

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA CONSERVAÇÃO  
DO SOLO E DA ÁGUA NA ÁREA DE PROTEÇÃO  
AMBIENTAL DO RIO UBERABA COM  
GEOPROCESSAMENTO**

**Hygor Evangelista Siqueira**  
Tecnólogo em Gestão Ambiental

**2019**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP  
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA CONSERVAÇÃO  
DO SOLO E DA ÁGUA NA ÁREA DE PROTEÇÃO  
AMBIENTAL DO RIO UBERABA COM  
GEOPROCESSAMENTO**

**Discente: Hygor Evangelista Siqueira**

**Orientador: Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira**

**Coorientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra**

**Coorientador: Prof. Dr. Diego Silva Siqueira**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

**2019**

S618i Siqueira, Hygor Evangelista  
Identificação de áreas para conservação do solo e da água na Áreas de Proteção Ambiental do rio Uberaba com geoprocessamento / Hygor Evangelista Siqueira. -- Jaboticabal, 2019  
77 p. : il., tabs., fotos, mapas + 1 CD-ROM

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal  
Orientador: Gener Tadeu Pereira  
Coorientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra

1. Erosão. 2. Sistema de informação geográfica. 3. Equação universal de perda de solo. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO DA TESE: IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO UBERABA COM GEOPROCESSAMENTO**

**AUTOR: HYGOR EVANGELISTA SIQUEIRA**

**ORIENTADOR: GENER TADEU PEREIRA**


**COORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA**

**COORIENTADOR: DIEGO SILVA SIQUEIRA**

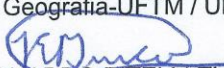
Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:

  
Prof. Dr. GENER TADEU PEREIRA  
Departamento de Ciências Exatas / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. VALDEMIR ANTONIO RODRIGUES  
Departamento de Agronomia-FCA/UNESP / Botucatu/SP

  
Prof. Dr. MARCÍLIO VIEIRA MARTINS FILHO  
Departamento de Solos e Adubos / FCAV / UNESP - Jaboticabal

  
Prof. Dr. CARLOS ALBERTO ARAUJO CAMPOS  
Departamento de Geografia-UFTM / Uberaba/MG

  
Prof. Dr. JOSÉ EDUARDO PITELLI TURCO  
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 08 de novembro de 2019

## **DADOS CURRICULARES DO AUTOR**

**HYGOR EVANGELISTA SIQUEIRA** - Filho de José Rubens de Siqueira e Haydee Alves Evangelista Siqueira. Nasceu em Uberaba – MG, em 02 de outubro de 1988. Graduado em Tecnologia em Gestão Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Câmpus Uberaba em 2011. É Especialista em Saneamento Ambiental (2013) e em Gestão Ambiental: Diagnóstico e Adequação Ambiental (2016) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Câmpus Uberaba e Especialista em Geomática com ênfase em georreferenciamento de imóveis rurais pela Universidade Federal do Triângulo Mineiro em 2014. Durante a graduação e pós-graduação, atuou como bolsista em projetos de iniciação científica e de extensão, em estudos relacionados ao saneamento, uso e ocupação do solo, qualidade de água e determinação do potencial de uso do solo em bacias hidrográficas e desenvolveu projetos em parceria com o Ministério Público de Minas Gerais, junto à Promotoria de Meio Ambiente de Uberaba e ao Núcleo Interinstitucional de Estudos Ambientais – NIEA. Atua como consultor técnico em projetos de Saneamento, Agropecuários e Ambiental e docente em cursos de graduação e especialização. É membro de grupos de pesquisa como o de Manejo Sustentável de Bacias Hidrográficas do IFTM, o de Geoprocessamento, Natureza e Sociedade da UFTM, o de Política de Uso do Solo – POLUS e o de Caracterização do Solo para Manejo Específico – CSME da FCAV/UNESP.

Aos meus pais, José Rubens e Haydeé, e

Aos meus professores,

**DEDICO.**

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, por não me deixar desistir de nenhum de meus objetivos, e estando sempre ao meu lado, dando-me força para superar os obstáculos.

Aos meus pais e familiares por todo apoio e incentivo.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP - Câmpus de Jaboticabal, pelo apoio e infraestrutura necessária para realização deste curso.

Ao orientador Prof. Dr. Gener Tadeu Pereira e aos coorientadores Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra e Prof. Dr. Diego Silva Siqueira pelas orientações, ensinamentos e apoio ao longo do curso sempre dispostos a contribuir com suas experiências.

Aos professores membros da banca examinadora: Prof. Dr. Marcílio Vieira Martins Filho, Prof. Dr. José Eduardo Pitelli Turco, Prof. Dr. Carlos Alberto Araújo Campos e o Prof. Dr. Valdemir Antonio Rodrigues. pelas significativas contribuições para a melhoria deste trabalho.

A todos os professores pelo aprendizado e pela troca de conhecimentos ao longo desta etapa.

À Luciane Meire Ribeiro da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação, no auxílio da correção das referências bibliográficas.

Aos amigos Lucas Hordones, Antônio Tassio Ormond, Ruy de Aguiar, Mauro Machado, Paulo Desidério, Carlos Campos, Carlos Valera, Janaína Guidolini, Magda Martins, Maytê Silva, Renato Cavalcanti, Joissy Andrade, Renata Costa, Conceição Lopes, Gabriela Pina, Rafael Parras, dentre tantos outros companheiros de estrada, do curso, das estadias, dos intercâmbios e das atividades. Levarei comigo para sempre a lembrança e terei sempre gratidão pelo que por mim fizeram e pela convivência nestes anos.

Aos docentes e amigos da Universidade Federal do Triângulo Mineiro no Laboratório de Geomorfologia, Clima e Solos – LAGECS: Prof. Dr. Carlos Campos e Prof. Dr. Josenilson Silva, e do Laboratório de Cartografia e Geoprocessamento – CARTOGEO Prof. Dr. Ricardo Ferreira. Sou grato pelos incentivos, auxílio nos trabalhos de campo e câmbios científicos.

Aos docentes e amigos do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba Prof. Dr. Renato Farias do Valle Junior, Profa. Dra. Vera L. Abdala, Prof. Dr. Amilton Diniz, Prof. Dr Antônio C. Barreto, Profa. Dra. Maria Amélia da S. C. Sousa, dentre tantos outros, pelos ensinamentos desde à graduação e especializações, pelos incentivos e sempre dispostos a auxiliarem.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho e de minha formação pessoal e profissional. Um muitíssimo obrigado.

## SUMÁRIO

LISTAS DE ABREVIATURAS .....	iii
LISTA DE TABELAS .....	iv
LISTA DE FIGURAS .....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT .....	vii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Unidades de Conservação de Uso Sustentável: Áreas de Proteção Ambiental.....	4
2.2 A erosão do solo e estimativas de perdas de solo pelo processo erosivo	7
2.3 Bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão.....	11
2.4 Uso das geotecnologias nas análises ambientais.....	13
2.5 Definição das áreas para conservação .....	15
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Área de estudo.....	18
3.2 Elaboração do Banco de Dados Geográficos.....	23
3.3 Mapeamento do uso e cobertura da terra.....	25
3.4 Mapeamento do Modelado do Relevo.....	26
3.5 Parâmetros morfométricos .....	27
3.6 Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e Potencial Natural de Erosão (PNE) .....	29
3.7 Mapeamento das áreas para conservação.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 Uso e cobertura dos solos.....	36

4.2 Mapeamento do Modelado do Relevo.....	41
4.3 Parâmetros Morfométricos .....	47
4.4 Potencial Natural de Erosão - PNE.....	48
4.5 Estimativas das perdas de solo pela erosão .....	51
4.6 Estimativas das perdas de solo pela erosão acima dos limites de tolerância dos solos .....	55
4.7 Mapeamento das áreas para conservação do solo e da água .....	60
4.8 Recomendações para minimizar as perdas de solo pela erosão .....	66
5 CONCLUSÃO .....	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	69

**LISTAS DE ABREVIATURAS**

APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
Arc	Rampa de Colúvio
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
CNUC	Cadastro Nacional de Unidades de Conservação
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
DE	Dissecado Estrutural
Dt	Dissecado de Topo Tabular
Dtc	Dissecado de Topo Convexo
Kc	Coefficiente de Compacidade
Kf	Fator forma
FAO	<i>Food and Agriculture Organization of the United Nations</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	Índice de Circularidade
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
Pgi	Pediplano Degradado Inumado
PM	Plano de Manejo
PNE	Potencial Natural de Erosão
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SR	Sensoriamento Remoto
UC	Unidade de Conservação
USLE	<i>Universal Soil Loss Equation</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator</i>
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZCOU	Zona de Convergência de Umidade

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Quantitativos das Áreas de Proteção Ambiental (APA) nos diferentes Biomas no Brasil e Área Continental.....	5
<b>Tabela 2.</b> Conjuntos de dados geográficos utilizados, uso específico e fonte de acesso.....	24
<b>Tabela 3.</b> Classes de declividade adotadas.....	27
<b>Tabela 4.</b> Valores de $EI_{30}$ da chuva na região de Uberaba-MG.....	29
<b>Tabela 5.</b> Valores de Erodibilidade (K) dos solos adotados.....	30
<b>Tabela 6.</b> Valores do fator CP adotados.....	31
<b>Tabela 7.</b> Valores de Tolerância atribuídos dos solos da APA do rio Uberaba.....	32
<b>Tabela 8.</b> Fatores considerados na definição das áreas prioritárias para Conservação.....	34
<b>Tabela 9.</b> Fatores considerados na definição das áreas prioritárias para Conservação nas perdas superiores à Tolerância.....	35
<b>Tabela 10.</b> Uso e cobertura da terra na APA do rio Uberaba, 2019.....	38
<b>Tabela 11.</b> Uso e ocupação do solo nas Áreas de Preservação Permanente.....	39
<b>Tabela 12.</b> Estrutura Geomorfológica e resultados do Mapeamento do Modelado na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba.....	41
<b>Tabela 13.</b> Índices morfométricos da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.....	47
<b>Tabela 14.</b> Potencial Natural de Erosão da APA do rio Uberaba.....	49
<b>Tabela 15.</b> Estimativas de perdas de solo pela erosão hídrica na APA do rio Uberaba.....	51
<b>Tabela 16.</b> Estimativa de perdas de solo por erosão dentro do limite de tolerância e acima dos limites de tolerância na APA do rio Uberaba.....	55
<b>Tabela 17.</b> Áreas prioritárias para a conservação das Áreas de Preservação Permanente na APA do rio Uberaba.....	61
<b>Tabela 18.</b> Áreas prioritárias para a conservação do solo e da água com perdas de solo superiores a tolerância na APA do rio Uberaba.....	64

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Localização da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba .....	18
<b>Figura 2.</b> Mapa geológico da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.....	20
<b>Figura 3.</b> Mapa Pedológico da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba .....	21
<b>Figura 4.</b> Esquema metodológico dos fatores e valores atribuídos e calculados para a estimativa do PNE e da USLE.....	33
<b>Figura 5.</b> Uso e cobertura do solo na APA do rio Uberaba, 2019.....	37
<b>Figura 6.</b> Principais usos agropecuários na APA do rio Uberaba.....	40
<b>Figura 7.</b> Unidades do modelado do relevo na APA do rio Uberaba.....	42
<b>Figura 8.</b> Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada – ARP dos modelados do relevo. ....	45
<b>Figura 9.</b> Ruptura do relevo da Unidade Pgi para a Dtc por Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada – ARP. Data: 05/10/2019. ....	46
<b>Figura 10.</b> Potencial Natural de Erosão na APA do rio Uberaba.....	49
<b>Figura 11.</b> Estimativa das perdas de solo na APA do rio Uberaba.....	52
<b>Figura 12.</b> Perfil topográfico E-SW (nascente á foz) com ilustrações dos usos e perdas de solo na APA do rio Uberaba.....	54
<b>Figura 13.</b> Mapa do risco de erosão em relação ao tolerável na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.....	57
<b>Figura 14.</b> Processos erosivos na APA do rio Uberaba.....	58
<b>Figura 15.</b> Técnicas de conservação do solo implantadas na APA do rio Uberaba.	60
<b>Figura 16.</b> Áreas Prioritárias para Conservação das Áreas de Preservação Permanente na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba .....	63
<b>Figura 17.</b> Áreas Prioritárias para Conservação nas Estimativas de Perda de Solo acima da tolerância na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba .....	65

## IDENTIFICAÇÃO DE ÁREAS PARA CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA NA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO UBERABA COM GEOPROCESSAMENTO

**RESUMO** - As Unidades de Conservação é um instrumento da Política Nacional de Meio Ambiente que determinou a criação de espaços para que sejam utilizados como proteção e garantia do equilíbrio ecossistêmico no território brasileiro. A Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba (APA) é uma Unidade de Conservação criada com o objetivo de garantir a qualidade das águas do rio Uberaba, sendo este, o manancial de abastecimento público da cidade de Uberaba - MG. É caracterizada como uma unidade de conservação de uso sustentável, e algumas atividades altamente impactantes vêm sendo realizadas na sua área, com isso, causando diversas alterações no meio, tais como erosão, eutrofização de cursos d'água e alterações na qualidade e quantidade de água. Objetivou-se nesta proposta identificar as áreas prioritárias para conservação do solo e da água na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba utilizando técnicas de geoprocessamento. As áreas foram definidas a partir da estimativa de perdas de solos pela Equação Universal de Perda de Solo e dos usos e ocupação dos solos nas Áreas de Preservação Permanente. O modelado do relevo fora mapeado em 5 unidades: Dissecado Homogêneo de Topo Tabular – Dt (42,39%); Dissecado Homogêneo de Topo Convexo – Dtc (24,78%); Rampa de Colúvio– Arc (17,21%); Pediplano Degradado Inumado – Pgi (11,45%); e o Dissecado Estrutural de Topo Convexo – DE (4,17%) da APA. O Potencial Nacional de Erosão (PNE) apresentou valores baixos (<100 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) em 41,99% da APA, médios (100-200 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) em 25,64% e os valores altos (200-600 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>), muito alto (600 -1000 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) e extremamente alto (>1000 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) apresentou 22,43%, 7,81% e 2,13% respectivamente. As áreas prioritárias para a conservação do solo e da água quanto as Áreas de Preservação Permanente ocupam 1398,74 hectares. As áreas com perdas superiores a tolerância totalizam 18.116,94 hectares da APA do rio Uberaba, sendo estas com maiores estimativas de perdas de solo. O uso de técnicas de Geoprocessamento a partir do emprego do sistema de informação geográfica e da utilização da Equação Universal de Perda de Solo possibilitou identificar espacialmente os locais onde ocorrem os maiores e menores potenciais riscos de erosão e ainda permitiu estimar as taxas de perda de solo ao longo da APA do rio Uberaba.

**Palavras-chave:** Erosão Hídrica, SIG, USLE, Unidades de Conservação.

## IDENTIFICATION OF AREAS FOR SOIL AND WATER CONSERVATION IN THE UBERABA RIVER ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA WITH GEOPROCESSING

**ABSTRACT** – The Conservation Units is an instrument of the National Environmental Policy that determined the creation of spaces to be used as protection and guarantee of the ecosystem balance in the Brazilian territory. The Uberaba River Environmental Protection Area (EPA) is a Conservation Unit created with the objective of guaranteeing the quality of the waters of the Uberaba River, which is the source of public supply of the city of Uberaba - MG. It is characterized as a sustainable use conservation unit, and some highly impacting activities have been carried out in its area, causing several changes in the environment, such as erosion, eutrophication of watercourses and changes in water quality and quantity. The objective of this proposal was to identify priority areas for soil and water conservation in the Uberaba River Environmental Protection Area using geoprocessing techniques. Areas were defined by estimating soil losses by the Universal Equation of Soil Loss and land use and occupation in Permanent Preservation Areas. The relief models were mapped in 5 units: Homogeneous Dissected Tabular Top - Dt (42.39%); Top Convex Homogeneous Dissected - Dtc (24.78%); Coluvium Ramp - Arc (17.21%); Degraded Pediplane - Pgi (11.45%); and the EPA Convex Top - Structural Dissection (4.17%). The Natural Erosion Potential presented low values ( $<100 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) in 41.99% of the APA, average values ( $100\text{-}200 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) in 25.64% and the high values ( $200\text{-}600 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ), very high ( $600\text{-}1000 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) and extremely high ( $> 1000 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) presented 22.43%, 7.81% and 2,13% respectively. Priority areas for soil and water conservation in relation to Permanent Preservation Areas, occupy 1398.74 hectares. Areas with losses above tolerance occupy total area 18116.94 hectares of the Uberaba River EPA, which have the highest estimates of soil loss. The use of geoprocessing techniques from the use of the geographic information system and the use of the Universal Soil Loss Equation made it possible to spatially identify the places where the highest and lowest potential erosion risks occur and to estimate soil loss rates along the Uberaba River EPA.

**Keywords:** water erosion, GIS, USLE, Conservation Units.

## 1. INTRODUÇÃO

Por muitos anos, as atividades agrícolas vêm ganhando novas áreas de exploração de modo a suprir a demanda de alimentos pela crescente população mundial. O uso intensivo do solo aliado à ausência de práticas conservacionistas vem gerando significativas alterações na relação solo-paisagem de modo a intensificar os processos erosivos.

A erosão do uma das principais causas da degradação do solo e é um problema global que influencia negativamente na qualidade do solo e da água, na produtividade agrícola e nas características socioeconômicas relacionadas com o homem e a utilização da terra para sua sobrevivência.

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura (FAO, 2015) estimou que mais de 30% dos solos do mundo estão degradados por processos erosivos, salinização, compactação, acidificação e contaminação que ocasionam significativas interferências na qualidade ambiental. Estimou ainda que, as perdas anuais de culturas causadas pela erosão representam 0,3% da produção total de alimentos e que se mantiverem estes índices ocorrerá à redução total de mais de 10% da produção até 2050.

Os processos erosivos podem ser estimados e espacializados por diferentes metodologias, seja pelo diagnóstico em campo, em simulações em parcelas experimentais ou ainda com o uso de modelos matemáticos e equações. Ao longo dos anos foram sendo desenvolvidas diversas metodologias para estimar a erosão para diferentes regiões do mundo, dado a heterogeneidade dos fatores físicos, climáticos e naturais.

Estimativas de perdas de solo pela erosão vêm sendo levantadas com o uso da Equação Universal de Perdas de Solos (USLE) proposta por Wischmeier e Smith (1978) levando em consideração informações de precipitação, susceptibilidade do solo à erosão, morfologia do terreno, uso e cobertura e práticas conservacionistas. O emprego da USLE contribui tanto na estimativa de perdas de solo como na espacialização dos eventos, o que a torna uma importante ferramenta para o planejamento conservacionista de uso do solo e de planejamento ambiental.

O avanço tecnológico nas áreas de geociências contribui para a diversidade de informações do meio físico que vem sendo disponibilizado gratuitamente por diferentes instituições de pesquisa nacionais e internacionais. É um importante facilitador de acesso a dados geográficos e espaciais que servem de base de informação para a aplicação de modelos de estimativas de perdas de solo por erosão, sendo a bacia hidrográfica a área preferencial para tais aplicações dos modelos de estimativa de erosão e planejamento ambiental.

As bacias hidrográficas são consideradas importantes áreas para o planejamento ambiental por ser uma área da superfície terrestre com divisores naturalmente delimitados pelo relevo o que proporciona compreender, relacionar e quantificar os elementos e as dinâmicas naturais, os processos antrópicos e os fatores socioeconômicos que nelas ocorrem. É considerada como unidade territorial para a implantação das políticas públicas e em locais com alto interesse ecológico seus limites e áreas, em alguns casos, são definidos como unidades de conservação.

As Unidades de Conservação (BRASIL, 2000) são áreas com elevado grau de interesse ecológico, que objetiva garantir a preservação e a conservação da natureza e da diversidade biológica. Nas unidades de conservação de uso sustentável, como no caso das Áreas de Proteção Ambiental (APA), objetiva-se a exploração do meio e a garantia de sustentabilidade dos recursos naturais.

Na APA do rio Uberaba, diversas atividades econômicas e de exploração dos recursos naturais são desenvolvidas. O avanço da urbanização e das áreas agrícolas, a mineração, o desmatamento, a degradação das pastagens, as interferências no uso nas Áreas de Preservação Permanente – APP tem contribuindo negativamente na qualidade de água e intensificando os processos erosivos (Abdala, 2005; Candido, 2008; Valle Junior, 2008; Silva, 2018; Valle Junior et al., 2019; Pissarra et al., 2019; Rodrigues et al., 2019). Na literatura são encontrados trabalhos que realizaram o diagnóstico ambiental na APA do rio Uberaba, porém, a identificação de áreas para conservação do solo e da água não foram espacializadas e identificadas.

O objetivo principal desta proposta foi identificar as áreas para conservação do solo e da água na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba utilizando técnicas de

geoprocessamento. Objetivou-se especificamente em: i) estimar e espacializar as perdas de solo com o uso da Equação Universal de Perda de Solo – USLE; ii) Mapear as Unidades do Modelado do relevo; iii) estimar o potencial natural de erosão; iv) o mapeamento da áreas com prioridades para conservação; e v) recomendações para a preservação dos recursos naturais existentes na literatura.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Unidades de Conservação de Uso Sustentável: Áreas de Proteção Ambiental**

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC é instituído pela Lei Federal nº 9.985 de 18 de julho de 2000 que estabelece critérios e normativas para a criação das Unidades de Conservação da Natureza sendo elas divididas em dois grupos e com características específicas: a de Proteção Integral e a de Uso Sustentável. O objetivo básico das Unidades de Proteção Integral é de preservar a natureza sendo, portanto, admitido somente o uso indireto dos recursos naturais. Nas Unidades de Uso Sustentável o objetivo é de aliar a conservação da natureza com os usos sustentáveis de parcelas dos recursos naturais (Brasil, 2000).

As Unidades de Conservação de Uso Sustentável são constituídas por 7(sete) categorias, sendo elas a Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular de Patrimônio Natural. Cada uma destas categorias possui características, usos, restrições e objetivos definidos pela lei de criação e pelo seu Plano de Manejo.

A Área de Proteção Ambiental - APA são constituídas por terras públicas ou privadas, com certo grau de ocupação urbana, com características bióticas, abióticas, estéticas ou culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas (BRASIL 2000). O objetivo da APA é de proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação do solo e garantir a sustentabilidade dos recursos naturais.

Na tabela 1, está apresentado o quantitativo das Áreas de Proteção Ambiental, nas esferas federal, estadual e municipal, registradas no Cadastro Nacional de Unidades de Conservação – CNUC do Ministério do Meio Ambiente - MMA, dados atualizados em 01 de julho de 2019. Vale ressaltar que neste cadastro estão inseridos as Unidades de Conservação regularizadas quanto a documentação exigida para o registro junto ao CNUC, que incluem a existência de um Plano de

Manejo, os limites georreferenciados entre outros documentos. Existem APA's que estão legalmente criadas, porém ainda não registradas no CNUC.

**Tabela 1.** Quantitativos das Áreas de Proteção Ambiental (APA) nos diferentes Biomas no Brasil e Área Continental

Bioma	Área (km <sup>2</sup> )	Nº de APA	Ocupação da APA nos Biomas (km <sup>2</sup> )	APA no Bioma (%)
Amazônia	4.199.073,0	40	204.011,0	4,9
Caatinga	828.080,0	38	58.617,0	7,1
Cerrado	2.040.285,0	86	110.930,0	5,4
Mata Atlântida	1.118.224,0	221	85.150,0	7,6
Pampa	175.955,0	04	4.443,0	2,5
Pantanal	151.331,0	01	60,0	0,0
Área Continental	8.512.979,0	357	463.211,0	5,4
Área Marinha	3.642.439,0	74	834.972,0	22,9
<b>Total</b>	<b>53.450.317,0</b>	<b>821*</b>	<b>1.761.394,0</b>	-

Fonte: Adaptado do Cadastro Nacional de Unidades de Conservação/MMA (atualizado em 01/07/2019). \*Há casos onde uma UC abrange mais de um bioma.

A APA do rio Uberaba é constituída a partir da Lei Estadual nº 12.183 de 21 de Janeiro de 1999 e pela Lei Municipal nº 9.892 de 28 de dezembro de 2005 sendo esta última a criação com os objetivos de recuperação, preservação e conservação do rio Uberaba; promover o uso sustentável dos recursos naturais; proteger a biodiversidade, os recursos hídricos, os remanescentes da vegetação do cerrado e o patrimônio cultural; promover a melhoria da qualidade de vida das populações que ali residem; manter o caráter rural da região; e de disciplinar a ocupação humana na área protegida.

Segundo a lei de criação da APA do rio Uberaba, tem seus limites instituídos por todas as sub-bacias hidrográficas com foz no rio Uberaba, localizadas à montante do ponto de captação de água no rio Uberaba, nas coordenadas UTM 192148E e 7817363N e possui uma área de 528,1 km<sup>2</sup>. Nela as diferentes formas de vegetação natural, o rio Uberaba como sendo o principal manancial de captação para abastecimento público de Uberaba e o potencial turístico da área fez com que a APA do rio Uberaba estivesse inserida como uma Unidade de Conservação.

Fato antecedente à Lei Municipal de criação da APA do rio Uberaba foi um acidente no ano de 2003 com o trem de carga na sub-bacia do córrego Alegria (inserido na APA) onde ocorreu o descarrilamento e o derramamento de substância como o Octanol ( $C_8H_{18}O$ ), Metanol ( $CH_4O$ ), Isobutanol ( $C_4H_{10}O$ ) e Cloreto de potássio (KCl) ocasionando uma explosão que devastou mais de 1000,0 metros de vegetação nativa, além de depositar e dispersar mais de 670 kg de contaminantes no solo e água. O abastecimento público foi interrompido por mais de 5 dias e com isso foi decretado estado de calamidade pública. Neste período, a falta de água era suprida por caminhões-pipa, porém, insuficientes. Mais de 250 mil habitantes foram impactados pela falta de água por causa deste acidente e conseqüentemente pela contaminação dos recursos hídricos. Este acidente despertou aos gestores públicos da importância do rio Uberaba para a manutenção do abastecimento e da necessidade de se proteger o manancial.

As mudanças no uso do solo, a deterioração das pastagens e o avanço das atividades agrícolas na região vêm ocasionando significativas alterações na qualidade do solo e na quantidade e qualidade dos recursos hídricos, necessitando diagnosticar as áreas mais susceptíveis aos processos erosivos de forma a garantir o desenvolvimento sustentável, objetivo deste tipo de unidade de conservação.

Segundo Leuzinger (2009) as APA's vêm sofrendo inúmeras críticas por conta da sua baixa efetividade, principalmente quando criadas em locais antropizados e degradados sem que haja um efetivo zoneamento que garanta sua proteção, resultando-se assim o não cumprimento das finalidades básicas da unidade de conservação. A autora afirma que, criá-las apenas no papel, entretanto, para aumentar as estatísticas quantitativas e volume de áreas protegidas no país, de certo não atende às necessidades de conservação (Leuzinger, 2009), e que os planos de manejo elaborados e implantados de forma adequada e uma efetiva fiscalização contribuiriam como áreas úteis à proteção e com baixo custo para o Estado.

## 2.2 A erosão do solo e estimativas de perdas de solo pelo processo erosivo

O solo é um recurso natural que suporta toda a cobertura vegetal de terra, sem a qual os seres vivos não poderiam existir. Suas funções segundo a FAO (2015) vão além da produção de alimentos, fibras e combustíveis como ainda servindo como habitat de organismos e ciclagem de nutrientes, purificação de água e degradação de contaminantes, sequestro de carbono e regulador do clima. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), os solos ocupam extensas áreas do planeta e é uma das maiores fontes de energia para plantas e animais.

A erosão do solo é um fenômeno natural que podem ser ocasionado pelos ventos (eólica) ou pelo escoamento superficial (hídrica) e vem sendo acelerado por práticas errôneas e não conservacionistas do solo. É uma das principais causas da degradação do solo em áreas agrícolas, que, conseqüentemente, ocasiona a desestruturação, carreamento e transporte, assoreamento e a deposição das partículas do solo ao longo da vertente. É influenciada por ações naturais como a precipitação, as características do solo e do relevo e ainda por influências antrópicas como a cobertura vegetal e as práticas de controle da erosão adotadas ou não numa determinada área.

A erosão hídrica pode ser dividida em duas categorias: entressulcos e em sulcos. A primeira se caracteriza pela remoção de camadas do solo sobre a área de forma progressiva e geralmente uniforme. Pelo contrário a erosão em sulcos é condicionada pelos caminhos ocasionados pelas irregularidades do terreno em que se concentra o escoamento, aumentando a capacidade de transporte e velocidade do escoamento no sulco. Em estágios avançados, alcançam profundidades consideráveis, formando as denominadas voçorocas (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

Segundo Pruski (2013) a erosão ocasiona prejuízos socioambientais como na redução da capacidade produtiva do solo e conseqüentemente na redução dos ganhos de recursos financeiros pelos agricultores, influenciando na sua permanência e fixação de suas atividades no campo. Influencia negativamente ainda nas características geomorfológicas, na fertilidade do solo, na produtividade agrícola, na qualidade da água e na capacidade de reservatórios (Demirci e

Karaburun, 2011; Xu et al., 2013; Valera et al., 2017). Martins Filho (2007) corrobora que a erosão é uma das formas mais graves de degradação dos solos.

Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura na publicação “*Status of the World’s Soil Resources*” (FAO, 2015) estimou-se que mais de 30% dos solos do mundo estão degradados por processos como erosão, salinização, compactação, acidificação e contaminação. Estimou-se ainda que, as perdas anuais de culturas causadas pela erosão representam de 0,3% da produção e que se estes índices permanecerem ocorrerá à redução total de mais de 10% até 2050. O estudo mostra que a erosão em solos agrícolas e em pastagem intensiva variam entre cem a mil vezes a taxa de erosão natural e, ainda que o custo anual de fertilizantes para substituir os nutrientes perdidos pela erosão será de US\$ 150 bilhões (FAO, 2015).

Com o objetivo de prevenir a erosão e a degradação do solo, foram quantificadas, por meio de experimentos em campo (métodos diretos), as perdas de solo por diversos pesquisadores em todo o mundo. A partir dos métodos diretos de medição da erosão, foram sendo desenvolvidos e elaborados modelos matemáticos de modo a estimarem de forma indireta as perdas de solo.

Um dos modelos para estimativa de perdas de solo por erosão é a Equação Universal de Perda de Solo – USLE proposto por Wischmeier e Smith (1978). Dada a necessidade de adequação dos parâmetros às necessidades locais e regionais, novos modelos foram criados e aprimorados como a “*Modified Universal Soil Loss Equation*” - MUSLE (Williams, 1975), a “*Revised Universal Soil Loss Equation*” - RUSLE (Renard et al., 1997), a “*Revised Universal Soil Loss Equation complex terrain*” - RUSLE3D (Mitasova e Mitas, 1999), a “*Unit Stream Power - Based Erosion Deposition*” - USPED (Mitas e Mitasova, 1998; Mitasova et al., 1996; Mitasova e Mitas, 1999), o “*Water Erosion Prediction Project*” – WEPP (Flanagan et al., 2007).

No entanto não há um modelo único que pode ser aplicado em todas as regiões, pois, a utilização do modelo depende de inúmeros fatores, objetivos do estudo, características da bacia, disponibilidade de dados, escalas de trabalho adotado, softwares disponíveis, validade e confiabilidade do modelo, disponibilidade de informações entre outros. Estudos recentes utilizando modelos empíricos de estimativa de perda de solo são publicados em que os fatores da equação foram

geograficamente especializadas com utilização de Sistemas de Informação Geográfica e modelos de estimativa de perda de solo como nos estudos de Tomazoni e Guimarães (2007); Valladares et al. (2014); Aiello et al. (2015); Ganasri e Ramesch (2015); Rodrigues et al. (2019).

No Brasil, estimativas de perdas de solo pela erosão vêm sendo levantadas com a USLE levando em consideração informações de precipitação, susceptibilidade do solo à erosão, morfologia do terreno, uso e cobertura e práticas conservacionistas (Valle Junior et al. 2010; Gurgel et al. 2011; Mendonça et al. 2014; Basso, 2018; Rodrigues et al. 2019). A USLE é obtida pela seguinte equação.

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

Em que,

A é a estimativa da perda de solo medidos em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

R é o fator erosividade, medidos em  $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ ;

K é o fator erodibilidade,  $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ;

LS é o fator topográfico, adimensional;

C é o fator de manejo e cobertura, adimensional; e

P é o fator prática conservacionista, adimensional.

A erosividade (R) é definida como sendo a capacidade da chuva em promover a erosão, ocasionada pelo impacto das gotas da chuva sobre o solo, salpicamento e turbulência associada com a enxurrada que influencia no transporte das partículas do solo. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012) maiores intensidades da chuva é um condicionante para aumentar a erosão laminar. Pode ser determinada pelo do cálculo do  $EI_{30}$ , que segundo Carvalho (1994) é o produto da energia cinética da chuva ( $E_c$ ) pela sua máxima intensidade em 30 minutos ( $I_{30}$ ) sendo necessários registros históricos meteorológicas e coleta de dados (Wischmeier e Smith, 1978; Carvalho et al., 1989).

A escassez de registros de pluviográficos contribuiu para que diversos autores tentassem relacionar o índice de erosão a fatores climáticos de mais fácil medida, que não demandem registros de intensidade de chuva (Lombardi Neto e Moldenhauer, 1992). Utilizando-se de Redes Neurais Artificiais (RNAs) Moreira et al. (2007) estimou os valores mensais de erosividade para todo o estado de Minas

Gerais e desenvolveram o software netErosividade MG, que dispõe de informações médias mensais e anuais da erosividade para todo o estado.

A erodibilidade do solo (K) é a susceptibilidade do solo à erosão que é variável e influenciado pelas propriedades físicas e químicas do solo. Pode ser calculadas com chuvas naturais ou simuladas sob uma parcela com dimensões padronizadas com o solo sem cobertura vegetal (solo nu). Segundo Pruski (2013), as intensificações de pesquisas com o uso de simuladores de chuva possibilitaram obter, em curto período de tempo, enorme número de informações por métodos diretos de medição. Assim, vários autores calcularam a erodibilidade de diversos tipos de solo e localidades do Brasil. Neste trabalho foram considerados os cálculos de erodibilidade dos solos realizados por autores como Ribeiro e Alves (2007), Valle Junior et. al, (2010) e Roloff e Denardin (1994), atentando-se às semelhanças morfológicas, climáticas e pedológicas da área de estudo.

O fator topográfico é representado pelo comprimento da rampa (L) e pela declividade do terreno (S). Segundo Bertoni e Lombardi Neto (2012), estes fatores possuem fundamental influência no processo de erosão, pois, o grau de declive, juntamente com o comprimento da encosta, determina a velocidade do escoamento da água, e conseqüentemente, a capacidade de remover os agregados do solo, assim individualizando o potencial de carregamento pela erosão em termos de tamanho e quantidade material (Tomazoni e Guimarães, 2005). Com o avanço das geotecnologias e com o uso de produtos do sensoriamento remoto e do Sistema de Informação Geográfica- SIG, o cálculo do parâmetro LS vem sendo mundialmente calculado utilizando-se o Modelo Digital de Elevação – MDE e de equações proposta por Desmet e Govers (1996) e McCool et al. (1987) conforme pesquisas de Aiello et al., (2015); Ganasri e Ramesh, (2016); Rodrigues et al., (2019).

O fator de Manejo e Cobertura (C) e o fator Práticas Conservacionistas (P) correspondem respectivamente ao uso e à cobertura vegetal e às práticas conservacionistas implantadas, adotando valores igual a 1 para a ausência de vegetação (solo nu) e ausência de práticas conservacionistas (plantio morro a baixo) (Bertoni e Lombardi Neto, 2012). Segundo Stein et al. (1987), as variáveis antrópicas (C e P) da USLE podem ser analisados de forma integrada em função do uso e ocupação do solo quando o objetivo da análise é de especializar as perdas de solo

por erosão utilizando-se do geoprocessamento. Ao contrário, para fins de definição e manejo de técnicas conservacionistas é recomendado que os fatores (C) e (P) sejam analisados individualmente.

Segundo Aiello et al. (2015), o uso de modelos para a estimativa de perda de solo em ambiente SIG erosão é uma importante ferramenta no planejamento ambiental, pois a espacialização dos fenômenos indica as áreas críticas para a tomada de decisão e para uma correta gestão ambiental em bacias hidrográficas.

### **2.3 Bacias hidrográficas como unidade de planejamento e gestão**

Uma bacia hidrográfica é uma área da superfície terrestre e naturalmente delimitados pelo relevo e drenados por cursos d'água ou por um sistema de canais conectados que convergem, direta ou indiretamente, para um rio principal ou para um espelho de água (Bertoni e Lombardi Neto, 1999). Compõe-se, portanto de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório (Tucci, 1997).

É considerada como unidade territorial para a implementação das políticas públicas como a Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH (Brasil, 1997) por ser entendida como uma unidade com seus divisores geograficamente definidos sendo possível analisar e avaliar as interações socioeconômicas e ambientais bem como os impactos e alterações que nelas ocorrem, constituindo-se, assim, em uma unidade sistêmica ideal para o planejamento do manejo integrado dos recursos naturais (Bertoni e Lombardi Neto, 1999).

Segundo Pissarra et al. (2004), a bacia hidrográfica é o meio mais eficiente de controle dos recursos hídricos que a integram, pois vem sendo conceituada como a unidade de planejamento e disciplinamento do uso e ocupação do solo e, por constituir-se num sistema natural delimitado geograficamente, em que os fenômenos e interações podem ser integrados. A qualidade da água e do solo depende do uso e das atividades nela desenvolvidas e podem ser, portanto consideradas unidades geográficas em que há uma integração dos recursos naturais (Abdala, 2012).

As atividades humanas desde os povos primitivos utilizaram-se dos recursos naturais para sua sobrevivência e expansão. O desmatamento, o uso intensivo do solo, o crescimento urbano e a impermeabilização do solo, o despejo de esgotos e disposição de resíduos sólidos no solo são problemas ambientais ainda existentes no Brasil e no mundo. Tais atividades influenciam diretamente na qualidade ambiental dos recursos naturais podendo ser pontuais ou difusas e abranger uma microbacia, sub-bacia ou na totalidade da bacia hidrográfica podendo até mesmo ultrapassar os limites administrativos e territoriais.

A conservação do solo é a base da produção, a floresta é essencial na proteção do solo e ambos proporcionam a sustentabilidade da água nas microbacias (Rodrigues, 2017). No solo, o desmatamento, expansão das fronteiras agrícolas em áreas sem aptidão para o cultivo, o uso intensivo das pastagens, os conflitos de uso da terra (Valle Junior, 2008) e à ausência de práticas conservacionistas do solo vêm contribuindo negativamente com os processos erosivos, o que torna necessário estimá-los de modo a propor um planejamento conservacionista e orientar políticas públicas e ações quando necessárias.

Diversos estudos buscaram estimar as perdas de solo por erosão usando como área limite a bacia hidrográfica como nos estudos de Valle Junior (2010); Aiello et al. (2015); Ganasri e Ramesh (2016); Pham et al. (2018); Phinzi e Ngetar (2019); Fayas et al. (2019). O uso do Geoprocessamento e de produtos do sensoriamento remoto contribuem positivamente para a rápida aquisição e de processamento das informações em escala de bacias hidrográficas.

A análise de parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas é uma importante ferramenta de medida e interpretação das características físicas, formas e as relações com os elementos da paisagem. Parâmetros como a forma da bacia ( $K_f$ ), Índice de circularidade (IC), sinuosidade do curso (S) principal entre outros, indicam as dinâmicas da água superficial, possibilitando assim, auxiliar no planejamento e na conservação dos recursos naturais em bacias hidrográficas.

## 2.4 Uso das geotecnologias nas análises ambientais

As geotecnologias constituem o conjunto de tecnologias que permitem a realização de coleta de dados, processamento, além da análise da informação georreferenciada, e conseqüentemente auxilia na tomada de decisões. O uso dessas geotecnologias possibilita fazer uma análise integrada do ambiente, de forma a entender como as alterações ambientais ocorrem no espaço, sendo este um dos pontos fortes que permite com que o ambiente seja estudado em parte, mas entendido como um todo (Pires et al., 2012).

O Sistema de Informação Geográfica - SIG e o Sensoriamento Remoto - SR tornaram-se ferramentas de análise úteis para o gerenciamento de recursos naturais e no planejamento ambiental que demanda uma diversidade de informações e dados espaciais.

O uso do SIG é capaz de manipular com facilidade e eficiência e por esse motivo, vários pesquisadores utilizam o SIG como abordagem principal para analisar e integrar diversos planos de informações que auxiliem no planejamento e tomada de decisões em diferentes escalas e abordagens como por exemplo no diagnóstico ambiental, preservação de desastres e planejamento urbano e rural. Assim o SIG é um dos meios mais rápidos e eficientes em diagnóstico, pois, consegue armazenar, gerenciar, criar e processar diversos planos de informações de forma simultânea (Siqueira, 2017).

Segundo Gelagay e Minale (2016), o grande avanço tecnológico e a disponibilização das informações em “Big Datas” mundiais são importantes facilitadores de acesso a diferentes informações espaciais que servem de base para aplicação de modelos de estimativas de perdas de solo por erosão.

Estudos realizados por Aiello et al., (2015) avaliando as perdas de solo utilizando modelos empíricos com a utilização de produtos do SR e SIG em uma bacia hidrográfica, mostram que mesmo com grandes extensões, a modelagem pode ser uma importante ferramenta no planejamento ambiental, desenvolvendo cenários de gestão e fornecendo opções para formuladores de políticas para o gerenciamento de riscos de erosão do solo (Ganasri e Ramesh, 2016). Segundo Aiello et al. (2015), o uso de imagens de satélites de média resolução espacial mostra-se eficientes e apropriadas para estimativas de perdas de solos pela

erosão e que os modelos aplicados a grandes áreas é um desafio devido a quantidade de dados necessários e mesmo assim, a avaliação da distribuição espacial da erosão constitui uma importante ferramenta no planejamento ambiental.

Segundo Campos (2017), o conhecimento e integração dos elementos que compõem as paisagens (geologia, solos, vegetação e relevo) a partir do modelado do relevo e compartimentos contribuem para a análise e definição de zonas homólogas para o planejamento e gestão do território e ainda para o uso racional dos solos.

Para Florenzano (2008), as análises das formas do relevo têm fundamental importância tanto para a geomorfologia como em outras ciências da terra que analisam os componentes da superfície terrestre para definição da fragilidade ou potencialidades do meio ambiente e no estabelecimento de políticas públicas a partir de leis, para a ocupação e proteção dos recursos naturais.

Estudos objetivando diagnósticos na bacia do rio Uberaba, na qual está inserida a APA do rio Uberaba, como o de Cruz (2003) analisando a qualidade hídrica; Cândido (2008) identificando as áreas degradadas; Valle Junior (2008) identificando as perdas, usos e conflitos de uso do solo e correlacionando-os com a qualidade da água superficial; Abdala (2012) avaliando a qualidade hídrica em áreas de conflito de uso do solo; Valera et al. (2016) avaliando os conflitos de uso da terra e as alterações na fertilidade do solo; Valera (2017), avaliando a qualidade do solo e da água em APP; Siqueira et al. (2017) diagnosticando a vulnerabilidade quanto ao derramamento de substâncias perigosas por acidentes rodoviários; Campos (2017) na elaboração de uma matriz para o planejamento ambiental em uma bacia hidrográfica com uso intensivo da agricultura; Valera et al. (2019) avaliando a importância das Áreas de Preservação Permanente - APP na proteção dos recursos hídricos; Valle Junior et al. (2019) avaliando a degradação das pastagens; Silva (2019) no estudo dos efeitos naturais e antrópicos na qualidade das águas superficiais; Pissarra et al.(2019) avaliando as interações entre a composição da paisagem e a largura das APP; Oliveira et al. (2019) analisando a conservação de pastagens e seus impactos na qualidade da água - merecem destaque por identificar alterações ambientais significativas no ambiente e que demonstram

necessidade de um planejamento ambiental efetivo e proteção dos recursos naturais na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.

Quanto ao planejamento e zoneamento em bacias hidrográficas, Abdala (2005) no alto curso do rio Uberaba propôs um zoneamento ambiental, porém, importantes recomendações no trabalhado que objetivam a preservação e conservação dos recursos naturais não foram devidamente implantadas. O plano de Manejo da APA do rio Uberaba foi realizado em caráter emergencial em 2012 e em 2016 iniciaram-se os estudos para a elaboração do Plano de Manejo da APA do rio Uberaba em parceria com as Instituições Federais de Ensino Superior que encontra em fase de análise para publicação.

## **2.5 Definição das áreas para conservação**

O uso do sistema de informações geográfico (SIG) é um método poderoso para coletar, gerenciar e analisar dados espaciais, podendo fornecer um consistente ambiente para entrada e saída de dados e resultados da análise espacial. Diversos autores empregaram o SIG com o objetivo de combinar e avaliar conjuntamente em uma análise multicritérios de parâmetros físicos e antrópicos e definir áreas vulneráveis (Matos 2015), susceptíveis (Jabbar *et. al.*, 2019) e prioritárias para conservação (Valente 2015; Pedreira *et al.*, 2011;).

Dentre os principais fatores utilizados em análises ambientais estão a formação geológica, profundidade das águas subterrâneas, tipos de solo, dados meteorológicos e climáticos, declividade do terreno, qualidade da água e uso e cobertura da terra. A determinação de fatores depende do objeto de análise e suas relações com a natureza.

Os processos erosivos contribuem negativamente com as perdas de solo e o assoreamento dos canais de drenagem. O controle destes fenômenos devem ser os principais objetivos e prioridades quando a finalidade é a conservação do solo e da água em bacias hidrográficas. As estimativas de perdas de solo acima do limite de tolerância são importantes informações de modo a especializar e indicar os locais

em que seja necessário o desenvolvimento de técnicas e manejo para mitigar tais efeitos.

A cobertura florestal e a vegetação ripária possuem efeitos benéficos na proteção do solo e na qualidade dos recursos hídricos, servindo como uma barreira natural contra o carreamento e transporte de sedimentos aos cursos d'águas. A declividade do terreno é um grande facilitador que condiciona os processos erosivos sendo um dos principais parâmetros considerados em metodologias de classificação da aptidão de uso das terras no Brasil (Lepsch et al., 1991). Além disso, é um condicionador de processos pedogenéticos tornando-se assim um fator importante na análise física.

Considerando que a área de proteção ambiental é criada de modo a garantir a produção aliada ao uso sustentável dos recursos naturais, os processos erosivos e a não conservação da vegetação florestal nas Áreas de Preservação Permanente constitui um grave desacordo legal, que vai contra aos objetivos de criação deste tipo de unidade de conservação.

Diversas metodologias de definição de áreas prioritárias para conservação dos recursos naturais podem ser encontradas na literatura, no entanto, a utilização de critérios e fatores aplicados em uma pequena escala (nível estadual e federal) pode interferir na definição de áreas para conservação, dada as especificidades locais da área e nas características ecossistêmica para o nível de bacia e sub-bacia hidrográfica.

Em Minas Gerais, o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (2018) reuniu propostas para a gestão de bacias hidrográficas e critérios para definição de áreas prioritárias para revitalização, com metodologias de órgãos oficiais de fiscalização, pesquisa e extensão. Tal proposta é de grande valia para a conservação dos recursos naturais, porém, a necessidade de informações dos meios físicos, social e ambiental, tende a dificultar a sua aplicação, para áreas de bacias de menor porte, dada ainda a escassez de informações em escala adequada. A aplicação de metodologias como a descrita na proposta do IGAM (2018) demanda diversos estudos pontuais e longo prazo para sua efetivação.

Contudo, a necessidade de estimativas rápidas para a tomada de decisão quanto a degradação ambiental na APA do rio Uberaba torna-se indispensável.

Sendo a erosão do solo um dos grandes causadores da degradação ambiental do solo e da água e as Áreas de Preservação Permanente um importante aliado na conservação da qualidade e quantidade da água superficial e subterrânea, esta proposta apresenta uma grande ferramenta para auxiliar aos gestores municipais e de unidades de conservação para definir áreas para a conservação do solo e da água.

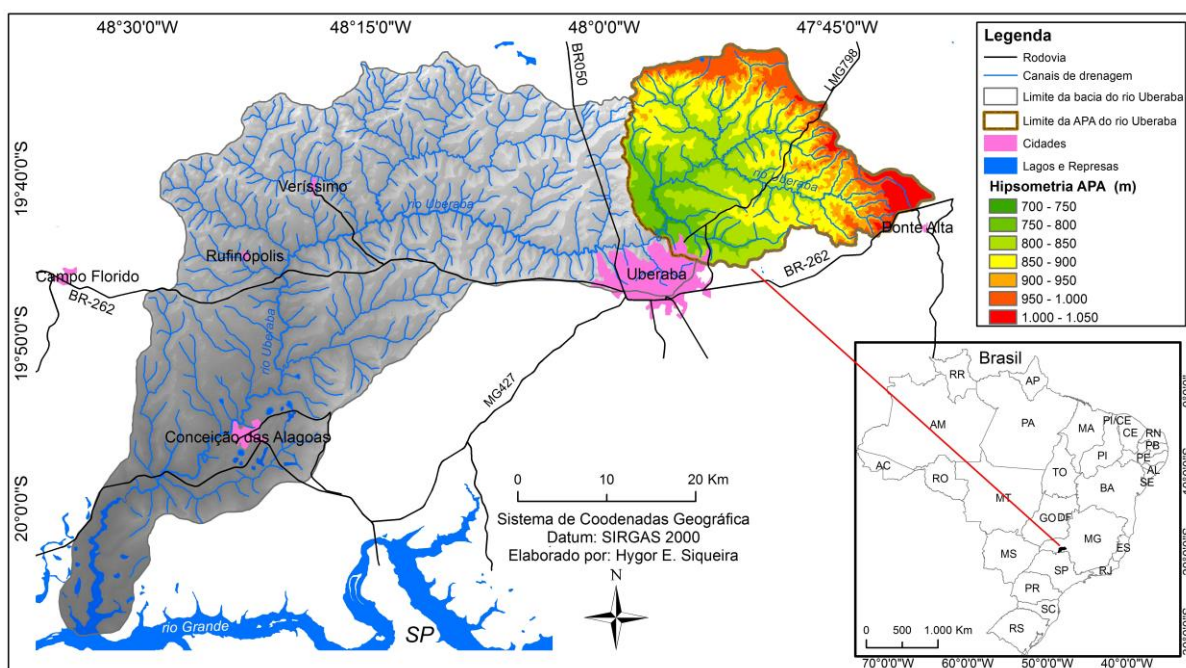
Áreas com alto potencial natural de erosão e com perdas de solo acima dos limites de tolerância são locais indispensáveis para implantação técnicas conservacionistas ou ainda, quando diagnosticadas como degradadas, serem definidas para a recuperação e preservação ambiental, de modo a reduzir e mitigar a degradação do solo e da água.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba (Figura 1), está localizada entre as coordenadas geográficas 19.51° e 19.74° sul e 47.64° e 47.98° oeste de Greenwich, no município de Uberaba – MG, Brasil. Com uma área total estimada de 528,1 km<sup>2</sup>, a APA do rio Uberaba é constituída legalmente pela Lei Municipal nº 9.892/2005 e está delimitada geograficamente pelas sub-bacias com foz no curso principal do rio Uberaba, situadas à montante do ponto de captação para posterior tratamento e abastecimento público.

É uma importante Unidade de Conservação de Uso Sustentável, e seus principais objetivos de criação são de garantir o uso racional dos recursos naturais aliados com a preservação da quantidade e da qualidade dos recursos hídricos que abastece a cidade de Uberaba-MG.



**Figura 1.** Localização da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.

Fonte. Autor.

A APA do rio Uberaba segundo Cruz et al., (2003) está localizada na bacia Sedimentar do Paraná e sua geologia é constituída por rochas sedimentares do

grupo Bauru (Formação Uberaba e Formação Marília) e por derrames de basalto nas rochas do grupo São Bento (Formação Serra Geral). Compõe-se ainda segundo Seer e Moraes (2017), nas altitudes entre 1000 a 1200 metros (chapadas) as coberturas Dentrítico-Laterítica.

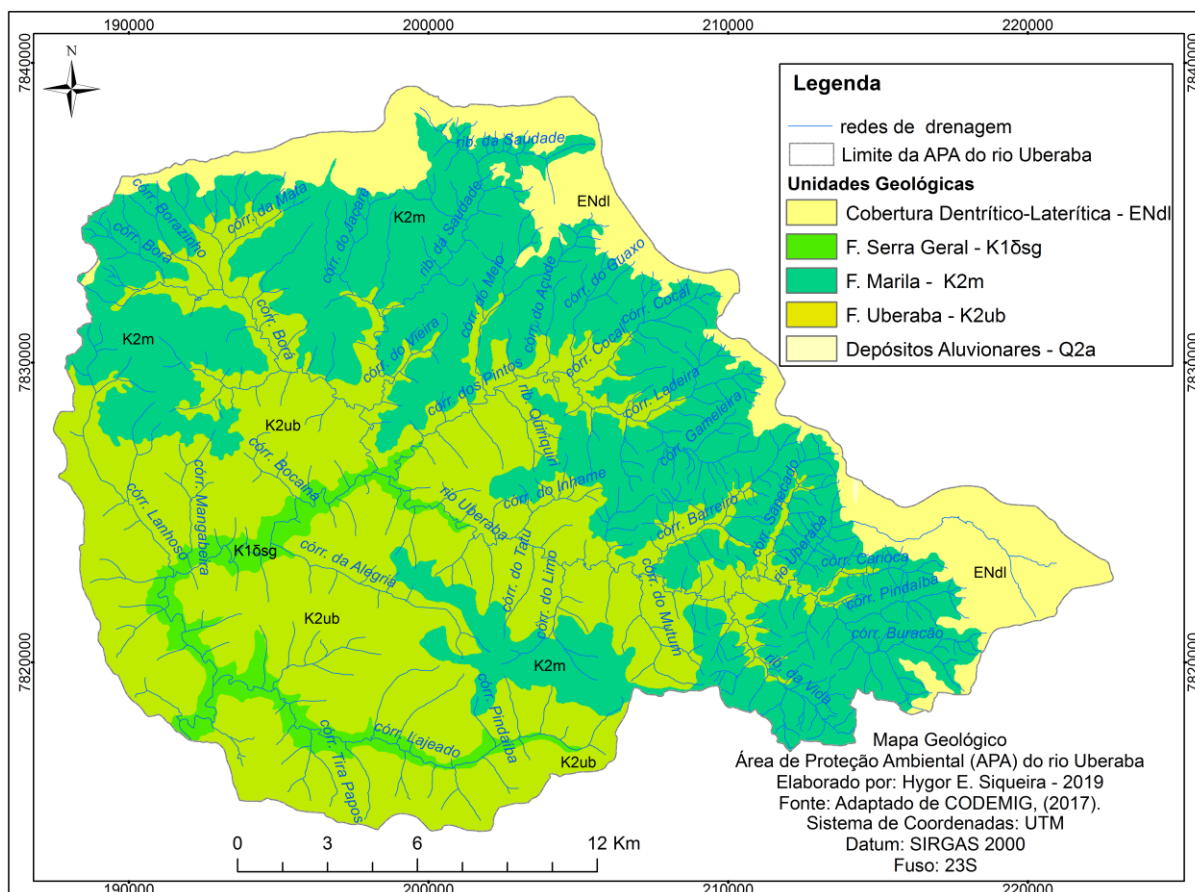
De acordo com Seer e Moraes (2017), a formação Marília (Cretáceo Superior) foi subdividida nos membros Echaporã, Ponte Alta e Serra da Galga em que se diferenciam pela intensa cimentação por carbonato seja ela de origem freática ou pós-deposicional. São constituídas por três fácies: aluvial proximal, aluvial distal e paleossolos, existindo transição entre elas.

Na formação Uberaba, as fácies são constituídas por arenitos argilosos verdes, argilitos, siltitos e conglomerados, em que, a textura fina dos arenitos e estruturas sedimentares indicam deposição por fluxos fluviais com o desenvolvimento de planícies de inundação (Seer e Moraes 2017).

A cobertura Dentrítico-Laterítica que constitui-se de sedimentos resultado do soerguimento e dissecação do Superfície Sul-Americana (Período Paleoceno e Oligoceno). As condições climáticas áridas dominantes durante a implantação da superfície Sul-Americana deram a essas coberturas características bem marcantes, típicas de processos de laterização (Seer e Moraes 2017). Estas crostas ferruginosas são responsáveis pela manutenção dos relevos de chapadas, sustentando os topos de morros (Barbosa et al. 1970). As camadas sedimentares constituem depósitos inconsolidados a fracamente consolidados de cascalho, areia, silte e argila.

A Formação Serra Geral é composta por rochas vulcânicas derramadas e que se assentam predominantemente sobre arenitos eólicos da Formação Botucatu como ainda rochas da Bacia do Paraná anteriores ao Grupo São Bento. Possui uma idade entre 115 a 136 milhões de anos (Cretáceo). É definida como a maior manifestação ígnea não oceânica recobrendo uma área superior a 1.200.000 km<sup>2</sup> na porção centro-sul do Brasil, noroeste do Uruguai, nordeste da Argentina e sudeste do Paraguai (Batezelli et al., 2005).

A Figura 2 ilustra as formações geológicas da APA do rio Uberaba extraídas do Mapa Geológico de Minas Gerais (Codemig, 2017) em escala de 1:100.000.

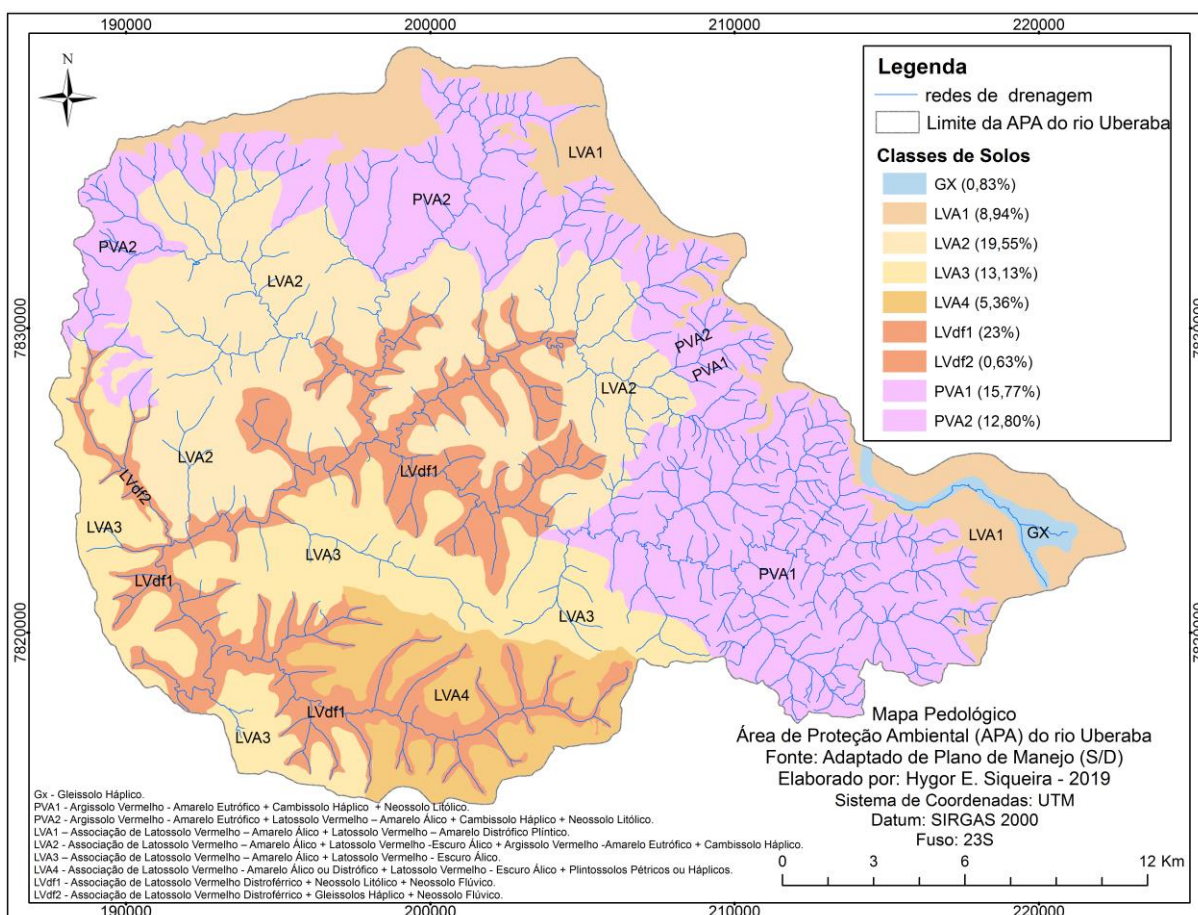


**Figura 2.** Mapa geológico da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.  
 Fonte: Adaptado de CODEMIG (2017).

A Geomorfologia da APA do rio Uberaba é caracterizada por relevos suavemente planos localizados no Pediplano em altitudes variando de 1000 a 1050 metros. Dissecado homogêneo de topo convexo nas rupturas do Pediplano onde localizam-se as nascentes em anfiteatros Alveoláres com altitudes entre 950 a 1000 metros e declividades entre 20% e 45%; Rampa de colúvio com altitudes variando de 900 a 950 metros com declive entre 8% e 20%; e Dissecado homogêneo de topo tabular com altitudes inferiores a 900 metros e com declividades entre 3% e 8%.

Segundo Pedroso Neto (2013), existem na APA do rio Uberaba a ordem dos Latossolos, Cambissolos, Argissolos e Gleissolos (Figura 3) que variam suas características físico-químicas, fertilidade natural, potencialidades de uso e risco de erosão em função dos diferentes materiais de origem e formas de relevo, sendo, os Gleissolos recomendados para o uso não agrícola e para preservação ambiental,

por apresentar na APA do rio Uberaba, características e localização de interesse ecológico.



**Figura 3.** Mapa Pedológico da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.

Fonte: Adaptado de Plano de Manejo da APA do rio Uberaba (s/d).

Os Argissolos localizam-se nas áreas de declive acentuado com texturas variando entre franco arenosa a franco argilo arenosa. Os valores de saturação de bases nestes solos foram muito baixos, variando entre 3,8% a 30,6%. Em termos gerais os valores de Matéria Orgânica são baixos, refletindo os ambientes pobres nos quais os mesmos são encontrados, normalmente recobertos por vegetação esparsa de baixo porte ou campos sujos e pastagens (Plano de Manejo da APA do rio Uberaba).

Os Gleissolos encontram-se em áreas de veredas no topo da Chapada (Nascente do rio Uberaba) e encontra-se saturado de água pelo afloramento.

Os Latossolos são solos constituídos por material mineral, com horizonte B latossólico em avançado estágio de intemperização. Na APA, estão localizados em relevo suavemente ondulado com o uso para agricultura, pastagem, reflorestamento entre outros. São profundos, porosos, bem drenados, bem permeáveis mesmo quando muito argilosos friáveis e de fácil preparo. Sua espacialização e suas características estruturais e sua associação com o relevo fazem com que o Chapadão se configure em uma área fundamental de recarga dos aquíferos que abastecem a região durante os meses de estiagem (Plano de Manejo da APA do rio Uberaba).

Os Cambissolos são solos constituídos por material mineral, com horizonte B incipiente subjacente a qualquer tipo de horizonte superficial. Na APA, os usos e cobertura dos solos estão variados, sendo o predomínio da atividade pecuária (Plano de Manejo da APA do rio Uberaba).

Os usos e cobertura dos solos são variados, sendo o predomínio de pecuária na região do Triângulo Mineiro. Na APA do rio Uberaba, os usos do solo se dão por atividades agrícolas como o cultivo de grãos (soja, milho e café), pastagens naturais e cultivadas para a criação de gado de leite e de corte, silvicultura e mineração de cascalhos, basalto e de solo para construção civil.

Segundo Novais et al., (2018) o clima da região é classificado como Tropical semiseco meridional dos patamares do chapadão Uberlândia/Uberaba e do planalto de Araxá, no clima zonal quente de domínio Tropical, com influência da Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS). Possui um período chuvoso definido de novembro a março com precipitações mensais variando de 100 mm a 300 mm e com seis meses secos correspondendo aos meses de abril a setembro com precipitações abaixo de 100 mm totalizando uma precipitação pluviométrica anual de 1350 a 1600 mm (NOVAIS et.al., 2018).

### 3.2 Elaboração do Banco de Dados Geográficos

A definição de áreas para conservação do solo e da água por múltiplos critérios baseou-se na análise integrada de parâmetros físicos e antrópicos, utilizando-se do SIG ArcGis 10.1. Para à análise, um banco de dados composto por elementos geográficos fora adquirido, padronizado e organizado no SIG. Dados geográficos, base de dados, produtos temáticos e de sensoriamento remoto foram adquiridos e um resumo dos produtos contendo as principais bases de dados, suas respectivas aplicações no trabalho e a origem dos dados são apresentados Tabela 2.

Para a padronização dos dados no SIG, os arquivos vetoriais e matriciais foram reprojetados por meio da ferramenta “reproject” para o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23 e Datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). Em seguida utilizando o arquivo vetorial do limite da APA foram extraídos (ferramenta “Extract by mask”) no SIG para à área de interesse (APA) as bases de dados de Geologia, do Modelo Digital de Elevação e da imagem orbital Sentinel 2 - MSI.

O mapa geológico originou-se do Programa de mapeamento do estado de Minas Gerais - Projeto Triângulo Mineiro (Seer e Morais, 2017) em escala de 1:100.000, fruto do convênio firmado entre a Companhia Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais (CODEMIG) e a Universidade Federal de Minas Gerais, por meio do Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC/IGC/UFGM). O mapeamento conta com 31 mapas geomorfológicos, entre elas a Folha Uberaba (SE.23-Y-C-IV) - Igarapava (SF.23-V-A-I) utilizada neste estudo.

O mapa de Solos originou-se do banco de dados do Plano de Manejo (PM) da APA do rio Uberaba em escala 1:25:000. O mapa de solos foi elaborado pelo corpo técnico do PM (UFTM-IFTM) embasados em mapeamentos anteriores e de uma intensa atividade de campo para classificação seguindo o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2006).

**Tabela 2.** Conjuntos de dados geográficos utilizados, uso específico e fonte de acesso.

<b>Base de dados</b>	<b>Finalidade e aplicação</b>	<b>Fonte dos dados link de acesso</b>
Mapa Geológico do Triângulo Mineiro em camada vetorial. Folha (SE.23-Y-C-IV) -Igarapava (SF.23-V-A-I) Escala: 1:100.000	Camada auxiliar na interpretação no mapeamento Geomorfológico.	Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais – (CODEMIG). <a href="http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/">http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa/</a>
Mapa de Solos da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba em camada vetorial. Escala: 1:25.000	Atribuição do fator “K” da USLE e dos limites de Tolerância das classes de solo.	Banco de Dados do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba.
Imagem Orbital do sensor Sentinel-2 com resolução espacial de 10 metros, datada de 03 de janeiro de 2019.	Fotointerpretação e mapeamento das classes de uso e cobertura do solo. Atribuição do Fator “CP” da USLE; Camada auxiliar na interpretação do mapeamento Geomorfológico.	United States Geological Survey (USGS). <a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a>
Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de 20 x 20 m. Escala: 1:50.000	Fotointerpretação do relevo; Geração das curvas hipsométricas de 10m e 50m e atribuição do fator “R” calculado da USLE nos intervalos das cotas altimétricas. Elaboração do mapa de declividade do terreno; Estimativa do fator “LS” da USLE.	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). <a href="https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm">https://downloads.ibge.gov.br/downloads_geociencias.htm</a>
Fator Erosividade da USLE calculado	Fator Erosividade “R” utilizado na USLE.	Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos - GPRH da Universidade Federal de Viçosa – UFV. Software netErosividade MG. <a href="http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares">http://www.gprh.ufv.br/?area=softwares</a>
Limite da APA do rio Uberaba	Limite da área de estudo e camada para extração dos parâmetros objeto do estudo; Cálculo dos fatores morfométricos da APA.	Prefeitura Municipal de Uberaba <a href="http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,24820">http://www.uberaba.mg.gov.br/portal/conteudo,24820</a>
Limite das Áreas de Preservação Permanente - APP	Identificação dos Usos e ocupação do solo nas APP.	Plano de Manejo da APA do rio Uberaba (S/D)
Redes de Drenagem da APA do rio Uberaba	Apoio na interpretação do modelado do relevo e plano de informação nos mapas.	Plano de Manejo da APA do rio Uberaba (S/D)

As imagens orbitais do Sensor Sentinel 2 – MSI bandas 4, 3, 2, foram adquiridas do Serviço Geológico dos Estados Unidos, (USGS) na plataforma Earth Explorer, sendo escolhida imagem com cobertura de nuvem inferior a 10% e datada

de 03 de janeiro de 2019, com resolução espacial de 10 metros que serviu de base para a fotointerpretação das classes de uso e cobertura do solo.

O Modelo Digital de Elevação utilizado no cálculo da declividade (ferramenta “slope”), dos parâmetros topográficos da USLE, geração de curvas hipsométricas (ferramenta “Contour”) e base para interpretação do modelado do relevo foram adquiridos da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE em escala de 1:50.000.

Os valores do fator erosividade da chuva (R) foram extraídos do software NetErosividadeMG (MOREIRA et al. 2008), em que disponibiliza cálculos dos valores médios de Erosividade ( $EI_{30}$ ) mensal e anual no estado de Minas Gerais.

O limite da APA do rio Uberaba é o limite oficial disponibilizado pela Prefeitura Municipal de Uberaba e utilizado em estudos e planejamentos oficiais e foi disponibilizado no formato (dxf) e convertido no SIG para Shapefile e posterior reprojeção do sistema de coordenada e datum conforme a padronização dos dados.

### **3.3 Mapeamento do uso e cobertura da terra**

O uso e cobertura da terra foi elaborado a partir da fotointerpretação de imagem orbital do Sensor Sentinel 2. O processamento das imagens foi realizado no Sistema de Informação Geográfica ArcGIS, versão 10.1 a partir da criação de banco de dados geográficos. Foi realizada a composição colorida R4G3B2 (cor natural) e extraída (recortada) o limite da área de estudo. Foram vetorizados polígonos a partir da fotointerpretação dos diferentes usos e ocupação do solo em toda área de estudo (pastagem; fragmentos florestais; culturas perenes; culturas anuais; silvicultura; urbanização; construções rurais; mineração e chacreamento). Nesta classificação a interpretação de cores, formas, textura, localização e tamanho foram utilizados para diferenciar as classes de uso e ocupação da terra. De posse da classificação inicial da cobertura da terra, foram escolhidos pontos aleatórios na APA para verificação em campo dos diferentes usos da terra. Para o campo, foi utilizado a ferramenta auxiliar de navegação o aplicativo “mobile” Avenza Maps versão 3.6.3 e nele adicionado a camada de uso da terra gerado e juntamente ativada o localizador do dispositivo móvel. Foram percorridas nos dias 22/03/2019, 23/03/2019, 26/03/2019,

27/03/2019, 29/06/2019 e 05/10/2019 as principais estradas rurais e rodovias inseridas na APA do rio Uberaba de modo a checar os usos da terra classificados com os usos atuais observados na checagem e realizar ajustes quando necessários.

Os temas de uso e cobertura utilizados no mapeamento seguiram conforme descrição no Manual Técnico de Uso e da terra do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2013).

### **3.4 Mapeamento do Modelado do Relevo**

O mapeamento do Modelado do Relevo foi realizado no nível do modelado (4º Nível Taxonômico) sendo elencados a partir do 1º nível taxonômico (Domínios Morfoestruturais/Morfoclimáticos) conforme orientações contidas no Manual Técnico de Geomorfologia (IBGE, 2009). Inicialmente realiza-se o ordenamento dos fenômenos geomorfológicos em uma classificação temporal e espacial em que se distinguem os modelados como unidade básica e seus grupamentos hierarquicamente relacionados (Campos, 2017).

Para a individualização destes conjuntos de feições, são considerados como parâmetros: fatores causais, de natureza estrutural, litológica, pedológica, climática e morfodinâmica, responsáveis pela evolução das formas do relevo e pela composição da paisagem no decorrer do tempo geológico. As unidades do modelado foram definidas e mapeadas a partir da análise e de camadas auxiliares como as curvas de nível, redes de drenagem e da fotointerpretação de imagens de satélites no SIG ArcGis 10.1.

A partir do Modelo Digital de Elevação foram extraídas as curvas com intervalos de 10 metros de distância utilizando a ferramenta “Curvature”. A declividade do terreno foi calculada em percentual utilizando a ferramenta “slope” e seus resultados reclassificados com a ferramenta “reclassify” do SIG seguindo os intervalos da EMBRAPA (1979), conforme ilustra a Tabela 3.

**Tabela 3.** Classes de declividade adotadas.

Declividade (%)	Relevo
0-3	Plano
3-8	Suave-Ondulado
8-20	Ondulado
20-45	Forte-Ondulado
45-75	Montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979).

Foram utilizadas imagens orbitais do Sentinel 2 – MSI, composição R4G3B2 datada de 03/01/2019 com 10 metros de resolução e ainda as imagens do software Google Earth Pro como auxílio e interpretação das unidades do modelado.

De acordo com a ordem decrescente de grandeza são identificados: Domínios Morfoestruturais, Regiões Geomorfológicas, Unidades Geomorfológicas, Modelados e Formas de Relevo Simbolizadas (IBGE, 2009).

Para o campo, foi utilizado a ferramenta auxiliar de navegação “mobile” Avenza Maps versão 3.6.3 e nele adicionado a camada do mapeamento prévio do Modelado do Relevo. Utilizou-se do receptor de sinais de satélites (GNSS) do dispositivo móvel. Foram percorridos, nos dias 22/03/2019, 23/03/2019, 26/03/2019, 27/03/2019, 29/06/2019 e 05/10/2019, as principais estradas rurais e rodovias inseridas na APA do rio Uberaba de modo a checar e ajustar, quando necessário, o mapeamento do Modelado do Relevo em escala de 1:100.000.

Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada - ARP modelo Phantom 4 Pro Advanced foram utilizados para o registro de imagens das diferentes unidades do modelado.

### 3.5 Parâmetros morfométricos

Os parâmetros geométricos utilizados neste estudo foram calculados utilizando o SIG ArcGis 10.1 e as fórmulas e equações (2,3 e 4) foram estruturadas em uma tabela do Microsoft Excell. A Área (A) e Perímetro (P) da APA do rio Uberaba foram calculados utilizando a ferramenta “zonal geometria” nas unidades métricas de quilômetros quadrados (Km<sup>2</sup>) e em quilômetros (km) respectivamente.

O coeficiente de Compacidade (Kc) foi calculado usando a equação proposta por Vilela e Matos (1975):

$$Kc = 0,28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

em que, Kc é o coeficiente de compacidade; P corresponde ao perímetro (km) e A é área de drenagem (km<sup>2</sup>).

O Índice de Circularidade foi calculado usando a equação proposta por Miller (1953) e utilizado em estudos morfométricos como no de Valle Junior (2008) e Siqueira (2012) e é calculada como:

$$IC = \frac{12,57 \times A}{P^2} \quad (3)$$

em que, IC é o índice de circularidade, A é área de drenagem (km<sup>2</sup>) e P o perímetro (km).

O Fator forma (Kf) (Vilela e Matos, 1975), foi calculado no utilizando a seguinte equação:

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (4)$$

em que, Kf é o fator forma, A é a área de drenagem (km<sup>2</sup>) e L o comprimento do eixo da bacia (km).

Para o cálculo do Kf, no SIG foi vetorizado uma linha do ponto da Foz (área de captação da ETA, onde inicia a delimitação da APA), até o limite mais extremo (nascente). Na tabela de atributos do arquivo vetorial foi adicionada uma coluna de dimensão e calculado a métrica da linha pelo comando "Calculate Geometry".

A escolha dos parâmetros morfométricos (área e perímetro) e morfológicos (Kc, Kf e Ic) na análise possui grande importância de modo a compreender e

analisar os resultados no que refere-se à dinâmica do escoamento superficial e a propensão a ocorrerem enchentes.

### 3.6 Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e Potencial Natural de Erosão (PNE)

A Equação Universal de Perda de Solo (USLE) foi utilizada para estimar as perdas médias anuais de solo pela erosão hídrica, como proposto por Wischmeier e Smith (1978).

Os valores do fator erosividade da chuva (R) foram estimados do software NetErosividadeMG (MOREIRA et al. 2008) com valores médios de Erosividade ( $EI_{30}$ ) mensal e anual no estado de Minas Gerais. Para a APA do rio Uberaba, onde o desnível altimétrico, conforme o Modelo Digital de Elevação (MDE) varia de aproximadamente 700 a 1050 metros, foram reclassificados os intervalos de altitude e atribuídos os respectivos valores de erosividade calculados no software netErosividadeMG conforme descritos na Tabela 4.

**Tabela 4.** Valores de  $EI_{30}$  da chuva na região de Uberaba-MG.

Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Fator R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Uberaba	19°44'23.00"S	47°55'47.00"O	700 - 750	6933
			750 - 800	6933
			800 - 850	7252
			850 - 900	7688
			950 - 1000	7864
			1000 - 1050	7794

Fonte: Relatório netErosividade MG gerado em 20/03/2019.

O fator erodibilidade (K) dos solos foi determinado a partir de valores estimados por pesquisadores em diferentes tipos de solo (Tabela 5), conforme a variabilidade de solos na APA do rio Uberaba. Os arquivos vetoriais das classes de solos foram adquiridos em formato vetorial do banco de dados do Plano de Manejo da APA do rio Uberaba, na escala 1:25.000. Posteriormente foi realizada a extração

das classes de solo na APA do rio Uberaba e em seguida a conversão de arquivo vetorial para “raster” atribuindo os valores do fator K aos diferentes tipos de solo conforme pesquisas e simulações de erodibilidade com chuvas naturais e simuladas por diferentes autores (Tabela 5).

**Tabela 5.** Valores de Erodibilidade (K) dos solos adotados.

Classe de Solo	Fator K (t h MJ <sup>-1</sup> mm <sup>-1</sup> )	Fonte
Gleissolos	0,0044	Ribeiro e Alves (2007)
Latossolo Vermelho distroférico	0,0266	Valle Junior et. al, (2010)
Latossolo Vermelho distrófico	0,0250	Roloff e Denardin (1994)
Latossolo Vermelho-Amarelo	0,0200	Roloff e Denardin (1994)
Argissolo Vermelho-Amarelo	0,0330	Roloff e Denardin (1994)

O fator topográfico LS foi obtido de forma fragmentada, com base em Desmet e Gover (1996) na estimativa do fator L e em McCool et al (1987) para obtenção do fator S. A metodologia para o comprimento de rampa L envolve o conceito de área de contribuição e o procedimento é específico para ambientes SIG, com a utilização dos Modelos Digitais de Elevação (MATOS, 2015). Desmet e Gover (1996) propuseram a seguinte equação para o fator L:

$$L_{ij} = \frac{[(A_{ij-in} + D^2)^{m+1} - (A_{ij-in})^{m+1}]}{[D^{m+2} \cdot x_{ij}^m \cdot (22,13)^m]} \quad (5)$$

em que,  $L_{ij}$  é o comprimento da vertente de uma célula com coordenadas  $(i,j)$ ;  $A_{ij}$  é a área de contribuição de uma célula com coordenadas  $(i,j)$ ;  $D$  é o tamanho da grade de célula (metros);  $X_{ij}$  é o valor da direção do fluxo; e,  $M$  é o expoente do comprimento da inclinação, em função do seu ângulo.

Já o fator S foi determinado por meio das equações de McCool et al (1987), que é bastante utilizado na RUSLE – Equação Universal de Perda de Solo Revisada. Essas equações são descritas da seguinte forma:

$$S = 10,8 \cdot \sin \theta + 0,03, \text{ se } \tan \theta < 9 \quad (6)$$

$$S = 16,8 \cdot \sin \theta - 0,5, \text{ se } \tan \theta > 9 \quad (7)$$

em que,  $\theta$  o ângulo de declividade em radianos. O Fator CP (Cobertura e Práticas Conservacionistas) atribuído neste estudo (Tabela 6) baseou-se em valores atribuídos em pesquisas realizadas por Stein et.al. (1987), Ferreira e Francisco (2009) e Valle Junior (2008), em áreas com características morfoclimáticas semelhantes da área de estudo.

**Tabela 6.** Valores do fator CP adotados.

<b>Cobertura do solo</b>	<b>Fator CP (adimensional)</b>	<b>Fonte</b>
Pastagem	0,1	Adaptado de Stein et. al. (1987) e Valle Junior et. al (2008).
Fragmentos Florestais	0,00004	
Culturas anuais	0,25	
Culturas Perenes	0,25	
Silvicultura	0,00004	
Urbanização	0,0001	
Mineração	0,0001	
Construções Rurais	0,1	
Chacreamento	0,1	Ferreira e Francisco (2009).

Os fatores da USLE e seus respectivos valores foram atribuídos nos mapas e reclassificados com uso da ferramenta “reclassify” do SIG (figura 4) e posteriormente utilizou-se de álgebra de mapas com a ferramenta “raster calculator” no SIG ArcGis para a execução da Equação 1 resultando na estimativa das perdas de solo por erosão hídrica mediante a Equação Universal de Perda de Solo.

O potencial natural de erosão (PNE), que representa a susceptibilidade de determinada área em ocorrer perdas de solo por erosão hídrica sem considerar os fatores antrópicos de uso e cobertura da terra e o manejo e práticas conservacionistas da USLE. Foi determinado como:

$$PNE = R K L S \quad (8)$$

em que,

PNE é o potencial natural de erosão dos solos, medidos em  $t \text{ ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

R é o fator erosividade, medidos em  $MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ;

K é o fator erodibilidade,  $t\ ha\ h\ ha^{-1}\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$ ;

LS é o fator topográfico (adimensional).

O PNE foi calculado no SIG utilizando a álgebra de mapas com a ferramenta “Raster Calculator”. Em seguida os valores foram reclassificados em 5 classes (baixo, médio, alto, muito alto e extremamente alto) conforme Valle Junior (2008).

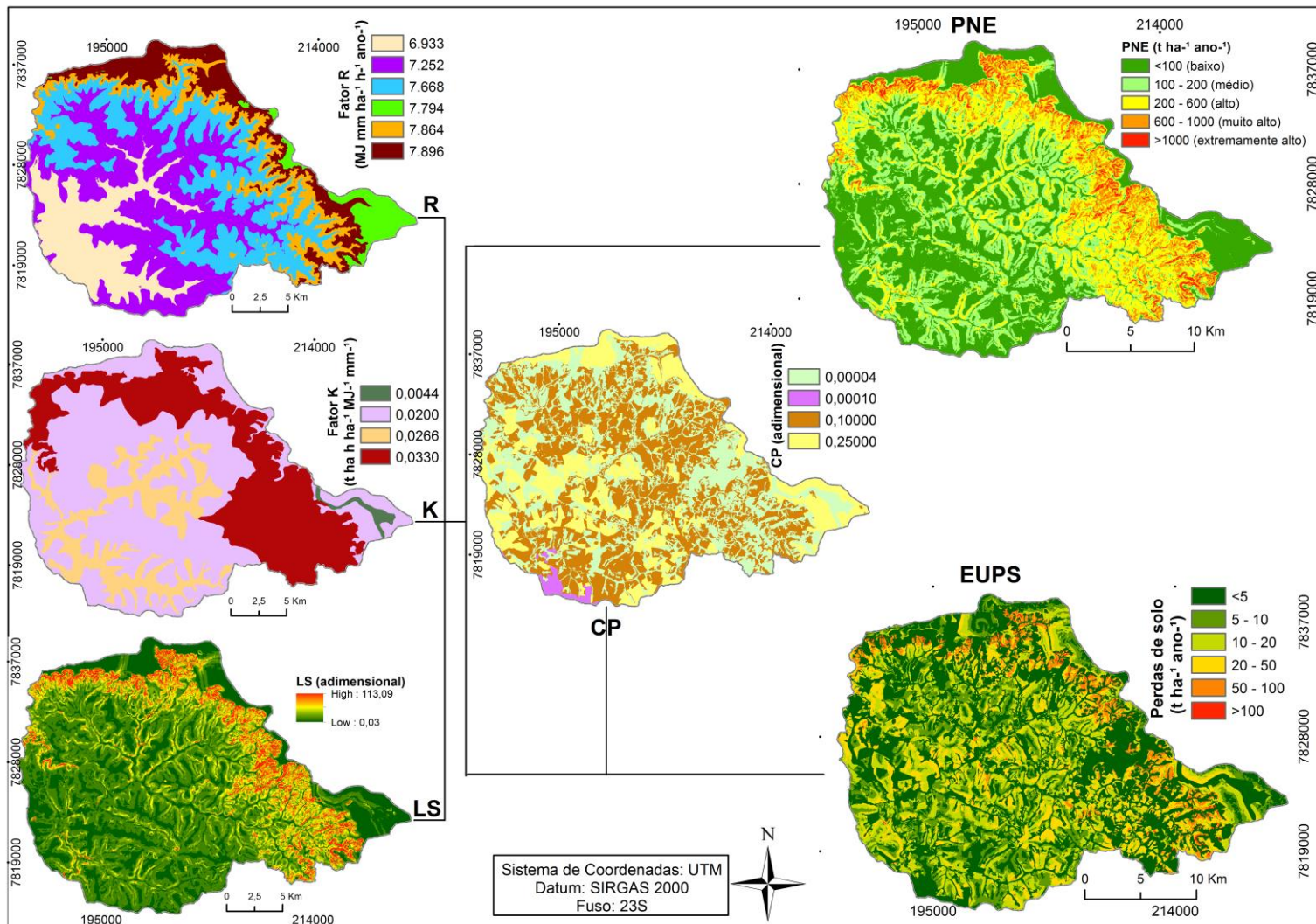
A Figura 4 apresenta o esquema metodológico dos fatores utilizados e seus respectivos valores atribuídos para a estimativa do PNE e da USLE.

De modo a avaliar as perdas de solo acima dos limites de tolerância dos solos foi atribuído nas classes de solos da APA do rio Uberaba os valores de tolerância indicados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Valores de Tolerância atribuídos dos solos da APA do rio Uberaba.

<b>Classe de Solo</b>	<b>Tolerância de perda de solo (<math>t\ ha^{-1}\ ano^{-1}</math>)</b>	<b>Fonte</b>
Gleissolos	8,7	Demarchi e Zimback, (2014)
Latossolo Vermelho	12,3	Bertoni e Lombardi Neto, (1990)
Latossolo Vermelho-Amarelo	12,6	
Argissolo Vermelho-Amarelo	6,6	

No SIG utilizando a álgebra de mapas, foi realizada a subtração do Mapa de Perda de Solo e da Tolerância de perdas das classes de solo. Os resultados foram reclassificados em 6 classes sendo em: perdas toleráveis, 0-5, 5-10, 10-20, 20-50 e maiores que  $50\ t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ . As áreas foram calculadas utilizando a ferramenta “Tabulate Area” do SIG.



**Figura 4.** Esquema metodológico dos fatores e valores atribuídos e calculados para a estimativa do PNE e da USLE.  
Fonte: Autor.

### 3.7 Mapeamento das áreas para conservação

A definição das áreas para a conservação do solo e da água na bacia do rio Uberaba foi determinada a partir dos usos do solo nas Áreas de Preservação Permanente e dos resultados das perdas de solo superiores à tolerância, nos quais, estes fatores influenciam diretamente na qualidade hídrica e na dinâmica dos processos erosivos. Foram divididas desta forma de modo a serem implantadas na APA de forma conjunta (preferencialmente) ou individualmente em políticas públicas de conservação ambiental, na fiscalização ambiental e na adequação ambiental da APA do rio Uberaba no que se refere a conservação do solo e da água.

Os valores e as classes de prioridade de conservação de uso do solo em APP (Tabela 8) e das perdas de solo superiores as tolerâncias (Tabela 9) foram reclassificados no SIG com a ferramenta “reclassify” em 5 classes de prioridades (baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta).

**Tabela 8.** Fatores considerados na definição das áreas prioritárias para Conservação.

Fatores	Classes	Prioridade	Classe de Prioridade
Uso do Solo em APP	Construções Rurais	1	Baixa
	Chacreamento	1	Baixa
	Urbanização	2	Média
	Mineração	2	Média
	Silvicultura	2	Média
	Culturas Perenes	3	Alta
	Pastagem	4	Muito Alta
	Culturas anuais	5	Extremamente Alta

Os usos dos solos nas APP foram extraídos no SIG com a ferramenta “Extract by mask” a partir do arquivo de uso e ocupação da terra e do arquivo dos limites legais das APP, sendo estes últimos extraídos do banco de dados do Plano de Manejo da APA do rio Uberaba. Foram consideradas para a delimitação das APP as distâncias dos cursos d’água descritas na Lei Estadual/MG nº 20.922 de 16 de outubro de 2013 atribuídos: distâncias de 30 metros para cursos d’água de até 10

metros de largura; mínimo de 50 metros das nascentes; 50 metros para o curso ou trecho que possua entre 10 a 50 metros de largura, 100 metros das bordas dos tabuleiros e/ou chapadas e 15 metros para reservatórios artificiais urbanos.

Foram considerados prioridades para conservação nas APP os usos do solo diferente da vegetação ciliar. Assim, os usos na APP pelas culturas anuais, pastagem, culturas perenes, silvicultura, mineração, urbanização, Chacreamento e construções rurais foram considerados em ordem de prioridade, atribuindo os maiores valores para as classes de agricultura (extremamente alta) e pastagem (muito alta). Segundo Valera (2017), ocorrem alterações na qualidade hídrica superficial em função da largura das faixas de APP e dos usos do solo na APP e no entorno. Com isso há necessidade de se preservar em acordo com a legislação, as faixas ciliares de forma a garantir as funções das APP na proteção da qualidade dos recursos hídricos.

As áreas prioritárias, a conservação do solo, com relação a perda de solo acima dos limites de tolerância, foram definidas a partir da reclassificação dos valores calculados pela USLE e da álgebra de mapas subtraindo as perdas de solo pelos valores de tolerância adotados para cada classe de solo. Para a reclassificação, foi considerado as classes de estimativas de perdas superiores a tolerância em 0-5; 5-10; 20-20; 20-50 e >50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, atribuindo prioridades de conservação nas áreas com maiores perdas em relação a tolerância, divididas em 5 classes.

**Tabela 9.** Fatores considerados na definição das áreas prioritárias para Conservação nas perdas superiores à Tolerância.

<b>Fatores</b>	<b>Classes de Perdas de solo*</b> ( t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	<b>Prioridade</b>	<b>Classe de Prioridade</b>
Perdas superiores à Tolerância	0 – 5	1	Baixa
	5 -10	2	Média
	10 – 20	3	Alta
	20 – 50	4	Muito Alta
	> 50	5	Extremamente Alta

\*Perdas superiores a tolerância.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

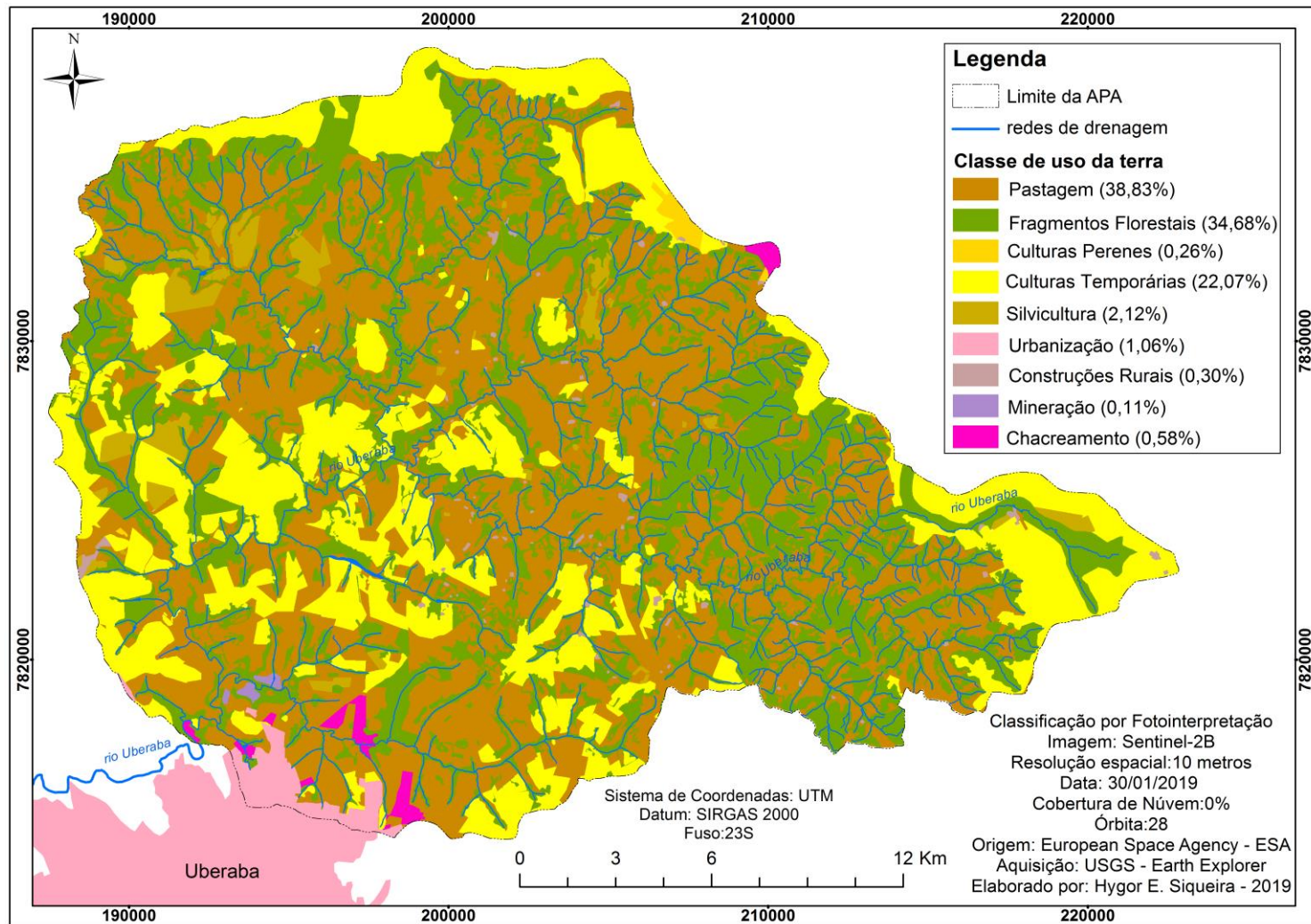
### 4.1 Uso e cobertura dos solos

O mapeamento da ocupação da terra na APA do rio Uberaba (Figura 5 e Tabela 10) mostram que a pastagem é atividade com maior uso e que ocupa 38,83% da área total. Os fragmentos florestais ocupam 34,68%, culturas anuais e perenes totalizando 22,73%, silvicultura 2,12% da área, urbanização 1,06%, chacreamento 0,58%, construções rurais 0,30% e mineração 0,11% de ocupação.

Houve mudanças na cobertura da terra ao longo dos anos na bacia do rio Uberaba, com perdas de áreas de vegetação nativa e mudanças de uso de pastagens para lavouras. Na década de 60 até a década de 90, segundo Cruz (2003), houve redução de 41,0% para 19,7% da vegetação nativa que deram lugar para o avanço da agricultura de 11,3% para 19,6% e, ainda, para avanço da pastagem de 46,8% para 58,5%. Segundo Cândido (2008), a vegetação nativa correspondia a 17,96% de ocupação seguida de 27,99% por agricultura, 50,21% ocupados por pastagens e 3,84% para outros usos.

Em comparação com o levantamento de uso do solo realizado no Plano de Manejo da APA no ano de 2016, metodologia e escala similar a utilizada neste estudo, a cobertura de pastagens correspondia a 45,7% da APA, as áreas utilizadas para agricultura correspondia a 13,85% da APA e a área urbana ocupava 1,02%. Em comparação com os dados de 2019 houve redução das áreas de pastagem e aumento das áreas de urbanização e agricultura. Observa-se nestes históricos de mudanças no uso e cobertura da terra e o avanço das áreas de agricultura.

Tais mudanças demonstram a necessidade de estudos, como o presente, com propostas para planejamento de uso e de práticas conservacionista de solo visando reduzir os impactos destas atividades no ambiente, principalmente no que se refere à erosão e contaminação dos recursos hídricos.



**Figura 5.** Uso e cobertura do solo na APA do rio Uberaba, 2019.

Fonte: Autor

**Tabela 10.** Uso e cobertura da terra na APA do rio Uberaba, 2019.

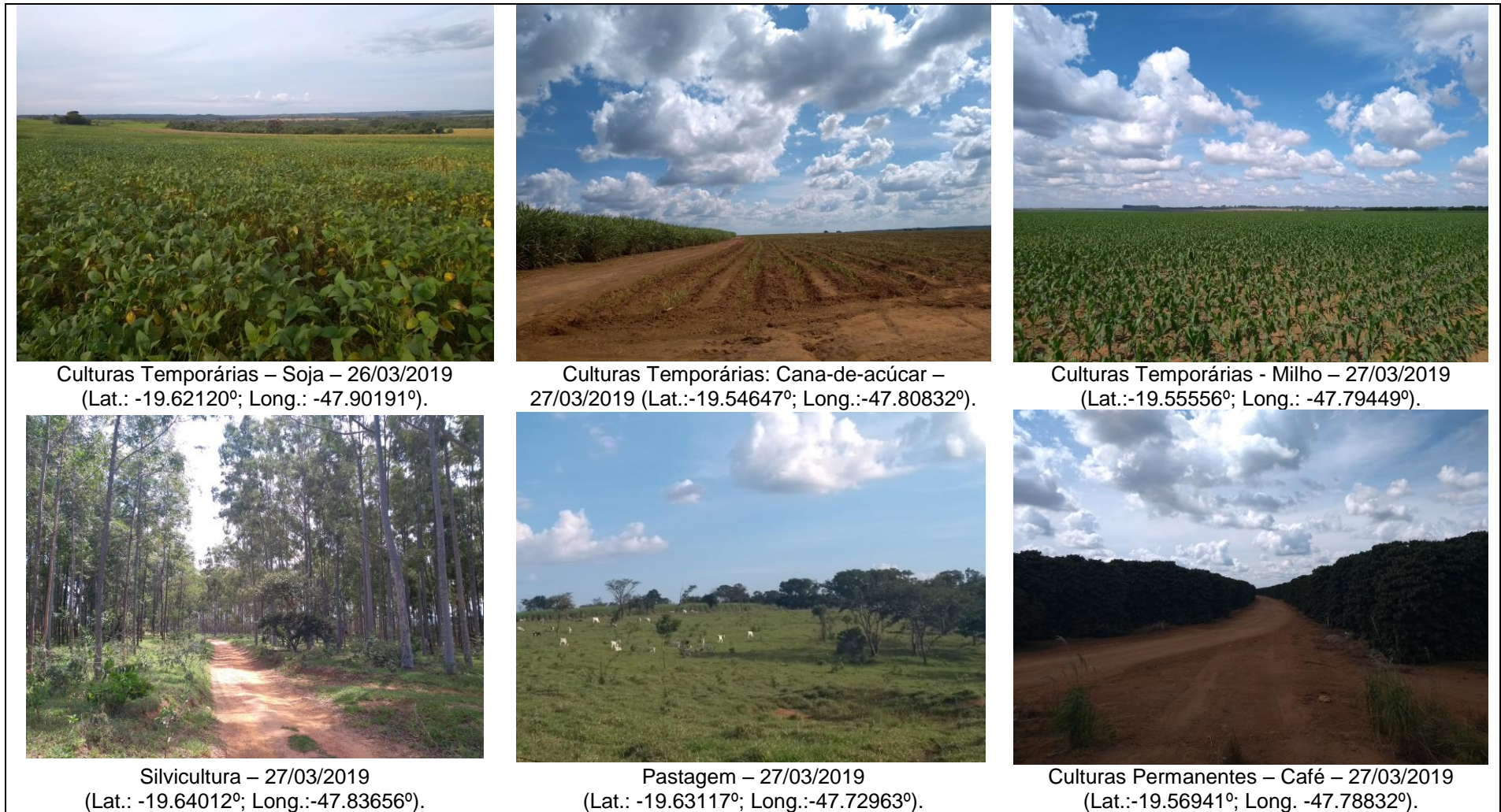
<b>Classe de uso</b>	<b>Área (hectares)</b>	<b>Área (%)</b>
Pastagem	20504,17	38,83
Fragmentos Florestais	18313,23	34,68
Culturas Perenes	139,32	0,26
Culturas Temporárias	11654,76	22,07
Silvicultura	1118,82	2,12
Urbanização	561,20	1,06
Construções Rurais	158,50	0,30
Mineração	56,25	0,11
Chacreamento	303,75	0,58
<b>Total</b>	<b>52810,00</b>	<b>100,00</b>

Alterações climáticas na região, em decorrência da expansão das áreas de cultivo e do crescimento populacional, foram relatados por Sanches et al. (2017). Tais alterações refletiram diretamente na diminuição da precipitação e no aumento da temperatura média e mínima, para o mês de outubro, e ainda implicaram em secas mais longas, interferindo severamente na disponibilidade de recursos hídricos e agravamento do estresse hídrico. Assim, a necessidade de reflorestamento de áreas e disciplinar o uso do solo, restringindo o avanço das áreas agrícolas é de suma importância para contribuir na manutenção dos padrões climáticos da região.

Dos usos do solo nas Áreas de Preservação Permanente (Tabela 11), os Fragmentos Florestais como Matas de Galeria e Mata Ciliar correspondem a 76,06% da APP. Este percentual está em acordo com a legislação ambiental vigente, no que se refere aos limites da APP segundo a Política Florestal e Proteção da Biodiversidade do Estado de Minas Gerais (Lei Estadual 20.922/2013). As áreas ocupadas com pastagem (11,71% da APP) é o uso com maior ocorrência em toda área da APA. As culturas temporárias ocupam 11,3% da APP onde se localiza principalmente as bordas da chapada até a linha de ruptura do relevo (Pgi e Dtc) em que a legislação determina uma faixa de no mínimo 100 metros. Muitos destas áreas estão sendo utilizadas também pela agricultura. Outros usos totalizam 0.93% de uso da APP.

**Tabela 11.** Uso e ocupação do solo nas Áreas de Preservação Permanente.

<b>Classe de uso</b>	<b>Área (ha<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
Pastagem	689,41	11,71
Fragmentos Florestais	4477,05	76,06
Culturas Perenes	9,46	0,16
Culturas Temporárias	664,91	11,30
Silvicultura	18,02	0,31
Urbanização	3,22	0,05
Construções Rurais	8,11	0,14
Mineração	2,46	0,04
Chacreamento	13,79	0,23
<b>Total</b>	<b>5886,43</b>	<b>100,00</b>



**Figura 6.** Principais usos agropecuários na APA do rio Uberaba.

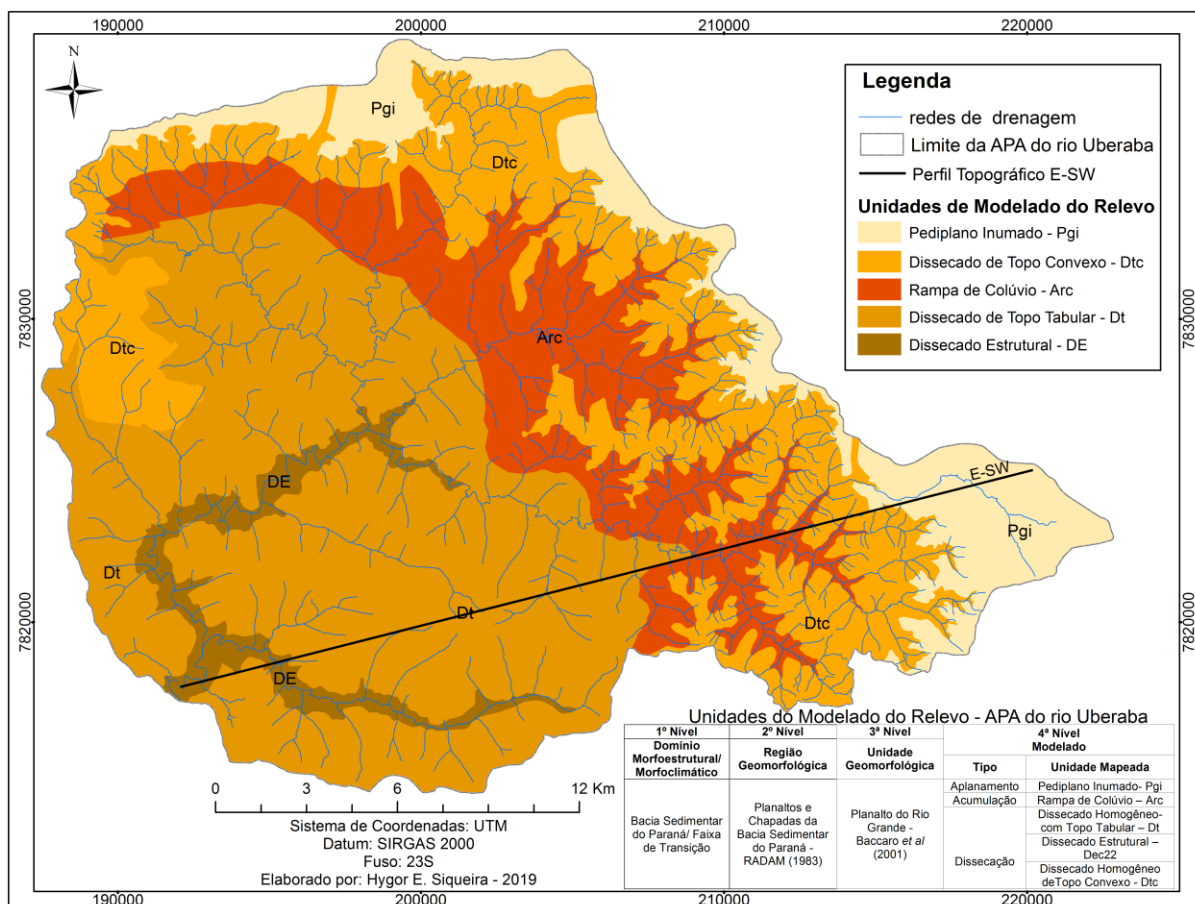
Fonte: autor

## 4.2 Mapeamento do Modelado do Relevô

O Modelado do Relevô na APA do rio Uberaba resultou na hierarquização dos níveis taxonômicos (1º ao 3º nível) e no Modelado a identificação de 3 tipos (Aplainamento, Acumulação e Dissecação) e individualização em 5 unidades conforme apresentada na Tabela 11 e Figura 7.

**Tabela 12.** Estrutura Geomorfológica e resultados do Mapeamento do Modelado na Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba.

<b>1.º nível taxonômico</b>			
<i>Domínio Morfoestrutural</i>		<i>Domínio Morfoclimático</i>	
Bacia Sedimentar do Paraná		Faixa de Transição	
Fonte: Mapa de unidades de relevo do Brasil IBGE, (2006)			
<b>2.º nível taxonômico</b>			
<i>Região Geomorfológica</i>			
Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná			
Fonte: Mapa de unidades de relevo do Brasil IBGE, (2006)			
<b>3.º nível taxonômico</b>			
<i>Unidade Geomorfológica</i>			
Planalto do Rio Grande			
Fonte: Baccaro <i>et al.</i> (2001)			
<b>4.º nível taxonômico</b>			
<i>Modelado</i>			
<b>Tipo</b>	<b>Unidade Mapeada</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Aplainamento	Pediaplano Degradado Inumado – Pgi	6.048,57	11,45
Acumulação	Rampa de Colúvio– Arc	9.087,68	17,21
	Dissecado Homogêneo de Topo Tabular -Dt	22.383,26	42,39
Dissecação	Dissecado Homogêneo de Topo Convexo - Dtc	13.086,78	24,78
	Dissecado Estrutural de Topo Convexo – DE	2.203,70	4,17
<b>Total</b>		<b>52810,00</b>	<b>100,0</b>



**Figura 7.** Unidades do modelado do relevo na APA do rio Uberaba.

Fonte: Autor

Os Domínios Morfoestruturais e Morfoclimáticos (1º nível taxonômico) ocorrem em escala regional e organizam os fatos geomorfológicos segundo o arcabouço geológico marcado pela natureza das rochas e pela tectônica que atua sobre elas. Esses fatores, sob os efeitos climáticos variáveis ao longo do tempo geológico, geraram amplos conjuntos de relevos com características próprias, cujas feições embora diversas, guardam, entre si, as relações comuns com a estrutura geológica a partir da qual se formaram.

As Regiões geomorfológicas (2º nível taxonômico) representam compartimentos inseridos nos conjuntos litomorfoestruturais que, sob a ação dos fatores climáticos pretéritos e atuais, lhes conferem características genéticas comuns, agrupando feições semelhantes, associadas às formações superficiais e às fitofisionomias (Campos, 2017).

Segundo Baccaro et al. (2001), as Unidades Geomorfológicas (3º nível taxonômico) são definidas como um conjunto de formas altimétricas e semelhantes

em seus diversos tipos de modelados em que a geomorfogênese e a similitude de formas podem ser explicadas por fatores paleoclimáticos e por condicionantes litológica e estrutural. Cada unidade geomorfológica evidencia seus processos originários, formações superficiais e tipos de modelados diferenciados dos demais. A drenagem e suas características morfológicas, padrões e anomalias são tomados como referencial à medida que revelam as relações entre os ambientes climáticos atuais ou passados e as condicionantes litológicas ou tectônicas (Campos, 2017).

O modelado (4º nível taxonômico) constitui-se de padrões de formas de relevo que apresentam definição geométrica similar em função de uma gênese comum e dos processos morfogenéticos atuantes, resultando na recorrência dos materiais correlativos superficiais.

Os Modelados de acumulação Rampa de Colúvio apresentaram feições suaves a onduladas. As declividades variam entre 3 e 20%. É um ambiente deposicional que recebe detritos da unidade de relevo pediplano e Dissecado de Topo convexo. Segundo Campos (2017), nos depósitos coluvionares os solos apresentam uma textura média a franco-arenosa e o material em superfície e possui baixa resistência à erosão, e na condição climática atual, são bastante friáveis e facilmente erodidos.

Os Modelados de aplanamento Pediplano Degradado Inumado foram identificados pela definição de sua gênese e funcionalidade, combinadas ao seu estado atual de conservação ou degradação. Essa unidade é marcada por relevos planos e fortes declives na direção da ruptura estrutural, com variações de declividades na faixa de 0 a 3% e chegando a 45% na ruptura dos Dissecados. As condições morfogenéticas associadas aos diferentes usos do solo variando entre pastagem matam e cultura de cana-de-açúcar e soja geram condições para potencializar os fluxos de escoamento superficial e acentuar a erosão entressulcos e sulcos, levando há uma mobilização de sedimentos em direção as áreas das rupturas estruturais. Os solos desta unidade são os Latossolos Vermelhos Amarelos e a Geologia por coberturas Dentrítico-Lateríticas no chapadão em direção para a Formação Marília e Argissolos na ruptura do relevo.

As unidades de Dissecação – Dissecado Estrutural apresentam topos convexos e longas rampas em direção ao fundo de vale, com declividades entorno

de 8% a 20%. Nos trechos mais próximos ao fundo de vale, as declividades podem variar entre 20 a 45 %, nas áreas onde afloram os basaltos da Formação Serra Geral (Campos, 2017). Nestas unidades localizam-se os Latossolos Vermelhos.

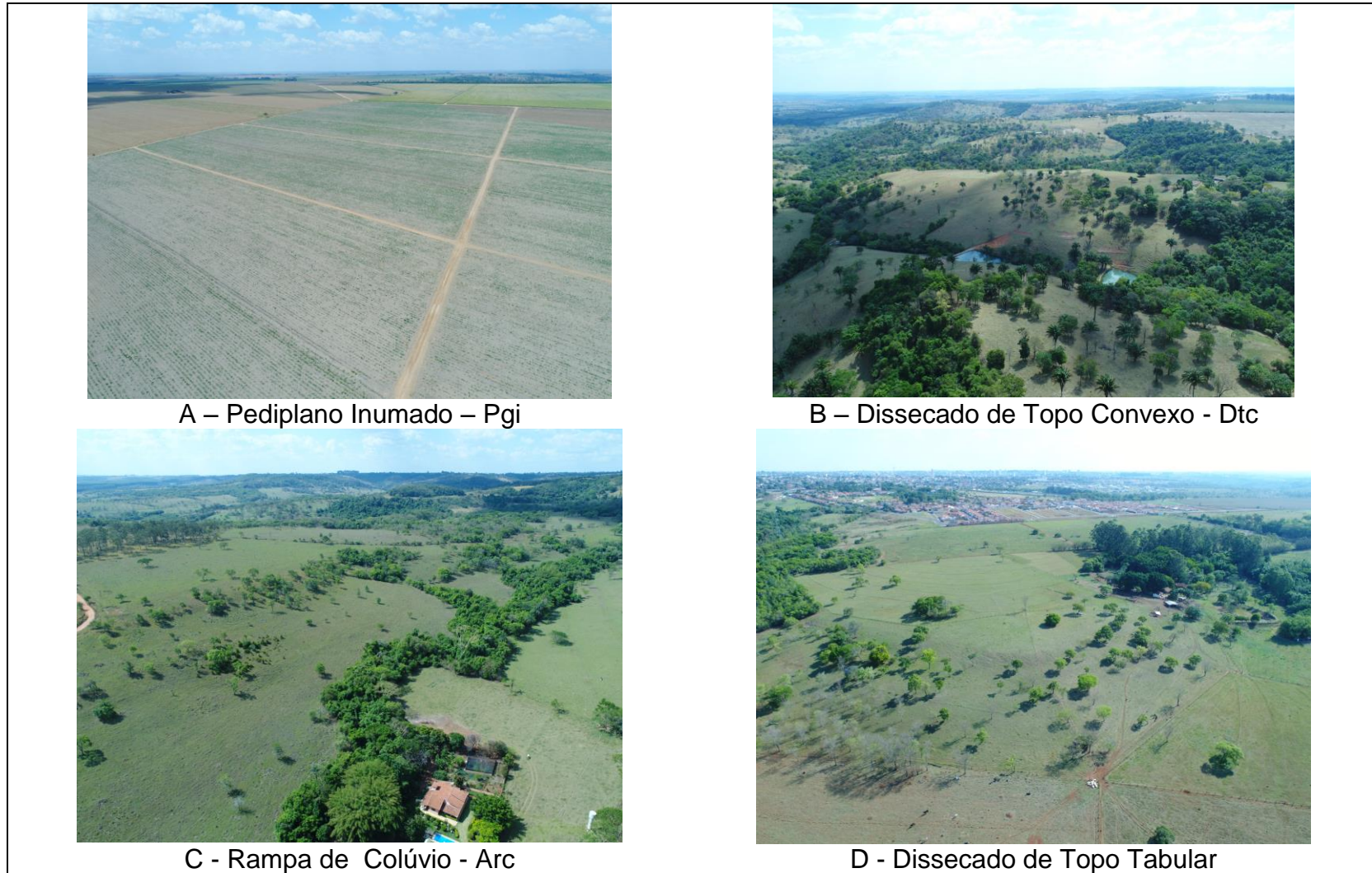
A unidade de Dissecado Homogêneo de Topo Tabular é a unidade do modelado do relevo que possui a maior área ocupada na APA. As declividades variam de 3% a 8%. Os solos são do tipo Latossolos Vermelho Amarelo distróficos, O uso do solo, com usos de agricultura soja, milho e cana-de-açúcar e pastagem.

A Unidade do Dissecado Homogêneo de Topo convexo está inserida nas áreas com declividade superiores a 20% na Formação Marília. Os Argissolos presentes nessa unidade contribuem para a alta erodibilidade o que o torna susceptível aos processos erosivos. Os usos dos solo nessa unidade são caracterizados principalmente por florestas, pastagem e silvicultura, o que contribui para a conservação do solo.

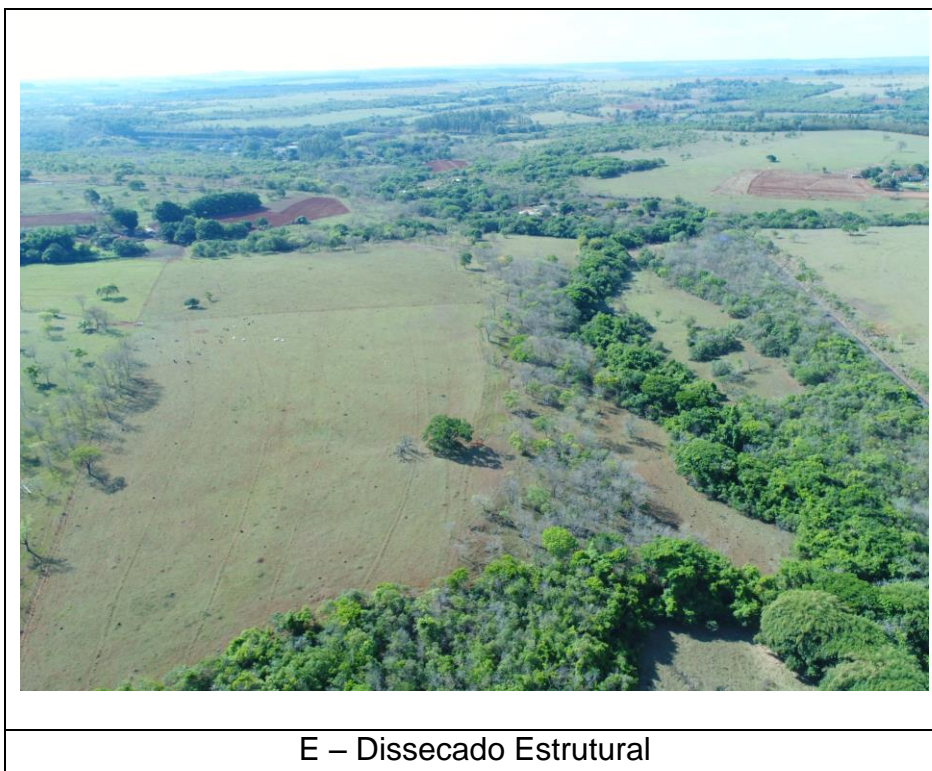
Segundo Campos (2017), os Modelados de dissecação são os que ocorrem de forma mais generalizada na paisagem brasileira, sendo caracterizados como dissecados homogêneos, dissecados estruturais e dissecados em ravinas. Os dois primeiros são definidos pela forma dos topos e pelo aprofundamento e densidade da drenagem.

A Figura 8, com imagens registradas por aeronave remotamente pilotadas – ARP ilustra as diferentes unidades do modelado classificadas e suas diferentes formas.

A Figura 9, da esquerda para a direita, ilustra a ruptura e diferenciação do tipo de modelado (Aplanamento e Dissecação) e das Unidades (Pediplano Inundado – Pgi para o Dissecado Homogêneo de Topo Convexo – Dtc resultado da quebra geológica da Cobertura Dentrítico-Laterítica para a Formação Marília e ainda da diferenciação dos Latossolos para os Argissolos. Na imagem, observa-se na Unidade Dissecado Homogêneo de Topo Convexo (parte direita) solo exposto e processos erosivos em sulcos como ravinas e voçorocas. Nessas unidades ficam evidentes a importância da cobertura florestal na redução do processo erosivo bem como no grande serviço da vegetação nativa no controle dos processos de interceptação das gotas da chuva pelas copas e infiltração da água no solo.



**Figura 8.** Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada – ARP dos modelados do relevo.  
Data: 05/10/2019.Fonte: autor



**Figura 8** – Continuação -. Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada – ARP dos modelados do relevo. Data: 05/10/2019.

Fonte: autor



**Figura 9**. Ruptura do relevo da Unidade Pgi para a Dtc por Imagens de Aeronave Remotamente Pilotada – ARP. Data: 05/10/2019.

Fonte: autor

### 4.3 Parâmetros Morfométricos

Os valores dos índices morfométricos da APA do rio Uberaba são apresentados na Tabela 12.

**Tabela 13.** Índices morfométricos da Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.

<b>Parâmetros Morfométricos</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Área – A	Km <sup>2</sup>	528,1
Perímetro – P	km	113,3
Largura média	km	21,4
Comprimento do eixo axial	km	31,4
Fator de forma – Kf	Adimensional	0,54
Índice de circularidade – Ic	Adimensional	0,52
Coeficiente de compacidade – Kc	Adimensional	1,38

As características geométricas calculadas resultaram em área de 528,1 km<sup>2</sup> e perímetro de 113,3 km. A largura média de 21,4 km e comprimento axial de 31,4 km.

O fator forma (kf) que corresponde a relação entre a largura média e o comprimento do eixo axial da bacia e resultou no valor de 0,54. Segundo Vilela e Matos (1975), o kf indica possibilidades de ocorrência de enchentes em maiores ou menores intensidades dado ao formato alongado ou estreito, em que valores, abaixo de 0,5 indicam que a bacia não está sujeita a enchentes. Valores acima de 0,5 e abaixo de 0,75 segundo Silva e Mello (2003) e Rodrigues (2017) indicam possibilidades de tendências em que ocorrerem enchentes, por ocorrer chuvas em boa parte da extensão da bacia.

O índice de circularidade (Ic) calculado foi de 0,52. Valores de Ic igual a 1 (um) indicam que a bacia possui um formato circular e se torna retangular a medida que decresce o valor. Segundo ALVES e CASTRO (2003), índices de circularidade superiores a 0,51 indicam que a bacia tem tendência circular favorecendo os processos de inundação, por concentrar todo o escoamento e fluxo de água de forma rápida no tributário. Em condições normais de precipitação, os índices de Vilela e Matos (1975), a APA apresenta média tendência a ocorrerem grandes enchentes pelo fato do Coeficiente de Compacidade (Kc) apresentar o valor de 1,38, sendo valores superiores a 1,5 não sujeito a grandes enchentes (Vilela e Matos, 1975).

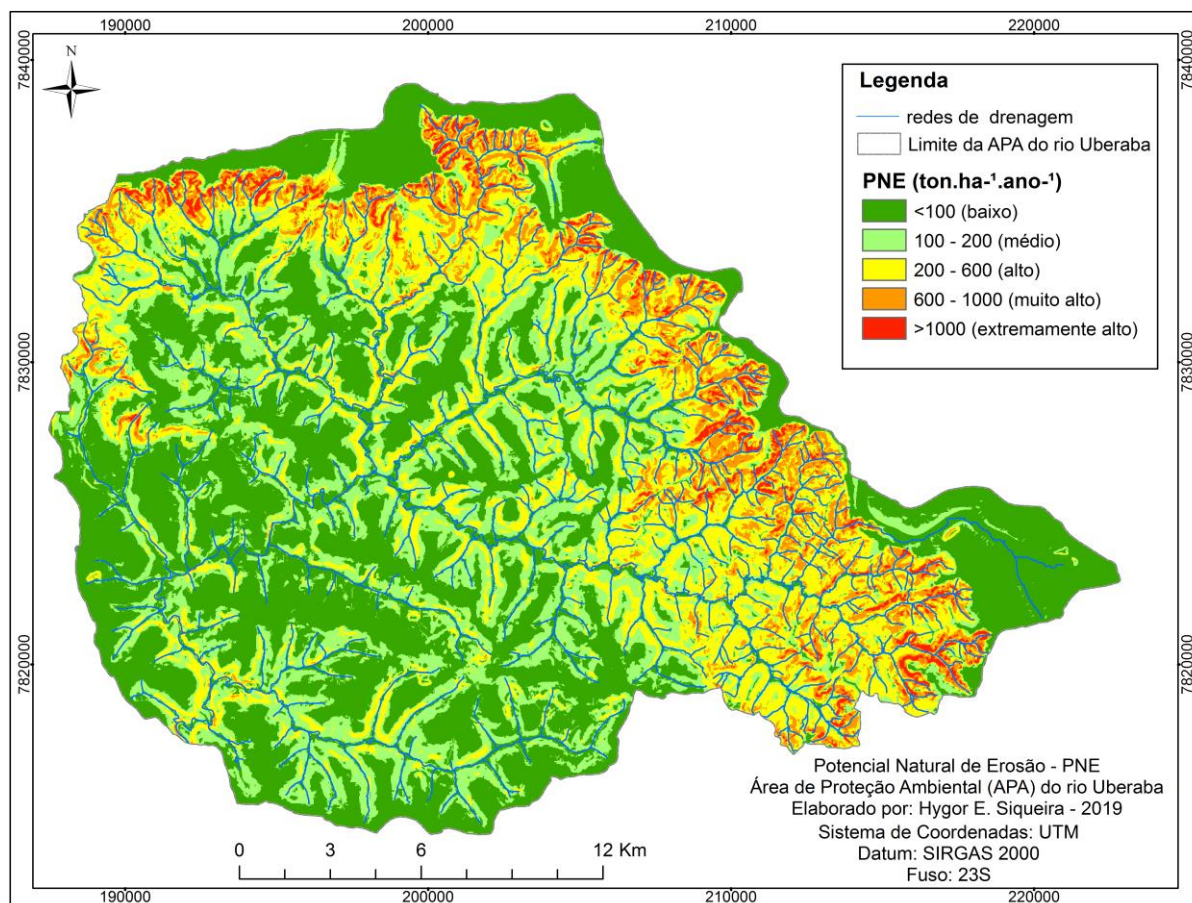
Os parâmetros morfométricos nos indicam que a APA do rio Uberaba dada sua forma, circularidade e compacidade proporcionarem o escoamento superficial com tendência mediana a ocorrem grandes enchentes. Em bacias com forma ovalada, há maiores possibilidades de chuvas intensas ocorrerem simultaneamente em toda a sua extensão, concentrando grande volume de água no tributário principal (Valle Junior, 2008; Rodrigues, 2017). Com isso, a cobertura do solo e técnicas conservacionistas aliados a uma proteção das matas ciliares tornam-se de fundamental importância na conservação do solo e da água, principalmente, nos locais com alto potencial natural de erosão e com altas perdas de solo pela erosão, reduzindo-se assim os processos erosivos e o assoreamento dos cursos d'água.

#### **4.4 Potencial Natural de Erosão - PNE**

O Potencial Natural de Erosão - PNE (Figura 10) (Tabela 13) é maior nas áreas em que o fator R e LS da equação obtiveram altos valores, dados às características físicas e morfológicas na APA do rio Uberaba. Para Hembram e Saha (2018), o risco de erosão e as características geomorfológicas das bacias estão relacionados.

Os potenciais riscos de erosão classificados como baixo ocorrem na APA em 38,72% seguidos de médio potencial em 31,29% e alto, muito alto e extremamente alto totalizam 29,99%. Estas informações nos mostram a necessidade de se obter cuidados especiais quanto à definição e de possíveis mudanças no uso, no emprego de técnicas de conservação do solo e definição de áreas para preservação.

Valle Junior (2008), avaliando o PNE na bacia do rio Uberaba identificou que os maiores valores ocorrem nas regiões com maior declive, com o relevo mais acentuado nos Argissolos, características morfológicas do alto curso do rio Uberaba (Abdala, 2005), onde está inserido a APA do rio Uberaba. Já os valores mais baixos de PNE foram encontrados em áreas de topos planos a levemente convexos e vales mais abertos predominando os Latossolos.



**Figura 10.** Potencial Natural de Erosão na APA do rio Uberaba.

Fonte: Autor

Os valores de PNE nas unidades do modelado (Tabela 13) possibilitou compreender e relacionar as áreas e unidades com menores e maiores valores de PNE, indicando as unidades preferencialmente que merecem atenção quanto aos processos erosivos.

**Tabela 14.** Potencial Natural de Erosão da APA do rio Uberaba.

Classificação*	PNE (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Área (hectares)	Área (%)	PNE nas Unidades do Modelado (%)				
				Pgi	Dtc	Arc	Dt	DE
Baixo	<100	22174,76	41,99	79,32	13,07	21,07	57,83	37,91
Médio	100 - 200	13539,04	25,64	9,00	13,45	34,27	32,05	41,67
Alto	200 - 600	11847,68	22,43	7,16	39,60	39,30	9,96	19,04
Muito Alto	600 -1000	4124, 48	7,81	3,36	26,33	4,68	0,15	1,15
Extremamente alto	>1000	1124,04	2,13	1,16	7,55	0,68	0,10	0,23
<b>Total</b>		<b>52810,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

\*Adaptado de Valle Junior, (2008); Bertoni e Lombardi Neto (1999).

Na Unidade do Pediplano Inumado – Pgi, que é caracterizado pelo relevo plano (0-3% de declividade) resultou em valores de PNE abaixo de  $100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 79,32%; entre 100 a  $200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 9% área; valores classificados como altos entre 200 a  $600 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em 7,16%; e 7,81% e 2,13% em áreas classificadas como Muito alta ( $600\text{-}100 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) e Extremamente Alta ( $<1000 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) respectivamente.

Na Unidade do Topo Tabular (entre 3% a 8% de declividade), os valores de Baixo e Médio PNE ocupam 57,83% e 32,05% respectivamente. As classes de maiores PNE (alto, muito alto e extremamente alto) ocupam 9,96%, 0,15% e 0,68% respectivamente.

Na unidade do Modelado Dissecado Estrutural, as classes baixas e médias de PNE correspondem a 37,91% e 41,67% respectivamente. Já nas classes Alto, Muito Alto e Extremamente alto ocupam 19,04%, 1,15% e 0,23% respectivamente.

A unidade do Modelado Dissecado de Topo Convexo – Dtc apresentaram baixos e médios valores de PNE em 26,52% da área e os altos valores de PNE nas classes de alto, muito alto e extremamente alto correspondem a 39,6%, 26,33% e 7,55% respectivamente, influenciados pelas condições do relevo (ondulado, forte ondulado e montanhoso e ainda da presença dos Argissolos.

Na Unidade Rampa de Colúvio – Arc, apresentam-se áreas classificadas com baixo potencial natural de erosão em 21,07%, médio em 34,27%, alto 39,3%, muito alto 4,68% e extremamente alto em 0,68%.

As áreas de PNE classificadas de altas a extremamente altas ocupam 73,58% na unidade do modelado Dtc; 44,4% na unidade Arc; 20,42% no De; 11,68% no Pgi e 10,12% no Dt.

Assim, dadas as estimativas e levando em consideração a preservação da paisagem, a redução dos processos erosivos é altamente recomendado nas áreas com alto, muito alto e extremamente alto potencial natural a erosão ( $\text{PNE} > 200 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ ) um planejamento conservacionista seja realizado e que a cobertura natural seja mantida ou restaurada, podendo ser implementados mecanismos de compensação e de pagamento por serviços ambientais (PSA) aos proprietários com recursos públicos de origem de fundos municipais e estaduais, cobrança pelo uso da água, e compensação ambiental e crédito de carbono por exemplo.

#### 4.5 Estimativas das perdas de solo pela erosão

Na APA do rio Uberaba, os valores de perdas de solo estão apresentados na Tabela 14 e perdas especializadas na Figura 11. As estimativas de perdas menores que  $5 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  ocorrem em 43,81% da área, ocupadas principalmente por fragmentos florestais ao longo da APA e nos terrenos suavemente planos com menos de 3% de declividade com o uso pela agricultura e silvicultura.

**Tabela 15.** Estimativas de perdas de solo pela erosão hídrica na APA do rio Uberaba.

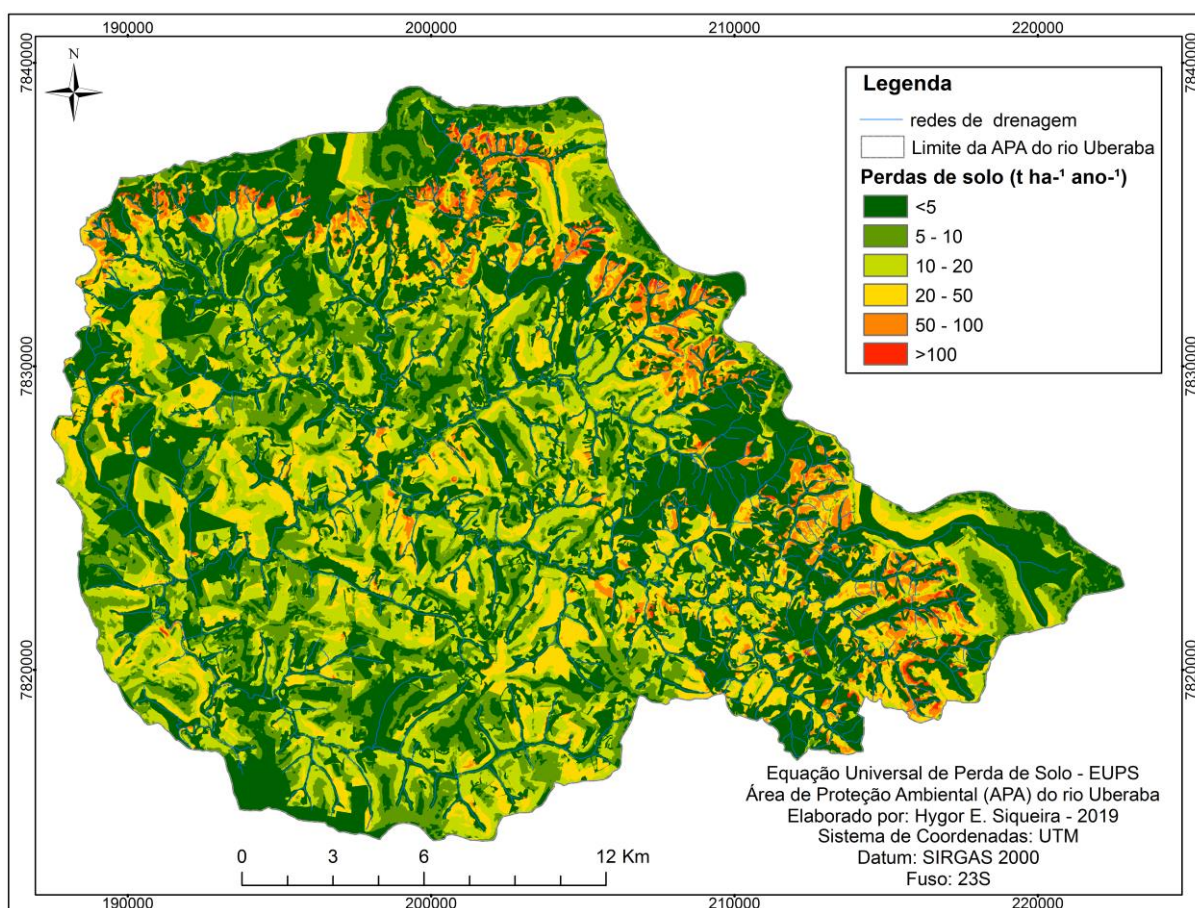
Perda de solo ( $\text{t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ )	Área (hectares)	Área (%)
<5	23136,37	43,81
5 – 10	6455,06	12,22
10 – 20	11524,04	21,82
20 - 50	9446,43	17,89
50 - 100	2070,57	3,92
>100	177,52	0,34
Total	52810,00	100,00

As áreas com perdas de solo estimadas entre 5 a  $10 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  correspondem a 12,22% da APA, as quais são ocupadas por agricultura e pastagens. Nestas áreas as estimativas de perdas de solo por erosão, nas áreas com o uso da terra para agricultura e pastagem é importante que haja métodos e técnicas de conservação do solo de modo a reduzir os processos de perdas de solo pela erosão. Estes baixos valores de perda de solo se dão principalmente pela baixa capacidade de erosão em áreas com vegetação nativas preservadas.

Já as estimativas de perda entre 10 e  $20 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  correspondem a 21,82% da APA com usos destinados a pastagens e agricultura assim como nas perdas estimadas entre 20 e  $50 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  que corresponde a 17,89% da APA. Nestas áreas devem ser adotadas práticas de conservação do solo de modo a minimizar as perdas de solo.

As áreas perdas estimadas entre 50 e  $100 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  ocupam 3,92% e as perdas superiores  $100 \text{ t ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$  as quais são utilizados principalmente com pastagem, devido as dificuldades de uso para a agricultura por conta da altas declividades. O uso destas áreas onde as perdas de solo são superiores a

50 t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> acarretam grande potencial de ocorrência e aumento da intensidade de processos erosivos. Tais processos como ravinas e voçorocas podem gerar mais perdas de solo, desequilíbrio nos recursos ecossistêmicos em níveis extremos, e a degradação da terra. Para isso, um planejamento conservacionista e medidas protetivas do solo devem ser implantados.

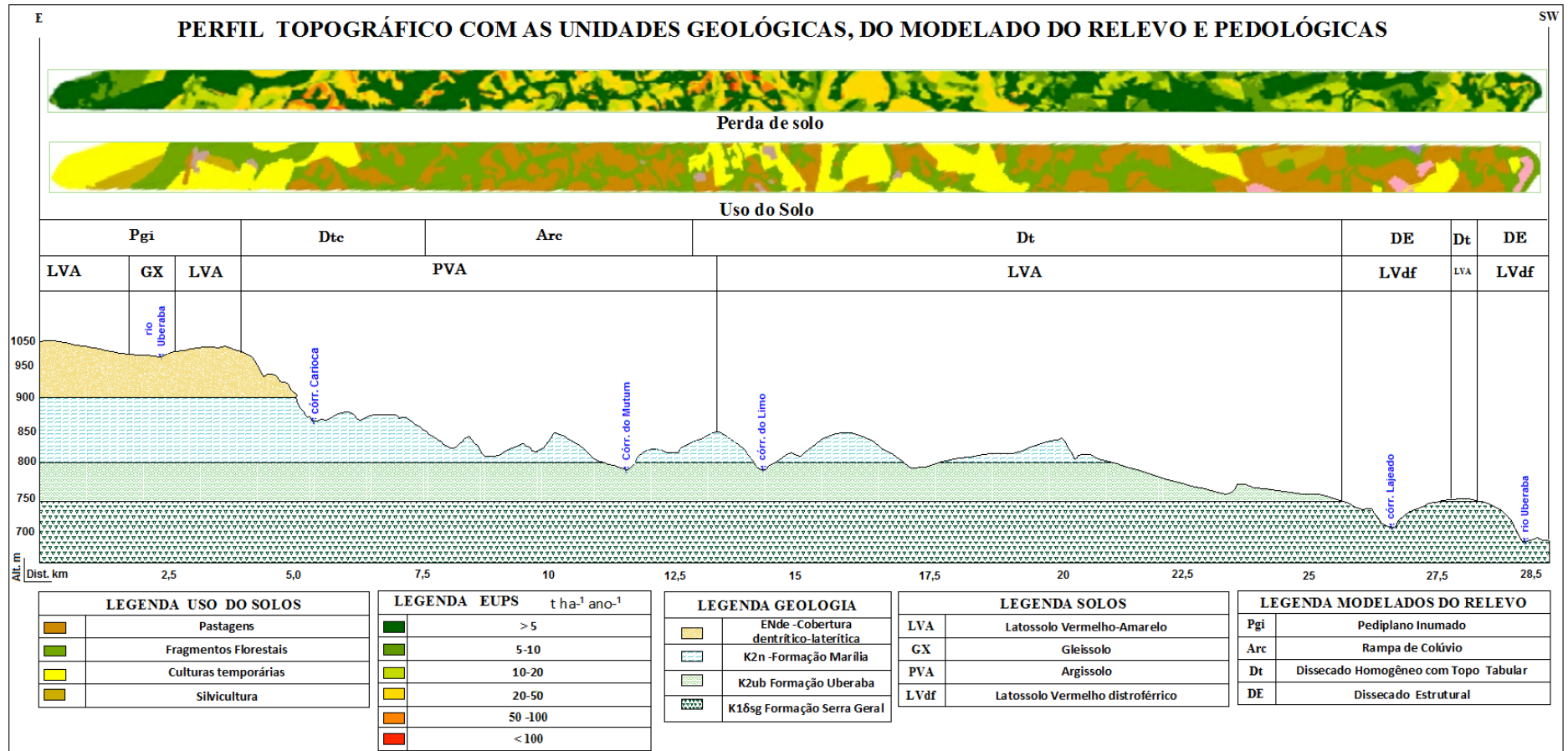


**Figura 11.** Estimativa das perdas de solo na APA do rio Uberaba.

Fonte: Autor.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990), em declividades variando de 8,5% a 12,8% com pluviosidade média de 1300 mm as perdas de solo por erosão (t ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) correspondem em média a 20,1 para a cultura da soja, 12,4 para a cana-de-açúcar, 12,0 para milho e 10,1 para milho+feijão. Tais culturas são cultivadas na APA do rio Uberaba o que nos alertam para a necessidade de adotar práticas conservacionistas de modo a reduzir os processos erosivos. Um perfil topográfico de E-SW (da nascente a foz) (Figura 12) foi elaborado de modo a

sintetizar o comportamento dos usos e perdas de solo nas características geológicas, dos solos e do modelado do relevo que variam ao longo do perfil.



**Figura 12.** Perfil topográfico E-SW (nascente á foz) com ilustrações dos usos e perdas de solo na APA do rio Uberaba.  
Fonte: autor

#### 4.6 Estimativas das perdas de solo pela erosão acima dos limites de tolerância dos solos

As estimativas de perdas de solos pela erosão acima dos limites de tolerância estão apresentadas na Tabela 15 e a espacialização ilustrado na Figura 13.

**Tabela 16.** Estimativa de perdas de solo por erosão dentro do limite de tolerância e acima dos limites de tolerância na APA do rio Uberaba.

Perda de solo (t ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Área (hectares)	Área (%)	Perdas superiores a Tolerância na Unidade do Modelado (%)				
			Pgi	Dtc	Arc	Dt	DE
Dentro do limite de Tolerância	34693,06	65,69	74,27	61,20	59,92	68,05	68,79
0 - 5	4845,58	9,18	8,81	3,14	8,49	12,60	14,23
5 - 10	3399,65	6,44	5,24	3,75	7,23	8,05	6,08
10 - 20	4324,39	8,19	5,54	7,31	12,28	7,94	6,33
20 - 50	3653,35	6,92	4,57	12,99	10,07	3,01	3,86
>50	1893,97	3,59	1,58	11,62	2,00	0,36	0,72
<b>Total</b>	<b>52810,00</b>	<b>100,0</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>

As perdas Toleráveis, ou seja, aquelas perdas abaixo do limite de tolerância correspondem a 65,69% da APA. Estas áreas ocorrem principalmente nas áreas de vegetação florestal e em relevos suavemente planos (0-3% de declividade). Mesmo as perdas por erosão abaixo dos limites de tolerância dos solos são de suma importância adotar técnicas de conservação do solo, de modo a utilizá-lo de forma sustentável e em concordância com os objetivos da APA do rio Uberaba.

As perdas de solo classificados de 0 – 5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> correspondem a 9,18% da área da APA e de 5 – 10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> a 6,44%. Perdas entre 10 – 20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, 20 a 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> e perdas acima da tolerância maiores que 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> foram estimadas em 8,19%, 6,92% e 3,59% respectivamente na APA do rio Uberaba.

Nas unidades do modelado, as perdas toleráveis ocupam 74,27% no Pgi, 68,79% no DE, 68,05% no Dt, 61,2% no Dtc e 59.92% no Arc.

As estimativa de perdas abaixo de 5 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> ocorrem no modelado DE em 14,23%; em 12,6% na área do Dt; em 8,81% no Pgi; em 8,49% no Arc e 3,14% no Dtc.

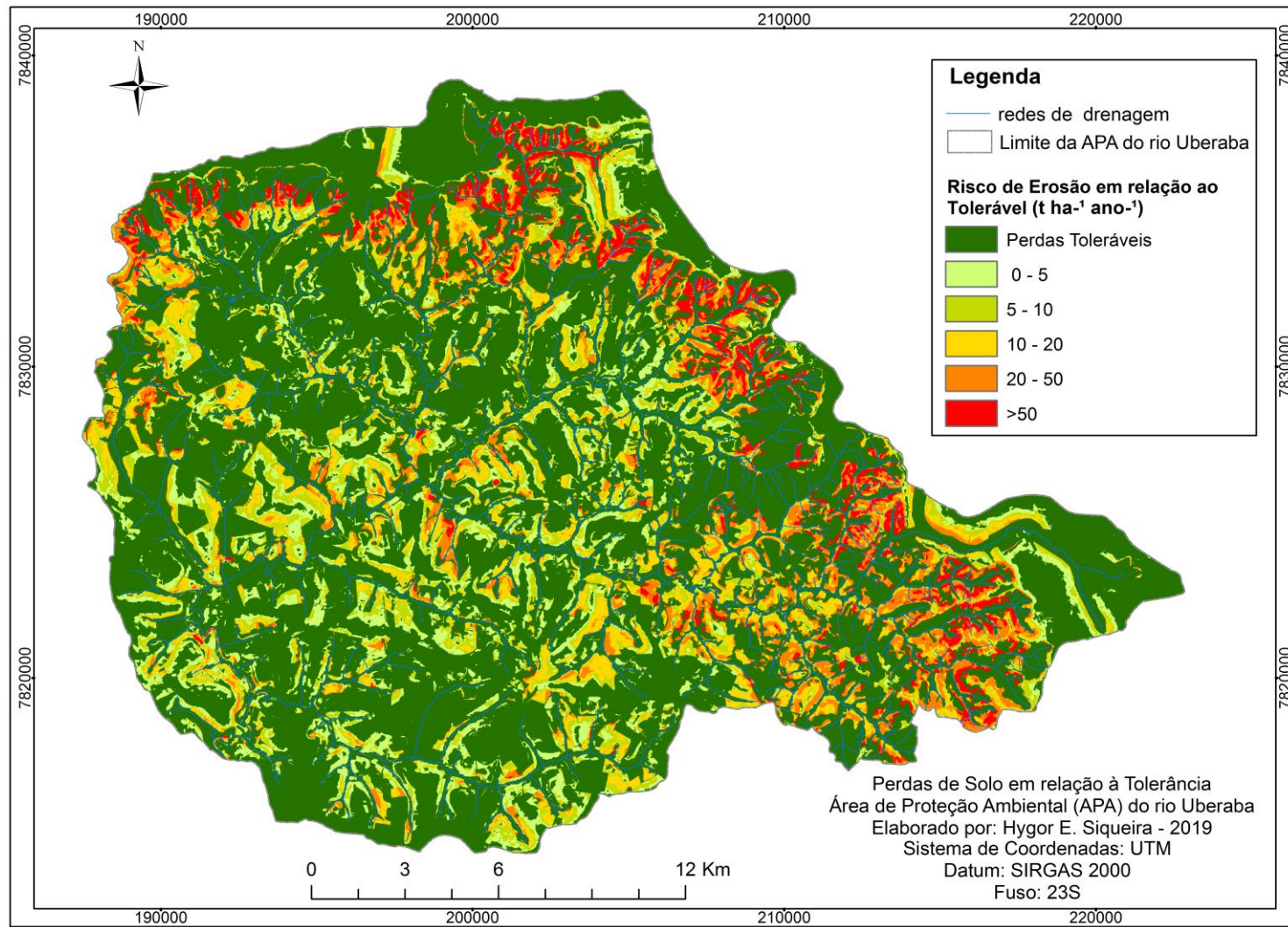
Nas perdas entre 5-10 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, nas áreas do modelado ocupam 8,05% da área do Dt; 7,23% da área do Arc; 6,8% do DE; 5,54% da área do Pgi e em 3,75% da área do Dtc.

Nos intervalos de perdas acima do tolerância entre 10-20 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, estima-se sua ocorrência na área do modelado em 12, 28% no Arc; 7,94% no Dt; 7,31% no Dtc; 5,33% no DE e 5,54% nas áreas do Pgi.

Entre as áreas com perdas de solo de 20 - 50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, as unidades dos modelados com maiores áreas de ocupação foram o Dtc (12,99%); Arc (10,07%); Pgi (4,57%) seguidos do DE (3,86%) e do Dt com 3,01%.

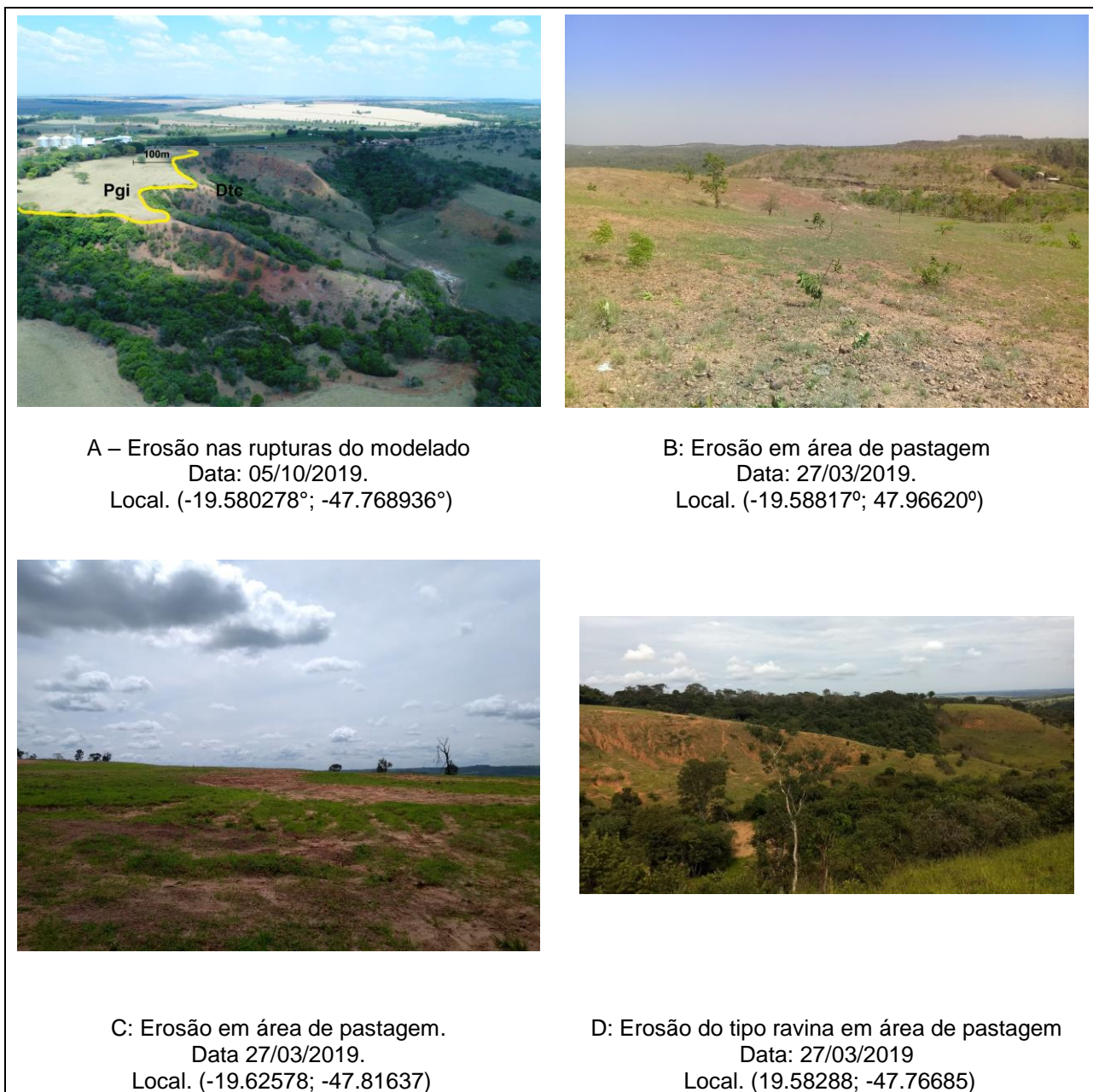
As áreas com maiores perdas de solo (>50 t ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>) apresentaram-se em 11,62% do Dtc; em 2% da área do Arc; 1,58 da área do Pgi; 0,72% da área do DE e 0,36% da área do Dt.

A erosão hídrica constitui um dos maiores problemas verificados na bacia do rio Uberaba, devido a ocorrências de desmatamentos para uso agrícola e o uso indevido de áreas legalmente destinadas à reserva, mata ciliar e de encosta (CRUZ, 2002). As áreas com perdas superiores à tolerância tornam-se um importante indicativo de locais e serem definidas como prioritários para conservação. Segundo Valera et al. (2017), a erosão dos solos acima dos limites de tolerância promovem a degradação do solo desencadeando danos ao meio ambiente e à sociedade, sendo os proprietários da terra responsáveis pelos danos causados, estando sujeitos ao princípio do Poluidor-Pagador.



**Figura 13.** Mapa do risco de erosão em relação ao tolerável na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba.  
 Fonte: autor.

Em visitas em campo na APA do rio Uberaba, foram identificadas áreas com diferentes intensidades de erosão principalmente em áreas de pastagem que na APA são as áreas de maior ocupação. conforme ilustra a Figura 14.



**Figura 14.** Processos erosivos na APA do rio Uberaba.

Fonte: Autor

Nas rupturas do relevo (Figura 14-A), conforme estabelecido na Lei nº 20.922 (Política Florestal e de preservação da biodiversidade do estado de Minas Gerais), determina que em nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, até a linha de ruptura do

relevo, em faixa não inferior a 100m (cem metros) em projeções horizontais, são consideradas Áreas de Preservação Permanente. Assim, nestas áreas, é imprescindível que esta faixa seja preservada de modo a garantir a estabilidade da ruptura e de proteger contra os efeitos da erosão, sendo a vegetação nativa a cobertura ideal para a garantia desta proteção. A Figura 14-A ilustra a ausência desta faixa horizontal o que pode estar contribuindo nos processos erosivos observados.

O uso do solo diferente da sua capacidade de suporte é denominado de conflito de uso (Valle Junior 2008) e pesquisas como a de Abdala (2012); Valera et al. (2016); Pacheco et al.(2018); Oliveira et al. (2019); Rodrigues et al (2019); mostram significativas alterações da qualidade dos recursos hídricos, do solo, na qualidade das pastagens e ainda na contribuição do processo erosivo em áreas com o conflito de uso.

De acordo com Pacheco (2018), os níveis mais severos de erosão podem ocasionar a degradação da terra com consequências ambientais e econômicas negativas em funções da perda de serviços ecossistêmicos e na redução da produtividade e fertilidade do solo. Assim, a definição de áreas para conservação dos serviços ecossistêmicos é fundamental para minimizar os processos erosivos e as perdas de solo e nutrientes e reduzir o assoreamento dos canais de drenagem além de propiciar corredores ecológicos para a biodiversidade.

Na APA do rio Uberaba, ocorrem também usos do solo com medidas de conservação do solo implantadas. A Figura 15 ilustra diferentes técnicas de conservação do solo como plantio em nível, terraceamento agrícola, uso consorciado, plantio direto.



**Figura 15.** Técnicas de conservação do solo implantadas na APA do rio Uberaba.

Fonte: Autor

#### 4.7 Mapeamento das áreas para conservação do solo e da água

Os resultados dos usos do solo nas Áreas de Preservação Permanente e os resultados das estimativas de Perdas de Solo acima dos limites de tolerância foram utilizados como indicativos de áreas de prioridades para a conservação.

A Tabela 17 apresenta as áreas prioritárias para conservação no que se refere aos usos do solo diferente da vegetação nativa nas Áreas de Preservação Permanente. Os usos do solo com muito alta prioridade e extremamente alta correspondem a 48,74% e 47,38% da faixa das APP, sendo estas ocupadas por agricultura e pastagem. Usos nas APP classificados com baixa, média e alta prioridade correspondem a 1,53%, 1,68% e 0,67% respectivamente. A Figura 16 espacializa as áreas e as classes de prioridades de conservação.

Segundo Silva (2018), a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Uberaba está comprometida pelas atividades antrópicas, que contribuem para o aceleração dos processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água, principalmente em áreas com maiores declividades. A autora identificou nos recursos hídricos da APA do rio Uberaba, considerando dados das coletas de 2001 a 2017, média de concentrações de Fósforo Total em 0,1144mg/l no período chuvoso. Em áreas com intensa atividade agrícola na bacia do rio Uberaba, os valores médios de Fósforo Total no período seco em 0,1272 mg/l e no período

chuvoso com valor de 0,1636 mg/l (valores médios superiores aos limites estabelecidos pelo CONAMA). Tais alterações decorrem de usos agropecuários e em áreas de uso do solo em desacordo com sua aptidão.

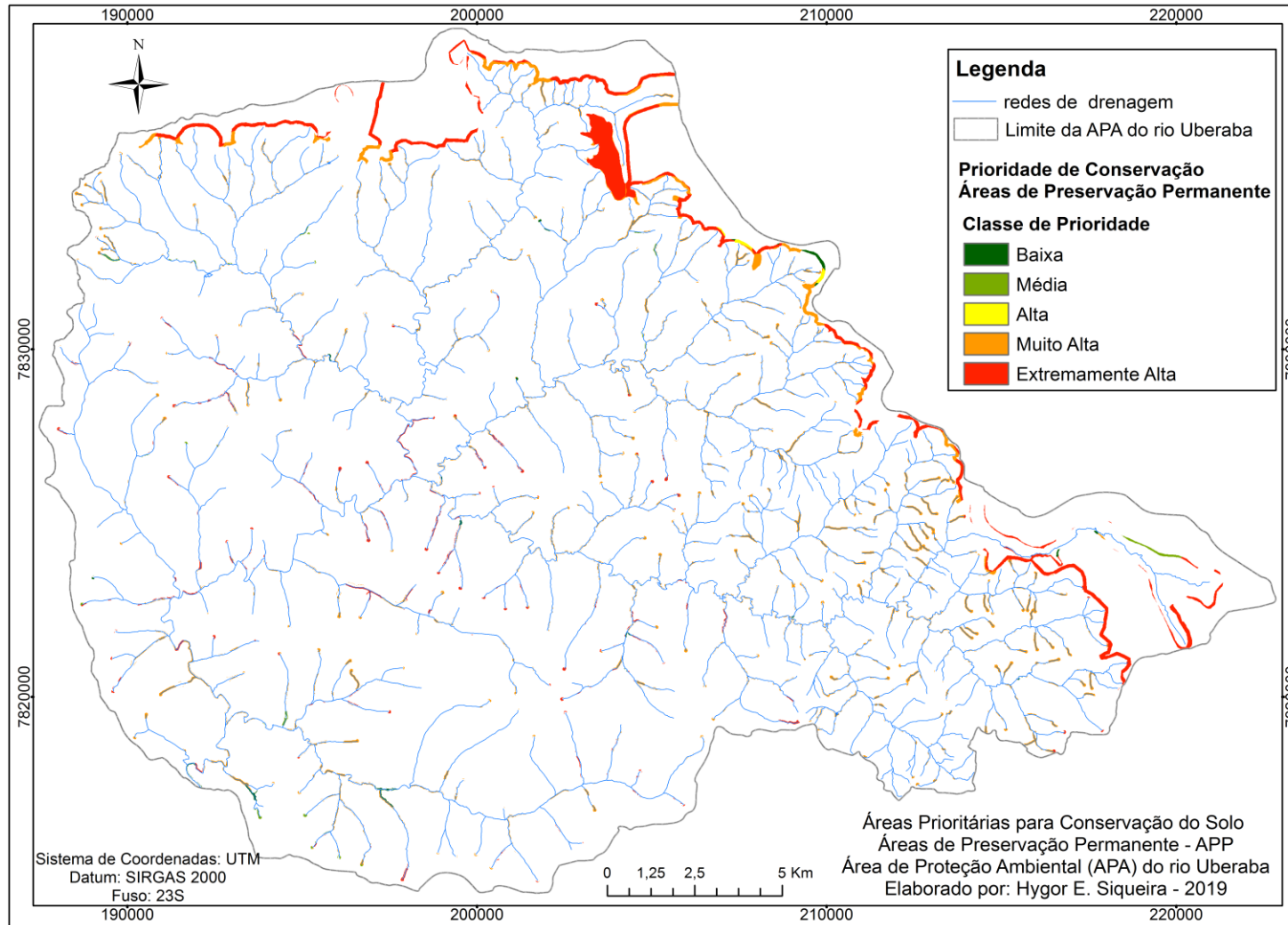
**Tabela 17.** Áreas prioritárias para a conservação das Áreas de Preservação Permanente na APA do rio Uberaba.

Classe de Prioridade	Área (ha)	Área (%)
1 – Baixa	21,47	1,53
2 – Média	23,47	1,68
3 – Alta	9,37	0,67
4 – Muito Alta	681,71	48,74
5 – Extremamente Alta	662,72	47,38
<b>Total</b>	<b>1398,74</b>	<b>100,00</b>

Segundo Silva (2018), a qualidade dos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Uberaba está comprometida pelas atividades antrópicas, que contribuem para o aceleração dos processos erosivos e assoreamento dos cursos d'água, principalmente em áreas com maiores declividades. A autora identificou nos recursos hídricos da APA do rio Uberaba, considerando dados das coletas de 2001 a 2017, média de concentrações de Fósforo Total em 0,1144mg/l no período chuvoso. Em áreas com intensa atividade agrícola na bacia do rio Uberaba, os valores médios de Fósforo Total no período seco em 0,1272 mg/l e no período chuvoso com valor de 0,1636 mg/l (valores médios superiores aos limites estabelecidos pelo CONAMA). Tais alterações decorrem de usos agropecuários e em áreas de uso do solo em desacordo com sua aptidão.

Estas concentrações de Fósforo Total nos cursos d'água acima dos limites estabelecidos por lei torna-se um indicativo da necessidade de obter técnicas eficazes de conservação do solo e uma correta proteção das Áreas de Preservação Permanente, que como vimos neste estudo, 48% das APP estão sendo invadidas pela agricultura e ainda pelos processos erosivos, o que pode estar influenciando diretamente nas concentrações de Fósforo Total acima dos limites estabelecidos por lei nos cursos d'água. O excesso de fósforo pode causar a eutrofização de rios e reservatórios, comprometendo a oxigenação e vida aquática.

Considerando o uso do solo pelas pastagens em APP, segundo Valle Junior et al (2019) 60% das pastagens da APA estão degradadas e este processo contribui negativamente nos processos erosivos e na redução da qualidade do solo. Com isso, torna-se necessário a prioridade para recuperação, de modo a reduzir as alterações ambientais.



**Figura 16.** Áreas Prioritárias para Conservação das Áreas de Preservação Permanente na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba  
Fonte: Autor

A Tabela 18 apresenta as classes de prioridades e o quantitativo de áreas para a conservação do solo e da água e a Figura 17 as áreas espacializadas.

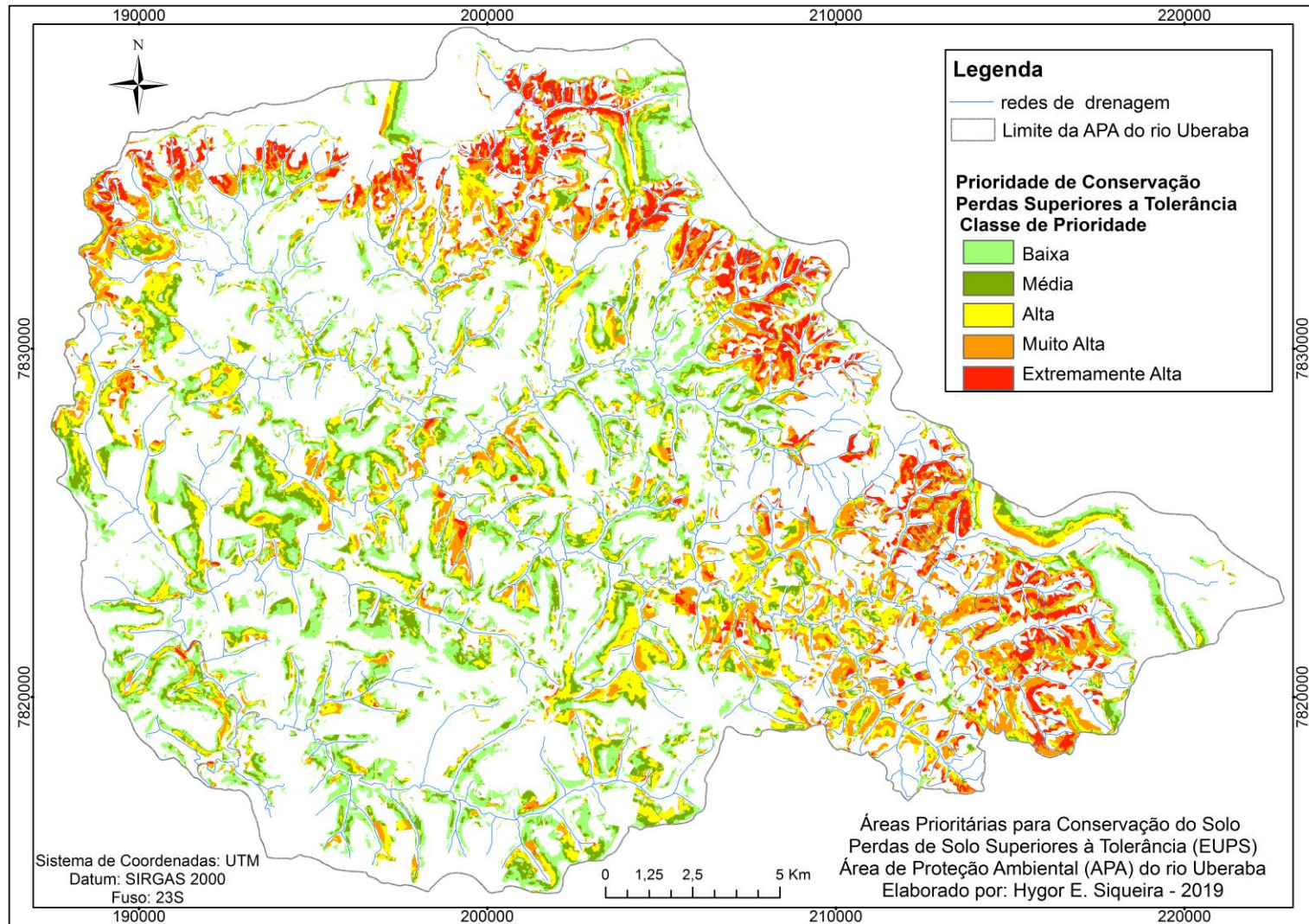
**Tabela 18.** Áreas prioritárias para a conservação do solo e da água com perdas de solo superiores a tolerância na APA do rio Uberaba.

Classe	Área (ha)	Área (%)
1 – Baixa	4845,58	26,74
2 – Média	3399,65	18,77
3 – Alta	4324,39	23,87
4 – Muito Alta	3653,35	20,17
5 – Extremamente Alta	1893,97	10,45
<b>Total</b>	<b>18116,94</b>	<b>100,00</b>

As áreas classificadas como extremamente alta quando a prioridade de conservação ocupa 10,45% da APA, que corresponde as áreas com estimativa de perdas de solo superiores ao limite tolerância em  $50 \text{ t ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ . As áreas classificadas como muito alta e alta prioridade ocupam respectivamente 20,17% e 23,87% da APA.

As áreas prioritárias definidas a partir das perdas de solo neste estudo também foram recomendados por Rodrigues et al. (2019) os quais nos dois casos, identificaram a necessidade de conservação ao longo do limite Nordeste da APA, resultados dos valores altos e muito altos de escoamento superficial e estimativas de perdas de solo usando modelagem.

Os processos erosivos são intensificados quando não se tem implementadas práticas conservacionistas. Torna-se assim a necessidade de políticas públicas de conservação do solo e ainda das Áreas de Preservação Permanente como apresentado neste estudo. Assim, a definição de locais que sejam considerados prioritários é de fundamental importância de modo a direcionar os recursos financeiros e os projetos de recuperação para áreas com maiores prioridades de conservação.



**Figura 17.** Áreas Prioritárias para Conservação nas Estimativas de Perda de Solo acima da tolerância na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba  
Fonte: Autor

#### **4.8 Recomendações para minimizar as perdas de solo pela erosão**

Considerando as perdas de solo por erosão hídrica estimada neste trabalho, os resultados do Potencial Natural de Erosão, da interpretação dos parâmetros morfométricos e a identificação de áreas prioritárias para conservação, é possível recomendar ações estratégicas, tanto agronômicas como de políticas públicas e de gestão ambiental, para a redução dos processos erosivos e da degradação do solo e da água nas áreas rurais da APA.

O florestamento é altamente recomendado nas margens dos cursos d'água, nos entornos de nascentes, em áreas com solos de baixa fertilidade e com declividade muito acentuada, devido à alta susceptibilidade à erosão. Nas bordas da chapada e nas rupturas do relevo, os mapeamentos, deste estudo, mostraram áreas com necessidade de adequação quanto ao uso, em faixa a partir da ruptura de no mínimo 100 metros. Quanto as prioridades, nos usos do solo pela agricultura (extremamente alta) e pela pastagem (muito alta) o manejo destas áreas e a restauração é de fundamental importância.

A recuperação de pastagens degradadas é importante para garantir proteção ao solo. O superpastejo, a ausência de rotatividade dos pastos, o uso em áreas com altas declividades são grandes facilitadores da degradação da pastagem e do solo, contribuindo negativamente com os processos erosivos.

Para evitar a degradação da terra, recomendação da FAO (2015) sugeriu algumas técnicas e medidas protetivas para o solo, no uso agrícola e com pastagens. O cultivo mínimo do solo e a redução dos processos de gradeamento e subsolagem, que ocasiona a desestruturação e desagregação das partículas do solo tornando-o mais susceptível aos processos erosivos, é uma das técnicas mais recomendadas.

A construção de terraços como forma de redução do escoamento e facilitador de infiltração é indispensável para a conservação de estradas rurais, de áreas agrícolas e de pastagem.

A manutenção de uma camada de cobertura orgânica de modo a proteger o solo dos impactos da gota da chuva, o plantio em nível, o plantio direto na palha, os usos consorciados e ou integrados, a redução no uso de agrotóxicos, o uso adequado e criterioso de fertilizantes e da irrigação e a redução e o controle de uso

de mecanização, tanto relacionados ao cultivo como no escoamento da safra nas estradas rurais, são técnicas fundamentais para reduzir os processos erosivos.

As recomendações acima descritas se aplicadas corretamente, podem garantir modos sustentáveis de produção, que se idealiza com as características e objetivos deste tipo de unidade de conservação.

Um manejo específico das áreas degradadas e de políticas de uso do solo é importantes ferramentas aliadas na preservação ambiental.

O pagamento por serviços ambientais (PSA) é recomendado por proporcionar benefícios relevantes para a sociedade gerados pelos ecossistemas, em termos de manutenção, recuperação ou melhoria das condições ambientais. Uma compensação monetária e redução de encargos fiscais podem ser aplicadas para a redução e compensação das alterações no ambiente e ainda para que as áreas de vegetação natural sejam mantidas e/ou recuperadas. As áreas identificadas neste trabalho com altas prioridades de conservação, sua implantação e monitoramento, podem ser indicados como área, a princípio, como forma de PSA.

Exemplos pioneiros de PSA como nos municípios de Extrema e Montes Claros em Minas Gerais são importantes testemunhas de sucesso sendo o recurso hídrico o objetivo principal de conservação, objetivo este similar o da criação da APA do rio Uberaba.

NA APA onde se objetiva a preservação dos recursos naturais, podem ser implantadas estas ferramentas, após a definição de critérios técnicos e específicos.

As Informações de perdas de solo acima dos limites de tolerância, mesmo que estimadas, o Potencial Natural de Erosão e as características do Modelado do Relevo, entre outros, servem como critérios para definição das áreas prioritárias para conservação e para definição de áreas para o PSA.

A implantação de um monitoramento de balanço hídrico (entradas, armazenamento e saídas de água) na bacia, informações importantes para o manejo e gestão da APA, sendo de grande valia para estimar o monitoramento e efetividade do sistema de pagamento por serviços ambientais para os produtores de água.

## 5 CONCLUSÃO

A pastagem é o uso com maior percentual de ocupação (38,83%) na APA do rio Uberaba e ocupam 11,71% das Áreas de Preservação Permanente, sendo necessários nestas áreas de APP ocupadas por outros usos que não sejam a nativa, a recomposição florestal. Desta forma, a identificação de usos do solo nas APP é de suma importância para direcionar políticas públicas de restauração bem como as áreas com prioridades de manejo e recuperação.

As estimativas de perda de solo possibilitaram identificar áreas para a conservação do solo e da água e ainda de estabelecer às prioridades levando em consideração às perdas superiores as tolerâncias, sendo o fator topográfico, um grande influenciador das perdas de solo pela erosão.

Nas unidades mapeadas do modelado do relevo, as perdas superiores a tolerância apresentam-se na Rampa de Colúvio – Arc (40,08%), no Dissecado de Topo Convexo (38,8%), no Dissecado de Topo Tabular – Dt (31,95%), no Dissecado Estrutural – DE (31,21%) e no Pediplano Inumado – Pgi em 25,73%, o que indica a necessidade nestas áreas de se propor técnicas de conservação do solo e da água.

O Potencial Natural de Erosão - PNE permitiu identificar as áreas com maiores potenciais e com isso a necessidade de conservação, o que torna estas informações aptas a serem utilizadas na definição de áreas para a conservação e dos recursos ambientais da APA do rio Uberaba.

As recomendações deste trabalho tornam-se uma importante ferramenta para a implantação de políticas públicas de conservação do solo e da água na Área de Proteção Ambiental do rio Uberaba de modo a contribuir com a gestão ambiental do solo e da água e a conservação dos recursos naturais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdala VL (2005) **Zoneamento ambiental da bacia do alto curso do rio Uberaba – MG como subsidio para gestão do recurso hídrico superficial**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – UFU, Uberlândia.

Abdala VL (2012) **Diagnóstico hídrico do Rio Uberaba-MG como subsídio para a gestão das áreas de conflito ambiental**. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Unesp, Jaboticabal.

Ab'Saber NA (1967) **Domínios morfoclimáticos e províncias fitogeográficas do Brasil**. São Paulo: IGEOG-USP, p. 45-48 (Orientação, 3).

Aiello A, Adamo M, Canora F (2015) Remote sensing and GIS to assess soil erosion with RUSLE3D and USPED at river basin scale in southern Italy. **Catena** 131: 174–185.

Almeida ACL, (2019) Multi actor multi criteria analysis (MAMCA) as a tool to build indicators and localize sustainable development goal 11 in Brazilian municipalities. **Heliyon** 5:e02128.

Baccaro CAD, Ferreira IL, Rocha MR, Rodrigues SC (2001) Mapa geomorfológico do Triângulo Mineiro: uma abordagem morfoestrutural-escultural. **Sociedade & Natureza** 13:115-127.

Barbosa O, Braun OPG, Dyer RC, Cunha CABR (1970) **Geologia da região do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: DNPM, 140p.

Batezelli A, Saad AR, Fulfaro VJ, Corsi AC, Landim PMB, Perinotto JAJ (2005) Análise de bacia aplicada às unidades mesozóicas do Triângulo Mineiro (sudeste do Brasil): uma estratégia na prospecção de recursos hídricos subterrâneos. **Revista Águas Subterrâneas** 19:61-73.

Basso BT (2018) **Estimativa de erosão utilizando a equação universal de perdas de solos (USLE)**: o caso do alto curso do rio Chopim. 76 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - UNOESTE, Francisco Beltrão.

Bertoni J, Lombardi Neto F (1990) **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 355p.

Brasil (2000) Lei Federal Nº 9.985, de 18 de julho de 2000. Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências.

Campos CAA (2017) **Os compartimentos da paisagem e a elaboração de uma matriz para o planejamento ambiental em uma bacia hidrográfica com uso intensivo da agricultura**: Bacia do ribeirão Santa Gertrudes, Veríssimo-MG. 130 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Candido HG (2008) **Degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba - MG**. 100 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Unesp, Jaboticabal.

Cruz LBS, Paterniani JES, Carvalho RMB (2003) Caracterização e manejo sustentável do solo na Bacia do Rio Uberaba. **Caminhos de Geografia** 4:31-49.

Demirci A, Karaburun A (2012) Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. **Environmental Earth Sciences** 66:903-913.

Desmet PJJ, Govers GA (1996) GIS procedure for automatically calculating the USLE LS factor on topographically complex landscape units. **Journal of Soil and Water Conservation** 51:427-433.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (1979) **Súmula da 10ª reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro, 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2015). **State of world soil resources report**. Rome, 650 p. Disponível em: <http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41dbb7d32081a10ede50/>. Acesso em: 20 out. 2018.

Fayas CM, Abeysingha NS, Nirmanee KGS, Samaratinga D, Mallawatantri A (2019) Soil loss estimation using rusle model to prioritize erosion control in KELANI river basin in Sri Lanka. **International Soil and Water Conservation Research** 7:130-137.

Flanagan DC, Gilley JE, Franti TG (2007) Water erosion prediction project (WEPP): development history, model capabilities, and future enhancements. **Transactions of the ASABE**, 50:1603-1612.

Ferreira AS, Fransisco CN (2009) Uso de técnicas de geoprocessamento e do modelo matemático USLE para avaliação de processos erosivos na bacia hidrográfica do Rio Caceribu - RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, **Anais...** Natal: [s.n.], p. 3777-3784.

Gelagay HS, Minale AS (2016) Soil loss estimation using GIS and remote sensing techniques: a case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. **International Soil and Water Conservation Research** 4:126-136.

Ganasri BP, Ramesh H (2016) Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS - a case study of Nethravathi Basin. **Geoscience Frontiers** 7:953-961.

Gurgel RS, Carvalho Junior AO, Gomes RAT, Guimarães RF, Câmara JFA, Sobrinho DA, Martins ES, Braga ARS (2011) Identificação das áreas vulneráveis à erosão a partir do emprego da USLE – Equação Universal de Perdas de Solos no município de Riachão das Neves – BA. **Geografia Ensino & Pesquisa** 15:93-111.

Haaren RV, Fthenakis V (2011) GIS-based wind farm site selection using spatial multi-criteria analysis (SMCA): evaluating the case for New York State. **Renewable and Sustainable Energy Reviews** 15:3332-3340.

Hembram TK, Saha S, (2018) Prioritization of sub-watersheds for soil erosion based on morphometric attributes using fuzzy AHP and compound factor in Jainti River basin, Jharkhand, Eastern India. **Environment, Development and Sustainability**, 1-28. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-018-0247-3>

Hu M (2019) Building impact assessment - a combined life cycle assessment and multi-criteria decision analysis framework. **Resources, Conservation and Recycling** 150:104410.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2006) **Mapa de Unidades de Relevo do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2009) **Manual Técnico de Geomorfologia**. 2. ed. Rio de Janeiro. (Manuais Técnicos em Geociências, 5).

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2013) **Manual Técnico de Uso da Terra**. 3. ed. Rio de Janeiro. (Manuais Técnicos em Geociências, 7).

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS (2018) **Gestão de bacias hidrográficas: critérios para definição de áreas prioritárias para revitalização**. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas, 152p.

Jabbar FK, Grote K, Tucker RE (2019) A novel approach for assessing watershed susceptibility using weighted overlay and analytical hierarchy process (AHP) methodology: a case study in Eagle Creek Watershed, USA. **Environmental Science and Pollution Research** 26:1–17.

Lal R (1976) Soil erosion on alfisols in Western Nigeria. III: Effects of rainfall characteristics. **Geoderma** 16:389-401

Lal R, Lawson TL, Anastase AH (1980) Erosivity of tropical rains. In: BOODT, M. de & GRABRIRLS, D. ED. **Assessment of erosion** p.143-151.

Lal R (1988) Erodibility and erosivity. In: LAL, R. **Soil erosion research methods**. Ankeny: SWCS 141-160.

Lal R (1994) **Soil erosion: research methods**. 2ed. Ohio: Ohio State of University Columbus 340p.

Leuzinger MD, (2009) **Natureza e cultura: Direito ao meio ambiente equilibrado e direitos culturais diante da criação das unidades de conservação de proteção integral e domínio público habitadas por populações tradicionais**. 358 f. Tese (Doutorado) – Curso de Desenvolvimento Sustentável, UnB, Brasília.

Li C, Negnevitsky M, Wang X, Yue WL, Zou X (2019) Multi-criteria analysis of policies for implementing clean energy vehicles in China. **Energy Policy** 129: 826-840.

Martins Filho MV (2007) **Modelagem do processo de erosão e padrão espacial da erodibilidade em entressulcos**. 121 f. Tese (Livre Docência) - Unesp, Jaboticabal.

Matos TVS (2015) **Determinação de Áreas de Vulnerabilidade à Erosão Hídrica com Base na Equação Universal de Perda de Solo (USLE)**. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, UFMG, Belo Horizonte.

Mccool DK, Brown LC, Foster GR, Mutchler CK, Meyer LD (1987) Revised slope steepness factor for the Universal Soil Loss Equation, **Transactions of the ASAE** 30: 1387–1396.

Mendonça HFP, Paterlini EM, Oliveira FS, Barbosa RP, Santos AR (2014) Estimativa de perda de solo por erosão laminar para o município de Iconha, estado do Espírito Santo. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer 10:1027-1038.

Mitasova H, Hofierka J, Zlocha M, Iverson LR (1996) Modelling topographic potential for erosion and deposition using GIS, **International Journal of Geographical Information Systems**, 10:5 629-641.

Mitas L, Mitasova H (1998) Distributed erosion modeling for effective erosion prevention: **Water Resources Research**, 34: 505–516.

Mitas L.,Mitasova H (1999), **Spatial Interpolation**. in: P.Longley, M.F. Goodchild, D.J. Maguire, D.W.Rhind, John Wiley, Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications, 481-492.

Mitasova H., Mitas L. (2001) **Multiscale Soil Erosion Simulations For Land Use Management**. In: Harmon R.S., Doe W.W. (eds) Landscape Erosion and Evolution Modeling. Springer, Boston, MA

Montibeller G, Patel P, Vilas VJR (2019) A critical analysis of multi-criteria models for the prioritisation of health threats. **European Journal of Operational Research**, 281:87-99.

Moreira MC, Pruski FF, Oliveira TEC, Carvalho Pinto FA, Silva DD (2008) NetErosividade MG: Erosividade da Chuva em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 32:1349-1353.

Morgan RPC (1998) The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. **Earth Surface Processes Landforms** 23:527–544.

Nearing M, Foster G, Lane L, Finkner S (1989) A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. **Transactions of the ASAE** 32:1587–1593.

Novais GT, Brito JLS, Sanches FO (2018) Unidades climáticas do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Revista Brasileira de Climatologia** 23:223-243.

Oliveira CF, Valle Junior RF, Valera CA, Rodrigues VS, Sanches Fernandes LF, Pacheco FAL (2019) The modeling of pasture conservation and of its impact on stream water quality using Partial Least Squares-Path Modeling. **Science of The Total Environment** 697:134081.

Pacheco FAL, Sanches Fernandes LF, Valle Junior RF, Valera CA, Pissarra TCT (2018) Land degradation: Multiple environmental consequences and routes to neutrality. **Current Opinion in Environmental Science & Health** 5:79-86.

Pedreira BCCG, Fidalgo ECC, Uzeda MC, Costa MDA (2011) **Áreas prioritárias para recuperação na região da bacia hidrográfica do Rio Guapi-Macacu, RJ**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 50 p. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Documentos, 191).

Pedroso Neto JC (2013) **Solos da bacia hidrográfica do rio Uberaba**. 1.ed. Uberaba: EPAMIG Triângulo e Alto Paranaíba, 256p.

Pham TG, Degener J, Kappas M (2018) Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research** 6:99-110.

Phinzi K, Ngetar, NS (2019) The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. **International Soil and Water Conservation Research** 7:27-46.

Pires EVR, Silva RA, Izippato FJ (2012) Geoprocessamento aplicado a análise do uso e ocupação da terra para fins de planejamento ambiental na bacia hidrográfica do Córrego Prata – Três Lagoas (MS). **Revista Geonorte** 2:1528 – 1538.

Pissarra TCT, Politano W, Ferraudo AS (2004). Avaliação de características morfométricas na relação solo-superfície da bacia hidrográfica do córrego Rico, Jaboticabal (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 28:297-305.

Pissarra TCT, Valera CA, Costa, RCA, Siqueira HE, Martins Filho, MV, Valle Junior RF, Fernandes LFS, Pacheco FAL (2019) A Regression Model of Stream Water Quality Based on Interactions between Landscape Composition and Riparian Buffer Width in Small Catchments. **Water** 11:1757.

Pratiksha J, Ramsankaran RAAJ (2019) GIS-based integrated multi-criteria modelling framework for watershed prioritisation in India - A demonstration in Marol watershed. **Journal of Hydrology** 578:124131.

Prawiranegara M (2014) Spatial Multi-criteria Analysis (SMCA) for Basin-wide Flood Risk Assessment as a Tool in Improving Spatial Planning and Urban Resilience Policy Making: A Case Study of Marikina River Basin, Metro Manila – Philippines. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** 135:18-24.

Pruski FF (2013) Prejuízos decorrentes da erosão hídrica e tolerância de perdas de solo. In: PRUSKI, F. F. (Ed.). **Conservação de Solo e Água: práticas mecânicas para o controle de erosão hídrica**. 2. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2013. p.13-23.

Radinja M, Comas J, Corominas L, Atanasova N (2019) Assessing stormwater control measures using modelling and a multi-criteria approach. **Journal of Environmental Management** 243:257-268.

Ribeiro LS, Alves MG (2007) Quantificação de perda de solo por erosão no município de Campos de Goytacazes/ RJ através de técnicas de Geoprocessamento. In: XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Florianópolis, p.3039-3046.

Rodrigues VA (2017) **Estudos sobre microbacias: “as fábricas de águas”** – Jubileu de Prata, FEPAF, 270 p.

Rodrigues VS, Valle Júnior RF, Sanches Fernandes LF, Pacheco FAL (2019) The assessment of water erosion using Partial Least Squares-Path Modeling: A study in a legally protected area with environmental land use conflicts. **Science of The Total Environment** 691:1225-1241.

Roloff G, Denardin JE (1994) Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA **Resumos...** Florianópolis: SBCS p.150-151.

Saaty TL (1980) **The analytic hierarchy process**. McGraw-Hill, New York.

Saaty TL (2008) Decision making with the analytic hierarchy process. **International Journal of Services Sciences**, 1:83-98.

Sanches FO, Silva RV, Ferreira RV, Campos CAA (2017) Climate change in the Triângulo Mineiro region – Brazil. **Revista Brasileira de Climatologia** 21: 570-587.

Santos CAG, Suzuki K, Watanabe M, Srinivasan VS (2000) Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido paraibano. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 4:92–96.

Santos CA, Sobreira FG (2008) Análise morfométrica como subsídio ao zoneamento territorial: o caso das bacias do Córrego Carioca, Córrego do Baçõ e Ribeirão Carioca na região do Alto Rio das Velhas-MG. **REM: Revista Escola de Minas** 61:77-85.

Schmidt MV, Olsen SB, Dubgaard A, Kristensen IT, Jorgensen LB, Normander B, Ege C, Dalgaard T (2019) Using spatial multi-criteria decision analysis to develop new and sustainable directions for the future use of agricultural land in Denmark. **Ecological Indicators** 103:34-42.

Shariat R, Roozbahani A, Ebrahimian A (2019) Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making. **Science of The Total Environment** 647:1468-1477.

Sparovek G, Jong Van Lier Q (1997) Definition of tolerable soil erosion values. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 21:467-471.

Silva MMAPM (2018) **Efeitos naturais e antrópicos na qualidade das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Uberaba-MG utilizando técnicas de geoprocessamento**. 72 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal.

Silva AM, Mello CR (2003) **Hidrologia**. UFLA, 43p.

Siqueira HE, Tibery LR, Guidolini JF, Valle Junior RF, Rodrigues VA (2012) Análise morfométrica e definição do potencial de uso do solo da microbacia do rio Veríssimo, Veríssimo - MG. **Enciclopédia Biosfera**, 8: 2237.

Siqueira HE, Pissarra TCT, Valle Junior RF, Fernandes LFS, Pacheco FAL (2017) A multi criteria analog model for assessing the vulnerability of rural catchments to road spills of hazardous substances. **Environment Impact Assessment Review** 64:26–36.

Seer HJ, Moraes LC (2017) **Programa Mapeamento Geológico do Estado de Minas Gerais: Projeto Triângulo Mineiro - Folha Uberaba SE 23-Y-C-IV - SF.23-V-A-I – Igarapava**. Escala 1:100.000, 44 p.

Stein DP, Donzeli PL, Guimenez AF, Ponçano WL, Lombardi Neto F (1987) Potencial de erosão laminar, natural e antrópico, na bacia do Peixe – Parapanema. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. **Anais...Marília: ABGE/DAEE**, p.105 – 135.

Tomazoni JC, Guimarães E (2007) Determinação da capacidade de uso do solo de bacia hidrográfica através da sistematização da USLE no SPRING. **Geociências** 26:323-332.

Tomazoni JC, Guimarães E (2005) A sistematização dos fatores da USLE em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do Rio Jirau. **Revista Brasileira de Cartografia** 3: 235-244.

Tonello KC, Dias HCT, Souza AL, Ribeiro CAAS, Leite FP (2006) Morfometria da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães-MG. **Revista Árvore** 30:849-857.

Tucci, CEM (1997) **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: ABRH/ Editora da UFRGS.

Valente ROA (2005) **Definição das áreas prioritárias para conservação e preservação florestal por meio da abordagem multicriterial em ambiente SIG**. 121 f. Tese (Doutorado) – Recursos Florestais, Usp, Piracicaba.

Valera CA (2017) **Avaliação do novo código florestal: as áreas de preservação permanente – APPs, e a conservação da qualidade da água superficial**. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (Ciência do Solo), Unesp, Jaboticabal.

Valladares GS, Gomes AS, Torresan FE, Rodrigues CAG, Grego CR (2012). Modelo multicritério aditivo na geração de mapas de suscetibilidade à erosão em área rural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 47:1376-1383.

Valle Junior RF (2008) **Diagnóstico de áreas de risco de erosão e conflito de uso dos solos na bacia do rio Uberaba**. 222 f. Tese (Doutorado) - Curso de Agronomia (produção Vegetal), Unesp, Jaboticabal.

Valle Junior RF, Galbiatti JA, Martins Filho MV, Pissarra TCT (2010) Potencial de erosão da Bacia do Rio Uberaba. **Engenharia Agrícola** 30:897-908.

Valle Junior RF, Varandas SGP, Sanches Fernandes LF, Pacheco FAL (2015) Multi Criteria Analysis for the monitoring of aquifer vulnerability: A scientific tool in environmental policy. **Environmental Science & Policy** 48:250-264.

Valle Junior RF, Siqueira HE, Valera CA, Oliveira CF, Fernandes LFS, Moura JP, Pacheco FAL (2019) Diagnosis of degraded pastures using an improved NDVI-based remote sensing approach: an application to the environmental protection area of Uberaba River Basin (Minas Gerais, Brazil). **Remote Sensing Applications: Society and Environment** 14:20-33.

Valera CA, Valle Junior RF, Varandas SGP, Sanches Fernandes LF, Pacheco FAL (2016) The role of environmental land use conflicts in soil fertility: a study on the Uberaba River basin Brazil. **Land Use Policy** 66:61-71.

Valera CA, Pissarra TCT, Martins Filho MV, Valle Junior RF, Fernandes LFS, Pacheco FAL (2017) A legal framework with scientific basis for applying the polluter pays principle to soil conservation in rural watersheds in Brazil. **Land use Policy** 66:61-71.

Vilella SM, Mattos A (1975) **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill,. 245 p.

Vollmer D, Pribadi DO, Remondi F, Rustiadi E, Grêt-Regamey A (2016) Prioritizing ecosystem services in rapidly urbanizing river basins: A spatial multi-criteria analytic approach. **Sustainable Cities and Society** 20:237-252.

Xu L, Xu X, Meng X (2013) Risk assessment of soil erosion in different rainfall scenarios by RUSLE model coupled with Information Diffusion Model: a case study of Bohai Rim, China. **Catena** 100:74–82.

Witt T, Dumeier M, Geldermann J (2020) Combining scenario planning, energy system analysis, and multi-criteria analysis to develop and evaluate energy scenarios., **Journal of Cleaner Production** 242:118414.

Wischmeier WH, Smith DD (1958) Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union** 39:285-291.

Wischmeier WH, Smith DD (1978) **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. 58 p. (Agriculture Handbook, 537). Washington, DC: USDA.

Zimback CRL, Demarchi JC (2014) Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na sub-bacia do Ribeirão das Perobas. **Revista Energia na Agricultura** 29:102-114.