UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

FREDERICO BELFORT POLETTI

METODOLOGIA PARA ESTUDOS DE APTIDÃO DE USO DA TERRA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Sorocaba
2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Sorocaba

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO em
Ciências Ambientais

FREDERICO BELFORT POLETTI

METODOLOGIA PARA ESTUDOS DE APTIDÃO DE USO DA TERRA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" na Área de Concentração Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço

Sorocaba

2025

P765m

Poletti, Frederico Belfort
Metodologia para Estudos de Aptidão de Uso da Terra Utilizando Lógica Fuzzy / Frederico Belfort Poletti. -- Sorocaba, 2025
89 p. : il., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Sorocaba
Orientador: Roberto Wagner Lourenço

1. Geociências. 2. Sistema de informação geográfica. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Bacias Hidrográficas. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Dados fornecidos pelo autor(a).

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Sorocaba

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: METODOLOGIA PARA ESTUDOS DA APTIDÃO DE USO DA TERRA UTILIZANDO LÓGICA FUZZY

AUTOR: FREDERICO BELFORT POLETTI

ORIENTADOR: ROBERTO WAGNER LOURENÇO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais, área: Diagnóstico, Tratamento e Recuperação Ambiental pela Comissão Examinadora:

gov.br Documento assinado digitalmente
ROBERTO WAGNER LOURENCO
Data: 27/03/2025 18:01:27-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. ROBERTO WAGNER LOURENÇO (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / Instituto de Ciencia e Tecnologia Campus de Sorocaba Unesp

gov.br Documento assinado digitalmente
JOSE ARNALDO FRUTUOSO ROVEDA
Data: 11/02/2025 12:50:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. JOSE ARNALDO FRUTUOSO ROVEDA (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia Ambiental / Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciência e Tecnologia, Câmpus de Sorocaba

gov.br Documento assinado digitalmente
LUCAS SCARPANTI DE JESUS
Data: 14/02/2025 10:21:37-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. LUCAS SCARPANTI DE JESUS (Participaçao Virtual)
Diretoria de Controle Ambiental / CETESB

Sorocaba, 10 de fevereiro de 2025

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Wagner, pela orientação, contribuição e, principalmente, pela oportunidade ao me aceitar como seu orientado mesmo com as limitações de tempo que eu dispunha.

Aos docentes do curso de Pós-Graduação da UNESP Sorocaba pelos conhecimentos transmitidos e pela amizade construída ao longo desta jornada.

À secretaria de Pós-Graduação pela atenção, disposição e gestão quando foram solicitados.

À Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB pelo incentivo e auxílio prestado para realização desta pós-graduação.

Ao Prof. Dr. Cristiano Kenji Iwai, Engenheiro da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB e atual Subsecretário de Saneamento e Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, pelo incentivo e orientação ao longo deste percurso.

Aos meus pais, os quais me ensinaram a jamais desistir e a sempre incentivaram a continuar com meus estudos.

Finalmente, à minha esposa Jenifer e às minhas filhas Helena e Lorena, por todo apoio, carinho e compreensão que me deram forças para continuar e concluir mais uma etapa nessa jornada.

POLETTI, F. B. **Metodologia para Estudos de Aptidão de Uso da Terra Utilizando Lógica Fuzzy.** 2025. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Sorocaba, 2025.

RESUMO

O uso da terra tem implicações no desenvolvimento das atividades socioeconômicas e está profundamente ligada com a qualidade ambiental. A conversão de florestas em outros tipos de uso da terra tem grande influência nas alterações dos ciclos hidrológicos, em especial nas bacias hidrográficas. A conversão destas áreas promove a redução da infiltração favorecendo o escoamento superficial e, consequentemente, a ocorrência de erosões e assoreamentos dos cursos d'água, aumentando o aporte de cargas difusas que alteram a sua qualidade e regime hidrológico, bem como podem criar áreas de risco relacionados a movimentos de massas, alagamentos, enchentes etc. Embora esses impactos negativos ocorram no processo da conversão de florestas para outros usos, sua intensidade, bem como a possibilidade de ocorrência de impactos negativos secundários, está diretamente ligada às condições locais, tais como declividade, tipo de solo, drenagem, características da nova ocupação, condições do entorno etc. Nesse sentido, detectar as condições favoráveis para determinados usos da terra se constitui em uma importante ferramenta de gestão a qual pode ser utilizada para elaboração de políticas públicas para direcionar o aproveitamento dos recursos naturais de forma equilibrada e sustentável. Considerando a importância do uso e cobertura da terra e da morfometria das bacias hidrográficas para o contexto da conservação dos atributos hídricos, físicos e bióticos, o presente estudo tem como intuito realizar modelagem ambiental avaliando parâmetros morfométricos, pedológicos e de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Sorocabuçu, Ibiúna, São Paulo, utilizando sistema de inferência fuzzy e técnicas de geoprocessamento em ambiente SIG, realizando uma análise comparativa entre as aptidões de uso da terra e os atualmente desenvolvidos no interior da bacia hidrográfica.

Palavras-chaves: Uso e cobertura da terra, Modelagem, Morfometria, Aprendizagem de máquina

POLETTI, F. B. **Methodology for Studies of Land Use Suitability Using Fuzzy Logic**. 2025. Master's thesis (Master in Environmental Sciences), Institute of Science and Technology, São Paulo State University, Sorocaba, 2025.

ABSTRACT

Land use has implications for the development of socioeconomic activities and is deeply related to environmental quality. The conversion of forests to other types of land uses has a great influence on changes in hydrological cycles, especially in hydrographic basins. The conversion of these areas promotes the reduction of infiltration, favoring surface runoff and, consequently, the occurrence of erosion and silting of watercourses, increasing the contribution of diffuse loads that alter their quality and hydrological regime, as well as creating areas of risk related to mass movements, flooding, etc. Although these negative impacts occur in the process of converting forests to others uses, their intensity, as well as the possibility of secondary negative impacts, is directly related to the local conditions, such as slope, soil type, drainage, characteristics of the new occupation, surrounding conditions, etc. In this sense, detecting favorable conditions for certain land uses constitutes an important management toll which can be used for the elaboration of public policies to direct the use of natural resources in a balanced and sustainable way. Considering the importance of land use and land cover and the morphometry of watersheds in the context of conservation of water, physical and biotic attributes, this study aims to carry out environmental modeling by evaluating morphometric, pedological and soil use and land cover parameters in the Sorocabuçu watershed, Ibiúna, São Paulo, using a fuzzy inference system and geoprocessing techniques in GIS environment, carrying out a comparative analysis between the aptitudes of land use and those currently developed within the watershed.

Keywords: Land use and cover, Modeling, Basin morphometrics, Machine learning

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Separação de conjunto de danos simples (A). Separação de conjunto de dados complexo (B)..... 21
Figura 2 Transformação do conjunto de dados e da curva de separação através de função Kernel..... 21
Figura 3 Localização da Área de Estudo..... 25
Figura 4 Fluxograma resumindo as etapas da elaboração do IMUT..... 36
Figura 5 Mapa Hipsométrico e Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu..... 37
Figura 6 Mapa de declividade da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu 38
Figura 7 Mapa das sub-bacias hidrográficas do Rio Sorocabuçu 39
Figura 8 Mapa de Declividade Média nas Sub-bacias do Rio Sorocabuçu..... 40
Figura 9 Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu..... 41
Figura 10 Mapa de Cobertura Florestal nas sub-bacias hidrográficas do Rio Sorocabuçu..... 43
Figura 11 Ocorrências por faixas de valores do Coeficiente de Compacidade Normalizado..... 44
Figura 12 Ocorrências por faixas de valores do Índice de Circularidade Normalizado..... 44
Figura 13 Ocorrências por faixas de valores do Fator de Forma Normalizado..... 44
Figura 14 Ocorrências por faixas de valores da Densidade de Drenagem Normalizada..... 44
Figura 15 Mapa de Orientação da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu..... 45
Figura 16 Mapa de Coeficiente de Rugosidade da Bacia do Rio Sorocabuçu 46
Figura 17 Função de pertinência para declividade média 47
Figura 18 Função de pertinência para Densidade de Drenagem..... 47
Figura 19 Função de pertinência para variável de saída CR 47
Figura 20 Base de regras do sistema de inferência *Fuzzy* 45
Figura 21 Superfície de controle do sistema de inferência Fuzzy..... 46
Figura 22 Função de correção dos valores extremos de CR 49
Figura 23 Mapa de Aptidão do Uso da Terra da bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu..... 51

Figura 24 Mapa de Conformidade de Uso da Terra da bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu..... 53
Figura 25 Ocorrências por faixas de valores de ICU..... 53
Figura 26 Mapa de Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra.. 54
Figura 27 Ocorrências por faixa de valores de IMUT 55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Classes de cobertura da terra..... 26
Tabela 2 Interpretação do índice Kappa..... 27
Tabela 3 Classes de aptidão do uso da terra..... 33
Tabela 4 Classes de aptidão do uso da terra e intervalos de CR..... 34
Tabela 5 Matriz de Confusão e Índice Kappa após a revisão manual do modelo... 42
Tabela 6 Classes de aptidão do uso da terra e intervalos de CR..... 50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
APM	Área de Proteção de Mananciais
BHRS	Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu
CDB	Convenção sobre Diversidade Biológica
Dd	Densidade de Drenagem
ECO-92	Conferência das Nações Unidades Sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento de 1992
Acc. U	Erro de Comissão – Falso Positivo
Acc. P	Erro de Omissão – Falso Negativo
f	Fator de Forma
IA	Inteligência Artificial
IC	Índice de Circularidade
Kc	Coeficiente de Compacidade
SIG	Sistema de Informação Geográfica
A_b	Área da Bacia hidrográfica
A_c	Área da Circunferência
R	Raio da circunferência
P_b	Perímetro da circunferência
P_C	Perímetro da bacia
Kc	Coeficiente de Compacidade

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

2. JUSTIFICATIVA 16

3. OBJETIVOS 18

3.1 GERAL 18
3.2 ESPECÍFICOS 18

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 19

4.1 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E SENSORIAMENTO REMOTO: ANÁLISE ESPACIAL DE DADOS AMBIENTAIS 19
4.2 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA A CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS 21
4.3 ANÁLISE MORFOMÉTRICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS 23
4.4 APTIDÃO PARA USO DA TERRA E ÁREAS DE RESTRIÇÃO AMBIENTAL 24

5. MATERIAL E MÉTODOS 25

5.1. Área de Estudo 25
5.2. Metodologia 26
5.2.1. Elaboração da base cartográfica de apoio 26
5.2.2. Elaboração do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal 27
5.2.2.1. Obtenção das imagens de satélite 27
5.2.2.2. Elaboração do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal 27
5.2.3. Determinação dos parâmetros morfométricos 28
5.2.3.1. Área total e Perímetro 28
5.2.3.2. Coeficiente de Compacidade (Kc) 28
5.2.3.3. Fator de Forma (f) 29
5.2.3.4. Índice de Circularidade (IC) 30
5.2.3.5. Padrão de Drenagem (Pd) 31
5.2.3.6. Orientação 31
5.2.3.7. Declividade 31
5.2.3.8. Altitude 32
5.2.3.9. Comprimento do curso d'água principal, comprimento total dos cursos d'água e comprimento direto do curso d'água (vetorial) 32
5.2.3.10. Densidade de Drenagem (Dd) 32
5.2.3.11. Coeficiente de Sinuosidade (Cs) 33
5.2.3.12. Ordem dos cursos d'água 33
5.2.3.13. Coeficiente de Rugosidade (*CR*) 33
5.2.3.14. Índice de Conformidade de Uso - ICU 34
5.2.4. Elaboração do Mapa de Aptidão de Uso da Terra 34
5.2.5. Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra - IMUT 36
5.2.6. Etapas para construção do Índice de Análise Morfométrica e de Aptidão do Uso da terra 36

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO 38

6.1. BASE CARTOGRÁFICA DE APOIO 38
6.2. MAPA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL 41
6.3. PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS 44
6.4. MAPA DE APTIDÃO DE USO DA TERRA 47
6.5. MAPA DE CONFORMIDADE DE USO DA TERRA E ÍNDICE DE CONFORMIDADE DE USO DA TERRA 52
6.6. ÍNDICE DE ANÁLISE MORFOMÉTRICA E APTIDÃO DO USO DA TERRA - IMUT 55

7. CONCLUSÕES 58

REFERÊNCIAS 59

APÊNDICE A - TABELA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABUÇU 68

APENDICE B – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS 74

APENDICE C – CONFORMIDADE DE USO E MAPAS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS

NORMALIZADOS.....**80**

1. INTRODUÇÃO

A ocupação desordenada da terra tem profundas implicações socioambientais, tais como a redução da biodiversidade da flora e fauna, ocupação de áreas de riscos, como áreas sujeitas a enchentes, alagamentos e movimentos de massas, ocorrência de desertificação da terra, degradação da qualidade do curso d'água etc. (SUERTEGARAY, 2000 apud BUENO, 2020), como também influenciam no processo de mudanças climáticas, uma vez que a conversão de áreas de florestas para outros usos antrópicos causam a liberação do carbono contido na biomassa para a atmosfera e contribuindo de forma significativa (20%) nas emissões antrópicas de Gases de Efeito Estufa – GEE (GIRI, 2020).

No Brasil, a expansão urbana de núcleos informais frequentemente envolve a conversão irregular de áreas florestadas em uso urbano sem a adoção de medidas adequadas que assegurem a proteção da terra, das águas e demais recursos naturais. Em consequência de tais ações, os problemas ambientais vêm se acumulando rapidamente nas grandes metrópoles: enchentes, disposição inadequada de resíduos sólidos, lançamento de efluentes sem o devido tratamento, degradação da qualidade das águas, degradação da qualidade dos solos, degradação da qualidade do ar e problemas sociais são apenas alguns exemplos dos impactos negativos de uma gestão ineficiente do uso e cobertura da terra. Em São Paulo, por exemplo, a expansão urbana tem avançado sobre as Áreas de Proteção de Mananciais – APM, responsável pelo abastecimento da região metropolitana (JACOBI, 2000).

No âmbito da preservação do meio ambiente e dos recursos naturais, o conhecimento dos padrões de uso da terra permite a adoção de medidas voltadas à preservação e manejo adequado considerando a realidade regional. O monitoramento temporal e espacial desses padrões se mostra imprescindível para monitorar, mitigar e antecipar impactos os socioambientais dessas alterações (SILVA JUNIOR, 2014; GIRI, 2020; SETO e LIU, 2003).

Nas bacias hidrográficas a análise de uso da terra tem se demonstrado uma eficiente ferramenta para análise dos impactos em seu interior, uma vez que ela se caracteriza com uma unidade da paisagem onde todos os elementos existentes, como a geologia, geomorfologia, cobertura vegetação, clima e cursos d'águas, se relacionam (ROSS, 1994; TAMANINI, 2008; KAWAKUBO, 2005; SCHINEIDER et al. 2011 apud FAUSTINO, 2014).

A caracterização morfométrica de uma bacia hidrográfica é um dos mais comuns procedimentos para avaliação ambiental e hidrológico e tem como um dos objetivos avaliar questões relacionadas com a dinâmica local e regional (TEODORO et al., 2007). Para Lima (1976) o comportamento hidrológico das bacias hidrográficas depende de suas características

geomorfológicas (forma, relevo, área, geologia, rede de drenagem, solo etc.) e do tipo de uso e cobertura da terra existente.

As características morfometrias das bacias hidrográficas podem ser subdivididas em três categorias: características geométricas (Perímetro total, Área total, Padrão de drenagem, Índice de circularidade (IC), Fator de forma (f) e Coeficiente de compacidade (Kc)), características do relevo (Declividade média do curso d'água principal, Orientação, Declividade mínima, Altitude máxima, Declividade média, Declividade máxima, Altitude média e Altitude Mínima) e características da rede de drenagem (Ordem dos cursos d'água, Comprimento do curso d'água principal, Densidade de drenagem (Dd) e Comprimento total dos cursos d'água) (TONELLO, 2005).

Nesse contexto, o Sensoriamento Remoto se demonstra útil ao fornecer uma série de ferramentas analíticas, que podem ser utilizadas, tanto temporal como espacialmente, para estudos de extensas áreas a custo relativamente baixos quando comparado com levantamentos de campo (JENSEN, 2013; LOURENÇO et al., 2016). As informações obtidas do Sensoriamento Remoto podem ser processas em Sistemas de Informação Geográficas – SIG para mapear a superfície terrestre e extrair informações morfométricas das bacias hidrográficas (FAUSTINO, 2014).

Atualmente existem várias técnicas de classificação de imagens orbitais para elaboração de mapas de uso da terra, dentre os quais os modelos matemáticos e estatísticos, ou os modelos baseados em aprendizado de máquinas, que em síntese pode utilizar tanto de modelos determinísticos ou probabilísticos ou de uma mescla de ambos. Entretanto, independentemente do método utilizado, o objetivo principal da classificação é realizar o agrupamento de pixel com resposta espectral (refletância e emitância) semelhantes em uma mesma categoria, previamente determinada (LILLESAND, 2004).

Nas últimas décadas o emprego de técnicas de classificação baseados em redes neurais artificiais tem ganhado destaque pelo sucesso de aplicação e por conta de duas principais propriedades: A habilidade de "aprender" com os dados de entrada e a de generalizar e predizer padrões não vistos (SETO e LIU, 2003).

As redes neurais artificiais não precisam de suposições estatísticas sobre a distribuição dos dados, sua performance está relacionada com o quão bem ela foi treinada. Durante o treinamento de uma rede neural, ela apreende os padrões espectrais dos dados da área indicada, construindo regras que podem ser estendidas para dados desconhecidos fora das áreas de treinamento (TSO e MATHER, 2009).

2. JUSTIFICATIVA

A Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), tratado da Organização das Nações Unidas (ONU) estabelecido durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento realizada no Rio de Janeiro em 1992 (ECO-92), entrou em vigor em 1993 e seu texto, aprovado pelo Brasil em 1994 através do Decreto Legislativo nº 2/1994 e ratificado por meio do Decreto Federal nº 2.519/1998, aborda três eixos principais, sendo dois deles referentes a conservação da diversidade biológica e seu uso sustentável (BRASIL, 2023).

Nesse sentido destaca-se que o uso e a cobertura da terra têm papel fundamente no meio ambiente em diversas escalas, de tal forma que as mudanças nesses padrões influenciam a diversidade biológica (SALAS et al., 2002), o clima (GASH et al., 1996) e os ciclos biogeoquímicos e da água (MEIXNER e EUGSTER, 1999).

A falta de conhecimento das aptidões do uso da terra aliado à ausência de planejamento adequado em sua utilização tem ocasionado impactos negativos ao meio ambiente (PEDRON et al., 2006).

A degradação da qualidade ambiental no uso da terra é frequentemente ocasionada por atividade antrópicas que, para sua implantação e desenvolvimento, removem a cobertura florestal para dar espaço a usos alternativos (DE BIE et al., 1996).

No caso do desenvolvimento de atividades agrícolas, principal atividade econômica da região de estudo e de diversos outros município brasileiros, após a remoção da vegetação, devido a implantação dos cultivos sucessivos, a degradação é acentuada com a perda de nutrientes e da matéria orgânica (SOUZA e MELO, 2003) e com a movimentação de máquinas que alteram a compactação e agregação da terra, dificultando o desenvolvimento de estrutura radiculares e a infiltração (REICHERT et al., 2003), favorecendo o escoamento superficial que promove o carreamento de sedimentos e nutrientes para os corpos d'água, resultando no assoreamento e eutrofização dos corpos hídricos (HUNSAKER e LEVINE, 1995; SHARPLEY et al., 1995).

O aumento de áreas degradas decorrentes da falta de manejo da terra em áreas de produção agrícola tem sido evidenciada em diversas regiões do Brasil. Em tais áreas os processos erosivos têm acarretado a perda de solo, sementes, adubos e agrotóxicos os quais são carreados para lagos e rios até atingir o mar. Como resultado tem-se a perda de produtividade da área, o assoreamento e a contaminação dos corpos hídricos e a necessidade de desmatamento de novas áreas férteis para o desenvolvimento da atividade agrícola, causando a perda de biodiversidade em diferentes Biomas (ZONTA et al., 2012).

A degradação ambiental, embora seja inerente às alterações dos padrões de uso e cobertura da terra para desenvolvimento de atividades antrópicas, tem seu potencial acentuado quando desenvolvidas sem levar em considerações as limitações a aptidões do ambiente. Para Fiorio et al. (2000) o uso da terra aliado a aplicação de tecnologias que viabilizam a ocupação da área nem sempre levam em considerações a limitações ambientais do meio.

Zonta (2012) aponta que para evitar a degradação ambiental é necessário planejamento das atividades de produção agropecuárias de acordo com a aptidão das terras, manejando o solo de acordo com suas fragilidades e potencialidades através da obtenção de dados proveniente de diversas fontes do meio físico e biótico e de sistema de informação capazes de gerenciar e integrar estes dados, possibilitando o zoneamento da paisagem para planejar adequadamente o uso da terra.

Nesse sentido o conhecimento da aptidão do uso e ocupação da terra é de extrema relevância para subsidiar a gestão e utilização de maneira eficiente e sustentável dos recursos naturais e para propor políticas voltadas ao seu manejo (RAMALHO FILHO e PEREIRA, 1999; DENT e YOUNG, 1995).

Segundo Luz (2014) o município de Ibiúna apresentou características de mudanças do uso da terra entre os anos de 1996 e 2006 o qual foi avaliado a partir de dados disponibilizados pelo IBGE através de índice criado pelas equipes de geógrafos da Universidade de Kansas (KU), em Lawrence, nos Estados Unidos. Entretanto, embora este índice seja capaz de indicar a expansão e diminuição de diferentes tipos de culturas no decorrer do período estudo, ele não permite identificar o exato local onde está produção ocorreu e nem tão pouco afirmar se o aumento de determinada produção agrícola está vinculado à substituição de culturas ou a abertura de novas áreas de produção agrícola.

Nesse sentido, considerando os impactos ambientais correlacionados com a alteração do uso e a ocupação da terra e a necessidade de prever, prevenir e mitigar tais impactos, a avaliação do uso da terra e a correlação com a sua aptidão permitirá uma avaliação deste cenário, permitindo propor medidas de gestão.

3. OBJETIVOS

3.1 Geral

Avaliar a aptidão do uso da terra e verificar se o uso que a superfície está submetida corresponde a aptidão determinada na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, São Paulo – SP.

3.2 Específicos

- Elaborar uma base cartográfica de apoio planialtimétrica da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu;
- Segmentar a bacia em sub-bacias;
- Calcular os indicadores morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, Ibiúna-SP.
- Elaborar o mapeamento de uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, São Paulo – SP para o ano de 2023 a partir das imagens das bandas B1 (azul), B2 (verde), B3 (vermelho) e B4 (infravermelho) do sensor WPM do satélite CBERS 04A.
- Elaborar o mapeamento de aptidão de uso da terra Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu, Ibiúna – SP.
- Realizar o levantamento das áreas de restrição ambiental atualizadas, tais como Unidades de Conservação – UC's, Áreas de Preservação Permanente – APP, Áreas de Uso Restrito etc., na bacia hidrográfica do Rio Sorocabuçu, Ibiúna – SP.
- Elaborar o mapeamento das áreas de conflito entre o uso atual e a aptidão recomendada.
- Elaborar o mapa de índice de análise morfométrica e aptidão da terra para a bacia hidrográfica.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Sistema de Informação Geográfica e Sensoriamento Remoto: Análise espacial de dados ambientais

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema digital que permite a manipulação, análise e visualização de informações espaciais com objetivo de planejar, administrar e monitorar os ambientes naturais e socioeconômicos (KONECNY, 2014; GHILANI e WOLF, 2013).

Os SIG são sistemas baseados em computadores que podem trabalhar com quaisquer tipos de informações sobre objetos e feições que possam ser georreferenciadas, apresentando, portanto, sinergia para se trabalhar com os dados obtidos através das técnicas e ferramentas de sensoriamento remoto, principalmente pela capacidade de trabalharem de forma conjunta informações locacionais e os atributos dos objetos ao mesmo tempo que permite registrar, analisar, mapear e apresentar informações de maneira lógica e organizada (LILLESAND et al., 2015).

O sensoriamento remoto consiste na técnica de obtenção de informações de um objeto distante sem que haja contato direto com este, permitindo a geração de imagens e informações espectrais deste (KONECNY, 2014; JENSEN, 2011, 2015). É uma ferramenta que utiliza sensores de alta tecnologia embarcados em plataformas orbitais que permitem obter informações específicas de um objeto ou áreas geográficas à distância, tais como a forma e extensão de feições e fenômenos geográficos e/ou aferições da quantidade de energia eletromagnética refletida ou emitida por eles, possibilitando a extração de informações que podem ser trabalhadas em ambiente SIG (JENSEN, 2011).

Para Jensen (2011) o sensoriamento remoto fornece informações básicas para outras áreas da ciência, como um levantamento, entretanto, apresentando a vantagem de não causar perturbações nas áreas ou objeto de interesse para a coleta de dados, os quais são obtidos de forma sistemática e, sob condições controladas, permite a obtenção de informações biofísicas, locacionais, altimétrica, batimétricas, sobre a biomassa, temperatura e teor de água da feição mapeada.

O satélite Sentinel 2-A é um satélite que foi lançado em 23/06/2015 peça Agência Espacial Europeia (ESA) dentro do Programa Copernicus, que tem como missão o monitoramento dos recursos naturais terrestres, tais como vegetação, solos e áreas costeiras. O satélite apresenta resolução no sensor multiespectral (MSI) de 10 m que opera em órbita sol-síncrona, recorrente e congelada a uma altitude de 786 km com resolução temporal de 5 dias.

Essas características orbitais são importantes para o sensoriamento remoto, uma vez que assegura uma uniformidade de iluminação durante o imageamento, porque o ângulo entre o plano orbital e a linha entre o centro da Terra ao Sol é constante, e regularidade da escala do imageamento devido a órbita quase circular que garante que os objetos nas diversas cenas tenham dimensões semelhantes e possam ser comparados (INPE, 2023; EMBRAPA, 2024).

O Sentinel 2A é equipado com sensor SAR (Synthetic Aperture Satellite), estes radares têm capacidade de obterem imagens em período noturno e diurno com resolução espacial de 5 metros e resolução radiométrica de 10 bits, e com sensor MSI de 12 bandas espectrais com resolução de 10 metros nas bandas do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, 20 metros nas bandas Red Edge 1, 2, 3, 4 e SWIR 1 e 2 e 60 metros nas bandas de aerossol, vapor d'água e cirrus (EMBRAPA, 2024).

A aplicabilidade dos produtos gerados a partir de sensoriamento remoto são diversos visto a vasta gama de possibilidades de aquisição de informações, tais como biofísicas locacionais, altimétrica e batimétrica, de vegetação, temperatura superficial, solos e rochas, rugosidade superficial, água, neve e gelo marinho, efeito vulcânicos, distribuição de refletâncias, e variáveis híbridas como estresse da vegetação e uso e cobertura da terra (JENSEN, 2011).

A cobertura da terra na superfície do planeta tem sido alterada desde tempos remotos em escalas globais e locais e em diferentes escalas de tempo e continuaram a ocorrer no futuro, seja por ação de forças naturais ou antrópicas. Entretanto, nas últimas décadas, as ações antrópicas têm acelerado em ritmos nunca vistos estas alterações, resultando em mudanças em quase todos os ecossistemas do mundo (GIRI, 2020).

Mudanças na cobertura da terra tem significativo impacto no ciclo global do carbono. A alteração da cobertura da terra com remoção da vegetação libera o dióxido de carbono contido na biomassa, altera o albedo da superfície, reduz a evapotranspiração e a cobertura de nuvens. De forma geral a conversão de florestas para áreas cultiváveis possibilitou o crescimento populacional à medida que foram transformadas em áreas produtivas fornecendo comida, combustível e outros produtos para a sociedade, por outro lado, reduziu a biodiversidade, promoveu a degradação dos solos e dos recursos hídricos (GIRI, 2020).

Nesse sentido, considerando a natureza difusa, complexa e ampla dos impactos causados pela alteração da cobertura da terra, as técnicas de sensoriamento remoto e os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) apresentam significativo potencial para análise destas alterações, uma vez que possibilitam obter dados de áreas significativamente extensas e em diferentes datas a custos relativamente baixos, os quais podem ser organizados e analisados

espacial e temporalmente de maneira lógica e com foco em diversos critérios.

Entretanto, embora as técnicas de sensoriamento remoto apresentem significativa sinergia para análise de dados relacionados ao uso e cobertura da terra, é importante ter conhecimento de suas limitações. Para Jensen (2013) a maioria das pessoas superestimam as técnicas de sensoriamento remoto e comumente entendem que elas irão fornecer todas as informações necessárias para condução dos estudos.

Lillesand et al. (2004) cita como limitações para as técnicas de sensoriamento remoto a fonte de energia, visto que grande parte dos sensores utilizam a energia refletida do sol e as emitida pelos objetos, a qual não é uniforme, variando no tempo e local; a atmosfera, que altera a intensidade e distribuição da energia quando está a atravessa, variando de acordo com o cumprimento de onda, tempo e local; a interação entre a energia e a matéria na superfície, uma vez que objetos distintos podem ter respostas espectrais semelhantes, o que dificulta a identificação e distinção; o sensor, visto que não existe sensor que capte energia em todo o espectro eletromagnético e estejam disponíveis quando e onde desejarmos a baixos custos operacionais, eles apresentam limitações relacionadas a resolução espectral, espacial, temporal, radiométrica que são pré-estabelecidos e envolvem alto custo operacional.

4.2 Inteligência artificial aplicada a classificação de imagens

O termo Inteligência Artificial - IA, proposto formalmente em 1956 em uma conferência na Universidade de Dartmouth, refere-se ao estudo de como as máquinas podem reproduzir a inteligência humana em termos de aprendizado, julgamento e tomada de decisão (ZHANG; LU, 2021).

Para Lu (2019) IA é uma ciência multi e interdisciplinar, sendo a Aprendizagem de Máquina o ramo mais conhecido dela. A Aprendizagem de Máquina permite aos computadores analisarem e aprenderem com uma grande quantidade de dados através de algoritmos, tornando possível a realização de predições sobre eventos no mundo real (CHI-HSIEN; NAGASAWA, 2019).

Enquanto a Aprendizagem de Máquina refere-se a um subconjunto das IA, o Aprendizado Profundo é um de seus subcampos e as Redes Neurais Artificiais – RNA são os algoritmos que possibilitam o aprendizado (IBM DATA AND AI TEAM, 2023; HEMANTH, 2020; SARMENTO, 2010).

O Support Vector Machine (SVM) foi inicialmente proposto por Vapnik *et al.* (1995) e consiste em um algoritmo de aprendizado de máquina supervisionado que utiliza planos de decisão para realizar a classificação do conjunto de dados a multidimensional, usando funções

Kernels, as quais reorganizam o espaço e os objetos a classificar.

Portela *et al* (2017) definem o método de forma exemplificativa como a separação de um conjunto de objetos com diferentes classes por meio de planos de decisão, conforme indicado na Figura 1-A entretanto, os problemas de classificam costumam a ser mais complexos, sendo necessário a separação dos grupos por estruturas mais complexas conforme indicado na Figura 1-B, as quais são transformadas por meio de funções matemáticas conhecidas como Kernels, conforme indicado na Figura 2, as quais constroem uma nova curva ótima de menor complexidade.

Figura 1 - Separação de conjunto de dados simples (A). Separação de conjunto de dados complexo (B)

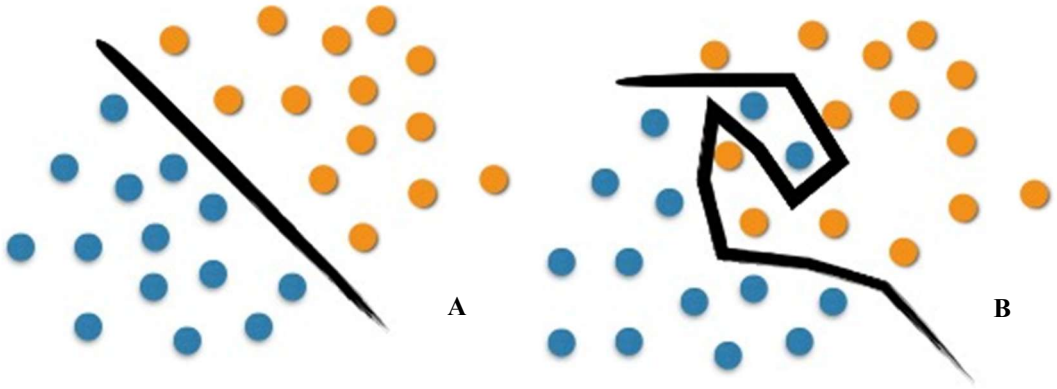
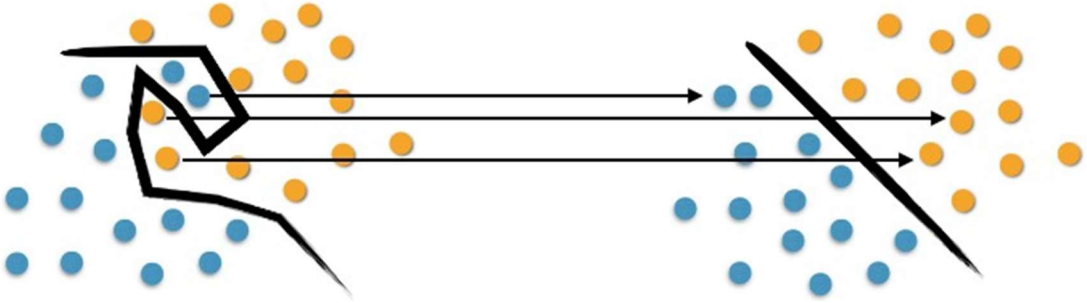


Figura 2 - Transformação do conjunto de dados e da curva de separação através de função Kernel.



Dadas as características do multiespectrais e sua possibilidade de divisão em grupos pré-definidos através do conjunto de dados de treinamento, o método permite encontrar uma separação ótima entre as classes previamente definidas através dos planos de decisão (VAPNIK *et al*., 1995).

4.3 Análise morfométrica das bacias hidrográficas

A Bacia Hidrográfica é um compartimento geográfico e hidrológico delimitado por divisores topográficos de tal forma que a água, sedimentos e materiais dissolvidos que escoam pelo seu interior apresentam uma saída comum, conhecido como exutório (MACHADO E TORRES, 2012).

Para Tucci (1997) a bacia hidrográfica é constituída pela área de captação natural das precipitações a qual, em função de suas vertentes, desenvolve uma rede de drenagem que confluem até o exutório da bacia. Desta forma, as mudanças, naturais e antrópicas, em sua cobertura vegetal alteram o comportamento hidrológico e causam impactos ao ambiente a nos recursos hídricos (TUCCI, 1997).

A Bacia Hidrográfica se caracteriza com uma unidade da paisagem, onde os elementos existentes, como a geologia, geomorfologia, cobertura vegetal, clima e cursos d'águas, se relacionam (ROSS, 1994; TAMANINI, 2008; KAWAKUBO, 2005; SCHINEIDER et al. 2011 apud FAUSTINO, 2014; AMÉRICO-PINHEIRO e BENINI, 2018; MIGUEL et al., 2012). Ressalta-se que a própria Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH brasileira, instituída pela Lei Federal nº 9.433/1997, tem, como um de seus fundamentos, a bacia hidrográfica como a unidade territorial para sua implantação.

Os aspectos morfométricos das Bacias Hidrográfica apresentam significativa relevância nos estudos destas unidades territoriais, uma vez que atuam sobre o ciclo hidrológico, alterando questões relacionada com a infiltração, evapotranspiração e escoamento, superficial e subsuperficial, e amplificação ou atenuação dos impactos ambientais em seu interior (RODRIGUES et al. 2018; SANTOS et al, 2012).

Os indicadores morfométricos são informações resumidas sobre as características físicas das bacias hidrográficas (LOURENÇO et al., 2016) e se constitui como um dos mais comuns procedimentos para análise hidrológicas e ambientais elucidando questões relacionadas com a dinâmica local e regional (TEODORO et al., 2007).

Desta forma a análise do uso e a ocupação da terra em conjunto com a morfometria das bacias hidrográficas tem se mostrado uma ferramenta eficiente na avaliação de impactos no ambiente (MACHADO E TORRES, 2012; SANTOS et al., 2012; FAUSTINO et al., 2014; LOURENÇO et al., 2016; BORGES, 2002; QUEIROZ, 2011).

Para Faustino et al (2014) os estudos de Bacias Hidrográficas pautados em técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica apresentam fundamental importância à medida que permitem mapear o uso e ocupação da terra, extrair informações morfométrica das bacias hidrográficas, analisar e entender os processos e mudanças ocorridas

no ambiente conjuntamente com a obtenção de informações espaciais e temporais destas alterações.

4.4 Aptidão para uso da terra e áreas de restrição ambiental

Diversos trabalhos relacionados com a avaliação da aptidão do uso da terra foram desenvolvidos utilizando o coeficiente de rugosidade (*CR*) ou, do inglês, ruggedness number, definido pelo produto entre a declividade média e a densidade de drenagem, como indicador (COSTA et al., 2020).

Embora o Coeficiente de Rugosidade (*CR*) introduzido por Strahler (1952) tenha sido proposto como indicador da dinâmica hidrológica, trabalhos recentes baseados na metodologia proposta por Rocha e Kurtz (2001) e Valle Junior (2008) o tem adotado para avaliação da aptidão de uso da terra.

A metodologia descrita por Rocha e Kurtz (2001) tem como características a divisão do uso potencial das terras rurais em quatro categorias de acordo com o Coeficiente de Rugosidade (*CR*): agricultura, pecuária, silvicultura e preservação permanente. A determinação destas classes é feita através do cálculo da amplitude, diferença entre o maior e o menor valor do Coeficiente de Rugosidade (*CR*), dividida entre as quatro categorias preconizadas pelo método de *Sicco Smith*.

Rocha e Kurtz (2001) apud Valle Junior (2008) descrevem que a deterioração ambiental está fortemente relacionada com o cumprimento das ravinas, densidade de drenagem, declividade média, índice de circularidade, índice de forma e coeficiente de rugosidade uma vez que relacionam com o risco de ocorrência de processos erosivos com consequente degradação da terra e da qualidade das águas.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área de Estudo

A área de estudo é a Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu (Figura 3). Esta bacia está localizada no centro oeste do Estado de São Paulo, Brasil, fazendo parte da décima Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Sorocaba e Médio Tietê (UGHRI 10).

A Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu está integralmente inserida na Área de Proteção Ambiental – APA do Reservatório de Itupararanga, Unidade de Conservação – UC de Usos Sustentável, e tem uma área de drenagem de 202,67 km², representando 19% do município de Ibiúna, onde se encontra totalmente inserido.

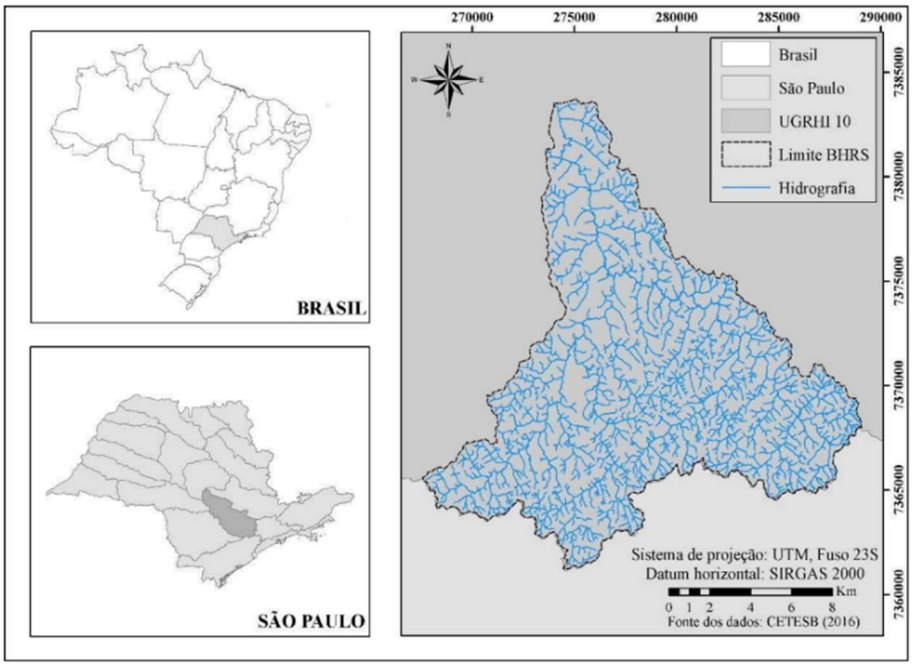
Esta bacia, juntamente com os Rios Una e o Sorocamirim, formam o reservatório de Itupararanga, principal manancial de captação de água para abastecimento do município de Sorocaba e região (TOLEDO, 2023; LOURENÇO et al., 2016).

O município de Ibiúna está localizado no interior do Estado de São Paulo a aproximadamente 70 km da Região Metropolitana de São Paulo, carta de São Roque SF-23-Y-C-V-2 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1979), e integra a Região Metropolitana de Sorocaba (RMS) que possui um território de 1.058.082 km² (IBGE, 2023) com uma população estimada 77.749 habitantes, densidade demográfica de 73,5 hab./km² e grau de urbanização de 37,5% segundo dados publicados pela Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados (SEADE, 2023).

O município de Ibiúna além de ser um dos 70 municípios paulistas classificados como estância turística, ele apresenta vocação para produção agrícola, devido sua grande irrigação, sendo um dos municípios com maior número de agricultores familiares tradicionais e orgânico (LUZ, 2014), o qual já foi considerando como cinturão verde nos idos de 1985 (UENO, 1985 apud LUZ, 2014).

Segundo a classificação de Köeppen o clima predominante na área de estudo é do tipo Cwb, isto é, com verão chuvoso e inverno com estiagem, enquanto a vegetação original é a ombrófila densa montana (Veloso et al., 1991; Salles, 2008; Sales, 2015; LOURENÇO et al., 2016).

Figura 3 - Localização da Área de Estudo.



Fonte: TOLEDO, 2023

5.2. Metodologia

5.2.1. Elaboração da base cartográfica de apoio

As curvas de nível e pontos cotados utilizadas para produção do Modelo Digital de Elevação, os layers dos sistemas viários e respectivo limite da bacia foram obtidas em formato "shapefile" na base de dados do Laboratório de Geoprocessamento da UNESP de Sorocaba, as quais foram digitalizadas a partir das cartas topográficas 1:10.000 do Instituto Geográfico Cartográfico – IGC (1979).

A hidrografia foi obtida a partir da digitalização das cartas topográficas 1:10.000 do Instituto Geográfico Cartográfico – IGC (1979) utilizando-se a ferramenta ArcScan do ArcGIS ArcMAP e posteriormente suavizadas e revisadas manualmente para correções dos erros de digitalização gerados pelo método.

Após a digitalização e tratamento da hidrografia digitalizada, procedeu-se a classificação dos cursos d'água de acordo com o método proposto por Strahler (1952) de tal forma que os cursos d'água que não contêm afluentes e originam diretamente de suas nascentes são classificados como de 1ª ordem a qual aumenta quando cursos d'água de mesma ordem confluem. Essa classificação foi realizada manualmente para todos os cursos d'água ao longo da bacia, à medida que estes era digitalizados, para posteriormente serem utilizadas na delimitação das bacias hidrográficas dos cursos d'água de 3ª ordem ou superior através da ferramenta *Watershade* presente no *ArcGIS PRO*.

Após a delimitação automatizada das microbacias dos cursos d'água de 3ª ordem ou superior, procedeu-se a verificação e correção manual de eventuais erros gerados no processamento automatizado, principalmente nas regiões de deflúvio de cada sub-bacia mapeada.

5.2.2. Elaboração do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

5.2.2.1. Obtenção das imagens de satélite

As imagens de satélite da área foram obtidas através do site Copernicus Browser da União Europeia. Foi utilizada as imagens mais recentes do satélite Sentinel 2 que recobrissem a área, no padrão L2A, ou seja, com reflectâncias corrigidas, e que não apresentassem significativas coberturas de nuvens sobre a área de interesse.

Considerando os critérios de pesquisa, foram obtidas imagens datadas de 11 de outubro de 2023 com tamanho de 110x110 km² georreferenciadas em projeção UTM/ SIRGAS2000.

5.2.2.2. Elaboração do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal

O Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi gerado utilizando o módulo de classificação de imagem (*Classification Wizard*) do *ArcGIS PRO*, utilizando o método SVM (*Support Vector Machine*) de classificação supervisionada pixel a pixel, ou seja, fornecendo ao modelo áreas de treinamento com a cobertura da terra conhecidas para a classificação dos pixels.

Para a classificação foram utilizadas áreas de treinamento para as seguintes categorias de uso da terra indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Classes de cobertura da terra

Classe	Cobertura da terra
C1	Urbano
C2	Floresta
C3	Água
C4	Pastagem
C5	Solo Exposto
C6	Culturas
C7	Reflorestamento

Fonte: Autoria própria

Após executar a primeira etapa do módulo, ele permite carregar área de "*ground truth*" para avaliação da confiabilidade do modelo de uso da terra gerado por meio de Matriz de Confusão e Coeficiente *Kappa*.

Verificado a confiabilidade da primeira etapa, o modelo permite realizar a revisão manual das áreas de usos da terra que apresentaram erros evidentes, permitindo a troca de uma categoria para outra, retificando o modelo com base nas informações manuais informadas.

A análise de confiabilidade do modelo retificado é feita novamente através de Matriz de Confusão e Índice Kappa. Em relação à acuraria na matriz de confusão, a acurácia P (Acc. P) indica a taxa de acertos em relação ao valor real e a acurácia U (Acc. U) a taxa de acerto em relação à categoria estimada. O Índice Kappa, obtido através da matriz de confusão, permite conhecer a exatidão global da classificação e, segundo Landis e Kioch (1997) apresentam seis classes de precisão indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Interpretação do índice Kappa

Valor de Kappa	Concordância
< 0	Péssima
0 a 0,2	Ruim
0,2 a 0,4	Razoável
0,4 a 0,6	Boa
0,6 a 0,8	Muito Boa
> 0,8	Excelente

Fonte: (Landis e Kioch, 1997).

5.2.3. Determinação dos parâmetros morfométricos

5.2.3.1. Área total e Perímetro

Os valores de área e perímetro da bacia e sub-bacias do Rio Sorocabuçu foram obtidos através de layers vetoriais destas feições com o uso ferramenta *Geometric Calculator* do *ArcGIS PRO*.

5.2.3.2. Coeficiente de Compacidade (Kc)

Este parâmetro faz a correlação entre a forma da bacia com a forma geométrica circular, através da relação de seu perímetro ao de uma circunferência de igual área. Este coeficiente tem relação com o tempo de concentração e o pico de cheias, de tal forma que quanto mais circular

é a bacia, ou seja, Kc mais próximo de 1, menor o tempo de concentração e maior os picos de cheias.

$$A_c = A_b \rightarrow \pi {R_c}^2 = A_b \therefore R_c = \frac{\sqrt{A_b}}{\sqrt{\pi}} \quad (1)$$

$$Kc = \frac{P_b}{P_c} = \frac{P_b}{2\pi R_c} \quad (2)$$

Aplicando-se (1) em (2), temos:

$$Kc = \frac{P_b}{2\pi \frac{\sqrt{A_b}}{\sqrt{\pi}}} = \frac{P_b}{2\pi^{1/2} {A_b}^{1/2}} \therefore Kc \approx \frac{0{,}2821 P_b}{\sqrt{A_b}} \quad (3)$$

Sendo:

A_c – Área da circunferência

A_b – Área da sub-bacia

R_c – Raio da circunferência

P_b – Perímetro da bacia

P_c – Perímetro da circunferência

As informações relativas ao perímetro da bacia e sua respectiva área podem ser obtidos através do *layer* vetorial desta feição com o uso ferramenta *Geometric Calculator* do *ArcGIS PRO*.

Para fins de normalização dos valores entre 0 e 1 seguiu-se o proposto por Lourenço *et al.* (2016) o quase se baseou em estudo realizados por Mello e Silva (2013) que identificou que bacias com coeficiente de compacidade inferiores a 1,25 apresentavam elevada propensão a grandes enchentes, enquanto bacias que apresentavam valores superiores a 1,50 apresentavam tendencia a conservação. A equação normalizada está indicada na Equação 4.

$$Kc_N = \begin{cases} 0, & para\ Kc \leq 1{,}25 \\ 4Kc - 5, & para\ 1{,}25 < Kc < 1{,}50 \\ 1, & para\ Kc \geq 1{,}5 \end{cases} \quad (4)$$

5.2.3.3. Fator de Forma (f)

Este parâmetro faz a correlação entre a forma da bacia com a forma geométrica de um

quadrado de lados equivalentes ao comprimento axial da bacia, ou seja, a distância entre o ponto mais alto e distante até a sua foz. Para Vilella e Mattos (1975) bacias hidrográficas com mesma área apresentam tendências diferenciadas para ocorrência de enchentes, a qual é inversamente relacionada com o fator de forma.

$$f = \frac{A_b}{{L_{Ax}}^2} \tag{5}$$

Sendo:

A_b – Área da sub-bacia

L_{Ax} – Comprimento axial da sub-bacia.

A informação relativa à área da bacia foi obtida através do *layer* vetorial desta feição com o uso ferramenta *Geometric Calculator* do *ArcGIS PRO*.

Para fins de normalização dos valores entre 0 e 1 seguiu-se o proposto por Lourenço *et al.* (2016), o qual se baseou em estudos realizados por Mello e Silva (2013) que identificou a propensão a grandes enchentes em bacias com fator de forma entre 0,75 e 1, enquanto as bacias com fator de forma inferior a 0,50 apresentavam tendencias a conservação. A equação de normalização está indicada na Equação 6.

$$f_N = \begin{cases} 0, & para\ f\ \geq 0{,}75 \\ -4f + 3, & para\ 0{,}50 < f < 0{,}75 \\ 1, & para\ f \leq 0{,}5 \end{cases} \tag{6}$$

5.2.3.4. Índice de Circularidade (IC)

Este parâmetro, similar ao Coeficiente de Compacidade, compara a bacia com a forma circular. Valores acima de 0,51 demonstram que as bacias tendem à forma circular, favorecendo os picos de cheias, enquanto valores menores indicam bacias alongadas favorecendo o escoamento superficial (TRAJANO et al, 2012).

$$IC = \frac{12{,}5663 A_b}{{P_b}^2} \tag{7}$$

Sendo:

A_b – Área da sub-bacia

P_b – Perímetro da sub-bacia.

A informação relativa à área da bacia foi obtida através do *layer* vetorial desta feição com o uso ferramenta *Geometric Calculator* do *ArcGIS PRO*.

Para fins de normalização dos valores entre 0 e 1 seguiu-se o proposto por Lourenço *et al.* (2016) o qual se baseou em estudo realizados por Machado e Torres (2012) que identificou que as bacias hidrográficas mais circulares apresentam propensão de provocarem enchentes súbitas no curso d'água principal, devido ao baixo tempo de concentração, quando comparada com bacias alongadas. A equação normalizada pode ser verificada na Equação 8.

$$IC_N = 1 - IC \tag{8}$$

5.2.3.5. Padrão de Drenagem (Pd)

Este parâmetro avalia a forma de distribuição dos cursos d'água dentro da bacia e foram obtidos através da vetorização e classificação da rede de drenagem e identificação visual.

5.2.3.6. Orientação

O Mapa de Orientação ou de Aspecto é um mapa que identifica a direção das encostas ou vertentes da bacia, tal situação tem importância para o estudo de atividade agrícola e desenvolvimento urbano, uma vez que as direções das encostas estão diretamente relacionadas com a insolação que determinada área recebe ao longo do dia.

O Mapa de Orientação foi derivado do Modelo Digital de Elevação – MDE, obtido a partir das curvas de nível disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental - LABGEMM da UNESP de Sorocaba, através da ferramenta *Aspect* existente dentro do módulo *Spatial Analyst Tools/Surface* do *ArcGIS PRO*.

5.2.3.7. Declividade

O Mapa de declividade qualifica as fases do relevo as quais são importantes para estudos e análises de susceptibilidade a processos erosivos e possibilidade de mecanização nas culturas agrícolas.

O Mapa de declividade foi derivado do Modelo Digital de Elevação – MDE, obtido a partir das curvas de nível disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental - LABGEMM da UNESP de Sorocaba, através da ferramenta *Slope* existente dentro do módulo *Spatial Analyst Tools/Surface* do *ArcGIS PRO*. As informações de declividade média para cada sub-bacia foram obtidas através da subdivisão do mapa de

declividade utilizado e as feições vetoriais das sub-bacias com a ferramenta *Split Raster* existente dentro do módulo *Data Management Tools/Raster/Raster Processing* do *ArcGIS PRO*.

5.2.3.8. Altitude

O Mapa hipsométrico, que representa por meio de representação gráfica as altitudes da bacia por meio de cores, foi gerado a partir das curvas de nível disponibilizadas pelo Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Matemática Ambiental - LABGEMM da UNESP de Sorocaba, através da ferramenta *Topo to Raster* existente dentro do módulo *3D Analyst Tools/Raster/Interpolation* do *ArcGIS PRO*. As informações de altitude mínima, máxima e média para cada sub-bacia foram obtidas através da subdivisão do mapa hipsométrico utilizado e as feições vetoriais das sub-bacias com a ferramenta *Split Raster* existente dentro do módulo *Data Management Tools/Raster/Raster Processing* do *ArcGIS PRO*.

5.2.3.9. Comprimento do curso d'água principal, comprimento total dos cursos d'água e comprimento direto do curso d'água (vetorial)

As informações relativas ao cumprimento total dos cursos d'água e do curso d'água principal foram obtidos através da tabela de atributos da camada vetorizado da base hidrográfica, elaborada conforme descrito no item 5.3, utilizando-se a ferramenta *Explorer Statistics* do *ArcGIS PRO*.

O comprimento direto do curso d'água foi obtido mediante aferição direta com a ferramenta *Measure* do *ArcGIS PRO* desde a nascente do Rio Sorocabuçu até sua foz.

5.2.3.10. Densidade de Drenagem (Dd)

A densidade de drenagem indica a eficiência do sistema de drenagem e é definida pela razão entre o comprimento de todos os cursos d'água da bacia e a área da bacia.

$$Dd = \frac{L_{Tot}}{A_b} \tag{9}$$

Sendo:

L_{Tot} – Comprimento total dos cursos d'água na sub-bacia.

A_b – Área da sub-bacia.

Para fins de normalização entre 0 e 1 seguiu-se o proposto por Lourenço *et al.* (2016),

o qual se baseou nos estudos realizados por Vilella e Mattos (1975) que identificou bacias com valores abaixo de 0,5 km/km² são bacias mau drenadas enquanto valores acima de 3,5 km/km² são bacias excepcionalmente bem drenadas. A equação normalizada é indicada na Equação 10.

$$Dd_N = \begin{cases} 0, & para\ Dd \leq 0{,}5 \\ \frac{1}{3}Dd - \frac{1}{6}, & para\ 0{,}5 < Dd < 3{,}50 \\ 1, & para\ Dd \geq 3{,}5 \end{cases} \quad (10)$$

5.2.3.11. Coeficiente de Sinuosidade (Cs)

Esse parâmetro relaciona o comprimento do curso d'água principal e seu respectivo comprimento vetorial e permite discorrer sobre a velocidade de escoamento no canal. Valores elevados indicam alta sinuosidade do curso d'água e, consequentemente, maior distância para se atingir o exutório da bacia.

$$CS = \frac{L_{cp}}{L_{Vet}} \quad (11)$$

Sendo:

L_{cp} – Comprimento do curso d'água principal da sub-bacia

L_{Vet} – Comprimento vetorial do curso d'água principal da sub-bacia.

Os valores do comprimento total do curso d'agua e do comprimento direto (vetorial) foram obtidos através de aferições diretas no *layer* vetorial e com uso da ferramenta *Measure* do *ArcGIS PRO.*

5.2.3.12. Ordem dos cursos d'água

A ordem do curso d'água foram obtidos através do layer vetorial da hidrografia elaborada conforme descrito no item 5.2.1

5.2.3.13. Coeficiente de Rugosidade (*CR*)

Para Rocha e Kurtz (2001) este coeficiente é um parâmetro que indica o uso potencial da terra, de tal forma que, se comparado com o uso atual da terra, pode determinar áreas de conflitos nas bacias.

O coeficiente de rugosidade é definido pelo produto da densidade de drenagem e da

declividade média da bacia.

$$CR = Dd * \overline{D} \quad (12)$$

Sendo:

Dd – Densidade de drenagem da sub-bacia.

$\overline{D}$ – Declividade média da sub-bacia.

5.2.3.14. Índice de Conformidade de Uso - ICU

Lourenço *et al.* propuseram o índice na forma de correlação entre a área de usos conformes dentro da bacia pelo produto do inverso de sua área, representando em forma de fração ou porcentagem a área da bacia que apresenta uso em conformidade com sua aptidão.

$$ICU = \frac{A_{Conf.}}{A_b} \quad (13)$$

Sendo:

$A_{Conf.}$ – Área de uso em conformidade com o mapa de aptidão dentro da sub-bacia.

A_b – Área da sub-bacia.

5.2.4. Elaboração do Mapa de Aptidão de Uso da Terra

O Mapa de Aptidão de Uso da Terra será elaborado através de adaptação da metodologia proposta por Rocha e Kurtz (2001), visando a aplicação de sistema de inferência *fuzzy* para definição das classes de aptidão de uso da terra conforme indicado na Tabela 3, utilizando-se o Coeficiente de Rugosidade (*CR*).

Tabela 3 - Classes de aptidão do uso da terra

Tipos de Classes	Aptidão de uso dos solos
A	Agricultura
B	Pecuária/Pastagem
C	Reflorestamento
D	Floresta

Fonte: Adaptado de Rocha e Kurtz (2001) apud Lourenço et al. (2016)

O Coeficiente de Rugosidade (*CR*) é um parâmetro que direciona o uso potencial das terras dentro das bacias hidrográficas, quanto maior for o valor do Coeficiente de Rugosidade,

maior o risco da ocorrência de processos erosivos. Em função disso, Rocha e Kurtz (2001) estabeleceram quatro classes de coeficientes as quais foram adaptadas no presente trabalho (Tabela 3).

Para realizar o enquadramento das classes de aptidão, é necessário realizar o cálculo da amplitude (A) e do intervalo entre classes (IC) do Coeficiente de Rugosidade (*CR*).

$$A = CR_{Maior} - CR_{Menor} \tag{14}$$

$$IC = \frac{A}{4} \tag{15}$$

Sendo:

A – Amplitude do CR.

CR_{Maior} – Maior valor encontrado para o CR na sub-bacia hidrográfica.

RN_{Menor} – Menor valor encontrado para o CR na sub-bacia hidrográfica.

IC – Intervalo entre Classes.

A obtenção dos intervalos de classe de aptidão para as sub-bacias hidrográficas é definida acrescentando-se, ao menor valor de *CR*, o valor do Intervalo entre Classes (IC), e assim subsequentemente para as demais classes conforme indicadas na Tabela 4.

Entretanto, tendo em vista que a aptidão de um uso da terra não se altera de forma booleana em intervalos bem definidos, mas deixam progressivamente de ter aptidão para um determinado uso e começam progressivamente a ter aptidão para outros, aplicou-se a teoria dos conjuntos fuzzy, através do sistema de inferência de Mamdani, para o cálculo do Coeficiente de Rugosidade o qual subsidiou a classificação da aptidão da sub-bacias conforme regra estabelecida na Tabela 4.

Tabela 4 - Classes de aptidão do uso da terra e intervalos de *CR*

Tipos de Classe	**Intervalo**	**Aptidão**
A	$x < CR_{Menor} + IC$	Agricultura
B	$CR_{Menor} + IC \leq x < CR_{Menor} + 2 * IC$	Pecuária/Pastagem
C	$CR_{Menor} + 2 * IC \leq x < CR_{Menor} + 3 * IC$	Reflorestamento
D	$x \geq CR_{Menor} + 3 * IC$	Floresta

As funções de pertinência de declividade média foram construídas com base nas classes de declividade propostas pela EMBRAPA (1979) e nas categorias de restrição estabelecidos na Lei Federal nº 12.651/2012, Novo Código Florestal, o qual estabelece que áreas entre 25º e 45º apresentam restrição a conversão de área de vegetação, excetuado os casos de interesse social e utilidade pública, e acima de 45º que determinam que tais regiões são consideradas como Área de Preservação Permanente – APP. Considerando o exposto, as funções de pertinência foram construídas em intervalos de 5 em 5 graus, com valores considerados altos acima de 25º.

As funções de pertinência relativa à Densidade de Drenagem foram construídas a partir dos estudos realizados por Vilella e Mattos (1975) realizando uma divisão homogênea entre as faixas de valores locais existentes nas sub-bacias.

5.2.5. Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra - IMUT

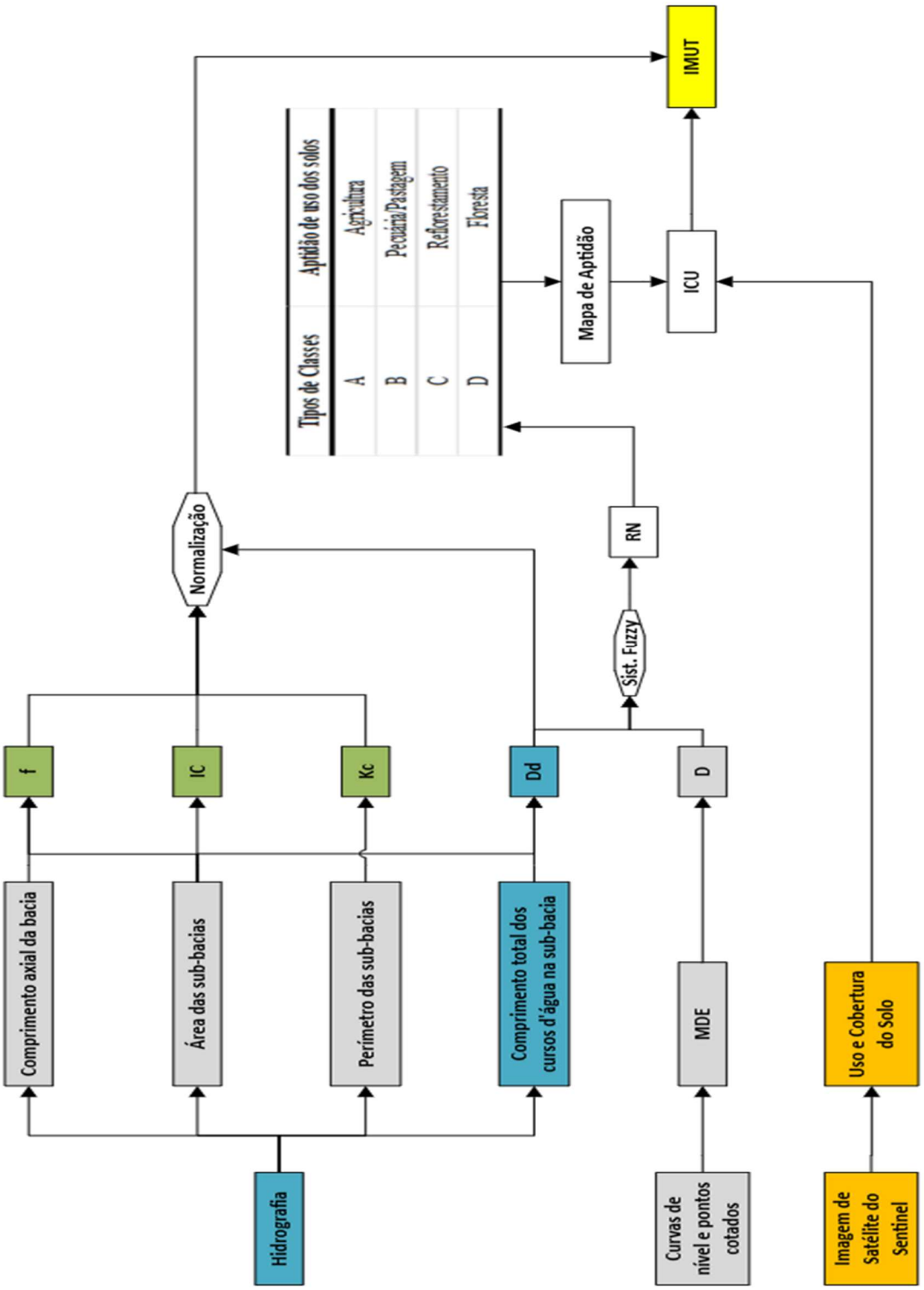
O índice utilizado no presente trabalho foi proposto por Lourenço et al (2016) o qual correlaciona versões normalizada Índice de Circularidade (IC_N), Coeficiente de Compacidade (Kc_N) e Fator de Forma (f_N), Densidade de Drenagem (Dd_N) e o Índice de Conformidade de Uso (ICU).

$$IMUT = \frac{\sum_{i=1}^{5} V_i}{5} \tag{16}$$

5.2.6. Etapas para construção do Índice de Análise Morfométrica e de Aptidão do Uso da terra

Na Figura 4 são apresentadas as principais etapas na elaboração do Índice de análise Morfométrica e de Aptidão do Uso da Terra - IMUT.

Figura 4 - Fluxograma das etapas da elaboração do IMUT



6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Base cartográfica de apoio

A partir das curvas de nível fornecidas pelo Laboratório de Geoprocessamento da UNESP de Sorocaba, foi gerado o Modelo Digital de Elevação - MDE indicado na Figura 5 conjuntamente com a hidrografia obtida a partir da digitalização das cartas topográficas 1:10.000 do IGC (1979); na Figura 6 e 7 se encontram o mapa de declividade da bacia e de sub-bacias os quais foram derivados respectivamente do MDE e da hidrografia digitalizada.

Figura 5 - Mapa Hipsométrico e Hidrografia da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu.

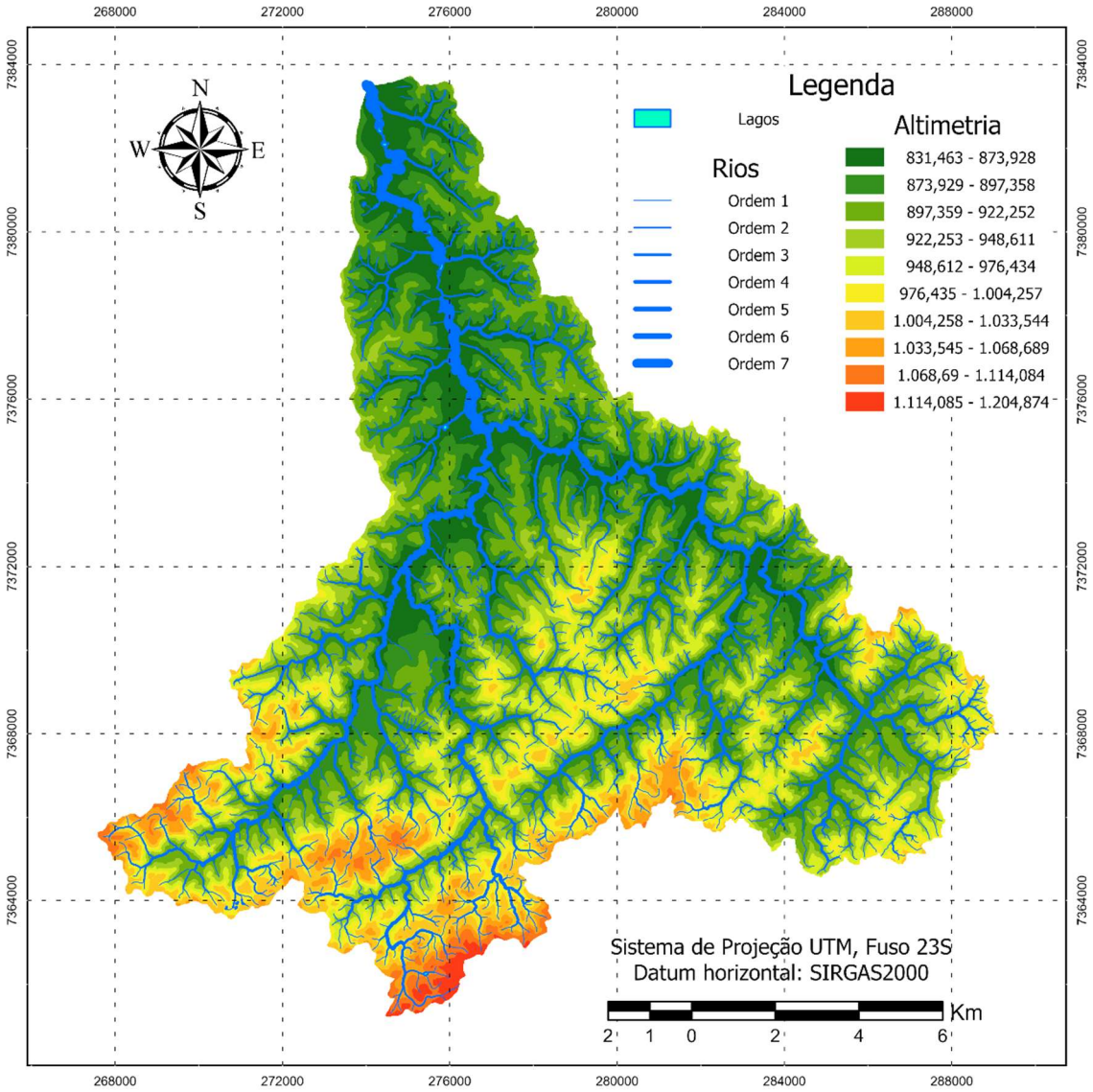


Figura 6 - Mapa de declividade da Bacia Hidrográficas do Rio Sorocabuçu

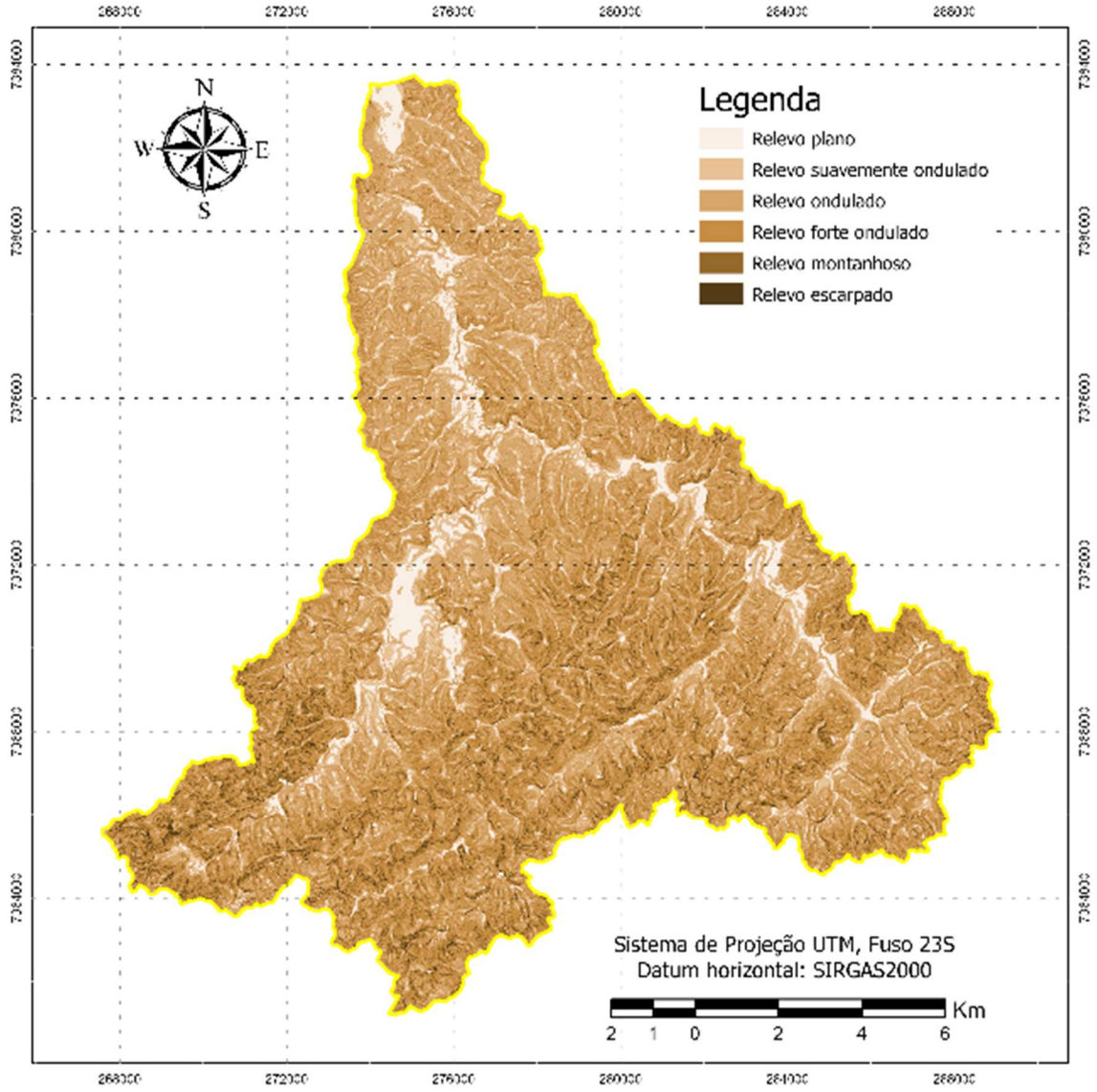
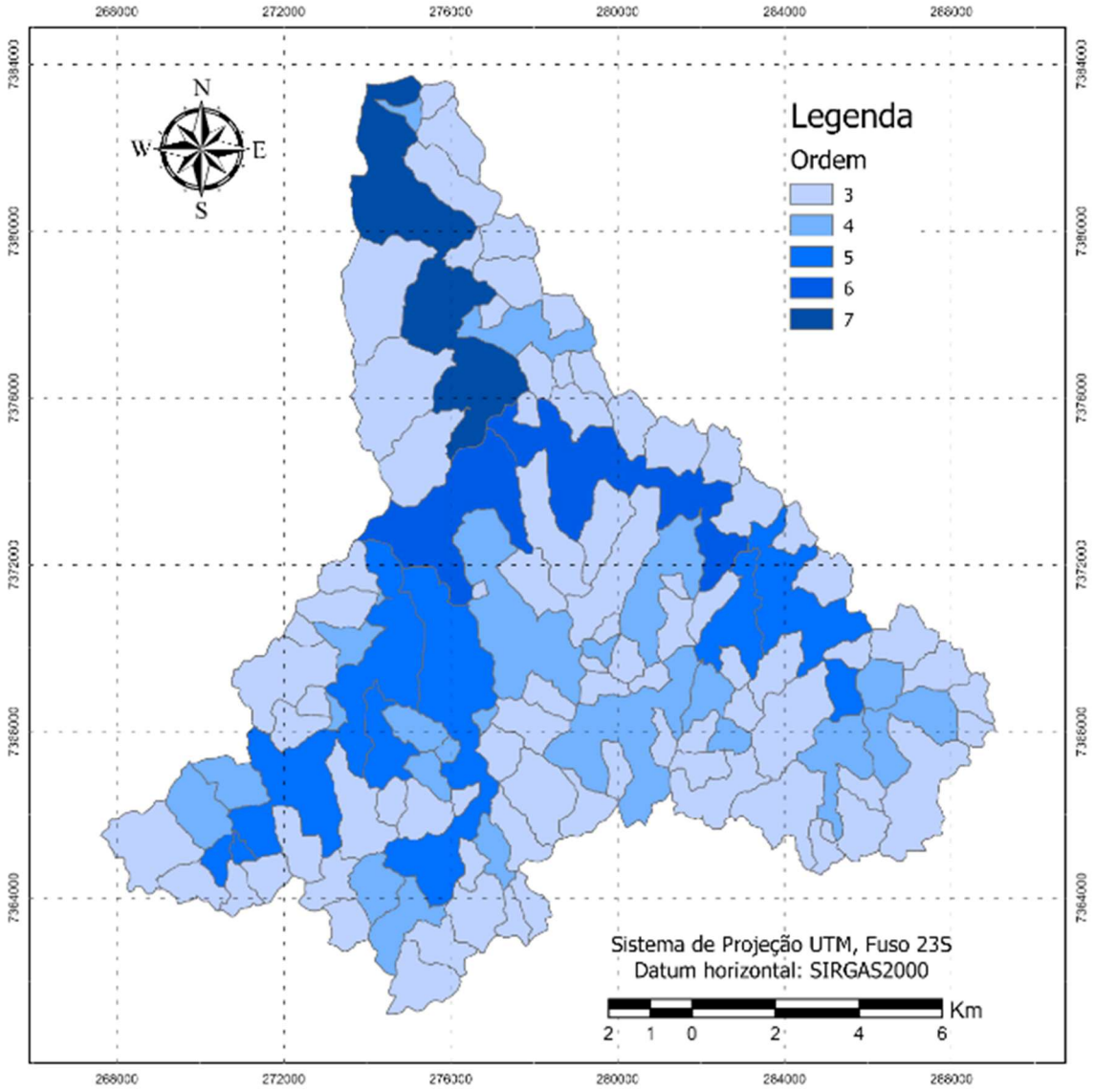
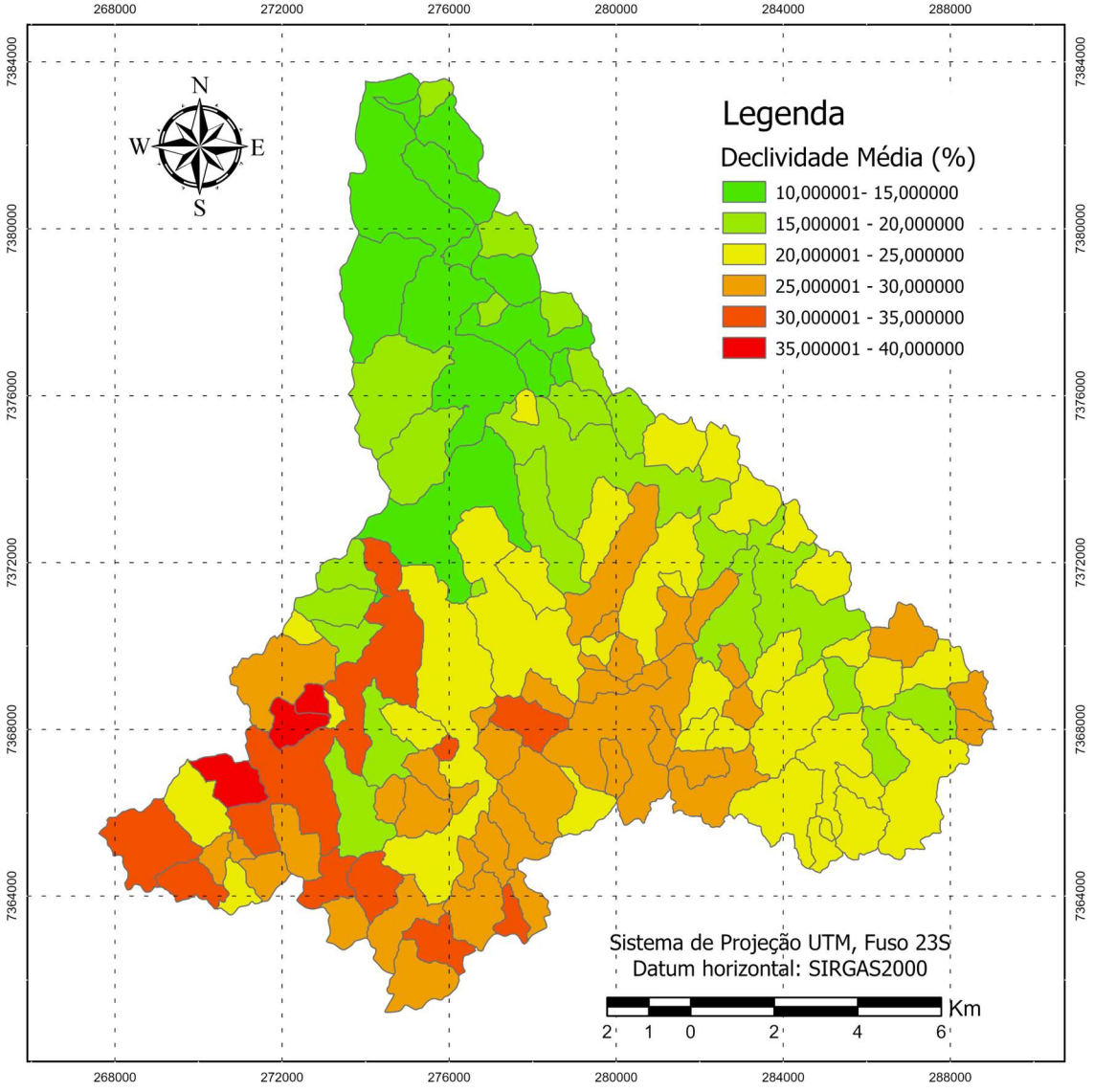


Figura 7 - Mapa das sub-bacias hidrográficas do Rio Sorocabuçu



A Figura 8 mostra o Mapa de Declividade média nas sub-bacias.

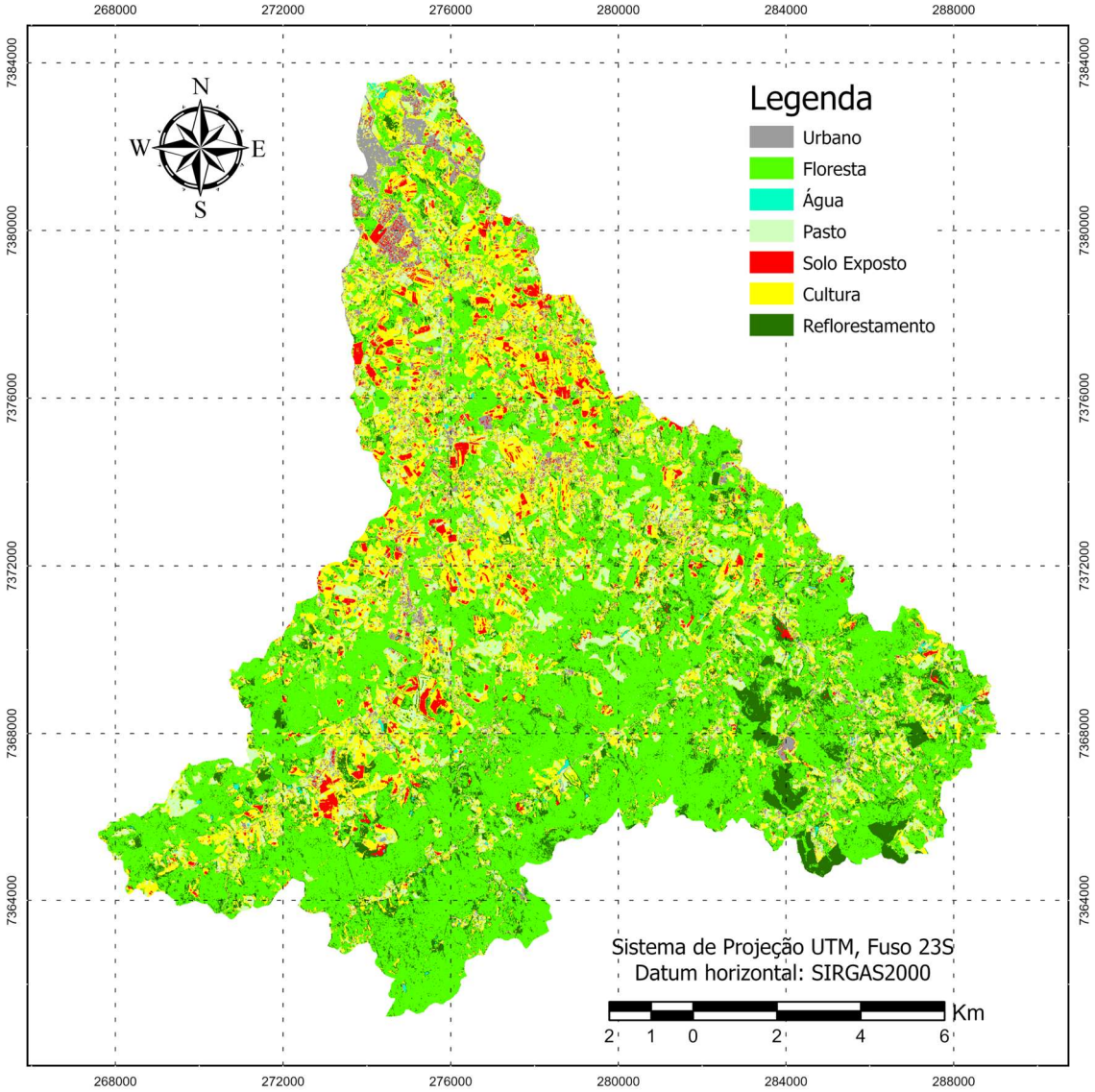
Figura 8 - Mapa Declividade Média nas sub-bacias hidrográficas do Rio Sorocabuçu.



6.2. Mapa de uso da terra e cobertura vegetal

A Figura 9 mostra o Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu elaborado por meio da classificação e interpretação das imagens de satélite do Sentinel onde foi observado predominância de áreas florestadas seguidas de usos agrícolas e concentração de usos urbanos na porção norte da bacia.

Figura 9 - Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu.



A Tabela 5 apresenta os valores da matriz de confusão e o valor do índice Kappa (0,89211) após a revisão manual, indicando uma excelente concordância do mapeamento realizado utilizando a classificação com o método de aprendizagem de máquina SVM.

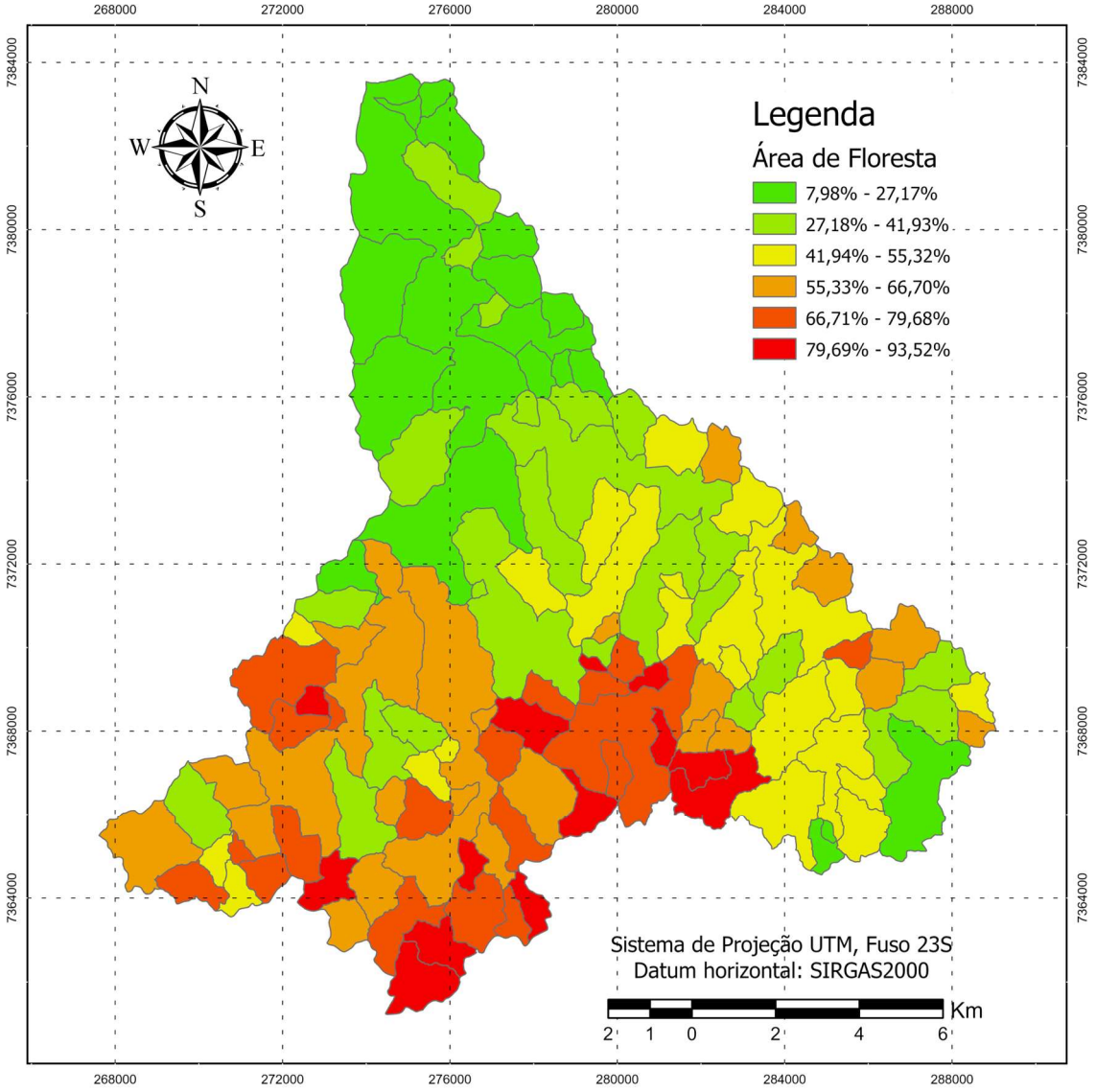
Tabela 5 - Matriz de Confusão e Índice Kappa após a revisão manual do modelo

Classe	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	Total	Acc. U	Kappa
C1	784	0	1	0	23	0	0	726	0,96832	-
C2	0	6872	0	0	0	0	4	6893	0,998259	-
C3	0	0	101	0	0	0	0	101	1	-
C4	5	16	0	225	0	33	0	281	0,807829	-
C5	97	0	0	0	352	0	0	521	0,675624	-
C6	41	29	0	35	6	206	0	316	0,658228	-
C7	0	248	0	0	0	0	922	1161	0,787252	-
Total	927	7165	101	260	381	239	926	9999	-	-
Acc. P	0,84574	0,95911	0,99010	0,86539	0,92389	0,86193	0,99957	-	0,93869	-
Kappa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,89211

A área de cada uso da terra obtido através do modelo para toda a bacia hidrográfica e suas respectivas sub-bacias pode ser consultado no Apêndice A.

Na Figura 10 é mostrado o Mapa de Cobertura Florestal indicando o percentual de cobertura florestal em cada uma das sub-bacias do Rio Sorocabuçu.

Figura 10 - Mapa de Cobertura Florestal nas Sub-bacias hidrográficas do Rio Sorocabuçu.



6.3. Parâmetros Morfométricos

Os parâmetros morfométricos da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu e das 115 bacias de 3ª ou maior ordem que estão inseridas em seu perímetro foram determinados conforme os procedimentos metodológicos indicados neste trabalho e se encontram resumidas no Apêndice B.

Nas Figuras 11 a 14 são mostrados os gráficos das faixas de valores dos parâmetros morfométricos normalizados e suas respectivas ocorrências.

Figura 11 - Ocorrências por faixas de valores do Coef. de Compacidade Normalizado

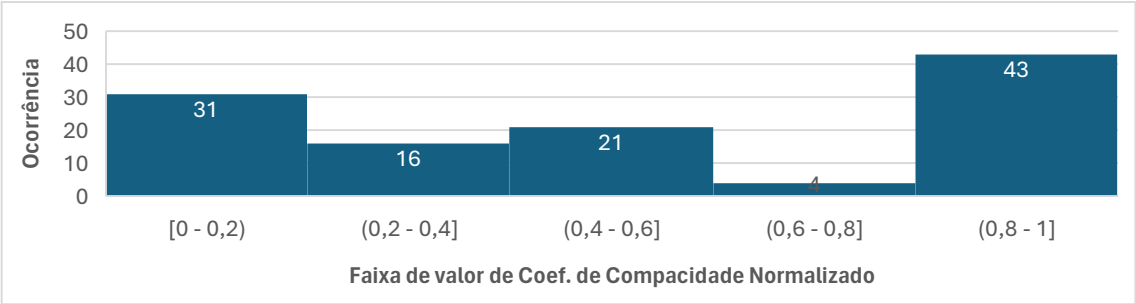


Figura 12 - Ocorrências por faixas de valores do Índice de Circularidade Normalizado

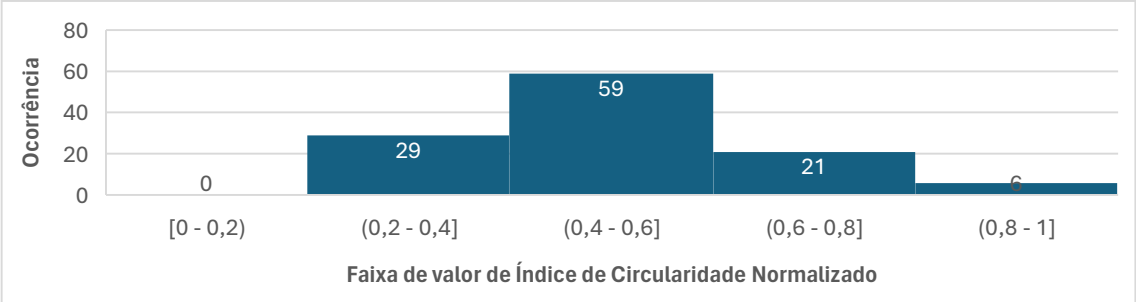


Figura 13 - Ocorrências por faixas de valores do Fator de Forma Normalizado

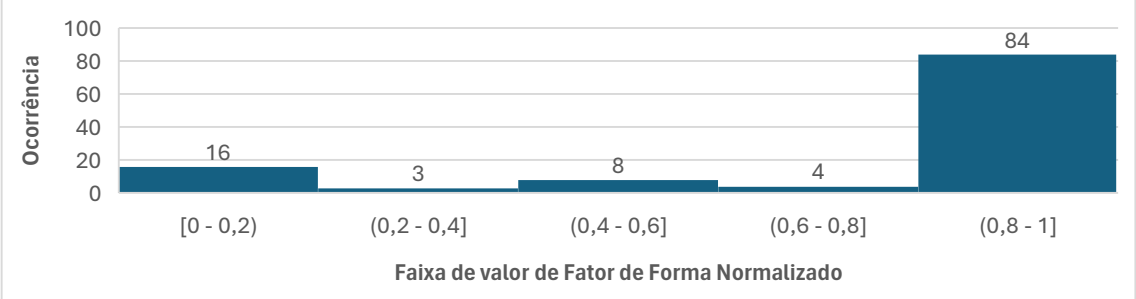
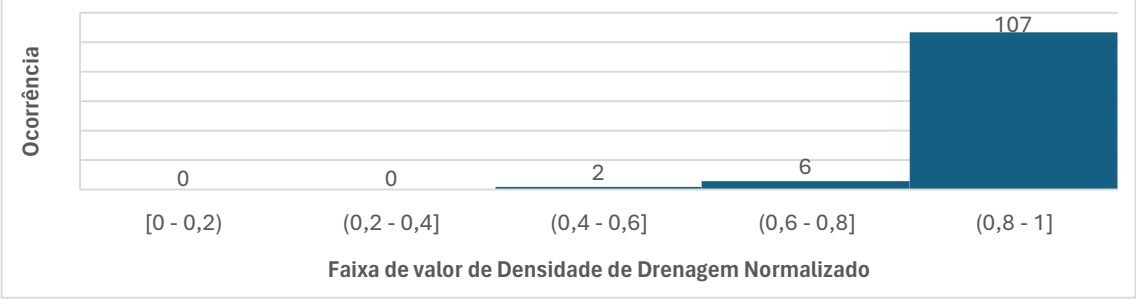


Figura 14 - Ocorrências por faixas de valores da Densidade de Drenagem Normalizada



Na Figura 15 e 16 é mostrado o Mapa de Orientação das Vertentes e o Mapa de Coeficiente de Rugosidade das sub-bacias hidrográficas do Rio Sorocabuçu.

Figura 15 - Mapa de Orientação da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu.

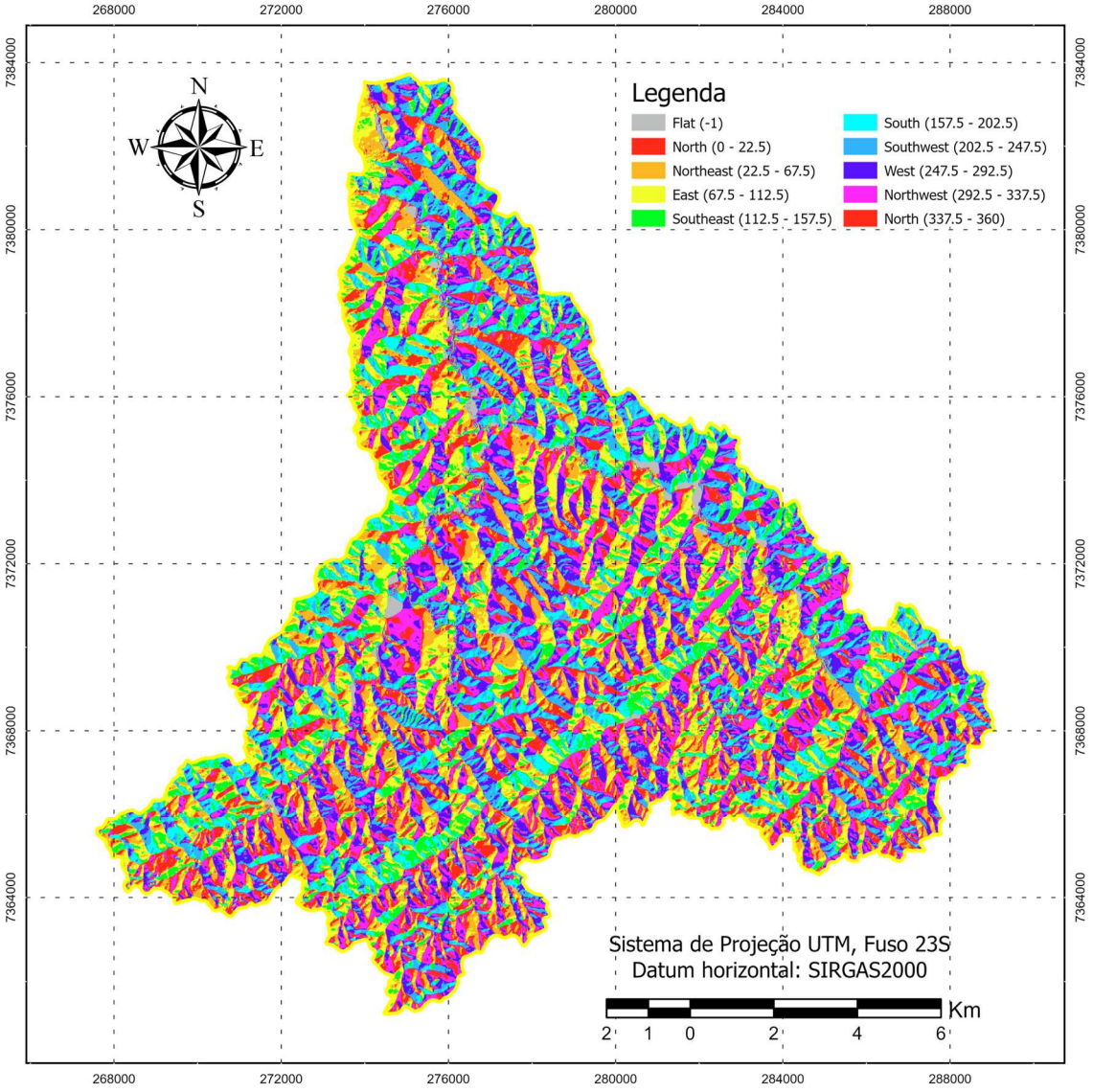
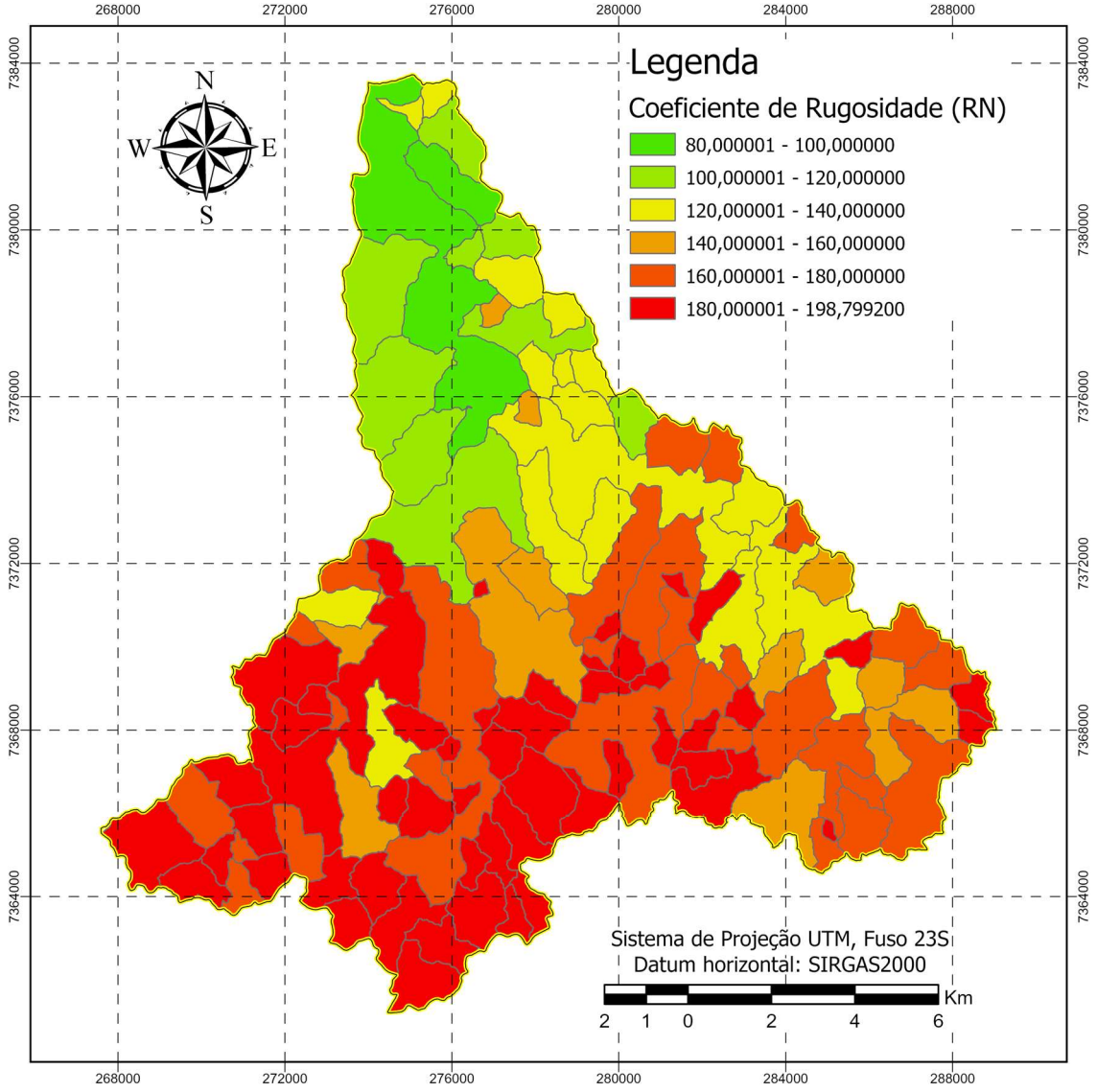


Figura 16 - Mapa de Coeficiente de Rugosidade das sub-bacias Hidrográficas do Rio Sorocabuçu.



6.4. Mapa de Aptidão de Uso da Terra

O sistema *Fuzzy* foi implementado em ambiente *Matlab* através da construção dass funções de pertinência, base de regras e superfície de controle representadas na Figura 17 a 21.

Figura 17 - Funções de pertinência para declividade média

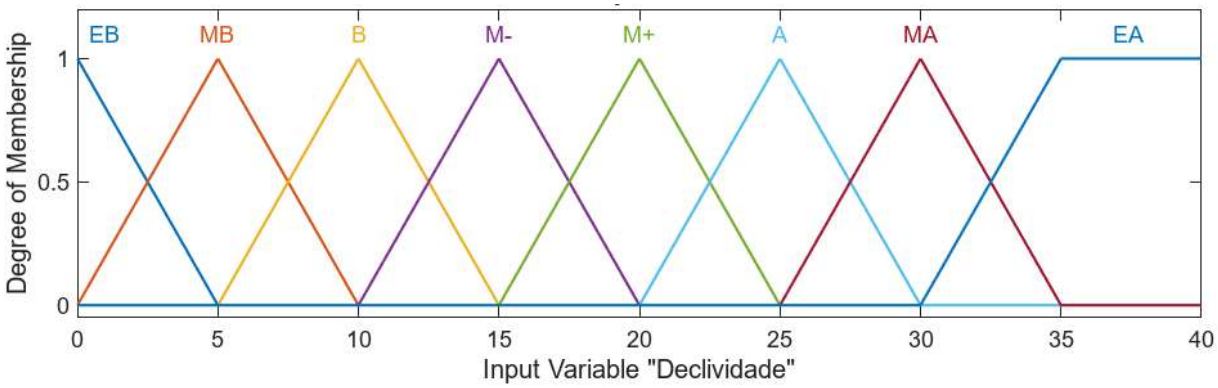


Figura 18 - Funções de pertinência para Densidade de Drenagem

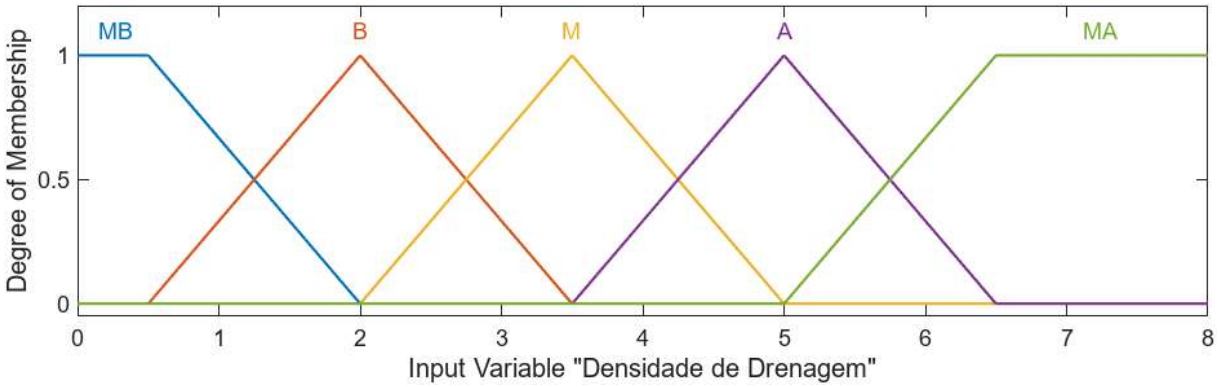
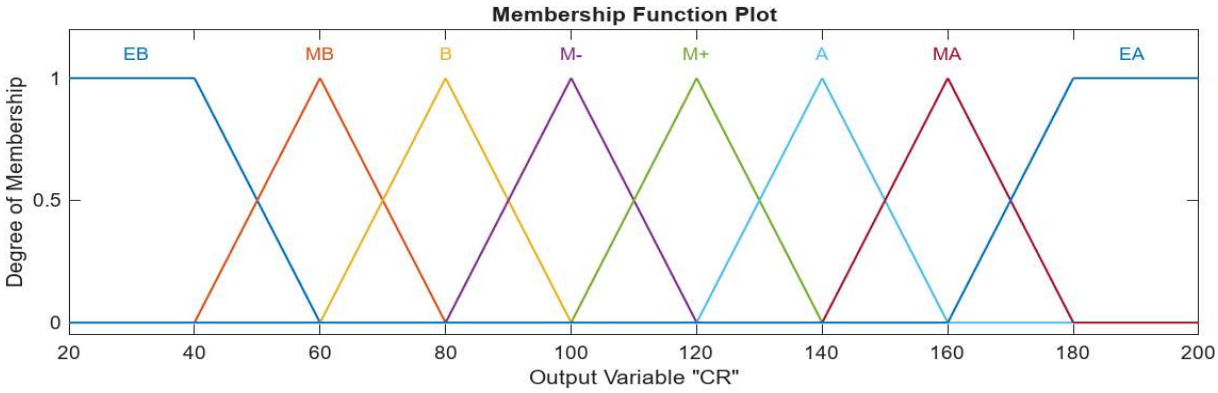


Figura 19 - Funções de pertinência para variável de saída *CR*



Sendo:

EB – Extremamente baixa.

MB – Muito Baixa.

B – Baixa.

M- – Média –.

M – Média.

M+ – Média +.

A – Alta.

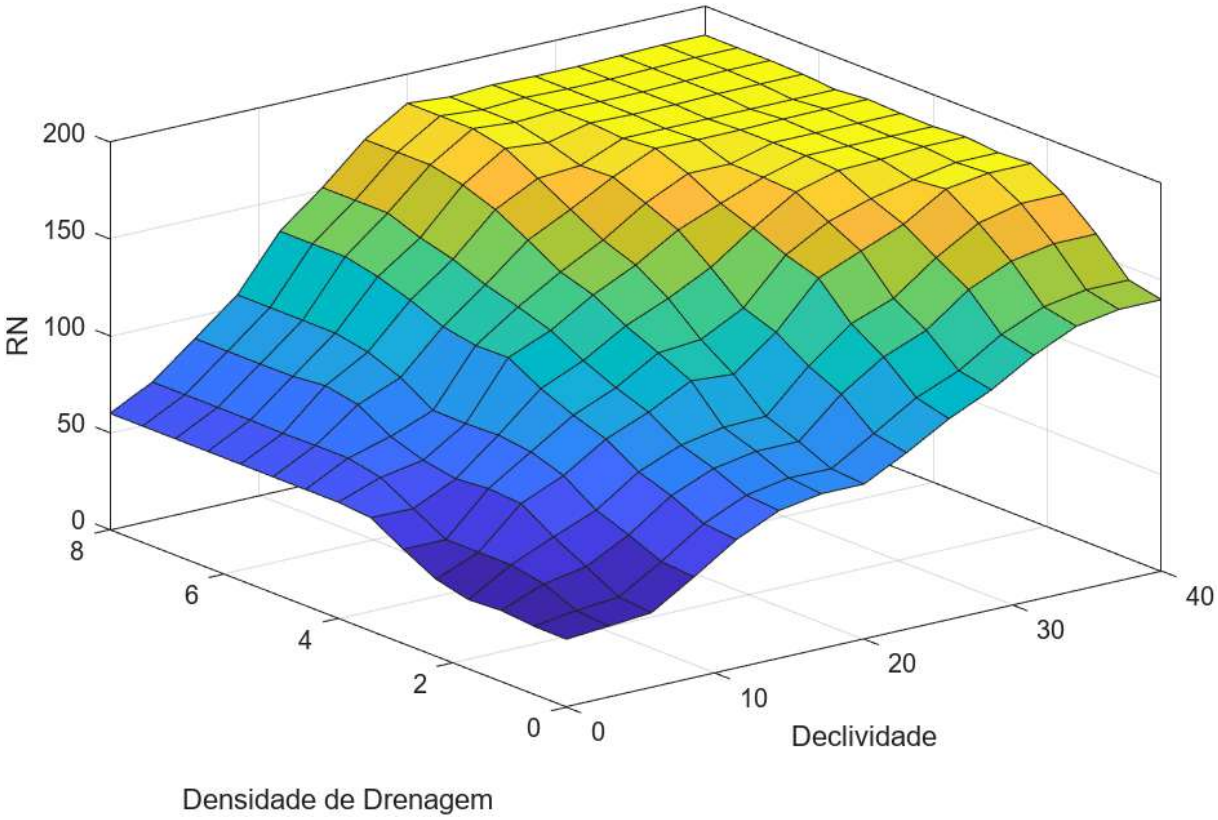
MA – Muito Alta.

EA – Extremamente Alta.

Figura 20 - Base de regras do sistema de inferência *Fuzzy*

D	Dd	RN	D	Dd	RN	D	Dd	RN	D	Dd	RN	D	Dd	RN
Ext. Baixa	M. Baixa	Ext. Baixa	Ext. Baixa	Baixa	Ext. Baixa	Ext. Baixa	Média	M. Baixa	Ext. Baixa	Alta	M. Baixa	Ext. Baixa	M. Alta	M. Baixa
M. Baixa	M. Baixa	Ext. Baixa	M. Baixa	Baixa	M. Baixa	M. Baixa	Média	M. Baixa	M. Baixa	Alta	Baixo	M. Baixa	M. Alta	Baixo
Baixa	M. Baixa	M. Baixa	Baixa	Baixa	Baixo	Baixa	Média	Médio -	Baixa	Alta	Médio -	Baixa	M. Alta	Médio +
Média -	M. Baixa	Baixo	Média -	Baixa	Baixo	Média -	Média	Médio +	Média -	Alta	Alto	Média -	M. Alta	M. Alto
Média +	M. Baixa	Baixo	Média +	Baixa	Médio -	Média +	Média	Alto	Média +	Alta	M. Alto	Média +	M. Alta	Ext. Alto
Alta	M. Baixa	Médio -	Alta	Baixa	Alto	Alta	Média	M. Alto	Alta	Alta	Ext. Alto	Alta	M. Alta	Ext. Alto
M. Alta	M. Baixa	Médio +	M. Alta	Baixa	M. Alto	M. Alta	Média	Ext. Alto	M. Alta	Alta	Ext. Alto	M. Alta	M. Alta	Ext. Alto
Ext. Alta	M. Baixa	Alto	Ext. Alta	Baixa	Ext. Alto	Ext. Alta	Média	Ext. Alto	Ext. Alta	Alta	Ext. Alto	Ext. Alta	M. Alta	Ext. Alto

Figura 21 - Superfície de controle do sistema de inferência F*uzzy*



Entretanto, considerando as características desse método de defuzzificação, foi necessário realizar a normalização dos valores uma vez que o centro de gravidade desloca o resultado de valores extremos.

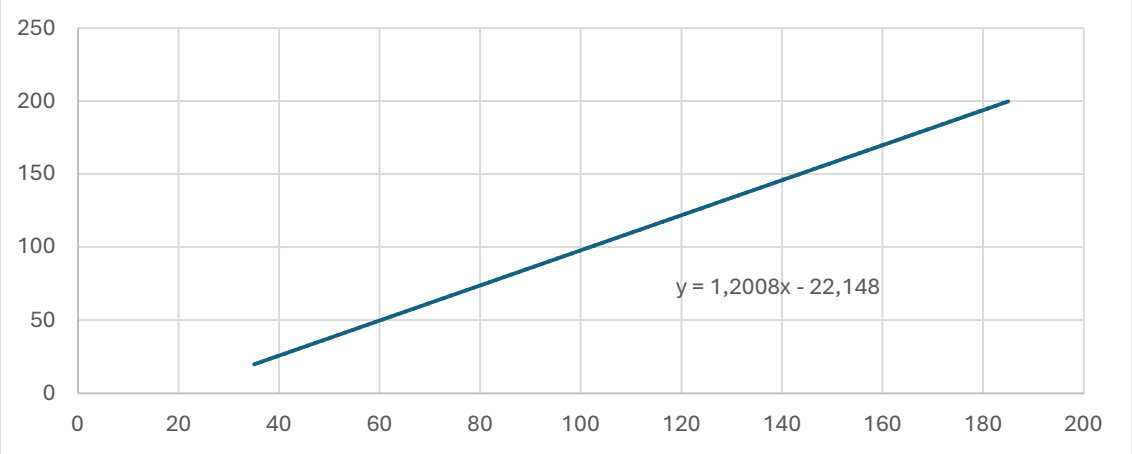
Para a correção destes limites, foi utilizada uma função de 1º Grau, considerando a correlação linear entre os limites desejados do sistema de saída (20 a 200) e o limite mínimo e máximo obtidos na defuzzificação (35,1 a 185). Assim, obteve-se as equações 17 e 18 para a normalização da saída do sistema, da seguinte maneira:

$$\mu = \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{200 - 20}{185 - 35{,}1} = \frac{180}{149{,}9} \tag{17}$$

$$y = \mu * (x - x_0) + y_0 = \frac{180}{149{,}9} * (x - 35{,}1) + 20 \therefore y \cong 1{,}2008 * x - 22{,}148 \tag{18}$$

Na Figura 22 é mostrada a relação entre os limites desejados e os valores obtidos na defuzificação do sistema e a respectiva plotagem da função de 1º Grau utilizada para adequação dos valores de saída.

Figura 22 - Função de correção dos valores extremos de CR



Após a normalização, considerando o menor e maior valor de *CR* obtidos nas bacias hidrográficas foram 92,53 e 198,8, o que implica em uma amplitude (A) de 100,09 unidades e um intervalo entre classes (IC) de 25,0225 unidades. Desta forma a regra de classificação da área foi definida de acordo com a Tabela 6.

$$A = RN_{Maior} - RN_{Menor} = 198{,}8 - 92{,}53 = 100{,}09 \tag{19}$$

$$IC = \frac{A}{4} = \frac{100{,}09}{4} = 25{,}0225 \tag{20}$$

Tabela 6 - Classes de aptidão do uso da terra e intervalos de CR

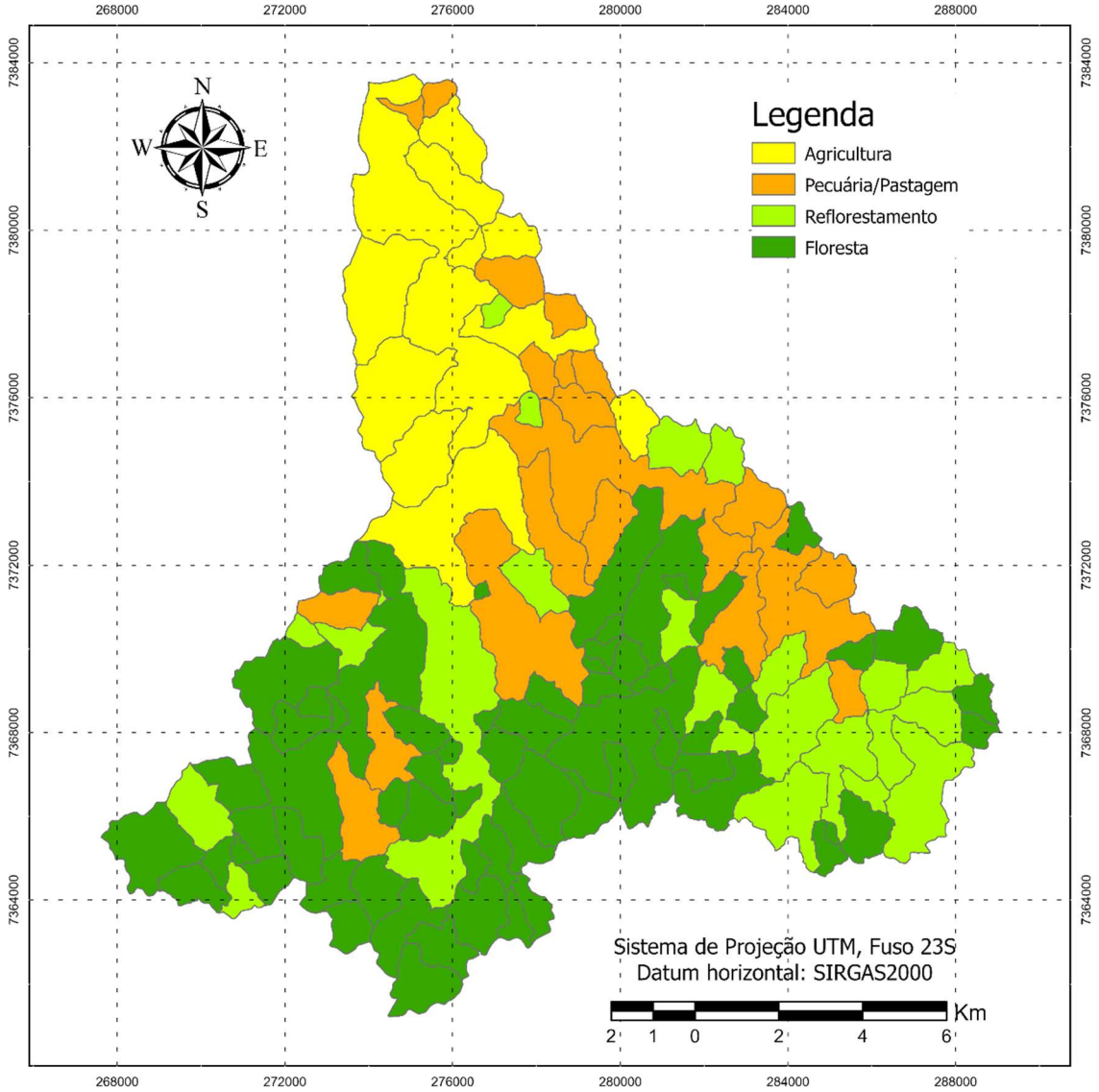
Tipos de Classe	Intervalo	Aptidão
A	$x < 117{,}5525$	Agricultura
B	$117{,}5525 \leq x < 142{,}575$	Pecuária/Pastagem
C	$142{,}575 \leq x < 167{,}5975$	Reflorestamento
D	$x \geq 167{,}5975$	Florestas

Após a obtenção dos valores de *CR*, estes foram transferidos para a tabela de atributos da feição das sub-bacias hidrográficas. Para elaboração do Mapa de Aptidão do Uso da Terra realizou-se a criação de um novo campo de atributo denominado "Aptidão" o qual foi formatado de acordo com a seguinte formula através da ferramenta *Calculate Field* utilizando *string* de comando em *python* para classificação automática com base nos intervalos de valores indicados na Tabela 6.

Com base no resultado obtido, identificamos que das 115 sub-bacias consideradas no presente estudo, 11 foram consideradas aptas para atividade agrícolas, 19 para desenvolvimento de pecuária, 16 para áreas de pastagens e 69 para manutenção da cobertura florestal.

A Figura 23 mostra visualmente o resultado obtidos relacionados a aptidão do uso da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu.

Figura 23 - Mapa de Aptidão do Uso da Terra da Bacia Hidrográfica do Rio Sorocabuçu.



6.5. Mapa de Conformidade de Uso da Terra e Índice de Conformidade de Uso da Terra

A partir de comparações entre o Mapa de Aptidão do Uso da Terra e do Mapa de Uso da Terra e Cobertura Vegetal foi realizada a avaliação de conformidade de uso da terra dentro da área de estudo, sem considerar as categorias de áreas urbanas e corpos d'água e unificando as categorias solo exposto à culturas agrícolas, tendo em vista que, amparado em estudos interpretativos de material cartográfico e pré conhecimento da vocação econômica local, os solos expostos são predominantemente resultantes das atividades de preparo e manuseio do local para fins agrícolas.

O Apêndice C do presente trabalho contém o resultado das análises indicando as áreas com uso conforme por sub-bacia e respectivos percentuais e o mapa com a representação de percentual de conformidade em cada bacia é representado na Figura 24.

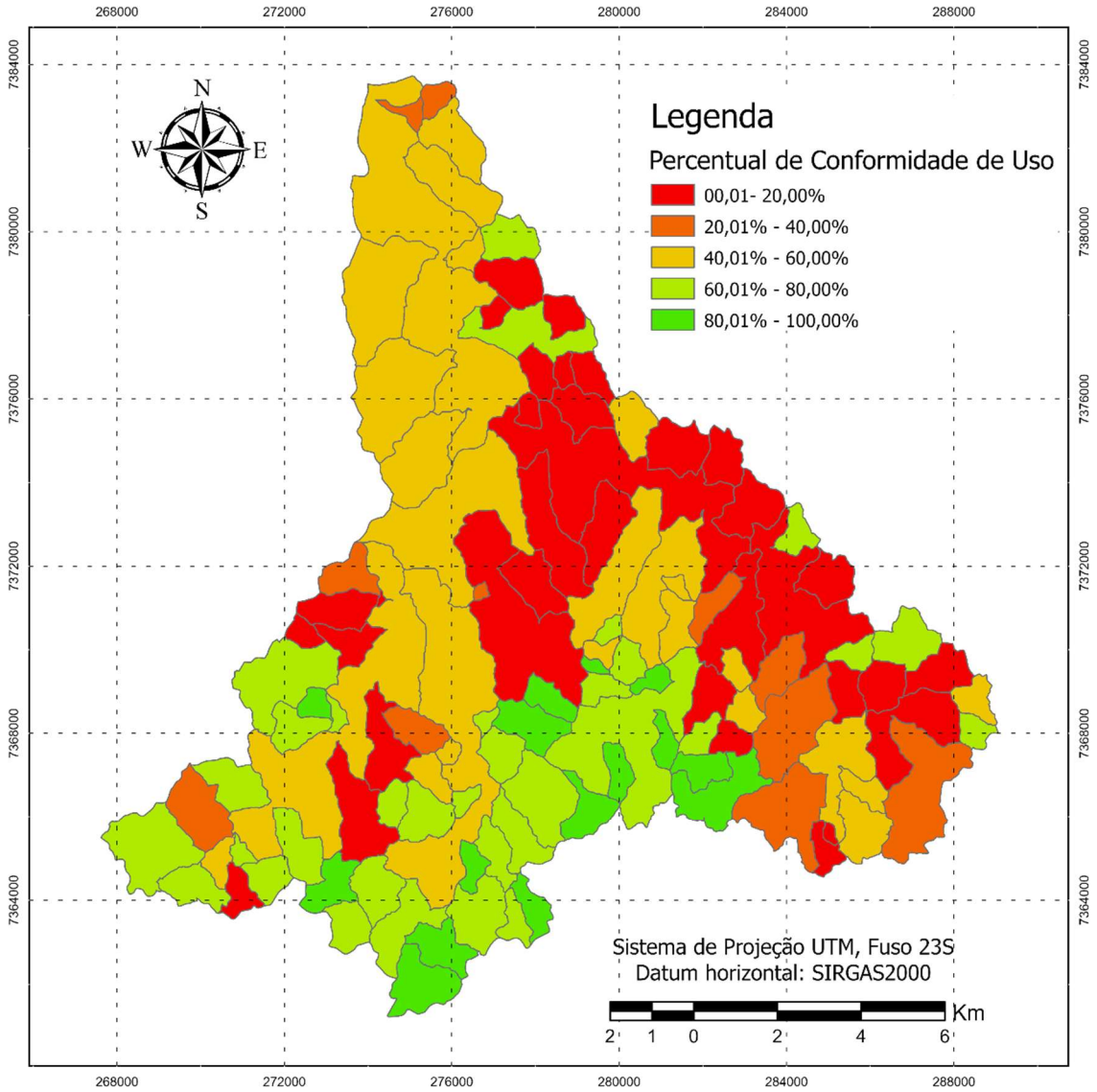
A partir do Mapa de Conformidade de Uso da Terra foram extraídos os Índices de Conformidade de Uso da Terra – ICU de cada sub-bacia do Rio Sorocabuçu, o qual representa, em fração, o percentual de conformidade de uso em cada sub-bacia.

É possível verificar nos resultados obtidos que as sub-bacias com maior conformidade com relação à aptidão identificada no estudo se concentra na porção sul/sudoeste, enquanto as sub-bacias que apresentam menor conformidade se concentram na porção centro e leste do mapa.

Foi verificado que as 15 sub-bacias em conformidade com porcentagem de aptidão superior a 80%, apresentam predominância de áreas florestadas, enquanto as 32 áreas que apresentaram percentuais de conformidade inferior a 20%, apresentaram uso da terra alternando de atividades agrícolas e para áreas florestadas, entretanto predomina entre os mais baixos percentuais de conformidade áreas predominantemente agrícolas.

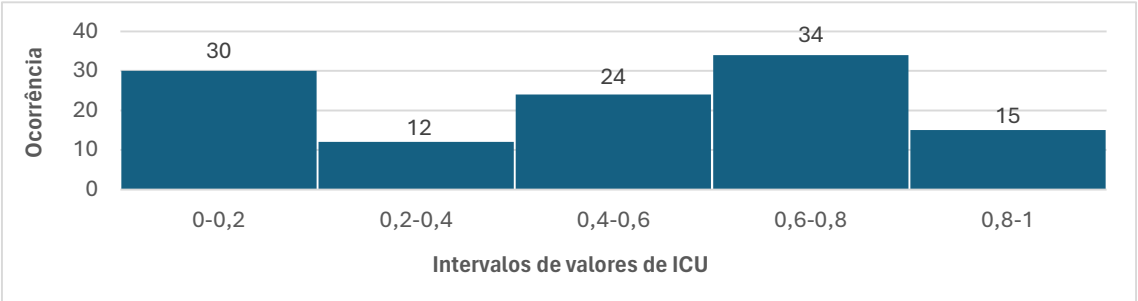
Além disso, foi possível observar no estudo que as declividades apresentam significativo papel na conformidade da área, sendo que as sub-bacias com conformidade superior a 80% apresentam declividades média de 29,18%, enquanto as com conformidade inferior a 20% apresentam declividades média de 19,29%.

Figura 24 - Mapa de Conformidade de Uso da Terra da Bacia Hidrografia do Rio Sorocabuçu.



A distribuição dos valores de ICU representados na Figura 24 é mostrado no gráfico da Figura 25.

Figura 25. Ocorrências por faixas de valores de ICU

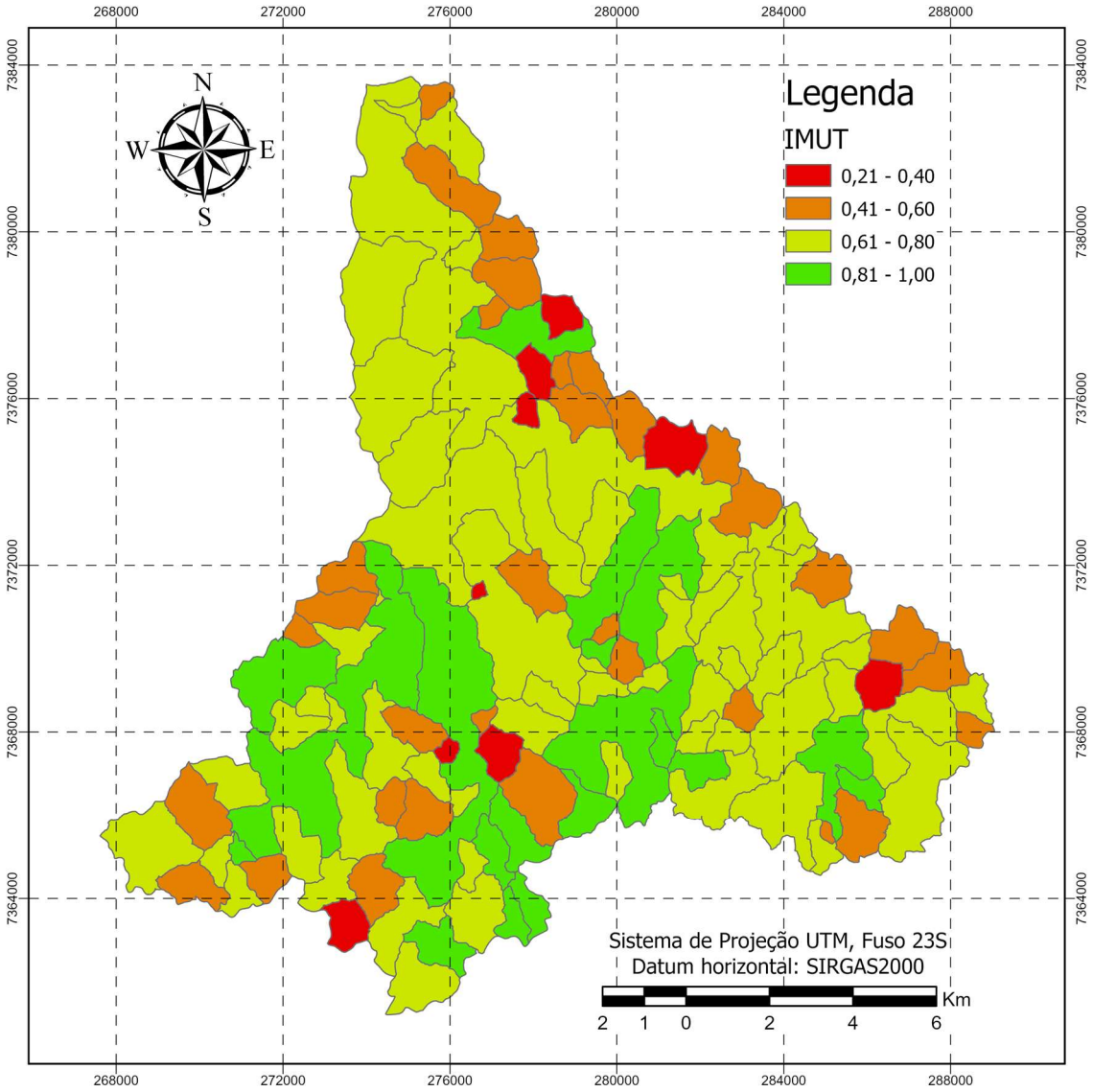


Foi observado que os valores de ICU se encontram distribuídos ao longo das faixas de ocorrência, entretanto, predominam valores acima da média.

6.6. Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra - IMUT

O Mapa de Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra (Figura 26) foi construído conforme indicado no item 5.2.5, utilizando os valores normalizados do Índice de Circularidade (IC), Coeficiente de Compacidade (Kc) e Fator de Forma adaptado (f), da Densidade de Drenagem (Dd) e o Índice de Conformidade de Uso (ICU) extraído do Mapa de Conformidade de Uso da Terra.

Figura 26 - Mapa do Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra

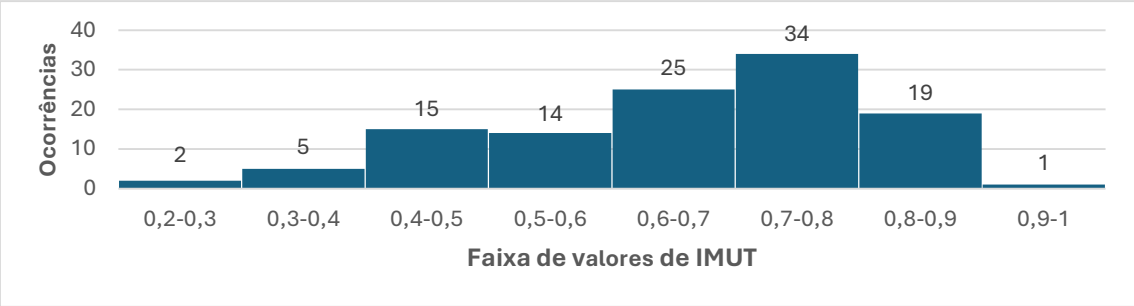


A partir do Mapa do Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra

representado na Figura 26, é possível observar que os melhores valores de IMUT se encontram concentrados na porção sul, oeste e nordeste da bacia hidrográfica, com algumas ocorrências na região sudeste; enquanto as ocorrências dos piores valores se encontram concentradas na porção nordeste com ocorrências isoladas na região central e leste.

Na Figura 27 é mostrado o histograma de faixa de valores de IMUT, segundo os resultados da Figura 26

Figura 27 - Ocorrências por faixas de valores de IMUT



A análise da Figura 27 mostra que das 115 sub-bacias, identificou-se que 20 delas apresentam IMUT igual ou superior a 0,8 e 93 apresentam valores igual ou superior a 0,5; enquanto todas as 22 demais sub-bacias apresentam valores inferiores a 0,5.

Nas 22 sub-bacias com IMUT inferior a 0,5, foi identificado que os principais fatores que implicaram neste valor foram o Coeficiente de Compacidade Normalizado, o Índice de Conformidade de Uso e o Índice de Circularidade Normalizado. Todas essas 22 sub-bacias apresentam Coeficiente de Compacidade Normalizado inferior a 0,5, sendo que 18 com valores inferiores a 0,25; relativo ao ICU, 16 apresentam valores inferior a 0,50, sendo que 13 destas apresentaram valores inferiores a 0,25; e, relativo ao Índice de Circularidade Normalizado, todas as 22 apresentam valores inferior a 0,50, embora nenhuma apresente valores inferiores a 0,25.

Tal situação indica que não somente as condições morfométrica intrínsecas destas sub-bacia estão resultando no baixo valor do IMUT obtido, mas também o uso da terra que não se encontra em conformidade com sua aptidão, o que pode gerar problemas relacionados com a intensificação na ocorrência de enchentes e processos erosivos nestas áreas.

Quando observada a Densidade de Drenagem Normalizada das 22 sub-bacias com IMUT inferior a 0,5, foi verificado que todas apresentam valores significativamente elevados, sendo o menor valor obtido 0,58 e a média 0,96, indicando que a densidade de drenagem não é

um fator determinante nos baixos valores de IMUT observados nestas áreas.

Em contraste, as 18 sub-bacias com IMUT superior a 0,80, mostrou apenas 1 ocorrência de valores abaixo de 0,50 relativo ao Índice de Conformidade de Uso. Para os demais índices não foi identificada nenhuma ocorrência de valores abaixo de 0,50, embora o Índice de Forma Normalizado apresente valores próximos deste limite.

Os mapas relativos aos índices morfométricos normalizados por sub-bacia do Coeficiente de Circularidade, Coeficiente de Compacidade, Fator de Forma e Densidade de Drenagem são apresentados no Apêndice C.

7. CONCLUSÕES

A gestão de recursos hídricos e do uso da terra é ferramenta estratégica para a gestão do território e de seus recursos naturais.

A análise morfométrica realizada através da Carta 1:10.000 do IGC (1979) se mostrou adequada para os propósitos da pesquisa, permitindo a identificação do padrão das drenagens até a grandeza de sétima ordem, bem como características das sub-bacias em relação a susceptibilidade a ocorrência de enchentes e processo erosivos.

Da mesma maneira, a classificação do uso da terra elaborada a partir das imagens do Satélite Sentinel 2-A com resolução espacial de 10 metros, permitiu classificar o uso da terra na bacia hidrográfica e contribuiu de forma significativa na construção do Índice de Análise Morfométrica e Aptidão do Uso da Terra – IMUT, o qual se demonstrou sensível tanto às alterações de uso da terra e da cobertura vegetal quanto aos parâmetros físicos da bacia hidrográfica.

Avaliado os valores dos índices morfométricos obtidos para as sub-bacias do Rio Sorocabuçu, foi verificado que, embora os valores observados de Índice de Circularidade e de Coeficiente de Compacidade estejam distribuídos entre desejáveis e não desejáveis quanto a vulnerabilidade processos erosivos, observou-se que os valores de Fator de Forma e Densidade de Drenagem se encontram majoritariamente na faixa desejável, o que permite inferir que a morfometria das sub-bacias não indicam que estas sejam propensas a ocorrência de processos erosivos.

Quanto ao uso da terra, foi observado o predomínio de áreas florestadas, seguido por agrícola, o que aparentemente remete a uma área que apesar de locais com boa proteção da vegetação está sujeita a pressões antrópicas frente as expressivas atividades agrícolas que provocam diversas alterações na paisagem do local.

Relativo ao IMUT calculado, foi observado que os valores estão localizados predominantemente acima de 0,5, o que indica que a bacia em questão, ainda que sobre pressão das atividades antrópicas, sobretudo a atividade agrícola, ainda se apresenta em bom estado de conservação quando verificadas as condições de uso da terra e morfométricas.

Por fim, os resultados até aqui apresentados demonstra que a metodologia aplicada pode contribuir de forma significativa na gestão da área e pode auxiliar na tomada de decisão relacionados ao direcionamento do uso da terra, no desenvolvimento de políticas públicas e na identificação e priorização de bacias para recuperação, uma vez que permite avaliar em conjunto diversos índices morfométricos relacionados a susceptibilidade de enchentes e ocorrência de processo erosivos de forma associada ao uso da terra.

REFERÊNCIAS

AMÉRICO-PINHEIRO, J. H. P.; BENINI, S. M (Orgs). **Bacias Hidrográficas: fundamento e aplicações**. 1ª Edição. Tupã: ANAP, 220 p. 2018.

ANTUNES, J. F. **Previsão de Carga Multinodal Usando a Rede Neural ART-ARTMAP Fuzzy**. Tese (Doutorado em Automação) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

BEHRERNS, T.; FÖERSTER, H.; SCHOLTEN, T.; STEINRÜCKEN, U.; SPIES, E. G. **Digital soil mapping using artificial neural networks.** Journal of Environmental Management, Amsterdam, v. 67, p. 396 – 407, 2003.

BRASIL. CBERS 04A. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/inpe/pt-br/assuntos/ultimas-noticias/programa-copernicus-repositorio-espelho-de-dados-sentinel-no-inpe. Acessado em 17/06/2024.

BRASIL. **Convenção sobre Diversidade Biológica**. Brasília: MMA, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/biodiversidade/convencao-sobre-diversidade-biologica. Acessado em 04/07/2023.

BRASIL. **SENTINEL – Missão Sentinel**. Campinas: EMBRAPA, 2024. Disponível em: https://www.embrapa.br/en/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel. Acessado em 17/06/2024.

BUENO, L. S. **Uso e Ocupação do Solo: Uma estratégia para o Zoneamento Sustentável**. Caçador: EdUNIARP, 2020. 234 p.

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S. **A massively parallel architecture for a selforganizing neural pattern recognition machine**. Computer Vision, Graphics and Image Processing, New York, v. 37, p. 54-115, 1987.

CARPENTER, G. A.; GROSSBERG, S. **A Self-Organizing Neural Network for supervised learning, recognition and prediction**. IEEE Communications Magazine, New York, v. 30, n.

9, p. 38-49, 1992.

CHI-HSIEN, K.; NAGASAWA, S. **Applying machine learning to market analysis: knowing your luxury consumer**, Journal of Management Analytics. 6 (4) (2019) 404–419, https://doi.org/10.1080/23270012.2019.1692254. Acessado em: 19/07/2023.

COLLARES, E.G. **Avaliação de alterações em redes de drenagem de sub-bacias como subsídio ao zoneamento geoambiental de bacias hidrográficas: aplicação na bacia hidrográfica do Rio Capivari-SP**. 2000. 211p. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

COSTA, R. C. A.; PISSARRA, T. C. T.; CALDAS, A. M.; VALLE JUNIOR, R. F. V. **Conflito de uso e indicadores morfométricos para a gestão de política de uso do solo**. Engenharia Sanitária Ambiental, v.25 n.3 467-476, 2020.

DE BIE, C. A. Et al. Em direção à operacionalização das informações dos solos para um manejo sustentável das terras. IN: ALVAREZ, V. V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfo-climáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, SBCS/UFV/DPS, 1996. P. 335-352.

DENT, D.; YOUNG, A. **Soil survey and land evaluation.** London: E. FN SPON, 1995. 284p.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos.** 5ª Edição. Brasília, DF: EMBRAPA-SPI, 2018. 356 p.

EUROPEAN UNION. The European Space Agency. **Sentinel-2 MSI Processing Levels**. Europa, 2023. Disponível em: https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi. Acesso em: 18 de abril 2023.

FAUSTINO, A. B.; RAMOS, F. F.; SILVA, S. M. P. **Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em sensoriamento remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais**. Sociedade e Território 26, 2014, 18- 30.

FIORIO, P. R.; DEMATTÊ, J. A. M.; SPAROVEK, G. **Cronologia e impacto ambiental do uso da terra na microbacia hidrográfica do Ceveiro, em Piracicaba, SP**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 35, n. 4, p. 671-679, abril, 2000.

GASH, J. H. C.; NOBRE, C. A.; ROBERTS, M. J.; VICTORIA, R. L. **Amazonian deforestation and Climate**. Wiley and Sons, New York, USA. 612 p.1996.

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Geomática**. 13ª Edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 698 p. 2013.

GIRI, C. P. **Remote Sensing of Land Use and Land Cover: Principles and Applications**. Terre Haute: CRC Press, 2020. 477 p.

HANSEN, H. S. **A fuzzy logic approach to urban land-use mapping.** The 9th Scandinavian Reserarch Conference on Geographical Information Science, Espoo, Filandia, Junho, 4-6. 2003.

HEMANTH, D. J. **Artificial Intelligence Techniques for Satellite Image Analysis**. Gewerbestrasse: Springer Nature Switzerland, 274 p. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2023. **Informação de Estados e Cidades**. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/sp/ibiuna.html>. Acesso em: 15/04/2023.

IBM Data and AI Team. **AI vs. Machine learning vs. Deep Learning vs. Neural Networks: What's the difference?** © 2023. Disponível em: https://www.ibm.com/blog/ai-vs-machine-learning-vs-deep-learning-vs-neural-networks/. Acessado em: 19/07/2023.

JACOBI, P. R. **Cidade e meio ambiente: percepções e práticas em São Paulo**. São Paulo: Annablume, 2006. 206 p.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective**. 4th Edition. University of South Carolina: Pearson Education, 623 p., 2015.

JENSEN, J. R. **Remote sensing of the environment: An earth resource perspective**, Second Edition. Edinburgh: Pearson Prentice Hall, 2013. 614 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma Perspectiva em Recursos Terrestres**. 2nd Edition. São José dos Campos: Parêntese, 597 p., 2011.

JESUS, V. C.; BARRETO, H. N. **Padrão de Drenagem, um resgate conceitual como subsídio à classificação da bacia no Rio Preguiças – MA**. Ciência Geográfica - Bauru - XXV - Vol. XXV - (4): janeiro/dezembro – 2021.

KIRPICH, Z.P. **Time of concentration of small agricultural watersheds**. Civil Engineering, v. 10, n. 6, p. 362, 1940.

KONECNY, G. **Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry, and Geographic Information System**. 2nd Edition. New York: CRC Press, 414 p., 2014.

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

LAVINE, E. R.; KIMES, D. S.; SIGILLITO, V. G. **Classifying soil structure using neural networks.** Ecological Modelling, v. 92, p. 101 – 108, 1996.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W., CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and Image Interpretation**. 7th Edition. New York: Wiley, 720 p., 2015.

LOURENÇO, R. W. et al. **Uso de indicadores morfométricos como ferramenta para avaliação de bacias hidrográficas.** Revista Brasileira de Geografia Física – Recife - v. 09, n. 02, 2016.

MACIEL, M. A. V. **Processamento de dados de sensores remotos com uso de redes neurais artificiais e modelos geoestatísticos**. 2020. 107p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Presidente Prudente, 2020.

MACHADO, P. J. O.; TORRES, F. T. P., **Introdução à hidrogeografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

MALANGE, F. C. V. **Rede neuro-fuzzy-wavelet para detecção e classificação de anomalias de tensão em sistemas elétricos de potência**. Tese (Doutorado em Automação) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

MAMÉDIO, F. M. P. et al. **Tempo de concentração para Bacias Rurais Monitoradas na Região do Planalto Basáltico no Sul do Brasil.** Revista de Gestão de Águia da América Latina v.15, 2020.

MEIXNER, F. X.; EUGSTER, W. Effects of landscape pattern and topography in emissions an transport. IN: Tenhunen, J.D. and Kabat, P. Eds. **Integrating hydrology, ecosystem dinamics, and biogeochemistry in complex landscapes**. Wiley and Sons, New York. p. 147-175, 1999.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1.ed. Lavras: Editora UFLA, 455p. 2013.

MIGUEL, A. E. et al. **Análise do uso da terra e cobertura vegetal na bacia do Ribeirão do Meio, Brasilândia/MS**. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 5, n. 5, p. 1088-1098, 2012.

MORISAWA, M. **Tectonics and geomorphic models**. In: MELHORN, W. N.; FLEMAL, R. C.(edits.). Theories of landform development. London: G. Allen & Unwin, 1975. p.199- 216.

PEDRON, F. A.; POELKING, E. L.; DALMOLIN, R. S. D.; AZEVEDO, A. C.; KLAMT, E. **A aptidão do uso da terra como base para o planejamento da utilização dos recursos naturais no município de São João do Polêsine – RS**. Ciência Rural, Santa Maria, V.36, n.1, p. 105-112, janeiro/fevereiro, 2006.

PORTELA, C.; AMORIM, F.; MONTEIRO, G.; MARTINS, J. MONTENEGRO, M. **Tutorial de SVM**. Disponível em: https://lamfo-unb.github.io/2017/07/13/svm/. Acessado em 17/06/2024.

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

ROCHA, J. S. M.; KURTZ, S. M. J. M. **Manual de Manejo Integrado de bacias Hidrográficas. Santa Maria**: Editora da UFSM, 282 p. 2001.

ROSS, J. L. S. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais antropizados**. Revista Do Departamento De Geografia, 8, 2011, 63-74.

SALAS, W. A.; DUCEY, M. J.; RIGNOT, E.; Skole, D. **Assessment of JERS-1 SAR for monitoring secondary vegetation in Amazonia: I. Spatial and temporal variability in backscatter across a chrono-sequence of secondary vegetation stands in Rondônia**. International Journal of Remote Sensing, 23(7): 1357-1379, 2002.

SALES, J. C. A. **Metodologia para identificação de áreas de risco e prioritárias para conservação da avifauna na Bacia Hidrográfica do rio Una, Ibiúna/SP**. 2015. 131 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Campus Experimental de Sorocaba, 2015.

SALLES, M. H. D.; CONCEIÇÃO, F. T.; ANGELUCCI, V. A.; SIA, R.; PEDRAZZI, F. J. M.; CARRA, T. A.; NAVARRO, G. R. B. **Avaliação Simplificada de Impactos Ambientais na Bacia do Alto Sorocaba (SP)**. Revista de estudos ambientais 10, 2008, 6-20.

SANTOS, D. B; VIDOTTO, M. L; MARCON, G. R. S; FRIGO, E P. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfiica do Rio São José, Cascavel, PR**. Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias, Guarapuava-PR, v. 5, n. 2, p. 7-18, 2012.

SARMENTO, E. C. **Comparação entre quatro algoritmos de aprendizagem de máquina no mapeamento digital de solos no vale dos vinhedos, RS, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências do Solo) – Faculdade de Agronomia, UFRS, Rio Grande do Sul – RS, 2010.

SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; KLAMT, E. **Classificação da aptidão agrícola das terras: Um sistema alternativo**. Guaíba: Agrolivros, 2007, 72 p.

SEADE - Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. 2023. **Informação dos Municípios Paulistas (IMP)**. Disponível em: < https://municipios.seade.gov.br/>. Acesso em: 15/04/2023.

SETO, K. C. e LIU, W. **Comparing ARTMAP Neural Network with the Maximum-Likelyhood Classifier for Detecting Urban Change**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. Vol. 69, Nº 9, 2003. 981-990 p.

SHOCK, B.; CARPENTER, G.; GOPAL, S.; WOODCOCK, C. **ARTMAP neural network Classification of land use change**. Boston University Libraries. 12/2001. Disponível em: < https://open.bu.edu/handle/2144/2285>. Acesso em: 08/04/2023.

SILVA JUNIOR, C. A.; NANNI, M. R.; SILVA, A. A.; CERZAR, E.; ROMAGNOLI, F. **Conversion of land use and cover in northwest Amazon (Brazil)**. Scielo. 09/2014. Disponível em < https://www.scielo.br/j/pat/a/CYVcjsJbHXwJQq6v77J7vpC/?lang=en> . Acesso em 08/04/2023.

SILVEIRA, A. L. L. **Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH). Vol. 10, n°1. Porto Alegre. 2005.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. Transactions of the American Geophysical Union, v. 38, n. 6, p.913–920, 1957.

TAMANINI, M. S. A. **Diagnóstico Físico-Ambiental para Determinação da Fragilidade Potencial e Emergente da Bacia do Baixo Curso do Rio Passaúna em Araucária – PR**. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, UFPR, Curitiba – PR, 2008.

TEODORO, V. L. I.; TEXEIRA, D.; COSTA, D. J. L.; FULLER, B. B. **O conceito de Bacia Hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local.** Revista Uniara 20, 2007, 137-156.

TOLEDO, M. V. L. **Estudo do Uso da Terra na Bacia Jidrográfica do Rio Sorocabuçu, Ibiúna – SP, para Avaliação de Áreas Elegiveis em Projetos MDL**. Tese (Mestrado em Ciências Ambientais – Instituto de Ciências e Tecnologias, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Sorocaba, p. 78. 2023.

TONELLO, K.C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. 2005. 69 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

TRAJANO, S. R. R. S. et al. **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, 2012.

TSO, B.; MATHER. P. M. **Classification Methods for Remotely Sensed Data**. New York: CRC Press. 2009. 347 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed. São Paulo: EDUSP, 1997.

VAPNIK, V.; GUYON, I.; HASTIE, T. **Support vector machines**. Mach. Learn, v. 20, n. 3, p. 273–297, 1995.

VELOSO, H. P.; RANGEL FILHO, A. L. R.; LIMA, J. C. A. **Classificação da Vegetação Brasileira Adaptada a um Sistema Universal**. Ministério da Economia, Fazenda e Planejamento, Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1991.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada.** São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245 p.

ZHANG, C.; LU, Y. **Study on artificial intelligence: The state of the art and future prospects**. Journal of Industrial Information Integration. v. 23, Set. 2021, DOI 10.1016/j.jii.2021.100224.

ZHU, A. X. **Mapping soil landscape as spatial continua: the neural network approach**,

water Resources Research, v. 36, p. 663 – 667, 2000.

ZONTA, J. H. et al., **Práticas de conservação de solo e água**. Campina Grande, Embrapa Algodão, 24 p., 2012.

APÊNDICE A - TABELA DE USO DA TERRA E COBERTURA VEGETAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SOROCABUÇU

Bacia	Urbano		Floresta		Corpos d'água		Pastagens		Solo exposto		Culturas		Reflorestamento	
-	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%
Geral	9,35	4,62%	98,02	48,38%	0,80	0,39%	20,65	10,19%	6,44	3,18%	45,89	22,65%	21,45	10,59%
1	1,90	14,36%	3,46	26,20%	0,13	0,98%	1,65	12,51%	0,90	6,84%	4,44	33,62%	0,73	5,49%
2	0,14	39,46%	0,03	7,98%	0,00	0,45%	0,05	13,93%	0,01	3,93%	0,12	33,50%	0,00	0,76%
3	0,06	12,58%	0,08	16,31%	0,01	2,26%	0,14	27,81%	0,02	3,51%	0,16	31,22%	0,03	6,31%
4	0,35	21,27%	0,30	18,50%	0,01	0,73%	0,30	18,39%	0,09	5,38%	0,51	31,36%	0,07	4,36%
5	0,21	9,97%	0,75	36,10%	0,01	0,36%	0,16	7,76%	0,07	3,33%	0,69	33,25%	0,19	9,23%
6	0,11	9,13%	0,27	22,64%	0,01	0,55%	0,09	7,14%	0,16	13,03%	0,53	44,50%	0,04	3,01%
7	0,03	4,85%	0,16	30,92%	0,00	0,52%	0,05	8,93%	0,04	7,63%	0,22	42,71%	0,02	4,45%
8	0,09	6,07%	0,30	20,88%	0,00	0,28%	0,15	10,29%	0,18	12,57%	0,67	45,92%	0,06	4,00%
9	0,01	3,50%	0,15	41,23%	0,00	0,00%	0,03	7,63%	0,02	6,00%	0,14	36,88%	0,02	4,75%
10	0,08	9,92%	0,12	16,01%	0,00	0,00%	0,10	12,29%	0,07	9,61%	0,36	46,21%	0,05	5,95%
11	0,23	9,94%	0,44	19,34%	0,01	0,29%	0,25	11,01%	0,20	8,57%	1,07	46,90%	0,09	3,95%
12	0,55	13,51%	0,81	20,18%	0,01	0,16%	0,56	13,90%	0,37	9,09%	1,51	37,54%	0,23	5,62%
13	0,02	5,83%	0,07	20,86%	0,00	0,00%	0,02	4,83%	0,04	10,84%	0,18	53,53%	0,01	4,11%
14	0,03	3,30%	0,08	10,51%	0,00	0,22%	0,04	4,69%	0,15	19,40%	0,45	57,42%	0,04	4,47%
15	0,05	6,14%	0,12	15,95%	0,00	0,01%	0,02	2,70%	0,11	14,37%	0,42	55,56%	0,04	5,27%
16	0,02	5,22%	0,16	40,45%	0,00	0,18%	0,07	18,97%	0,01	2,51%	0,09	23,83%	0,03	8,85%
17	0,05	4,28%	0,43	36,25%	0,00	0,04%	0,07	6,14%	0,16	13,32%	0,40	33,47%	0,08	6,51%
18	0,08	6,38%	0,37	31,28%	0,00	0,07%	0,16	13,33%	0,02	1,92%	0,47	40,18%	0,08	6,82%
19	0,32	7,54%	1,06	24,90%	0,02	0,48%	0,58	13,63%	0,32	7,45%	1,72	40,43%	0,24	5,56%
20	0,08	5,22%	0,72	45,91%	0,00	0,04%	0,17	11,06%	0,07	4,46%	0,39	25,22%	0,13	8,09%
21	0,08	7,51%	0,64	60,35%	0,01	0,53%	0,07	6,11%	0,01	0,91%	0,12	10,83%	0,15	13,77%
22	0,20	7,10%	0,81	28,69%	0,02	0,83%	0,40	14,13%	0,19	6,86%	1,03	36,39%	0,17	6,02%
23	0,22	3,27%	2,82	41,93%	0,02	0,29%	0,97	14,45%	0,16	2,42%	2,08	30,85%	0,46	6,79%

Bacia	Urbano		Floresta		Corpos d'água		Pastagens		Solo exposto		Culturas		Reflorestamento	
-	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%
24	0,07	4,48%	0,69	43,74%	0,01	0,66%	0,18	11,55%	0,02	1,40%	0,40	25,39%	0,20	12,79%
25	0,02	2,17%	0,43	60,74%	0,00	0,04%	0,06	9,12%	0,00	0,37%	0,15	21,11%	0,05	6,45%
p	0,05	2,74%	0,82	47,50%	0,00	0,09%	0,28	16,05%	0,02	1,21%	0,39	22,78%	0,17	9,64%
27	0,50	5,93%	3,31	39,35%	0,02	0,25%	1,07	12,77%	0,26	3,06%	2,60	30,91%	0,65	7,74%
28	0,03	2,89%	0,27	24,63%	0,00	0,09%	0,15	14,16%	0,06	5,65%	0,49	45,43%	0,08	7,14%
29	0,17	6,22%	0,93	34,55%	0,01	0,22%	0,46	16,95%	0,09	3,17%	0,90	33,37%	0,15	5,53%
30	0,00	2,97%	0,05	38,42%	0,00	0,00%	0,02	19,51%	0,00	2,21%	0,04	32,40%	0,01	4,50%
31	0,00	1,29%	0,11	48,02%	0,00	0,00%	0,04	18,22%	0,00	0,09%	0,03	11,11%	0,05	21,27%
32	0,00	3,16%	0,01	19,79%	0,00	0,00%	0,01	23,37%	0,00	0,42%	0,02	47,37%	0,00	5,89%
33	0,38	5,65%	1,81	27,17%	0,02	0,29%	0,93	13,91%	0,51	7,62%	2,68	40,27%	0,34	5,10%
34	0,06	4,54%	0,73	58,26%	0,01	0,64%	0,12	9,79%	0,03	2,06%	0,17	13,26%	0,14	11,46%
35	0,05	3,61%	0,74	50,47%	0,00	0,03%	0,14	9,84%	0,06	3,83%	0,38	25,67%	0,10	6,55%
36	0,04	2,93%	0,40	29,85%	0,01	0,78%	0,21	15,43%	0,07	5,15%	0,54	39,70%	0,08	6,16%
37	0,02	2,33%	0,33	37,04%	0,01	1,07%	0,17	19,00%	0,02	1,85%	0,24	27,05%	0,10	11,67%
38	0,00	0,96%	0,18	59,65%	0,00	0,07%	0,08	25,38%	0,00	0,03%	0,02	6,38%	0,02	7,53%
39	0,02	3,79%	0,20	43,86%	0,00	0,28%	0,06	12,34%	0,01	1,51%	0,09	19,24%	0,09	18,98%
40	0,08	2,54%	1,66	50,58%	0,00	0,14%	0,53	16,33%	0,06	1,94%	0,66	20,25%	0,27	8,23%
41	0,01	1,39%	0,57	55,32%	0,00	0,27%	0,10	9,73%	0,03	2,49%	0,16	15,33%	0,16	15,46%
42	0,16	4,23%	1,51	40,59%	0,02	0,52%	0,62	16,75%	0,10	2,56%	0,85	22,72%	0,47	12,63%
43	0,01	1,84%	0,43	71,22%	0,00	0,35%	0,04	5,92%	0,00	0,22%	0,07	11,27%	0,05	9,18%
44	0,04	2,31%	1,00	64,26%	0,02	1,33%	0,06	3,89%	0,03	2,00%	0,25	16,17%	0,16	10,04%
45	0,00	0,00%	0,17	91,79%	0,00	0,00%	0,00	0,11%	0,00	0,00%	0,00	1,31%	0,01	6,78%
46	0,01	1,48%	0,57	59,74%	0,00	0,01%	0,10	10,66%	0,02	1,91%	0,20	20,95%	0,05	5,26%
47	0,07	2,84%	1,26	50,69%	0,01	0,33%	0,28	11,36%	0,06	2,28%	0,52	21,00%	0,29	11,50%

Bacia	Urbano		Floresta		Corpos d'água		Pastagens		Solo exposto		Culturas		Reflorestamento	
-	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%
48	0,00	0,19%	0,36	84,39%	0,00	0,49%	0,02	3,63%	0,00	0,02%	0,02	4,72%	0,03	6,57%
49	0,00	0,06%	0,49	70,78%	0,00	0,20%	0,14	19,44%	0,00	0,01%	0,04	5,80%	0,03	3,70%
50	0,09	5,39%	0,54	31,03%	0,02	1,29%	0,24	13,93%	0,08	4,54%	0,63	36,28%	0,13	7,54%
51	0,02	3,19%	0,22	45,61%	0,00	0,12%	0,09	17,54%	0,00	0,18%	0,08	16,36%	0,08	16,99%
52	0,04	3,33%	0,51	40,40%	0,00	0,24%	0,20	16,04%	0,02	1,91%	0,24	19,18%	0,24	18,90%
53	0,00	0,49%	0,49	75,79%	0,00	0,00%	0,05	7,55%	0,00	0,63%	0,06	9,42%	0,04	6,11%
54	0,04	3,20%	0,44	34,34%	0,01	0,48%	0,18	13,59%	0,01	1,15%	0,19	14,45%	0,42	32,80%
55	0,02	1,62%	0,68	60,29%	0,01	0,74%	0,09	7,74%	0,00	0,22%	0,14	12,39%	0,19	17,00%
56	0,02	3,79%	0,35	58,43%	0,00	0,02%	0,04	7,03%	0,00	0,10%	0,09	14,67%	0,09	15,96%
57	0,00	0,00%	0,43	93,52%	0,00	0,00%	0,01	2,35%	0,00	0,00%	0,01	2,24%	0,01	1,89%
58	0,01	1,36%	0,61	78,68%	0,00	0,36%	0,02	2,71%	0,01	0,79%	0,07	8,79%	0,06	7,30%
59	0,23	4,07%	3,09	54,87%	0,01	0,13%	0,55	9,79%	0,09	1,53%	0,99	17,52%	0,68	12,08%
60	0,03	4,43%	0,41	55,29%	0,02	2,84%	0,06	8,15%	0,01	1,73%	0,10	13,57%	0,10	14,00%
61	0,00	1,86%	0,17	68,05%	0,00	0,00%	0,01	3,95%	0,00	0,47%	0,06	22,22%	0,01	3,44%
62	0,01	1,22%	0,26	40,44%	0,00	0,08%	0,03	4,39%	0,00	0,17%	0,03	4,40%	0,32	49,29%
63	0,02	0,72%	2,30	71,28%	0,00	0,12%	0,19	5,91%	0,03	1,02%	0,41	12,85%	0,26	8,10%
64	0,02	6,56%	0,15	66,70%	0,00	0,00%	0,02	7,46%	0,00	0,30%	0,03	12,90%	0,01	6,08%
65	0,01	0,98%	0,33	62,96%	0,00	0,45%	0,06	10,86%	0,00	0,15%	0,06	11,45%	0,07	13,15%
66	0,02	2,33%	0,31	28,58%	0,00	0,02%	0,27	25,29%	0,02	2,19%	0,36	33,70%	0,08	7,89%
67	0,00	0,48%	0,70	69,59%	0,00	0,10%	0,05	5,09%	0,02	1,56%	0,09	8,54%	0,15	14,64%
68	0,05	2,68%	1,08	61,40%	0,00	0,15%	0,14	7,73%	0,01	0,69%	0,29	16,49%	0,19	10,87%
69	0,02	1,17%	1,15	80,88%	0,00	0,00%	0,03	1,96%	0,00	0,11%	0,07	4,98%	0,16	10,91%
70	0,00	1,00%	0,14	53,22%	0,01	3,20%	0,04	16,00%	0,00	0,31%	0,04	15,89%	0,03	10,37%
71	0,00	0,82%	0,49	86,56%	0,00	0,12%	0,02	2,68%	0,00	0,20%	0,03	4,44%	0,03	5,18%

Bacia	Urbano		Floresta		Corpos d'água		Pastagens		Solo exposto		Culturas		Reflorestamento	
-	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%
72	0,19	6,02%	1,48	47,08%	0,00	0,13%	0,21	6,63%	0,03	0,82%	0,37	11,70%	0,87	27,62%
73	0,03	3,43%	0,71	70,26%	0,00	0,00%	0,05	4,99%	0,00	0,22%	0,09	9,35%	0,12	11,75%
74	0,12	4,40%	0,98	36,97%	0,01	0,33%	0,42	15,89%	0,02	0,66%	0,67	25,02%	0,45	16,73%
75	0,00	0,01%	0,74	82,85%	0,00	0,00%	0,00	0,34%	0,00	0,00%	0,01	1,20%	0,14	15,61%
76	0,01	1,86%	0,39	52,61%	0,00	0,12%	0,09	12,14%	0,02	2,02%	0,16	21,40%	0,07	9,85%
77	0,00	0,27%	0,55	79,68%	0,00	0,13%	0,01	1,34%	0,00	0,01%	0,03	4,89%	0,09	13,66%
78	0,02	1,09%	1,04	75,97%	0,00	0,11%	0,07	4,94%	0,00	0,21%	0,13	9,45%	0,11	8,23%
79	0,02	3,29%	0,32	50,34%	0,01	0,81%	0,10	15,09%	0,00	0,45%	0,11	16,91%	0,08	13,10%
80	0,02	1,20%	0,89	61,76%	0,02	1,65%	0,10	7,00%	0,01	1,00%	0,21	14,90%	0,18	12,49%
81	0,01	1,54%	0,21	64,09%	0,00	0,65%	0,01	3,45%	0,00	0,09%	0,02	6,77%	0,08	23,42%
82	0,07	1,14%	4,66	73,06%	0,03	0,42%	0,37	5,76%	0,03	0,43%	0,67	10,58%	0,55	8,61%
83	0,01	1,88%	0,43	64,59%	0,00	0,06%	0,02	3,67%	0,03	3,95%	0,10	15,00%	0,07	10,85%
84	0,00	0,17%	1,81	84,09%	0,00	0,06%	0,03	1,24%	0,00	0,06%	0,09	4,28%	0,22	10,09%
85	0,00	0,28%	0,91	81,03%	0,01	0,46%	0,02	1,55%	0,00	0,00%	0,07	6,23%	0,12	10,45%
86	0,02	1,28%	0,99	73,99%	0,01	0,71%	0,05	4,08%	0,03	2,01%	0,11	8,21%	0,13	9,71%
87	0,12	5,02%	1,23	50,32%	0,01	0,26%	0,26	10,75%	0,01	0,58%	0,36	14,71%	0,45	18,36%
88	0,01	11,03%	0,01	10,79%	0,00	0,08%	0,04	27,99%	0,00	1,62%	0,05	40,40%	0,01	8,10%
89	0,03	1,23%	1,56	62,83%	0,02	0,82%	0,13	5,22%	0,03	1,28%	0,39	15,88%	0,32	12,74%
90	0,01	0,39%	1,13	58,47%	0,01	0,72%	0,36	18,43%	0,01	0,31%	0,31	16,16%	0,11	5,51%
91	0,53	5,08%	4,18	39,84%	0,05	0,48%	1,26	12,03%	0,58	5,51%	3,00	28,54%	0,89	8,51%
92	0,11	4,82%	0,55	23,64%	0,01	0,41%	0,29	12,25%	0,13	5,63%	0,75	32,10%	0,49	21,15%
93	0,05	1,23%	2,11	53,23%	0,01	0,24%	0,37	9,44%	0,01	0,22%	0,49	12,27%	0,93	23,37%
94	0,01	0,35%	1,04	70,94%	0,00	0,02%	0,04	3,01%	0,00	0,06%	0,08	5,14%	0,30	20,48%
95	0,01	3,06%	0,10	36,74%	0,00	0,15%	0,04	16,62%	0,00	0,00%	0,08	28,04%	0,04	15,38%

Bacia	Urbano		Floresta		Corpos d'água		Pastagens		Solo exposto		Culturas		Reflorestamento	
-	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%	Area (km²)	%
96	0,09	2,84%	1,37	45,44%	0,01	0,20%	0,21	7,03%	0,01	0,30%	0,36	12,04%	0,97	32,15%
97	0,01	0,87%	0,99	75,56%	0,00	0,29%	0,06	4,57%	0,00	0,08%	0,06	4,73%	0,18	13,89%
98	0,02	4,21%	0,08	14,68%	0,02	2,67%	0,06	10,16%	0,00	0,43%	0,08	13,21%	0,32	54,64%
99	0,01	2,31%	0,30	53,33%	0,00	0,32%	0,06	9,73%	0,00	0,19%	0,15	27,15%	0,04	6,96%
100	0,01	1,56%	0,57	61,96%	0,01	0,60%	0,11	11,68%	0,00	0,16%	0,11	11,96%	0,11	12,08%
101	0,00	0,86%	0,45	82,64%	0,00	0,00%	0,01	2,27%	0,00	0,00%	0,02	4,21%	0,05	10,01%
102	0,02	0,52%	1,90	63,74%	0,01	0,22%	0,22	7,45%	0,03	1,06%	0,48	16,15%	0,32	10,87%
103	0,00	0,37%	0,70	78,37%	0,00	0,17%	0,01	1,17%	0,00	0,45%	0,10	11,70%	0,07	7,77%
104	0,30	3,24%	5,27	56,53%	0,01	0,13%	0,88	9,41%	0,30	3,25%	1,62	17,38%	0,94	10,05%
105	0,00	0,43%	0,85	75,04%	0,00	0,04%	0,02	1,45%	0,02	1,55%	0,08	7,27%	0,16	14,22%
106	0,00	0,22%	1,02	90,77%	0,00	0,00%	0,01	0,46%	0,00	0,01%	0,02	2,12%	0,07	6,43%
107	0,01	1,84%	0,37	53,24%	0,00	0,23%	0,08	11,30%	0,00	0,14%	0,12	16,99%	0,11	16,26%
108	0,01	1,04%	0,92	66,42%	0,00	0,35%	0,07	5,33%	0,00	0,27%	0,14	10,40%	0,22	16,19%
109	0,02	3,03%	0,63	84,35%	0,01	0,77%	0,01	1,45%	0,00	0,21%	0,02	2,55%	0,06	7,62%
110	0,00	0,66%	0,47	78,52%	0,00	0,37%	0,00	0,27%	0,00	0,07%	0,01	2,48%	0,10	17,63%
111	0,02	1,70%	0,64	65,59%	0,00	0,00%	0,05	4,65%	0,00	0,16%	0,13	13,72%	0,14	14,18%
112	0,04	2,21%	1,31	72,57%	0,01	0,38%	0,07	3,84%	0,00	0,14%	0,15	8,36%	0,23	12,50%
113	0,00	0,21%	1,37	78,02%	0,00	0,05%	0,04	2,16%	0,00	0,23%	0,09	4,94%	0,25	14,38%
114	0,00	0,22%	1,07	85,87%	0,00	0,19%	0,01	0,42%	0,00	0,01%	0,02	1,84%	0,14	11,45%
115	0,00	0,15%	1,64	92,40%	0,02	0,85%	0,00	0,03%	0,00	0,01%	0,01	0,70%	0,10	5,86%

APENDICE B – PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS

B	P (km)	A (km^2)	CA (km)	Kc	f	IC	DM (%)	Alt. Min.	Alt. Max.	Alt. Med	CP	CT	CD	Dd	CS	O	CR
0	94,59	202,52	22,31	1,8750	0,4069	0,2844	21,54	831,46	1.204,87	924,05	28,54	717,36	22,58	3,5422	1,2636	7	155,6
1	33,51	13,21	8,74	2,6006	0,1732	0,1479	12,41	831,46	923,26	867,72	15,44	31,12	8,74	2,3552	1,7676	7	92,53
2	3,69	0,36	1,20	1,7444	0,2454	0,3286	12,19	832,39	900,98	856,06	1,26	1,49	1,20	4,2068	1,0502	4	120,7
3	2,99	0,50	1,11	1,1877	0,4106	0,7089	17,99	847,58	927,38	884,54	1,04	1,77	0,93	3,5170	1,1252	3	136,4
4	6,31	1,63	1,82	1,3934	0,4959	0,5151	14,25	847,58	927,95	885,36	1,68	5,66	1,71	3,4616	0,9806	3	115,9
5	7,07	2,09	2,60	1,3810	0,3099	0,5244	14,16	842,59	932,15	886,37	2,68	4,83	2,44	2,3109	1,0986	3	99,13
6	4,76	1,19	1,43	1,2300	0,5803	0,6610	15,24	852,43	922,00	887,13	1,53	3,70	1,38	3,0950	1,1090	3	115,9
7	3,78	0,52	0,90	1,4741	0,6452	0,4602	13,58	843,73	913,98	865,97	0,95	1,81	0,90	3,4467	1,0581	4	112,3
8	5,11	1,45	1,80	1,1969	0,4462	0,6981	14,96	852,38	926,17	884,99	1,87	5,80	1,68	4,0027	1,1131	3	130,4
9	2,62	0,37	0,91	1,2063	0,4500	0,6872	17,31	845,24	911,95	883,94	0,94	1,74	0,81	4,6437	1,1594	3	149,6
10	3,73	0,77	1,08	1,1945	0,6695	0,7009	16,01	866,58	939,93	898,83	1,05	2,69	0,88	3,4715	1,1915	3	126,8
11	11,02	2,27	2,73	2,0620	0,3053	0,2352	13,76	842,95	928,90	884,07	3,16	7,15	2,73	3,1424	1,1578	4	106,3
12	9,58	4,03	3,31	1,3454	0,3686	0,5525	14,20	844,77	945,63	886,50	3,71	10,98	3,12	2,7224	1,1903	3	103,9
13	2,54	0,33	0,94	1,2479	0,3746	0,6422	14,25	873,21	927,99	902,88	0,80	1,47	0,80	4,4440	1,0059	3	131,6
14	3,84	0,79	1,02	1,2211	0,7608	0,6707	14,58	863,39	927,86	893,79	1,47	3,30	1,28	4,2035	1,1447	3	130,4
15	4,08	0,76	1,57	1,3173	0,3087	0,5763	15,66	872,91	942,75	906,72	1,54	3,17	1,47	4,1584	1,0469	3	137,6
16	2,60	0,39	0,79	1,1754	0,6269	0,7239	20,18	847,94	922,11	877,76	0,80	1,56	0,65	3,9956	1,2230	3	156,8
17	5,22	1,18	1,40	1,3553	0,5982	0,5445	18,56	852,18	942,57	893,94	1,49	4,20	1,23	3,5622	1,2106	3	140
18	4,69	1,18	1,60	1,2169	0,4595	0,6753	19,82	854,96	978,76	909,12	1,64	2,65	1,52	2,2422	1,0780	3	108,7
19	9,78	4,25	3,04	1,3379	0,4598	0,5586	15,04	846,29	954,61	892,77	3,32	12,55	2,57	2,9495	1,2928	3	112,3
20	5,44	1,56	1,38	1,2286	0,8186	0,6625	21,98	850,05	957,67	897,50	1,86	5,69	1,33	3,6458	1,4001	3	160,4
21	4,65	1,06	1,41	1,2723	0,5328	0,6178	22,76	855,81	964,25	912,73	1,40	3,89	1,25	3,6564	1,1197	3	162,8
22	8,02	2,83	2,88	1,3458	0,3421	0,5522	15,92	843,01	973,88	890,89	3,47	8,14	2,52	2,8787	1,3749	3	117,1
23	17,20	6,72	4,73	1,8707	0,3006	0,2857	20,76	854,97	1.013,38	914,33	6,28	22,29	4,73	3,3150	1,3270	4	141,2
24	6,01	1,57	1,54	1,3540	0,6649	0,5455	20,86	859,83	982,49	914,73	1,99	4,73	1,50	3,0166	1,3244	3	134

B	P (km)	A (km^2)	CA (km)	Kc	f	IC	DM (%)	Alt. Min.	Alt. Max.	Alt. Med	CP	CT	CD	Dd	CS	O	CR
25	4,20	0,70	1,28	1,4141	0,4308	0,5001	21,34	859,83	976,95	902,68	1,39	3,65	1,18	5,2036	1,1755	3	178,4
26	6,72	1,73	2,57	1,4440	0,2606	0,4796	20,30	853,60	1.011,36	919,50	2,78	5,36	2,44	3,1039	1,1383	3	132,8
27	28,71	8,40	6,93	2,7939	0,1751	0,1281	16,15	843,52	962,14	880,22	12,17	29,62	6,93	3,5258	1,7561	6	129,2
28	5,04	1,09	1,42	1,3643	0,5385	0,5373	18,51	871,09	983,96	932,22	1,71	3,74	1,29	3,4462	1,3247	3	172,4
29	9,60	2,68	3,57	1,6531	0,2109	0,3659	19,92	848,85	1.025,37	913,03	4,15	7,22	3,54	2,6928	1,1733	3	120,7
30	1,45	0,12	0,39	1,1894	0,7833	0,7069	16,99	868,34	930,25	903,83	0,39	0,89	0,36	7,5097	1,0815	3	182
31	2,33	0,23	0,81	1,3645	0,3560	0,5371	23,18	867,21	970,03	903,15	0,70	1,15	0,67	4,9632	1,0402	3	188
32	1,53	0,05	0,33	1,9737	0,4528	0,2567	13,05	863,10	911,90	880,64	0,35	0,35	0,33	7,2109	1,0616	4	149,6
33	17,60	6,66	3,88	1,9247	0,4410	0,2700	13,50	844,90	983,02	884,69	7,22	18,35	3,88	2,7565	1,8581	6	101,5
34	5,18	1,25	1,47	1,3059	0,5792	0,5864	20,84	864,39	1.002,16	907,27	1,80	4,10	1,30	3,2764	1,3823	3	141,2
35	5,88	1,46	1,94	1,3702	0,3903	0,5327	21,85	862,70	999,23	913,53	2,28	5,05	1,86	3,4484	1,2237	3	152
36	5,23	1,35	2,04	1,2706	0,3236	0,6194	18,96	870,66	986,25	917,49	2,35	3,88	1,91	2,8827	1,2314	3	124,3
37	5,05	0,90	1,93	1,5038	0,2400	0,4422	27,98	863,79	978,51	912,52	1,93	3,11	1,80	3,4636	1,0708	3	186,8
38	2,67	0,30	0,60	1,3650	0,8367	0,5367	29,81	888,00	983,28	931,81	0,56	1,85	0,54	6,0897	1,0368	3	198,8
39	2,85	0,46	0,93	1,1875	0,5233	0,7092	22,46	876,77	988,10	929,53	1,09	1,75	0,86	3,8212	1,2614	3	165,2
40	10,91	3,27	4,34	1,7007	0,1740	0,3457	26,76	853,14	1.025,29	920,11	4,55	11,30	4,20	3,4517	1,0840	3	179,6
41	5,29	1,03	1,72	1,4730	0,3484	0,4609	26,03	868,65	994,36	925,86	1,77	3,29	1,57	3,2006	1,1311	3	171,2
42	15,49	3,73	4,51	2,2620	0,1836	0,1954	23,61	852,30	1.007,44	909,13	4,86	15,04	4,46	4,0305	1,0903	4	173,6
43	3,70	0,60	1,32	1,3489	0,3422	0,5496	23,65	869,76	1.038,52	840,20	1,07	2,88	1,04	4,8143	1,0281	3	188
44	5,73	1,55	1,58	1,2977	0,6239	0,5938	26,33	887,14	1.052,49	950,72	1,78	5,87	1,45	3,7791	1,2257	3	178,4
45	2,15	0,18	0,42	1,4200	1,0305	0,4959	27,04	914,66	1.006,49	960,43	0,39	0,95	0,37	5,2365	1,0700	3	197,6
46	5,53	0,95	1,50	1,5984	0,4224	0,3914	19,65	867,84	956,17	901,37	1,88	3,76	1,50	3,9491	1,2515	4	152
47	10,95	2,49	2,81	1,9568	0,3154	0,2612	19,89	858,28	975,11	893,48	3,21	8,26	2,81	3,3180	1,1423	5	136,4
48	3,17	0,43	1,08	1,3625	0,3684	0,5387	29,37	871,49	1.028,26	963,64	1,04	2,09	1,00	4,8475	1,0365	3	196,4
49	3,55	0,69	1,19	1,2021	0,4884	0,6920	27,75	887,96	1.026,61	959,48	1,08	2,94	1,01	4,2362	1,0704	2	185,6

B	P (km)	A (km^2)	CA (km)	Kc	f	IC	DM (%)	Alt. Min.	Alt. Max.	Alt. Med	CP	CT	CD	Dd	CS	O	CR
50	8,50	1,75	2,51	1,8129	0,2785	0,3043	16,05	868,42	1.003,63	902,58	2,67	6,24	2,51	3,5657	1,0672	4	130,4
51	3,24	0,49	1,10	1,3083	0,4016	0,5843	25,37	867,62	976,30	910,39	0,94	1,94	0,92	3,9673	1,0220	3	179,6
52	5,28	1,27	1,62	1,3190	0,4857	0,5748	21,01	887,45	1.030,95	936,48	2,00	5,46	1,55	4,2860	1,2899	3	165,2
53	3,98	0,65	1,13	1,3983	0,5055	0,5115	27,07	914,29	1.028,13	972,13	1,23	3,10	1,11	4,8041	1,1065	3	194
54	5,61	1,29	2,12	1,3910	0,2888	0,5168	20,15	867,67	1.013,04	911,40	2,17	5,05	1,85	3,9035	1,1737	3	154,4
55	4,40	1,12	1,33	1,1729	0,6330	0,7269	20,09	873,79	1.020,93	912,37	1,45	4,76	1,33	4,2558	1,0899	4	159,2
56	3,62	0,59	1,40	1,3283	0,3015	0,5667	23,10	875,16	1.048,60	940,04	1,36	2,81	1,16	4,7503	1,1652	3	183,2
57	2,95	0,46	0,99	1,2239	0,4720	0,6676	39,41	879,49	1.041,72	951,13	0,98	2,04	0,93	4,4192	1,0516	3	197,6
58	4,16	0,77	1,51	1,3355	0,3383	0,5607	28,12	884,76	1.006,74	946,88	1,50	3,15	1,43	4,0798	1,0499	3	189,2
59	22,39	5,63	4,68	2,6609	0,2572	0,1412	18,29	856,59	1.038,71	897,96	6,56	16,85	4,68	2,9909	1,4019	5	126,8
60	4,10	0,74	1,50	1,3473	0,3277	0,5509	28,48	923,41	1.030,06	968,72	1,07	4,12	1,02	5,5821	1,0413	3	197,6
61	2,99	0,25	0,38	1,6765	1,7249	0,3558	23,86	873,80	989,41	915,76	0,45	0,98	0,38	3,8930	1,1636	4	172,4
62	3,74	0,64	0,94	1,3158	0,7207	0,5777	28,44	878,47	1.013,41	926,89	1,01	3,25	0,89	5,0538	1,1325	3	198,8
63	9,28	3,23	2,69	1,4576	0,4448	0,4707	26,96	877,19	1.053,72	952,44	3,06	12,17	2,40	3,7725	1,2732	3	182
64	2,33	0,23	0,43	1,3687	1,2726	0,5338	28,27	873,88	968,37	911,29	0,46	1,40	0,43	6,0610	1,0860	4	198,8
65	3,20	0,53	1,04	1,2373	0,4948	0,6532	26,94	923,21	1.011,87	971,91	1,04	3,12	0,89	5,8703	1,1703	3	197,6
66	4,71	1,07	1,60	1,2862	0,4167	0,6045	21,80	873,32	988,98	915,33	1,66	6,18	1,44	5,7776	1,1552	3	185,6
67	4,79	1,01	1,48	1,3468	0,4604	0,5514	37,77	878,83	1.052,54	967,61	1,93	3,08	1,38	3,0588	1,3960	3	198,8
68	8,93	1,76	2,22	1,8977	0,3580	0,2777	21,20	867,96	1.005,15	904,98	2,53	7,34	2,22	4,1626	1,1406	4	165,2
69	5,77	1,42	1,77	1,3648	0,4554	0,5369	30,56	876,21	1.032,96	947,15	2,26	5,74	1,60	4,0320	1,4164	3	197,6
70	2,10	0,26	0,60	1,1635	0,7292	0,7388	30,24	881,63	998,84	928,61	0,71	1,38	0,52	5,3110	1,3683	3	198,8
71	3,80	0,56	1,48	1,4268	0,2573	0,4912	27,29	870,44	1.062,72	972,79	1,43	2,66	1,30	4,7174	1,1001	3	191,6
72	8,65	3,13	3,02	1,3782	0,3437	0,5265	23,52	869,79	1.026,80	930,24	3,12	11,56	2,68	3,6884	1,1650	3	166,4
73	4,21	1,01	1,15	1,1789	0,7608	0,7196	28,97	875,47	1.032,58	945,68	1,13	3,58	1,09	3,5249	1,0371	3	194
74	10,73	2,66	2,24	1,8575	0,5291	0,2898	19,36	873,73	1.004,25	917,33	2,76	9,74	2,24	3,6674	1,2319	4	146

B	P (km)	A (km^2)	CA (km)	Kc	f	IC	DM (%)	Alt. Min.	Alt. Max.	Alt. Med	CP	CT	CD	Dd	CS	O	CR
75	5,00	0,89	1,42	1,4934	0,4459	0,4484	29,55	883,40	1.065,69	979,47	1,44	3,38	1,28	3,7800	1,1237	3	196,4
76	3,96	0,74	1,40	1,3001	0,3793	0,5917	26,57	881,93	1.017,19	940,41	1,42	2,75	1,33	3,7117	1,0699	3	179,6
77	3,91	0,69	1,59	1,3276	0,2733	0,5673	27,82	879,09	1.066,39	946,30	1,62	2,92	1,27	4,2361	1,2716	3	186,8
78	5,73	1,37	1,82	1,3795	0,4137	0,5255	26,21	869,92	1.073,39	973,36	2,08	4,92	1,69	3,5856	1,2296	3	178,4
79	4,27	0,64	1,53	1,5082	0,2728	0,4396	22,98	878,10	1.001,98	925,03	1,52	2,55	1,44	4,0045	1,0571	3	171,2
80	5,74	1,44	1,75	1,3506	0,4681	0,5483	35,83	873,75	1.096,38	965,61	2,12	5,64	1,56	3,9331	1,3554	3	198,8
81	2,76	0,32	0,95	1,3657	0,3603	0,5361	29,11	892,67	1.017,72	947,90	0,92	1,86	0,87	5,7261	1,0572	3	197,6
82	20,69	6,37	4,30	2,3122	0,3444	0,1871	25,49	867,44	1.076,46	944,92	4,97	24,25	4,30	3,8048	1,1546	4	177,2
83	3,50	0,66	1,20	1,2114	0,4604	0,6814	28,58	882,85	1.069,72	964,02	1,31	3,32	1,19	5,0078	1,1037	3	198,8
84	9,72	2,15	1,20	1,8687	1,4945	0,2864	29,63	883,40	1.076,59	980,35	3,39	8,23	1,17	3,8261	2,9062	3	196,4
85	5,77	1,12	1,74	1,5377	0,3697	0,4229	24,71	883,84	1.067,69	994,59	2,00	4,84	1,61	4,3155	1,2398	3	184,4
86	5,10	1,34	1,42	1,2435	0,6596	0,6467	28,41	881,38	1.091,00	981,68	1,69	4,82	1,36	3,6055	1,2425	3	190,4
87	10,88	2,44	2,84	1,9659	0,3018	0,2588	21,77	873,58	1.026,66	914,18	3,23	10,58	2,84	4,3432	1,1367	4	171,2
88	1,54	0,13	0,59	1,2042	0,3699	0,6897	22,50	892,22	1.002,56	932,70	0,54	0,83	0,45	6,3929	1,2164	3	194
89	7,10	2,48	1,97	1,2706	0,6381	0,6194	26,74	883,86	1.050,46	949,13	2,29	9,23	1,86	3,7159	1,2338	3	180,8
90	33,73	10,49	7,50	2,9382	0,1866	0,1158	30,94	885,43	1.098,28	990,18	9,99	32,95	7,50	3,1411	1,3317	5	192,8
91	8,64	2,34	2,91	1,5945	0,2759	0,3933	18,52	858,62	1.084,35	911,67	3,29	8,51	2,82	3,6423	1,1686	3	141,2
92	11,76	3,97	3,49	1,6651	0,3259	0,3607	23,06	874,14	1.091,01	971,67	4,75	16,03	3,36	4,0419	1,4119	3	171,2
93	5,79	1,47	1,38	1,3455	0,7719	0,5524	22,56	879,02	1.016,29	942,02	1,96	6,68	1,36	4,5360	1,4421	3	177,2
94	2,66	0,27	0,81	1,4548	0,4019	0,4725	26,39	882,88	1.002,98	937,20	0,82	1,05	0,81	3,9176	1,0079	4	179,6
95	6,31	1,93	1,96	1,2812	0,5018	0,6092	23,93	888,80	1.004,26	922,54	2,15	7,28	1,83	3,7710	1,1748	3	170
96	9,70	3,02	2,49	1,5746	0,4857	0,4033	23,60	878,93	1.019,94	926,83	2,99	9,74	2,43	3,2293	1,2315	3	148,4
97	6,55	1,31	1,91	1,6132	0,3606	0,3843	27,41	890,81	1.051,94	965,76	2,30	6,17	1,74	4,6965	1,3239	3	190,4
98	4,10	0,58	1,28	1,5239	0,3488	0,4306	24,20	832,45	1.003,22	936,58	1,38	2,25	1,22	3,9094	1,1321	3	173,6
99	3,89	0,57	1,09	1,4587	0,4762	0,4700	29,24	886,24	1.022,21	926,50	1,27	2,08	1,09	3,6772	1,1657	4	195,2

B	P (km)	A (km^2)	CA (km)	Kc	f	IC	DM (%)	Alt. Min.	Alt. Max.	Alt. Med	CP	CT	CD	Dd	CS	O	CR
100	5,79	0,91	1,86	1,7082	0,2639	0,3427	27,09	890,75	1.038,14	955,81	2,23	3,66	1,86	4,0031	1,1978	4	183,2
101	3,67	0,55	1,31	1,3997	0,3181	0,5104	25,30	893,24	1.048,63	970,08	1,30	3,17	1,24	5,7879	1,0425	3	197,6
102	8,44	2,97	2,24	1,3800	0,5923	0,5251	32,84	897,00	1.105,73	999,88	2,56	9,22	1,95	3,1006	1,3120	3	190,4
103	4,08	0,89	1,17	1,2204	0,6464	0,6715	27,62	903,49	1.073,53	999,13	1,40	4,11	1,05	4,6102	1,3401	3	189,2
104	26,38	9,31	7,43	2,4387	0,1688	0,1681	22,48	863,52	1.084,99	919,93	12,51	36,40	7,43	3,9079	1,6843	5	167,6
105	5,24	1,14	1,18	1,3864	0,8137	0,5203	30,92	898,06	1.045,75	967,45	1,34	3,90	1,12	3,4357	1,1998	3	197,6
106	5,72	1,13	1,34	1,5195	0,6255	0,4331	30,19	919,06	1.087,23	1.010,62	1,54	4,76	1,27	4,2167	1,2124	3	197,6
107	4,44	0,70	1,18	1,5027	0,4960	0,4429	24,99	903,57	1.044,63	982,91	1,19	2,21	1,03	3,1719	1,1507	3	164
108	5,39	1,38	1,24	1,2927	0,8942	0,5984	30,68	903,11	1.087,65	975,16	1,38	5,33	1,24	3,8495	1,1082	4	198,8
109	4,83	0,75	1,36	1,5716	0,4041	0,4049	28,03	975,93	1.129,98	1.031,07	1,40	2,99	1,24	3,9835	1,1273	3	188
110	4,17	0,59	1,49	1,5271	0,2670	0,4288	31,62	976,51	1.131,35	1.039,83	1,46	2,33	1,39	3,9327	1,0518	3	198,8
111	4,31	0,98	1,00	1,2293	0,9763	0,6617	27,21	919,20	1.053,99	979,24	1,31	3,99	0,86	4,0814	1,5228	3	184,4
112	6,52	1,81	1,90	1,3683	0,5037	0,5341	26,65	962,71	1.168,47	1.031,73	2,17	7,40	1,79	4,0910	1,2108	3	182
113	8,06	1,76	1,52	1,7159	0,7560	0,3396	28,80	904,23	1.094,00	987,39	2,37	7,63	1,52	4,3450	1,5548	4	190,4
114	6,06	1,24	1,57	1,5318	0,5066	0,4262	30,99	970,19	1.204,62	1.060,61	1,74	5,24	1,29	4,2160	1,3448	3	197,6
115	6,39	1,78	1,70	1,3514	0,6173	0,5476	29,73	969,68	1.204,87	1.090,48	2,86	7,45	1,68	4,1874	1,7069	3	195,2

B – Sub-bacia; P – Perímetro; A – Área; CA – Comprimento Axial; Kc – Coeficiente de Compacidade; f – Fator de forma; IC – Índice de Circularidade; DM – Declividade Média; Alt. Min. – Altitude mínima; Alt. Max. – Altitude máxima de ocorrência; Alt. Med. – Altitude média; CP – Comprimento do curso d'água principal; CT - Comprimento total dos cursos d'água; CD – Comprimento direto do curso d'água; Dd – Densidade de Drenagem; CS – Coeficiente de Sinuosidade; O – Ordem da bacia; CR – Coeficiente de Rugosidade.

APENDICE C – CONFORMIDADE DE USO E MAPAS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS NORMALIZADOS

B	Aptidão	Uso conforme (m²)	Uso conforme (%)	ICU	Kc-N	IC-N	f-N	Dd-N	IMUT
1	Agricultura	5.843.000,00	47,79%	0,48	1,00	0,85	1,00	0,62	0,79
2	Pecuária/Pastagem	164.400,00	23,18%	0,23	1,00	0,67	1,00	1,00	0,78
3	Pecuária/Pastagem	289.100,00	32,66%	0,33	0,00	0,29	1,00	1,00	0,52
4	Agricultura	675.400,00	47,10%	0,47	0,57	0,48	1,00	0,99	0,70
5	Agricultura	1.107.800,00	40,79%	0,41	0,52	0,48	1,00	0,60	0,60
6	Agricultura	391.900,00	63,70%	0,64	0,00	0,34	0,68	0,87	0,50
7	Agricultura	232.100,00	53,20%	0,53	0,90	0,54	0,42	0,98	0,67
8	Pecuária/Pastagem	1.207.900,00	10,99%	0,11	0,00	0,30	1,00	1,00	0,48
9	Pastagem/Reflorestamento	343.800,00	4,92%	0,05	0,00	0,31	1,00	1,00	0,47
10	Pecuária/Pastagem	602.300,00	13,65%	0,14	0,00	0,30	0,32	0,99	0,35
11	Agricultura	780.500,00	61,80%	0,62	1,00	0,76	1,00	0,88	0,85
12	Agricultura	1.601.500,00	54,01%	0,54	0,38	0,45	1,00	0,74	0,62
13	Pecuária/Pastagem	295.900,00	5,13%	0,05	0,00	0,36	1,00	1,00	0,48
14	Pecuária/Pastagem	720.800,00	4,86%	0,05	0,00	0,33	0,00	1,00	0,28
15	Pecuária/Pastagem	695.100,00	2,88%	0,03	0,27	0,42	1,00	1,00	0,54
16	Pastagem/Reflorestamento	335.400,00	9,35%	0,09	0,00	0,28	0,49	1,00	0,37
17	Pecuária/Pastagem	1.056.800,00	6,42%	0,06	0,42	0,46	0,61	1,00	0,51
18	Agricultura	606.900,00	45,01%	0,45	0,00	0,32	1,00	0,58	0,47
19	Agricultura	1.876.000,00	52,06%	0,52	0,35	0,44	1,00	0,82	0,63
20	Pastagem/Reflorestamento	1.351.700,00	8,54%	0,09	0,00	0,34	0,00	1,00	0,28
21	Pastagem/Reflorestamento	832.500,00	14,97%	0,15	0,09	0,38	0,87	1,00	0,50
22	Agricultura	1.381.900,00	46,97%	0,47	0,38	0,45	1,00	0,79	0,62
23	Pecuária/Pastagem	5.515.500,00	14,98%	0,15	1,00	0,71	1,00	0,94	0,76
24	Pecuária/Pastagem	1.308.200,00	12,17%	0,12	0,42	0,45	0,34	0,84	0,43
25	Florestas	260.100,00	62,11%	0,62	0,66	0,50	1,00	1,00	0,76
26	Pecuária/Pastagem	1.400.100,00	16,52%	0,17	0,78	0,52	1,00	0,87	0,67

B	Aptidão	Uso conforme (m²)	Uso conforme (%)	ICU	Kc-N	IC-N	f-N	Dd-N	IMUS
27	Pecuária/Pastagem	6.812.000,00	13,61%	0,14	1,00	0,87	1,00	1,00	0,80
28	Florestas	786.600,00	25,39%	0,25	0,46	0,46	0,85	0,98	0,60
29	Pecuária/Pastagem	2.057.300,00	18,11%	0,18	1,00	0,63	1,00	0,73	0,71
30	Florestas	69.100,00	39,60%	0,40	0,00	0,29	0,00	1,00	0,34
31	Florestas	117.700,00	48,65%	0,49	0,46	0,46	1,00	1,00	0,68
32	Pastagem/Reflorestamento	43.200,00	6,09%	0,06	1,00	0,74	1,00	1,00	0,76
33	Agricultura	3.075.100,00	50,91%	0,51	1,00	0,73	1,00	0,75	0,80
34	Pecuária/Pastagem	1.063.600,00	10,32%	0,10	0,22	0,41	0,68	0,93	0,47
35	Pastagem/Reflorestamento	1.316.900,00	6,79%	0,07	0,48	0,47	1,00	0,98	0,60
36	Pecuária/Pastagem	1.089.600,00	16,03%	0,16	0,08	0,38	1,00	0,79	0,48
37	Florestas	535.400,00	38,34%	0,38	1,00	0,56	1,00	0,99	0,79
38	Florestas	119.000,00	60,27%	0,60	0,46	0,46	0,00	1,00	0,51
39	Pastagem/Reflorestamento	351.600,00	19,78%	0,20	0,00	0,29	0,91	1,00	0,48
40	Florestas	1.530.100,00	51,97%	0,52	1,00	0,65	1,00	0,98	0,83
41	Florestas	441.900,00	56,26%	0,56	0,89	0,54	1,00	0,90	0,78
42	Florestas	2.038.700,00	42,61%	0,43	1,00	0,80	1,00	1,00	0,85
43	Florestas	159.000,00	72,81%	0,73	0,40	0,45	1,00	1,00	0,71
44	Florestas	498.300,00	66,68%	0,67	0,19	0,41	0,50	1,00	0,55
45	Florestas	15.000,00	91,79%	0,92	0,68	0,50	0,00	1,00	0,62
46	Pastagem/Reflorestamento	889.800,00	5,34%	0,05	1,00	0,61	1,00	1,00	0,73
47	Pecuária/Pastagem	2.128.200,00	11,73%	0,12	1,00	0,74	1,00	0,94	0,76
48	Florestas	64.600,00	84,96%	0,85	0,45	0,46	1,00	1,00	0,75
49	Florestas	201.800,00	70,97%	0,71	0,00	0,31	1,00	1,00	0,60
50	Pecuária/Pastagem	1.389.100,00	14,93%	0,15	1,00	0,70	1,00	1,00	0,77
51	Florestas	249.800,00	47,18%	0,47	0,23	0,42	1,00	1,00	0,62
52	Pastagem/Reflorestamento	986.500,00	19,60%	0,20	0,28	0,43	1,00	1,00	0,58

B	Aptidão	Uso conforme (m²)	Uso conforme (%)	ICU	Kc-N	IC-N	f-N	Dd-N	IMUS
53	Florestas	153.600,00	76,16%	0,76	0,59	0,49	0,98	1,00	0,76
54	Pastagem/Reflorestamento	822.300,00	34,05%	0,34	0,56	0,48	1,00	1,00	0,68
55	Pastagem/Reflorestamento	903.400,00	17,41%	0,17	0,00	0,27	0,47	1,00	0,38
56	Florestas	224.000,00	60,74%	0,61	0,31	0,43	1,00	1,00	0,67
57	Florestas	29.800,00	93,52%	0,94	0,00	0,33	1,00	1,00	0,65
58	Florestas	151.100,00	80,06%	0,80	0,34	0,44	1,00	1,00	0,72
59	Pecuária/Pastagem	4.850.000,00	10,22%	0,10	1,00	0,86	1,00	0,83	0,76
60	Florestas	277.100,00	59,62%	0,60	0,39	0,45	1,00	1,00	0,69
61	Florestas	76.100,00	69,34%	0,69	1,00	0,64	0,00	1,00	0,67
62	Florestas	375.700,00	40,97%	0,41	0,26	0,42	0,12	1,00	0,44
63	Florestas	900.100,00	71,88%	0,72	0,83	0,53	1,00	1,00	0,82
64	Florestas	62.000,00	71,38%	0,71	0,47	0,47	0,00	1,00	0,53
65	Florestas	188.500,00	63,88%	0,64	0,00	0,35	1,00	1,00	0,60
66	Florestas	738.600,00	29,27%	0,29	0,14	0,40	1,00	1,00	0,57
67	Florestas	300.500,00	69,99%	0,70	0,39	0,45	1,00	0,85	0,68
68	Pastagem/Reflorestamento	1.521.200,00	11,18%	0,11	1,00	0,72	1,00	1,00	0,77
69	Florestas	255.700,00	81,84%	0,82	0,46	0,46	1,00	1,00	0,75
70	Florestas	110.400,00	55,56%	0,56	0,00	0,26	0,08	1,00	0,38
71	Florestas	70.400,00	87,38%	0,87	0,71	0,51	1,00	1,00	0,82
72	Pastagem/Reflorestamento	2.076.300,00	29,43%	0,29	0,51	0,47	1,00	1,00	0,66
73	Florestas	267.100,00	72,76%	0,73	0,00	0,28	0,00	1,00	0,40
74	Pastagem/Reflorestamento	2.089.300,00	17,56%	0,18	1,00	0,71	0,88	1,00	0,75
75	Florestas	153.300,00	82,86%	0,83	0,97	0,55	1,00	1,00	0,87
76	Florestas	336.400,00	53,67%	0,54	0,20	0,41	1,00	1,00	0,63
77	Florestas	137.700,00	80,01%	0,80	0,31	0,43	1,00	1,00	0,71
78	Florestas	312.900,00	76,89%	0,77	0,52	0,47	1,00	1,00	0,75

B	Aptidão	Uso conforme (m²)	Uso conforme (%)	ICU	Kc-N	IC-N	f-N	Dd-N	IMUS
79	Florestas	290.700,00	52,49%	0,52	1,00	0,56	1,00	1,00	0,82
80	Florestas	507.900,00	63,57%	0,64	0,40	0,45	1,00	1,00	0,70
81	Florestas	109.600,00	65,52%	0,66	0,46	0,46	1,00	1,00	0,72
82	Florestas	1.618.400,00	74,22%	0,74	1,00	0,81	1,00	1,00	0,91
83	Florestas	222.700,00	65,86%	0,66	0,00	0,32	1,00	1,00	0,60
84	Florestas	337.800,00	84,29%	0,84	1,00	0,71	0,00	1,00	0,71
85	Florestas	204.200,00	81,63%	0,82	1,00	0,58	1,00	1,00	0,88
86	Florestas	321.000,00	75,50%	0,75	0,00	0,35	0,36	1,00	0,49
87	Florestas	1.082.400,00	53,13%	0,53	1,00	0,74	1,00	1,00	0,85
88	Florestas	101.300,00	12,14%	0,12	0,00	0,31	1,00	1,00	0,49
89	Florestas	872.500,00	64,14%	0,64	0,08	0,38	0,45	1,00	0,51
90	Florestas	780.600,00	59,13%	0,59	1,00	0,88	1,00	0,88	0,87
91	Pecuária/Pastagem	8.654.000,00	12,74%	0,13	1,00	0,61	1,00	1,00	0,75
92	Florestas	1.661.300,00	24,95%	0,25	1,00	0,64	1,00	1,00	0,78
93	Florestas	1.797.700,00	54,03%	0,54	0,38	0,45	0,00	1,00	0,47
94	Florestas	422.300,00	71,21%	0,71	0,82	0,53	1,00	1,00	0,81
95	Florestas	160.800,00	37,96%	0,38	0,12	0,39	0,99	1,00	0,58
96	Pastagem/Reflorestamento	1.955.000,00	33,15%	0,33	1,00	0,60	1,00	0,91	0,77
97	Florestas	306.000,00	76,44%	0,76	1,00	0,62	1,00	1,00	0,88
98	Florestas	452.600,00	15,76%	0,16	1,00	0,57	1,00	1,00	0,75
99	Florestas	249.300,00	54,77%	0,55	0,83	0,53	1,00	1,00	0,78
100	Florestas	329.100,00	63,32%	0,63	1,00	0,66	1,00	1,00	0,86
101	Florestas	90.100,00	83,36%	0,83	0,60	0,49	1,00	1,00	0,78
102	Florestas	1.057.200,00	64,21%	0,64	0,52	0,47	0,63	0,87	0,63
103	Florestas	187.800,00	78,79%	0,79	0,00	0,33	0,41	1,00	0,51
104	Florestas	3.736.900,00	58,50%	0,59	1,00	0,83	1,00	1,00	0,88

B	Aptidão	Uso conforme (m²)	Uso conforme (%)	ICU	Kc-N	IC-N	f-N	Dd-N	IMUS
105	Florestas	278.400,00	75,40%	0,75	0,55	0,48	0,00	0,98	0,55
106	Florestas	101.700,00	90,97%	0,91	1,00	0,57	0,50	1,00	0,79
107	Pastagem/Reflorestamento	568.700,00	16,60%	0,17	1,00	0,56	1,00	0,89	0,72
108	Florestas	445.000,00	67,36%	0,67	0,17	0,40	0,00	1,00	0,45
109	Florestas	89.000,00	87,69%	0,88	1,00	0,60	1,00	1,00	0,89
110	Florestas	121.200,00	79,34%	0,79	1,00	0,57	1,00	1,00	0,87
111	Florestas	320.700,00	66,72%	0,67	0,00	0,34	0,00	1,00	0,40
112	Florestas	449.100,00	74,51%	0,75	0,47	0,47	0,99	1,00	0,73
113	Florestas	381.400,00	78,23%	0,78	1,00	0,66	0,00	1,00	0,69
114	Florestas	170.600,00	86,23%	0,86	1,00	0,57	0,97	1,00	0,88
115	Florestas	117.400,00	93,34%	0,93	0,41	0,45	0,53	1,00	0,66

ICU – Índice de Conformidade de Uso; Kc-N – Coeficiente de Compacidade Normalizado; IC-N – Índice de Circularidade Normalizado; f-N – Fator de forma Normalizado; Dd-N – Densidade de Drenagem Normalizada; IMUS – Índice de Análise Morfométrica e de Aptidão do Uso do Solo.

Figura A-1 - Mapa de Índice de Circularidade e de Coef. de Compacidade normalizados.

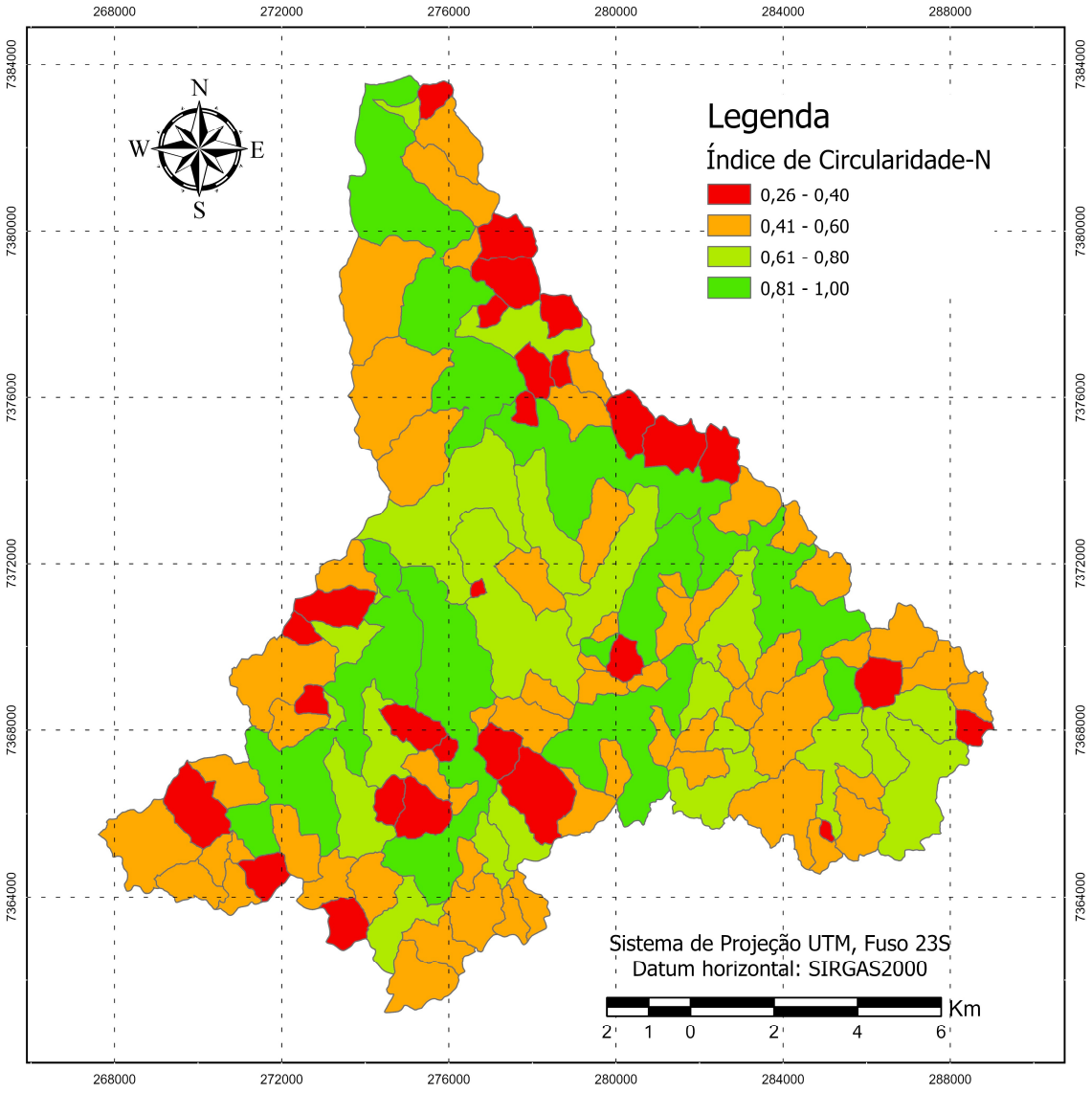


Figura A-2 - Mapa de Índice de Circularidade e de Coef. de Compacidade normalizados.

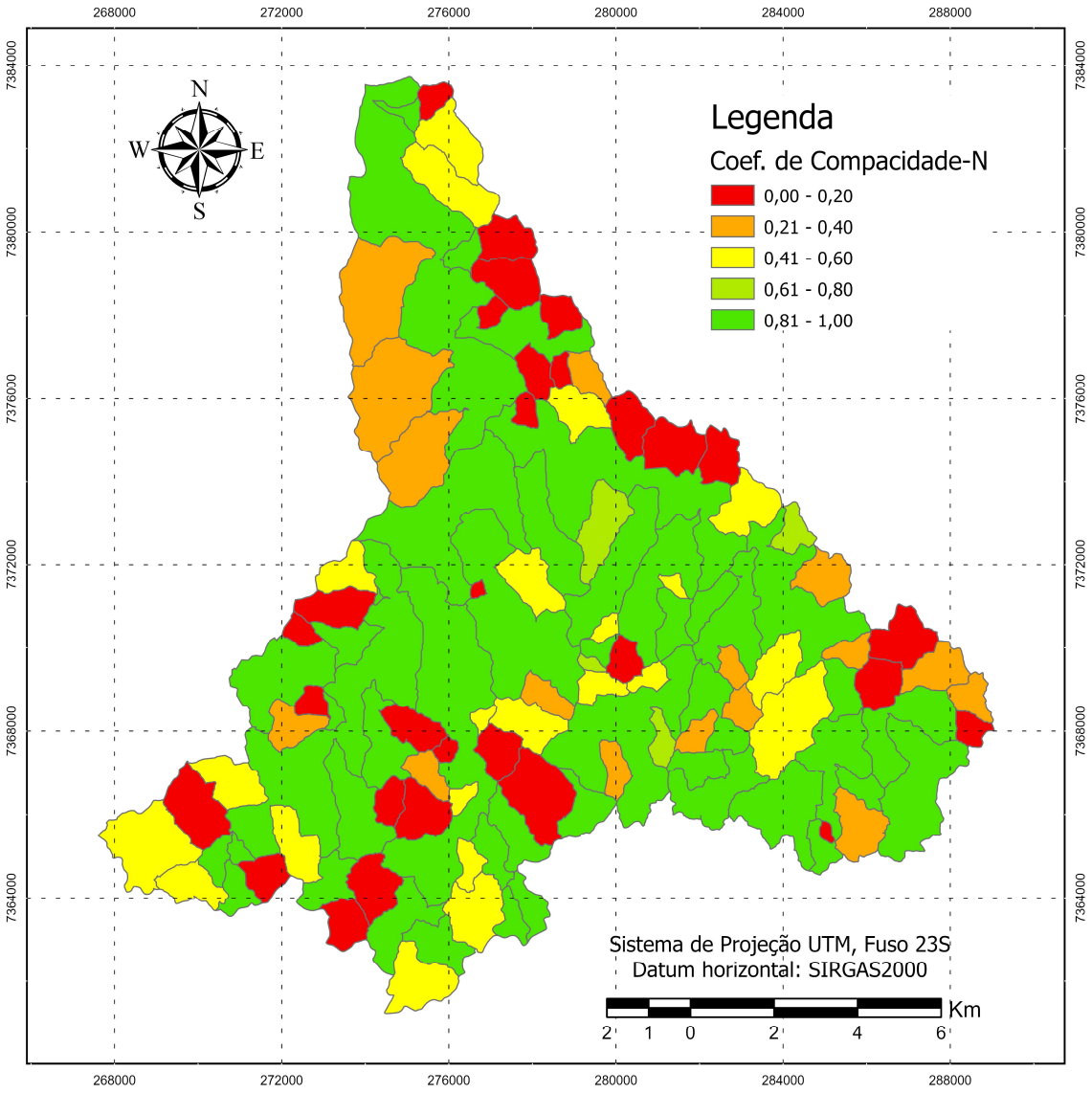


Figura A-3 - Mapa de Densidade de Drenagem

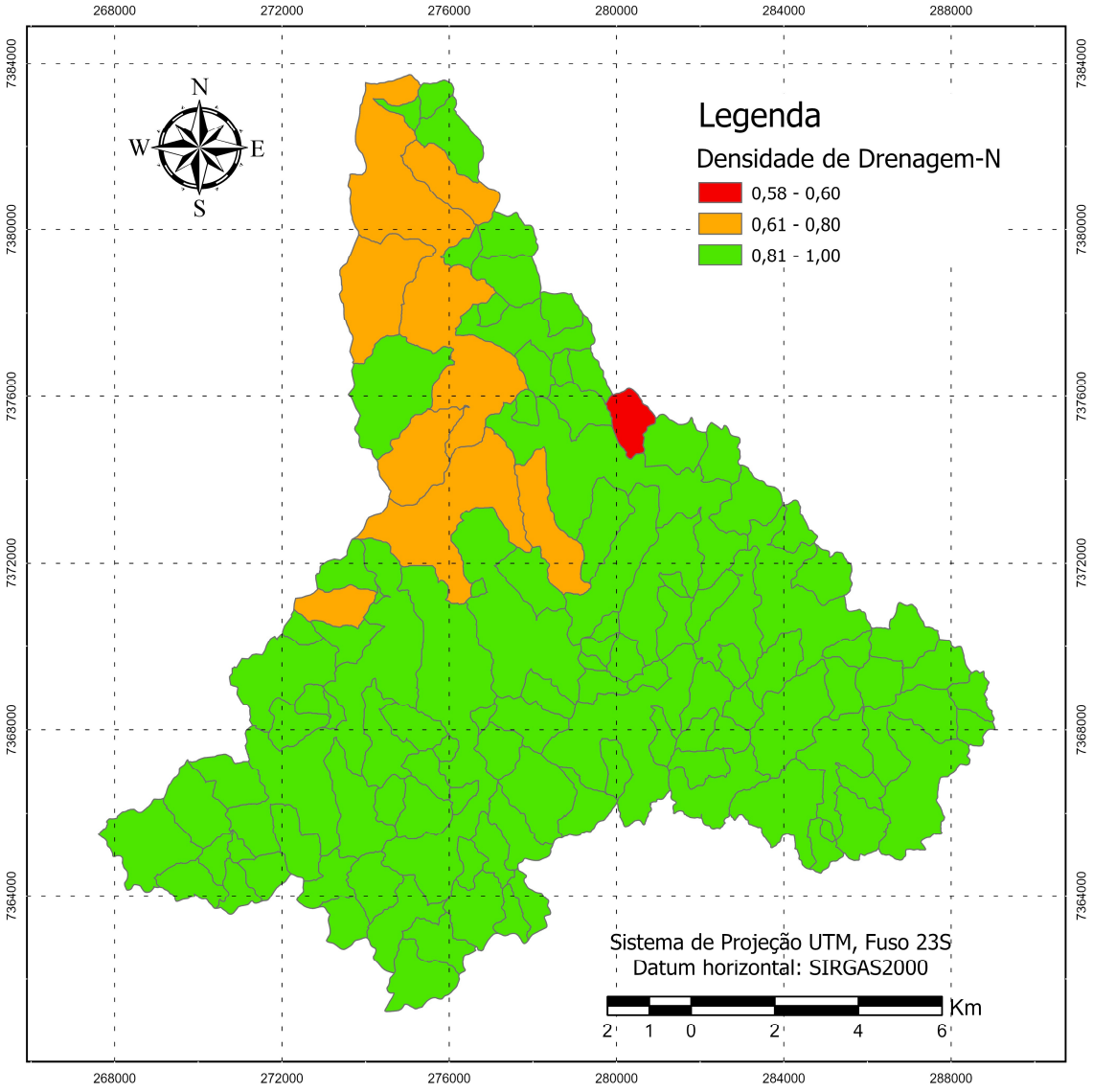


Figura A-4 - Mapa de Fator de Forma normalizados.

