

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

**ÍNDICE DE VULNERABILIDADE NATURAL PARA A
CONSERVAÇÃO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO
RIO UBERABA – MG**

Magda Stella de Melo Martins

Tecnóloga em Gestão Ambiental

2020

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

**ÍNDICE DE VULNERABILIDADE NATURAL PARA A
CONSERVAÇÃO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL
DO RIO UBERABA – MG**

Magda Stella de Melo Martins

Orientadora: Profa. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissarra

Coorientador: Prof. Dr. Luís Filipe Sanches Fernandes

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp campus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutora em Agronomia (Ciência do Solo).

2020

M386i Martins, Magda Stella de Melo
Índice de vulnerabilidade natural para a conservação da Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba – MG / Magda Stella de Melo Martins. -- Jaboticabal, 2020
81 p. : tabs., mapas + 1 CD-ROM

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Teresa Cristina Tarlé Pissarra
Coorientador: Luís Filipe Sanches Fernandes

1. Hidrologia. 2. Morfometria. 3. Degradação ambiental. 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.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: ÍNDICE DE VULNERABILIDADE NATURAL PARA A CONSERVAÇÃO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO UBERABA - MG

AUTORA: MAGDA STELLA DE MELO MARTINS

ORIENTADORA: TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA

COORDENADOR: LUÍS FILIPE SANCHES FERNANDES

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


Prof. Dra. TERESA CRISTINA TARLE PISSARRA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


~~Dr. CARLOS ALBERTO VALERA~~
Promotorias de Justiça do Meio Ambiente-Ministério Público do Estado de Minas Gerais / Uberaba/MG


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


Prof. Dr. AMILTON DINIZ E SOUZA
Instituto Federal do Triângulo Mineiro-IFTM / Uberaba/MG


Pesquisador Dr. MARCELO ZANATA
Divisão de Florestas e Estações Experimentais / Instituto Florestal - Batatais/SP

Jaboticabal, 27 de janeiro de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Magda Stella de Melo Martins – nascida em Uberaba (MG) no dia 07 de setembro de 1966. Atuou como professora do ensino fundamental no período de 1990 a 2009. Graduou-se como Gestora Ambiental em maio de 2006 pelo então Centro Federal de Educação, Ciência e Tecnologia - CEFET campus Uberaba. Em 2007, iniciou o curso de especialização em Educação, na linha de pesquisa em “A Leitura e Escrita como Prática Social” pela Faculdade SENAC Minas Gerais na cidade de Belo Horizonte - MG. Foi gestora ambiental do Aterro Municipal de Uberaba, no período de dezembro de 2008 a janeiro de 2012. Entre os anos de 2010 a 2012, atuou como professora EBTT contratada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM), campus Uberaba. Foi nomeada no mesmo cargo em 2013 pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Acre (IFAC), sendo redistribuída no mesmo ano para o IFTM, campus Uberaba, onde permanece até o presente momento. Obteve o título de mestre no ano de 2017 pelo programa de Mestrado Profissional de Ciência e Tecnologia de Alimentos, na linha de pesquisa em Meio Ambiente, do IFTM, campus Uberaba. Nesse mesmo ano, ingressou, no Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Programa Ciência do Solo da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), UNESP – Universidade Estadual Paulista, Câmpus de Jaboticabal, Departamento de Engenharia e Ciências Exatas.

Você nunca sabe que resultados virão da sua ação. Mas se você não fizer nada, não existirão resultados.

Mahatma Gandhi

*Aos meus pais Joaquim e Maria Aparecida
exemplos de retidão, força e determinação.*

*Aos meus filhos e netos Paulo José, Magno, Paula, Arthur, Luís Felipe e Nicolas.
Sigam o modelo dos meus pais e pratiquem pelo exemplo.*

*Ao meu esposo José Paulo,
pelo apoio nas empreitadas.*

*Aos meus irmãos Nair Augusta, Maria Antônia e Rodrigo,
por serem meu porto seguro.*

*Ao Prof. Dr. Valdemir Antônio Rodrigues,
in memoriam*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, à Deus que rege minha vida e só me traz bênçãos. Mas enfim, chego ao término de mais um ciclo que não seria possível se não houvessem muitos anjos guardiães me auxiliando. Minha gratidão a todos.

Em especial gostaria de agradecer:

Aos meus pais, Joaquim e Maria Aparecida, que me proporcionaram o alicerce para que eu aprendesse a galgar os meus caminhos;

Aos meus filhos, Paulo José, Magno, Paula e Arthur, que por mais difícil que seja a missão estão indicando o porquê devo chegar e sempre que era necessário compreenderam minha ausência;

Ao meu esposo José Paulo, que sempre me dá suporte para seguir;

Aos meus irmãos, Nair, Maria Antônia e Rodrigo, que a nossa amizade seja sempre esse espelho de luz;

À Vera Lucia, minha madrastra, que sempre me incentivou e acreditou que venceria muitas barreiras;

À coordenação do programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo da FCAV/UNESP do Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade e suporte para a realização do doutorado;

À Prof. Dra. Teresa Cristina Tarlé Pissara, pela orientação, por ter enfrentado os desafios e por estar ao meu lado nos momentos que precisei;

Aos Professores Dr. Renato Farias do Valle Júnior do Instituto Federal do Triângulo Mineiro (IFTM), Uberaba, Minas Gerais, Brasil e Dr. Luís Filipe Sanches Fernandes da Universidade de Trás-os-Montes (UTAD) Vila Real, Portugal, pela coorientação sempre que necessária e por também me apoiarem nesta jornada;

Aos professores da FCAV-UNESP que colaboraram para esta etapa da minha formação.

Aos membros da banca de qualificação, Dr. Marcelo Zanata e Dr. Marcílio Vieira Martins Filho que tanto contribuíram para a melhoria deste projeto.

Aos membros da banca de defesa, que prontamente se disponibilizaram para auxiliar nesta trajetória.

À Elizabeth Haruna Kazama e Franciele Morlin Carneiro pelo carinho, amizade e amparo na trajetória, saímos da situação de conhecidas para a categoria de família.

Ao Hygor Evangelista Siqueira que sempre está no papel de amigo incondicional, filho, anjo guardião, sem palavras, o meu muito obrigada.

À Regina Santos, da UTAD, pela prontidão em colaborar prontamente. Espero um dia poder te retribuir a ajuda neste percurso tão difícil. Você foi crucial na construção desta proposta.

À Vera Lúcia Abdala, pelo apoio durante essa trajetória.

À Francielle Morelli Ferreira, pelo carinho e preocupação. Por me ensinar que a amizade não tem idade.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro (IFTM) pelo apoio essencial a minha capacitação.

SUMÁRIO

	p.
LISTAS DE ABREVIATURAS	ii
LISTA DE TABELAS	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 Unidades de Conservação (UC)	03
2.1.1 Área de Proteção Ambiental (APA)	04
2.2 Bacias Hidrográficas.....	08
2.3 Degradação Ambiental.....	10
2.4 Análise morfométrica.....	11
2.5 Vulnerabilidade Natural.....	12
2.6 Modelagem em bacias hidrográficas.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Caracterização da área de estudo.....	18
3.2 Caracterização física e hidrológica da MbHARU.....	25
3.2.1 Solos.....	28
3.2.2 Clima.....	29
3.2.3 Uso do solo.....	30
3.2.4 Declividade.....	31
3.3 Caracterização Morfométrica.....	31
3.4 Índice de Vulnerabilidade.....	33
3.5 Simulação Hidrológica da MbHARU.....	35
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 Caracterização física e hidrológica da MbHARU.....	36
4.1.1 Solos.....	39
4.1.2 Clima.....	41
4.1.3 Uso do solo.....	44
4.1.4 Declividade.....	46
4.1.5 Caracterização dos compartimentos hidrológicos (HCs)	48
4.2 Caracterização Morfométrica da MbHARU.....	50
4.3 Índice de Vulnerabilidade Natural.....	57
4.4 Coeficiente de Rugosidade (RN)	66
5 CONCLUSÕES.....	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	70

LISTA DE ABREVIATURAS

AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
AGEITEC	Agência Embrapa Informação Tecnológica
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Proteção Permanente
BTE	Baixa Tendência a Enchente
CH	Compartimentos Hidrológicos
CNUC	Cadastro Nacional de Unidades de Conservação
CODEMIG	Companhia de Desenvolvimento Econômico de Minas Gerais
CTC	Capacidade de Troca de Cátions
CV	Coeficiente de Variância
D%	Declividade percentual
Dd	Densidade de drenagem
DP	Desvio padrão
DSC	Discurso do Sujeito Coletivo
EUCA	Silvicultura
Ff	Fator Forma
FRST	Paisagem natural
H	Amplitude Altimétrica
HRUs	Unidades Hidrológicas de Resposta
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Ic	Índice de Circularidade
IFAC	Instituto Federal do Acre
IFTM	Instituto Federal do Triângulo Mineiro
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPEF	Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais

Is	Índice de Sinuosidade
Iv	Índice de Vulnerabilidade
Kc	Coeficiente de compacidade
MTE	Média Tendência a Enchente
MbHARU	Microbacia Hidrográfica da APA do Rio Uberaba
MDET	Modelo Digital de Elevação do Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MO	Matéria Orgânica
N	Nitrogênio
ND	Não Determinado
PAST	Pastagem
RL	Reserva Legal
RMG	Roteiro Metodológico para Gestão
RN	Coeficiente de rugosidade
Rr	Razão de Relevo
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>
TC	Tendência a Conservação
UC	Unidade de Conservação
UIDU	Mineração
URDM	Malha Urbana
USDA-ARS	<i>United States Department of Agriculture - Agricultural Research Service</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator

LISTAS DE TABELAS

	p.
TABELA 01 – Cobertura vegetal predominante na microbacia hidrográfica da APA do rio Uberaba (MbHARU).....	30
TABELA 02 – Descrição dos parâmetros morfométricos e seus conceitos.	32
TABELA 03 – Área dos solos predominantes na MbHARU.....	39
TABELA 04 – Variáveis da Estação climatológica do INMET Uberaba para a APA do Rio Uberaba no período de janeiro de 1979 a julho de 2014.....	41
TABELA 05 – Variáveis da estação climatológica do INMET de Conceição das Alagoas para a APA do Rio Uberaba no período de janeiro de 1979 a julho de 2014.....	42
TABELA 06 – Classificação do coeficiente de variação dos dados da Estação Climatológica de Uberaba.....	43
TABELA 07 – Classificação do coeficiente de variação dos dados da Estação Climatológica de Conceição das Alagoas MG.....	43
TABELA 08 – Área e porcentagem do uso do solo na MbHARU.....	45
TABELA 09 - Declividade na MbHARU.....	47
TABELA 10 – Principais solos e usos do solo; amplitude altimétrica e declividade dos compartimentos da MbHARU.....	49
TABELA 11 – Caracterização morfométrica dimensional dos compartimentos hidrológicos da MbHARU.....	51
TABELA 12 – Métricas morfométricas da forma dos compartimentos da MbHARU.....	53
TABELA 13 – Métricas dos parâmetros topográficos e da rede de drenagem da MbHARU.....	54
TABELA 14 – Classificação dos parâmetros morfométricos adaptados com pesos de 1 a 4 ou peso 1 a 5, para o cálculo do índice de vulnerabilidade.....	58
TABELA 15 - Reclassificação de cada parâmetro da análise morfométrica na MbHARU com resultado e classificação cromática do índice de sinuosidade.....	62
TABELA 16 - Percentual de ocorrência de cada classe na MbHARU.....	63
TABELA 17 – Classificação da aptidão do uso do solo.....	66

LISTAS DE FIGURAS

	p.
Figura 01 – Localização da área de estudo na Bacia do Baixo Rio Grande, Bacia do Rio Paraná, Brasil.....	18
Figura 02 – Localização da MbHARU na bacia hidrográfica do Rio Uberaba.....	19
Figura 03 – Geologia da MbHARU.....	20
Figura 04 – Divisão hidrológica da MbHARU – Plano de Manejo.....	22
Figura 05 – Solos da MbHARU.....	23
Figura 06 – Geomorfologia da MbHARU.....	24
Figura 07 – Uso e ocupação da MbHARU.....	25
Figura 08 – Delinamento da MbHARU no modelo SWAT.....	27
Figura 09 – Divisão dos compartimentos hidrológicos no modelo digital de ...elevação do terreno (MDET).....	36
Figura 10 – Compartimentos hidrológicos da MbHARU.....	37
Figura 11 – Unidades de solos nos compartimentos hidrológicos da MbHARU.....	40
Figura 12 - Uso dos solos da MbHARU.....	44
Figura 13 - Declividade dos compartimentos da MbHARU.....	46
Figura 14 – Perfil topográfico traçado na extensão longitudinal; nas porções norte, centro e sul, ao a APA do Rio Uberaba.....	47
Figura 15 – Tendência dos compartimentos hidrológicos à enchente e à conservação.....	56
Figura 16 – Mapa de vulnerabilidade natural da Microbacia Hidrográfica da APA do Rio Uberaba (MbHARU).....	64
Figura 17 – Coeficiente de rugosidade da MbHARU - Aptidão.....	66

ÍNDICE DE VULNERABILIDADE NATURAL PARA A CONSERVAÇÃO DA ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO RIO UBERABA – MG

RESUMO – A Área de Proteção Ambiental – APA é uma superfície que apresenta características naturais relevantes da paisagem, as quais devem ser preservadas. A compreensão de métricas que caracterizem esse ambiente é fundamental para elaborar o planejamento de ações com práticas conservacionistas. Este estudo teve como objetivo principal elaborar um índice de vulnerabilidade (Iv) natural da microbacia hidrográfica da APA do Rio Uberaba, que considere a conformação geomorfológica do sistema de drenagem a partir da divisão hidrológica e das variáveis topográficas da paisagem natural. A metodologia foi desenvolvida a partir do uso do modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* – SWAT, na divisão hidrogeomorfológica da bacia hidrográfica da APA por diferenças altimétricas e no cálculo da média ponderada de sete parâmetros: $F_{f_{cl}}$ (fator forma), $I_{c_{cl}}$ (índice de circularidade), $k_{c_{cl}}$ (coeficiente de compacidade), $D\%_{cl}$ (declividade percentual) e Rr_{cl} (razão de relevo). A organização espacial foi resultante da interação dos parâmetros e dos componentes dos recursos naturais: solo, topografia, uso do solo e clima. O processamento e a análise estatística dos dados foram realizados com recurso a sistemas de informação geográfica e a partir do uso de técnicas de sensoriamento remoto. A relação entre os componentes do sistema ambiental físico foi determinada na divisão da Microbacia Hidrográfica da APA do Rio Uberaba (MbHARU). O índice de vulnerabilidade (Iv) foi gerado e a MbHARU apresentou vulnerabilidade natural em toda a sua extensão, que se refere ao potencial de degradação natural preexistente para a área. É necessária a aplicação de práticas de manejo conservacionistas, visto que o processo de depreciação do solo está acelerado e poderá se tornar irreversível.

Palavras-Chave: Degradação ambiental, Geotecnologia, Política de uso do solo, Hidrologia, Morfometria.

NATURAL VULNERABILITY INDEX FOR THE CONSERVATION OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION AREA OF THE UBERABA RIVER - MG

ABSTRACT - The Environmental Protection Area - APA is a surface that presents relevant natural characteristics of the landscape, which must be preserved. The understanding of metrics that characterize this environment is essential to elaborate the planning of actions with conservationist practices. This study had as main objective to elaborate a natural vulnerability index (Iv) and to simulate the hydrological behavior of the watershed of the APA Uberaba River, which considers the geomorphological conformation of the drainage system from the hydrological division and the topographic variables of the natural landscape. The methodology was developed using the Soil and Water Assessment Tool - SWAT hydrological model, in the hydrogeomorphological division of the APA of the Uberaba River by altimetric differences and by calculating the weighted average of seven parameters: Ffcl (factor form), Icl (circularity index), kcl (compactness coefficient), D%cl (slope percentage) and Rrcl (relief ratio). The spatial organization resulted from the interaction of those parameters and the components of natural resources: soil, topography, land use and climate (air temperature, precipitation, solar radiation, wind speed and relative air humidity) were considered. The processing and statistical analysis of the data were carried out in geographic information systems and using remote sensing techniques. The relationship between the components of the physical environmental system was determined by dividing the watershed (MbHARU) into hydrological compartments, which was possible to perform an individualized morphometric analysis. The vulnerability index (Iv) was calculated and the MbHARU has low to medium natural vulnerability, which refers to the potential for pre-existing natural degradation on the area. It is necessary to apply conservation management practices, since the process of soil depreciation is accelerated and may become irreversible.

Keywords: Environmental degradation, Geotechnology, Land use policy, Hydrology, Watershed Morphometry.

1 INTRODUÇÃO

O sistema Nacional de Unidade de Conservação – SNUC estabelece e protege as Unidades de Conservação do Brasil. Essas unidades foram classificadas por Lei como Unidades de Proteção Integral e de Uso Sustentável. As Áreas de Proteção Ambiental, conhecidas pela sigla APA, são unidades de conservação de uso sustentável. Nessas áreas são desenvolvidas inúmeras atividades socioeconômicas que servem para o progresso de um município, estado ou federação, com o compromisso de manter a perenidade da área. Entretanto, por ser de uso sustentável, é necessário compreender o processo de conformação da paisagem e a área da bacia hidrográfica na qual está inserida a APA, bem como a vulnerabilidade natural deste ecossistema, para melhor conduzir as ações antrópicas.

Para aprimorar as tomadas de decisões nestas áreas de importância sustentável, os recursos da paisagem natural, tais como a água e o solo são elementos essenciais para a manutenção da biodiversidade no ecossistema. Sem esses recursos, a sobrevivência das espécies se torna impossível. Portanto, o desenvolvimento de modelos que expressam os cenários que possam ser utilizados para o manejo das APAs é de suma importância para avaliar as condições de uso atual e compreender melhor o sistema hídrico e do solo na condução das atividades antrópicas.

A bacia hidrográfica pode ser definida como um conjunto de terras que quando recebe contribuição hídrica apresenta o escoamento das águas para o sistema de drenagem, que é caracterizado naturalmente na paisagem. A dinâmica de desenvolvimento dos ecossistemas na bacia está interrelacionada com fatores da paisagem natural e apresenta semelhança de acordo com a geomorfologia do sistema natural de drenagem. A vulnerabilidade natural desta área define o grau em que um sistema natural é suscetível aos efeitos das interações dos elementos físicos em relação às atividades antrópicas.

A multidimensionalidade da vulnerabilidade natural em uma APA está diretamente correlacionada à complexidade dos ecossistemas e sua resiliência. A falta de conhecimento da geomorfologia, ou mesmo o fato de ignorar as formas adequadas de manejo do solo e da água, podem desencadear um processo de degradação no ecossistema, que se inicia com o desgaste natural da paisagem, podendo ocasionar a perda de nutrientes no solo e chegar a um processo de desertificação, tornando a terra improdutiva. Quanto aos recursos hídricos que ali se apresentam, eles podem sofrer alterações adversas como o assoreamento, a redução da calha de escoamento e a contaminação tornando-se inapropriado para o uso.

Um ecossistema naturalmente mais vulnerável deverá ser considerado um ambiente onde deverá ter maior conservação, pois um ecossistema com essas características, apresenta maiores condições de alteração e de impacto, dificultando a capacidade de regeneração natural. A análise das variáveis morfométricas determina, entre outros fatores, as fragilidades da área e sua vulnerabilidade natural. O índice de vulnerabilidade é importante para a gestão, pois compreende as características que indicam a vulnerabilidade natural da área de uma bacia hidrográfica.

Nesse contexto, o principal objetivo desta pesquisa foi elaborar um índice de vulnerabilidade (lv) natural e verificar o comportamento climático da microbacia hidrográfica da APA do Rio Uberaba, que considere a conformação geomorfológica do sistema de drenagem a partir da divisão hidrológica e das variáveis topográficas da paisagem natural.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Unidades de Conservação (UC)

No mundo existem unidades de conservação (UC) com o propósito de preservar uma parcela representativa do ecossistema considerado relevante (Cruz et al, 2017). No Brasil, essas áreas são protegidas pela Lei nº 9.985 de 2000, que criou o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC) e estão sujeitas a normas e regras especiais (MMA, 2019). Elas são classificadas de acordo com suas características específicas, seja de proteção integral, em que seu uso é permitido apenas de forma direta e sem interferência humana; ou de uso sustentável, onde haverá a exploração econômica, mas garantindo a perenidade dos processos ecológicos e seus atributos (Brasil, 2000).

Após a criação de uma UC, a unidade conta com a elaboração de um plano de manejo específico que possibilitará determinar seu zoneamento e desta forma, reconhecer espacialmente suas especificidades. A partir daí, pode-se estabelecer suas normas e restrições de uso com intuito de reduzir ao máximo seus impactos ambientais negativos e garantir sua sustentabilidade de forma conservacionista (MMA, 2019).

Entre os recursos da paisagem natural de uma UC no ecossistema natural, o solo e a água são os elementos mais essenciais para a manutenção da biodiversidade, sem eles a sobrevivência das espécies se torna impossível. O Brasil, se destaca por estar relacionado entre os 35 *hotspots* do cenário mundial, com 14% da flora descrita mundialmente (Cruz et al, 2017).

A partir da formação das UCs, a unidade torna-se um espaço preservado com plano de manejo mais restritivo, de forma a manter os ecossistemas para as próximas gerações. Da mesma forma, as APAs – Áreas de Proteção Ambiental são um tipo de área protegida prevista na legislação brasileira, como parte do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Essas áreas apresentam

algumas ações antrópicas, porém, tem a função de proteger a diversidade biológica, assegurando a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.

2.1.1 Área de Proteção Ambiental (APA)

De acordo com o Cadastro Nacional de Unidades de Conservação (CNUC) o Brasil possui 307 APAs, que correspondem a 467.162km² (MMA, 2017) com potenciais naturais diversos e extensão flexível. Dentre elas, citamos a APA Cananéia Iguape Peruibe (SP) como um bioma marinho, a APA de Guaratuba (PR) com potencial turístico e a APA do Rio Uberaba (MG) com potencial hídrico importante para o abastecimento de água da região. Dentre as unidades classificadas como uso sustentável, enquadra-se a APA do rio Uberaba.

As APAs surgem devido ao avanço da malha urbana nas áreas que possuem atributos naturais fundamentais para a diversidade do bioma em que se insere, devendo ser preservadas. Desta forma, o uso e a ocupação do solo de forma inadequada podem gerar danos ambientais que afetam a região de várias maneiras, gerando alto custo para recuperação, num processo de longo prazo.

Segundo Reis (2018), um dos fatores que se leva a criar uma APA é a ocupação humana em áreas que possuem recursos naturais, que necessitam ser utilizados respeitando sua capacidade de uso, viabilizando assim, seu potencial de recarga do aquífero. Moraes (2004), ainda acrescenta que para preservar importantes atributos naturais e culturais é necessário determinar controles que visam limitar o uso e a forma de ocupação destas áreas.

As APAs são de uso público privado que possuem atributos importantes para a qualidade de vida, portanto, o objetivo de sua criação é assegurar a sustentabilidade pautada na proteção da biodiversidade, estabelecendo critérios para uso e ocupação (Granja, 2009).

Gonçalves (2014) descreveu que a comunidade como um todo não compreende o papel das APAs. Sem esta compreensão não se consegue assumir o papel de protagonista no que tange à conservação dos recursos naturais dessa

área. O autor ainda cita que, a postura dos gestores diante desta situação gera uma descredibilidade da sociedade e da comunidade acadêmica, tendo em vista que não ocorrem ações específicas para a conservação do meio. A comunidade acadêmica poderia ser uma grande aliada para a elaboração de métricas para o efetivo planejamento e melhoria da gestão. O autor ainda complementa, que a descentralização política ainda não é efetiva, o que pode ser considerado um entrave para a autonomia da gestão das unidades de conservação.

No que concerne à questão empírica, os gestores deveriam reconhecer as APAs como áreas sustentáveis que exercem um papel fundamental na conservação dos espaços naturais. Desta forma, o caminho correto é implantar as práticas de manejo conservacionista, que apresentam o propósito do desenvolvimento sustentável.

Para isso, é necessário a elaboração de uma metodologia sistêmica que possibilite efetivar o monitoramento periódico e gerar indicadores de sua eficiência. O desinteresse, muitas vezes gestados pela falta de consciência ambiental, ainda é o principal ponto de descredibilidade para a pragmatização das ações de proteção ambiental destas áreas, gerando uma inércia que é truncada pelo poder público em todas as suas instâncias (Gonçalves, 2014; Lins, 2009; Granja, 2009).

Lins (2009), ainda ressalta que, por serem áreas extensas aliadas a falta de autonomia de governança, mesmo com um plano de manejo implantado, ainda se encontram vulneráveis, sem uma legislação própria reconhecida pelos governantes. Ocorre uma grande dificuldade em resguardar e até mesmo fiscalizar o uso dos recursos naturais para que sejam utilizados de forma sustentável.

Pimenta (2018), faz uma análise do arcabouço jurídico que permeia a consolidação das APAs e relata que a priori da legislação o meio ambiente ecologicamente equilibrado e dando sustentabilidade manutenção da vida, fato que leva as APAs a terem um disciplinamento jurídico específico, que preconiza a aliança entre a conservação ambiental e o desenvolvimento econômico da coletividade. Entretanto, a mesma autora cita que, como “o equilíbrio ecológico não

pressupõe uma permanente inalterabilidade das condições naturais”, a falta de autonomia é gerada pelo desinteresse político e a ambição humana, dificultando a gestão dessas APAs.

Siqueira (2019) discorreu que quatro anos após a criação da APA do Rio Uberaba, ocorreu um acidente ferroviário com grandes dimensões, visto que, foi decretado estado de calamidade pública no município. Este fato chamou a atenção da comunidade sobre a importância das ações conservacionistas na região. Porém, quinze anos após o ocorrido, o autor detecta a expansão da malha urbana e das atividades agrossilvopastoris sem o planejamento adequado.

Em 2017, uma Ação Civil Pública nº5004334-93.2017.8.13.0701 foi impetrada contra Estado, Município e Instituto Estadual de Florestas, devido à morosidade, omissão e ingerência de uma Unidade de Conservação com recursos naturais relevantes. E como sentença, o Poder Judiciário deferiu que, no prazo de doze meses seria montada uma infraestrutura física e humana adequada para possibilitar uma gestão eficaz da APA, além de disponibilizar um veículo para ações efetivas. Até o presente momento, o Município contestou a decisão.

Silva (2000) fez uma análise da situação das áreas protegidas em Portugal, não diferente da situação brasileira, ela descreve que a comunidade vê a conservação dos recursos naturais de forma antagônica ao desenvolvimento econômico. Em decorrência deste pressuposto, o desafio de alimentar uma população exponencialmente crescente deve ser enfrentado através da produção racional e eficiente. Entretanto, o que se vê é uma exploração desordenada que ameaça a manutenção da biodiversidade. A autora continua sua análise refletindo que essa ideia não condiz com o termo conservacionista, visto que o termo “conservacionismo” remete ao uso sustentável. Esses conceitos visam atender às vontades políticas ou apenas ao crescimento econômico desordenado.

Esteves e Souza (2014) fizeram uma análise sobre os instrumentos de planejamento para as APAs. Foram comparados o Roteiro Metodológico para Gestão (RMG) das APAs e a Avaliação Ambiental Estratégica (AAE), sendo que, o primeiro é referenciado no Brasil e o segundo tem pouca utilização neste país,

porém é utilizado em países como Canadá, Escócia e África do Sul. Os autores identificaram que a AAE possui um procedimento sistemático para a avaliação contínua de forma a manter sua efetividade de ações que garantirão a conservação dos aspectos ambientais em questão, visto que, as APAs estão separadas das ações antrópicas apenas por normativas específicas e, por isso, merecem uma atenção redobrada. No Brasil, os RMG-APA são diretivas livres da obrigatoriedade de uso, com lacunas que impedem sua eficiência e com isso são pouco efetivas, além de que, apenas 18% das APAs brasileiras possuem um Plano de Manejo e desses, muitos sequer são efetivos. ‘

Kantek et al (2009) utilizou imagens do Sistema de Gestão Ambiental (SIG) e a metodologia denominada por Lefèvre e Lefèvre como o Discurso do Sujeito Coletivo (DSC) para observar os impactos ambientais da APA Guaratuba – PR. Neste trabalho foi observado que, apesar da legislação específica disciplinando o extrativismo e a preservação da Mata Atlântica, esta continua sofrendo supressões em prol do crescimento populacional, e seu principal aspecto para o impacto são as estradas que cortam a APA Guaratuba. Desta forma, Granja (2009) destaca que, por via de regra, a ocupação e a expansão urbana nestas áreas não são contempladas e sem planejamento adequado podem acarretar impactos ambientais negativos que prejudicarão a obtenção dos objetivos pelos quais foram criadas.

Martins (2011) realizou um estudo na APA de Guaraqueçaba, mais especificamente na Baía de Laranjeiras onde, a partir de análises de hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, esteróis fecais e biogênicos, além de metais traços, que determinaram as fontes de matéria orgânica e contaminantes estuarinos. Em seus resultados, o autor percebe que a presença de matéria orgânica fresca e metais vestigiais como Níquel, Cromo e Arsênio são devidos às ações antrópicas.

Apesar de serem reconhecidas como áreas importantes para a biodiversidade e a manutenção das populações, observamos que a maioria dessas unidades ainda são tratadas como um paramento político, longe de possuir

uma proteção efetiva. A inércia ao longo dos anos provocam impactos ambientais drásticos. Estes modelos de Unidade de Conservação (APAs) deveriam ter uma atenção especial devido à ocorrência de recursos naturais de fundamental importância para a preservação ambiental e a ocupação humana. O equilíbrio ambiental e o desenvolvimento econômico é o objetivo a ser alcançado.

2.2 Bacias Hidrográficas

O conceito de bacia hidrográfica insere-se no contexto da Lei n. 9433 de 8 de janeiro de 1997, como unidade territorial para implementação da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei 6938/81), em área de atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O termo é definido como a área compreendida por um rio principal (exutório da bacia) e seus afluentes ou tributários desde as nascentes (Pissarra, 2002). Nesta unidade de trabalho ocorre a formação de um ecossistema com seres vivos que dependem da água para a sobrevivência, como solvente ou condutor para os nutrientes e como parte da alimentação.

Angelini (2017) fez uma trajetória sobre a construção do conceito de ecossistema em uma bacia hidrográfica. Ele concluiu que os modelos se fragmentam em dois pontos de vista na paisagem: os elementos tróficos que consideram os processos bióticos; os elementos da engenharia ambiental que analisam os parâmetros físicos da conformação geomorfológica, dos processos biogeoquímicos, da dinâmica espaço-temporal das variáveis físico-químicas, dos processos hidrológicos e da interpretação visual do uso do solo. O autor reconhece que, para ter uma representação efetiva dos modelos é necessário considerar o ecossistema de uma bacia hidrográfica e a interrelação entre os elementos bióticos e abióticos.

Ao definir como esses elementos se conectam entre si, estabelecemos uma visão mais ampla dos processos de formação natural da paisagem. Para a percepção da importância da influência antrópica na resiliência do sistema ao

longo dos anos, a vulnerabilidade natural deve servir de referência.

No tocante à análise de uma bacia hidrográfica, o conceito é referido como o estudo da superfície do ecossistema. Porém, como a protagonista deste cenário é a água, desde a precipitação até a saída pelo exutório, é correto afirmar que a unidade de bacia deve considerar os ambientes por onde ocorre a influência dos processos do ciclo hidrológico na região de drenagem, seja essa subterrânea, superficial ou aérea.

Nesse contexto, Metzger et al. (2019) fez uma análise enfatizando a importância dos processos do ciclo da água, para manter os ecossistemas naturais e para a manutenção da biodiversidade em uma bacia. Um exemplo é a manutenção das árvores nativas ao redor das redes de drenagem e nas nascentes de rios, para a melhoria da qualidade hídrica.

A Lei 9433/97 determina que a prioridade dos recursos hídricos é a dessedentação humana e animal, sendo assim, o Ministério da Saúde em sua Portaria de Consolidação 5, anexo XX, determina que fica sob responsabilidade do poder público fiscalizar para que a distribuição de água para consumo humano atenda a padrões de qualidade, que não coloque em risco a saúde pública. Portanto, analisar a paisagem geomorfológica de uma bacia considerando a sua formação física e o uso do solo para a conservação do ecossistema é de suma importância para a manutenção da melhor qualidade do recurso hídrico e do solo.

Neste contexto, justifica-se a bacia hidrográfica como uma unidade territorial básica para a gestão dos recursos hídricos e do solo, que vem sendo utilizada, sobretudo, tanto para designar segmentos fluviais, como áreas de proteção enfocadas a partir de nascentes de rios; quanto como uma subunidade de bacia cujo recorte deverá ser configurado em função da conformação natural do sistema, considerando as ações antrópicas que são implementadas.

2.3 Degradação Ambiental

De acordo com a Política Nacional do Meio Ambiente, a degradação da qualidade ambiental é qualquer alteração que não está em consonância às características do meio ambiente. Mais detalhista, o decreto nº 97632/1989 descreve que a degradação ambiental é o resultado de danos ambientais pelos quais este perde a qualidade ou capacidade produtiva.

Silva et al (2018) observaram que o processo de exploração econômica no Nordeste ocorre por processos agressivos, onde o desmatamento e a queimada geram um processo de degradação afetando o solo, a biodiversidade e os recursos hídricos.

Os autores ainda reconhecem que o processo para a degradação difere de acordo com as características regionais. Na caatinga, por exemplo, a troca da vegetação característica da região por culturas de ciclo curto, alta evapotranspiração e baixa precipitação contribuem para a aceleração dos processos erosivos e até mesmo para um futuro estado de desertificação.

Pereira Júnior e Pereira (2017) estudaram o processo de degradação ambiental e concluíram que o mesmo está diretamente ligado às ações antrópicas que comprometem a biodiversidade e a manutenção da diversidade *in situ*, fato que leva a redução de produtividade da terra devido a redução das atividades ecológicas geradas pela microfauna do solo.

Szymczak (2012) destaca que as alterações do solo acontecem de acordo com a finalidade de seu uso e que os solos rurais sofrem interferências em seus atributos, como fertilidade, acidez, quantidade de matéria orgânica (MO), nitrogênio (N) e potássio (K). Na área urbana, com o crescimento populacional, os aglomerados avançam rumo a Áreas de Preservação Permanente (APP), muitas vezes modificando a qualidade do curso hídrico e refletindo na saúde de pessoas e animais.

Janishevsk et al. (2015) relatam que a conservação da biodiversidade depende de vários fatores, entre eles, serviços ecossistêmicos do solo para

desenvolver uma série de atividades que protegem e restauram a biodiversidade. Se não ocorrer uma boa gestão do manejo, que considera as características naturais que demandam formas de uso, boas práticas de manejo e preservação de áreas vulneráveis, esse dano pode se tornar irreparável caminhando para a desertificação.

Sartori (2014) diferenciou área degradada de área alterada ou perturbada, onde a primeira não é capaz de regeneração próximo as condições nativas por processo de regeneração natural e os últimos termos definem que apesar da área ser impactada, ela mantém sua capacidade de regeneração natural.

2.4 Análise morfométrica

A análise morfométrica é um importante instrumento de gestão de bacias, pois ela fornece as métricas que possibilitam definir as áreas físicas em função da geomorfologia da bacia hidrográfica. Os dados apontam as áreas mais vulneráveis, com isso ela configura um importante instrumento para a tomada de decisão (Trajano et al., 2012), porque compreendem os processos dinâmicos no relevo (Lima e Fontes, 2015)

Segundo Pissarra et. al. (2010) a análise morfométrica possibilita realizar uma leitura dos parâmetros morfológicos com a finalidade de interpretar suas mudanças, sejam elas naturais ou antrópicas.

A morfometria representa a relação causa e efeito de forma quantitativa e individual, personalizando assim as interpretações de forma diferenciada em cada região (CHRISTOFOLLETI, 1974).

Sua análise possibilita compreender o mecanismo da evolução geomorfológica através dos parâmetros avaliados, e também é possível reconhecer o controle tectônico na história evolutiva e a ocorrência de processos geomorfológicos na história evolutiva (SILVA e PAES, 2018), possibilitando a compreensão contextualizada da influência das ações antrópicas nos processos naturais (Almeida, 2017).

A sinuosidade dos cursos d'água interferem na estruturação geológica, declividade dos canais, compartimentação litológica, carga de sedimentos (Viana, 2018; Lana et al. 2012; Ribeiro e Pereira, 2013), por isso, nenhum parâmetro morfométrico deve ser analisado de forma independente, pois não reflete a complexidade do sistema (Ribeiro e Pereira, 2015).

2.5 Vulnerabilidade Natural

A degradação ambiental está diretamente relacionada com as atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica, enquanto que a vulnerabilidade natural está relacionada às modificações naturais que um ecossistema apresenta devido à conformação geomorfológica da área. Assim, é necessário compreender as características morfométricas de bacias hidrográficas para definir a vulnerabilidade natural de um sistema.

O processo de erosão geológica ou natural ocorre a partir do afloramento de rochas que sofrem as intempéries e vão se desagregando e decompondo (Branco, 2014). O delineamento da bacia hidrográfica é devido a esse processo ao longo dos milhares de anos geológicos, a partir do transporte e sedimentação de partículas do solo. Um importante agente para delinear a paisagem da bacia hidrográfica é a água das chuvas, que provocam erosões nas encostas e nos canais fluviais. Na formação dos canais de drenagem e canais fluviais, a erosão atua tanto no entalhamento do fundo do leito, como na formação das margens, canais laterais (SigRH, 2020) e na estratificação geológica das encostas.

O intemperismo é o principal agente da erosão natural e é determinado por vários fatores como clima (volume de chuvas), temperatura (quanto mais alta, mais acelerados são os processos químicos), relevo (velocidade de escoamento ou infiltração), composição mineralógica da rocha-mãe, tempo de exposição às intempéries e cobertura vegetal do solo (Branco, 2014).

A erosão natural é um processo longo que pode ser acelerado pela ação humana. Porém, pesquisadores ao longo dos anos observaram o comportamento

da paisagem em seu ciclo natural e também com a influência de atividades antrópicas, dando início aos estudos das métricas que medem a vulnerabilidade de uma bacia hidrográfica.

Vulnerabilidade ambiental natural, segundo Aquino et al (2017), é o termo utilizado para definir “o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas”, seja por causas naturais ou antrópicas. Medeiros e Souza (2016) levam em consideração, além dos fatores ambientais, também os fatores sociais que deixam o ser humano inerente aos riscos individuais ou coletivos.

A multidimensionalidade que o tema vulnerabilidade envolve está diretamente correlacionada à complexidade dos ecossistemas (Nunes e Aquino, 2018). Sua resiliência está diretamente ligada às características dos atributos naturais que os envolve, considerando o solo, o relevo, a cobertura vegetal, o uso e a ocupação do solo, além do clima. A desarmonia destes atributos que são cíclicos afeta o sistema natural de formação da paisagem geomorfológica (Aquino et al., 2017).

Santos (2015) associa que os riscos ambientais geralmente são decorrentes da ocupação humana não planejada em áreas vulneráveis, que tem seus atributos alterados em decorrência dessa ocupação. Neste contexto, Aquino et al (2017) esclarecem que há um equívoco no que tange ao uso dos termos risco e vulnerabilidade, onde o primeiro remete a probabilidade de um evento de determinada magnitude acontecer e o segundo determina a existência da fragilidade do ecossistema, que favorece para gerar o risco e sua intensidade.

Existe uma diversidade de atributos que podem definir o termo vulnerabilidade, necessitando levar em consideração o contexto do universo analisado, já que vários aspectos podem proporcionar fragilidades ou resiliência (Lapola et al. 2019; Milanezi e Pereira, 2016; EMBRAPA, 2010).

Porém, para Milanezi e Pereira (2016), independente do assunto, a análise da vulnerabilidade sempre está ligada pelo menos a um dos três fatores: a exposição de um sistema às perturbações, a sensibilidade do meio e a capacidade

adaptativa. Os autores analisaram a vulnerabilidade da microbacia do Córrego Azul, em Ivinhema-MS, baseados na metodologia de análise ecodinâmica de Tricart (1977), adaptado por Crepani et al. (1996), onde consideraram as variáveis de uso e ocupação, formação geológica, declividade e solos, além de índice de circularidade como fundamentais na compreensão da vulnerabilidade em um ecossistema.

Lapola et al. (2019) avaliaram a vulnerabilidade de 993 unidades de conservação brasileiras utilizando como critério a integridade da cobertura vegetal e a necessidade de mudanças de habitat em grande escala, em detrimento das mudanças climáticas. Os autores indicam que as áreas mais vulneráveis são propensas aos maiores riscos ambientais em eventos extremos.

De acordo com Abdala (2012), a caracterização geomorfológica remete à compreensão da composição de formas residuais aliada aos processos morfoclimáticos, que além de compartimentar a região determina seu relevo. Desta forma, caracteriza-se a identidade da área com suas fragilidades e aptidões, sinalizando sua natureza socioeconômica.

Enfim, uma área pode ser apta a desenvolver determinada atividade e mesmo assim apresentar fragilidades que a coloque no estado de vulnerabilidade, ou seja, suscetível à degradação.

2.6 Modelagem em bacias hidrográficas

O modelo matemático é definido por Sodré (2007), como a representação sistemática do ambiente real e suas modificações de forma empírica. Ele pode ser utilizado em várias áreas do conhecimento, na hidrologia, para representar o fluxo de água e a dinâmica do ciclo hidrológico e como o transporte de sedimentos pode afetar diferentes habitats, construindo uma estreita relação com a modelagem biológica e ecológica (Rennó e Soares, 2007).

Desta forma, os modelos hidrológicos são utilizados para prever impactos quantitativos no meio, com o uso de simplificações matemáticas e inferências

estatísticas (Rennó e Soares, 2007; Baldissera, 2005; Abbaspour et al., 2017) para compreender os processos dinâmicos que ocorrem na bacia hidrográfica, determinando as formas de manejo mais adequadas (Blainski et al 2017).

Roehrs (2019) destaca a importância na aplicação dos modelos para prever resultados gerados por comportamentos provenientes do manejo do solo, indicando as práticas que influenciarão na qualidade físico-hídrica do solo e auxiliarão na tomada de decisão.

O modelo hidrológico é a representação conceitual de um fenômeno que ocorre na natureza. Os modelos de um mesmo fenômeno são semelhantes, porém, como seu resultado provém da interação de vários aspectos, muitas vezes podem apresentar extrema diferença. Este fato faz com que cada modelo apresente um objetivo diferente ou ainda tenha diferenças conceituais ou de implementação decorrentes de decisões tomadas durante o desenvolvimento do modelo (Rennó e Soares, 2007).

Nas etapas de uma modelagem é necessário considerar o sistema na qual o fenômeno se insere, neste caso, a bacia hidrográfica, e fazer algumas suposições sobre como os vários componentes naturais e antrópicos trabalham e se interagem (Rennó, 2008). A tradução em equações/procedimentos de um programa de simulação é realizado e se faz uma validação na correlação com os dados reais.

É muito importante compreender o papel das suposições feitas durante o desenvolvimento do modelo e as observações realizadas no que diz respeito a predição e a estimativa do grau de confiança dos resultados. A modelagem hidrológica é realizada para explicar hipóteses e analisar combinações de eventos a partir da simulação das condições inexistentes ou muito raras e comparar com as condições reais do fenômeno que ocorre no meio em relação aos recursos hídricos.

A complexidade do fenômeno hidrológico e a incerteza sobre as equações básicas interferem na dinâmica do sistema do modelo. No modelo ambiental é

necessário compreender o sistema tridimensional, ou seja, as interferências não acontecem apenas por uma dinâmica plana, mas também devido a fatores que vem da atmosfera, como precipitação, transpiração e evapotranspiração. Isso interfere diretamente na bacia hidrográfica e a dinâmica dos fenômenos, os comportamentos não lineares e os componentes estocásticos em múltiplas escalas de tempo e espaço ambiental. A questão é “como representar estes processos na bacia hidrográfica considerando todos os fenômenos da água e do solo?”

No meio ambiente deve-se considerar a classificação do modelo: determinístico ou estocástico, baseado em processos ou empírico, contínuo ou discreto, pontual ou distribuído, estático ou dinâmico (Caldeira et al, 2018).

Na questão do modelo SWAT, considera-se o ciclo hidrológico do sistema na bacia hidrográfica.

O SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) é uma ferramenta que auxilia a modelagem da superfície de microbacias e bacias hidrográficas. Desenvolvido pelo Dr. Jeff Arnold do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, do Serviço de Pesquisa em Agricultura (USDA-ARS), esse programa tem como objetivo prever o impacto do manejo do solo no recurso hídrico e no sedimento. (Neitsch et al., 2011).

A modelagem hidrológica é uma ferramenta muito útil para investigar as estratégias de gestão em unidades territoriais de bacias hidrográficas para a resposta da qualidade da água e do solo e na avaliação do impacto da agricultura no meio ambiente. A grande extensão territorial brasileira é protagonista de uma diversidade climática e de ecossistemas pelo país. O uso de ferramentas para tomada de decisão no que tange aos cuidados e manejo do solo vem como um aliado à governança do solo e da água (Souza, 2016). Sendo assim, a modelagem infere vários cenários com diferentes tipos de manejo e práticas conservacionistas, com baixo custo e de forma rápida. (Gassman et al., 2007).

Souza (2016), Moreira et al (2018), Santos et al. (2019) consideraram a modelagem ambiental em bacias hidrográficas como instrumento para a

investigação da dinâmica hidrológica e a carga de nutrientes e sedimentos que influenciam na qualidade da água e solo da bacia hidrográfica e concluíram que, no contexto da sua importância histórica, o modelo SWAT é uma ferramenta que apresenta eficiência diante dos procedimentos utilizados para análise de sensibilidade específica de cada área e não apenas das características fisiográficas. Esse comportamento corrobora para a reflexão que o ecossistema é composto por organismos vivos em constante evolução e deve-se ficar atento as mudanças.

Ferreira e Uagoda (2017) reconheceram o desenvolvimento do modelo SWAT em duas fases aquática e terrestre. Os autores relatam que há uma tendência em desenvolver trabalhos com ênfase na fase aquática, onde ocorrem os processos relativos a água e sedimentos pela rede de drenagem, mas que é necessário observar também a fase terrestre onde ocorre os fenômenos voltados ao ciclo hidrológico, responsável pelo equilíbrio do ecossistema.

Abbaspour et al. (2017) analisaram vinte e sete artigos que utilizaram a ferramenta SWAT em seus projetos. A função da calibração no contexto do modelo foi analisada e os autores reconhecem que a maioria dos trabalhos realizados utilizou o modelo SWAT-Cup para analisar a sensibilidade, calibração e validação do programa. Os autores também descrevem que a tendência é utilizar a vazão como parâmetro de calibração. Reconhecem que a calibração é subjetiva e ligada a saída do modelo, fato que determina a incerteza. Daí surge a necessidade de se obter dados observados em campo para reconhecer a validade das informações.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

A microbacia hidrográfica da Área de Proteção Ambiental (APA) do rio Uberaba (MbHARU) faz parte da bacia hidrográfica do rio Uberaba, que desagua no rio Grande, com seu deflúvio no rio Paraná (Figura 01).

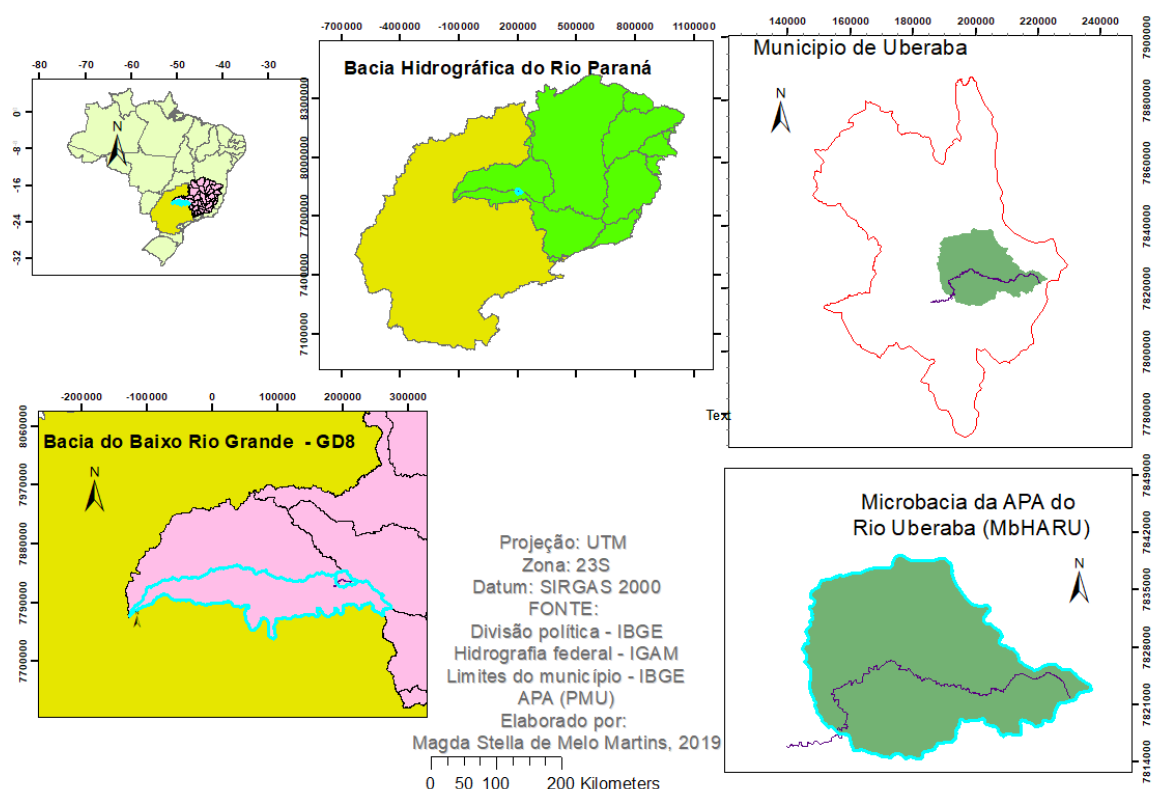


Figura 01 – Localização da área de estudo na Bacia do Baixo Rio Grande, Bacia do Rio Paraná, Brasil.

A APA foi estabelecida na Lei Estadual nº 12.183 de 21 de Janeiro de 1999, que em seu art. 1º determinava que seus limites seriam a bacia do Rio Uberaba até o ponto de deflúvio a montante da captação para o abastecimento público do

município, e no artigo 4º ficou estabelecido que o município de Uberlândia seria também considerado como usuário.

Essa sub-bacia da bacia do rio Uberaba foi selecionada para este estudo, tendo em vista que representa a porção superior da bacia do Rio Uberaba, onde encontra-se o manancial das águas das chuvas que são captadas para abastecimento do município de Uberaba. Segundo o IBGE, este município apresenta uma população estimada em 2019, de 333.783 pessoas. A localização da microbacia hidrográfica da APA do rio Uberaba (MbHARU) na Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba consta na Figura 02.

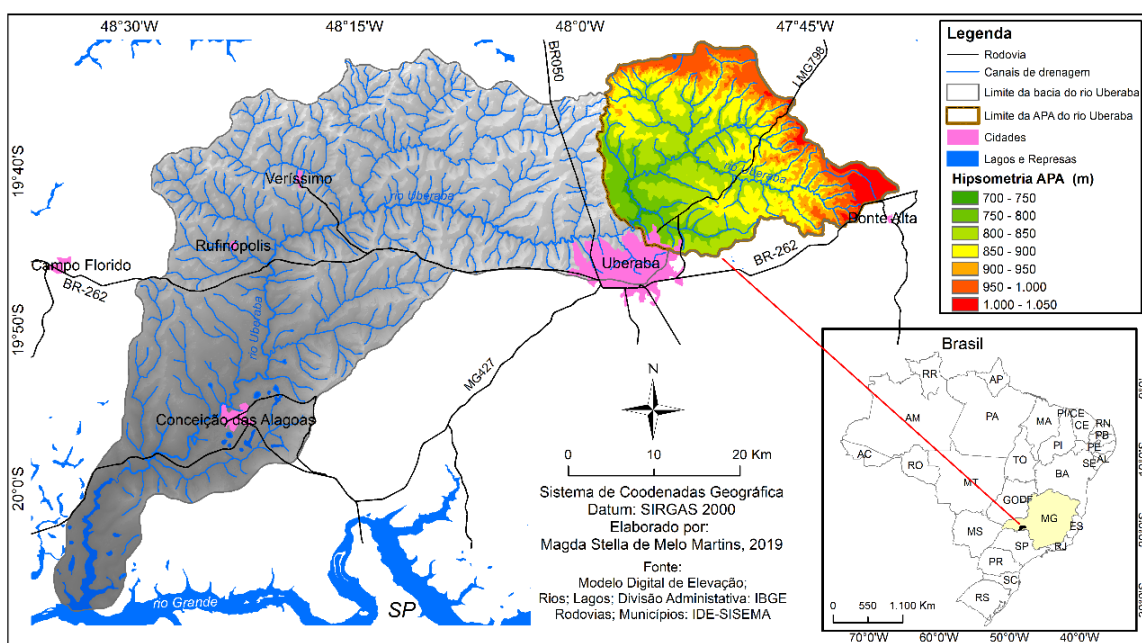


Figura 02 – Localização da MbHARU na bacia hidrográfica do Rio Uberaba.

FONTE: adaptado de Siqueira, 2019.

A Lei Municipal nº 9.892 de 28 de dezembro de 2005 delimita a MbHARU exclusivamente em território uberabense e estabelece os objetivos de recuperação, preservação e conservação do rio Uberaba; visando à promoção do uso sustentável dos recursos naturais; proteção da biodiversidade, dos recursos hídricos, dos remanescentes de vegetação do cerrado e do patrimônio cultural,

com vistas à melhoria da qualidade de vida das populações que ali residem; conservando o caráter rural da região; e disciplinando a ocupação humana na área protegida. Os objetivos estabelecidos são concernentes à uma Unidade de Conservação de Uso Sustentável.

A MbHARU está localizada na porção norte/nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná sob as feições geológicas do Planalto Central. Apresenta as formações Uberaba, Marília e Serra Geral (Figura 03), sendo que, as duas primeiras compõem o Grupo Bauru e a última pertence ao Grupo São Bento, o mais antigo deles e estratigraficamente posicionado na sequência Vulcano-sedimentar. (Plano de Manejo da APA do rio Uberaba, s/d).

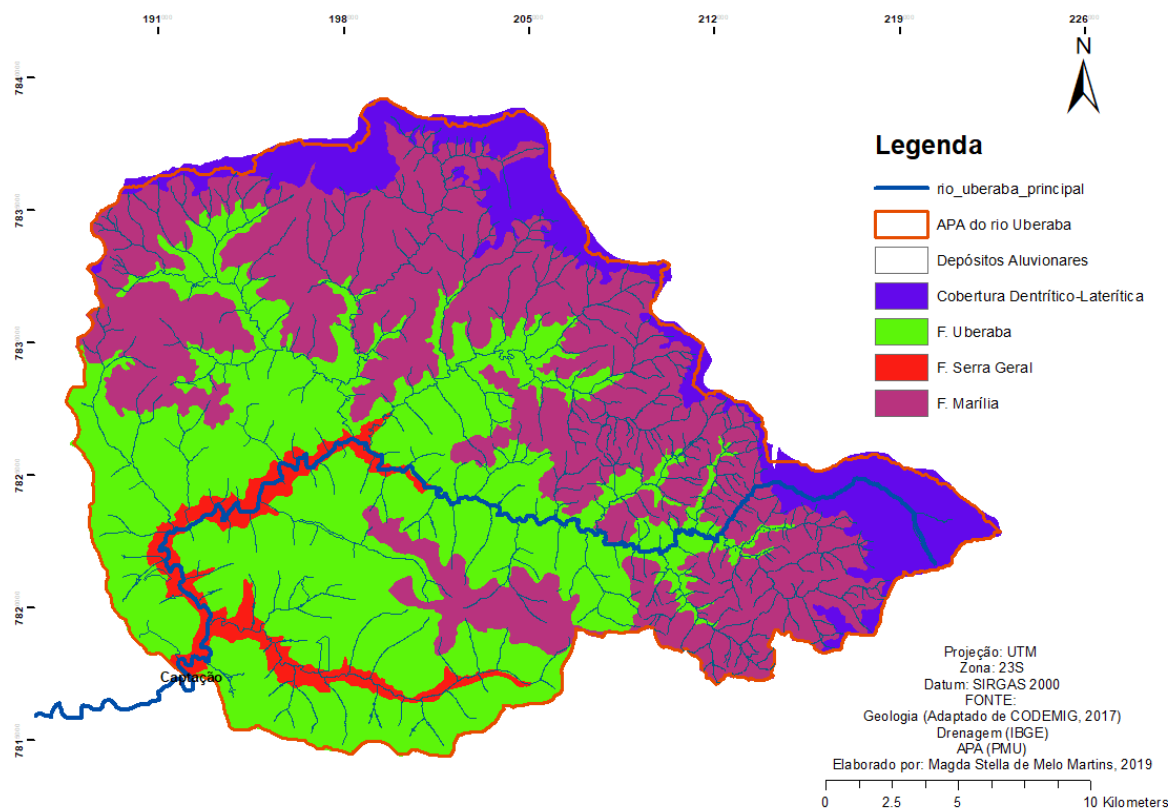


Figura 03 – Geologia da MbHARU. FONTE: Adaptado de CODEMIG (2017).

A formação Uberaba é originada de fontes vulcânicas preexistentes e associadas a outras fontes não vulcânicas. Ocorre apenas em áreas do município

com o mesmo nome, no Triângulo Mineiro e em porções isoladas do Alto Paranaíba (Ferreira Júnior e Gomes, 1999; Plano de Manejo da APA do rio Uberaba, s/d). Ela é composta por arenitos muito finos com matriz argilosa intercalados com argilitos, arenitos conglomeráticos cimentados por carbonato de cálcio e conglomerados de matriz arenosa; sendo esses de forma menos representativos (Ferreira Júnior e Gomes, 1999).

Já a formação Marília, identificada na APA na região da Serra da Galga, preferencialmente nos relevos Topos do Pediplano, é formada por horizontes argílicos e cálcicos, com calcretes, de diferentes espessuras devido ao tempo de exposição dos tipos de materiais originários e de idades por ficarem expostos a agentes climáticos (Plano de Manejo da APA do rio Uberaba, s/d). Por fim, a formação Serra Geral é composta por rochas de origem vulcânica, com derramamento de basaltos, sendo estabelecida como a maior exposição ígnea não oceânica durante o período Fanerozóico (Batezelli et al., 2005; Plano de Manejo da APA do Rio Uberaba, s/d; Ferreira Júnior e Gomes, 1999).

O clima da região é classificado de acordo com Novais et al (2018), do tipo tropical semiseco, com períodos secos entre abril a setembro e chuvosos de outubro a março, configurando seis meses de seca.

A precipitação média anual no período de 1985 a 2015 de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), apresentado nas estações climatológicas na região de Uberaba MG, foi de 1646,4mm. O domínio climático descrito pelos autores se caracteriza como semiseco, visto que apresenta um período de seis meses de seca. As maiores precipitações costumam ocorrer nos meses de dezembro e janeiro (Abdala, 2012).

A região, de acordo com o Plano de Manejo da APA do Rio Uberaba está subdividida em 17 microbacias e possui uma drenagem com aproximadamente 454 cursos d'água de 1ª ordem. De acordo com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM (2017) a água está enquadrada na classe 2, favorecendo ao uso dessas águas para o abastecimento público, além de outros usos (Figura 04).

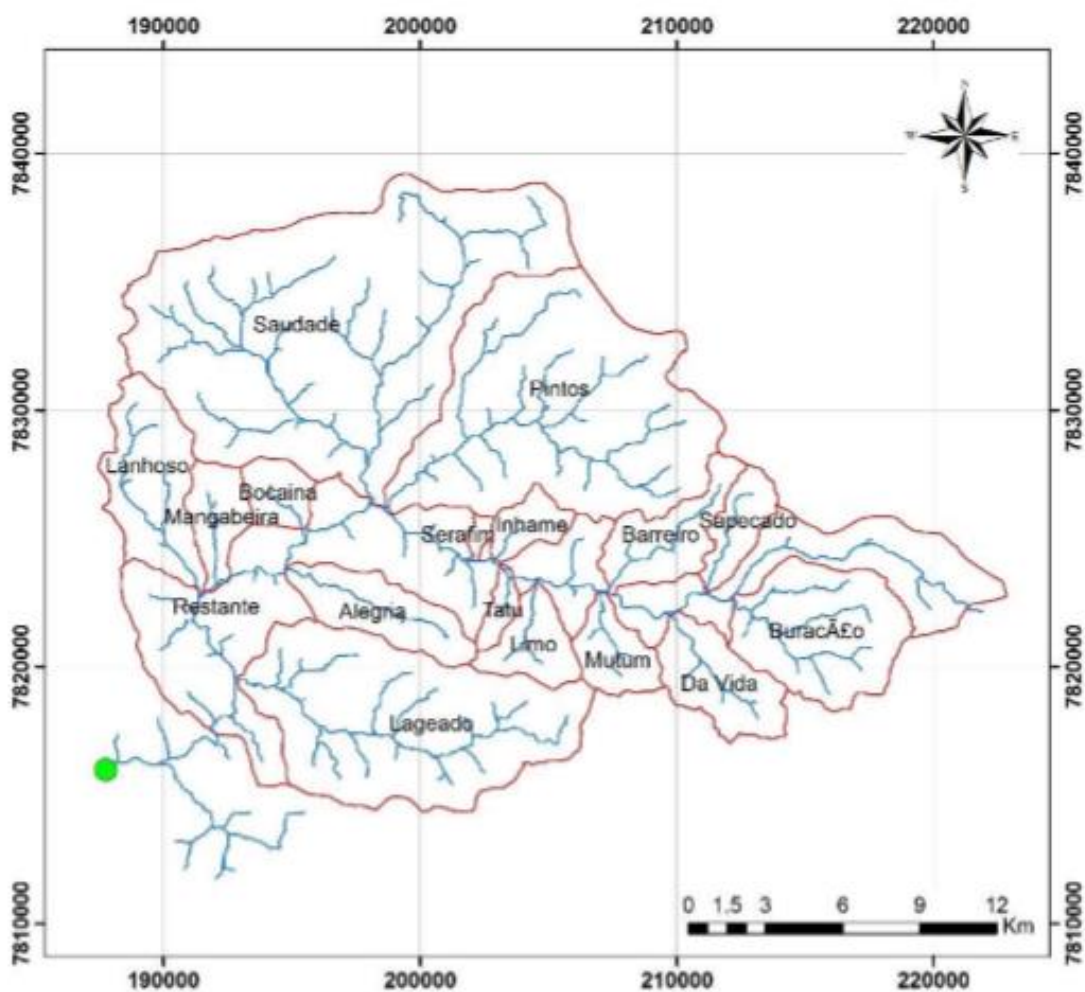


Figura 04 – Divisão hidrológica da MbHARU – Plano de Manejo.

FONTE: Plano de Manejo (s/d).

As principais unidades de solo são determinadas pelo material de origem, em ações dinâmicas formadas por compostos orgânicos e inorgânicos. São formados por horizontes e modificam-se de acordo com as influências climáticas, trazendo-lhe uma diferenciação pedológica em relação ao seu material de origem e dos processos pedogenéticos (EMBRAPA, 2006).

Os solos brasileiros estão sob domínio climático tropical e são muito heterogêneos. Sua diversidade está relacionada às condições ambientais e ao intemperismo a que estão expostos seus materiais de origem (Abdala, 2012).

Neste trabalho, os solos da APA do Rio Uberaba foram identificados em 3 tipos, sendo eles: Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho Amarelo e Argissolo Vermelho Amarelo (Figura 05).

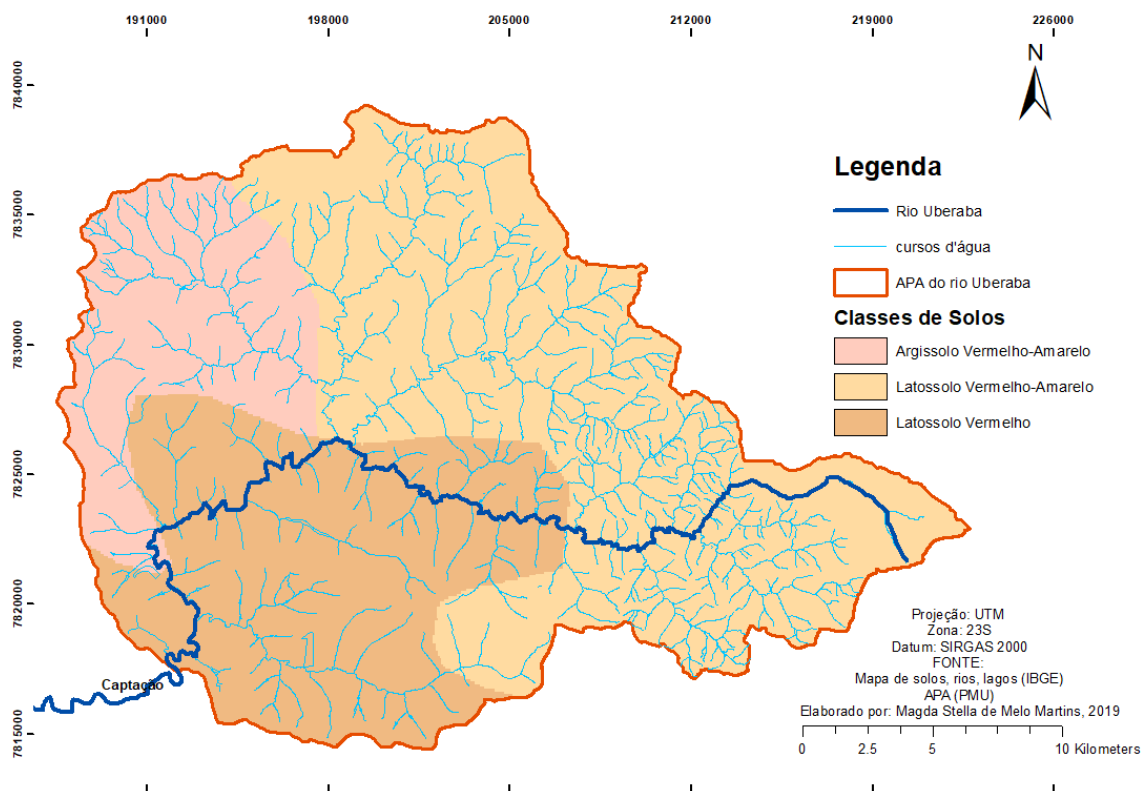


Figura 05 – Solos da MbHARU.

Os Latossolos Vermelhos possuem altos teores de óxidos de ferro em seu material de origem e estão presentes, preferencialmente, em relevos planos e suavemente ondulados. O desenvolvimento radicular da cobertura vegetal pode ser intenso, por serem solos profundos. Os solos de textura argilosa ou muito argilosa são suscetíveis à compactação (Ageitec, 2019). Apresentam baixa disponibilidade de água, são solos profundos e possuem uniformidade na sua estrutura. São solos propícios à agropecuária, sendo indicada a adubação devido aos seus baixos teores de fósforo em condições naturais (Ageitec, 2019).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos apresentam um acúmulo de argila com cores vermelho-amareladas devido a sua composição de óxidos de ferro. Ocorrem em relevos movimentados, correlacionados as rochas cristalinas. São solos profundos, porém de baixa fertilidade natural, possui características fortemente ácidas e argilas de baixa atividade, demandam manejo com calagem e adubação. Na APA do Rio Uberaba, observa-se que sua característica suave ondulada propicia o manejo deixando o sistema suscetível a erosões (Plano de Manejo da APA do Rio Uberaba, s/d) (Ageitec, 2019).

O processo geomorfológico da formação da área da microbacia hidrográfica da APA do rio Uberaba (MbHARU) é caracterizado por 4 compartimentos (Figura 06).

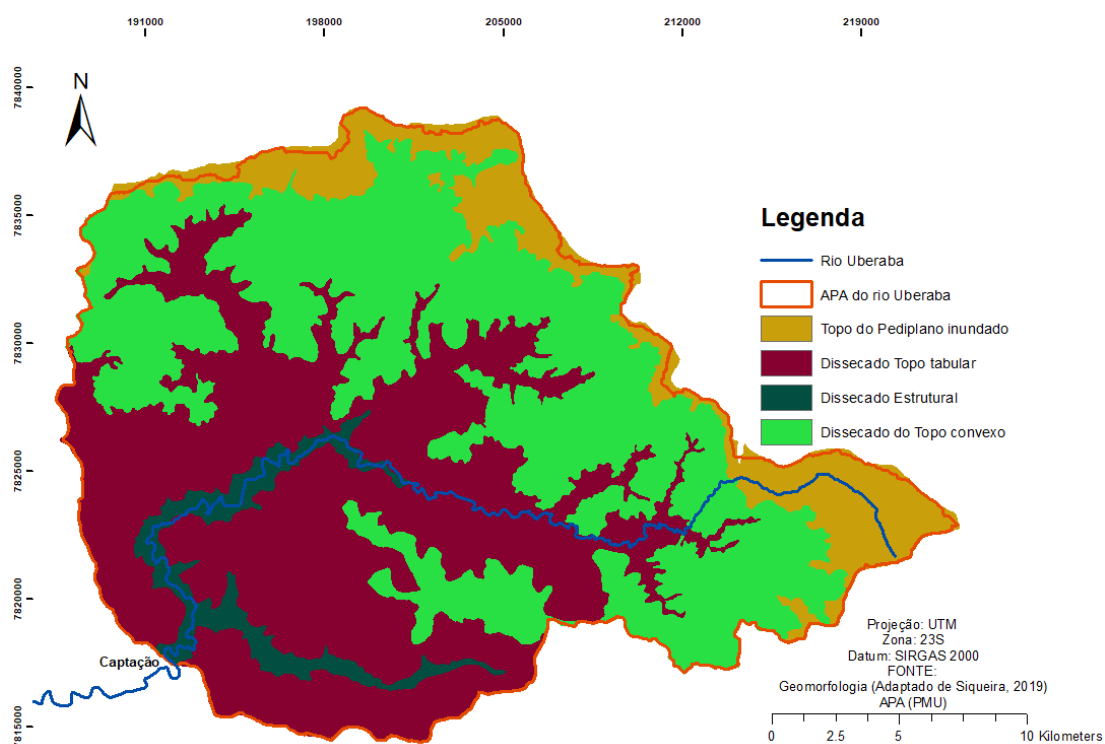


Figura 06 – Geomorfologia da MbHARU. FONTE: A autora, adaptado de Siqueira (2019).

O uso/ocupação do solo é predominante com o sistema de pecuária, apresentando a pastagem como paisagem dominante (Silva, 2018; Valera, 2017; Abdala, 2012; Valle Júnior., 2008), porém, Valle Júnior. (2008) e Abdala (2012) destacam que a partir da década de 90 esta atividade perdeu espaço para a agricultura, que vem avançando gradativamente na região. Siqueira (2019) destaca a diversidade de atividades, percorrendo desde o cultivo de grãos, pecuária, mineração e silvicultura (Figura 07).

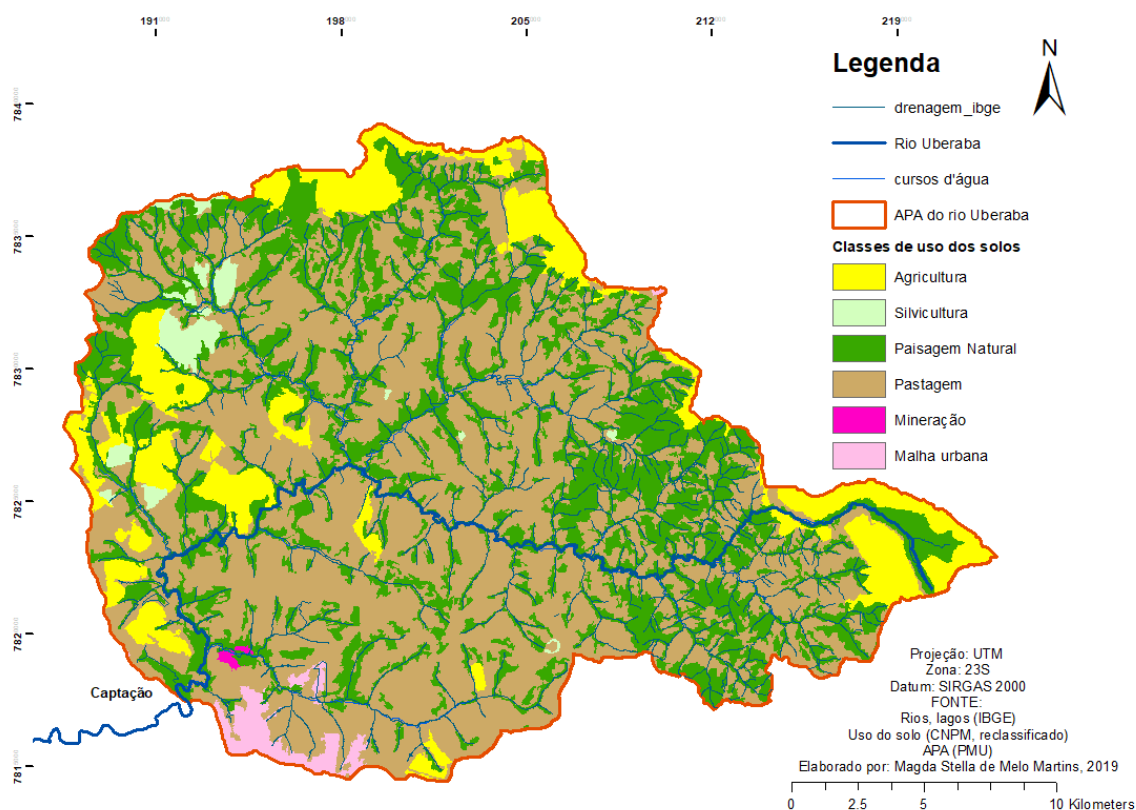


Figura 07 – Uso e ocupação da MbHARU.

3.2 Caracterização física e hidrológica da MbHARU

Para simular o comportamento hidrológico da microbacia hidrográfica da APA do Rio Uberaba (MbHARU) foi necessário fazer uma caracterização física da área de estudo.

Para efetuar a divisão hidrológica, isto é, realizar a delimitação de compartimentos na MbHARU caracterizando fisicamente a área de estudo, foi selecionado um programa de modelo hidrológico para aplicação em bacias hidrográficas, *Soil and Water Assessment Tool - SWAT* desenvolvido no *Blackland Research Center da Texas Agricultural Station e USDA Agricultural Research Service*).

O modelo SWAT analisa o ambiente baseado na simulação hidrológica que é dividida em duas fases: a fase do ciclo hidrológico e a fase do itinerário dos processos do ciclo hidrológico, isto é, a movimentação da água no sistema. A partir da entrada de dados de altitude, solo, uso do solo e declividades, relacionados aos dados de clima, pode-se inferir os resultados de precipitação, infiltração, escoamento superficial e lateral, escoamento subsuperficial, armazenamento de água no sistema e o deflúvio dos terrenos da bacia hidrográfica (Neitsch et al., 2011).

Os processos do ciclo hidrológico são determinados a partir do uso da equação de equilíbrio hídrico e os resultados fornecem, além da descrição física dos compartimentos, o valor de cada fase hidrológica da bacia. De acordo com os valores obtidos das variáveis climatológicas, os processos serão diferentes em cada um dos compartimentos (sub-bacias), tendo em vista as condições geomorfológicas do terreno, solo e cobertura vegetal.

Quando as chuvas caem as gotas são interceptadas de acordo com as características estruturais da cobertura vegetal. O componente de redistribuição do modelo SWAT usa uma técnica de caminhamento da água da chuva para prever o fluxo de entrada de água no sistema. Os processos são analisados a partir do ciclo hidrológico (Figura 08), que associado às características físicas da área determinam o comportamento dos outros componentes de saída do sistema da bacia (sedimentos, nutrientes, evapotranspiração etc.).

A simulação no ambiente de microbacias e compartimentos hidrológicos é realizada para que se possa estudar os processos em regiões mais semelhantes e geoespaciais. Essas áreas são ambientes específicos que indicam a relação entre

os processos hidrológicos, o solo, o uso do solo e a declividade. A partir de uma análise da relação entre estes elementos da paisagem geomorfológica, o modelo incorpora equações de regressão para dividir a área e descrever a relação entre as variáveis de entrada e saída (Neitsch et al. 2011).

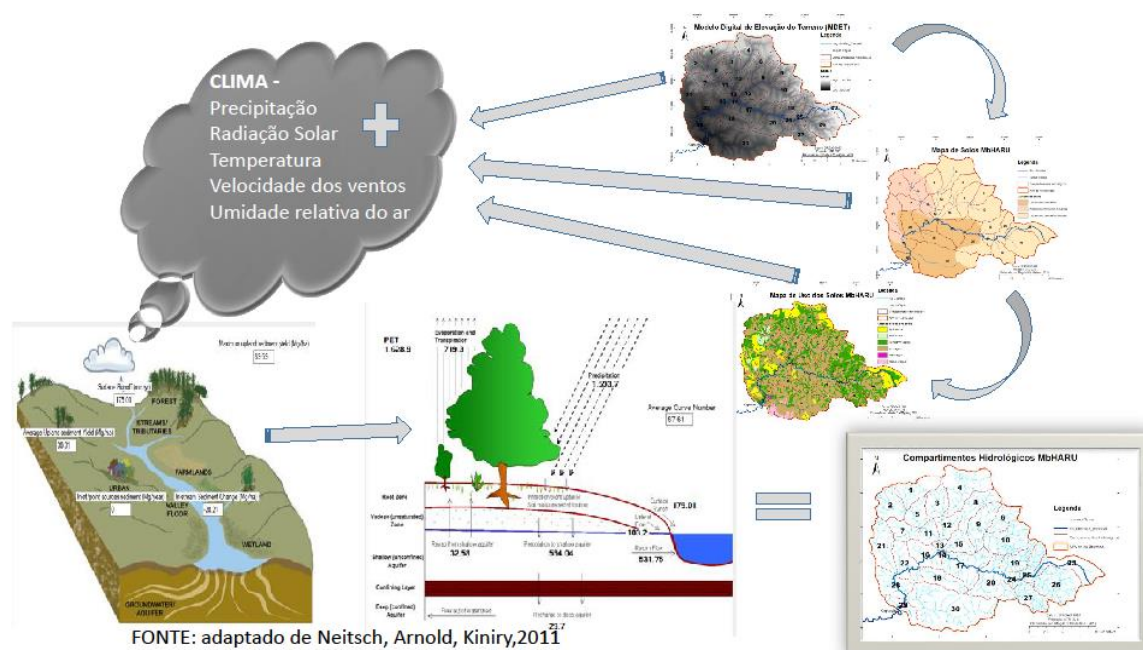


Figura 08 – Delimitação da MbHARU no modelo SWAT. FONTE: A autora, adaptado de (Neitsch et al. 2011).

Cada compartimento foi definido em consonância com o meio, para melhor compreender o espaço de gestão. Para isso, foram inseridas informações específicas sobre o meio, as propriedades do solo, o clima, a cobertura vegetal utilizada em cada sistema de produção, que são detalhadas a seguir:

Para a divisão hidrogeológica da MbHARU criou-se um projeto no modelo SWAT. Com os dados de altitude da área, na forma do modelo de elevação digital do terreno (MEDT) foram delineados os compartimentos hidrológicos, isto é, as sub-bacias hidrográficas da MbHARU. O MEDT foi elaborado pela EMBRAPA (1979b) e foi obtido no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. Os dados de altitude foram classificados, os valores mais baixos corresponderam

à rede de drenagem e os valores mais altos corresponderam ao contorno das microbacias hidrográficas e dos compartimentos hidrológicos, sendo as linhas formadoras dos divisores topográficos, delineados em planos de informação e elaborados para a entrada de dados do modelo SWAT.

A dinâmica do processo de erosão natural se desenvolve a partir dos pontos mais altos, para os pontos mais baixos, ocasionando a esculturação da paisagem. A partir do conceito da proporcionalidade entre o conjunto de valores de altitude, pode-se determinar um valor limiar T , que define o valor do limite entre os conjuntos de dados das menores altitudes e o conjunto de dados das maiores altitudes. O limite aceitável é alcançado por um patamar do mínimo e do máximo.

O conjunto de dados dos valores mínimos equivalem ao “fundo do vale” ou “drenos” de cada sub-bacia e o conjunto de dados dos valores máximos equivalem ao divisor das águas. Para o processo de compartimentalização foram adotados os critérios baseados na diferença de altitude entre os valores do conjunto de dados. Os dados de menores e maiores valores equivalem à porcentagem de área do pixel. Esse processo corresponde à altitude que fornece o limite dinâmico do processo de escoamento das águas das chuvas.

O limiar previsto tem efeito no escoamento da água no sistema dinâmico de cada região, que equivale ao compartimento hidrológico. Acima de um determinado valor, cumpre-se o limite da parte mais alta de onde ocorre o divisor de água e do local que parte o mesmo escoamento, que pode ocasionar o processo de erosão natural.

3.2.1 Solos

Os dados de entrada do mapa de solos utilizados no modelo foram: o número de camadas de cada solo (latossolos e argissolos); grupo hidrológico, maior profundidade da raiz no perfil do solo, porosidade, textura, densidade, condutividade hidráulica saturada, conteúdo de carbono orgânico, conteúdo de argila, silte, areia, e fator erodibilidade do solo (Pissarra, 2002; Arraes, 2009). Os

arquivos vetoriais das classes de solos foram elaborados pela Embrapa numa escala de 1:250.000 e adquiridos do banco de dados do IBGE (2001).

3.2.2 Clima

Os dados climáticos diários e mensais de precipitação, temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar foram obtidos junto ao site dos Dados Mundiais de Clima (USGS) na plataforma do SWAT. Segundo os registros, o banco de dados é oriundo de duas estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, situadas na mesorregião do Triângulo Mineiro - MG, são elas: Estação meteorológica de Conceição das Alagoas (A520), aberta em 16 de julho de 2006 e está localizada sob as coordenadas UTM -19.985860° e -48.151574° , numa altitude de 573 metros; e a Estação meteorológica de Uberaba (A568), aberta em 18 de maio de 2017 e está localizada sob as coordenadas UTM -19.710028° e -47.961889° , numa altitude de 778 metros.

Para analisar os dados do clima quanto ao coeficiente de variação foi utilizada a metodologia de Classificação do Coeficiente de Variação (Garcia, 1989) descrita pela Norma Técnica nº 171 de novembro de 1989, do Instituto de Pesquisa e Estudos Florestais (IPEF).

O clima na APA do Rio Uberaba fornece indicativos dos dados de umidade e energia que controlam o equilíbrio hídrico e determinam a importância relativa dos componentes dos ciclos hidrológicos. Os dados são incorporados ao modelo a partir de registros coletados nas estações descritas anteriormente. Para cada área será gerado um valor independente sem correlação espacial.

Os valores diários das variáveis climatológicas são gerados com os valores das médias mensais. Com a distribuição exponencial dupla da precipitação, a intensidade aumenta exponencialmente com o tempo até o máximo ou pico de intensidade. Quando o pico da intensidade é atingido, a intensidade da precipitação irá diminuir exponencialmente com o tempo, até o final do temporal (Neitsch et al., 2011).

3.2.3 Uso do solo

Os dados de uso do solo foram determinados considerando a cobertura da área rural predominante e a cobertura da área urbana. Os arquivos vetoriais das classes de uso dos solos foram elaborados pela Embrapa numa escala de 1:150.000 e adquiridos do banco de dados do IBGE (2013).

A partir do mapa elaborado pela Embrapa, seus resultados foram reclassificados com a ferramenta “reclassify” do ArcGis. As escolhas de reclassificação foram realizadas baseado na observação visual de imagens digital e na confirmação em campo do uso real. Desta forma, obteve-se os polígonos das principais classes de uso do solo na MbHARU, descritas na tabela 01:

TABELA 01 – Cobertura vegetal predominante na microbacia hidrográfica da APA do rio Uberaba (MbHARU).

SÍMBOLO – USO DO SOLO	CONCEITO
AGRL - Agricultura	Áreas com processos de produção agrícola.
URMD - Área Urbana	Áreas com expansão da malha urbana, com concentração próximo ao exultório da bacia da APA do Rio Uberaba.
FRST - Paisagem Natural	Áreas das matas nativas e áreas de preservação permanente.
UIDU - Mineração	Áreas com a atividade de mineração: lavras de basalto.
PAST - Pastagem	Áreas de pastagem.
EUCA - Silvicultura e/ou solo exposto	Áreas com predomínio de silvicultura

Segundo Neitsch et al. (2011), o modelo SWAT utiliza a unidade de aquecimento acumulada e a unidade de aquecimento potencial das plantas para simular o crescimento do sistema radicular e da parte aérea. Os valores de temperatura do ar indicam a temperatura necessária que modela o crescimento

das plantas e assim determinam a retirada da água e dos nutrientes da zona das raízes, a partir da transpiração e produção/resultados da biomassa. Os autores ainda complementam que a simulação é realizada em cada compartimento hidrológico e a partir do equilíbrio hídrico é conduzido uma rotina de simulação, que indicará o que está acontecendo na bacia hidrográfica.

3.2.4 Declividade

A partir do Modelo Digital de Elevação do Terreno (MDET) a declividade do terreno foi calculada em percentual utilizando a ferramenta “slope” e seus resultados reclassificados com a ferramenta “reclassify” do ArcGis seguindo os intervalos da EMBRAPA (1979). A classificação da EMBRAPA considera terrenos com até 75% de declividade, intervalo que foi desconsiderado por não ser encontrado na área de estudo.

3.3 Caracterização Morfométrica

Para realizar a análise morfométrica de cada compartimento hidrológico, foram calculados os parâmetros dimensionais como área e perímetro da bacia, declividade, elevação no processo de delineamento da bacia. Na ferramenta de medidas do ArcGis foram determinados os valores de comprimento da rede de drenagem, comprimento da bacia e do canal principal. Em seguida, foi possível determinar os índices relacionados a forma da bacia (fator forma (Ff), coeficiente de compactidade (Kc) e índice de circularidade (Ic)); forma de relevo (razão de relevo (Rr) e declividade (D%)), escoamento (densidade de drenagem (Dd) e índice de sinuosidade (Is)); além de determinar o coeficiente de rugosidade (RN).

Na tabela 02 observa-se a descrição de cada parâmetro morfométrico. Esses parâmetros foram utilizados para determinar o índice de vulnerabilidade da APA do rio Uberaba (MbHARU) em região hidrológica (compartimentos).

TABELA 02 – Descrição dos parâmetros morfométricos e seus conceitos.

PARÂMETRO	CONCEITO	FÓRMULA / Autores*	DESCRIÇÃO
A – Fator forma (Ff)	Compara a bacia de acordo com a forma geométrica do retângulo, quanto mais comprida for a bacia, menos tendência a enchentes. Quanto mais próximo de 1, maior tendência a enchentes.	$Ff = A (C^2)^{-1}$ (Horton, 1945) (1)	Ff é o fator forma; A é a área de drenagem (km ²) e C é o comprimento da bacia (km).
A – Índice de circularidade (Ic)	Reflete o quão a bacia se aproxima da forma circular	$Ic = 12,57 (A P^2)^{-1}$ (Miller, 1953) (2)	Ic é o índice de circularidade; A é a área de drenagem (km ²) e P é o perímetro (km).
A – Coeficiente de compacidade (kc)	Relaciona a bacia à forma de um círculo, quanto maior o Kc menos compacta ela é e portanto, menos tendência à enchente.	$Kc = 0,28 (P \sqrt{A-1})^*$ (Vilella e Matos, 1975) (3)	Kc é o coeficiente de compacidade, P é o perímetro (m) e A é a área de drenagem (m ²).
B – Declividade (%)	Quanto maior for o declive maior será a velocidade de escoamento.	$D\% = \frac{\sum C_n \Delta H}{A^{1*}}$ (4)	D é declividade média (%), C _n é o comprimento de cotas, ΔH é a equidistância entre as cotas e A é a área em km ²
B – Razão de relevo (Rr)	Compara a altimetria das regiões demonstrando que, quanto mais acidentado o relevo, maiores os valores (Rodrigues, 2017).	$Rr = H C^{-1}$ Schumm (1956) (5)	Rr é a razão de relevo; H é a amplitude altimétrica (m) e C é o comprimento da bacia (m).
C – Índice de sinuosidade (Is)	Indica o quão retilíneo são os percursos dos rios	$Is = (C_{cp} dv^{-1})^*$ (6)	Is é o índice de sinuosidade; C _{cp} é o comprimento do canal principal (m) e dv é a distância vetorial do canal principal (m).
C – Densidade de drenagem (Dd)	Quanto maior a densidade de drenagem de uma bacia, maior será a tendência para a ocorrência de cheias	$Dd = L A^{-1}$ (Horton, 1945) (7)	Dd é a densidade de drenagem (km/km ²), L é o comprimento total dos cursos d'água (km) e A é a área de drenagem (km ²).
Coeficiente de rugosidade (Rn)	Correlaciona a aptidão para o uso do solo. Quanto maior, mais tendência à erosão.	$Rn = Dn D\%$ (Rocha, 1998) (8)	Rn é o coeficiente de rugosidade, Dn é a densidade de drenagem (km (km ²) ⁻¹) e D é a Declividade média (%).

*Fórmula em que a bibliografia não descreve seu autor; A – Características em relação a forma; B – Características de topografia; C – Características de drenagem.

O coeficiente de rugosidade não foi inserido na equação do índice de vulnerabilidade devido ao fato do mesmo ser qualitativo e não quantitativo. Porém, determina-lo é de fundamental importância como instrumento de gestão.

3.4 Índice de Vulnerabilidade

O índice de vulnerabilidade natural do ambiente foi idealizado para definir o grau em que um sistema natural está suscetível ao processo de erosão natural e tem menor capacidade de resiliência, tendo em vista a conformação geomorfológica do sistema de drenagem de uma bacia hidrográfica, considerando as ações naturais de esculturação da paisagem ao longo dos tempos.

O cálculo da média ponderada dos sete parâmetros para obter a classificação da vulnerabilidade das áreas foi idealizado de acordo com a equação a seguir:

$$IV = [Ff_{cl} + Ic_{cl} + kc_{cl} + D\%_{cl} + (1.33 Rr_{cl}) + Dd_{cl} + (0.8 Is_{cl})] / 7 \quad (9)$$

em que:

Iv é o índice de vulnerabilidade,

Ff_{cl} é a classe do fator forma,

Ic_{cl} é a classe do índice de circularidade,

kc_{cl} é a classe do coeficiente de compacidade,

$D\%_{cl}$ é a classe da declividade percentual,

Rr_{cl} é a classe da razão de relevo,

Dd_{cl} é a classe da densidade de drenagem e

Is_{cl} é a classe do índice de sinuosidade.

Cada compartimento hidrológico da MbHARU foi caracterizado por estes parâmetros, a partir dos dados morfométricos que definem a geomorfologia natural do terreno. Em cada região também foram definidos o solo, o uso do solo e a

declividade predominante, no intuito de verificar as fragilidades que colocam a área em estado de vulnerabilidade, ou seja, suscetível a degradação.

Para desenvolver essa classificação no índice de vulnerabilidade, cada parâmetro foi reclassificado com pesos de 1 a 4 para cada classe já estabelecida por outros autores. Os valores foram apresentados no item resultados e discussão e cada tabela apresenta uma classificação cromática, sendo verde para classe 1, azul para classe 2, laranja para classe 3, vermelho para classe 4 e laranja escuro para classe 5

Os fatores de razão de relevo e índice de sinuosidade, receberam por seus autores, respectivamente 3 e 5 classes. Para equiparar seus pesos com os demais, foi feito um fator de correção (apresentado no item resultados e discussão) para os dois, respectivamente 1.33 e 0.8. Desta forma todos os parâmetros tiveram até 4 pesos.

Após isso, realizou-se a média ponderada dos sete parâmetros obtendo uma classificação para a vulnerabilidade das áreas a partir da equação (1).

Os três parâmetros relacionados a forma (F_f , I_c e K_c), por possuírem uma similaridade na classificação e na análise de tendência foram unificados por Rodrigues (2017) em uma única tabela, que da mesma forma adaptaram pesos em um intervalo de 1 a 4 para cada classe já estabelecida por outros autores.

Após, realizou-se a média ponderada dos sete parâmetros obtendo uma classificação para a vulnerabilidade natural da MbHARU.

Já para calcular os intervalos das classes para o índice de vulnerabilidade, aplicou-se a fórmula encontrada com o valor mínimo para os parâmetros morfométricos, obtendo o menor índice possível. Este resultado foi estabelecido como intervalo de magnitude para as sucessivas classes.

Desta forma, baseado nas características físicas de cada compartimento hidrológico foram calculados índices que geraram uma avaliação das fragilidades da área através do índice de vulnerabilidade em cada compartimento hidrológico da MbHARU.

3.5 Simulação Hidrológica da MbHARU

A simulação hidrológica foi realizada no modelo hidrológico ArcSWAT 2009 (*Soil and Water Assessment Tool*), na base DEM (Miranda et al., 2011), com a interface em sistema de informação geográfica ArcGIS 9, versão ArcMap 9.3.1 (ESRI ArcGIS 9®). Toda a metodologia seguiu os preceitos dos trabalhos desenvolvidos por Neitsch et al. (2010).

A configuração da bacia hidrográfica foi realizada em compartimentos hidrológicos (HC), possuindo um posição geográfica espacialmente relacionada nos pontos de confluência e vazão para outro curso do rio, convergindo toda a vazão da bacia para o exutório da MbHARU. As principais subbacias foram delineadas com o objetivo de gestão agropecuária e no ponto de junção entre as redes de drenagem de cada HC foi determinado um algoritmo que requer três pontos conhecidos de coordenadas: XPR; YPR; ELEVATION, longitude, latitude e altitude, respectivamente. Em cada ponto foi estimado, a partir do DEM da bacia, a direção do fluxo corrente de água, a declividade e os canais de drenagem (Neitsch et al., 2010).

Para a sobreposição das características físicas das subbacias, os mapas temáticos de uso do solo, solo e declividade foram gerados empregando-se técnicas de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica, já descritos anteriormente. Os dados foram submetidos à estatística multivariada, na análise de agrupamentos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização física e hidrológica da MbHARU

A MbHARU foi dividida em regiões hidrológicas pelo modelo SWAT, a partir dos dados de altitude do terreno obtidos no modelo digital de elevação do terreno (MDET) (Figura 09).

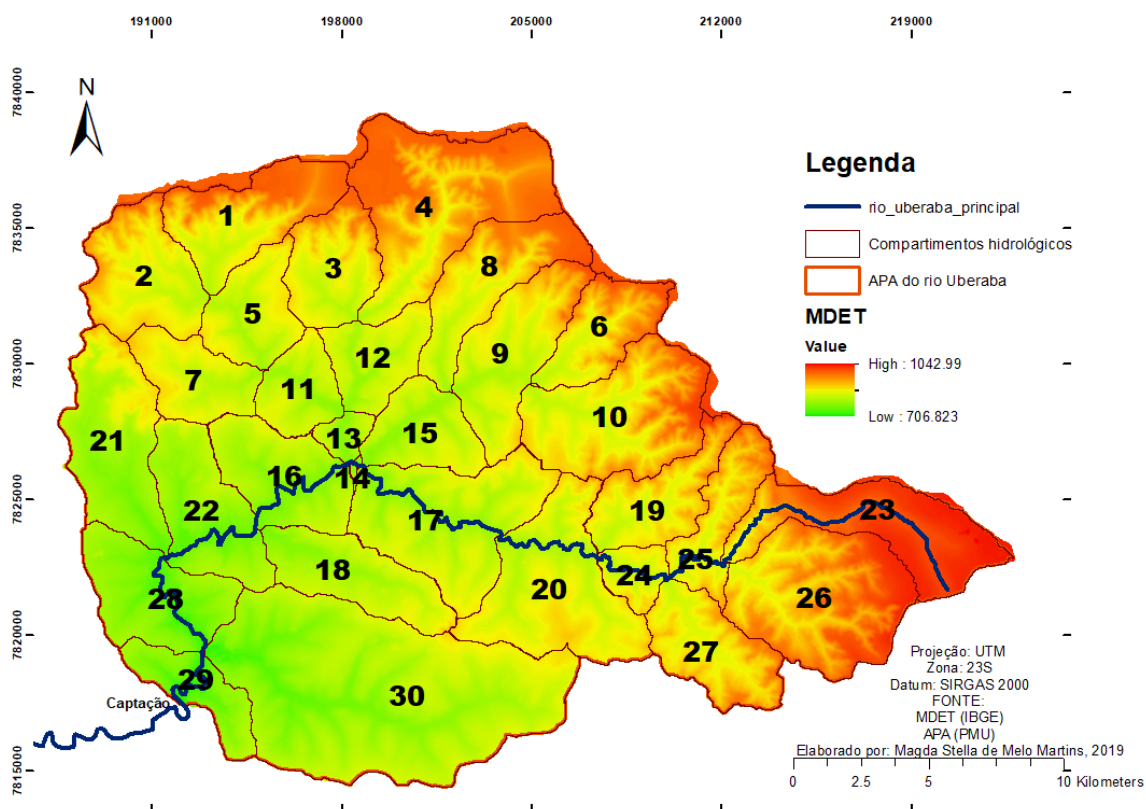


Figura 09 – Divisão dos compartimentos hidrológicos no modelo digital de elevação do terreno (MDET).

Os ambientes foram divididos considerando a rede de drenagem (partes mais baixas do terreno) e os divisores topográficos (partes mais altas do terreno), conformando 30 (trinta) HCs, que correspondem às sub-bacias e áreas de drenagem (Figura 10).

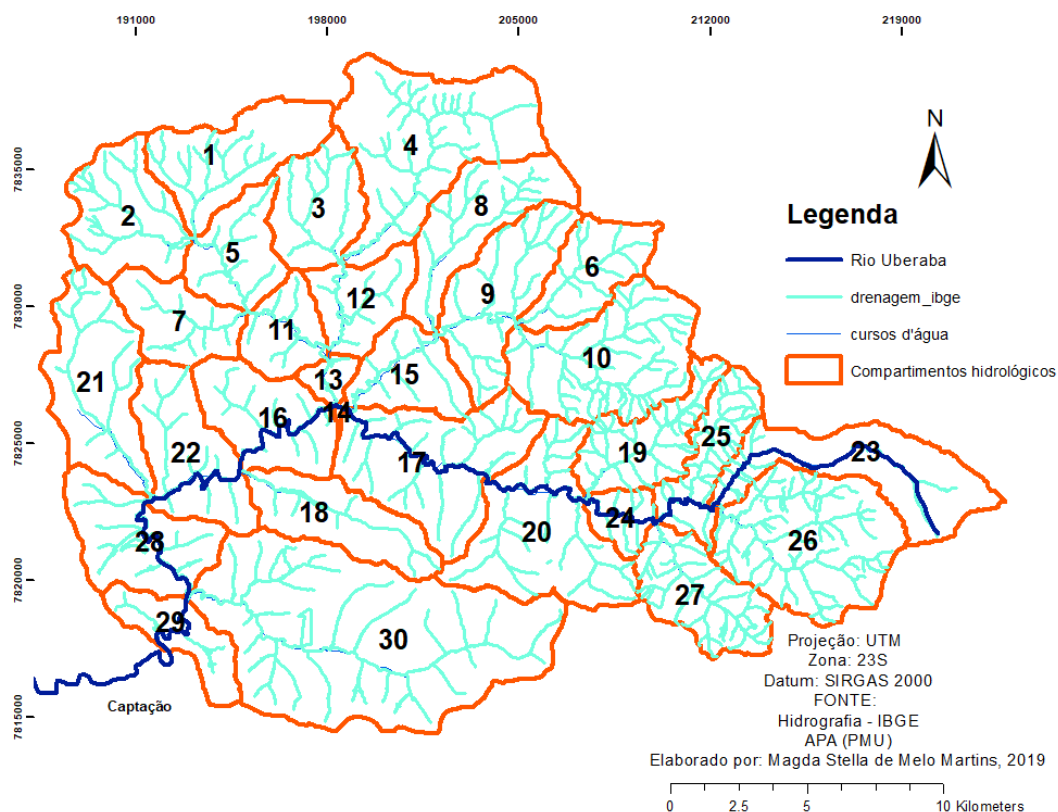


Figura 10 – Compartimentos hidrológicos da MbHARU.

A compartimentalização da MbHARU reflete a extensão ou superfície de escoamento de um rio central (Rio Uberaba) e seus afluentes situados em áreas de maiores altitudes do relevo por divisores topográficos, no qual as águas das chuvas, ou são drenadas superficialmente gerando os rios e riachos, ou infiltram no solo para formação de nascentes e do lençol freático.

A razão desta divisão norteou a discussão da importância dos aspectos hidrológicos, abrangendo o estudo da estrutura biofísica, do uso do solo, da declividade e do solo e suas implicações ecológicas. No âmbito da geomorfologia, a área foi subdividida em 30 compartimentos interdependentes, definidos por uma área de terra firme (vertentes) e um vale de formações que drenam as águas fluviais.

Cada região hidrológica desempenha uma função ecológica que regula os processos do ciclo hidrológico de acordo com o solo, uso do solo e declividade. De modo geral, as regiões apresentam um compartimento de gestão ambiental, e a divisão por essa metodologia é de suma importância, não apenas para definir cada compartimento, mas também para e melhor compreensão da bacia hidrográfica da APA do Rio Uberaba (MbHARU). Cada região é um espaço geofísico estratégico onde as formas de manejo e práticas conservacionistas deverão acontecer de forma sustentável, considerando as atividades sociais e econômicas em termos regionais.

Cada compartimento foi delimitado pelo divisor de águas que separa os compartimentos adjacentes e que foi determinado no modelo digital de elevação considerando as altitudes do terreno da MbHARU (Figura 9). As águas oriundas da precipitação caem na região e saem de cada compartimento pela seção definida. Assim, o conceito de compartimento hidrológico (CH) pode ser entendido através de dois aspectos: relevo (Figura 9); rede hidrográfica (Figura 10), onde cada região sugere um potencial de resposta de acordo com a geomorfologia (Santos et al, 2019).

Marmontel (2018) descreve que estas compartimentalizações ocorrem de acordo com o número de combinações entre as características do solo, uso do solo e classe de declividade, bem como, pontos de controle e monitoramento da qualidade das águas superficiais e do solo. Neste contexto, ressalta-se que nos compartimentos CH 17 e CH 20 ocorrem pontos de monitoramento do IGAM, com dados de qualidade da água (fósforo e nitrogênio), e no CH 29 tem-se os dados de vazão.

4.1.1 Solos

Os tipos de solos da MbHARU foram obtidos no banco de dados do IBGE, quantificados em área (Tabela 03) e no espaço geográfico conforme Figura 11.

TABELA 03 – Área dos solos predominantes na MbHARU, conforme descrito pela EMBRAPA (1979).

TIPO DE SOLO	ÁREA	%
Latossolo Vermelho-Amarelo	26514.65	51.14
Latossolo Vermelho	16584.45	31.99
Argissolo Vermelho-Amarelo	8745.46	16.87

Em relação aos tipos de solo encontrados na microbacia da APA do Rio Uberaba (MbHARU), percebe-se que há uma predominância para os Latossolos Vermelho-Amarelo (Figura 11). Fontana (2016) reconheceu que os Latossolos da região do cerrado, de uma forma em geral, possuem altos teores de alumínio e baixos teores de Cálcio e Magnésio. Outra característica é que as áreas desse solo com vegetação nativa possuem menor resistência a penetração. Isso ocorre devido ao uso de máquinas agrícolas no manejo, provocando uma maior compactação. Entretanto, esses solos possuem uma organização estrutural de desagregar grandes torrões, fato que os deixam propensos a processos erosivos.

Siqueira (2019) destaca que, como esses solos estão identificados em área de relevo suavemente ondulado, são muito utilizados nas atividades agrossilvopastoris. Já no Plano de Manejo (s/d) considerou-se que as características físicas dos Latossolos são apropriadas para áreas de recarga de aquífero na APA. Portanto é necessário desenvolver atividades nessas áreas com práticas conservacionistas, pois o manejo inadequado pode influenciar tanto na má conservação do solo, como na diminuição da quantidade e qualidade hídrica.

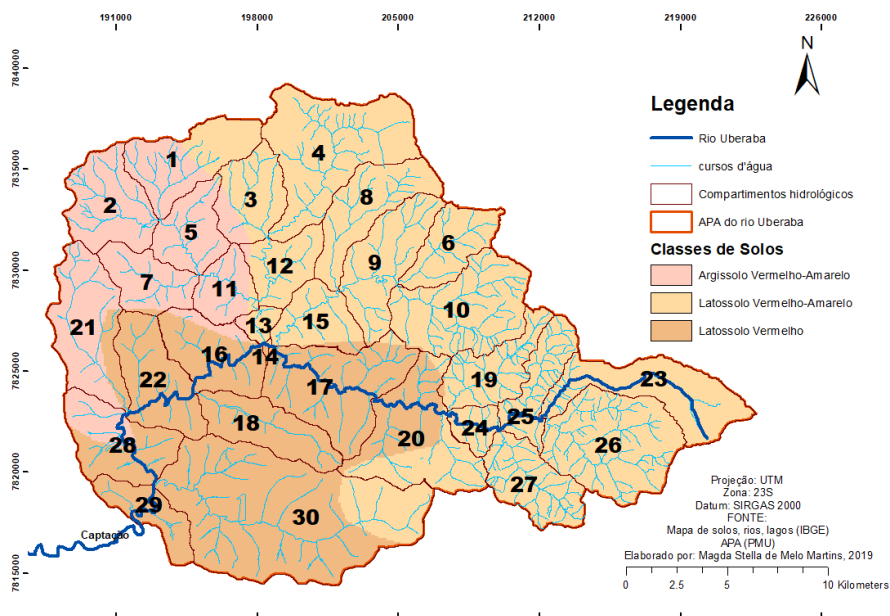


Figura 11 – Classes de solos nos compartimentos hidrológicos da MbHARU.

Quanto às áreas de Argissolos Vermelho-Amarelo, conforme já relatado pela Ageitec (s/d), são solos de baixa fertilidade com tendência a acúmulo de argila, portanto propensos à erosão (Siqueira, 2019). Na APA do Rio Uberaba eles se encontram em região com declividade acima de 20%, fato que requer maior atenção ao manejo, demandando adubação e calagem para as pastagens, uma das atividades desenvolvidas na região, além da silvicultura e florestas (Siqueira, 2019).

Nesse sentido, Colodel et al. (2018) constataram que independente do manejo adotado, a ocupação do solo para pastagem reduz a macroporosidade e a porosidade total desse solo, deixando-o propenso à erosão.

O processo de degradação das terras causam baixa produtividade, pobreza humana e redução da proteção do solo. A perda de áreas produtivas pelo processo erosivo provocam a procura e a abertura de novas áreas agrícolas. No processo de assoreamento dos rios, as partículas do solo são depositadas nas depressões do terreno, ao longo do percurso, nos fundos de vales ou em cursos

de água. Diante do exposto, chega-se à conclusão que é necessário ter atenção ao processo de degradação da APA do Rio Uberaba, pois a mesma apresenta características muito susceptíveis à erosão e ao manejo inadequado, que podem ser cruciais para o aumento da perda da qualidade da água.

4.1.2 Clima

As duas estações meteorológicas, de Uberaba e Conceição das Alagoas (respectivamente Tabelas 04 e 05) forneceram dados de precipitação, umidade do ar, temperatura, radiação solar e ventos.

TABELA 04 – Variáveis da Estação climatológica do INMET Uberaba para a APA do Rio Uberaba no período de janeiro de 1979 a julho de 2014.

Variável	Tempo (anos)	Maior	Menor	Média	DP*	CV (%)**	Moda	Mediana
Precipitação (mm dia ⁻¹)	35	208.24	0.00	4.37	9.82	224.87	0.00	0.37
temperatura máx °C	35	43.62	10.79	28.43	4.04	14.22	27.60	27.98
temperatura mín °C	35	26.52	-2.10	17.48	2.91	16.67	18.64	18.04
Ventos m s ⁻¹	35	5.20	0.64	2.27	0.67	29.76	ND***	2.18
umidade relativa g kg ⁻¹	35	0.98	0.17	0.70	0.19	26.62	ND***	0.75
radiação solar	35	33.28	0.85	20.24	6.57	32.45	19.65	20.43

* DP - Desvio padrão; **CV - coeficiente de variância; ***ND - não determinado

FONTE: Estação Climatológica de Uberaba (INMET)

Nos dados meteorológicos, as variáveis como precipitação, temperatura, velocidade do vento, umidade relativa do ar e radiação solar foram disponibilizadas numa série temporal de 35 anos (1979 a 2014). Os valores obtidos das variáveis das duas estações climatológicas estudadas estão próximos, confirmando a integridade dos dados. Allen (1996) afirma que, ao comparar dados de estações vizinhas e nesta comparação não ocorrer alterações abruptas, os dados tornam-se confiáveis para análise. Torres et al. (2016) discorrem que em séries temporais extensas de 35 anos, os dados estimados apresentam integridade física.

Tabela 05 – Variáveis da estação climatológica do INMET de Conceição das Alagoas para a APA do Rio Uberaba no período de janeiro de 1979 a julho de 2014.

Variável	Tempo (anos)	Maior	Menor	Média	DP*	CV (%)**	Moda	Mediana
Precipitação (mm dia ⁻¹)	35	215.89	0.00	4.83	10.24	211.78	0.00	0.48
temperatura máx °C	35	43.78	10.30	28.82	4.14	14.35	27.90	28.38
temperatura mín °C	35	17.19	-1.00	17.80	2.98	16.76	18.32	18.37
Ventos m s ⁻¹	35	5.21	0.60	2.21	0.64	29.11	ND***	2.13
umidade relativa g kg ⁻¹	35	0.98	0.17	0.70	0.19	27.62	ND***	0.75
radiação solar	35	33.13	0.79	19.98	6.64	33.23	17.35	20.22

* DP - Desvio padrão; **CV - coeficiente de variância; ***ND - não determinado

FONTE: Estação Climatológica de Conceição das Alagoas (INMET)

Os coeficientes de variação, que apresentaram os valores de 224,87% e 211,78%, respectivamente nas estações de Uberaba e Conceição das Alagoas, resultam da diferença de precipitação diária ao longo dos 35 anos que variaram de 0mm a 208,24mm e 215,89mm, nas estações, respectivamente. As chuvas, durante o período de verão são intensas e durante o inverno ocorrem dias secos.

Para melhor interpretar o grau de variabilidade das amostras, quanto ao coeficiente de variação, utilizou-se a metodologia de Classificação do coeficiente de variação (Garcia, 1989) descrito nas Tabelas 06 e 07, respectivamente das estações meteorológicas de Uberaba e Conceição das Alagoas.

TABELA 06 – Classificação do coeficiente de variação dos dados da Estação Climatológica de Uberaba.

Variável	Tempo (anos)	DP*	CV (%)**	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MUITO ALTO
				<(X - S)	(X-S) a (X+S)	(X+S) a (X+2S)	> (X+2S)
Precipitação	35	9.82	224.87	215.05	215.05 a 234.68	234.68 a 244.50	>244.50
temperatura máxima	35	4.04	14.22	10.18	10.18 a 18.26	18.26 a 22.30	>22.30
temperatura mínima	35	2.91	16.67	13.75	13.75 a 19.58	19.58 a 22.49	>22.49
ventos	35	0.67	29.76	29.09	29.09 a 30.44	30.44 a 31.11	>31.11
umidade relativa do ar	35	0.19	26.62	26.44	26.44 a 26.81	26.81 a 27.00	>27.00
radiação solar	35	6.57	32.45	25.88	25.88 a 39.01	39.01 a 45.58	>45.58

* DP - Desvio padrão; **CV - coeficiente de variação

S = Desvio Padrão X = Coeficiente de variação

FONTE: Estação Climatológica de Uberaba (INMET) adaptado de Garcia (1989)

TABELA 07 – Classificação do coeficiente de variação dos dados da Estação Climatológica de Conceição das Alagoas MG

Variável	Tempo (anos)	DP*	CV (%)**	BAIXO	MÉDIO	ALTO	MUITO ALTO
				<(X - S)	(X-S) a (X+S)	(X+S) a (X+2S)	> (X+2S)
Precipitação	35	10.24	211.78	201.55	201.55 a 222.02	222.02 a 232.26	>232.26
temperatura máxima	35	4.14	14.35	10.22	10.22 a 18.49	18.49 a 22.63	>22.63
temperatura mínima	35	2.98	16.76	13.77	13.77 a 19.74	19.74 a 22.72	>22.72
ventos	35	0.64	29.11	28.47	28.47 a 29.76	29.76 a 30.40	>30.40
umidade relativa do ar	35	0.19	27.62	27.43	27.43 a 27.81	27.81 a 28.01	>28.01
radiação solar	35	6.64	33.23	26.59	26.59 a 39.87	39.87 a 46.51	>46.51

* DP - Desvio padrão; **CV - coeficiente de variação

S = Desvio Padrão X = Coeficiente de variação

FONTE: Estação Climatológica de Conceição das Alagoas (INMET), adaptado com a metodologia de Garcia (1989)

Diante dos resultados, pode-se confirmar a média heterogeneidade entre os valores dos parâmetros para as duas estações.

4.1.3 Uso do solo

Para caracterizar o uso do solo na MbHARU foram vetorizadas 6 classes de uso (Figura 12), de acordo com a realidade de campo. Na tabela 08, os resultados apresentam uma predominância para o uso de pastagem.

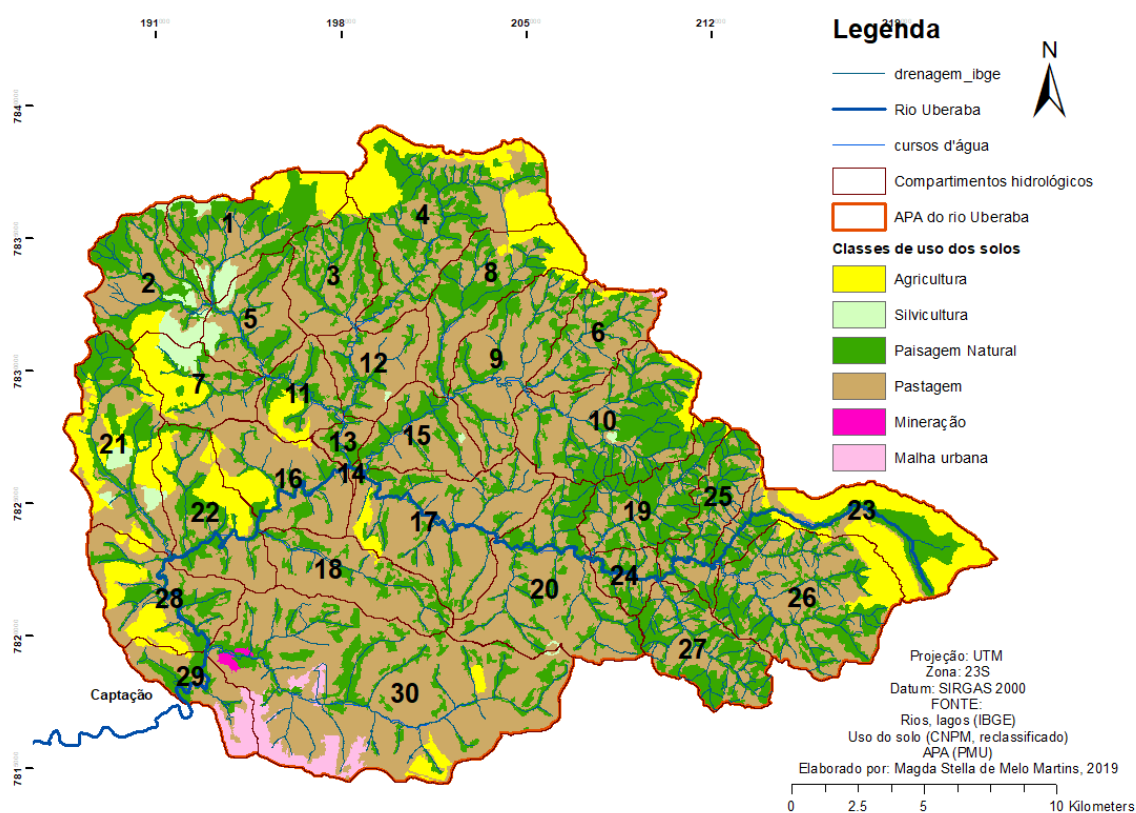


Figura 12 - Uso dos solos da MbHARU.

TABELA 08 – Área e porcentagem do uso do solo na MbHARU.

CLASSE DE USO	ÁREA	%
Pastagem (PAST)	27637.91	53.31
Paisagem Natural (FRST)	16875.79	32.55
Agricultura (AGRL)	5814.08	11.21
Solo Exposto - Silvicultura (EUCA)	750.5504	1.45
Área Urbana (URMD)	717.55	1.38
Mineração (UIDU)	48.68	0.09

Considerando as informações de uso e ocupação do solo, que foram extraídas dos arquivos da Embrapa, observa-se a predominância da pastagem na APA do Rio Uberaba com 53,31% de ocupação, que também foi evidenciada por Siqueira (2019); Valle Jr. et al (2019) e no Plano de Manejo da APA do Rio Uberaba. (s/d).

A maioria dos estudos relativos ao uso e ocupação da região levam em consideração a bacia do Rio Uberaba. Como a microbacia da APA do Rio Uberaba envolve apenas o alto curso do rio, não é pertinente fazer um comparativo, mas ressaltam-se os trabalhos desenvolvidos por Pereira (2016) e Rodrigues e Utsumi (2019), que observaram que nos períodos de 2001 a 2009 e 2004 e 2014 houve uma expansão do cultivo da cana de açúcar em detrimento da floresta nativa e pastagem. Porém o Plano de Manejo (s/d) reconhece que 45,71% da área da APA está ocupada por pastagens e Valle Júnior et al (2019) estima que 84.2% dessas pastagens estão degradadas.

Considerando as áreas de vegetação nativa (campo sujo e cerrado) descritas no Plano de Manejo Emergencial da Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba (2012), houve uma redução de 33,19%, se comparado com os dados de 2018.

Ainda são poucos os trabalhos descritos na região da microbacia hidrográfica da APA do Rio Uberaba (MbHARU). A maioria contempla a bacia do Rio Uberaba na sua totalidade e não apenas as bacias da região do alto curso do

rio (nascente). Sendo assim, percebe-se a necessidade de mais estudos, como este, buscando a construção de um histórico que possibilite tomadas de decisões assertivas para a melhoria na qualidade ambiental da região.

4.1.4 Declividade

A declividade da microbacia da APA do Rio Uberaba foi obtida através do banco de dados do IBGE (Figura 13) e quantificada em valores na Tabela 09:

A Embrapa classifica a declividade do solo como plano, de 0 a 3%; suave-ondulado, num intervalo de 3 a 8%; ondulado, de 8 a 20%; forte-ondulado, de 20 a 45% e montanhoso de 45 a 75%.

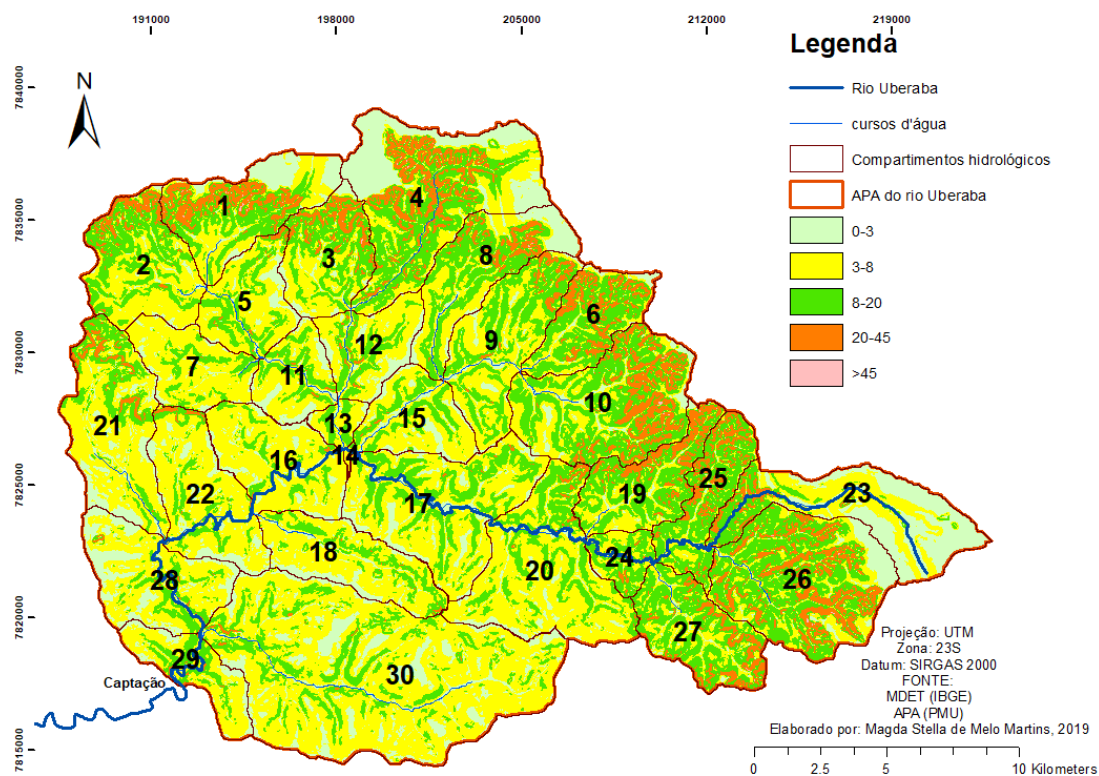


Figura 13 - Declividade dos compartimentos da MbHARU.

TABELA 09 - Declividade na MbHARU.

DECLIVIDADE	ÁREA	%
0 a 3%	8548.76	16.49
3 a 8%	23349.59	45.04
8 a 20%	15838.67	30.55
20 a 45%	4088.05	7.89

Levando em consideração esta classificação, foi realizado um perfil topográfico da MbHARU, em três cortes longitudinais, traçados com auxílio da ferramenta de perfil de elevação do Google Earth Pro, na extensão da área, para melhor visualizar a topografia do terreno, como pode ser observado na Figura 14.

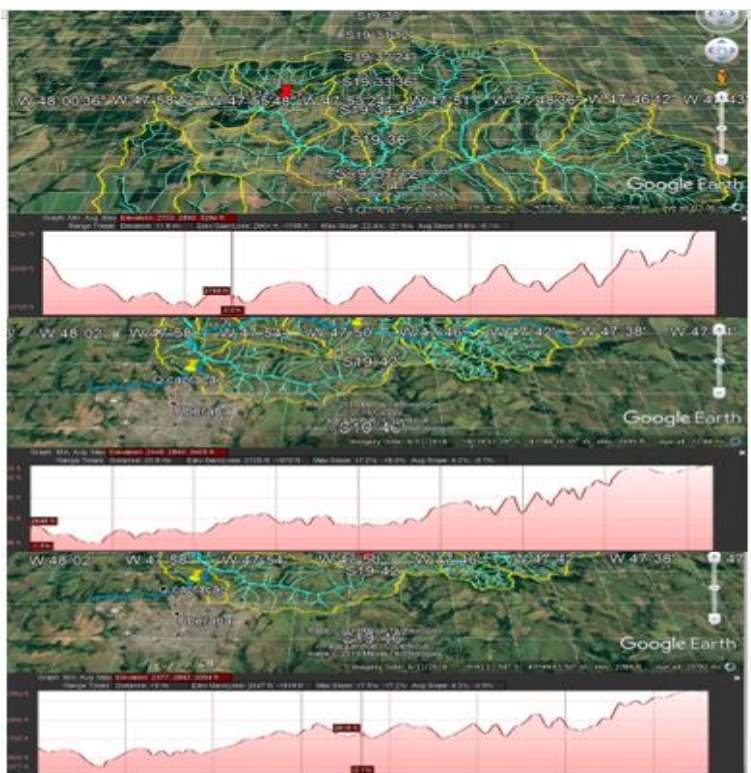


Figura 14 – Perfil topográfico traçado na extensão longitudinal nas porções norte, centro e sul da APA do Rio Uberaba.

A área da microbacia hidrográfica da APA do Rio Uberaba apresenta uma predominância de relevos ondulados a forte-ondulados.

Vale destacar que quanto maior a inclinação, maior será a probabilidade de perda de solo por processos erosivos mais intensos. Em decorrência disto, Valera (2017) entra em consonância com Siqueira (2019), quando apresentam em seus trabalhos a necessidade de proteção ripária em maior distância da já preconizada pelo Código Florestal brasileiro, nas áreas potenciais a maior risco de erosão.

Effgen et al (2012) desenvolveram uma pesquisa onde pode constatar que a declividade, independente da forma de uso do solo, ocasiona perdas por lixiviação. Para mitigar essas circunstâncias, é necessário aplicar boas práticas de manejo.

Nas zonas limítrofes ao norte da microbacia ocorrem regiões com quebras de relevo e declividade acentuada. Nestas regiões são necessárias a aplicação de práticas de manejo e conservação do solo e da água.

4.1.5 Caracterização dos compartimentos hidrológicos

Os dados dos principais solos e usos do solo; amplitude altimétrica e declividade dos compartimentos da MbHARU são apresentados na Tabela 10. Os principais solos são argissolos (PVA) e Latossolos (LVA). A predominância do uso ocorre para as atividades com pastagem, devido a alta atividade que envolve a criação e venda de animais para abate, caracterizada pela pecuária. Valle Jr. et al. (2019) relatam que 60% das pastagens estão degradadas. Já Abdala (2012) e Valera (2017) reconhecem que os três tipos de solo encontrados na APA do Rio Uberaba possuem como característica a susceptibilidade a erosão e os Latossolos Vermelho-Amarelo são pouco férteis, necessitando de adubação e manejo.

TABELA 10 – Principais solos e usos do solo; amplitude altimétrica e declividade dos compartimentos da MbHARU.

Compartimento	Tipo de solo	Uso do solo predominante	Amplitude Altimétrica (H) (m)	Declividade do terreno (%)
1	PVA	Paisagem Natural	186	11.50
2	PVA	Pastagem	195	9.93
3	LVA	Pastagem	183	11.00
4	LVA	Pastagem	192	10.43
5	PVA	Pastagem	163	7.10
6	LVA	Pastagem	187	13.86
7	PVA	Pastagem	123	5.98
8	LVA	Pastagem	201	9.71
9	PVA	Pastagem	201	8.79
10	LVA	Paisagem Natural	199	13.11
11	PVA	Pastagem	94	6.24
12	LVA	Pastagem	116	6.65
13	LVA	Pastagem	71	6.77
14	LV	Pastagem	54	5.82
15	LVA	Pastagem	104	6.23
16	PVA	Pastagem	120	5.33
17	LV	Pastagem	136	5.14
18	LV	Pastagem	153	5.83
19	LVA	Paisagem Natural	202	13.04
20	LV	Pastagem	154	5.83
21	PVA	Paisagem Natural	191	7.18
22	LV	Pastagem	149	5.74
23	LVA	Agricultura	195	5.40
24	LVA	Pastagem	98	9.28
25	LVA	Paisagem Natural	176	14.03
26	LVA	Pastagem	184	13.65
27	LVA	Paisagem Natural	159	12.22
28	LV	Pastagem	100	5.20
29	LV	Pastagem	120	6.46
30	LV	Pastagem	190	5.52

LV – Latossolo Vermelho; LVA – Latossolo Vermelho-Amarelo; PVA – Argissolo Vermelho-Amarelo.

De acordo com Viana (2018), a MbHARU possui uma amplitude altimétrica de 230 metros e sua altitude do ponto mais baixo (foz) é de 775m. Os dados variam entre 54m a 202m, estabelecidos respectivamente, nas MbHARU 14 e 19. Quanto à altitude, a MbHARU 29 possui a menor delas com 706 m, a MbHARU 23 possui a maior com 1042 m. A declividade permeia num intervalo entre 5,2% a 14,03%.

No Plano de Manejo (s/d) é descrito uma altitude entre os intervalos de 700-750m a 1050-1100m. Siqueira (2019), cita que a maior altitude da MbHARU é 1050m e a menor é 750m. Silva (2018) reconhece que nas áreas de maior altitude, as atividades antrópicas estão acelerando o processo erosivo e, conseqüentemente, o assoreamento dos rios.

O solo de uma região pode modificar suas características de acordo com a forma com que ele é manejado. A maneira mais adequada de condução das atividades antrópicas para cada compartimento é realizar práticas de manejo que visem à conservação do solo. Effgen et al (2012) reconheceram em suas pesquisas, no sul do Estado do Espírito Santo, que a topografia interfere na qualidade do solo provavelmente devido à lixiviação de nutrientes. Porém a forma de uso apresenta resultados mais significativos uma vez que o reflorestamento com eucalipto possibilita uma maior capacidade de troca de cátions (CTC). Também Rodrigues e Utsumi (2019) reconhecem em seu trabalho que o ideal para uma Área de Preservação Ambiental no bioma cerrado, é que ela tenha, no mínimo 30% de mata nativa. Nos compartimentos 1, 10, 19, 21, 25 e 27 predominam a ocupação com paisagem natural, caracterizado pelo Bioma Cerrado.

4.2 Caracterização Morfométrica da MbHARU

As métricas que descrevem as dimensões de cada compartimento hidrológico na MbHARU são apresentadas na tabela 11.

TABELA 11 – Caracterização morfométrica dimensional dos compartimentos hidrológicos da MbHARU.

MBHARU	ÁREA	PERÍMETRO	COMP RIO	COMP BACIA	TALVEGUE	CR TOTAL	MAIOR LARG	LARG MÉDIA
	km ²	km	km	km	km	km	km	km
1	17.48	26.40	4.89	3.98	4.24	19.90	6.57	3.98
2	16.88	24.04	4.71	5.02	4.33	26.30	5.31	5.02
3	13.24	19.84	6.31	4.89	4.15	16.81	3.58	4.89
4	32.70	38.12	10.94	8.51	6.85	39.13	8.02	8.51
5	11.70	19.76	4.50	3.45	4.89	14.31	4.27	3.45
6	11.76	21.12	6.31	6.40	5.65	17.97	3.11	6.40
7	11.30	19.96	5.24	4.05	4.25	12.43	3.45	4.05
8	16.59	28.40	8.44	7.87	6.98	21.40	2.71	7.87
9	18.52	28.32	5.46	3.53	2.90	29.77	5.10	3.53
10	25.49	29.24	7.82	6.63	6.43	53.39	4.76	6.63
11	8.66	15.08	5.28	3.30	3.31	11.42	4.14	3.30
12	10.50	18.52	5.89	4.78	3.19	13.09	4.06	4.78
13	2.69	8.80	2.77	1.92	1.71	3.62	2.18	1.92
14	0.29	4.24	0.35	0.34	0.34	0.38	1.18	0.34
15	11.16	18.60	6.47	4.33	4.29	14.47	4.39	4.33
16	15.91	21.52	5.85	4.18	3.76	16.51	6.47	4.18
17	26.86	31.20	9.98	5.90	6.74	40.78	6.41	5.90
18	14.96	24.76	8.46	7.98	7.77	14.64	2.43	7.98
19	13.15	26.56	8.24	7.04	6.83	31.34	2.30	7.04
20	26.59	34.12	11.33	7.07	6.82	39.28	7.86	11.33
21	21.37	29.84	10.08	8.73	8.80	23.22	3.80	8.73
22	17.32	24.20	5.74	3.73	3.73	19.32	5.74	3.73
23	21.35	38.04	12.85	10.82	8.30	22.62	3.15	10.82
24	4.71	11.24	4.78	2.77	2.78	11.98	2.69	2.77
25	11.16	25.80	8.65	6.98	6.28	30.89	2.32	6.98
26	29.05	29.08	8.72	7.08	6.39	61.09	5.52	7.08
27	14.72	22.56	7.30	6.32	5.90	38.76	3.03	6.32
28	17.29	24.08	8.73	6.27	3.81	20.77	3.54	6.27
29	9.14	20.52	13.04	2.16	2.12	19.62	6.33	2.16
30	65.91	48.76	18.42	13.84	13.57	69.75	6.78	13.84
APA	518.45	147.52	55.57	34.25	28.77	754.97	22.80	34.25

MbHARU – Microbacia Hidrográfica da APA do rio Uberaba; Área – área da bacia em Km²; Perímetro – perímetro da bacia em Km; comp rio – comprimento do rio; comp bacia – comprimento da bacia; CR total – comprimento total da rede de drenagem; maior larg – maior largura da bacia; larg media – largura média da bacia.

A análise morfométrica é um importante instrumento de gestão de bacias, tendo em vista que fornece as métricas que possibilitam compreender a geomorfologia da área e distinguir as áreas mais vulneráveis aos processos naturais de erosão (Trajano et al., 2012).

A partir dos valores dimensionais obtidos em cada CH (tabela 11) foi possível calcular os parâmetros morfométricos e os valores dos índices relacionados ao fator forma (Ff), índice de circularidade (Ic) e coeficiente de compacidade (Kc) (Tabela 12). A área da MbHARU apresenta uma superfície de 518,45 km², com uma rede de drenagem de 754,97 Km, e valores médios de cursos d'água de 1,46 km de rio por km².

As métricas morfométricas da forma dos compartimentos (Tabela 12) e as métricas dos parâmetros topográficos e da rede de drenagem da MbHARU (Tabela 13) indicam a conformação geomorfológica do sistema hidrológico da microbacia, e a esculturação da paisagem oriunda do processo de erosão natural.

Observando os valores (tabela 12), de acordo com as classificações dos compartimentos hidrológicos, percebe-se que a maioria dessas unidades possuem um formato comprido, fato que favorece a conservação ambiental da área, se as práticas de manejo forem adequadas. As formas dos compartimentos foram compridas (TC), ovaladas (TEM) e oblongas (BTE).

A classificação dos compartimentos hidrológicos em função do escoamento superficial das águas das chuvas (Tabela 13) indica a forma dos canais de drenos que escoam a água excedente, levando consigo uma gama de nutrientes que não foram aproveitados no processo, seja por falta da dinâmica de absorção, seja por saturação hídrica e/ou por rápido escoamento superficial devido a intensidade da chuva.

TABELA 12 – Métricas morfométricas da forma dos compartimentos da MBHARU.

CH	Ff	Ic	Kc	Forma da Bacia
1	1.10	0.32	1.77	Comprida (TC)
2	0.67	0.37	1.64	Ovalada (MTE)
3	0.55	0.42	1.53	Oblonga (BTE)
4	0.45	0.28	1.87	Comprida (TC)
5	0.98	0.38	1.62	Ovalada (MTE)
6	0.29	0.33	1.72	Comprida (TC)
7	0.69	0.36	1.66	Ovalada (MTE)
8	0.27	0.26	1.95	Comprida (TC)
9	1.49	0.29	1.84	Comprida (TC)
10	0.58	0.37	1.62	Ovalada (MTE)
11	0.79	0.48	1.43	Ovalada (MTE)
12	0.46	0.38	1.60	Oblonga (BTE)
13	0.73	0.44	1.50	Ovalada (MTE)
14	2.55	0.21	2.19	Comprida (TC)
15	0.60	0.41	1.56	Oblonga (BTE)
16	0.91	0.43	1.51	Oblonga (BTE)
17	0.77	0.35	1.69	Ovalada (MTE)
18	0.24	0.31	1.79	Comprida (TC)
19	0.27	0.23	2.05	Comprida (TC)
20	0.53	0.29	1.85	Comprida (TC)
21	0.28	0.30	1.81	Comprida (TC)
22	1.24	0.37	1.63	Ovalada (MTE)
23	0.18	0.19	2.31	Comprida (TC)
24	0.62	0.47	1.45	Ovalada (MTE)
25	0.23	0.21	2.16	Comprida (TC)
26	0.58	0.43	1.51	Oblonga (BTE)
27	0.37	0.36	1.65	Oblonga (BTE)
28	0.44	0.37	1.62	Oblonga (BTE)
29	1.95	0.27	1.90	Comprida (TC)
30	0.34	0.35	1.68	Oblonga (BTE)
MbHARU	0.44	0.30	1.81	Comprida (TC)

CH - compartimento hidrológico; Ff - fator forma; Ic - índice de circularidade; Kc - coeficiente de compacidade; MbHARU - Microbacia Hidrográfica da APA do rio Uberaba; TC – tendência a conservação; BTE – baixa tendência a conservação; MTE – Média tendência a conservação.

1	2	3	4	Reclassificação Cromática
---	---	---	---	---------------------------

TABELA 13 – Métricas dos parâmetros topográficos e da rede de drenagem da MbHARU.

CH	Características Topográficas		Características de Drenagem	
	D%	Rr	Dd	Is (%)
1	11.50	0.05	1.14	15.30
2	9.93	0.04	1.56	8.72
3	11.00	0.04	1.27	52.05
4	10.43	0.02	1.20	59.64
5	7.10	0.05	1.22	- 7.88
6	13.86	0.03	1.53	11.70
7	5.98	0.03	1.10	23.24
8	9.71	0.03	1.29	20.82
9	8.79	0.06	1.61	88.14
10	13.11	0.03	2.09	21.54
11	6.24	0.03	1.32	59.70
12	6.65	0.02	1.25	84.34
13	6.76	0.04	1.35	61.77
14	5.82	0.16	1.30	4.58
15	6.23	0.02	1.30	50.84
16	5.33	0.03	1.04	55.53
17	6.46	0.02	1.52	48.16
18	5.83	0.02	0.98	8.84
19	13.04	0.03	2.38	20.63
20	7.10	0.02	1.48	66.07
21	7.18	0.02	1.09	14.65
22	5.74	0.04	1.12	53.57
23	5.40	0.02	1.06	54.73
24	9.28	0.04	2.55	72.08
25	14.03	0.03	2.77	37.85
26	13.65	0.03	2.10	36.35
27	12.22	0.03	2.63	23.59
28	5.20	0.02	1.20	129.40
29	6.46	0.06	2.15	514.01
30	5.52	0.01	1.06	35.77
MbHARU	8.58	0.01	1.46	93.11

CH - compartimento hidrológico; D% -declividade; Rr - razão de relevo; Dd - densidade de drenagem; Is - índice de sinuosidade; MbHARU - Microbacia Hidrográfica da APA do rio Uberaba

1	2	3	4	5
Classificação cromática				

Os parâmetros diretamente ligados ao escoamento são: densidade de drenagem, índice de sinuosidade, razão de relevo e declividade (tabela 13). A densidade de drenagem quantifica os rios de uma bacia e permite correlacionar o potencial de infiltração no solo. Desta forma a declividade do terreno pode auxiliar nesta interpretação, sendo que quanto maior a declividade do terreno maior interferência haverá nesse tempo de escoamento. Já a razão de relevo determina os caminhos que a água percorrerá e qual o seu tempo de escoamento. Nessa mesma linha de pensamento, o índice de sinuosidade dificultará ou não o percurso por onde a água irá drenar.

De acordo com a tabela 13, pode-se observar que os CHs da MbHARU apresentam baixa densidade de drenagem, propiciando tempo para recarga no solo, porém, quando confrontado com a declividade esta contrapõe, visto que apresenta a predominância de terrenos ondulados a forte ondulados que favorecem a descarga hídrica.

Já o índice de sinuosidade (I_s) representa metricamente o desenho que os canais de drenagem se projetam no ambiente da bacia. Para força de entendimento, Mansikkaniemi (1970) estabeleceu cinco classes de sinuosidade, sendo menor que 20% muito reto; entre 20 a 29,9% é considerado reto; 30 a 39,9% é divagante; 40 a 49,9% sinuoso e maior que 50% muito sinuoso.

Associados a razão de relevo (R_r) é possível analisar o comportamento da água no talvegue, pois a razão de relevo indica o quão acidentado é o terreno. Desta forma, se o rio for retilíneo e acidentado tende a escoar a água de dentro da bacia mais rapidamente.

A maioria das MbHARUs apresenta uma razão de relevo baixa, confirmando os resultados obtidos nos cálculos da densidade de drenagem. O índice de sinuosidade apresentou uma característica de rios tortuosos, ou seja, a água terá um percurso mais longo se projetando em curvas.

A partir dos dados morfométricos, foi calculada a tendência dos compartimentos hidrológicos (HCs) às enchentes e à conservação (Figura 15). No geral, a microbacia não apresentou compartimento hidrológico com alta tendência

à enchentes. Destaque para 08 compartimentos que possuem uma baixa tendência a enchentes e 09 compartimentos que apresentam uma tendência mediana ao evento.

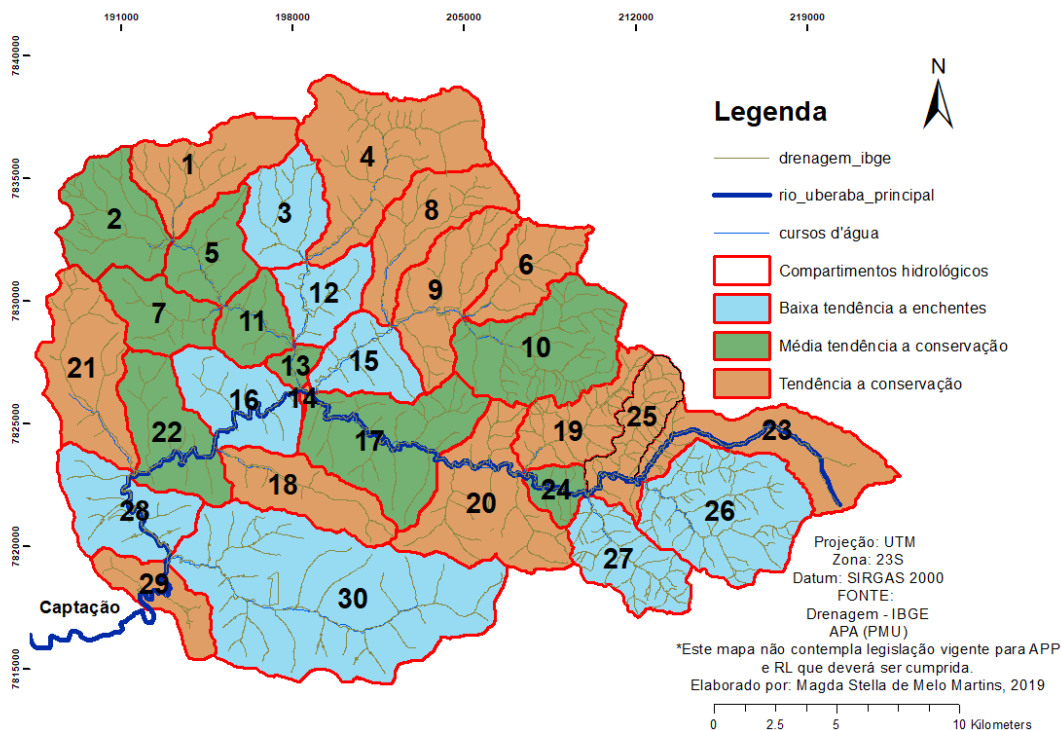


Figura 15 – Tendência dos compartimentos hidrológicos à enchente e à conservação.

Deve-se considerar que ocorrem eventos extremos de precipitação diária com mais de 100mm/dia. Nestes casos, ressalta-se a importância da ocorrência das enxurradas. Em alguns momentos, durante o verão, nos períodos de alta concentração da água de chuva, que não pode ser absorvida pelo solo já saturado, pode ocorrer formas de escoamento com excesso de água e causar ambientes com enchentes pontuais. O fluxo de água segue rapidamente para as baixadas e rios, causando um processo de risco natural. No solo ocasiona-se um preenchimento da porosidade com água e ocorre a superação da capacidade de armazenamento do solo, provocando o escoamento das águas, causando transbordamentos das margens, cheias e enchentes, o que ocasiona um processo periódico de extravasamento do curso de água dos compartimentos.

Deve-se, nestes casos, ter a preocupação de determinar os pontos de barragens e represas e fazer o monitoramento destas. Este excesso de água pode provocar também o rompimento de barragens e represas.

4.3 Índice de Vulnerabilidade Natural

Os recursos destinados para a implantação de práticas de conservação do solo para minimizar o impacto negativo ao meio ambiente devem estar comprometidos com produtores que realmente querem a melhoria da qualidade de vida, o que torna um desafio para os gestores dos recursos no momento da divisão e destino de recursos oriundos dos impostos pagos pela sociedade.

A vulnerabilidade natural de uma bacia hidrográfica preconiza a territorialização da atenção ao processo erosivo natural que ocorre no meio. Esse processo deve ser levado em consideração nos critérios estabelecidos para a perspectiva de financiamentos para a produção agrícola brasileira, com ênfase às necessidades de preservação, conservação e diminuição dos impactos negativos causados ao meio ambiente, na relação solo e água.

Neste contexto foi determinado o Índice de Vulnerabilidade Natural (Iv) dos HC's da MbHARU, constituído por sete variáveis, conforme equação 9.

$$Iv = [F_{fcl} + I_{ccl} + k_{ccl} + D\%_{ocl} + (1.33 R_{rcl}) + D_{dcl} + (0.8 I_{scl})] / 7 \quad (9)$$

em que:

Iv é o índice de vulnerabilidade,

F_{fcl} é a classe do fator forma,

I_{ccl} é a classe do índice de circularidade,

k_{ccl} é a classe do coeficiente de compacidade,

D_{%ocl} é a classe da declividade percentual,

R_{rcl} é a classe da razão de relevo,

D_{dcl} é a classe da densidade de drenagem e

I_{scl} é a classe do índice de sinuosidade.

Para desenvolver o Iv foram consideradas a reclassificação para cada parâmetro de forma individualizada, sendo atribuídos pesos num intervalo de 1 a 4, ou 1 a 5, para cada classe já estabelecida. Sendo que 1 é o ideal, desde que utilizadas boas práticas de manejo e 4/5 é sinal máximo de alerta. Os dados foram apresentados em tabelas e mapas considerando a espacialização de 30 compartimentos hidrológicos da MbHARU.

O índice de vulnerabilidade representa, em uma escala numérica, a média das classes de ocorrência dos parâmetros morfométricos. Caso este índice apresente valor acima dos padrões ideais, será necessário realizar análise de quais variáveis apresentam risco de dano ambiental e, desta forma, construir um planejamento de uso da área que respeite suas características naturais.

Na tabela 14, são observados os valores para cada classe (1 a 4) e (1 a 5), conforme a classificação para as tendências dos HC's em relação à Forma, a declividade, a razão de relevo, a densidade de drenagem e índice de sinuosidade dos rios.

TABELA 14 – Classificação dos parâmetros morfométricos adaptados com pesos de 1 a 4 ou peso 1 a 5, para o cálculo do índice de vulnerabilidade.

Classificação para as tendências dos HCs de acordo com a Forma						
Fator forma (Ff)	Índice de circularidade (Ic)	Coefficiente de compacidade (Kc)	Classificação	Tendência	Classe	Fonte
< 0,30	< 0,40	> 1,70	Comprida	Tendência a conservação	1	
0,50 - 0,30	0,6 - 0,4	1,50 - 1,70	Oblonga	Baixa tendência enchentes	2	Rodrigues (2014), Villela e
0,75 - 0,50	0,8 - 0,6	1,25 - 1,50	Ovalada	Mediana enchentes	3	Matos (1975), adaptado.
1,00 - 0,75	1,00 - 0,8	1,00 - 1,25	Redonda	Alta tendência enchentes	4	

TABELA 14... continuação

Classificação para perfil do terreno de acordo com sua declividade percentual				
Parâmetros de Declividade (D%)	Classificação	Tendência	Classe	Fonte
0-3	Plano	Baixo escoamento superficial e maior infiltração.	1	
8-20	Suave-ondulado	Mediano escoamento superficial	2	EMBRAPA (1979), adaptado.
20-45	Ondulado	Alto escoamento e enxurradas	3	
>45	Montanhoso	Alto escoamento superficial, enxurradas e erosão.	4	
Classificação para tendências das microbacias de acordo com sua razão de relevo				
Parâmetros de razão de relevo (Rr)	Classificação	Tendência	Classe	Fonte
0 - 0,1	baixa	menor escoamento superficial, maior infiltração	1	Piedade (1980), adaptado.
0,11 - 0,30	média	tendência média a infiltração	2	
0,31 - 0,60	alta	menor relação de infiltração, provocando erosões	3	
Classificação para tendências das microbacias de acordo com sua densidade de drenagem				
Parâmetros de densidade de drenagem (Dd)	Classificação	Tendência	Classe	Fonte
<1,5	Baixa	Baixo escoamento superficial e maior infiltração	1	Adaptado de Rodrigues (2014), Horton (1945), Strahler (1957), França (1968)
1,5 - 2,5	Média	Mediano escoamento superficial	2	
2,5 - 3,0	Alta	Alto escoamento e enxurradas	3	
> 3,0	Super-alta	Alto escoamento superficial, enxurradas e erosão.	4	

TABELA 14... continuação

Classificação para cursos d'água de acordo com o índice de sinuosidade				
Parâmetros dos índices de sinuosidade	Classificação	Tendência	Classe	Fonte
<20%	muito reto	sem dificuldades para escoamento, drenagem rápida.	1	Adaptado de Mansikkaniemi (1970)
20,0 - 29,9%	reto	baixa dificuldade para escoamento	2	
30,0 – 39,9%	divagante	média dificuldade de escoamento	3	
40,0 – 49,9%	sinuoso	alta dificuldade de escoamento, atrito com as margens.	4	
50,0%	muito sinuoso	muito alta a dificuldade de escoamento, atrito com as margens, erosão.	5	
Parâmetros dos índices de vulnerabilidade				
Parâmetros dos índices de vulnerabilidade	Classificação	Tendência	Classe	Fonte
1.02	Pouco suscetível	Tendência a conservação	1	A autora
1.03 - 2.04	Baixa suscetibilidade	Baixa vulnerabilidade	2	
2.05 - 3.06	Média suscetibilidade	Média vulnerabilidade	3	
> 3.06	Alta suscetibilidade	Alta vulnerabilidade	4	

Conforme pode ser observado na tabela 14, os fatores de razão de relevo e índice de sinuosidade, receberam por seus autores, respectivamente 3 e 5 classes. Para equalizar todos os parâmetros e desta forma realizar o cálculo da média preponderante, utilizou-se uma regra de 3 simples.

O cálculo da média ponderada dos sete parâmetros forneceu uma

classificação para a vulnerabilidade dos HC's da MbHARU.

Após o cálculo de todas as variáveis a partir da equação 9, realizou-se a reclassificação de cada parâmetro com os valores de 1 a 4 (Tabela 15), possibilitando assim, o cálculo da média ponderada dos sete parâmetros obtendo uma classificação para a vulnerabilidade.

Visando representar as tendências de cada parâmetro como um todo, foi realizado o levantamento de ocorrências para cada um deles, ou seja, dos 30 compartimentos quantas vezes ocorreu cada classificação, gerando assim uma tabela percentual da situação da MbHARU, como pode ser avaliado na Tabela 16.

A MbHARU é uma bacia que possui uma densidade de drenagem baixa, o que propicia tempo para recarga no lençol, com ocorrência de classe 1 em 63.33% dos compartimentos hidrológicos. A MbHARU apresenta a característica de ter um escoamento superficial mediano, com a declividade preponderante na área na classe de 3 a 20%, predominando um relevo suave ondulado a ondulado, segundo a classificação da EMBRAPA (1979).

A sinuosidade (Is) representa metricamente o desenho que os canais de drenagem se projetam no ambiente. A sinuosidade interfere no tempo de percurso para a água atingir o exutório, portanto, a velocidade de escoamento será menor (Santos et al. 2012), quanto maior for a sinuosidade. Quando associados a razão de relevo (Rr) é possível analisar o comportamento da água no talvegue. Desta forma, se o rio for retilíneo e acidentado, a água superficial tende a escoar mais rapidamente para o exutório da bacia.

TABELA 15 - Reclassificação de cada parâmetro da análise morfométrica na MbHARU com resultado e classificação cromática do índice de vulnerabilidade.

CH	Ff	Ic	Kc	D%	Rr	Is	Dd	Iv
1	4	1	2	3	1	1	1	2
2	3	1	2	3	1	1	2	2
3	3	2	1	3	1	5	1	3
4	2	1	2	3	1	5	1	2
5	4	1	1	2	1	1	1	2
6	1	1	2	3	1	1	2	2
7	3	1	1	2	1	2	1	2
8	1	1	1	3	1	2	1	2
9	4	1	2	3	1	5	2	3
10	3	1	3	3	1	2	2	2
11	4	2	2	2	1	5	1	3
12	2	1	3	2	1	5	1	2
13	3	2	1	2	1	5	1	2
14	4	1	2	2	2	1	1	2
15	3	2	2	2	1	5	1	3
16	4	2	2	2	1	5	1	3
17	4	1	1	2	1	4	2	3
18	1	1	1	2	1	1	1	2
19	1	1	1	3	1	2	2	2
20	3	1	1	2	1	5	1	2
21	1	1	2	2	1	1	1	2
22	4	1	1	2	1	5	1	2
23	1	1	3	2	1	5	1	2
24	3	2	1	3	1	5	3	3
25	1	1	2	3	1	3	3	2
26	3	2	2	3	1	3	2	3
27	2	1	2	3	1	2	3	2
28	2	1	1	2	1	5	1	2
29	4	1	2	2	1	5	2	3
30	2	1	1	2	1	3	1	2
MbHARU	2	1	1	3	1	5	1	2

CH - compartimentos hidrológicos; Ff - fator forma; Ic - índice de circularidade; Kc - coeficiente de compassidade; D% - percentual de declividade; Rr - razão de relevo; Is - índice de sinuosidade; Dd - densidade de drenagem; Iv - índice de vulnerabilidade.

1	2	3	4
---	---	---	---

Classificação cromática

TABELA 16 - Percentual (%) de ocorrência de cada classe na MbHARU.

Classe	Ff	Ic	Kc	D%	Rr	Is	Dd	Iv
1	23.33	76.67	43.33	0	96.67	23.33	63.33	0
2	16.67	23.33	46.67	56.67	3.33	16.67	26.67	70.0
3	30.00		10.00	43.33		10.00	10.00	30.0%
4	30.00					3.33		
5						46.67		

Ff - fator forma; Ic - índice de circularidade; Kc - coeficiente de compassidade; D% - percentual de declividade; Rr - razão de relevo; Is - índice de sinuosidade; Dd - densidade de drenagem; Iv - índice de vulnerabilidade.

Na MbHARU 46.67% dos cursos d'água se apresentaram muito sinuosos, mas com uma razão de relevo de 96,67% com tendência a menor escoamento superficial, maior infiltração, favorecendo a recarga de lençol freático.

Ao analisar os valores de cada parâmetro observamos que a MbHARU apresenta, em toda a sua extensão, um Iv com valores de baixo a médio de susceptibilidade e vulnerabilidade (Tabela 14), caracterizando a média capacidade de suportar os efeitos de um impacto negativo ao meio, sem as práticas de manejo adequadas.

Uma área vulnerável é considerada uma região frágil, na qual não poderá ocorrer um período dentro do qual medidas protetivas e conservacionistas diminuem, são comprometidas ou ficam ausentes, ocasionando danos irreversíveis ao meio.

Na análise dos resultados da Tabela 16, observa-se que 70% da MbHARU possui uma vulnerabilidade menos acentuada (Figura 16) e 30% dos compartimentos hidrológicos apresentaram média vulnerabilidade. Sendo assim, a área total da MbHARU precisa ter maior ação da governança ambiental, com ênfase nos compartimentos com média vulnerabilidade.

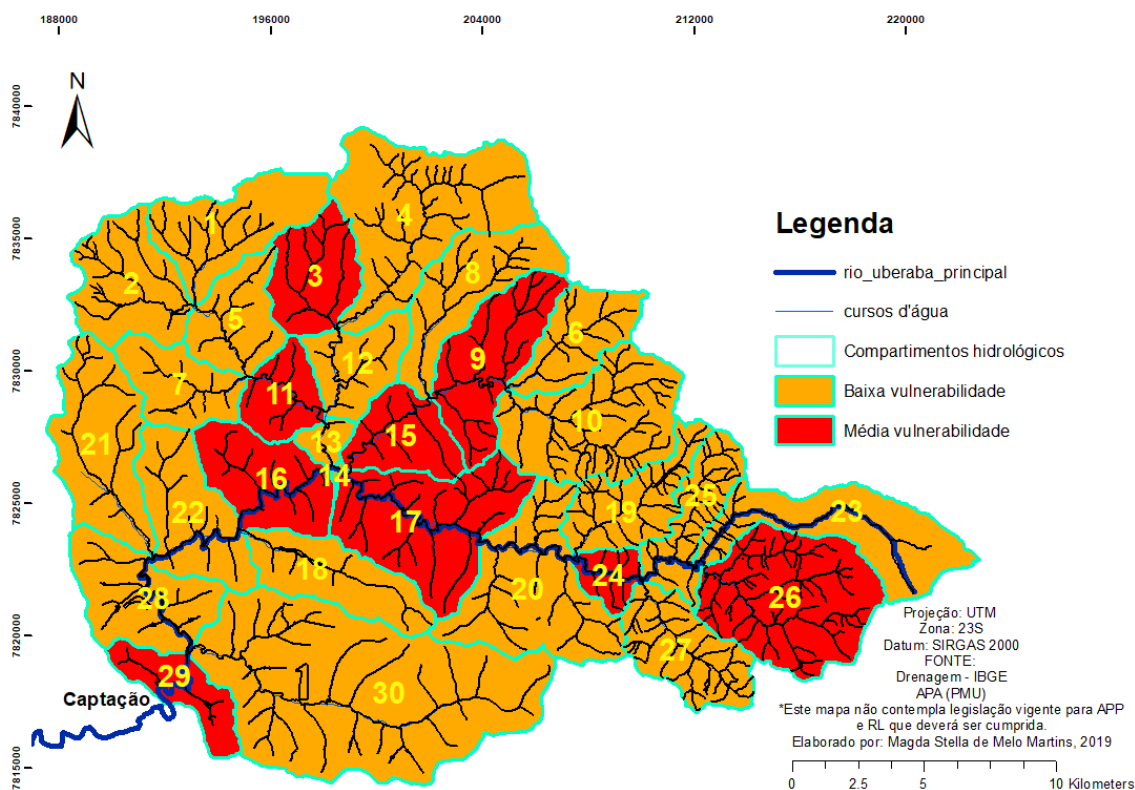


Figura 16 – Mapa de vulnerabilidade natural da Microbacia Hidrográfica do rio Uberaba.

A análise dos parâmetros individualizados da Tabela 15, foi possível perceber que o compartimento hidrológico 03 apresenta uma alta sinuosidade da rede de drenagem dificultando o escoamento, em relevo ondulado (3) com alto escoamento e enxurradas, com fator de forma (3) médio para enchentes em uma bacia ovalada. Isso indica que a área possui uma tendência mediana a enchentes e a água escoar em alta velocidade, com alto poder de arraste de sedimentos, favorecendo ao processo erosivo.

Já o compartimento 09 teve índices fora do ideal no fator de forma (4) com alta tendência a enchentes numa bacia redonda, declividade (3) média com alto escoamento e enxurradas, índice de sinuosidade (5) alto para a dificuldade de escoamento, que favorece a enchentes com enxurradas.

Os compartimentos 11 e 16 são semelhantes e possuem um fator de forma (4) com alta tendência a enchentes e índice de sinuosidade (5) alto, fato que demonstra que há potencial de enchentes em rios sinuosos em relevo suavemente ondulado.

Já o compartimento hidrológico 24 teve índices fora do ideal no fator de forma (3) com mediana tendência a enchentes numa bacia ovalada, declividade (3) em área com alto escoamento e enxurradas, índice de sinuosidade (5) com muito alta a dificuldade para escoamento e densidade de drenagem (3) com alto escoamento e enxurradas. Essas informações indicam que há uma tendência mediana a enchentes devido sua forma retangular dificultando o escoamento já com características de uma baixa circularidade, que reduz o tempo de concentração no curso principal. O compartimento também possui alta densidade de rios com características sinuosa, que favorece a enchentes com erosão.

É importante ressaltar que, mesmo em áreas onde a vulnerabilidade natural for classe 1, ou seja, próximo do ideal, caso não haja práticas de manejo conservacionista, há tendência de degradação.

A MbHARU apresentou nove compartimentos hidrológicos com fragilidades classe 3. É importante destacar que se existe a fragilidade já é fator de preocupação. Como a MbHARU apresenta 21 dos 30 compartimentos em peso 2, vale comparar em nível percentual que esta classe se refere a uma vulnerabilidade de 25 a 50%, que não pode ser considerado brando. Só pelo fato de já possuir vulnerabilidade a partir da classe 2 em toda a área, já justifica ela ser uma UC.

Os parâmetros morfométricos quando analisados de forma contextualizada se apresentam eficientes para determinar as tendências da área e proporcionam uma percepção maior das causas e consequências da mudança na paisagem.

4.4 Coeficiente de Rugosidade (RN)

Outra ferramenta para análise de gestão das áreas é o coeficiente de rugosidade (Rn) apresentado na Tabela 17 e Figura 17). Este coeficiente apresenta uma classificação qualitativa, pois suas classes estabelecem a forma de uso para evitar maiores danos. Portanto, essa ferramenta não compõe a fórmula do Iv, mas atua como uma aliada na tomada de decisão e interpretação de possíveis danos.

TABELA 17 – Classificação da aptidão do uso do solo, segundo Rocha (1998)

Coeficiente de rugosidade (Rn)	Classe	Uso do solo
1,09 - 10,63	A	Agricultura
10,64 -20,18	B	Pecuária
20,19 - 29,73	C	Pecuária / Reflorestamento
29,74 - 39,28	D	Reflorestamento

FONTE: Rocha e Kurtz (2001)

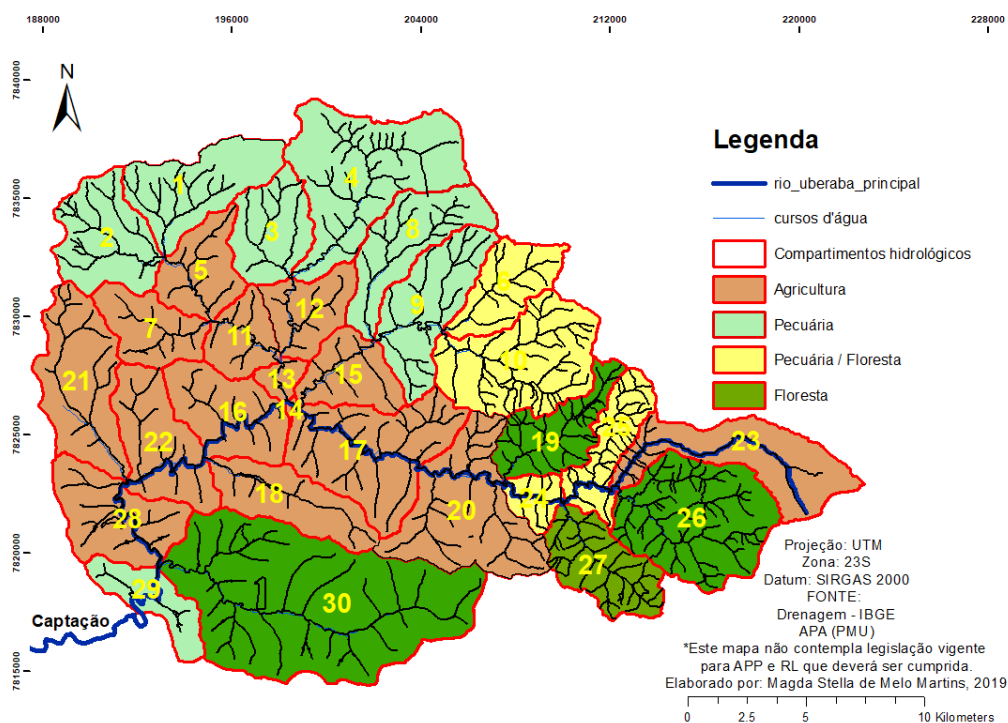


Figura 17 – Coeficiente de rugosidade da MbHARU - Aptidão.

Para determinar a aptidão de uso do solo, Rocha e Kurtz (2001) descrevem que estabeleceu-se o coeficiente de rugosidade (Ruggdeness Number – RN), como parâmetro indicador do potencial do ambiente para determinados usos. A tabela 17 apresenta a classificação para o coeficiente de rugosidade e a Figura 17 representa a aptidão de uso da terra nos compartimentos hidrológicos da APA do Rio Uberaba. Observando o mapa de coeficiente de rugosidade, percebe-se que a APA do Rio Uberaba tem uma área com aptidão à agropecuária. O compartimento hidrológico 23, onde está localizada a nascente do rio Uberaba, possui aptidão para agricultura, essa informação está em consonância com a descrição geomorfológica de Siqueira (2019) que descreve a região com relevos suavemente plano. Entretanto, os compartimentos hidrológicos 1, 4, 8, 19, 26, 27 e 30 não respeitam a aptidão de uso, fato que pode levar à degradação acelerada da MbHARU.

Siqueira, (2019) em seu mapa de potencial natural de erosão identifica as áreas correspondentes aos compartimentos 3, 9 e 26 com alto potencial de erosão, inclusive reconhece no compartimento hidrológico 26 processos erosivos avançados.

A vulnerabilidade e o coeficiente de rugosidade são resultados da interação de fenômenos meteorológicos (variáveis climáticas), hidrológicos (processos do ciclo hidrológicos), topográficos e humanos (forma de uso e ocupação do solo). A interação é muito complexa, envolvendo as escalas espaciais da bacia hidrográfica. A morfometria dos compartimentos hidrológicos da MbHARU é importante para a distribuição da água e para melhor implementar as práticas de manejo do solo. A forma dos vales, sua declividade, a escala espacial e a escala espaço-temporal das práticas de manejonas encostas são fatores importantes para as condições de maior ou menor vulnerabilidade do sistema produtivo da APA.

Assim, as práticas de manejo conservacionistas e as medidas de proteção ambiental, como a melhoria da qualidade do solo e da água, apresentam-se como protagonistas da sustentabilidade da APA. A ocupação desordenada e as

práticas agrícolas que ocasionam danos ambientais devem ser agravadas se os produtores não adquirirem a sensibilidade de compreender a necessidade de um manejo conservacionista de acordo com os preceitos da Ciência da Conservação do Solo, que consiste em um complexo de tecnologias de caráter sistêmico, a fim de preservar, manter e/ou recuperar os recursos naturais, mediante o manejo integrado do solo, da água e da biodiversidade.

5 CONCLUSÕES

O índice de vulnerabilidade possibilita verificar as áreas mais suscetíveis aos processos erosivos naturais, considerando os fatores da rede de drenagem, da forma da bacia e sua geomorfologia.

O índice de vulnerabilidade é um indicador das fragilidades naturais das sub-bacias. Os valores determinados podem auxiliar nas diretrizes para a elaboração do planejamento, do desenvolvimento e do gerenciamento das sub-bacias da MbHARU, no que tange à aplicação de práticas de manejo e de conservação do solo e da água.

A maior extensão da área encontra-se na classe de declividade entre 3% a 20%, com declividade acentuada (20%) em regiões ao norte da bacia. A razão de relevo indica maior intensidade do escoamento superficial das águas das chuvas nas áreas mais íngremes e menor escoamento nas áreas com relevo mais suave, o que favorece a infiltração e a recarga subterrânea. As sub-bacias apresentam predominantemente forma comprida (alongada). Evidencia-se a necessidade de uma gestão nas sub-bacias com práticas de manejo conservacionista eficientes para a maior retenção de água no sistema.

Os solos em maior extensão na microbacia são formados por latossolos e uma menor região por argissolos. A configuração dos cursos d'água é sinuosa.

A MbHARU é dividida em 30 compartimentos hidrológicos, a partir dos dados de altitude do terreno obtidos no modelo de elevação digital do terreno (MEDT) no modelo SWAT. Esse modelo se difere de outros métodos pelo fato de

levar em consideração espaços geográficos na bacia que ligam as sub-bacias ao curso principal, viabilizando uma análise física e a determinação da vulnerabilidade em regiões hidrogeológicas.

A simulação representa que, das quatro classes determinadas para a análise de vulnerabilidade natural, a MbHARU apresenta 9 compartimentos hidrológicos com fragilidade classe 3 e 21 compartimentos com classe 2, o que representa uma vulnerabilidade natural acentuada em aproximadamente 50% da bacia. A vulnerabilidade natural refere-se ao potencial de degradação preexistente para a área e não isenta da necessidade de práticas de manejo conservacionistas, visto que, sem elas o processo de depreciação do solo será acelerado e poderá se tornar irreversível.

Dentre as 4 classes determinadas para a análise de vulnerabilidade natural, a MbHARU apresentou nove compartimentos hidrológicos com fragilidades classe 3. Como a MbHARU apresenta 21 dos 30 compartimentos em peso 2, vale comparar que peso 2, em nível percentual se refere a uma vulnerabilidade de 25 a 50%, que não pode ser desprezada. A superfície da microbacia hidrográfica da APA do Rio Uberaba (MbHARU) é vulnerável e requer atenção das políticas públicas para a implantação de normas para o uso e manejo do solo. Nos valores do coeficiente de rugosidade denota-se que nos compartimentos 1, 4, 8, 19, 26, 27 e 30 estão sendo desenvolvidas atividades que não correspondem a aptidão da área.

A finalidade de uma área de proteção ambiental (APA) é prioritariamente preservar os recursos naturais. Sendo assim, como a MbHARU é uma unidade de conservação destinada a proteger e conservar a qualidade ambiental e os sistemas naturais ali existentes, para a melhoria da qualidade de vida do município de Uberaba-MG, este documento será encaminhado as autoridades que de forma direta estão envolvidos com as tomadas de decisão ao que diz respeito a referida área. É de suma importância a proteção deste ecossistema regional.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abbaspour K, Vaghefi S, Srinivasan R (2017) A guideline for successful calibration and uncertainty analysis for Soil and Water Assessment: A review of papers from the 2016 International SWAT Conference. **Water** 10(6).

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

Ação Civil Pública – Ministério Público de Minas Gerais - nº 5004334-93.2017.8.13.0701

AGEITEC – Agência Embrapa Informação Tecnológica. *Árvore do Conhecimento – Solos*. Brasília, 2019.

Allen, RG (1996) Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, 122:97-106.

Almeida RFB (2017) **Morfometria e uso da terra da Bacia Hidrográfica do Rio do Coco e suas implicações sobre a produção e transporte de sedimentos**. Tese (doutorado). Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás.

Angelini, R (2017) Modelos matemáticos e entendimento da estratégia de desenvolvimento dos ecossistemas. **Elsevier Habitats** 8:1-8.

Aquino AR, Paletta FC, Almeida JR – org (2017) **Vulnerabilidade Ambiental**. Blucher. São Paulo. 112p

Baldissera (2005) **bacia hidrográfica do Rio Cuiabá/MT**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Física e Meio Ambiente, UFMT, Cuiabá.

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. **Águas Subterrâneas** 19:61-73.

Blainski E, Acosta E, Nogueira PCP (2017) Calibração e validação do modelo SWAT para simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica do litoral norte catarinense. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**. Taubaté, 12(2): 226-237.

Branco PM (2014) O Intemperismo e a Erosão. **Serviço Geológico do Brasil – CRPM** Disponível em: www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Biblioteca/s---Rede-Ametista/O-Intemperismo-e-a-Erosao-1313.html. Acesso em: 19 de dez de 2019.

BRASIL (2000) **Lei 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.

_____ (1981) **Lei Nº 6938**, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente.

_____ (1997) **Lei Nº 9433**, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989.

_____ (1989) **Decreto Nº 97.632**, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre a regulamentação do Artigo 2º, inciso VIII, da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, e dá outras providências.

Caldeira TL, Oliveira VA, Steinmetz AA, Viola MR, Beskow, S (2018) Modelagem Hidrológica Determinística Chuva-Vazão em Bacias Hidrográficas: Uma abordagem introdutória. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**. Pelotas, RS, 5(1):22-32.

Colodel JR, Pierangeli MAP, Souza MFP, de Carvalho MAC, Dalchiavon FC (2018) Atributos físicos e biológicos de Argissolo Vermelho--Amarelo Amazônico

sob diferentes sistemas de uso e manejo. **Revista de Ciências Agrárias** 41(2):287-297

Companhia de Desenvolvimento Econômico do Estado de Minas Gerais – (CODEMIG). <http://www.portalgeologia.com.br/index.php/mapa>

Conceição MAF (2006) **Roteiro de cálculo da evapotranspiração de referência pelo método de PenmanMonteith-FAO**. Embrapa Uva e Vinho, Estação Experimental de Viticultura Tropical, Bento Gonçalves, RS. ISSN 1808-6810

Crepani E, Medeiros JS, Hernandez Filho P, Florenz TG (1996) Uso de Sensoriamento Remoto no Zoneamento Ecológicoeconômico. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Salvador BA. 8: 267-273.

Cruz CBM, Souza EMFR, Richter M, Rosário LS, Abreu MB, Sperle D (2017) **Unidades de conservação no entorno da Bacia de Campos: análise da representatividade e distribuição espacial**.

Effgen EM, Nappo ME, Cecílio RA, Mendonça AR, Manzole R, Borcarte M (2012) Atributos químicos de um latossolo Vermelho-Amarelo distrófico sob cultivo de eucalipto e pastagem no sul do Espírito Santo. **Scientia Forestalis** 40: 375-381.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (1979) Manual de métodos de análise de solo. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Rio de Janeiro. 271p.

_____ (1979b) **Súmula da 10ª reunião técnica de levantamento de solos**. Rio de Janeiro, 83 p. (EMBRAPASNLCS. Micelânea, 1).

ESRI ArcGIS desktop. Version 10.1. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute; 2011.

Esteves AO, Souza MP (2014) Avaliação Ambiental Estratégica e as Áreas de Proteção Ambiental. **Engenharia Sanitária Ambiental**. Edição Especial 2014:77-86.

Ferreira RS, Uagoda RES (2017) Análise da predição do balanço hídrico da bacia do ribeirão do Gama-DF através do modelo SWAT. **Revista Brasileira de Geografia Física**.10(03):880-893.

Ferreira Júnior PD e Gomes NS (1990) Petrografia e Diagênese da Formação Uberaba, Cretáceo Superior da Bacia do Paraná no Triângulo Mineiro. **Revista Brasileira de Geociências**. 29(2):163-172

Figueirêdo MCB, Vieira VPPB, Mota S, Rosa MF, Miranda S (2010) **Análise da Vulnerabilidade Ambiental**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical

Fontana A, Teixeira WG, Balieiro FC, Moura TPA, Menezes AR e Santana CI (2016) Características e atributos de Latossolos sob diferentes usos na região Oeste do Estado da Bahia. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, Brasília, 51(9):1457-1465.

França, G. V. de. Interpretação fotográfica de bacias e redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba (1968) 151 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

Garcia, CH (1989) **Tabelas para classificação do coeficiente de variação**. Piracicaba: IPEF, 12p. (Circular técnica, 171).

Gassman PW Reyes MR Green CH Arnold JG (2007) The soil and water assessment tool: historical development, applications, and futures research directions. **Transactions of the ASABE**. 50:1211-1250

Gonçalves DL (2014) **Monitoramento de Áreas de Proteção Ambiental através de Indicadores de Sustentabilidade**. 292 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Geografia Física, USP, São Paulo.

Granja LVAC (2009) **O Papel das Áreas de Proteção Ambiental – APAs na Conservação dos Recursos Naturais em Áreas Urbanas**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Arquitetura e Urbanismo (Paisagem, Ambiente e Sustentabilidade). Universidade de Brasília, Brasília.

Horton RE (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. **Bulletin of the Geological Society of America**, Washington, 56 (3):275-370.

IBGE – EMBRAPA **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado**. 2013. Disponível em: <https://mapas.cnpm.embrapa.br/so-mabrazil/webgis.html>. Acesso em 21 de mar de 2019

_____**Mapa de Solos do Brasil** Rio de Janeiro: IBGE, 2001 - Escala 1:5.000.000. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php. Acesso em 21 de mar de 2019.

IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS **Baixo Rio Grande- Panorama da Qualidade das Águas Superficiais- Quarto Trimestre de 2017**. Disponível em: <http://200.198.57.118:8080/jspui/handle/123456789/2552>. Acesso em: 21/08/019.

Janishevski L, Santamaria C, Gidda SB, Cooper DH, Bracalioni PHS (2015) Ecosystem restoration, protected areas, and biodiversity conservation. **Unasylva. USA** 66(245):19 – 27.

Kantek RT, Sautter KD, Michaliszyn MS (2009) Impactos ambientais na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guaratuba, Paraná, Brasil, sob o ponto de vista de moradores tradicionais. **Sociedade & Natureza** 2:39-56.
Lana CE, Castro PTA (2012) Níveis de base fluviais: síntese dos principais condicionantes e dinâmica de instalação. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, Uberlândia 3:102-122.

Lapola DM, Silva JM, Braga DR, Carpigiani L, Ogawa et al (2019) A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. **Conservation Biology**. 10.1111/cobi.13405.

Lima AS, Fontes AL (2015) Estudo de Parâmetros Morfométricos da Sub-Bacia Hidrográfica do Rio Jacarecica (SE). **InterEspaço** 1:203-221

Lins LG (2009) **APAs (Área de Proteção Ambiental) Federais Análise da APA da Chapada do Araripe**. 82 f. Monografia (Graduação) – Curso de Direito – Centro Universitário de Brasília, Brasília.

Machado FB, Nardy AJR, Rocha Júnior ERV, Marques LS, Oliveira MAFD (2009) Geologia e Litogeoquímica da Formação Serra Geral nos Estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul. **Geociências** 28:523-540.

Marmontel CVF (2018) **Modelo hidrológico SWAT na bacia hidrográfica do rio Paraibuna, região da Mata Atlântica - São Paulo, Brasil**. 113f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) Universidade Estadual Paulista – Unesp.

Martins CC et al. (2011) Multi-molecular markers and metals as tracers of organic matter inputs and contamination status from an Environmental Protection Area in the SW Atlantic (Laranjeiras Bay, Brazil). **Science of the Total Environment** 417-418:158-168.

Medeiros CN, Souza MJN (2016) Metodologia para mapeamento da vulnerabilidade socioambiental: caso do Município de Caucaia, Estado do Ceará. **Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, 10(1):54-73.

Metzger JP, Bustamante MMC, Ferreira J, Fernandes GW, Librán-Embid F, Pillar VD, Prist PR, Rodrigues RR, Vieira ICG, Overbeck GE e cientistas signatários (2019) Por que o Brasil precisa de suas Reservas Legais?. **Perspectives in Ecology and Conservation** 17:104–116.

Milanezi CHS, Pereira JG (2016) Caracterização da Vulnerabilidade Ambiental na Microbacia Do Córrego Azul, Ivinhema – MS. **Geografia**, Londrina 25(1):43-63

Miller VC (1953) A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain área. **Technical Report**. Dept. Geology Columbia University.

Minas Gerais. **Lei nº 13.183, de 20 de janeiro de 1999**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Uberaba - APA do Rio Uberaba e dá outras providências.

Ministério da Saúde (2017) Portaria de Consolidação Nº 5. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. **Anexo XX**. Dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

MMA – Ministério do Meio Ambiente (2017) **Tabela consolidada das Unidades de Conservação 2017**. Disponível em: http://www.mma.gov.br/images/arquivo/801_12/CNUC_JUL_17%20-%20B_Cat.pdf. Acesso em: 23/02/2019.

_____ (2019) **Sistema Nacional de Unidades Conservação – SNUC**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/sistema-nacional-de-ucs-snuc.html>. Acesso em: 23/09/2019.

Moraes MBR. (2004) **Área de Proteção Ambiental como Agência de Desenvolvimento Sustentável: APA Cananéia Iguape Peruíbe/SP**. São Paulo: Annablume; Fapesp, 146 p.

Moreira LL, Schwaback D, Rigo D (2018) Sensitivity analysis of the Soil and Water Assessment Tools (SWAT) model in streamflow modeling in a rural river basin. **Rev. Ambient. Água**. Taubaté 13 (6)

Neitsch S, Arnold J. Kiniry J (2011) **Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation**. Version 2009. Texas A&M University System: College Station TX USA. 1–647.

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

Nunes HKB, Aquino CMS (2018) Vulnerabilidade ambiental dos setores censitários às margens do rio Poti no município de Teresina (Piauí). **Revista Brasileira de Geografia Física**. 11(06):1941-1962

Pereira Júnior A, Pereira ER (2017) Degradação ambiental e a diversidade biológica/biodiversidade: uma revisão integrativa. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer, Goiânia, 14(26):922.

Piedade GCR (1980) **Evolução de voçorocas em bacias hidrográficas do município de Botucatu, SP**. 161f. (Tese de Livre Docência) Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

Pimenta EA (2018) **Breve modelo jurídico das áreas de proteção ambiental (APAS) no Brasil**. Disponível em: <https://jus.com.br/artigos/67182/breve-modelo-juridico-das-areas-de-protecao-ambiental-apas-no-brasil>. Acesso em: 13 de nov. 2019.

Pinheiro MAB (2017) **Evapotranspiração de referência com requerimento mínimo de dados para estações de Minas Gerais e adjacências**. 110p. Tese (Mestrado em Ciências Agrárias). Universidade Federal de São João Del Rei.

Pissarra TCT (2002) **Análise da bacia hidrográfica do Córrego Rico na subregião de Jaboticabal, SP: comparação entre imagens TM-Landsat 5 e fotografias aéreas verticais**. 136f. Tese (Doutorado em Agronomia), Unesp, Jaboticabal.

Pissara TCT, Rodrigues FM, Politano W, Galbiatti JA (2010) Morfometria de microbacias do Córrego Rico, afluente do Rio Mogi-Guaçu, Estado de São Paulo, Brasil. Revista **Árvore** 34:669-677.

Plano de Manejo da APA do Rio Uberaba, 2006). Prefeitura Municipal de Uberaba. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Uberaba, Minas Gerais.

Plano de Manejo Emergencial da APA do Rio Uberaba (2012). Prefeitura Municipal de Uberaba. Secretaria Municipal de Meio Ambiente. Uberaba, Minas Gerais.

Plano de Manejo APA do rio Uberaba. (2016. No prelo) Prefeitura Municipal de Uberaba. Uberaba-MG. CODAU – Centro Operacional de Desenvolvimento e Saneamento de Uberaba

Reis JBC (2018) **Modelo hidrológico distribuído para o monitoramento de inundações na bacia do rio Sapucaí, MG**. 109 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

Rennó CD, Soares JV (2007) Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica. **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**, Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 11:529-556.

Rennó CD (2008) Conceitos Básicos de Modelagem Hidrológica. 34 slides.

Ribeiro GF, Pereira SY (2013) Análise morfométrica da bacia hidrográfica Vargens de Caldas, Planalto de Poços de Caldas, MG. **Terræ**, 10:15-20.

Rocha JSM, Kurtz SMJM. (2001) **Manual de Manejo Integrado de bacias Hidrográficas**. Santa Maria: UFSM,. 282 p.

Rocha JSM (1998) **Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria. 195p

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

Rodrigues VA (2014) **Avaliação dos processos hidrológicos em microbacias hidrográficas**. 125 f. Tese (Livre Docência), Unesp, Botucatu.

Rodrigues VS, Utsumi AG (2019). Análise multitemporal do uso e cobertura do solo na APA rio Uberaba sob o enfoque da Ecologia de Paisagens. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba 4(1):83 - 94

Roehrs AS (2019) **Modelagem matemática da infiltração de água no solo e distribuição espacial de atributos físicos de um latossolo argiloso sob sistemas de manejo**. 84f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel.

Santos RMB, Fernandes LFS, Cortes RMV, Pacheco FAL (2019) Hydrologic Impacts of Land Use Changes in the Sabor River Basin: A Historical View and Future Perspectives. **Water** 11:1464.

Santos JO (2015) relações entre fragilidade ambiental e vulnerabilidade social na susceptibilidade aos riscos. **Mercator**, Fortaleza 14(2):75-90.

Santos AM, Targa MS, Batista GT, Dias NW (2012). Análise morfométrica das sub-bacias hidrográficas Perdizes e Fojo no município de Campos do Jordão, SP, Brasil. **Ambi-Agua**. 7:195-211.

Sartori RA (2014) Guia prático para elaboração de projeto de recuperação de áreas degradadas (PRAD) em APP. **Programa de Qualificação e Gestão Ambiental, Nota Técnica n. 01/2014**, Rio de Janeiro p. 1-6.

Schumm SA (1956) Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Ambory, New Jersey. **Geological Society of American Bulletin**, 67:597-646.

SigRH - Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (2020). Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Alto Paranapanema. Disponível em: http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documentos/6997/Processos_Erosivos_nas_Encostas.html. Acesso em: 20 de fev. 2020.

Silva JLC, Vidal CAS; Barros LM; Freita FRV (2018). Aspectos da degradação ambiental no Nordeste do Brasil. **Revista de Gestão e Sustentabilidade Ambiental**. 7:180-191.

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), Unesp, Jaboticabal.

Silva PS (2000) Áreas Protegidas em Portugal: Que papel? Conservação versus desenvolvimento. **Geolnova**. 2:28-44.

Silva TM e Paes TV (2018). Parâmetros morfométricos aplicados a análise tectonoerosiva em bacias de drenagem. **Geo UERJ**. 33:e37684.

Siqueira HE (2019) **Identificação de Áreas para Conservação do Solo e da Água na Área de Proteção Ambiental do Rio Uberaba com Geoprocessamento**. 77 f. Tese (Doutorado em Agronomia), Unesp, Jaboticabal.

Sodré U (2007) **Modelos Matemáticos**. UEL: Londrina, PR. p27

Souza WV (2016) **Aplicações do modelo swat no Brasil: revisão e estudo de caso – Amazônia**. 40f. Monografia (Graduação) Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora.

Strahler AN (1957) Hypsometric analysis and erosional topography **Geological Society of America Bulletin**, 63:1117 – 1142.

SWAT-Soil & Water Assessment Tool. Available. <https://swat.tamu.edu>.

Szymczak DA, Brun FGK, Brun EJ, Rosa SF, Londero EK (2012) Qualidade química do solo com diferentes níveis de degradação em área de preservação permanente. **Monografias Ambientais - REMOA**. 10:2158 – 2169.

Torres FE, Cargnelutti Filho A, Teodoro PE, Corrêa CCG, Ribeiro LP, Cunha ER (2016) Dimensionamento amostral para a estimação da média de precipitação pluvial mensal em locais do Estado do Mato Grosso do Sul. **Ciência Rural** 46:60-69.

Trajano SRRS, Spadotto CA, Holler WA, Daltio J, Martinho PRR, Fois NS (2012) **Análise Morfométrica de Bacia Hidrográfica** – Subsídio à Gestão Territorial Estudo de caso no Alto e Médio Mamanguape. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Embrapa Gestão Territorial. Campinas SP.

Tricart J (1977) **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro. IBGE-SUPREN. 97 p.

Uberaba (2005) **Lei nº 9.892 de 28 de dezembro de 2005**. Cria a Área de Proteção Ambiental Municipal de Uberaba (APA) do Rio Uberaba e dá outras providências. Publicada no Porta Voz nº 605 de 14 de janeiro de 2006.

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 em Agronomia), Unesp, Jaboticabal.

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.

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 em Agronomia) – Unesp. Jaboticabal, SP.

Vianna NB (2018) **Pedogeomorfologia, Morfometria de Bacia Hidrográfica e Uso dos Solos como fatores condicionantes de qualidade e quantidade de água na APA do Rio Uberaba, Triângulo Mineiro.** 67 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) – UFTM, Uberaba, MG.

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