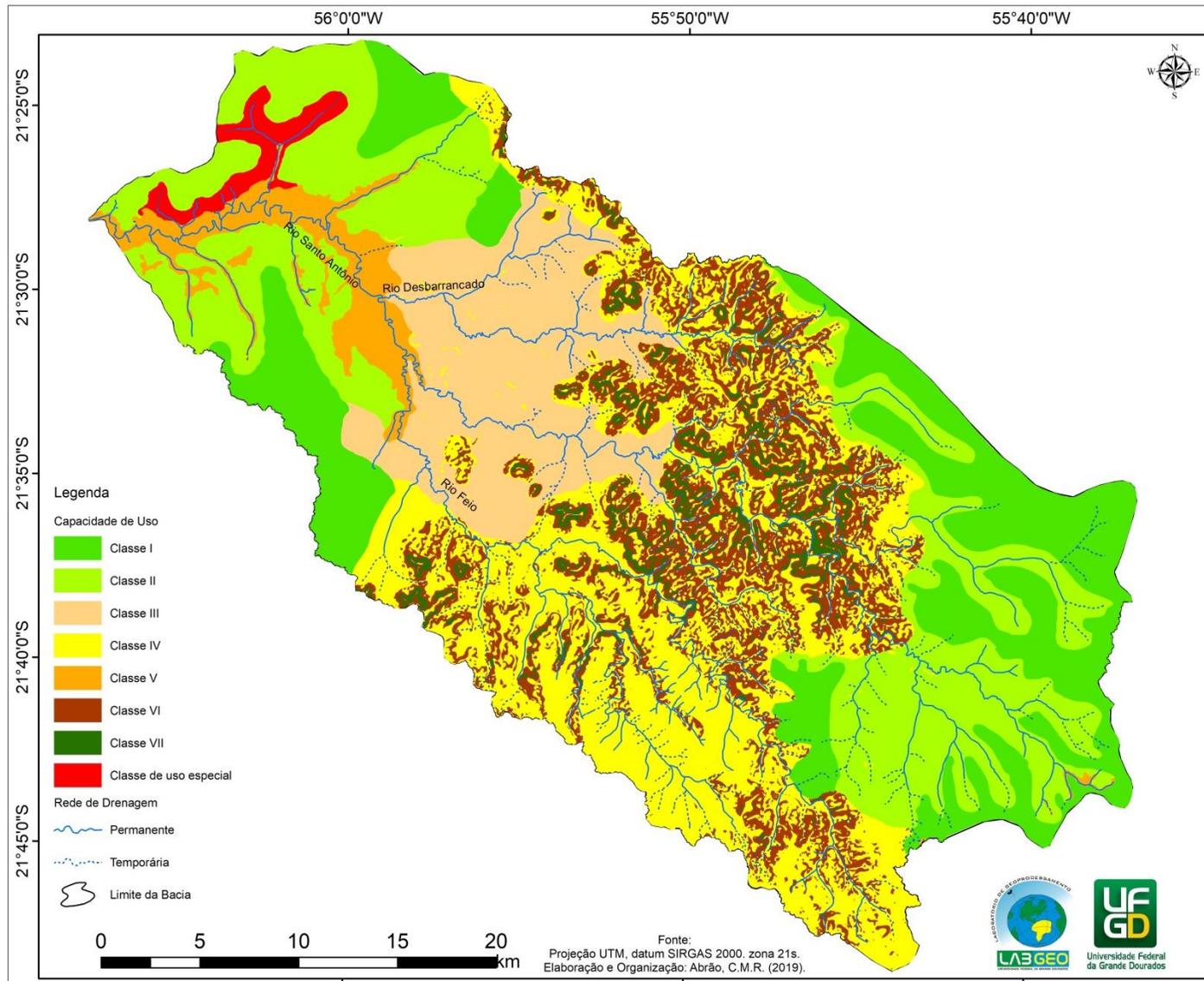
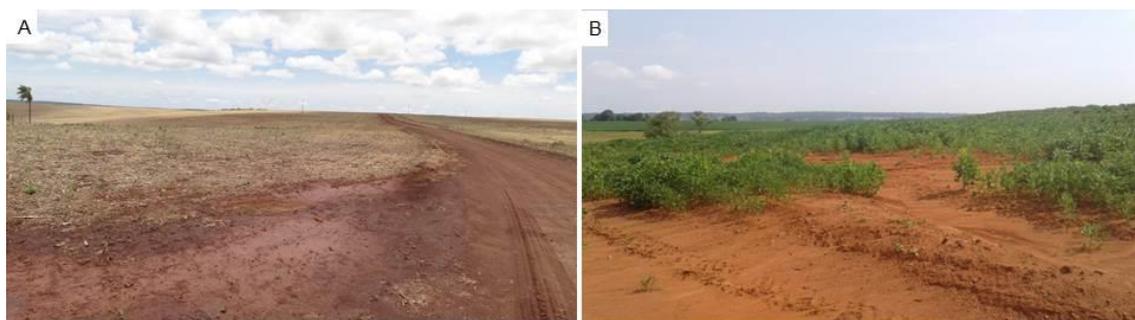


Figura 35. Mapa de capacidade de uso da terra para BHTA.

No trabalho de campo, foi possível observar que as características físicas relacionadas ao relevo e solo influenciam diretamente no uso da terra nesta bacia. A figura 36a, mostra uma área localizada no alto curso usada para agricultura. As condições com declividade baixa e solo fértil e bem desenvolvido favorecem o uso intensivo dessa área. No entanto, existem áreas que devem ser usadas com cautela, como mostra a figura 36b, cuja área representa a classe II. Nessa classe devem ser tomadas medidas para prevenção de erosão, pois o relevo já apresenta uma ligeira inclinação, o que torna o solo susceptível a erosão. Ressalta-se, ainda, o uso das técnicas de plantio direto mais utilizados em áreas com agricultura do alto curso e pouco usada no médio e baixo curso.

Em estudo publicado por Sinha et al. (2018), atividades agrícolas mal planejadas podem deixar o solo empobrecido com a perda de nutrientes e partículas pela erosão, compactação e que, concomitantemente, vai mudar a estrutura do solo, obrigando os produtores a gastar com ação mecânica e adubos químicos. Em outros casos, essas áreas são abandonadas e não recuperadas aumentando ainda mais os danos aos solos (JAZOULI et al., 2019)



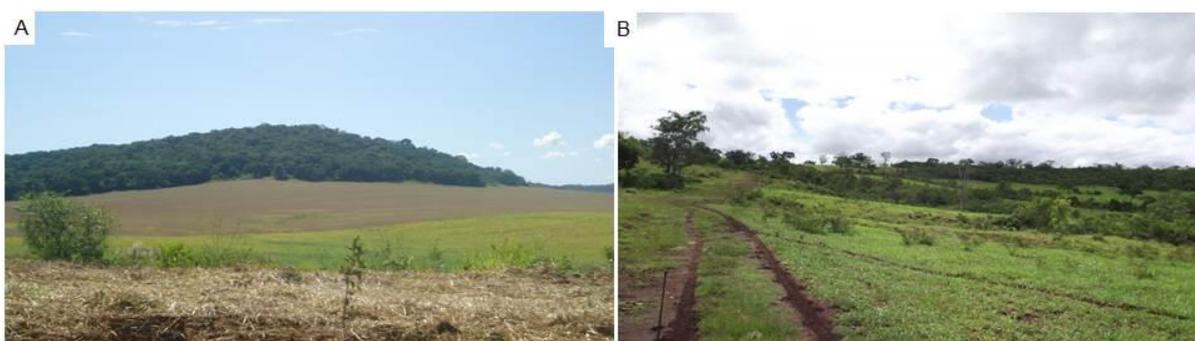
**Figura 36** Classes de capacidade de uso da terra. A) área utilizada para agricultura enquadrada na classe I de capacidade de uso da terra. B) área utilizada para agricultura enquadrada na classe II de capacidade de uso da terra. Nota-se o uso da técnica de plantio direto na figura A e ausência na figura B. Fonte: Abrão, C.M.R. (2019)

A Classe III compreende áreas com relevo ondulado (declividade de 8 a 12%) onde ocorrem os Cambissolos Háplicos na BHSA (Figura 37a). São áreas que necessitam de atenção ao serem usadas pela agricultura, com o uso de técnicas mais contundentes contra a erosão do solo. No entanto, conforme proposto por Asmamaw; Mohammed (2019) deve-se tomar o cuidado para não utilizar em excesso e, sempre com cultivos mais longos que ofereçam maior proteção ao solo, pois são áreas da BHSA que apresentam média fragilidade de perda de solo e

considera-se como o mais recomendado intercalar as lavouras com pastagem integrado com os sistemas agroflorestais.

A classe IV é destinada, por sua vez, para uso de pastagem e criação de animais em larga escala. São áreas com relevo forte ondulado (declividade acima de 12%) considerada uma área inapta para uso agrícola intensivo. Também, nessas áreas, podem ocorrer solos em desenvolvimento e dotados de alta pedregosidade (Figura 37b).

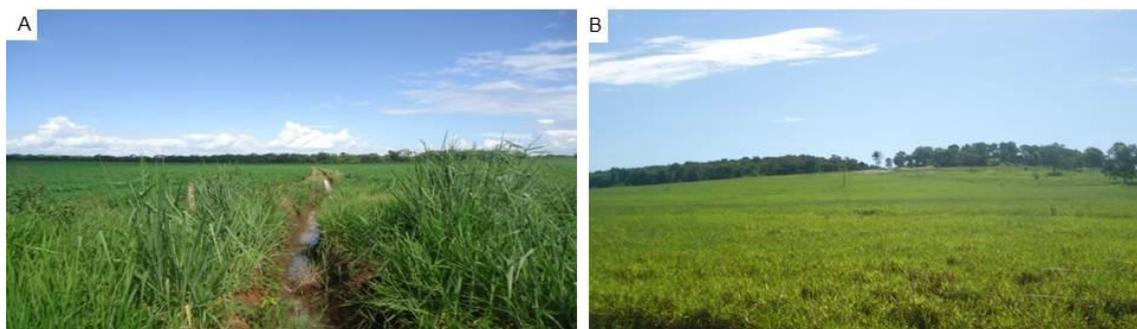
Resultados semelhantes foram encontrados por Silva Neto (2012) na bacia hidrográfica do rio Salobra, em Bodoquena, Mato Grosso do Sul, onde a recomendação foi apenas para uso para pastagem ou silvicultura. Já os resultados publicados por Jazouli et al. (2019) apontam uma série de benefícios ao recuperar ou manter essas áreas com cobertura vegetal nativa nos topos de morro para prevenção nos processos erosivos, perda de solos, abastecimento dos aquíferos, proteção dos mananciais e manutenção da biodiversidade.



**Figura 37.** Locais forte declividade e pouca capacidade para uso agropecuário. A) área classificada como classe III na capacidade de uso, sendo utilizada para agricultura. Nota-se a ausência a de curva de nível em relevo ondulado. B) área classificada como classe IV utilizada para pastagem. Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

A classe V compreende áreas com relevo plano (0 a 3%) localizadas nas planícies dos cursos d'água (Figura 38a). Nesses locais os solos sofrem com hidromorfismo, em vista disso, permanecem encharcados de maneira permanente ou temporária, Portanto, mais indicado é o uso pela pastagem ou conservação da vegetação nativa. No entanto, em trabalho de campo, verificou-se o uso de algumas dessas áreas com agricultura intensiva, com o cultivo de lavoura de soja. Esses solos, quando usados de maneira intensiva correm o risco de ressecamento, o que nos plintossolos podem causar a formação de petroplintitas, causando o endurecimento e diminuindo a produtividade das culturas.

A classe VI é composta por áreas com declividade maior que 20%, sendo recomenda apenas para pastagem com uso de terraços e curva de nível (Figura 38b). Resultados semelhantes foram encontrados por Silva Neto (2012), que também recomendou a recuperação das pastagens degradadas com vegetação nativa ou silvicultura.



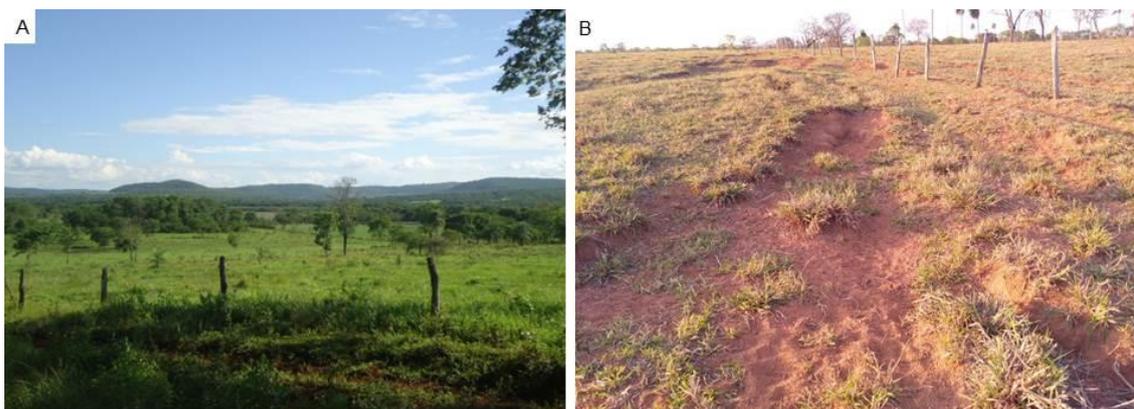
**Figura 38.** Locais com restrição ao uso agropecuário. A) área classificada na classe V para capacidade de uso da terra, sendo utilizada de maneira inadequada, segundo as recomendações de uso. B) área da classe VI utilizada para pastagem. Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

A classe VII está reservada apenas para a manutenção da cobertura vegetal, localizada nos topos de morro, com declividade superior a 45%. São locais impróprios para qualquer tipo de uso, sendo fundamental a manutenção da biodiversidade (Figura 39a). Sugere-se também a formação de corredores ecológicos para interligar essas áreas com os demais fragmentos de vegetação, para facilitar a circulação dos animais silvestres (TEKA et al., 2020).

Por sua vez, a classe de uso especial abrange as áreas onde estão localizados os neossolos quartzarênicos, cuja textura apresenta-se muito arenosa, com granulometria composta por até 80% de areia. Segundo Souza e Lobato (2009), são solos com baixa aptidão agrícola e fácil degradação, isso ocorre devido a baixa fertilidade e pouca presença de matéria orgânica, o que quase inviabiliza seu uso econômico. Nesse sentido, recomenda-se a manutenção da cobertura vegetal, principalmente aquelas próximas aos mananciais e o reflorestamento de áreas já degradadas, com pastagens, que podem ser utilizadas para silvicultura.

Na figura 39b é possível observar uma área de neossolo quartzarênico ocupado pela pastagem já degradada, e com marcas de erosão causadas pelo pisoteio contínuo dos animais. Nesse caso, sugere-se a recuperação da pastagem, com implantação do sistema agroflorestal para recuperação. Em trabalho publicado por Karlen (2019) os solos devem ser manejados com práticas sustentáveis que garantam sua manutenção e preservação dos demais recursos naturais (água e

vegetação) para total proteção ao meio ambiente, devendo ser seguidas as orientações técnicas de manejo e capacidade que cada solo pode suportar.



**Figura 39.** Locais com capacidade de uso especial. A) área classificada como classe VII na capacidade de uso da terra. B) Pastagem degradada e marcas de erosão em área com neossolo quartizarênico.

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados obtidos foram identificadas e avaliadas as áreas, de acordo com a capacidade de uso de cada parte da BHSA. Existem áreas localizadas no alto e baixo curso da bacia que estão de acordo com sua capacidade, pois apresentam boa aptidão ao uso intensivo para agricultura. Porém, mesmo com uso intenso é sempre recomendado o uso de práticas conservacionistas para proteção dos solos. Como, por exemplo, áreas da classe III em que é permitido uso agrícola, mas com cuidados para evitar a degradação dos solos.

Outro problema identificado foi a ocupação da planície de inundação por agricultura intensiva, o que pode causar graves danos ambientais. Recomenda-se a manutenção das pastagens nativas, cultivos menos intensivos ou conservação da vegetação, visto que é uma área próxima aos rios. Destaca-se também que boa parte da bacia é apta para pastagem, principalmente no médio curso devido ao seu relevo mais acidentado, bem como a preservação de área com remanescentes florestais.

Conforme proposto no ZEE-MS, esta área encontra-se apta para uso agropecuário, porém devem ser observadas suas características físicas com mais cuidado, principalmente no que diz respeito aos solos e seu relevo. Por fim, é necessário estudos mais aprofundados na área que visem propor diretrizes para o ordenamento do território, visto que há uma carência de estudos, dados e bases cartográficas em escala adequada.

## **CAPÍTULO V**

### **PROPOSTA DE ZONEAMENTO AMBIENTAL COMO SUBSÍDIO PARA O ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTO ANTÔNIO, BRASIL**

#### **1. INTRODUÇÃO**

A ideia de organização do espaço vem sendo observada desde a antiguidade, através da importância de como as sociedades alteravam as paisagens naturais, levando em consideração a presença e exploração de recursos para sobrevivência (SANTOS, 2004). Nesses tempos, a organização do espaço ainda se dava graças a preceitos religiosos, de estética e de conforto, sem uma organização atrelada aos aspectos físicos.

Os instrumentos jurídicos, bem como levantamentos de informações sobre os aspectos físicos naturais e socioeconômicos forneceram dados para elaboração de propostas de uso, sobretudo a partir do período renascentista, em que a visão de mundo refletiu uma expressão social de cunho ambiental, em que o naturalista Humboldt, inevitavelmente, acabou alavancando as preocupações ecológicas/ambientais.

Com isso, aos poucos, sobretudo nos séculos seguintes (XIX e XX), vários ramos do conhecimento foram adquirindo métodos e taxonomias de análise variadas, em que os planejamentos, ordenamentos e zoneamentos, seja qual foi sua ênfase, ecológica, econômica, social ou ambiental, foram ganhando força em função da complexidade existente atualmente, que impacta negativamente nos subsistemas.

E é nesse viés que o zoneamento ambiental surge como um método multicritérios para avaliar e entender a relação entre o uso atual, capacidade de uso e as questões legais, podendo objetivar tomadas de decisões. Segundo Silva e Santos (2011), o zoneamento ambiental é a base para o planejamento ambiental, apresentando-se como uma estratégia importante para gestão ambiental, com a espacialização das informações através de um mapa síntese, contendo zonas “homogêneas” e com certa similaridade entre os elementos da paisagem que a compõe. Esta etapa, por sua vez, é composta pelo inventário ou diagnóstico ambiental sobre o território que se refere as suas características físicas naturais, o uso da terra e os seus impactos ambientais que, no final, subsidiará o planejamento

ambiental, o zoneamento e o ordenamento (SILVA; SANTOS, 2011; SANTOS, 2004).

As atividades que a sociedade desenvolve sobre determinado território, devem estar de acordo com o que regulamenta o ZEE, servindo como base para o licenciamento ambiental, aptidão agrícola, elaboração de planos de recursos hídricos, etc. (CARVALHO, 2014). Sendo assim, é de fundamental importância detectar mudanças que estão ocorrendo nos ambientes naturais do planeta e promover a produção técnica e científica para auxiliar na tomada de decisões (KARLEN, 2019).

Segundo Silva e Rodriguez (2014), o zoneamento ambiental será a base para estabelecer diretrizes e estratégias para o planejamento do território, com identificação das unidades ambientais e paisagísticas com a definição dos tipos de uso e limites para exploração. Esse produto deve ser entendido como resultado de análises dinâmicas e delimitação de características importantes da paisagem.

Ross (2009) propõe que as metas propostas no zoneamento ambiental devem ser apresentadas a partir da interdisciplinaridade técnico científica, na medida em que devem ser consideradas as potencialidades dos meios bióticos e abióticos, calcados na relação harmoniosa entre sociedade e natureza, com eixo no desenvolvimento sustentável e políticas conservacionistas.

Neste contexto, este capítulo tem por objetivo propor um zoneamento ambiental para Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio (BHSA) levando em conta seu grau potencial para perda de solos e sua capacidade de uso das terras, além da identificação das áreas de conflito legal e, assim, oferecer subsídios ao ordenamento territorial das atividades econômicas.

## **2. ÁREA DE ESTUDO**

A BHSA está localizada entre as coordenadas 21°28'06"S; 21°35'45"S e 55°59'20"O; 55°44'18"O. Do ponto de vista regional do estado, ela está inserida nas regiões Sudoeste e da Grande Dourados, estas são importantes regiões de produção agropecuária do estado de Mato Grosso do Sul (MS) (Figura 40). Com área de aproximadamente 1.202 km<sup>2</sup>, seu principal canal é o rio Santo Antônio, considerado o primeiro grande afluente do rio Miranda no seu alto curso (SEMADE,

2017), com a foz localizada na divisa entre os municípios de Guia Lopes da Laguna e Jardim.

Estão presentes na área dessa bacia quatro municípios sendo eles: Guia Lopes da Laguna (ocupa 55,08%), Maracaju (ocupa 34,07%), Ponta Porã (ocupa 10,02%) e Nioaque (ocupa apenas 0,65%). Apenas o município de Guia Lopes da Laguna tem sua sede municipal inserida parcialmente nessa bacia. Esses municípios se destacam na produção agropecuária, pela criação de bovinos e cultivos de lavouras em grandes áreas para soja, milho e cana de açúcar (SEMADE, 2017).

Nessa área são encontrados grandes afloramentos de rochas basálticas da formação Serra Geral (ARAUJO et al., 1982) intercalados com rochas sedimentares das formação Botucatu e Caiuá (LACERDA FILHO et al., 2006). Em direção à foz, existem alguns resquícios da formação Aquidauana aflorando próximo à calha do rio Santo Antônio. Por sua vez, na geomorfologia, formaram se relevos aplainados e desgastados pela erosão ao longo dos tempos no baixo curso e um relevo mais dissecado no médio curso, com presença de morros e morrotes com vertentes íngremes (ALVARENGA et al., 1982).

Há a presença de solos férteis como Latossolos Vermelhos em áreas de relevo mais plano e solos em formação, como os Neossolos Litólico e Regolítico nos lugares íngremes (EMBRAPA, 2007). Com um clima tropical (Aw), segundo a classificação de Köppen, a área de estudo apresenta duas estações bem definidas, sendo uma chuvosa que vai do mês de outubro ao mês de março e outra seca que vai do mês de abril ao mês setembro. Nessas condições climáticas, desenvolveu-se uma vegetação típica do bioma cerrado, com arvores que possuem troncos grandes e retorcidos adaptados aos tempos de escassez de chuvas. Em áreas de relevo mais elevados, há a presença da vegetação típica do bioma Mata Atlântica, formando extensas matas de vegetação decidual submontana (SILVA et al., 2011).

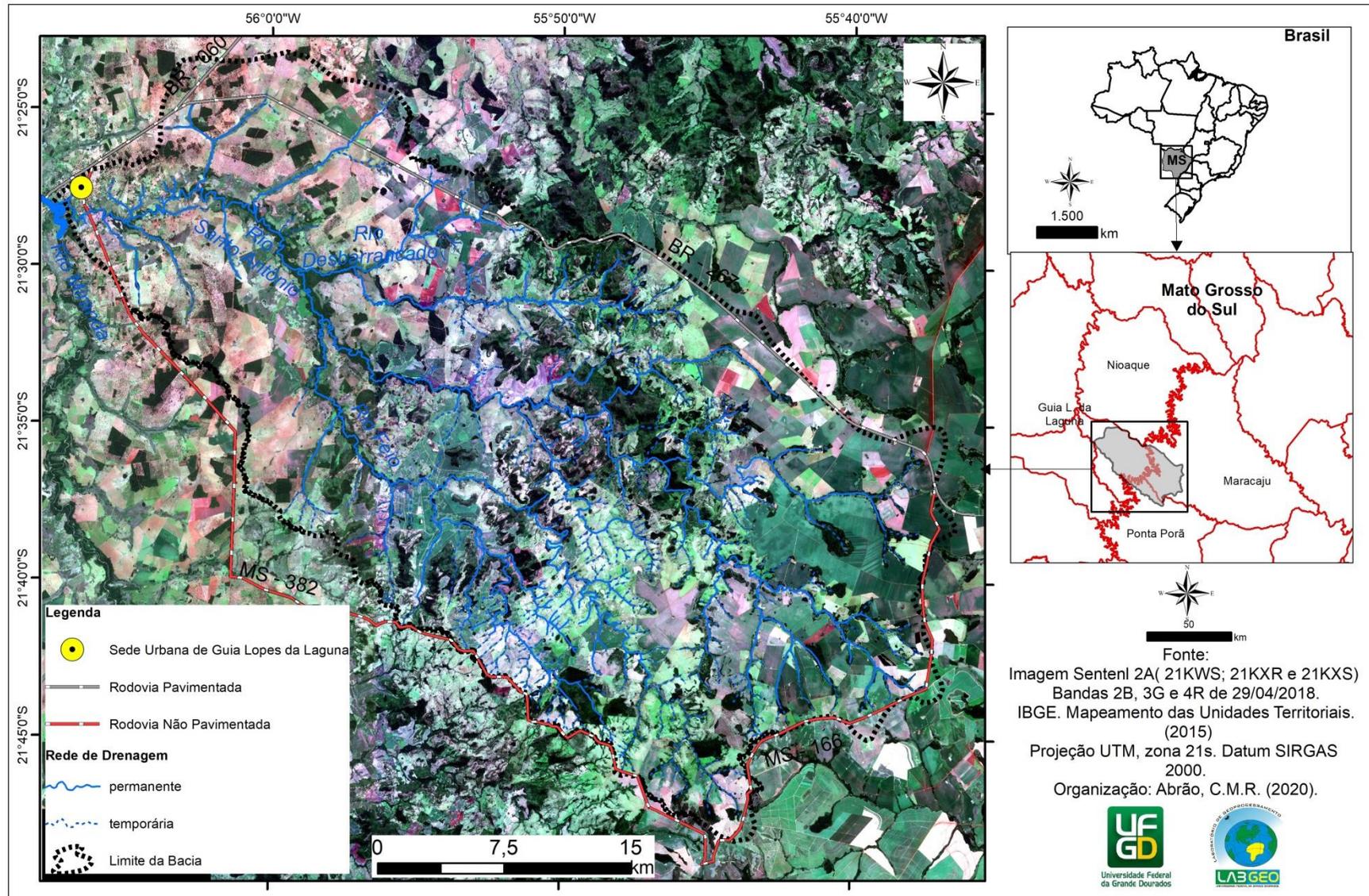
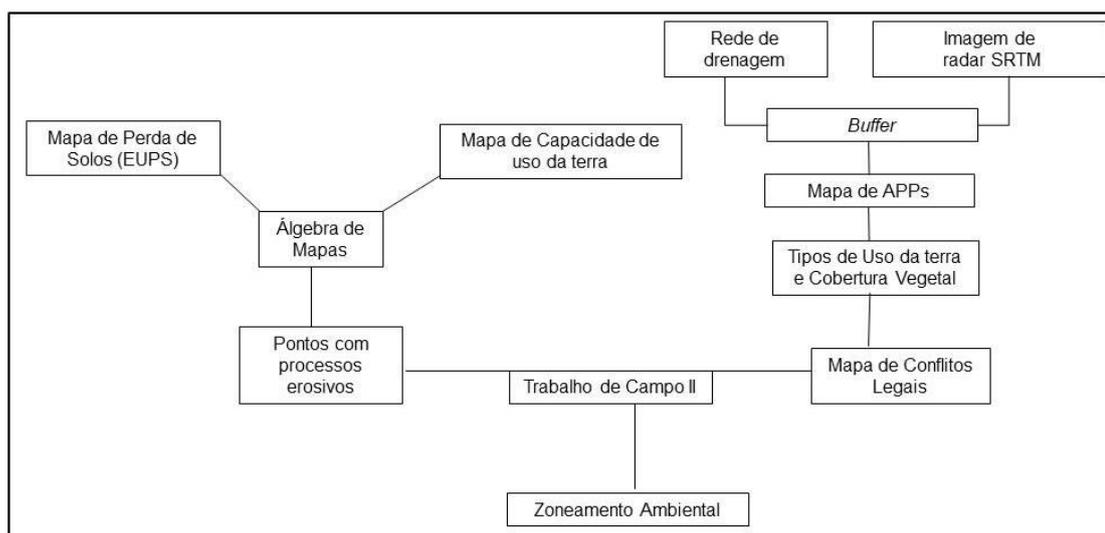


Figura 40. Carta imagem de localização da BSA.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Roteiro metodológico para elaboração do zoneamento Ambiental

O zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio foi elaborado a partir dos dados: 1) mapa de perda de solos da área de estudo; 2) mapa de capacidade de uso da terra da área de estudo; 3) mapas de Áreas de Preservação Permanente (APPs), ;4) Pontos de erosão da área de estudo e 5) mapa de uso da terra e cobertura vegetal da área de estudo, conforme descrito no fluxograma metodológico a seguir (Figura 41).



**Figura 41.** Fluxograma metodológico para elaboração do zoneamento ambiental para Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio. Org.: Abrão, C. M. R. (2019).

#### 3.2 Mapa de perda de solos

A Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) é uma equação empírica para estimar a perda total de solos por hectare ao ano, elaborada por Wischmeier e Smith em 1978 e revisada por Renard et al., (1997). Ao total, são usadas 6 variáveis para calcular a perda de solos:

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

Onde:

A = Perda de solo calculada por unidade de área t/ha;

R = Fator erosividade;

K = Fator de erodibilidade do solo;

L = Fator comprimento do declive;

S = Fator declive;

C = Fator de uso e manejo;

P = Fator práticas conservacionistas.

O fator R, foi calculado para BHSA com os dados de precipitação mensal e anual de 8 estações pluviométricas próximas. Foi aplicada a equação 1 e 2 para calcular a erosividade para cada mês e a soma dos valores obteve-se a erosividade anual. (Eq.1)  $EI = 67,355(r^2/P)*0,85$

$$(Eq. 2) \quad R = \sum_{j=1}^{12} E_j$$

Onde:

EI= Média do índice de erosividade

R= fator de erosividade da chuva

r= precipitação média mensal; e

P= precipitação média anual

O fator k de erodibilidade foi obtido, por sua vez, pela análise textural em laboratório de 12 amostras de solos coletados em saída de campo. Os procedimentos de análise dessas amostras seguiram as recomendações do Manual de Métodos de Análise de Solos publicado pela EMBRAPA (TEIXEIRA et al., 2017). Obtendo os teores de areia, silte e argila. Aplicou-se o método de Bouyoucos (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012), conforme equação 3, para posteriormente se encontrar o grau de erodibilidade do solos.

$$(Eq. 3) \quad K = \frac{\left( \frac{\%Areia + \%Silte}{\%Argila} \right)}{100}$$

Os fatores L e S são considerados os fatores topográficos, ou seja, relacionados ao comprimento da rampa e à declividade média do terreno. Para elaboração desse fator, foi utilizado o Modelo Digital do Terreno (MDT) elaborado a partir da imagem de radar SRTM e dos pontos de cotas das cartas topográficas. Com esse modelo elaborou-se a direção e acumulação de fluxo para compor a equação elaborada por Desmet e Govers (1996), no cálculo do fator S, conforme equação 4 a seguir:

$$(Eq. 4) \quad L(i,j) = \frac{(A(i,j)+D)^{m+1} - A(i,j)^{m+1}}{X^m * D^{m+1} (22,13)^m}$$

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 coordenada  $(i,j)$ ( $m^2$ );

$D$ =tamanho da grade de células (m);

$X(i,j)$  valor da direção do fluxo;

$m$ = coeficiente dependente da declividade.

Já o fator  $S$  foi calculado a partir da equação 5 desenvolvida por McCool et al. (1987), onde a declividade é expressa em graus.

$$\begin{aligned} SM &= 10,8 \operatorname{sen} \theta + 0,03 \quad (S < 9\%) \\ SM &= 16,8 \operatorname{sen} \theta - 0,50 \quad (S \geq 9\%) \end{aligned}$$

(Eq.5)

Onde:

$SM$  é a inclinação média da vertente;

$\theta$  é o ângulo de inclinação da encosta.

Os fatores  $C$  e  $P$  foram obtidos com dados de trabalho campo onde foi analisada a presença ou não de práticas de conservação do solo nos tipos de uso da terra identificados e as áreas que ainda possuem cobertura vegetal. Foi estipulada uma escala de valores de 0 a 1, conforme os trabalhos científicos revisados e, de acordo com o grau de proteção que cada uso e cobertura fornece ao solo.

Com todos os fatores calculados, utilizou-se a operação álgebra de mapas do ArcGIS para multiplicar os valores e espacializar o volume de perda de solos por tonelada/ano na bacia.

### 3.3 Mapa de capacidade de uso da terra

A capacidade de uso das terras e aptidão agrícola foi uma metodologia desenvolvida por Lepsch (1991) para subsidiar o planejamento de áreas ocupadas por atividades agrícolas e melhorar o aproveitamento dos solos e assim evitando a sua degradação. Na BHSA foi utilizada a metodologia proposta por Lepsch (2010), mas com algumas adaptações, para os fatores declividade e recomendações quanto ao uso da terra. Foram utilizados, os parâmetros físicos declividade e solo para os

agrupamentos das classes (Quadro 5). Com isso, foram definidos três grupos e sete classes, onde três classes permitem o uso agrícola intensivo, moderado e com restrição. Já as outras quatro classes são recomendadas através do uso pela pastagem, reflorestamento ou manutenção da cobertura vegetal. Para corrigir a recomendação aos neossolos quartzarênicos que poderiam ser ocupados por pastagem e atividades agrícolas devido a sua baixa declividade, optou-se por criar uma classe de uso especial para esse solo.

**Quando 5.** Critérios adotados para elaboração da capacidade de uso da BHSA.

Grupos	Classe de capacidade de uso	Critérios adotados	Declividade (%)	Solos
A	Classe I	Apto para cultivo intensivo	0-3	Latossolo Vermelho Eutrófico
	Classe II	Apto ao cultivo intensivo, com limitações moderadas sobre a fertilidade do solo e com ligeira inclinação do relevo	3-8	Latossolo Vermelho Distrófico
	Classe III	Necessitam de práticas mais complexas de conservação, declividade moderada e limitações física e química do solo	8-12	Cambissolo
B	Classe IV	Limitações permanentes ao cultivo intensivo, mas apto para pastagem e silvicultura	12-20	Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico
	Classe V	Áreas sujeitas ao encharcamento do solo pela água ou áreas de riscos à inundações, aptas para pastagem ou manutenção da vegetação nativa	0-3	Plintossolo e Gleissolo
	Classe VI	Apta para pastagem com restrição, somente deve ser cultivada com uso de práticas conservacionistas. Apto para silvicultura	20-45	Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico
	Classe VII	Manutenção da vegetação nativa	>45	Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico
*	Classe de uso especial	Neossolo Quartzarênico	0-3	Neossolo Quartzarênico

Fonte: Lepsch (1991). Adaptado por: Abrão, C.M.R. (2019).

### 3.4 Mapa de uso da terra e cobertura vegetal e pontos de erosão

O mapa de uso das terras foi elaborado a partir de 3 cenas do satélite Sentinel 2A (21KWS; 21KXR e 21KXS), sensor MSI (*multi-spectral instrument*), bandas 2B, 3G e 4R, com resolução espacial de 10m, datadas de 29 de abril de 2018. As imagens foram adquiridas gratuitamente do banco de dados do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS).

Os procedimentos seguintes foram divididos em três etapas:

*1ª Etapa mosaico:* foi necessário fazer o mosaico das cenas e a união de cada banda RGB para facilitar a coleta de informações e posterior classificação da imagem. Esse procedimento foi realizado no software ENVI 5.0, com a realização do mosaico (*mosaicking*) para criação da composição colorida normal da imagem.

*2ª Etapa coleta dos pixels:* em composição colorida normal, iniciou-se a coleta de pixels (classificação supervisionada) de forma dispersa pela imagem das classes de uso da terra e vegetação para realizar o treinamento do algoritmo de classificação.

*3ª Etapa classificação:* depois de coletar os pixels, utilizou-se o algoritmo *Maximum Likelihood Classification* para classificação da imagem, pois ele apresentou melhores resultados na separação de áreas de pastagem e agricultura. Depois o mapa passou por edições *raster* suavização de topologia e, por fim, foi convertido e salvo em arquivo *shapefile*.

Para cobertura vegetal, utilizou-se dados do projeto GeoMS (Silva et al. 2011), que apresenta uma escala adequada para essas informações (1:100.000) e cobre todo o estado de Mato Grosso do Sul (MS). Os dados de vegetação foram sobrepostos ao mapa de uso da terra gerado com a imagem Sentinel 2A e as áreas de vegetação foram reclassificadas conforme as informações sobre a fitofisionomia da cobertura vegetal mapeada pelo projeto GeoMS na área que cobre a BHSA.

Por fim, foi utilizado o padrão de cores na legenda dos mapas indicado pelo Manual Técnico de Uso da Terra e Vegetação Brasileira do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os pontos de erosão foram identificados por meio do reconhecimento das feições erosivas nas imagens captadas pelo satélite de Sentinel 2A e outros pontos nas imagens de alta resolução espacial do Google Earth. Em trabalho de campo, alguns desses pontos foram visitados para coleta de informações e registro fotográfico. Os pontos são apresentados conjuntamente ao mapa de uso da terra e cobertura vegetal.

### 3.5 Mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes (APPs) e Conflito Legal

O mapa de conflito entre uso da terra e legislação florestal foi elaborado, por sua vez, com o objetivo de identificar as Áreas de Preservação Permanente (APPs) que estão sendo usadas com algum tipo de uso, ou seja, que não estão sendo preservadas e nem desempenhando seu papel de proteção e conservação de recursos naturais, não estão em concordância com as normas da Lei 12.651/2012.

Nesse sentido, foram espacializadas as classes de APPs encontradas na BHRSA. As nascentes foram identificadas por meio de pontos; os canais, por linhas que formam a rede de drenagem; e os lagos e reservatórios naturais e artificiais, por meio de polígonos. As APPs de topo de morro foram delimitadas a partir de dados altimétricos extraídos da imagem de radar SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com base na rede de drenagem (base) e curvas de nível que corresponderiam a 2/3 da altura mínima de elevação ou com inclinação de 25° ou mais.

A partir disso, utilizou-se da técnica de análise espacial de elaboração de mapa de distância (*Buffer*) para delimitar as APPs. A distância do *Buffer* foi definida de acordo com as classes de APPs elencadas anteriormente na área de estudo. Para cada classe, definiu-se a faixa de APP com base na lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012) (Tabela 17).

**Tabela 17.** Classes de APP e suas respectivas dimensões.

Classe de APP	Faixa de APP
APP de Nascentes	50 m de raio
APP marginal de canal com leito até 10 m de largura	30 m
APP marginal de canal com leito de 10 m e 50 m de largura	50 m
APP de Lagos e reservatórios	50 m
APP topo de morro com altura mínima de 100m e inclinação de 25° ou mais	

Fonte: Lei 12.651/12 (BRASIL, 2012).

Após a espacialização das APPs foi utilizada a ferramenta *Dissolve* para evitar a sobreposição de APPs de nascentes, cursos d'água e topo de morro e, assim, mensurar o total de área de APP da bacia.

A seguir, com a posse do mapa temático de uso da terra, e também do mapa de cobertura vegetal das APPs, realizou-se a sobreposição desses, utilizando a ferramenta *Clip* do software ArcGIS, com o objetivo de gerar um mapa síntese para

identificar os conflitos entre uso e preservação destas áreas de APPs. Este procedimento técnico foi seguido por trabalhos científicos tais como em Peluzio, Santos e Fiedler (2010); e em Cardoso; Aquino (2013).

### 3.6 Mapa de zoneamento ambiental

Após a construção cartográfica dos mapas anteriormente citados, foi realizado o mapa de zoneamento ambiental da área de estudo, sendo definidas quatro zonas, sendo estas uma de restrição legal, e as outras três dotadas de níveis de uso, de recuperação e de expansão urbana, com a adoção dos critérios para separação de cada uma delas, exposta no quadro 6.

**Quadro 6.** Definição das classes do zoneamento ambiental e seus critérios para Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio – MS, Brasil:

Classe de Zoneamento	Critérios
<b>Zonas de Preservação e conservação</b> -APPs -Vegetação Remanescente	Em acordo com o código florestal brasileiro (Lei 12.651/12)  Áreas de proteção dos remanescentes florestais para conservação da biodiversidade.
<b>Zona de uso e nível de restrição</b> -Baixo -Médio -Alto	De acordo com o grau de perda de solo e a capacidade de uso das terras na área de estudo.
<b>Zona de recuperação</b>	Áreas que já estão degradadas, ou dotadas de existência de processos erosivos ou de conflitos entre uso da terra e APPs.
<b>Zona de expansão urbana</b>	Área urbana consolidada

Fonte: Abrão, C.M.R (2020).

Com as classes definidas, foi realizado, portanto, o processo de cruzamento das informações dos mapas de perda de solos e de capacidade de uso, resultando nas zonas referentes aos níveis de uso da terra apresentados, de acordo com os valores de perda de solo e as características físicas da área para uso agropecuário. Por sua vez, para a espacialização das zonas de preservação, foram usados os mapas de APPs e os remanescentes de vegetação natural extraídos do mapa de cobertura vegetal. Para identificação da área urbana, foi utilizado o mapa de uso da terra, no qual se utilizou apenas a área classificada como área urbanizada. As zonas de recuperação, por sua vez, foram especializadas através de pontos que representam locais com problemas relacionados aos processos erosivos e que precisam ser recuperados.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Uso da terra e Cobertura vegetal

As classes de vegetação identificadas e mapeadas na BHSA (Figura 42) correspondem a cerca de 22% da área ocupada por algum tipo de forma vegetal. A vegetação aluvial, ocupa 13% da área (Tabela 18), com maior representatividade situada ao longo dos cursos d'gua. A vegetação decidual submontana está presente em 6,82%, é um tipo de vegetação típica do bioma mata atlântica consideradas como enclaves, em contato com a vegetação do cerrado e, encontra-se no médio curso da bacia. A vegetação de savana ou cerrado ocupa menos de 2% da área fragmentada pela bacia, formando grandes capões de vegetação densa. E, as áreas de vegetação secundária ocupam 1,09% da área e estão distribuídas irregularmente pela bacia.

Com relação aos tipos de uso, há um predomínio da pastagem que ocupa 37,70% e agricultura com 24,70%. São os principais tipos de uso antrópico, pois somando os dois, estão presentes em mais 60% da área total. A pastagem do tipo majoritariamente encontrada é da espécie *brachiaria* (*brachiaria decumbnes*) que serve como alimento para os bovinos. Nas áreas de agricultura há um predomínio de cultivo de soja e milho em boa parte da área mapeada. São nessas áreas que foram identificados os principais pontos de erosão.

As áreas de solos expostos (8,48%) correspondem as áreas que passaram pela gradagem para descompactação do solo ou locais com estradas vicinais e erosão em grandes proporções. A área úmida ocupa 4,86% e os corpos d'água apenas 0,04% e são encontradas especialmente próximas às planícies de inundação. As áreas de silviculturas (0,08%) são formadas pelo plantio de Eucalipto em áreas para recuperação de pastagens ou mesmo em Áreas de Preservação Permanentes (APPs). Já a classe de área urbana representa apenas 0,25% da área mapeada.

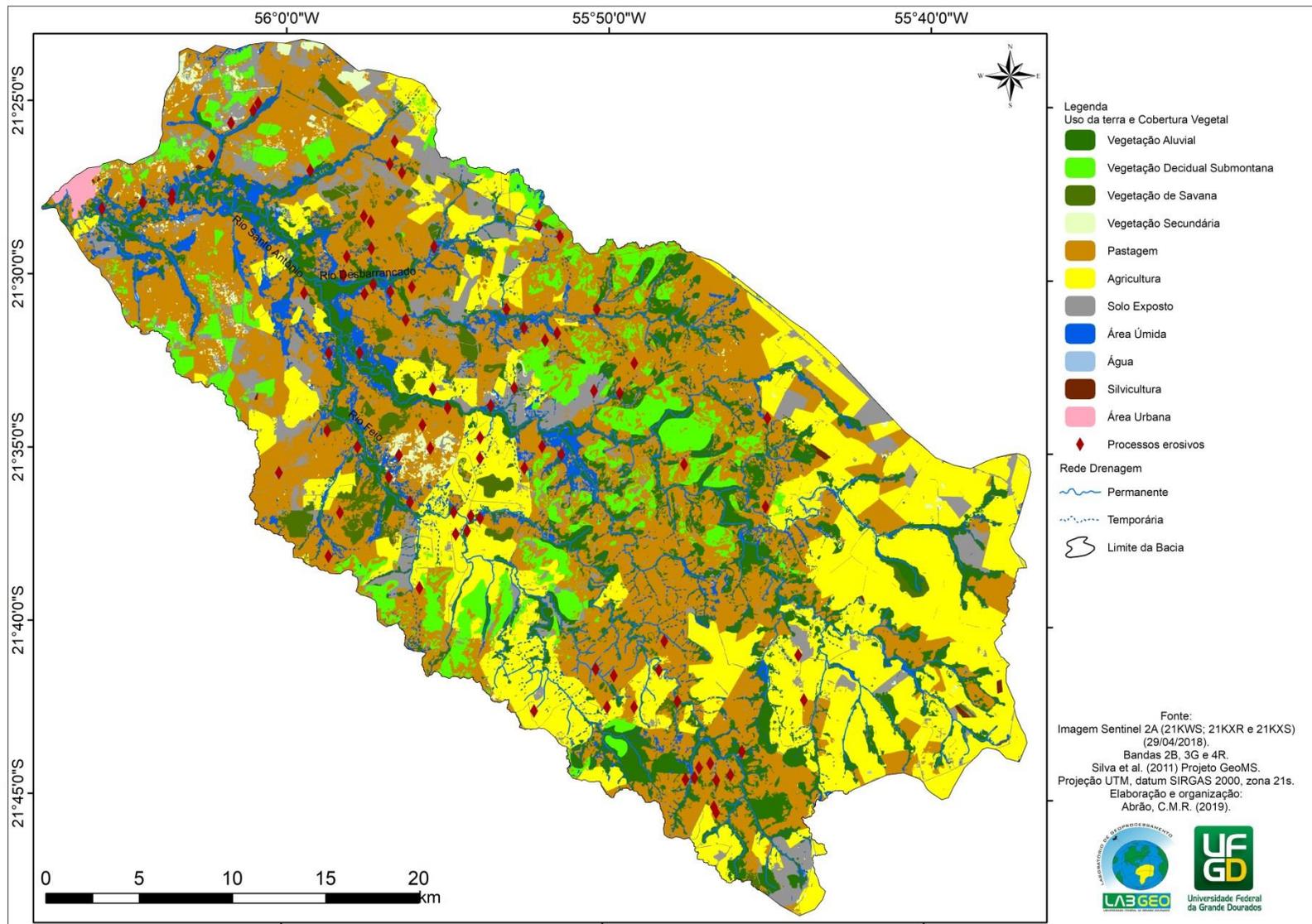
**Tabela 18.** Quantificação das Classes de Uso da Terra e Cobertura Vegetal.

Classe de Uso da Terra e Cobertura Vegetal	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Vegetação Aluvial	168,13	13
Vegetação Decidual Submontana	82,08	6,82
Vegetação de Savana	23,36	1,94
Vegetação Secundária	13,17	1,09
Pastagem	453,16	37,70
Agricultura	297	24,70
Solo Exposto	102	8,48
Silvicultura	1,07	0,08
Área Úmida	58,5	4,86
Corpos D'gua	0,52	0,04
Área Urbana	3,01	0,25
<b>Total</b>	<b>1.202</b>	<b>100</b>

Fonte: Abrão, C.M.R. (2019).

#### 4.2. Estimativa de Perda de solos

A figura 43a mostra o mapa de perda de solos, foram identificadas cinco classes seguindo a classificação adotada pela Organização das Nações Unidas para alimentação e Agricultura (FAO). Os resultados quantitativos para a perda de solos indicam que a BHSA apresenta baixa tendência para 35,68% da área total. Essas áreas estão localizadas no alto e baixo curso, pois apresentam relevo mais plano e suave. Entretanto as classes de média e alta são consideráveis se somadas, pois atinge mais da metade da área em risco para a perda de solos com valores entre 33,53% e 24,24% respectivamente (Tabela 19). Essas classes se concentram no médio curso, setor da bacia que apresenta relevo mais íngreme com declividade superior a 12%. A classe normal ocupa apenas 5,88% da área, situados em locais com relevo muito plano e a classe extremamente alta não foi mapeada.



**Figura 42.** Mapa de Uso da terra e cobertura vegetal para BHA.

**Tabela 19.** Quantificação da taxa de perda de solos pela EUPS.

<b>Tipo de Erosão (ton/ha/ano)</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
< 0,5 (Normal)	70,72	5,88
0,5 – 5 (Baixa)	428,9	35,68
5 – 15 (Média)	403,09	33,53
15 – 50 (Alta)	291,41	24,24
50 - 200 (Muito Alta)	7,88	0,66
> 200 (Extremamente Alta)	0,00	0,00
Total	1.202	100

Organização: Abrão, C.M.R (2019).

### 4.3. Capacidade de Uso da terra na BHSA

A Figura 43b apresenta o mapa de capacidade de uso da terra na BHSA. Em sua totalidade ela apresentou áreas que se enquadram na classe IV presentes em mais de 25% da área, que podem ser ocupadas pela pastagem (Tabela 20). Em seguida surgem a classe II, com 22,16% de área ocupada, indicado para o uso agrícola moderado, mas necessita de ações preventivas à erosão e corretivas para ações da fertilidade do solo. Os locais delimitados pela classe I ocupam 17,09% da área, e permite usos mais intensivos, pois abrange áreas planas e de solos bem desenvolvidos, exceto as planícies de inundação que não devem ser ocupadas por atividades que requerem uso intensivo.

A classe III ocupa 12,86%, e já apresenta altas restrições ao uso agrícola, diante disso, faz-se necessário o uso de técnicas mais complexas de conservação do solo.

A classe V ocupa 4,45%, que inclui apenas os solos hidromórficos, plintossolo e gleissolo, localizados nas áreas de relevo muito planos característicos das planícies de inundações. São áreas de extrema fragilidade à erosão e devem ser mantidas preservadas ou conservadas.

A classe VI, abrange, por sua vez, 13,98% da área total e está localizada do médio até o alto curso, onde há presença de morros e morrotes por conseguinte, é permitida apenas a pastagem com restrições. A classe VII atinge 2,37% da área total, situado na área central da bacia, cuja declividade é maior que 20%, com alguns remanescentes de vegetação nativa ou pastagem. Por último, há a classe de uso especial, onde estão localizados os neossolos quartzarênicos, presentes em 1,45% da área,. É importante ressaltar que essa área é considerada de extrema fragilidade à erosão. Ela está localizada próximo ao rio Santo Antônio em uma pequena faixa da planície e do terraço fluvial no baixo curso.

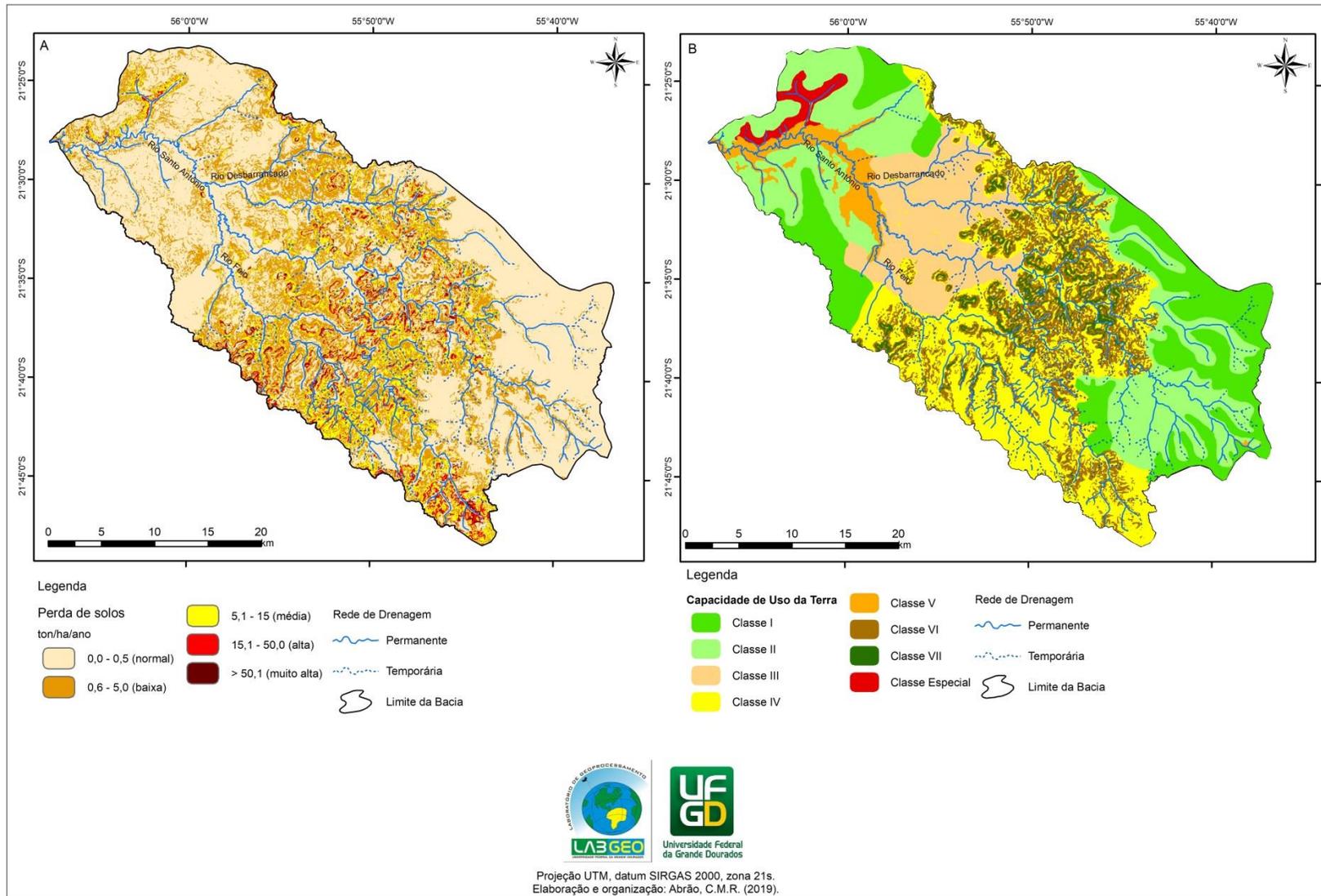
**Tabela 20.** Quantificação das classes de capacidade de uso da terra.

<b>Classes de capacidade de uso</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Classe I	205,38	17,09
Classe II	266,34	22,16
Classe III	154,52	12,86
Classe IV	308,22	25,64
Classe V	53,48	4,45
Classe VI	168,06	13,98
Classe VII	28,54	2,37
Classe de uso especial	17,46	1,45
<b>Total</b>	<b>1.202</b>	<b>100</b>

Fonte: Abrão, C.M.R (2019).

#### **4.4. Quantificação e resultados obtidos referentes às APPs**

Apresentamos a BRSA com cinco classes de APPs em sua área (Figura 44), segundo as normas do Código Florestal Brasileiro. São áreas, por exemplo, localizadas em um raio de 50m no entorno das nascentes, nas margens dos rios, reservatórios naturais e artificiais, além das áreas de topo de morro. As APPs com tamanho de 30m predominam na bacia, e abrangem 65,65% da área destinada à preservação (Tabela 21). Estão situadas em rios com até 10m de largura, localizados principalmente no alto curso da bacia. Em seguida são apresentadas as APPs com 50m de largura que estão às margens do rio Santo Antônio, do médio até o baixo curso, cuja largura do canal ultrapassa os 10m.



**Figura 43.** A) Mapa de perda de solos para BHSa. B) Mapa de capacidade de uso para BHSa.

As APPs dos reservatórios naturais e artificiais ocupam 13% da área de estudo, estão distribuídas por toda bacia. Esses locais são construídos para represar água utilizada para armazenamento, irrigação e dessedentação dos animais, como bovinos e equinos. Em seguida aparecem as áreas de nascentes que representam 4,16% das áreas de APPs, também concentradas no alto curso da bacia, são áreas importantes para preservação e conservação para abastecimento dos rios e córregos.

Por sua vez, as APPs de topo de morro ocupam a menor área, com 2,52% das áreas de APPs, estão localizadas em encostas dos morros no médio curso. Essa área apresenta uma declividade superior a 25°, tornando-a frágil à erosão e perda de solos, bem como aparecimento de ravinas e voçorocas, caso não estejam protegidas por vegetação.

**Tabela 21.** Quantificação das APPs na BHSA.

Classe de APPs	Km <sup>2</sup>	Porcentagem (%)
Nascente 50m	3,02	4,16
APP 30m	47,69	65,65
APP 50m	10,66	14,68
APP topo de morro	1,83	2,52
APP reservatório	9,44	13
Total	72,64	100

Org.: Abrão, C.M.R (2020).

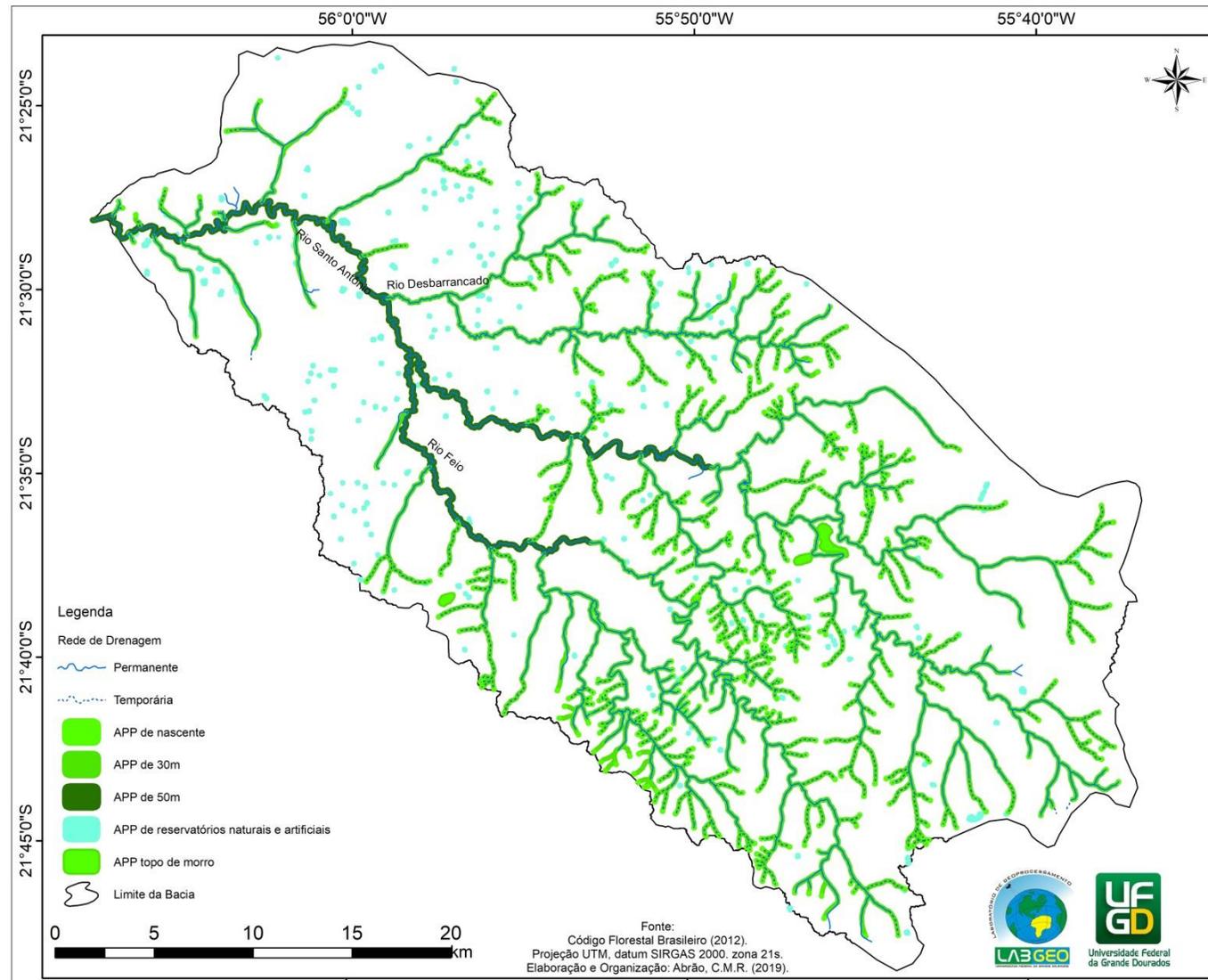


Figura 44. Mapa das APPs na BRSA.

Com o cruzamento do mapa de APPs com o mapa de uso da terra e cobertura vegetal, foi possível identificar que boa parte das APPs ainda possuem vegetação que protegem os mananciais de água (Figura 45). Mais de 51% das áreas possuem cobertura vegetal, entretanto, algumas áreas estão em desacordo com a legislação, principalmente no que tange aos pequenos rios do alto curso (Tabela 22). A classe de uso da terra mais conflitante com APP foi a pastagem, presente em 19,73% das áreas que deveriam estar cobertas com vegetação arbórea. Em seguida vem a agricultura, com 17,53%. Isso demonstra que essas áreas tiveram sua vegetação natural suprimida para implantação de pastagem e agricultura, ameaçando a proteção dos rios e córregos contra assoreamento e afetando a qualidade da água.

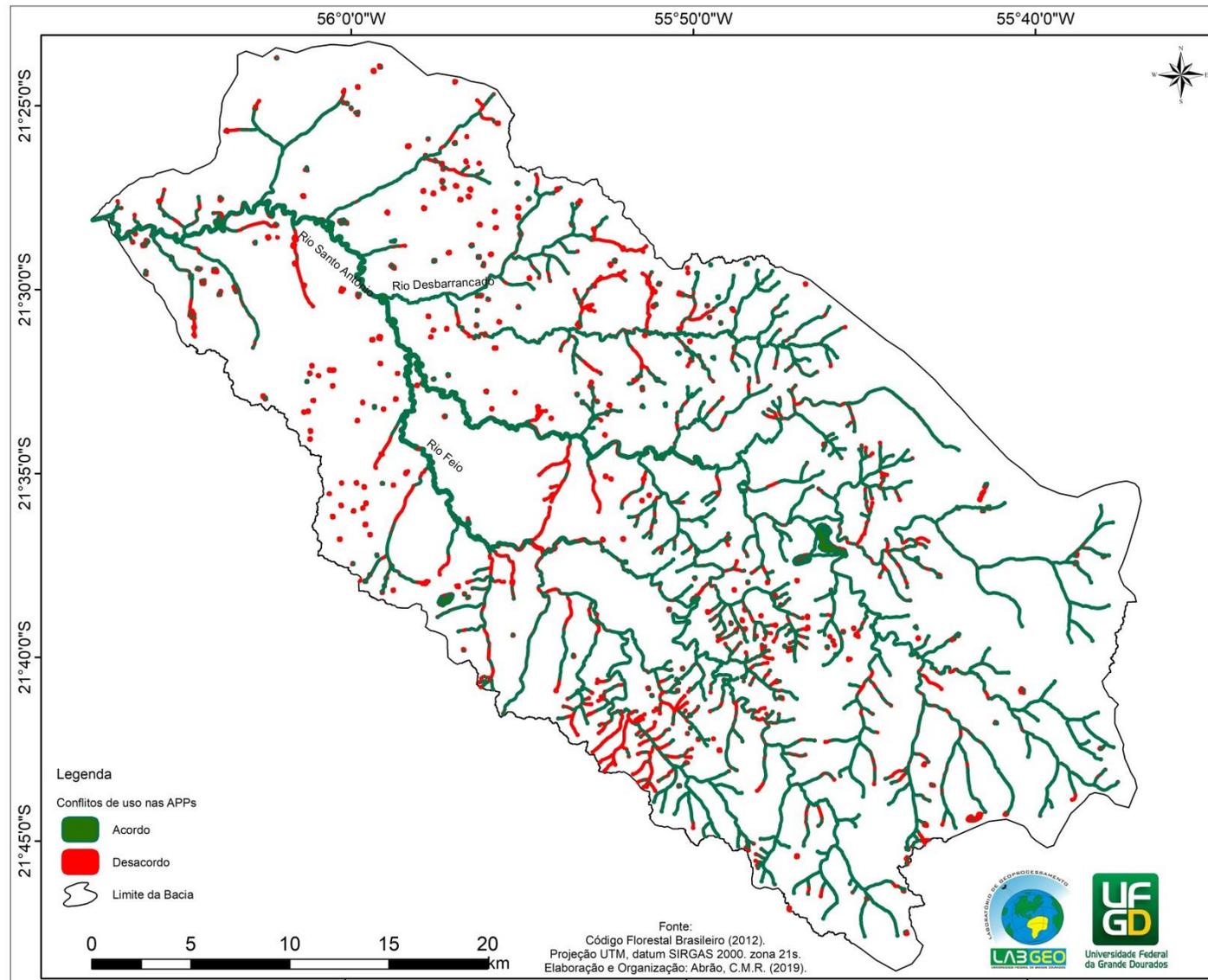
Em seguida, aparecem as áreas úmidas que ocupam 7,61% das áreas que estão próximas as APPs e possuem pouca vegetação. São ocupadas por gramíneas que servem de alimento para o gado, essas áreas devem ser protegidas devido à sua importante função na conservação da qualidade da água e manutenção da biodiversidade, e também porque serve de abrigo para vários tipos de animais.

O solo exposto também aparece em alguns locais, em 3,59% das áreas de APPs, associado à erosão destes causada pela própria remoção da vegetação ripária ou aradura da terra para cultivo agrícola ou plantio de pastagem. Os corpos d'água ocupam apenas 0,42% das APPs, são utilizados para represamento da água de nascentes e pequenos córregos. A área urbana encontra-se presente em apenas 0,04% dessas áreas, localizada no baixo curso.

**Tabela 22.** Quantificação dos conflitos entre uso da terra em APPs das nascentes, rios e reservatórios.

<b>Classes sem conflitos com APPs</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Vegetação Aluvial	35,49	50,12
Vegetação Submontana	0,31	0,44
Vegetação Secundária	0,15	0,21
Vegetação de Savana	0,15	0,21
Área Úmida	5,39	7,61
Corpos de água	0,3	0,42
Silvicultura	0,07	0,10
<b>Classes de Uso da terra em conflito com APPs</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Pastagem	13,97	19,73
Agricultura	12,41	17,53
Solo Exposto	2,54	3,59
Área Urbana	0,03	0,04
Total	70,81	100

Org.: Abrão, C.M.R (2020)



**Figura 45.** Mapa de conflito legal entre APPs e Uso da terra.

Já nas APPs de topo de morro, grande parte ainda está coberta por vegetação aluvial (45,35%) e vegetação submontana (29,50%) (Tabela 23). Entretanto, surge a influência das áreas de pastagem, ocupando 25,13% do total dessas áreas, indicando que à áreas que estão em desacordo e que devem ser recuperadas.

**Tabela 23.** Quantificação dos conflitos de uso da terra e cobertura vegetal na APPs de topo de morro.

<b>Classes de Uso da terra em conflito com APPs</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Pastagem	0,46	25,13
<b>Classes sem conflitos com APPs</b>	<b>Km<sup>2</sup></b>	<b>Porcentagem (%)</b>
Vegetação Aluvial	0,83	45,35
Vegetação Submontana	0,54	29,50
Total	1,83	100

Org.: Abrão, C.M.R (2020)

A pastagem foi o principal tipo de uso da terra encontrado nas APPs, principalmente nos pequenos rios que tiveram sua vegetação protetora quase toda suprimida. A proteção desses pequenos mananciais é fundamental, visto que são eles que abastecem os grandes rios com água (Figura 46a). Muitos desses riachos são utilizados pelos pecuaristas como fonte de água para o gado e que acabam causando mais impactos, pois o pisoteio dos bovinos causam a remoção do solo e formação de sulcos que acabam evoluindo para ravinas e voçorocas (ABRÃO; KUERTEN, 2016).

Em outro trecho de APP, no canal principal da bacia, foi identificada uma área cuja vegetação também foi removida e ocupada pela pastagem, onde já é possível observar a existência de processos erosivos na margem (Figura 46b). Essas áreas devem ser regulamentadas e recuperadas, utilizando-se técnicas edáficas para regeneração da vegetação natural para que ela volte a desempenhar a proteção dos mananciais e conservação da biodiversidade.



**Figura 46.** Locais com ausência de vegetação aluvial. A) Pequeno afluente do rio Santo Antônio que teve sua APP suprimida e ocupada pela pastagem. B) APP totalmente descaracterizada, com solo exposto e processo erosivo em estágio avançado. Fonte Abrão, C.M.R (2019).

#### **4.5. Espacialização do zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio**

A BHSA foi compartimentada em quatro zonas, em seu zoneamento ambiental, tais como: 1) Zona de preservação e recuperação; 2) Zona de uso e nível de restrição; 3) Zona de recuperação e 4) Zona de expansão urbana, tal como já apresentado no setor de materiais e métodos, de acordo com suas características naturais e tipos de uso da terra (Figura 47).

As zonas de preservação e conservação compreendem as áreas de APPs e remanescentes florestais, localizados, em sua maioria, próxima aos rios e áreas do com relevo mais acidentado, no médio curso. Os remanescentes de vegetação nativa também foram incluídos, pois servem de conexão com esses ambientes, com a finalidade de proteger a fauna da região.

As zonas de uso e níveis de restrição representam os locais mais propícios para ocupação, de acordo com o nível de perda de solos e a capacidade de uso. A zona com baixa restrição está distribuída por toda bacia, principalmente no alto e baixo curso, com a perda de solo sendo considerada como de muito baixa a baixa restrição. Estas áreas permitem o uso agrícola, desde que respeitada as normas de preservação e conservação do solo.

A zona de uso de média restrição localiza-se nas áreas do médio curso, sobre as encostas dos morros e morrotes, cuja fragilidade referente à perda de solo é considerada média, em virtude da declividade ultrapassar os 12%, por isso, recomenda-se apenas o uso para pastagem ou silvicultura. As áreas com alta restrição de uso, por sua vez, estão situadas em áreas do médio curso, com

declividade acima de 20%, portanto, é considerada inapta para uso agrícola, entretanto, pode ser recomendada apenas para silvicultura ou manutenção da vegetação nativa.

A zona de recuperação compreende as áreas com presença de processos erosivos representados pelos pontos (pontos que correspondem às áreas com presença de sulcos, ravinas e voçorocas) já instaurados, cuja fragilidade para a perda de solos é muito alta. São locais que estão ocupados pela pastagem ou agricultura ou localizados próximos aos rios,. constata-se a necessidade a recomposição da APPs nesses locais , além de proteção e medidas de contenção para avanço dos processos erosivos, como práticas edáficas (plantio de árvores), isolamento da área e ações mecânicas (construções de terraços) para contenção do escoamento superficial. Já a pequena zona de expansão urbana compreende a cidade de Guia Lopes da Laguna, que não possui um plano diretor (por possuir menos de 20 mil habitantes), sendo recomendada a sua expansão urbana em direção oposta a essa bacia (ao norte), direção que apresenta áreas mais propícias para ocupação urbana.

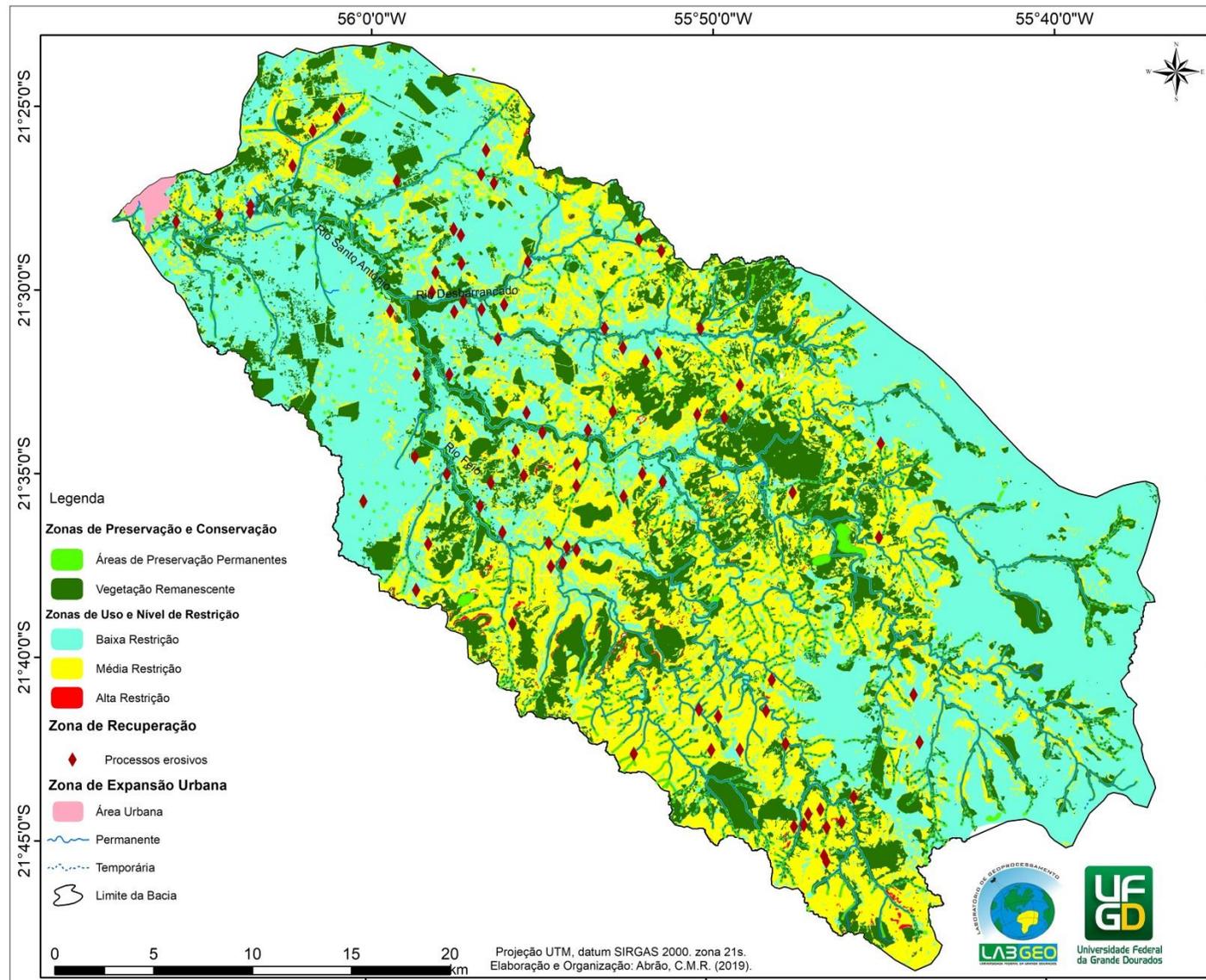


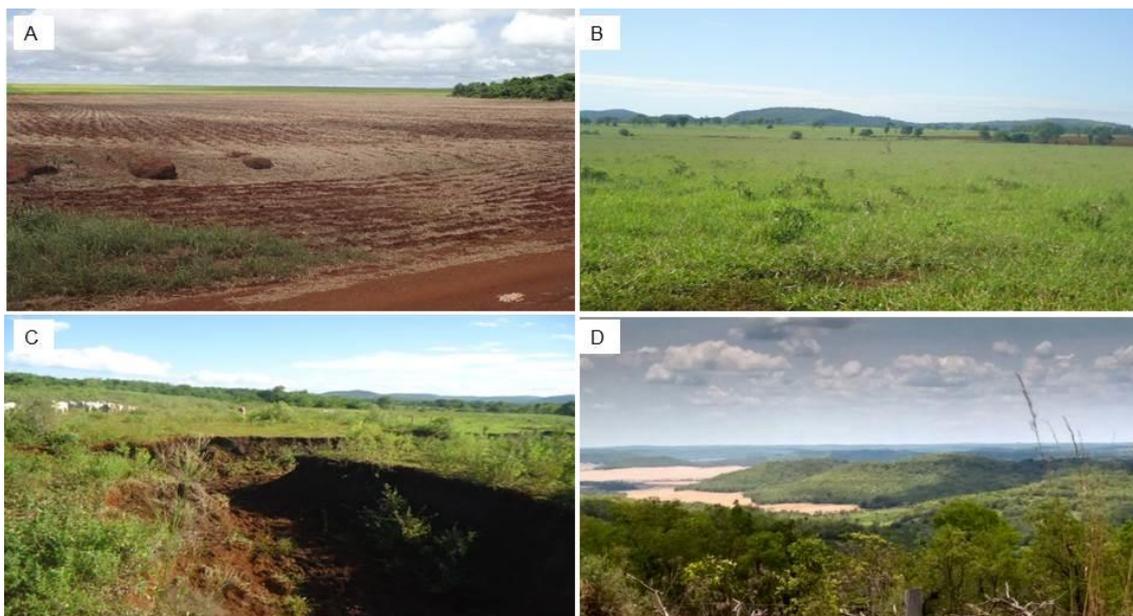
Figura 47. Mapa de Zoneamento Ambiental da BBSA.

Observando o mapa de zoneamento ambiental, grande parte da BHSA é favorável a ocupação, devido as suas características com presença de relevo plano a suave e com solos desenvolvidos, como os Latossolos Vermelhos (Figura 48a). Assim como apontado no estudo de Abrão e Bacani (2018), boa parte da área agrupada como zona de uso com baixa restrição já é ocupada pela agricultura, ou seja, são áreas já consolidadas, que apresentam significativo desenvolvimento tecnológico e que aplicam técnicas de manejo e conservação do solo. Entretanto, constata-se a expansão das áreas agrícolas para locais do médio curso, antes ocupados pela pastagem ou vegetação nativa.

A zona de média restrição ao uso é ocupada em sua maioria pela pastagem, cujos solos aprestam déficit de fertilidade ou não são tão desenvolvidos (Latossolo Vermelho distrófico, Cambissolos e Neossolos), é possível identificar também relevo inclinado, acima de 8% de aclave (Figura 48b). No entanto, nessas áreas, há maior ocorrência de processos erosivos, estes com grande concentração no médio e alto curso da bacia, causados pelo mau uso desses locais pela agropecuária (Figura 48c).

Em estudo publicado por Asmamaw e Mohammed (2019) os processos erosivos em áreas com estas características podem ser demasiadamente severos. Há uma redução da proteção do solo, e também a possibilidade de ocorrência de super pastoreio com altas taxas de lotação de animais nos piquetes, além de e quebra dos agregados dos solos que vão acarretar no o aumento do escoamento superficial, reduzindo a presença de matéria orgânica no solo.

Na zona de alta restrição ao uso, é recomentado apenas a manutenção da cobertura vegetal, para proteção dos topos de morro e morrotes, contra o surgimento de processos erosivos (Figura 48d). Algumas dessas áreas são de APPs no topo do morro que devem ser respeitadas. Necessitam ser totalmente protegidas, e deve-se restringir qualquer tipo de uso, por serem, estes, locais utilizados para reabilitação da biodiversidade local. Em trabalhos de campo, foi possível observar que algumas dessas áreas estão sendo pressionadas para o uso agrícola.



**Figura 48.** Classes de zoneamento. A) Área que representa a zona de uso com baixo nível de restrição. B) Área que representa zona de uso com média restrição ao uso. C) Área que representa zona de recuperação afetada pela erosão. D) Área que representa a zona de uso com alta nível de restrição.

Fonte: Abrão, C.M.R. (2018).

A zona de expansão urbana representa a cidade de Guia Lopes da Laguna, cuja algumas áreas estão em situação irregular, ocupando áreas de preservação. Nesse sentido, recomenda-se a regularização dessas áreas e um projeto de expansão urbana ordenado, de preferência em direção norte da cidade, onde apresenta áreas mais favoráveis a ocupação urbana e longe de rios e córregos.

Segundo informações do Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE-MS) (MATO GROSSO DO SUL, 2009; 2015), a área que compreende a BHSA está classificada como apta para pastagem e criação de bovinos em larga escala. Porém, existem áreas já consolidadas que foram consideradas aptas para agricultura e cana de açúcar. Entretanto, o ZEE-MS indicou áreas frágeis para a ocupação agrícola nos setores de afloramento da formação Aquidauana e Botucatu, pois essas áreas são consideradas como locais em que há recarga dos aquíferos subterrâneos. Na BHSA, existem pontos com afloramento dessas formações no baixo e médio curso que devem ser preservados, quando identificados.

Outro estudo realizado por Zaroni et al. (2009) conclui que o município de Guia Lopes da Laguna, que engloba boa parte dessa bacia, apresentou um risco de moderado a alto grau de degradação devido às características do relevo mais acidentado onde está localizada a serra de Maracajú, além de possuir áreas dotadas de solos muito frágeis, como é o caso dos neossolos quartzarênicos.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados demonstram que boa parte da Bacia Hidrográfica do rio Santo Antônio é favorável ao uso agrícola com baixa restrição, sendo áreas estas que já empregam técnicas para conservação dos recursos naturais, com emprego de práticas conservacionistas. A situação mais preocupante se encontra nas zonas de média e alta restrição ao uso, onde já existe a presença de grandes processos erosivos ocasionados pela não adoção de medidas de prevenção a esses fenômenos, bem como a conversão das áreas de pastagem para agricultura em locais inapropriados ao uso agrícola por causa da alta perda de solo por erosão laminar.

Por outro lado, também necessidade de recuperação das APPs que não estão de acordo com a legislação florestal. Fica evidente que deve-se ter mais atenção às nascentes e aos córregos que apresentaram maior perda de vegetação aluvial. Poderia ser apresentado, por exemplo, aos produtores rurais (em parceria com poder público, sindicatos e instituições de ensino e pesquisa), a criação de projetos de recuperação das áreas degradadas, que beneficiariam a comunidade local. E, por fim, a conscientização da importância dessas áreas para manutenção do equilíbrio do meio ambiente, evitando assim, aumento dos possíveis danos ambientais.

Os resultados do zoneamento apresentam bases sólidas para assegurar a preservação e conservação dos recursos naturais dessa bacia, evitando maiores danos, tanto para a área e sua importância natural, como para a sociedade regional, em especial às gerações futuras. Para isso, é necessário apresentar projetos à sociedade civil, gestores e órgãos jurídicos e ambientais competentes, para que seja discutida sua execução.

## CONSIDERAÇÕES GERAIS FINAIS DA TESE

A Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio está localizada em uma região de grande importância para preservação e conservação dos recursos naturais, é importante salientar que o rio Santo Antônio é um dos principais rios que deságua no rio Miranda. Nesse contexto, é de fundamental importância que os resultados aqui apresentados e discutidos possam ser levados à sociedade regional, bem como a discussão das medidas de prevenção e conservação para preservação dos recursos naturais da bacia. O diagnóstico físico da área revelou uma forte relação entre as formações geológica e geomorfológica para com os processos de pedogênese, Por esse motivo, é de extrema relevância levar estes fatores em consideração na análise de possíveis modificações na paisagem. As atividades humanas podem causar danos irreversíveis, caso não sejam planejadas, respeitando-se os limites que um ambiente pode suportar (uso e exploração), haja vista, que são os próprios seres humanos os mais prejudicados.

Sendo assim, deve-se conhecer os limites e a tolerância de todas as formas de uso e ocupação que um local pode suportar. A BHSA apresentou valores altos de perda de solos, foram associados estes valores aos solos de textura mais frágil, compostos por areias que se formam em relevo ondulado ou solos ainda em processo de formação. São locais que devem ser evitados para ocupação intensiva pela pastagem e tampouco para agricultura, Considera-se que são áreas indicadas para manutenção da vegetação nativa ou silvicultura.

Existem áreas da bacia, no baixo curso, que possuem melhores condições para o desenvolvimento dessas atividades. São áreas com maior estabilidade, referente a perda de solos e, sendo esses solos mais desenvolvidos, apenas tendo a necessidade de correções de acidez. Outros locais que devem ser preservados e conservados, e que não possuem capacidade para usos intensivos ou semi-intensivos, são as planícies de inundações, que apresentaram solos de extrema fragilidade à erosão e que apresentam sérios riscos para contaminação dos recursos hídricos. Devem ser revistas e readequadas as atividades econômicas planejadas e presentes nesses locais.

Por fim, foi proposto um zoneamento ambiental gerado a partir dos resultados de perda de solos, capacidade de uso da terra, áreas de proteção legal e pontos de erosão para melhor delimitar as áreas mais frágeis do ponto de vista à erosão e qual

a melhor vocação de uso para esses locais. Os resultados demonstraram que grande parte dessa área pode ser ocupada por atividades agropecuárias intensivas e semi-intensivas. No entanto, áreas com altas taxas de perda de solos devem ser desconsideradas para esse tipo de uso, pois não possuem vocação para uso agrícola (apenas se constituindo como áreas recomendadas para conservação e preservação dos recursos vegetais). As APPs também devem ser recuperadas para conservação dos recursos naturais e para a regularização dessas áreas junto aos órgãos ambientais.

Em alguns casos, os fatores perda de solos e capacidade de uso são levados em consideração na elaboração de um zoneamento ambiental e essa pesquisa apresentou a conciliação entre essas duas metodologias para elaboração de tal produto. Os resultados demonstram-se satisfatórios, com bom nível de detalhamento, cujas proposições de ação podem ser executadas pelos gestores. Deve ser destacado, também, o uso dos SIGs e dos dados de sensoriamento remoto, para obtenção das informações e dos produtos cartográficos, sendo de fundamental importância para apresentações e discussão dos resultados.

A partir dos resultados levantados acerca da atual situação da BHSA e com a proposta de zoneamento aqui apresentada, essas informações deverão ser levadas aos órgãos públicos competentes (prefeitura, Serviço de abastecimento de água e ministério público). Isso deverá implicar na ampliação da discussão com outros setores da sociedade, principalmente os produtores rurais. Os resultados aqui expostos e as medidas propostas podem auxiliar na contenção dos problemas existentes nessa bacia relacionados aos processos erosivos.

Também, é de fundamental importância a contribuição das instituições de ensino e pesquisa no auxílio técnico para implementar as medidas aqui propostas na criação de projetos de recuperação das áreas degradadas. Podem ser projetos de recomposição vegetal de áreas de preservação, recuperação de ravinas e voçorocas que podem envolver instituições de ensino básico e superior com a participação dos alunos e, assim, promover princípios da educação ambiental. Ainda existe a possibilidade de desenvolver novas pesquisas na área, sobretudo relacionado a qualidade da água, visto que verificou-se grandes estimativas de perda de solos que vão em direção aos mananciais, carreando muitas partículas e possíveis substâncias para água. Acredita-se que este trabalho possa ser utilizado como instrumento de gestão para essa bacia e contribuir com futuras pesquisas.

## REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### INTRODUÇÃO

Agência Nacional de Águas.< Disponível em:  
<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/default.aspx>>. Acesso em 10 de jun. de 2020.

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. n° 36, volume especial, 2014. Pag. 26-43.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de texto, 2009. 208p.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 5ª ed., 2012. 355p.

### Capítulo I

ABRÃO, C. M. R. **Diagnóstico da fragilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MS como subsídio ao planejamento ambiental**. Dissertação (mestrado) 99f. UFMS, Aquidauana, 2016.

ABRÃO, C. M.R.; KUERTEN, S. Avaliação da Área de Preservação Permanente do rio Santo Antônio na colônia Santo Antônio em Guia Lopes da Laguna-MS: aplicação do novo código florestal. **Boletim Goiano de Geografia**. V. 36, n. 2, 2016. pág. 265-284

BACANI, V. M.; LUCHIARI, A. Geoprocessamento aplicado ao zoneamento ambiental da bacia hidrográfica do alto rio Coxim – MS. **GEOUSP – Espaço e Tempo**. V. 18, n. 1, 2014. pág. 184-197.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 5ª ed., 2005. 355p.

BERTRAND, G.; BERTRAND, C. **Uma geografia de transversal e de travessias**: o meio ambiente através dos territórios e das temporalidades. Tradução: Messias Modesto dos Passos. Maringá: Massoni, 2009. 360p.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Pag. 153 – 192.

BRASIL. **Decreto 4.297, de 10 de julho de 2002**. Estabelecendo critérios para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil – ZEE. Brasília, 2002.

BRASIL. **Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981**. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 1981.

CÂMARA, G. DAVIS, C. Introdução In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Pag. 1 – 6.

CÂMARA, G.; A. M. V. Conceitos básicos em ciência da geoinformação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos: INPE, 2001. Pag. 1 – 6.

CHÁVEZ; E. S.; RIBEIRO, A. F do N. La cartografía de los paisajes con el empleo de los sistemas de información geográfica: caso de estudio parque nacional sierra de Bodoquena y su entorno, Mato Grosso do Sul, Brasil. **GEOSIG**. Ano 0, nº 9, 2017. Pag. 186-205.

CHÁVEZ, E. S; PUEBLA, A. M. R. Propuesta Metodológica Para La Delimitación Semi Automatizada De Unidades De Paisaje De Nivel Local. **Revista do Departamento de Geografia**, v.25, p.1-19, 2013.

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. nº 36, volume especial, 2014. Pag. 26-43.

CREPANI, E.; J. S. de MEDEIROS.; FILHO, P. H.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zonamento Ecológico Econômico e ao ordenamento territorial**. São José dos Campos: INPE, 2001. 103p.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008a. 160p.

FITZ, P. R. **Cartografia básica**. São Paulo: Oficina de textos, 2008b. 143p.

FLORENZANO, T. G.. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128p

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para geomorfologia In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. Pag. 36 – 72.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Pag. 149 - 209.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Pag. 225 – 256.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Ephiaphanio et al. São José dos Campos: Parênteses, 2009. 599p.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG**. Tradução: Hermann Kux. São Paulo: Oficina de textos, 2009, 424p.

MENDONÇA, F.; MARQUES, G. S. Degradação ambiental e qualidade da água em bacia hidrográfica de abastecimento público: rio Timbú – PR. **Entre Lugar**. v. 2, n. 3, p. 111-136, 2011.

MENDONÇA, F. **Geografia física: ciência humana?** São Paulo: Contexto, 2014. 72p.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed 1ª reimp. Ed. da UFV, 2007. 320p.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de texto, 2009. 208p.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do depto de geografia – FFLCH – USP: Humanitas**, 1998. Pag. 88 – 121.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2004-2013. 184p.

SILVA, E. V. da.; RODRIGUEZ, J. M. M. Planejamento e zoneamento de bacias hidrográficas: a geoecologia das paisagens como subsídio para uma gestão integrada. **Caderno Prudentino de Geografia**. nº 36, volume especial, 2014. Pag. 4-17.

SILVA, J. dos S. V. da.; SANTOS, R. F, dos. **Estratégia metodológica para zoneamento ambiental: a experiência aplicada na bacia hidrográfica do Alto Taquari**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 329p.

SILVA NETO, J. C. A. da. **Zoneamento Ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, serra da Bodoquena – MS**. Tese (Doutorado) 291f. Presidente Prudente, UNESP, 2013.

TROMBETA, L. R.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental e geoecologia das paisagens: contribuições para a bacia hidrográfica do córrego Guaiçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil. **Rev. Formação Online**. Vol. 3, n. 23, 2016. 187-216

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS/ABRH, 3ª ed., primeira reimpressão, 2004. 943p.

## Capítulo II

ABRÃO, C. M.R.; KUERTEN, S. Avaliação da Área de Preservação Permanente do rio Santo Antônio na colônia Santo Antônio em Guia Lopes da Laguna-MS: aplicação do novo código florestal. **Boletim Goiano de Geografia**. V. 36, n. 2, 2016. pág. 265-284

ALVAREGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL´ARCO, D. M. Geomorfologia In: BRASIL: **ministério de minas e energia secretaria geral Projeto Radambrasil**. Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. Pag. 125 – 184.

ARAÚJO, H. J. de. et al. Geologia. In: BRASIL: **ministério de minas e energia secretária geral Projeto Radambrasil**. Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982.

BERTALANFFY, L. **Teoria geral dos sistemas**. Fundamentos, desenvolvimento e aplicações. Petrópolis: Vozes, 2013. 321p.

BOTELHO, R. G. M.; SILVA, A. S. da. Bacia hidrográfica e qualidade ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Pag. 153 – 192.

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. n° 36, volume especial, 2014. Pag. 26-43.

CONGALTON, R. G. A Review of Assesing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. **Remote Sens. Environ.** Vol. 47, 35-46, 1991.

CUNHA, E. R.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, RICHARDE MARQUES da.; BACANI, V.M.; POTT, A. Future scenarios based on a CA-Markov land use and land cover simulation model for a tropical humid basin in the Cerrado/Atlantic forest ecotone of Brazil. **Land Use Policy**, v.101, 2021. pp 105-141

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, 2017. pp. 851-868.

CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Blucher, 1980.188p.

DIBIESO, E. P. **Planejamento ambiental e gestão dos recursos hídricos**: estudo aplicado à bacia hidrográfica do alto curso do Rio Santo Anastácio. (Tese de Doutorado) 283f. Presidente Prudente, UNESP, 2013).

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO (1973) **Folha Vista Alegre SF**. 21-X-C-VI. Escala: 1: 100.000.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. (1973) **Folha Jardim SF**. 21-X-C-II. Escala: 1.100.000.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. (1973) **Folha Boqueirão SF**. 21-X-C-V. Escala: 1:100.000.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. (1979) **Folha Nioaque SF**. 21-X-C-III. Escala: 1:100.000.

ESRI. **Environmental Systems Research Institute**. ArcGis10.2 Copyright ESRI Inc. 2013.

FLORENZANO, T. G. Sensoriamento remoto para geomorfologia In: FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de textos, 2008. Pag. 36 – 72.

FLORENZANO, T. G.. **Iniciação em sensoriamento remoto**. 3ª ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011. 128p.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos** .11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Pag. 149 - 209.

IBGE. **Manual técnico de geomorfologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2009. 182p.

IBGE. **Manual Técnico de uso da terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171p.

IBGE. **Manual Técnico de Vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 175p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epherphanio et al. São José dos Campos: Parênteses, 2009. 599p.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n.1, p. 159-174, 1977.

LACERDA FILHO, J. V. de. **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul**. Goiânia: CPRM, 2006. 121p.

LIMA, W. de L. **Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba: USP, 2008. 253p.

MARQUES NETO; R.; FERRARO, B. V. Cartografia geomorfológica regional e morfogênese: contribuições metodológicas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. Vol. 19, nº 2. 2018. pp 267-281.

MEDEIROS, R. B. **Zoamento Ambiental para o sistema Cárstico da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso**. (Tese de Doutorado) 403f. Dourados, UFGD, 2020.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3ª ed 1ª reimp. Ed. da UFV, 2007. 320p.

NASCIMENTO, W. M. do.; VILLAÇA, M. G. Bacias hidrográficas: planejamento e gerenciamento. **Rev. eletrônica da AGB – seção Três Lagoas MS**. nº. 7, maio., ano 5, 2008. Pag. 102 – 121.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do depto de geografia – FFLCH – USP: Humanitas**, 1998. Pag. 88 – 121.

ROSS, J. L. S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do depto de geografia FFLCH/USP**. 1992. Pag. 19 – 29.

ROSS, J. L. S. Land forms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do depto. de geografia - FFLCH – USP**, 2012. Pag. 38 – 51.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SILVA NETO, J. C. A. da. **Zoneamento Ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, serra da Bodoquena – MS**. Tese (Doutorado) 291f. Presidente Prudente, UNESP, 2013.

SILVA, J. S. V.; POTT, A.; ABDON, M. M. POTT, V. J.; SANTOS, K, R. **Projeto GeoMS**: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 64p.

TROMBETA, L. R.; LEAL, A. C. Planejamento ambiental e geocologia das paisagens: contribuições para a bacia hidrográfica do córrego Guaiçarinha, município de Álvares Machado, São Paulo, Brasil. **Rev. Formação Online**. Vol. 3, n. 23, 2016. 187-216

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed. Da UFRGS/ABRH, 3ª ed., primeira reimpressão, 2004. 943p.

Sites consultados:

<http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>

<http://www.cpaio.embrapa.br/clima/clima.cpaio/index.php?pg=chuvams>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>

<http://www.semade.ms.gov.br/a-secretaria/>

### Capítulo III

ALVAREGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL´ARCO, D. M. Geomorfologia In: BRASIL: **ministério de minas e energia secretaria geral Projeto Radambrasil**. Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. Pag. 125 – 184.

ARAÚJO, H. J. de. et al. Geologia. In: BRASIL: **ministério de minas e energia secretária geral Projeto Radambrasil**. Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. Pag. 23 – 124.

ASMAMAW, L. B.; MOHAMMED, A. A. Identification of soil erosion hotpost áreas for sustainable land manangement in the Gerado catchment, North-eastern Ethiopia. **Remote Sensing aplications: Society and Environment**. Vol. 13, 2019. pp. 306-317.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 5ª ed., 2012. 355p.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. A GIS procedure for automatically calculating the USLE LS fator on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation**. V. 51, n. 5, 1996. pp. 427-433.

ESRI. **Environmental Systems Research Institute**. ArcGis10.2 Copyright ESRI Inc. 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos**. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Roma, 1980. 86 p.

GALDINO, S. **Estimativa de perda de terra sob pastagens cultivadas sem solo arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari – MS/MT**. (Tese de Doutorado). 99p. UNICAMP, 2012.

GUERRA, A. J. T.; MENDONÇA, J. K. S. Erosão dos solos e a questão ambiental. In: VITTE, A. C.; GUERRA, A. J. T. **Reflexões sobre a geografia física no Brasil**. 5ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011. Pag. 225 – 256.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da. (Org.) **Geomorfologia**: uma atualização de bases e conceitos .11ª ed. Rio de janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Pag. 149 - 209.

IBGE. **Manual Técnico de uso da terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171p.

IBGE. **Manual Técnico de Vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 175p.

IBGE. **Manual Técnico de Pedologia**. 3º ed. Rio de Janeiro, 2015. 430p.

KARLEN, D. L.; VENUM, K. S.; SUDDUTH, K. A.; OBRYCKI, J. F.; NUNES, M. R. **Soil health assement**: past accomplishments, current activities, and future opportunities. *Soil & Tillage Research*. Vol. 195, 2019.

LACERDA FILHO, J. V. de. **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul**. Goiânia: CPRM, 2006. 121p.

LAL, R. Accelerated Soil erosion as a source of atmospheric CO2. **Soil & Tillage Research**. V. 188, 2019. pp. 35-40.

MIQUELONI, D. P.; BUENO, C. R. P.; FERRAUDO, A. S. Análise espacial dos fatores da equação universal de perda de solo em área de nascentes. **Pesq. Agropec. Bras.** Brasília, v. 47, nº 9, 2012. Pag. 1358-1367.

MCCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, vol. 30, 1987. pp. 1387-1396.

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. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de texto, 2009. 208p.

SADEGHI, S. H.; ZABIHI, M.; VAFAKHAH, M.; HAZBAV, Zi. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. **Natural Hazards**. Vol. 87, 2017. Pp 34-56.

SANTOS, R. D. dos.; LEMOS, R. C. de.; SANTOS, H. G. dos.; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 53 ed. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência de Solo, 2005. 100p.

SALOMÃO, F.X.T. **Controle e prevenção de processos erosivos**. In: GUERRA, A.T.; SILVA, A.S.; BOTELHO, R.G.M. Erosão e conservação dos solos. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 7ª Ed. p.101-126, 2012.

SILVA, J. S. V.; POTT, A.; ABDON, M. M. POTT, V. J.; SANTOS, K, R. **Projeto GeoMS**: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 64p.

TEKA, K. HAFTU, M.; OSTWALD, M.; CEDERBERG, C. Can integrated watershed management reduce soil erosion and improve livelihoods? A study from northern Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**. Vol. 8, 2020. Pp. 266-276.

TEIXEIRA, P. C. **Manual de métodos de análise de solo**. 3º ed. rev. Brasília: Embrapa, 2017. 574p.

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.

Sites consultados:

<http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>

<http://www.cpao.embrapa.br/clima/clima.cpao/index.php?pg=chuvams>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>

<http://www.semade.ms.gov.br/a-secretaria/>

#### Capítulo IV

ALVAREGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL´ARCO, D. M. Geomorfologia In: BRASIL: **ministério de minas e energia secretaria geral Projeto Radambrasil**. Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. Pag. 125 – 184.

ARAÚJO, H. J. de. et al. Geologia. In: BRASIL: **ministério de minas e energia secretária geral Projeto Radambrasil**. Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. Pag. 23 – 124.

ASMAMAW, L. B.; MOHAMMED, A. A. Identification of soil erosion hotpost áreas for sustainable land manangement in the Gerado catchment, North-eastern Ethiopia. **Remote Sensing applications: Society and Environment**. Vol. 13, 2019. pp. 306-317.

BOLLATI, I.M.; MASSEROLI, A.; MORTARA, G.; PELFINI, M.; TROMBINO, L. Alpine gullies system evolution: erosion drivers and control factors. Two examples from the western Italian Alps. **Geomorohology**. v. 327, 2019. pp. 248-263.

BORTOLETI JUNIOR, A.; GONÇALVES, L. G.; RIBEIRO, M. A. R.; AFONSO, R. de O.; SANTOS, R. F. dos.; SOUZA, C. S. da S. A importância do plantio direto e do plantio convencional e as suas relações com o manejo e conservação do solo. **Revista Conexão Eletrônica**. Vol. 12, n. 1, 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, 2017. pp. 851-868.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO (1973) **Folha Vista Alegre SF**. 21-X-C-VI. Escala: 1: 100.000.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. (1973) **Folha Jardim SF**. 21-X-C-II. Escala: 1.100.000.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. (1973) **Folha Boqueirão SF**. 21-X-C-V. Escala: 1:100.000.

DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO. (1979) **Folha Nioaque SF**. 21-X-C-III. Escala: 1:100.000.

ESRI. **Environmental Systems Research Institute**. ArcGis10.2 Copyright ESRI Inc. 2013.

LEPSCH, I.F. **Formação e Conservação dos Solos**. - 2ª ed. – São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1991, 175p.

DEMARCHI, J. C. **Geotecnologias aplicadas à estimativa de perdas de solo por erosão hídrica na sub-bacia do Ribeirão das Perobas, município de Santa Cruz do Rio Prado – SP**. Dissertação (mestrado). 150f. Botucatu. Unicamp, 2012.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. 2º ed. rev. Rio de Janeiro, 1997. 212p.

GALDINO, S. **Estimativa de perda de terra sob pastagens cultivadas sem solo arenosos da bacia hidrográfica do Alto Taquari – MS/MT**. (Tese de Doutorado). 99p. UNICAMP, 2012.

GUERRA, A. J. T. Processos Erosivos nas Encostas In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B da. (Org.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 11ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. Pag. 149 - 209.

GUSAROV, A. V.; GOLOSOV, V.; IVANOV, M.M.; SHARIFULLIN, A. G. Influence of relief characteristics and landscape connectivity on sediment redistribution in small agricultural catchments in the forest-steppe landscape zone of the Russian Plain within European Russia (2019). **Geomorphology**. V. 327, 2019. Pp. 230-247.

JAZOULI, A. E.; AHMED, B.; RIDA, K.; RAIS, J.; BAGHDADI, M. E. Remote sensing and GIS techniques for prediction of land use land cover change effects on soil erosion in the high basin of the Oum Er Rbia River (Morocco). **Remote Sensing Applications: society and Environment**. Vol. 13, 2019. Pp. 361-374.

LACERDA FILHO, J. V. de. **Geologia e recursos minerais do estado de Mato Grosso do Sul**. Goiânia: CPRM, 2006. 121p.

LAL, R. Accelerated Soil erosion as a source of atmospheric CO<sub>2</sub>. **Soil & Tillage Research**. V. 188, 2019. pp. 35-40

KARLEN, D. L.; VENUM, K. S.; SUDDUTH, K. A.; OBRYCKI, J. F.; NUNES, M. R. Soil health assessment: past accomplishments, current activities, and future opportunities. **Soil & Tillage Research**. Vol. 195, 2019.

RAMALHO-FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3ª Edição. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1995. 65p.

RAMALHO FILHO, A.; PEREIRA, L. C. **Aptidão agrícola das terras do Brasil: potencial de terras e análise dos principais métodos de avaliação**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 1999. 36p.

SADEGHI, S. H.; ZABIHI, M.; VAFAKHAH, M.; HAZBAV, Zi. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. **Natural hazards**. V.. 87, 2017. Pp 34-56.

SEPURA, T. K.; DUBE, T. Na appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. **Remote Sensing applications: Society and Environment**. Vol. 9, 2018. Pp. 1-9.

SILVA, J. S. V.; POTT, A.; ABDON, M. M. POTT, V. J.; SANTOS, K, R. **Projeto GeoMS: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 64p.

SILVA NETO, J. C. A. da. Indicação para o uso da terra na bacia hidrográfica do rio Salobra – Serra da Bodoquena, Mato Grosso do Sul. **Ra'e'ga**. V. 25, 2012. pp. 279-304.

SILVA, R. L. e.; DE MARIA, I. C. de. Erosão em sistema plantio direto: influencia do comprimento da rampa e da direção de semeadura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 15, n. 6, 2011. Pag 554-561.

SINHA, N.; DEBASIS, D.; PATHAK, K.; PARAMANIK, R. Modified E30 model for assessing soil erosion potential in a highly precipitated hilly watershed of North-East India. **Remote Sensing applications: Society and Environment**. Vol. 10, 2018. Pp 173-182.

TEKA, K. HAFTU, M.; OSTWALD, M.; CEDERBERG, C. Can integrated watershed management reduce soil erosion and improve livelihoods? A study from northern Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research**. Vol. 8, 2020. Pp. 266-276.

## Capítulo V

ABRÃO, C. M.R.; KUERTEN, S. Avaliação da Área de Preservação Permanente do rio Santo Antônio na colônia Santo Antônio em Guia Lopes da Laguna-MS: aplicação do novo código florestal. **Boletim Goiano de Geografia**. V. 36, n. 2, 2016. pág. 265-284.

ABRÃO, C. M.R.; BACANI, V.M. Diagnóstico do fragilidade ambiental na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MS: subsídio ao zoneamento ambiental. **Boletim Goiano de Geografia**. V. 38, n. 3, 2018. pág. 619-645.

ALVAREGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL'ARCO, D. M. Geomorfologia In: BRASIL: **ministério de minas e energia secretaria geral Projeto Radambrasil**. Folha SF 21 Campo Grande; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1982. Pag. 125 – 184.

ASMAMAW, L. B.; MOHAMMED, A. A. Identification of soil erosion hotpost áreas for sustainable land manangement in the Gerado catchment, North-eastern Ethiopia. **Remote Sensing applications: Society and Environment**. Vol. 13, 2019. pp. 306-317.

BRASIL. Lei n.º 12.651 de 25 de maio de 2012. **Código florestal brasileiro**: promulgado em 25 de maio de 2012. Revoga a Lei nº 4.771 de 15 de setembro de 1965. Brasília, 2012. 34 p

CARDOSO, J. A.; AQUINO, C. M. S. de. Mapeamento dos conflitos de uso das áreas de preservação permanente (APPs) da bacia do riacho do roncador, Timon (MA). **Boletim Goiano de Geografia (Online)**. v. 33, n. 3. P 477-482. Set/Dez. 2013

CARVALHO, R. G. de. As bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**. n° 36, volume especial, 2014. Pag. 26-43.

ESRI. **Environmental Systems Research Institute**. ArcGis10.2 Copyright ESRI Inc. 2013.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO. **Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos**. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Roma, 1980. 86 p.

IBGE. **Manual Técnico de uso da terra**. 3 ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2013. 171p.

IBGE. **Manual Técnico de Vegetação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. 175p.

KARLEN, D. L.; VENUM, K. S.; SUDDUTH, K. A.; OBRYCKI, J. F.; NUNES, M. R. Soil health assesment: past accomplishments, current activities, and future opportunities. **Soil & Tillage Research**. Vol. 195, 2019.

LEPSCH, I.F. **Formação e Conservação dos Solos**. - 2ª ed. – São Paulo: Oficina de Texto, 2010.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JR. R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. 4ª aproximação. Campinas: SBCS, 1991, 175p.

MATO GROSSO DO SUL. **Diagnóstico da Bacia Hidrográfica do rio Miranda**: subsídio a elaboração do Plano de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do rio Miranda. Campo Grande, 2013. 324p.

MATO GROSSO DO SUL. **Zoneamento ecológico econômico – Mato Grosso do Sul**: primeira aproximação. Governo do estado de Mato Grosso do Sul, 2009. Disponível em: <<http://www.semagro.ms.gov.br/zoneamento-ecologico-economico-de-ms-zee-ms/>>. Acesso em: julho, 2018.

MATO GROSSO DO SUL. **Zoneamento ecológico econômico – Mato Grosso do Sul**: segunda aproximação. Governo do estado de Mato Grosso do Sul, 2015. Disponível em: <<http://www.semagro.ms.gov.br/zoneamento-ecologico-economico-de-ms-zee-ms/>>. Acesso em: julho, 2018.

MCCOOL, D. K.; BROWN, L. C.; FOSTER, G. R. Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation. **Transactions of the American Society of Agricultural Engineers**, vol. 30, 1987. pp. 1387-1396

PELUZIO, T. M. de.O.; SANTOS, A. R. dos.; FIEDLER, N. C. **Mapeamento de áreas de preservação permanente no ArcGIS 9.3**. CAUFES, 2010. 58p.

ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil**: subsídios para planejamento ambiental. São Paulo: Oficina de texto, 2009. 208p.

SANTOS, R. F. dos. **Planejamento ambiental**: teoria e prática. São Paulo, SP: Oficina de Textos, 2004. 184p.

SILVA, J. dos S. V. da.; SANTOS, R. F, dos. **Estratégia metodológica para zoneamento ambiental**: a experiência aplicada na bacia hidrográfica do Alto Taquari. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 329p.

SILVA, E. V. da.; RODRIGUEZ, J. M. M. Planejamento e zoneamento de bacias hidrográficas: a geoecologia das paisagens como subsídio para uma gestão integrada. **Caderno Prudentino de Geografia**. n° 36, volume especial, 2014. Pag. 4-17.

SILVA, J. S. V.; POTT, A.; ABDON, M. M. POTT, V. J.; SANTOS, K, R. **Projeto GeoMS**: Cobertura vegetal e uso da terra do Estado de Mato Grosso do Sul. Campinas: Embrapa Informática Agropecuária, 2011. 64p.

ZARONI, M. J. **Zoneamento Agroecológico do município de Guia Lopes da Laguna – MS**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 66p.  
Sites consultados:

<http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>

<http://www.cpaio.embrapa.br/clima/clima.cpaio/index.php?pg=chuvams>

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>

<http://www.semade.ms.gov.br/a-secretaria/>

**ANEXOS**

## 01 - Ficha de Descrição Trabalho de Campo

Ficha de Descrição Geral 											
Ponto de Amostragem N°:				Local:							
				Coleta de amostra: ( ) sim ( ) não				Registro fotográfico ( ) sim ( ) não N.º Foto: _____			
Projeto:				Data: / /		Hora:		Resp:			
Localização: Bacia Hidrográfica do Rio Santo Antônio						Coordenadas:					
Situação, geral do local :								Altitude:			
Litologia e Unidade Litoestratigráfica:				Estruturas: Direção de camada: Sentido e mergulho de camada:				Uso Atual:			
Relevo Local			Relevo Regional			Drenagem solo / Rede de drenagem			Erosão		
Plano		Forte Ondulado	Plano		Forte Ondulado	Solo mal Drenado		Rios encaixados	CLASSE		TIPOS
Suave Ondulado		Montanhoso	Suave Ondulado		Montanhoso	Imperfeitamente Drenado		Rios meandrantés	Não Aparente	Muito Forte	Laminar
Ondulado		Escarpado	Ondulado		Escarpado	Moderadamente Drenado		Planície restrita	Ligeira	Extremamente Forte	Sulcos
Feição de relevo distinta:						Muito drenado		Planície expressiva	Moderada		Ravinas
<b>Forma da vertente:</b>									Forte		Voçorocas
Práticas conservacionistas						Vegetação/ Uso da terra					
Curva de nível			Manejo de Pastagem			Cobertura vegetal			Usos		
Terraço			Reflorestamento			Floresta		Paludosa	Urbano		Pastagem
Plantio Direto			Ausentes			Cerrado		Pastagem nativa	Cana-de-açúcar		Silvicultura
Rotação de Cultura						Cerradão		Pasto Sujo	Agricultura		Outros:
Outros:						Aluvial		Hidrófila	Solo exposto		
Impactos ambientais:											

Elaborado por: Marcos Norberto Boin (2017).

## 02 - Ficha de Descrição Perfil de Solo

## Ficha de Descrição Perfil de Solo



Perfil Nº:		Município:		Coleta de amostra: ( ) sim ( ) não		Registro fotográfico ( ) sim ( ) não N.º Foto:			
Projeto:			Data: / /		Hora:		Resp:		
Localização:				Coordenadas:					
Situação, geral do local :						Altitude:			
Litologia e Unidade Litoestratigráfica:			Formação Geológica: Material de Origem:			Uso Atual:			
<b>Classificação</b>		<b>Relevo Local</b>		<b>Drenagem solo / Rede de drenagem</b>		<b>Erosão</b>			
Latossolo	Gleissolo	Plano	Forte Ondulado	Solo mal Drenado	Rios encaixados	<b>CLASSE</b>		<b>TIPOS</b>	
Neossolo	Argissolo	Suave Ondulado	Montanhoso	Imperfeitamente Drenado	Rios meandrantés	Não Aparente	Muito Forte	Laminar	
Plintissolo	Cambissolo	Ondulado	Escarpado	Moderadamente Drenado	Planície restrita	Ligeira	Extremamente Forte	Sulcos	
Outra:		Outra:		Muito drenado	Planície expressiva	Moderada		Ravinas	
						Forte		Voçorocas	
<b>Solo</b>				<b>Uso da terra</b>					
<b>Textura</b>		<b>Cor</b>		<b>Vegetação/ Uso da terra</b>					
				<b>Vegetação</b>		<b>Uso da terra</b>			
Argilosa		Vermelha		Floresta	Restinga	Veg Nativa	Pastagem		
Siltosa		Vermelha Amarela		Cerrado	Campo	Cana-de-açúcar	Silvicultura		
Arenosa		Amarela		Cerradão	Campinaiana	Soja	Outros:		
Muito Pedregosa		Escura		Mata	Hidrófila	Milho			
Outra		Outra:		-----	-----	-----	-----		
Impactos ambientais:							Vegetação	Solo	Subsolo

Descrição morfológica (Horizontes e caracterização)				Pofundidade
Horizontes	Cor nos Horizontes	Transição	Descrição (textura e granulometria)	

**Adaptado de:** Marcos Norberto Boin (2017).