

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA NATUREZA (CCN)
PROGRAMA DE CONCLUSÃO DE CURSO
EM ENGENHARIA AMBIENTAL

CARLOS ALEXANDRE FORNAZIER BRAGA

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE
CLASSIFICAÇÃO PARA ELABORAÇÃO DE MAPAS DE
USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DO MUNICÍPIO DA
CAMPINA DO MONTE ALEGRE

SÃO CARLOS -SP
2023

CARLOS ALEXANDRE FORNAZIER BRAGA

COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO PARA ELABORAÇÃO DE
MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA DO MUNICÍPIO DA CAMPINA DO MONTE
ALEGRE

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação da Universidade Federal de São Carlos, para fase de obtenção do título de bacharelado em Engenharia Ambiental.

Orientador: André Marcondes Andrade Toledo

São Carlos-SP
2023

Fornazier Braga, Carlos Alexandre

Comparação entre métodos de classificação para elaboração de mapas de uso e ocupação da terra do município de Campina do Monte Alegre (SP) / Carlos Alexandre Fornazier Braga -- 2023.
21f.

TCC (Graduação) - Universidade Federal de São Carlos, campus Lagoa do Sino,
Buri

Orientador (a): André Marconde Andrade Toledo Banca Examinadora: Paulo
Guilherme Molin, Vinicius Moura Costa

Bibliografia

1. GEOPROCESSAMENTO. 2. USO E OCUPAÇÃO DA TERRA. 3. LEI DE
PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO NATIVA.

I. Fornazier Braga, Carlos Alexandre. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)
DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Lissandra Pinhatelli de Britto - CRB/8 7539

DEDICATÓRIA

Dedico este Trabalho de Conclusão de Curso a todos aqueles que me apoiaram nesta jornada. Primeiramente agradeço à minha família por acreditar em mim, aos meus amigos por me apoiarem nos momentos difíceis e aos professores que tiveram paciência e carinho. Mas, acima de tudo, dedico esse trabalho à pessoa mais incrível que conheci nessa jornada, Jarbert Ditzel Azevedo, descanse em paz meu eterno amigo.

AGRADECIMENTO

Meus agradecimentos para a realização deste trabalho vão para os meus professores em geral, mas em específico ao André Toledo e Paulo Guilherme Molin. Agradeço à toda equipe CePEGeo, a qual tenho o prazer de participar e contribuir para a comunidade acadêmica de geoprocessamento.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo caracterizar o uso e ocupação da terra do município de Campina do Monte Alegre (SP), comparando dois métodos de classificação a partir do uso de geotecnologias. Neste contexto, foram utilizados os *Softwares* ArcGIS versão 10.4.1 e QGIS versão 3.26.3 para processamento dos dados e apresentação dos resultados. Uma das metodologias escolhida foi a classificação a partir da ferramenta Dzetsaka Classification Tool, a qual classifica o uso e ocupação da terra de forma automática. Outra metodologia foi a classificação manual por fotointerpretação, delimitando as classes de uso e ocupação da terra. Foram utilizadas imagens CBERS-4A, obtidas no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), para os dois métodos de classificação. As áreas foram quantificadas em unidade métrica e porcentagem, sendo as seguintes classes estabelecidas no trabalho: atividade agropecuária, vegetação nativa, solo exposto, urbanização e corpo d'água. Foi realizada análise em relação à Lei de Proteção a Vegetação Nativa (LPVN) com o intuito de fazer um diagnóstico das Áreas de Preservação Permanente (APPs). Os índices utilizados para avaliação da classificação apontam que a qualidade da classificação automática não é satisfatória considerando a dimensão e nível de detalhamento requerido para a área sob estudo. Neste trabalho foi possível constatar que, independentemente do programa escolhido, o resultado da pesquisa não será afetado, portanto o *software* livre atende perfeitamente na obtenção dos produtos/mapas aqui relacionados. Para o mapeamento do Município da Campina do Monte Alegre a opção mais viável é a fotointerpretação, sendo que a dimensão do município possibilita a utilização deste método. Por fim, foi possível comprovar que o município possui irregularidades (passivo ambiental) em relação à área de preservação permanente relativa aos cursos d'água.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Mapeamento, SIG, Uso e ocupação da terra.

RESUMO EM LÍNGUA ESTRANGEIRA

This work aimed to characterize land use and occupation in Campina do Monte Alegre (SP), comparing two classification methods based on the use of geotechnologies. In this context, software ArcGIS version 10.4.1 and QGIS version 3.26.3 were used for data processing and presentation of results. One of the methodologies chosen was the classification based on the Dzetsaka Classification Tool, which automatically classifies land use and occupation. Another methodology was the manual classification by photointerpretation, delimiting the land use and occupation classes. CBERS-4A images, obtained at the National Institute for Space Research (INPE), were used for the two classification methods. The areas were quantified in metric units and percentages, with the following classes established in the work: agricultural activity, native vegetation, exposed soil, urbanization and body of water. An analysis was carried out in relation to the Law for the Protection of Native Vegetation (LPVN) in order to make a diagnosis of the Permanent Preservation Areas (APPs). The indices used to evaluate the classification indicate that the quality of the automatic classification is not satisfactory considering the size and level of detail required for the area under study. In this work it was possible to verify that, regardless of the chosen program, the result of the research will not be affected, therefore the free software works perfectly in obtaining the products/maps listed here. For the mapping of the Municipality of Campina do Monte Alegre, the most viable option is the photo interpretation, considering that the size of the municipality allows the use of this method. Finally, it was possible to prove that the municipality has irregularities (environmental liabilities) in relation to the permanent preservation area related to watercourses.

Keyword: Remote sensing, Mapping, GIS, Land use and cover.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Município da Campina do Monte Alegre - SP (autoria própria).....	7
Figura 2. Composição de imagem colorida do Município da Campina do Monte Alegre.....	9
Figura 3. Uso e Ocupação do solo da Campina do Monte Alegre via fotointerpretação.....	10
Figura 4. Uso e Ocupação da Terra da Campina do Monte Alegre por classificação automática supervisionada.....	12
Figura 5. Valores da Estatística Kappa (EMBRAPA, 2022) adaptado de Landis e Koch (1997).....	13
Figura 6. APP do Município da Campina do Monte Alegre.....	15
Figura 7. Composição colorida (1); classificação automática (2); fotointerpretação (3).....	17
Figura 8. Composição colorida (1); classificação automática (2); fotointerpretação (3).....	18
Figura 9. Composição colorida (1); classificação automática (2); fotointerpretação (3).....	19
Figura 10. Classificação da área de preservação permanente em Campina do Monte Alegre.....	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cálculo das classes de Uso e Ocupação da terra do Município da Campina do Monte Alegre em hectares (ArcGIS).	11
Tabela 2: Cálculo das classes de Uso e Ocupação da Terra do Município da Campina do Monte Alegre em hectares.	13
Tabela 3: Matriz de confusão da classificação automática supervisionada.	13
Tabela 4: Cálculo das classes de APP do Município da Campina do Monte Alegre.	15
Tabela 5: Relação entre as classes de uso e ocupação do Município da Campina do Monte Alegre.	16

LISTA DE ABREVIATURAS

HA.	Hectares
LPVN.	Lei de Proteção a Vegetação Nativa
APP.	Área de Proteção Permanente
SIG.	Sistema de Informações Geográficas.
GIS.	<i>Geographic Information System</i>

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

QGIS – Quantum

ESRI – *Environmental Systems Research Institute*

SIRGAS – Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	2
2.1 Geoprocessamento/Sensoriamento Remoto	2
2.2 USO E OCUPAÇÃO	3
3. OBJETIVOS	5
3.1 GERAL	5
3.2 ESPECÍFICOS	5
4. MATERIAIS E MÉTODOS	6
4.1 ÁREA DE ESTUDO	6
4.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO	7
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
5.1 COMPOSIÇÃO DE IMAGEM COLORIDA	8
5.2 FOTOINTERPRETAÇÃO	9
5.3 CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA SUPERVISIONADA	11
5.4 LEI DE PROTEÇÃO À VEGETAÇÃO NATIVA (LPVN)	14
5.5 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	16
5.6 Lei de Proteção à Vegetação Nativa	19
6. CONCLUSÃO	20
7. REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

As ações antrópicas vêm afetando diversos biomas, causando fragmentação da vegetação nativa e intensa exploração dos recursos naturais (Matsushita et al., 2006). Um dos principais fatores que agravam essa realidade são as atividades agropecuárias, as quais quando mal manejadas podem degradar o solo. Portanto, deve-se ter em foco o desenvolvimento de práticas de manejo e conservação do solo pois, tomando-se como exemplo o estado de São Paulo, 83% dos municípios são considerados de média ou alta criticidade de erosão (São Paulo, 2006).

Pesquisas desenvolvidas no sentido de caracterizar aspectos físicos e o uso e ocupação da terra, tomando o município como área de estudo, são importantes como apoio ao planejamento de todos os componentes relacionados no município. Neste contexto, é importante também quantificar o passivo ambiental de acordo com a Lei de Proteção a Vegetação Nativa. Neste cenário, pode-se utilizar o sensoriamento remoto em conjunto com o Sistema de Informações Geográficas (SIG) para realizar análises multitemporais afim de identificar e mapear as interferências antrópicas no meio (Coelho et. al, 2014).

O processo de mapeamento pode ser feito de diversas formas, assim pesquisadores criaram algoritmos para classificação automática supervisionada, sendo um deles o método *Gaussian Mixture Model*, desenvolvido dentro do Plugin *Dzetsaka Classification Tool*, conhecido pela sua agilidade e simplicidade (Santos,2021). Porém, os métodos automáticos não são opções definitivas, sobretudo quando o projeto possui uma escala maior, fazendo com que dificilmente seja possível obter dados numéricos confiáveis (Abrantes et. al. 2001). Neste caso, pode-se recorrer ao método de classificação visual, com maior nível de detalhamento.

Diante do exposto, compreende-se que existem particularidades entre os métodos de classificação. Portanto, a abordagem principal deste projeto envolve comparação entre o método automático supervisionado e o método manual (conhecido como fotointerpretação), de forma mais lenta e complexa, utilizando

técnicas que levam em consideração a textura, forma, tamanho, sombra, localização e estrutura espacial dos elementos (Abrantes et. al. 2001).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geoprocessamento/Sensoriamento Remoto

Os satélites possuem diferentes aplicações, variando de acordo com o sensor embutido em sua estrutura. Os sensores registram imagens digitais, definidas de acordo com ondas eletromagnéticas refletidas ou emitidas pelos componentes da superfície terrestre, com diferentes níveis de detalhamento espacial, espectral, temporal e radiométrica, sendo estes processos relacionados ao Sensoriamento Remoto (Ferreira, 2006).

Dentre as opções de satélites e sensores, é possível adquirir imagens de satélites desenvolvidos em cooperação entre a China e o Brasil. Entre estes pode destacar o CBERS-4^a, o qual possui uma faixa imageada de 92 Km, ciclo de 31 dias e Sensor Multiespectral e Pancromático de Ampla Varredura (WPM) de resolução de 8 metros, responsável por coletar imagens no espectro visível (bandas azul, verde e vermelho) e no infravermelho. Quando compiladas as bandas do espectro visível, obtém-se a Banda Pancromática com resolução de 2 metros, portanto, uma maior precisão dos dados quando comparado com as imagens convencionais obtidas em *softwares* de SIG (Oliveira, 2022).

A precisão dos projetos de sensoriamento remoto varia de acordo com a quantidade de dados inseridos e da qualidade dos mesmos. Para construir um modelo computacional que represente o mundo real deve-se levar em conta 3 considerações principais: ajuste de escala, tempo e identificação. A escala deve ser representada com precisão e ajustada de acordo com a individualidade do projeto; o tempo condiz com a atualidade dos dados; e a identificação é relativa à representação exata dos elementos (Ferreira, 2006).

Existem *softwares* para integrar e trabalhar com os dados e ferramentas de processamento para obter variados produtos. Estes *softwares* podem ser “livres” ou não. O QGIS é um Sistema de Informações Geográficas de código aberto, impulsionado por voluntários que agregam ferramentas inúmeras ferramentas

(QGIS, 2022). Também pode-se citar o ArcGIS, sendo este um *software* pago, que apresenta expressivo número de ferramentas de processamento, para mapeamento e análise espacial (ESRI, 2022).

Independente da escolha do programa, os dados utilizados são os mesmos, logo podem ser utilizados de maneira síncrona. Existem 2 tipos de dados, aqueles baseados em uma estrutura de grade de células em formato de imagens não quantificáveis, denotados “raster/matricial” e aqueles que são parecidos com um mapa de linhas quantificáveis pela tabela de atributos, divididos em polígonos, linhas ou pontos, denotado “vetorial” (Soares, 2021).

Compreendida as dimensões que envolvem o tema, conceitua-se SIG como um sistema que processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) com ênfase em análises espaciais e modelagens de superfícies (INPE, 2006).

2.2 USO E OCUPAÇÃO

A Lei de Proteção a Vegetação Nativa (LPVN) estabelece no Artigo 1º do parágrafo 5 o fomento à pesquisa científica e tecnológica na busca da inovação para o uso sustentável do solo. Ressalta-se que a legislação conceitua as APPs como:

Área protegida, coberta ou não por vegetação nativa, com a função ambiental de preservar os recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico de fauna e flora, proteger o solo e assegurar o bem-estar das populações humanas (Brasil, 2012).

A importância desta legislação, quando ponderada ao estudo, é a proteção das APPs, controle de erosão e o desenvolvimento sustentável (Brasil, 2012). A relação entre o projeto e a legislação se torna mais evidente quando compreendido que o estado de São Paulo possui 83% dos municípios com média ou alta criticidade de erosão (São Paulo, 2006). Por fim, para analisar esta relação, sabe-se que 53% da vegetação nativa se encontra em propriedade privada, sendo 90% na Mata Atlântica, o bioma mais degradado do país (Brancaion et al., 2016).

O combate ao desmatamento vem ganhando força com o uso das tecnologias de SIG para elaboração de mapas de uso e ocupação da terra. Para tal, existem diversas metodologias que podem ser aplicadas, a interpretação visual das

imagens de satélite, por exemplo, possui a desvantagem em relação ao tempo demandado para elaboração, porém sua eficácia pode ser maior. Em contrapartida existem os métodos automáticos que são extremamente rápidos ao processar, utilizando a metodologia de identificação pixel a pixel, porém os algoritmos podem acabar por não gerar mapas de boa qualidade (Vasconcelos et al., 2002).

Os métodos automáticos podem ser definidos em 2 abordagens distintas, uma das opções é a segmentação das imagens, onde o usuário indica áreas a serem classificadas e posteriormente aplica o processamento automático, sendo denotado como classificação automática supervisionada. Em contrapartida, quando não há a opção de representar as áreas para “treinar o classificador”, denota-se por classificação automática não supervisionada (Gonzalez & Wintz, 1987).

Dentre os classificadores automáticos, cita-se o *plugin* Dzetsaka criado pelo Nicolas Kasariak. Este *plugin* possui 4 tipos de algoritmos classificadores, sendo eles: *Random Forest*, *SVM*, *KNN* e *Gaussian Mixture Model* (GMM). Dentre os modelos, o principal é o *Gaussian Mixture Model* desenvolvido pelo Mathieu Fauvel, onde o modelo probabilístico compreende amostras para montar um mapa de covariância de dados de acordo com os parâmetros antes fornecidos nas amostras (Petter, 2017).

Mesmo com a evolução dos métodos automáticos, ainda há problemas de classificação devido a radiação atmosférica registrada pelos satélites, o qual é embasada na soma da radiação dos materiais que estão detectados dentro do campo de visão do sensor (Shimabukuro & Smith, 1991). Porém, existem métodos para quantificar a acurácia dos dados, método conhecido como matriz de confusão, a qual baseia-se em confirmar as amostras de treinamento do *plugin* em relação ao mapeamento elaborado. A partir desse cálculo, o algoritmo disponibiliza o índice Kappa, *F1-Score* e a acurácia (EMBRAPA, 2022).

O índice Kappa é responsável por avaliar a concordância entre as bases de dados (amostras e mapa automático supervisionado), sendo que, quanto mais próximo do valor 1, maior a ligação entre os dados. O indicador *F1-Score* representa a média harmônica entre a precisão dos dados e o *recall* (defeitos encontrados),

bem como o índice Kappa, quanto mais próximo à 1, maior o desempenho do classificador. Por fim, cita-se a acurácia, uma das principais medidas de desempenho para classificadores, a partir dela, define-se a efetividade do algoritmo, bem como os outros índices de qualidade, quanto mais próximo à 1, mais preciso serão os dados (EMBRAPA, 2022).

Compreendido os conceitos e a importância do mapeamento do uso e ocupação da terra e as metodologias por trás do tema, conclui-se que há a necessidade de comparação entre os métodos de elaboração de mapas de uso e ocupação da terra afim de compreender a variação entre os resultados obtidos.

3. OBJETIVOS

3.1 GERAL

O objetivo geral do projeto foi avaliar métodos e classificadores de uso e ocupação da terra, a partir dos *softwares* QGis e ArcGIS, envolvendo a análise do mapa de APPs do município da Campina do Monte Alegre.

3.2 ESPECÍFICOS

- Analisar aspectos qualitativos e quantitativos dos mapas de uso e ocupação da terra obtidos em distintas formas de classificação;
- Realizar o diagnóstico de uso e ocupação da terra nas áreas de preservação permanente, identificadas com base na rede de drenagem de cartas planialtimétricas em escala 1:10.000;
- Avaliar o nível de detalhamento e confiabilidade de aplicação dos produtos gerados em projetos ambientais;
- Analisar a diferença entre os *softwares* de Sistema de Informações Geográficas.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

De acordo com o IBGE, o município de Campina do Monte Alegre possui

um total de seis 6.000 habitantes, com um PIB per capita de R\$19.346,32, sendo este um território predominantemente rural com a presença do Rio Paranapanema e do Rio Itapetininga, o município pertence aos biomas Cerrado e Mata Atlântica com área de 184.077 km² (IBGE, 2020).

As principais atividades econômicas são turismo, agricultura e comércio, sua localização fica à 229 quilômetros da capital de São Paulo, com acesso pela Rodovia Engenheiro Lauri Simões de Barros, o mesmo faz divisa com os municípios de Angatuba, Paranapanema, Buri e Itapetininga (Prefeitura CMA, 2022).

Para facilitar a identificação das informações, pode-se observar o mapa da área de estudo na Figura 1.

- A metodologia de pesquisa teve início a partir da coleta de imagens do satélite CBERS4-A, presentes no INPE e cartas planialtimétricas (escala 1:10.000) presentes no Google Earth PRO;
- Em seguida, as imagens foram processadas para gerar a imagem pancromática, com uso dos *softwares* QGIS e ArcGIS com o maior nível de detalhamento possível e preparadas para proceder os métodos de classificação de uso e ocupação da terra;
- Após processar as imagens, foram aplicadas 2 metodologias para obter mapas de uso e ocupação da terra. Inicialmente, pelo *software* QGIS foi realizada a classificação automática supervisionada a partir de 732 amostras aplicadas na ferramenta *Dzetsaka Classification Tool*, pelo método *Gaussian Mixture Model*, o qual gera uma imagem raster e posteriormente um dado vetorial para cálculo de área. Em seguida, foi feito o processamento vetorial por classificação manual/visual (fotointerpretação) utilizando do *software* ArcGIS;
- Em seguida, foram apresentadas as informações a partir de mapas e cálculos de área das classes existentes;
- Por fim, foram comparados e avaliados os métodos de classificação de uso e ocupação da terra abordada neste trabalho.

Figura 1. Município da Campina do Monte Alegre - SP (autoria própria).



4.2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

- Para classificação foram levadas em consideração as seguintes classes:
 - i. Fisionomia vegetal: Caracterizada pela presença de árvores de altura e densidade considerável, com textura chapiscada e sombreamento entre as copas das árvores;
 - ii. Cultura agrícola: Caracterizada por áreas agrícolas com forma fixa, possuindo ou não área vegetada, podendo variar a cor de acordo com a composição da plantação;

iii. Solo exposto: Caracterizado por construções, estradas e áreas urbanas projetadas ou não;

iv. Corpo hídrico: Caracterizada pela cor preta, visto que a água absorve a radiação e reflete-a pouco.

v. Infraestrutura urbana: Caracterizada por edifícios e estruturas que refletem bem a radiação, normalmente representada pela cor branca.

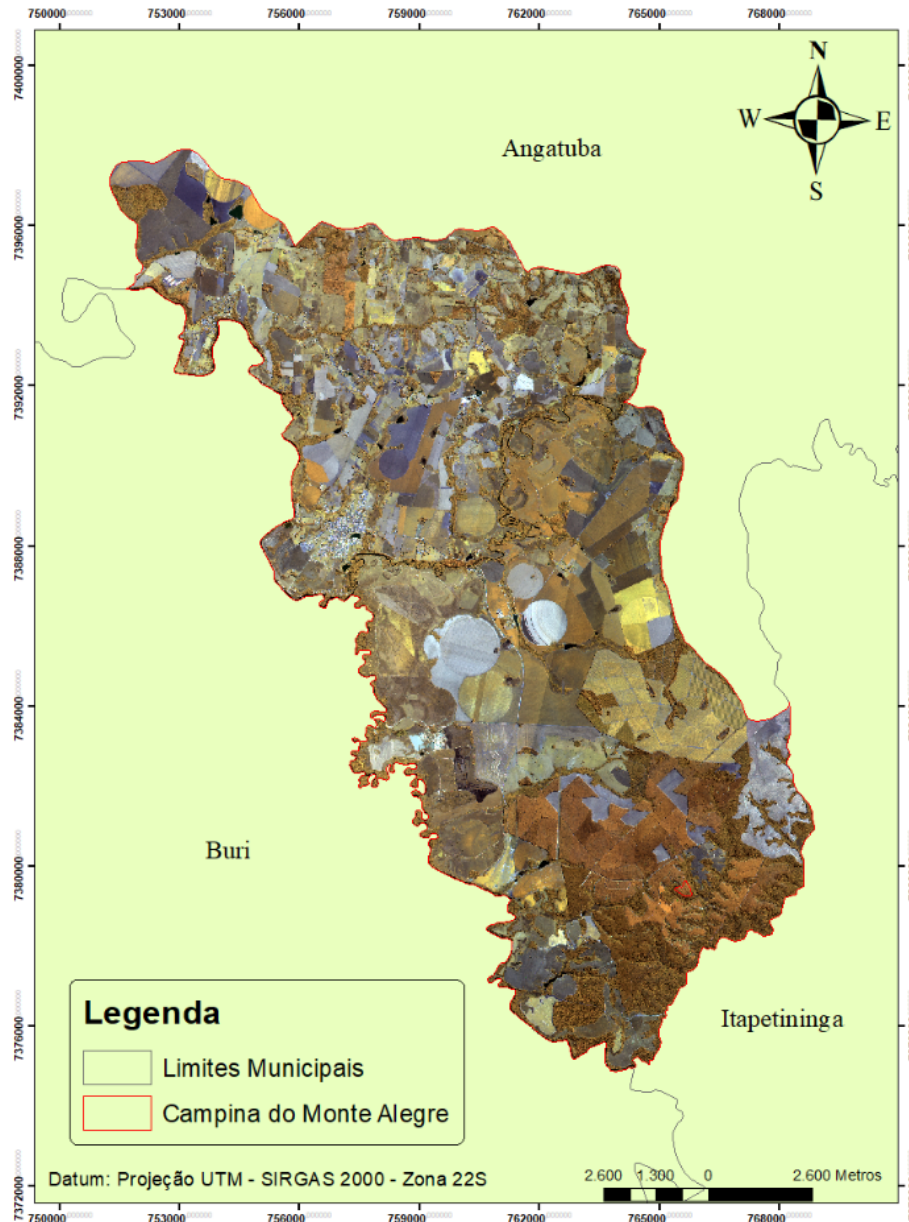
- Após classificar ambos os mapas, foram realizados os processamentos para definir o índice kappa, *F1-Score* e acurácia, afim de analisar a concordância da classificação automática supervisionada.
- A Matriz de confusão foi elaborada dentro do *plugin* Dzetsaka, o qual disponibiliza valores a partir dos dados utilizados para elaboração do mapeamento.
- Após a elaboração dos mapas de uso e ocupação, foram identificadas Áreas de Preservação Permanente (APPs) por meio do processamento da rede drenagem (ferramenta “*buffer*”), obtida pelo processo de vetorização de cartas planialtimétricas do Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC/SP), em escala 1:10.000;
- Posteriormente, foram identificadas e quantificadas as áreas regulares e irregulares, de acordo com a Lei de Proteção à Vegetação Nativa (LPVN).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 COMPOSIÇÃO DE IMAGEM COLORIDA

O geoprocessamento da imagem foi feito no *software* pago ArcGIS 10.4.1 e no *software* livre QGIS 3.26.3 a partir das bandas do espectro visível, sendo elas: azul, verde e vermelho. Após o processamento obteve-se a imagem pancromática de resolução de 2 metros, atingindo assim a imagem gratuita com maior precisão possível, a qual pode ser observada na figura 2.

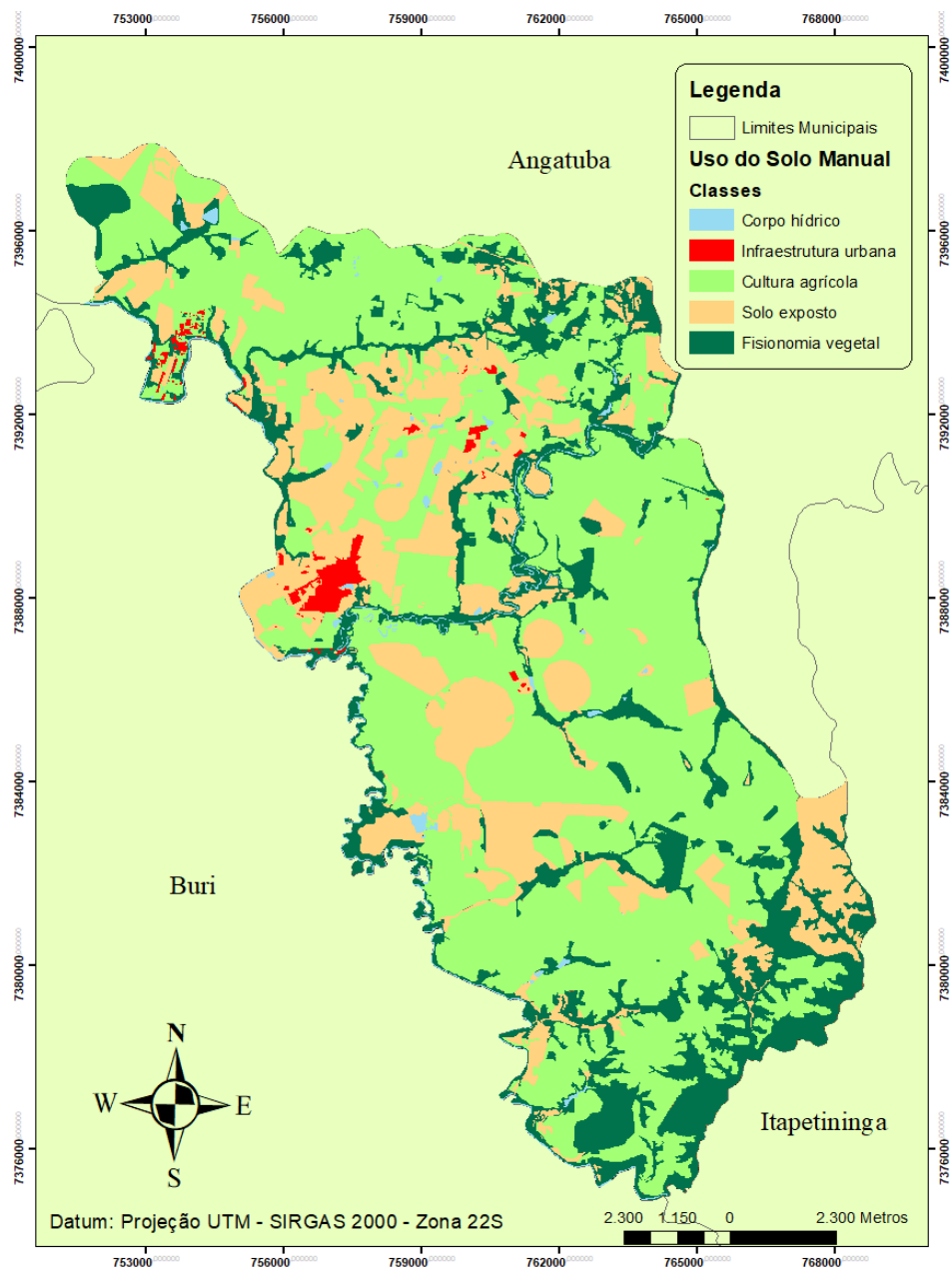
Figura 2. Composição de imagem colorida do Município da Campina do Monte Alegre.



5.2 FOTOINTERPRETAÇÃO

A fotointerpretação foi feita a partir do *software* pago ArcGIS 10.4.1 através da imagem pancromática. Levaram-se em consideração os fatores antes mencionados, tais como textura, forma, tamanho, sombra, localização e estrutura espacial dos elementos, obtendo o resultado vetorial, observado na figura 3:

Figura 3. Uso e Ocupação do solo da Campina do Monte Alegre via fotointerpretação.



Os resultados obtidos para a classificação visual do mapa de uso e ocupação da terra do Município da Campina do Monte Alegre foram:

Tabela 1. Cálculo das classes de uso e ocupação da terra do município da Campina

do Monte Alegre em hectares (ArcGIS).

Classes	Área (Ha)	Área (%)
Fisionomia vegetal	3.440	18,60
Cultura agrícola	10.560	57,11
Solo exposto	4.100	22,17
Corpo hídrico	210	1,15
Infraestrutura urbana	180	0,97
TOTAL	18.490	100

5.3 CLASSIFICAÇÃO AUTOMÁTICA SUPERVISIONADA

A classificação automática foi feita a partir do *software* livre QGIS 3.26.3 através da imagem de composição colorida. O geoprocessamento foi feito através do *plugin* Dzetsaka *Classification Tool*, utilizando o método *Gaussian Mixture Model*, obtendo o resultado em formato *raster*, observado na figura 4:

Os resultados obtidos para a classificação automática do mapa de uso e ocupação da terra do Município da Campina do Monte Alegre são apresentados na Tabela 2.

A Matriz de confusão da classificação automática supervisionada é apresentada na Tabela 3.

Figura 4. Uso e Ocupação da Terra da Campina do Monte Alegre por classificação

automática supervisionada.

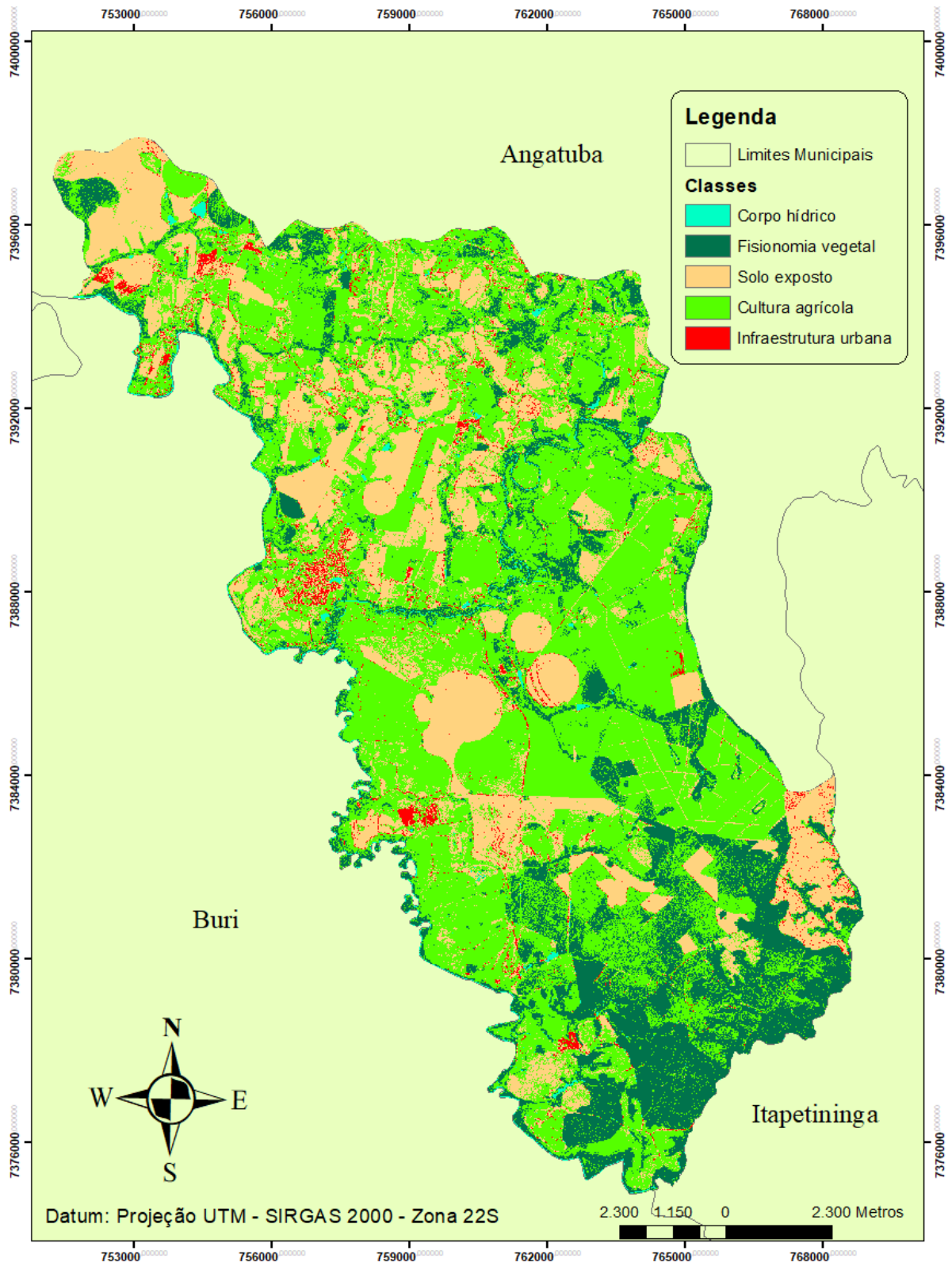


Tabela 2: Cálculo das classes de Uso e Ocupação da Terra do Município da Campina do Monte Alegre em hectares (QGIS).

Classes	Área (Ha)	Área (%)
Fisionomia vegetal	3.430	18,56
Cultura agrícola	9.790	53,01
Solo exposto	4.580	24,80
Corpo hídrico	200	1,09
Infraestrutura urbana	470	2,54
TOTAL	18.470	100

Tabela 3: Matriz de confusão da classificação automática supervisionada

Acurácia	<i>F1-Score</i>	Índice Kappa
0,66	0,30	0,42

Analisando a matriz de confusão do mapeamento supervisionado, observa-se que o índice Kappa encontra-se em concordância moderada, visto que seu resultado foi de 0,42.

Figura 5. Valores da Estatística Kappa (EMBRAPA, 2022) adaptado de Landis e Koch (1997).

K	Interpretação
≤ 0	Nenhuma concordância
0,01 a 0,2	Leve concordância
0,21 a 0,4	Concordância regular
0,41 a 0,6	Concordância moderada
0,61 a 0,8	Concordância substancial
0,81 a 1	Concordância quase perfeita

Seguindo a análise qualitativa, o valor obtido para *F1-Score*, de 0,30, aponta resultado não satisfatório para a classificação automática, logo, a qualidade do *Gaussian Mixture Model* não atendeu os requisitos de mapeamento para tal métrica.

Por fim, a acurácia do processamento resultou em um valor de 0,66 que, segundo Hosmer e Lemeshow (2000), é caracterizada como uma discriminação fraca.

5.4 LEI DE PROTEÇÃO À VEGETAÇÃO NATIVA (LPVN)

O mapeamento da área de APP foi feito a partir do *software* ArcGIS 10.4.1, levando em consideração a classificação manual, visto que o processamento automático confundiu fisionomia vegetal com cultura agrícola. O processamento levou em consideração o arquivo vetorial de linha, o qual representa a hidrografia do município e o arquivo vetorial de ponto, representando as nascentes, sendo que ambos foram obtidos a partir do DataGEO, segundo o Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC-SP), onde a hidrografia foi modificada de acordo com as necessidades previstas, como deslocamento de curso d'água ou adaptação para lagoas.

Os afluentes do Rio Itapetininga possuem largura menor de 10 metros, portanto a faixa de APP para os afluentes foi de 30 metros, para as nascentes a faixa de APP possui um raio de 50 metros, bem como para lagoas em meio rural com menos de 20 hectares, o Rio Paranapanema e o Rio Itapetininga que possuem uma largura máxima de 45 metros dentro da área de estudo (Brasil, 2012).

O mapeamento da APP está evidenciado na figura 6, onde é possível identificar a regularidade do município. As áreas em verde encontram-se regular e as áreas em vermelho encontram-se irregulares.

Em seguida calculou-se a área da APP, a fim de compreender a regularidade do município, tais cálculos podem ser analisados na tabela 4.

Figura 6. APP do Município da Campina do Monte Alegre.

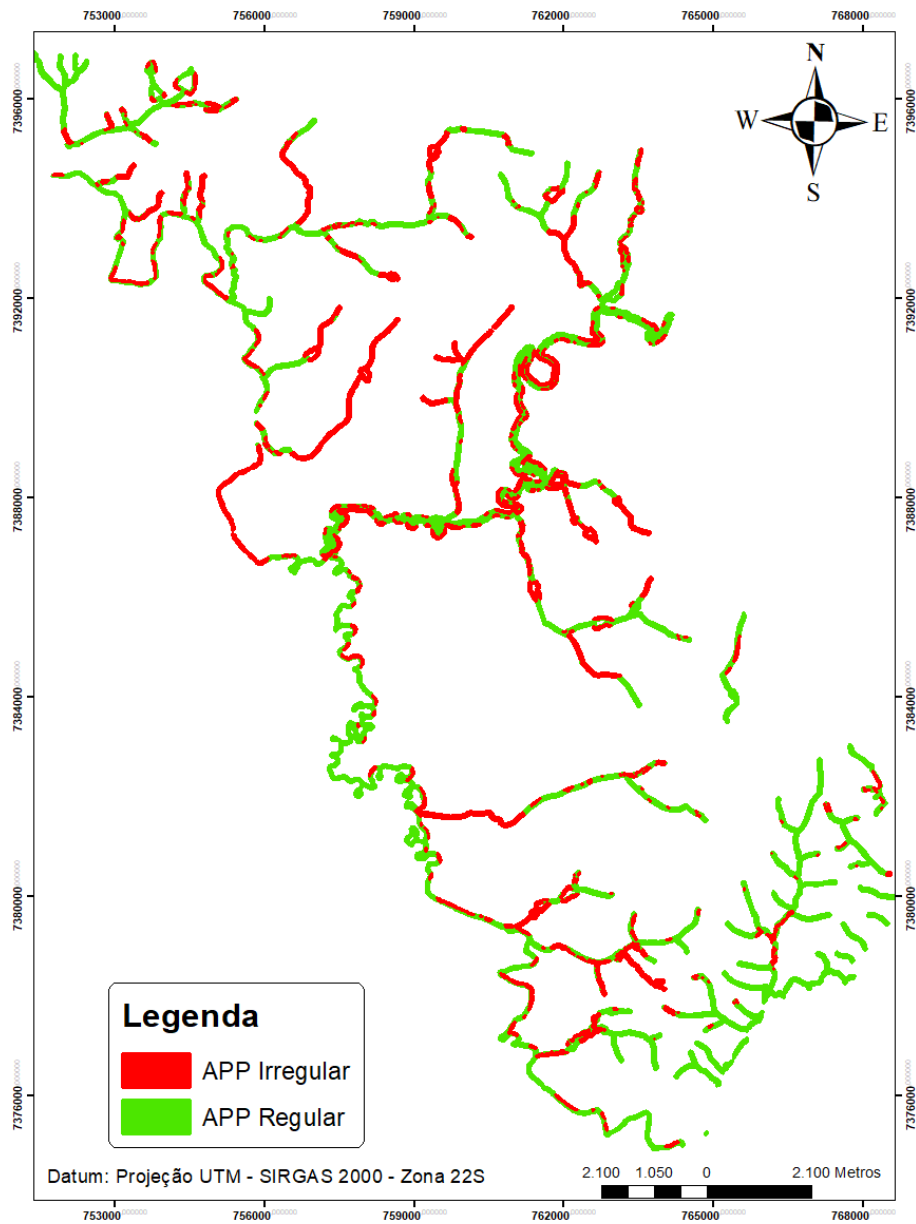


Tabela 4. Cálculo das classes de APP do Município da Campina do Monte Alegre.

Classificação APP	Área (HA)	Área (%)
Regular	2.520	78,26
Irregular	700	21,74

5.5 COMPARAÇÃO DOS MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO DE USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

O mapeamento feito pela fotointerpretação resultou em um arquivo vetorial facilmente quantificável, onde as probabilidades de erro para este processo partem do pressuposto do erro operacional do próprio operador, porém, como a área de estudo é relativamente pequena, a margem de erro diminui consideravelmente. Por outro lado, o mapeamento automático supervisionado gerou um arquivo *raster* que precisou ser convertido em arquivo vetorial para obter os dados para cálculo de área e, ao realizar este processamento, obteve-se uma quantidade significativa de dados, visto que este processo ocorre em dimensões de pixel. Ao analisar a tabela de atributos dos mapeamentos observa-se que, enquanto a fotointerpretação possui 659 dados, o processamento automático possui 304.334 dados.

A análise quantitativa entre os mapas de uso e ocupação da terra (fotointerpretação e classificação automática) é apresentada na Tabela 5..

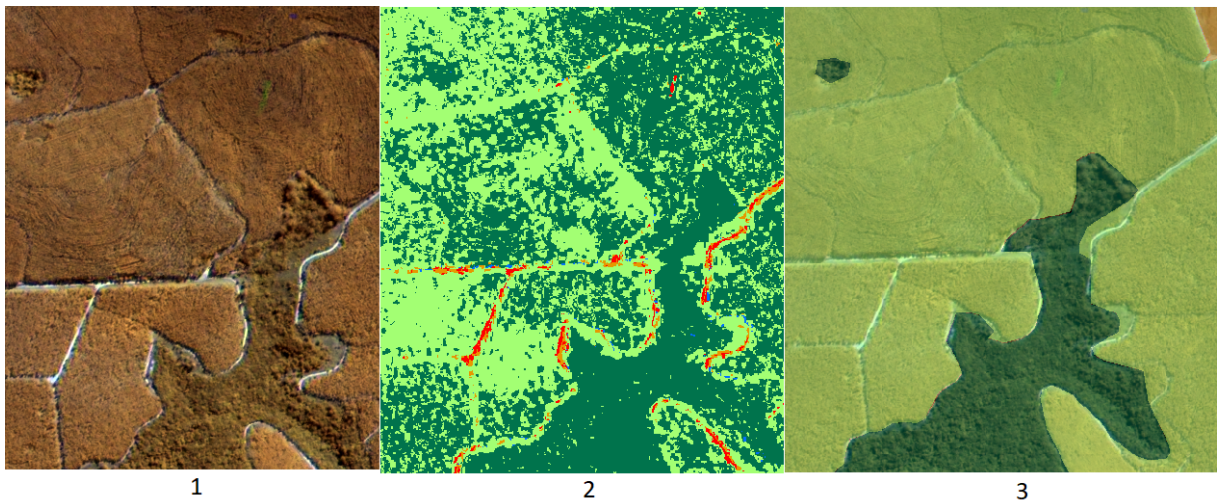
Tabela 5. Relação entre as classes de uso e ocupação do Município da Campina do Monte Alegre.

Classes	Fotointerpretação (Ha)	Classificação automática (Ha)
Fisionomia vegetal	3.440,0	3.429,0
Cultura agrícola	10.557,0	9.785,0
Solo exposto	4.099,0	4.582,0
Corpo hídrico	210,0	199,0
Infraestrutura urbana	179,0	469,0
TOTAL	18.485,0	18.464,0

Observando a tabela 5, compreende-se que o resultado de algumas classes ficou aproximado e outras não, portanto a discussão será embasada nas classes existentes.

Começando pela fisionomia vegetal, observa-se que o resultado entre os mapeamentos ficou próximo, em contrapartida, a cultura agrícola teve uma discrepância de 772 hectares, diferença relativamente alta. Ao analisar o mapeamento com uma visão holística, percebe-se onde está o erro, conforme observado na Figura 7.

Figura 7. Composição colorida (1); classificação automática (2); fotointerpretação (3)



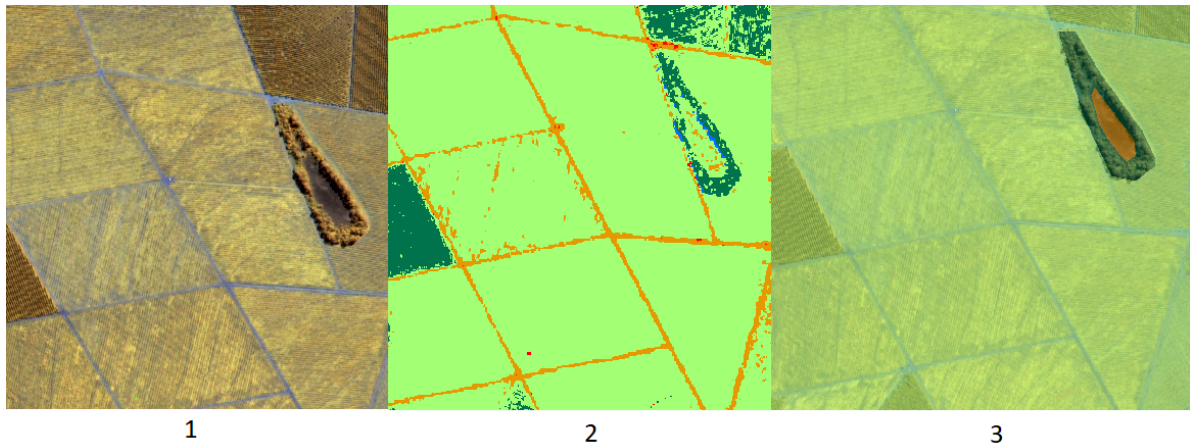
Observando a “parte 1” da figura 7, constata-se em verde escuro a fisionomia vegetal e em verde claro a cultura agrícola. Porém, atentando-se para a “parte 2” da figura 7, percebe-se que alguns *pixels* da cultura agrícola foram identificados como fisionomia vegetal e vice-versa. Em contrapartida, a “parte 3” da figura 9 não apresenta tais erros.

A partir da figura 7 compreende-se que a classificação automática supervisionada apresenta falhas em relação à distinção da coloração entre as classes de fisionomia vegetal e cultura agrícola, isso ocorre pois o modelo probabilístico leva em consideração cada um dos *pixels*, fazendo com que algumas características semelhantes se confundam dentro do programa. Ressalta-se que a fotointerpretação pode ser mais eficiente para essas classes, porém não abrange escalas maiores, como é possível identificar as estradas classificadas como cultura agrícola no mapeamento visual.

Continuando a visão holística do projeto, compreende-se que ambos os processamentos de uso e ocupação da terra apresentam pontos positivos e pontos

negativos. A análise por classes se demonstra eficiente quando analisado o solo exposto na classificação automática supervisionada, conforme é possível analisar na figura 8.

Figura 8. Composição colorida (1); classificação automática (2); fotointerpretação (3)



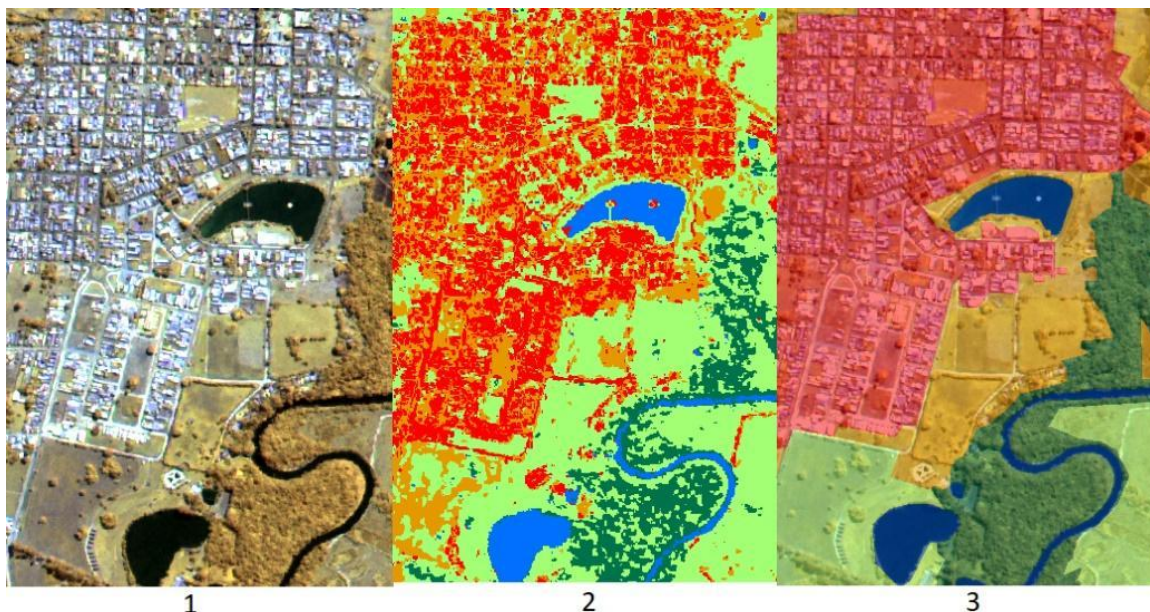
A “parte 1” da figura 8 representa uma parte da área de estudo onde em verde temos cultura agrícola e, entre cada uma das culturas, existem estradas. A “parte 2” da figura 8 apresenta a classificação automática bem detalhada dentre os meandros das culturas. Por outro lado, na “parte 3” da figura 8 temos a classificação por fotointerpretação, onde não foram classificadas áreas tão pequenas quanto as estradas rurais, sendo este um problema que poderia ser resolvido se o operador tivesse paciência para identificar características pontuais.

Um dos pontos positivos do classificador automático é o detalhamento da classificação. O mesmo nível de detalhamento que afeta as classes de fisionomia vegetal e cultura agrícola, ajudam a classificar tanto o solo exposto, quanto a infraestrutura urbana e os corpos hídricos, conforme analisado na Figura 9.

A Figura 9 apresenta todas as classes de uso e ocupação do mapeamento. Na “parte 1” da figura 9 enxerga-se uma área urbana adensada ao lado do Rio Paranapanema. A “parte 2” da figura 9 demonstra a precisão do classificador, onde é possível analisar um ótimo trabalho dentre as classes de infraestrutura urbana (vermelho), solo exposto (marrom) e corpo hídrico (azul), porém percebe-se a discrepância nas porções florestais à margem do rio. Explorando a “parte 3” da figura 9 compreende-se que as classes de fisionomia

vegetal, cultura agrícola e corpo hídrico estão devidamente classificados, porém características específicas entre as classes de uso e ocupação e infraestrutura urbana não possuem uma definição tão precisa.

Figura 9. Composição colorida (1); classificação automática (2); fotorinterpretação (3)



5.6 Lei de Proteção à Vegetação Nativa

A partir da classificação foi possível identificar que a APP do rio Itapetininga e do Rio Paranapanema se encontram regularizadas em grande maioria. As irregularidades encontradas estão mais próximas da zona urbana da cidade e em volta das lagoas (Figura 10).

Na figura 10 é possível analisar o centro urbanizado e as irregularidades ao seu redor, bem como as lagoas que não possuem APP. O rio extenso e largo ao lado do centro urbanizado é o Rio Itapetininga e o rio ao redor do município é o Rio Paranapanema. Ambos os rios apresentam uma faixa expeça de APP regular. Por outro lado, seus afluentes e, principalmente as lagoas, apresentam um maior nível de irregularidade.

Vale ressaltar que, mesmo que o mapeamento do solo demonstre que existe bastante vegetação na área de estudo, ainda assim foi possível identificar no mapa de APP que existem áreas que necessitam ser reflorestadas, visto que mais de 20% do Município da Campina do Monte Alegre se encontra irregular de acordo

com a Lei nº 12.651 de maio de 2012 (LPVN).

Figura 10. Classificação da área de preservação permanente em Campina do Monte Alegre



6. CONCLUSÃO

O primeiro ponto a ser concluído é referente à escolha do *software* para elaboração do projeto. Constatou-se que, independentemente do programa escolhido, o resultado da pesquisa não será afetado, ambos os programas conseguiram atingir o resultado esperado, portanto o *software* livre pode ser utilizado tão bem quanto o *software* pago.

Relativo à escolha do método de classificação para mapeamento de uso e ocupação da terra, entende-se que não existe um método melhor ou pior, mas sim o mais adequado para o projeto em questão, portanto a escolha da metodologia varia de acordo com as necessidades do operador. Porém, para o mapeamento do

Município da Campina do Monte Alegre, a opção mais viável é a fotointerpretação utilizando uma escala maior, sendo que a dimensão do município possibilita a utilização deste método.

Por fim, foi possível comprovar que o município possui irregularidades (passivo ambiental) em relação à área de preservação permanente.

7. REFERÊNCIAS

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/wYWM8Ws6jCnzYQRvVj3fzJ/?format=pdf&lang=pt>

MATSUSHITA, B.; XU, M.; FUKUSHIMA, T. ***Characterizing the changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura, Japan using a high-quality GIS dataset. Landscape and Urban Planning.*** Japão: 2006, v.78, p.241-250.

SÃO PAULO. **Relatório de qualidade ambiental do Estado de São Paulo 2006.** São Paulo: Secretaria do Meio Ambiente, 2006, p. 498.

COELHO, V.; MONTENEGRO, S.; ALMEIDA, C.; LIMA, E.; NETO, A.; MOURA, G. **Dinâmica do Uso e Ocupação do Solo em uma Bacia Hidrográfica do Semiárido Brasileiro.** Campina Grande, PB: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2014.

ABRANTES, A.; CARVALHO, R.; FARINHA, N.; MORGADO, P.; PEREIRA, H.; ROCHA, J. **Cartografia de Uso/Ocupação do Solo por Fotointerpretação.** Lisboa, PT: Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, 2001.

PREFEITURA CMA (CAMPINA DO MONTE ALEGRE). **Dados do Município.** São Paulo, 2022. Disponível em: <https://www.campinadomontealegre.sp.gov.br/a-cidade/dados-do-municipio>. Acesso em: 10 ago. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama Campina do Monte Alegre.** São Paulo, 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/campina-do-monte-alegre>. Acesso em: 8 ago. 2022.

FERREIRA, N. **Apostila de Sistema de Informações Geográficas**. Sistema de Informações Geográficas da Coordenação da Área de Geomática do Centro Federal de Educação Tecnológica do Estado de Goiás. Goiânia, GO: Centro Federal de Educação Tecnológica de Goiás, 2006, p. 113.

OLIVEIRA, P. **Mapeamento de Fitofisionomias do Cerrado Utilizando Classificação Orientada a Objetos (Geobia) e Imagens CBERS 4A**. Goiânia, GO: Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022, p. 48.

ESRI. **ArcGis: O software líder de mapeamento e análise espacial**. 2022: Disponível em: <https://www.img.com.br/pt-br/arcgis/visao-geral/visao-geral>. Acesso em: 20 dez. 2022.

QGIS. **A Liderança do SIG de Código Aberto**. 2022: Disponível em: https://qgis.org/pt_BR/site/about/index.html. Acesso em: 15 dez. 2022.

SOARES, C. **Desenvolvimento de Metodologia para Transição de Redes de Distribuição de Água de Ambiente CAD para SIG**. Rio Largo, AL: Universidade Federal de Alagoas, 2021, p. 74. Disponível em: <https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/123456789/7865/1/Desenvolvimento%20de%20metodologia%20para%20transi%3%a7%c3%a3o%20de%20redes%20de%20distribui%3%a7%c3%a3o%20de%20%3%a1gua%20de%20ambiente%20CAD%20para%20SIG.pdf>. Acesso em: 17 dez. 2022.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). 2022: **Tutorial de Geoprocessamento**. Disponível em: [http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20um%20SIG,%22%20\(Aronoff%2C%201989\)](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/introducao_geo.html#:~:text=O%20que%20%C3%A9%20um%20SIG,%22%20(Aronoff%2C%201989)). Acesso em: 21 dez. 2022.

BRASIL. **Lei N° 12.651, de 25 de maio de 2012**. Presidência da República, Brasil, 2012. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm. Acesso em:

11 out. 2022.

BRANCALION, P.; GARCIA, L.; LOYOLA, R.; RODRIGUES, R.; PILLAR, V.; LEWINSOHN, T. **Análise crítica da Lei de Proteção da Vegetação Nativa (2012), que substituiu o antigo Código Florestal: atualizações e ações em curso.** Piracicaba, SP: Associação Brasileira de Ciência, Ecologia e Conservação (ABECO), 2016.

VASCONCELOS, C.; MORAES, E. **Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens-fração solo, sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM/Landsat5, na região do reservatório de Tucuruí – PA.** Tucuruí, PA: ACTA Amazônia, 2002.

GONZALEZ, R.; WINTZ, P. **Digital Image Processing.** Tennessee, USA: Addison-Wesley Publishing Company, 1987, ed. 2.

SHIMABUKURO, Y.; SMITH, A. **The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data.** USA: IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1991.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. **The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data, Biometrics**, v.33, n.1, p. 159-174, 1977. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2529310?origin=crossref>. Acesso em: 13 jan. 2022.

HOSMER, D.W.; LEMESHOW, S. **Applied logistic regression.** New York: John Wiley & Sons, Inc., 2000, ed 2.

PETTER, R. **Conheça o Dzetsaka: um poderoso e simples plugin de classificação de imagem no QGIS.** Brasil. 2017.

EMBRAPA. **Processamento digital e aprendizado de máquina de imagens aéreas obtidas por aeronaves remotamente pilotadas (RPA) para estimar percentual de cobertura do solo por gramíneas perenes em pomar de citros.** Cruz das almas, BA: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. 2022.

