

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA

FABIO VINICIUS FERREIRA CHAVES

**Avaliação da cobertura da Terra por sensores remotos na região do circuito das Águas
do estado de São Paulo**

São Paulo

2024

FABIO VINICIUS FERREIRA CHAVES

**Avaliação da cobertura da Terra por sensores remotos na região do circuito das Águas
do estado de São Paulo**

Trabalho de Graduação Individual (TGI) apresentado
ao Departamento de Geografia da Faculdade de
Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da
Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos
para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Sueli Ângelo Furlan.

São Paulo

2024

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Nome: CHAVES, Fábio Vinicius Ferreira

Título:

Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Sueli Ângelo Furlan.

São Paulo, ____ de _____ de 2024

São Paulo

2024

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos a todas as pessoas e instituições que tornaram possível a conclusão deste trabalho. Primeiramente, meu pai, Amadeu, e especialmente a minha mãe Maria por seu amor incondicional, incentivo constante e apoio inabalável em todos os momentos, sem os quais esta conquista não teria sido possível.

Um grande agradecimento a minha companheira Aline Titon que esteve comigo durante grande parte da minha jornada na universidade, e que com seu apoio consegui construir esse trabalho, e me manter firme durante o trajeto que foi a graduação.

Agradeço especialmente aos meus colegas de curso, cuja colaboração e apoio foram fundamentais ao longo desta jornada acadêmica, por tudo que passamos e construímos.

À Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas e à Universidade de São Paulo, expresso minha profunda gratidão pela oportunidade de realização deste curso e por me ensinar tanto.

Um agradecimento especial também à Professora Sueli Furlan, cuja orientação, conhecimento e dedicação foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho. Sua orientação sábia e apoio foram verdadeiramente inspiradores e enriquecedores.

Por fim, expresso minha gratidão a todos que de alguma forma contribuíram para este trabalho e para minha formação acadêmica. Este momento não seria possível sem o apoio e encorajamento de cada um de vocês.

RESUMO

A região do Circuito das Águas Paulista, conhecida por suas águas famosas por propriedades medicinais, é um importante destino turístico, compreendendo municípios que compõem o circuito: Águas de Lindóia, Amparo, Jaguariúna, Lindóia, Monte Alegre do Sul, Pedreira, Serra Negra e Socorro.

Para avaliar o uso e cobertura da terra na região e sua influência sobre esse importante recurso mineral, a área de estudo foi definida pelo fato de abranger cerca de 100 processos de extração minerária de água mineral, de um total de mais de 1000 processos em todo o estado de São Paulo.

Quando observados mais atentamente, o conjunto de processos de extração observa-se que desses 100 processos, 70 estão apenas em 3 municípios do circuito, sendo eles: Águas de Lindóia, Lindóia e Serra Negra. Com base nessa concentração, este estudo abordará mais especificamente essa área para analisar a cobertura da terra na região, considerando também a importância turística, e avaliar se há alguma correlação com o tipo de ocupação do solo com os processos minerários de água mineral.

Importante ressaltar algo que pode ser desconhecido por certa parcela da população é que a extração de água por poços é considerada uma categoria de mineração. E de acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), todo bem extraído do subsolo é considerado um tipo de mineral. Logo, a extração de água mineral que traz fama para a região faz parte de um eixo minerário.

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo geral demonstrar que é possível realizar a coleta de dados sobre ocupação da terra e efeitos sobre a extração mineral de forma remota com as ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando as imagens do satélite CBERS 4A WPM e, em conjunto com o método da classificação orientada a objeto (GEOBIA), técnica que se baseia na segmentação e classificação amparada em regras de decisão. Portanto, nosso objetivo principal foi testar o uso destas ferramentas para análise espacial do uso e ocupação da terra e a concentração minerária da água.

A avaliação da acurácia da classificação será fundamental para compreender as implicações no meio físico, considerando o viés turístico da extração de água mineral nessa

área. Os resultados obtidos demonstram que a validação dos mapas foi de 0,7, considerado muito bom, de acordo com os parâmetros estatísticos.

Comparando métodos e técnicas distintas de uso das ferramentas de sensoriamento e geoprocessamento conclui-se que são eficientes nos processos de sistematização e a explicação destas técnicas de análise espacial e que é possível usar esse protocolo em outras áreas de mineração.

CHAVES, Fabio Vinicius Ferreira. **Avaliação da cobertura da Terra com o uso de sensores remotos em parte da região do circuito das Águas de São Paulo**. 2022. 50 f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Palavras-chave: GEOBIA. Água. Uso do solo. Processamento de Imagens. Licenciamento Ambiental.

ABSTRACT

The region of the "Circuito das Águas Paulista," known for its waters famous for their medicinal properties, is an important tourist destination comprising municipalities within the circuit: Águas de Lindóia, Amparo, Jaguariúna, Lindóia, Monte Alegre do Sul, Pedreira, Serra Negra, and Socorro.

To evaluate the land use and coverage in the region and its influence on this important mineral resource, the study area was defined by encompassing approximately 100 mineral water extraction processes out of a total of over 1000 processes throughout the state of São Paulo.

Upon closer observation, the set of extraction processes reveals that out of these 100 processes, 70 are concentrated in just 3 municipalities within the circuit, namely Águas de Lindóia, Lindóia, and Serra Negra. Based on this concentration, this study will specifically address this area to analyze land coverage in the region, taking into consideration its touristic importance, and assess whether there is any correlation between the type of land use and the mineral water extraction processes.

It's important to highlight that the extraction of water through wells is considered a category of mining. According to the National Mining Agency (ANM), any material extracted from the subsoil is considered a type of mineral. Hence, the extraction of mineral water that brings fame to the region is part of a mining axis.

In this context, the main goal of this work is to demonstrate that it is possible to collect data on land occupation and its effects on mineral extraction remotely using remote sensing and geoprocessing tools, employing images from the CBERS 4A WPM satellite. This is in conjunction with the method of Object-Based Image Analysis (GEOBIA), a technique based on segmentation and classification supported by decision rules. Therefore, our primary objective was to test the use of these tools for spatial analysis of land use, land occupation, and the concentration of water mining.

The accuracy assessment of the classification is crucial to understand the implications in the physical environment, considering the touristic bias of mineral water extraction in this area. The results obtained demonstrate that the map validation was 0.7, considered very good according to statistical parameters.

Comparing different methods and techniques using remote sensing and geoprocessing tools, it is concluded that they are efficient in the systematization processes and explaining these spatial analysis techniques. It is possible to use this protocol in other mining areas.

CHAVES, Fabio Vinicius Ferreira. **Evaluation of Land Cover Using Remote Sensors in Part of the Circuit of the Waters Region of São Paulo**. 2022. 50p. Individual Undergraduate Thesis - Faculty of Philosophy, Languages, and Human Sciences, University of São Paulo, São Paulo, 2022.

Keywords: GEOBIA. Water. Land Use. Image Processing. Environmental Licensing

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo e processos Minerários. Autor: Fábio Chaves	21
Figura 2 - Valores NDVI consagrados na bibliografia para vegetação. Fonte: EOS (2019); Trad. Geografia das coisas (2020).....	31
Figura 3 - Mapa de localização da Área de estudo e do circuito das águas. Fonte: Fábio Chaves (2023).....	35
Figura 4 - Mapa do Inventário Florestal na Área de Estudo. Autor: Fábio Chaves (2023)	38
Figura 5 - Fluxograma Metodológico. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2022).....	39
Figura 6 - Mapa de Localização da Área de Estudo e imagem CBERS 4A. Fonte: Fabio Vinicius Ferreira Chaves (2022)	41
Figura 7 - Rede hierárquica das classes de cobertura. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)	45
Figura 8 - Árvore de Processos. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).....	48
Figura 9 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A - Águas de Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).....	50
Figura 10 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A - Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).	51
Figura 11 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A - Serra Negra. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).	52
Figura 12 - Gráfico com a área de cada uma das classes de cobertura do solo. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).	53
Figura 13 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A e Processos Minerários - Águas de Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).....	57
Figura 14 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A e Processos Minerários - Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).....	58
Figura 15 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A e Processos Minerários - Serra Negra. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)	59
Figura 16 - Comparativo entre as imagens dos satélites CBERS 4ª (Acima), e LANDSAT 8 (abaixo). Fonte: INPE (2022); USGS (2021).	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Leis, decretos e Resoluções do Conama	23
Quadro 2: Dados descritivos dos sensores do satélite CBERS 4A. Fonte: Adaptado de INPE (2019).	32
Quadro 3: Dados descritivos dos sensores do satélite Landsat 9. Fonte: (USGS, 2021) e Adaptado de (Engesat, 2023).....	33
Quadro 4: Chave de interpretação das classes de cobertura. Fonte: CHAVES, 2024, adaptado de (Pinho, 2005) e (Araújo, 2015).	44
Quadro 5: Interpretação de valores de índice kappa. Fonte: Landis; Koch, 1977; n.33:159-174, tradução (Araújo, 2015).	46
Quadro 6: Área de cada uma das classes de cobertura do solo. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).	53
Quadro 7: Matriz de Confusão	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANM - Agência Nacional de Mineração

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

EIA - Estudo de Impacto Ambiental

GEOBIA - Geographic Object-Based Image Analysis

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MUX - Multi-spectral Camera

PCA - Plano de Controle Ambiental

PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas

PDI – Processamento Digita de Imagens

RCA - Relatório de Conformidade Ambiental

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SIG – Sistema de Informação Geográfica

UC – Unidades de Conservação

WFI – Wide Field Imager

WPM – Wide Scan Multispectral and Panchromatic Camera

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
2	OBJETIVOS.....	16
2.1	Objetivo Geral.....	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1	Água Subterrânea e Legislação ambiental	17
3.2	Licenciamento Ambiental.....	22
3.3	Geoprocessamento e os Sistemas de informações geográficas nos estudos ambientais 27	
3.4	Sensoriamento Remoto na pesquisa de uso e ocupação da terra	28
3.5	Índices espectrais e o NDVI	29
3.6	Os diferentes tipos de sensores	31
3.7	Classificação do uso e cobertura da terra.....	34
4	MATERIAIS E MÉTODOS	35
4.1	Área de Estudo.....	35
4.2	Procedimentos Metodológicos.....	39
4.3	Materiais	40
4.4	Classificação GEOBIA	42
4.5	Definição das classes de uso e cobertura do solo	43
4.6	Índice <i>KAPPA</i>	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	48
5.1	Classificações de uso do solo.....	48
5.2	Avaliação da Acurácia e Matriz de Confusão.....	54
5.3	Análise da classificação e a mineração de água.....	55
6	CONCLUSÃO	60
7	REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A região do Circuito das Águas Paulista, como é popularmente conhecida, possui uma dinâmica turística que decorre principalmente da fama que as águas dessa região possuem em relação aos benefícios à saúde. Tal fama faz com que a região seja almejada como área de lazer. Os municípios que compõem o circuito são: Águas de Lindóia, Amparo, Holambra, Jaguariúna, Lindóia, Monte Alegre do Sul, Pedreira, Serra Negra e Socorro.

Importante ressaltar algo que pode ser desconhecido por certa parcela da população é que a extração de água por poços é considerada uma categoria de mineração. De acordo com a Agência Nacional de Mineração (ANM), todo bem retirado do subsolo é considerado um tipo de mineração. Logo, a extração de água mineral que traz fama para a região faz parte, também, do eixo minerário.

Um ponto interessante, é que em todo o estado de São Paulo existem cerca de 1000 processos de extração de água mineral cadastrados no sistema da ANM. Enquanto a região do circuito detém cerca de 100 processos minerários para água mineral, mais especificamente os municípios de Águas de Lindóia, Lindóia e Serra Negra têm 70 desses processos de água mineral. Com essa última informação, nesta pesquisa foi estabelecido um recorte um pouco mais específico dentro dessa região que detém maior concentração de processos minerários de água mineral.

Logo, com a área de estudo definida e com as informações iniciais apresentadas a questão de investigação foi: haveria algum tipo de impacto no meio físico relacionado a extração de água com esse viés também turístico, como o uso e ocupação da terra na região se apresentam com as ferramentas de geoprocessamento?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Apresentar a possibilidade que é possível realizar a coleta de dados sobre ocupação da terra e efeitos sobre a extração mineral de forma remota com as ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, utilizando as imagens do satélite CBERS 4A WPM e, em conjunto com o método da classificação orientada a objeto (GEOBIA), técnica que se baseia na segmentação e classificação amparada em regras de decisão.

2.2 Objetivos Específicos

- Gerar uma classificação da cobertura da terra mais detalhada do que as disponíveis em sistemas oficiais;
- Verificar se há relação entre a mineração de água e a ocupação e uso da terra
- Avaliar a acurácia da classificação orientada a objetos;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Essa revisão bibliográfica foi organizada para explicar sobre os conceitos centrais da pesquisa.

Está organizada em 7 itens descritos de maneira sucinta.

3.1 Água Subterrânea e Legislação ambiental

O debate sobre o recurso à água subterrânea e os marcos legais que orientam seu uso e exploração envolve um percurso histórico. (Hager) nos apresenta alguns momentos importantes, pois de acordo com esse autor as águas subterrâneas são muito utilizadas no Brasil, há muito tempo, mesmo antes da formação do território brasileiro. Dados da época da formação do país mais da metade da população era abastecida por água subterrânea. Contudo mesmo com essa participação significativa no abastecimento da população o autor comenta que as águas subterrâneas não têm sua importância reconhecida.

Hager (*op.cit*) complementa que a importância das águas subterrâneas e dos aquíferos fica mais evidente com o aumento da demanda e a diminuição da disponibilidade das águas superficiais, causando assim inúmeros conflitos relacionados à sua gestão e organização.

Alguns conceitos foram sendo construídos ao longo do tempo. Hager (2002) apresenta algumas definições precisas que usaremos neste estudo:

- **Águas subterrâneas** são as águas do subsolo, seja da zona insaturada como da zona saturada.
- **Aquífero** é uma formação geológica que apresenta capacidade de armazenar e transmitir a água.
- **Bacia hidrogeológica** é um reservatório de água subterrânea separado de outros reservatórios adjacentes. O limite de uma bacia hidrogeológica é função da topografia, geologia e estruturas. Geralmente a bacia hidrogeológica não coincide com a hidrográfica

Como bem tão precioso para a vida, a água possui toda uma regulamentação e legislação para sua extração e consumo, e o principal dispositivo legislativo dessa regulação é o código

das águas (Decreto Nº 7 24.643/1934), que mesmo tendo sua publicação no ano de 1934, já possuía trechos sobre as águas subterrâneas no Título IV, nos artigos 96 a 101, e são previstas situações que ocorrem ainda nos dias de hoje e que tem potencialidades de conflitos como é dito por Hager (2002). E a seguir os artigos citados anteriormente:

Art. 96 – Parágrafo Único: Se o aproveitamento das águas subterrâneas de que trata este artigo prejudicar ou diminuir as águas públicas dominicais ou públicas de uso comum ou particulares a administração competente poderá suspender as ditas obras e aproveitamento.

Art. 97 – Não poderá o dono do prédio abrir poço junto ao prédio do vizinho, sem guardar a distância necessária ou tomar as precisas precauções para que ele não sofra prejuízo.

Art. 98 – São expressamente proibidas construções capazes de poluir ou inutilizar, para uso ordinário, a água do poço ou nascente alheia, a ele pré-existent.

Art. 101 – Depende de concessão administrativa a abertura de poços em terrenos de domínio público.

Além do código das águas, a constituição federal de 1988 tem em suas estruturas tópicas para as águas subterrâneas, porém a forma como o texto foi descrito fez com que houvesse diferentes interpretações, como pode ser observado em seus trechos a seguir:

Art. 20 – São bens da União:

- III – os lagos, rios, e quaisquer corrente de água em terreno de seu domínio ou que banhem mais de um estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;
- IX – os recursos minerais, inclusive os do subsolo;

Art. 22 – Compete privativamente à União legislar sobre:

- IV – águas, energia...

Art. 23 – É competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios:

- XI – registrar, acompanhar e fiscalizar as concessões de direitos de pesquisa e exploração de recursos hídricos e minerais em seus territórios;

Art. 26 – Incluem-se entre os bens do Estado:

- I – As águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, ressalvadas, nesse caso, na forma da lei, as decorrentes de obra da União.

E para remediar diferentes interpretações em todos do tópico foi anexado uma Emenda Constitucional, a Nº 43/2000 que inclui os seguintes trechos para uma melhor interpretação:

Art. 20 – São bens da União:

- III – os lagos, rios, e quaisquer corrente de águas, **superficiais ou subterrâneas, inclusive os aquíferos**, em terreno de seu domínio ou que banham mais de um estado, sirvam de limites com outros países, ou se estendam a território estrangeiro ou dele provenham, bem como os terrenos marginais e as praias fluviais;
- IX – os recursos minerais, inclusive os do subsolo;

Art. 26 – Incluem-se entre os bens do Estado:

- I - As águas superficiais ou subterrâneas, fluentes, emergentes e em depósito, **circunscritas ao seu território**, ressalvadas, neste caso, na forma da lei, as decorrentes de obra da União.

E além das legislações citadas acima, existe um conjunto de normativas cada vez mais específicas para o manejo e utilização da melhor forma da água mineral que são:

Lei das Águas: Lei Federal Nº 9.433, de 1997, conhecida como Lei da Águas, institui a Política e o Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos no Brasil. E entre outros, estabelece o gerenciamento por bacias hidrográficas e destaca que as águas subterrâneas estão sujeitas à outorga.

Código de Mineração (Decreto Lei Nº 227/1967, 2º Código). Estabelece que:

Art. 10 – Reger-se-ão por Leis especiais:

- V – as jazidas de águas subterrâneas;

Art. 6 – Reger-se-ão por leis próprias:

- III – as águas minerais;

- IV – os recursos hídricos não enquadrados no regime específico das águas minerais;

Código de Águas Minerais: As águas minerais são reguladas pelo Código de Águas Minerais (Decreto Nº 7.841/1945) por determinação do Código de Mineração, competindo à Agência Nacional de Mineração – ANM – a autorização de lavra destas águas. Estão sujeitas a ANM (antigo DNPM) (art. 25 do Código de Águas Minerais) todas as águas comercializáveis, sejam minerais ou potáveis de mesa, para uso em balneoterapia, hidrotermal e gasosa, das diversas etapas da lavra (todos os trabalhos e atividades de captação, condução, distribuição e aproveitamento das águas - Ars. 9 e 10 do Código de Águas Minerais). Vale ressaltar que a ANM, é responsável pela outorga dos usos de águas subterrâneas estabelecidos no Código de Águas Minerais.

Portarias ANM: A ANM regula suas atribuições, entre outros, através de Portarias. Podemos citar como exemplos Portarias que suspendem a outorga de alvarás de pesquisa e aproveitamento de água mineral/termal do aquífero de Caldas Novas e Rio Quente e a Portaria Nº 231/1998 que regula as ações e procedimentos para a definição de áreas de proteção das fontes, balneários e estâncias de águas minerais e potáveis de mesa em todo o território nacional, objetivando sua preservação, conservação e racionalização de uso.

É, também o responsável pela outorga dos usos de águas subterrâneas estabelecidos no Código de Águas Minerais.

Hager (2002) cita um ponto de grande impacto na gestão de recursos hídricos subterrâneos que seriam as resoluções do CNRH como é descrito a seguir:

Um dos grandes marcos da questão hídrica subterrânea no Brasil foi a aprovação da Resolução Nº 15 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos sobre a inserção das águas subterrâneas na gestão integrada dos recursos hídricos e, mais recentemente, a aprovação de Resolução, ainda sem número, sobre a inserção das águas subterrâneas nos planos de recursos hídricos.

Basicamente a Resolução Nº 15/2001 visa a promoção da gestão sistêmica, integrada e participativa, a adequação dos instrumentos de gestão, a articulação entre os entes federativos, a promoção dos ajustes legais necessários, à promoção do aperfeiçoamento institucional adequado e a educação e participação cidadã.

Em termos gerais, a nova Resolução visa instrumentalizar a gestão integrada das águas através da inserção das águas subterrâneas nos planos de recursos hídricos de modo sistêmico e interativo com todas as realidades da região do plano (Hager, 2002 p. 7).

Além do que foi apresentado sobre conceitos e normativas legais, é muito importante comentar

que muitas pessoas não sabem o que é o ciclo hidrológico e o seu significado. Com base nessa apreciação Hager comenta:

O entendimento e a compreensão do Ciclo Hidrológico permitem a visualização de um sistema integrado, onde as águas apenas estão subterrâneas ou superficiais ou atmosféricas. As diferenças encontram-se no seu tempo de residência e na velocidade de fluxo. As águas superficiais são função das águas subterrâneas e são dependentes pois que, em geral e em 90% dos casos brasileiros, são os aquíferos que mantêm as vazões de base dos rios e lagos. Por isso quando não chove o rio continua a correr. Onde os rios não são perenes é porque os aquíferos ou são muito profundo ou não têm capacidade hidráulica. (Hager, 2002 p. 12)

Após essa síntese descritiva da legislação sobre os recursos hídricos subterrâneos, agora é necessário tratar sobre os problemas que envolvem a gestão das águas subterrâneas, e o ponto principal desta pesquisa foi a escolha dos municípios de Águas de Lindóia, Lindóia e Serra Negra. Como mencionado na introdução, esses municípios detêm cerca de 70 processos minerários de água mineral em seus limites (figura 1), e a água potável se torna cada vez mais uma preocupação devido à possibilidade de escassez, como ocorreu na crise hídrica no estado de São Paulo no período de 2014/2015.

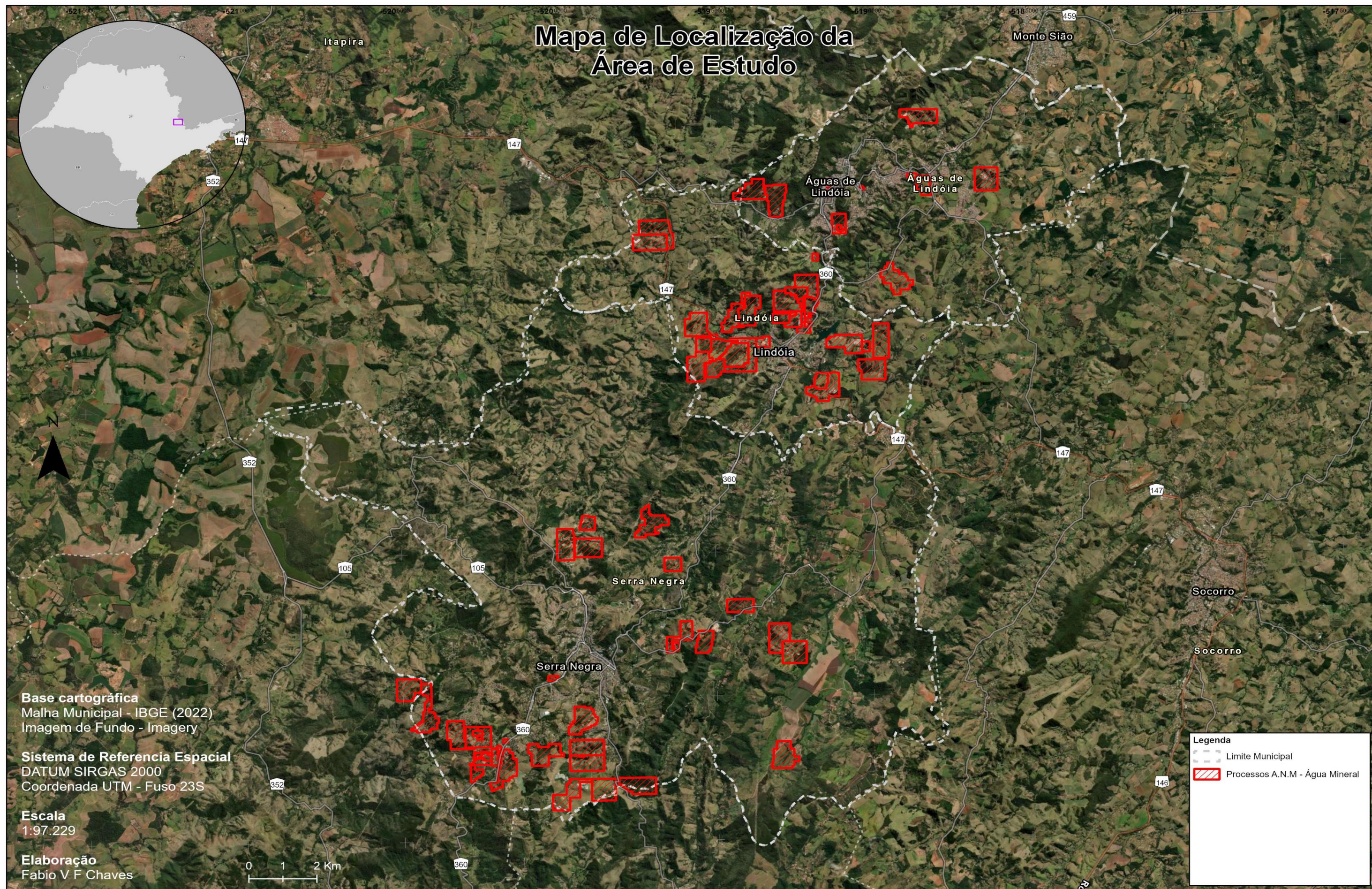


Figura 1 - Mapa de Localização da Área de Estudo e processos Minerários. Autor: Fábio Chaves

Como Hager (2002) citou, mais da metade da população do país tem seu abastecimento por águas subterrâneas, e como é um tópico fundamental, entender como ocorre a ocupação do solo nessa região de extração da água? E com base nessa pergunta, a proposta do presente trabalho é avaliar a ocupação da terra, com a aplicação de ferramentas de sensoriamento remoto e geoprocessamento.

3.2 Licenciamento Ambiental

Até o presente momento foram apresentadas às leis, decretos e portarias em torno das águas minerais, mas em um processo prático como ocorre a solicitação para extração de água que é um dos grandes pontos a serem discutidos. Porém um tópico importante para ser tratado também é o licenciamento ambiental, mecanismo pelo qual as atividades impactantes precisam passar para serem avaliadas nas diversas etapas de sua execução. Os órgãos licenciadores podem ser secretarias de meio ambiente, ou institutos, como por exemplo o IBAMA. A secretaria de meio ambiente e desenvolvimento sustentável do município de Goiás define que: “Licenciamento Ambiental é o processo por meio do qual ficam previamente autorizadas a construção, a instalação, a ampliação e o funcionamento de empreendimentos e atividades utilizadores de recursos ambientais, efetiva ou potencialmente poluidores ou capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental”.

Logo a extração de águas subterrâneas depende dos processos de licenciamento ambiental para ser conduzida. E é apresentado no texto: Geoprocessamento no licenciamento ambiental: estudo de caso da mineração (Teixeira, et al., 2003), justamente o objeto de estudo principal do presente trabalho, que trata das análises de possíveis impactos no uso do solo derivado da extração de águas subterrâneas, um trecho de seu texto que reforça a definição apresentada anteriormente:

...Assim, as atividades humanas, sob pretexto de uma demanda crescente para atender suas necessidades básicas, têm imprimido processos intensivos de exploração dos recursos ambientais de maneira a ameaçar tanto a disponibilidade de alguns desses recursos, como também, a capacidade de regeneração de diversos sistemas ambientais determinantes para sustentação do seu hábitat no planeta (Teixeira, et al., 2003 p. 2)..

Teixeira & Castro (*op. cit*) discorre que o licenciamento ambiental é concebido dentro de um processo de avaliação preventiva que se baseia no exame dos aspectos ambientais dos

projetos em suas diferentes fases (concepção, planejamento, instalação e operação), concedendo Licença Prévia (LP), de Instalação (LI) e de Operação (LO), funcionando sob a forma de um sistema, o SLAP – Sistema de Licenciamento de Atividades Poluidoras, logo todo o processo de licenciamento gira em torno da gestão ambiental e como ela é aplicada para controle da qualidade ambiental e de conservação dos recursos naturais.

Para melhor entender o licenciamento ambiental é preciso contextualizar mais um conjunto de legislações que foram coletadas pelo autor Farias em seu texto “Mineração e meio ambiente no Brasil” de 2002, além de leis, decretos e resoluções do Conama que são pertinentes ao tema:

Quadro 1 - Leis, decretos e Resoluções do Conama

Tipo	Número/Data	Descrição
Resolução do CONAMA	nº 001, de 23 de janeiro de 1986	Estabelece critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental (RIMA)
Resolução do CONAMA	nº 009, de 06 de dezembro de 1990	Dispõe sobre normas específicas para a obtenção da licença ambiental para a extração de minerais, exceto as de emprego imediato na construção civil
Resolução do CONAMA	nº 010, de 06 de dezembro de 1990	Dispõe sobre o estabelecimento de critérios específicos para a extração de substâncias minerais de emprego imediato na construção civil
Resolução do CONAMA	nº 2, de 18 de abril de 1996	Dispõe sobre a compensação de danos ambientais causados por empreendimentos de relevante impacto ambiental
Resolução do CONAMA	nº 237, de 19 de dezembro de 1997	Dispõe sobre os procedimentos e critérios utilizados no licenciamento ambiental
Resolução do CONAMA	nº 237, de 20 de março de 2002	Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de áreas de Preservação Permanente
Lei Federal	nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 e suas alterações (Leis nos 7.804, de 18 de julho de 1989, e 8.028, de 12 de abril de 1990)	Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação
Lei Federal	nº 9.537, de 11 de dezembro de 1997	Dispõe sobre a segurança do tráfego aquaviário em águas sob jurisdição nacional e que atribui à Autoridade Marítima estabelecer normas sobre obras, dragagem, pesquisa e lavra mineral sob,

		sobre e às margens das águas jurisdicionais brasileiras
Lei Federal	nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998	Estabelece as sanções penais e administrativas aplicáveis a condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, incluindo infrações relacionadas ao licenciamento ambiental. Ela descreve penalidades para crimes ambientais, como poluição e degradação ambiental
Lei Federal	nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 (Lei de Crimes Ambientais)	Esta lei estabelece as sanções penais e administrativas aplicáveis a condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, incluindo infrações relacionadas ao licenciamento ambiental. Ela descreve penalidades para crimes ambientais, como poluição e degradação ambiental
Lei Federal	nº 9.985, de 18 de julho de 2000 (Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC)	Estabelece o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e define critérios e normas para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação. Ela é relevante para projetos que envolvem áreas de conservação ambiental.
Lei Federal	nº 12.651, de 25 de maio de 2012 (Código Florestal Brasileiro)	Estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, áreas de preservação permanente (APP) e reservas legais. O Código Florestal é relevante para o licenciamento ambiental, especialmente em projetos que envolvem a intervenção em áreas florestais
Decreto Federal	nº 97.632 de 10 de abril de 1989	Dispõe sobre Plano de recuperação de área degradada pela mineração
Decreto Federal	nº 5.975, de 30 de novembro de 2006	Regulamenta o SNUC e define procedimentos para a criação, implantação e gestão de unidades de conservação, bem como critérios para o licenciamento ambiental em áreas próximas a essas unidades.

Decreto Federal	nº 6.514, de 22 de julho de 2008	Regulamenta a Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/98) e estabelece procedimentos administrativos para a aplicação das sanções previstas na lei. Ele define as multas e outras medidas punitivas para infrações ambientais.
Decreto Federal	nº 8.437, de 22 de abril de 2015	Regulamenta dispositivos do Código Florestal Brasileiro relacionados à regularização ambiental de imóveis rurais, incluindo procedimentos para adesão ao Programa de Regularização Ambiental (PRA).

Dentro do contexto do licenciamento ambiental, as leis, decretos federais e resoluções citados anteriormente cobrem os aspectos legais e regulatórios mais relevantes relacionados ao tema. No entanto, é importante observar que a legislação ambiental pode ser atualizada e modificada ao longo do tempo.

Teixeira & Castro (2003) discorre que o licenciamento ambiental tem como propósito apresentar o controle prévio à “construção, instalação, ampliação, e o funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais considerados efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental”.

Logo, todo e qualquer tipo de instalação, construção, ampliação ou ação nesse âmbito que possa de alguma forma tenha potencial para causar dano ao mesmo ambiente deve passar pelo processo de licenciamento ambiental. Mas para saber se um tipo de empreendimento precisa de licenciamento há um processo anterior, os mecanismos e ferramentas que fazem essa prévia em um tipo de estabelecimento seriam os “Métodos de Avaliação de Impactos Ambientais - AIA”, de acordo com Teixeira são eles que são aplicados para coletar, analisar, avaliar e comparar e fazer o processo de organização de informações tanto quantitativas como qualitativas sobre os impactos ambientais que podem ser originados de algum tipo de atividade modificadora do meio ambiente.

Para se saber, se há viabilidade ambiental de implantação e ou expansão de algum tipo de empreendimento está atrelada a estudos chamado de “Estudos de Impactos ambientais

(EIAs/RIMAs, PCAs, RCAs, PRADs entre outros)” e tais estudos são exigidos e supervisionados pelos órgãos de licenciamento ambiental de todos os níveis, do municipal, estadual até o federal.

A mineração de água mineral pode ser caracterizada de certa forma como uma mineração de “Baixo impacto”, pelo fato de que sua extração em si não cause um impacto ambiental de grande lastro, pois dentro dos procedimentos para a extração da água, o que ocorre é a perfuração de um poço, após isso a instalação da tubulação e a construção de uma casa de proteção ao redor do poço para manter sua integridade e limpeza, e essa casa de proteção não tem tamanhos maiores que 10m².

Contudo a extração de água mineral não é apenas a perfuração de um poço e a construção de uma casa de proteção, também envolve a alocação de um galpão para envasamento da água e nesse ponto a depender da capacidade aprovada para a extração de água o galpão pode abranger um espaço considerável, e pode ocorrer que o espaço não esteja totalmente “livre” para essa construção, podendo haver vegetação, cursos d’água, desníveis no terreno.

E por isso, mesmo que seja uma extração “simples”, os procedimentos de implantação de um empreendimento que envolvem os processos na extração de água, podem ocasionar modificações na cobertura e uso do solo. E esse foi um dos motivos da escolha da área de estudo por haver uma grande concentração de empreendimento de água mineral nos municípios de Águas de Lindóia, Lindóia e Serra Negra.

3.3 Geoprocessamento e os Sistemas de informações geográficas nos estudos ambientais

Após todos os dados apresentados anteriormente deve ser dada maior ênfase nas principais ferramentas do estudo realizado, o “geoprocessamento”, ou apenas geotecnologias são um conjunto de tecnologias utilizadas para a coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geografia, tais geotecnologias são constituídas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware*, (Rosa, et al., 2013).

E as principais tecnologias nesse meio que podem ser citadas e que serão utilizadas no decorrer desse trabalho são: Sistemas de informação geográfica, cartografia digital,

sensoriamento remoto, sistema de posicionamento global e a topografia, que são destacados por Rosa (2013).

Nesse momento deve ser estabelecido o que é geoprocessamento propriamente dito, uma vez que este conceito não é o mesmo que GIS ou SIG e sensoriamento remoto, pois o geoprocessamento é algo mais abrangente, de acordo com (Rosa, et al., 2013) o geoprocessamento está relacionado a quatro categorias de técnicas relacionadas ao tratamento de informação espacial, sendo elas:

1. Técnicas para coleta de informação espacial (cartografia, sensoriamento remoto, GPS, topografia, levantamento de dados alfanuméricos);
2. Técnicas de armazenamento de informação espacial (bancos de dados – orientado a objetos, relacional, hierárquico etc.);
3. Técnicas para tratamento e análise de informação espacial (modelagem de dados, geoestatística, aritmética lógica, funções topológicas, redes etc.);
4. Técnicas para o uso integrado de informação espacial, como os sistemas GIS – *Geographic Information Systems*, LIS – *Land Information Systems*, AM/FM – *Automated Mapping/Facilities Management*, CADD – *Computer-Aided Drafting and Design*.

Perante as definições de Geoprocessamento e suas diversas aplicações, fica claro a importância de sua compreensão e utilização para o aprofundamento do estudo do uso e cobertura da terra, fornecendo assim uma base sólida para a tomada de decisões embasadas em dados espaciais e análises sempre atuais.

3.4 Sensoriamento Remoto na pesquisa de uso e ocupação da terra

O termo "sensoriamento remoto" é reconhecido historicamente como o desenvolvimento de tecnologias capazes de obter imagens da superfície da Terra a distâncias remotas, como descrito por (Meneses, et al., 2012) em seu livro "Introdução ao Processamento de Imagens e Sensoriamento Remoto". Além dessa definição dada pelos autores, a definição clássica do conceito é a seguinte: o sensoriamento remoto é uma técnica de obtenção de imagens dos objetos da superfície terrestre sem que haja contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto.

Ao aprofundarmos o uso do conceito descrito pelos autores, pode-se colocar alguns preceitos principais para definir de forma mais científica o conceito de sensoriamento remoto quanto a (o):

- i) exigência: ausência de matéria no espaço entre o objeto e o sensor;
- ii) consequência: a informação do objeto é possível de ser transportada pelo espaço vazio;
- iii) processo: o elo de comunicação entre o objeto e o sensor é a radiação eletromagnética, a única forma de energia capaz de se transportar pelo espaço.

Baseados nas informações anteriores Menezes e Almeida complementam a definição do conceito de Sensoriamento remoto:

“Com base nesses preceitos, uma definição mais científica que se pode dar ao Sensoriamento Remoto seria: Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (Menezes, et al., 2012 p. 3)

O conceito citado acima demonstra a importância do uso de sensores remotos, uma vez que as imagens obtidas não são apenas "fotos", mas também coletam informações das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Essa característica diferencia as imagens de sensoriamento remoto das fotografias comuns. Por meio dos dados captados pelos sensores, é possível aplicar fórmulas e índices para diferenciar, por exemplo, os tipos de uso e ocupação da terra e ocupação da terra.

Diante dessa breve explanação nesta pesquisa a ênfase foi selecionar o sensor mais adequado para análise com mais detalhes, comparando os produtos de diferentes sensores...

3.5 Índices espectrais e o NDVI

De acordo (Rosembach, et al., 2005) as informações obtidas através do sensoriamento remoto são de suma importância para análises da cobertura vegetal, e acompanhamento das mudanças no uso e cobertura da terra, e dessa forma auxiliando na gestão territorial de uma localidade.

Os índices espectrais desempenham um papel fundamental neste contexto, pois através deles que podem ser avaliadas as mudanças na cobertura vegetal, por exemplo. Os índices seriam valores calculados a partir das diferentes bandas espectrais geradas pelos sensores de satélites. E são amplamente utilizados para quantificar as propriedades físicas, químicas e biológicas dos alvos presentes na superfície terrestre, como é descrito por (Rouse, et al., 1974).

E de acordo com (Rouse, et al., 1974), o cálculo dos índices espectrais envolve a combinação de valores de reflectância ou radiância em diferentes bandas espectrais. Cada banda corresponde a uma faixa específica do espectro eletromagnético, como o visível ou o infravermelho próximo (NIR).

Existem vários exemplos populares de índices espectrais que merecem destaque, tais como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Água Normalizado (NDWI), o Índice de Queimadas (NBR) e outros. Esses índices são fundamentados em princípios físicos das imagens de satélite e no conhecimento sobre o comportamento espectral dos alvos terrestres.

O Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) será o principal índice espectral utilizado durante o processamento das imagens de satélite, proposto inicial por (Rouse, et al., 1974) possibilita identificar a saúde e a densidade da cobertura vegetal, pois fornece uma medida quantitativa da atividade fotossintética da vegetação com base nas características espectrais das imagens. O NDVI é representado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Na qual:

RED: Valor da reflectância no vermelho

NIR: Valor da reflectância no infravermelho próximo.

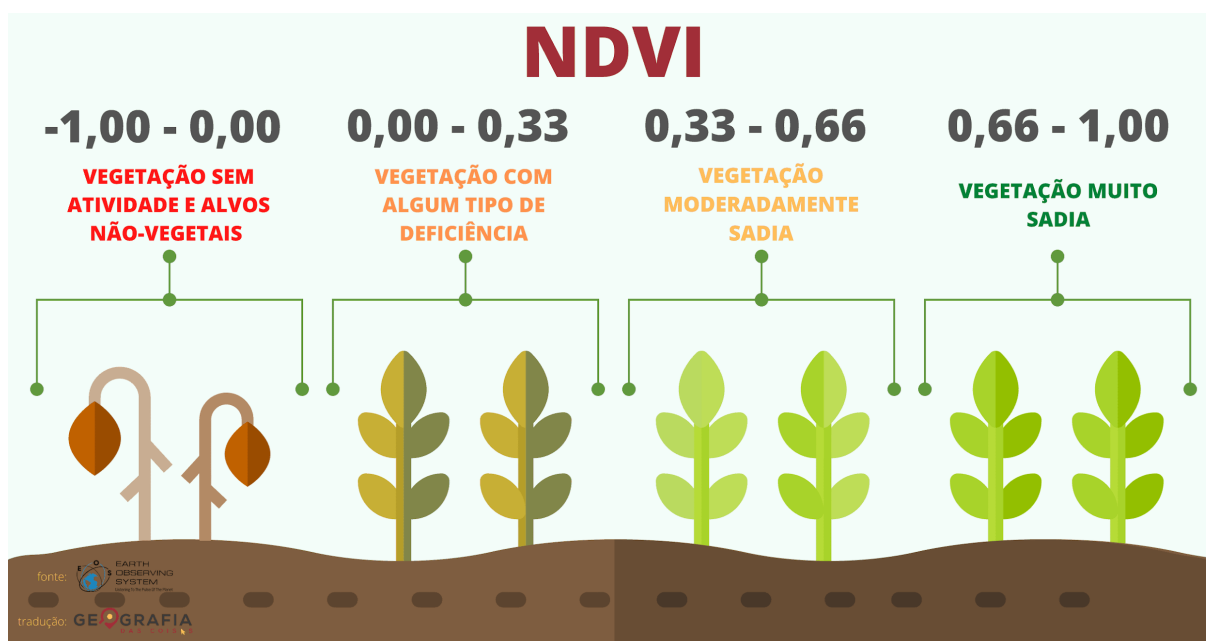


Figura 2 - Valores NDVI consagrados na bibliografia para vegetação. Fonte: EOS (2019); Trad. Geografia das coisas (2020)

A figura 2 exemplifica de forma clara o porquê o NDVI é um índice tão importante no acompanhamento no que se diz respeito à vegetação e cobertura vegetal.

3.6 Os diferentes tipos de sensores

Como já foi dito anteriormente o sensoriamento remoto é uma técnica para obter imagens dos objetos na superfície terrestre sem que haja contato físico, e essas imagens são coletadas por sensores, e um exemplo é o satélite CBERS 4A. Esse satélite advém do programa CBERS que é uma parceria entre Brasil e China iniciada em julho de 1988 no setor técnico-científico espacial. O satélite CBERS 4A é um satélite de sensoriamento remoto de média resolução, dotado de cargas úteis ópticas operando no espectro visível com resoluções na faixa de 2 a 60 metros. (INPE, 2022)

Segundo INPE (*op.cit*) o satélite CBERS 4A possui três sensores diferentes:

- Câmera Multiespectral (MUX¹): Possui três bandas no espectro visível e uma banda no infravermelho com resolução espacial de 16 metros.

¹ MUX: Câmera Multiespectral (Multispectral Camera). Fonte: INPE, 2019.

- Câmera de Campo Largo (WFI²): Possui três bandas no espectro visível e uma banda infravermelha, com resolução de 55 metros.
- Câmera Multiespectral e pancromática de Ampla Varredura (WPM³): Possui três bandas no espectro visível e uma no infravermelho e todas as quatro com resolução espacial de 8 metros, além dessas bandas possui a banda pancromática com resolução de 2 Metros.

O quadro a seguir descreve com maiores detalhes as informações em relação aos sensores do satélite CBERS 4A. Dados descritivos dos sensores do satélite CBERS 4A.

Quadro 2: Dados descritivos dos sensores do satélite CBERS 4A. Fonte: Adaptado de INPE (2019).

CBERS 4A			
Característica	WPM	MUX	WFI
Bandas Espectrais	P: 0,45 - 0,90 μm B1: 0,45 - 0,52 μm B2: 0,52 - 0,59 μm B3: 0,63 - 0,69 μm B4: 0,77 - 0,89 μm	B05: 0,45 - 0,52 μm B06: 0,52 - 0,59 μm B07: 0,63 - 0,69 μm B08: 0,77 - 0,89 μm	B13: 0,45 - 0,52 μm B14: 0,52 - 0,59 μm B15: 0,63 - 0,69 μm B16: 0,77 - 0,89 μm
Resolução (m)	2 Metros 8 metros	16,5 Metros	55 Metros
Largura da Faixa Imageada	92Km	95 Km	684 Km
Revisita (dias)	31	31	5

Além do CBERS 4A, pode ser citado o programa LANDSAT que teve seu início em meados da década de 1960 e, em 1972, teve seu primeiro satélite lançado que possui resolução espacial de 30 metros. Foram lançados diversos satélites durante o programa até ao lançamento mais atual, o landsat 9 que foi lançado em 2021 e está equipado com dois sensores: Thermal Infrared Sensor (TIRS) que realiza a medida da temperatura superficial da Terra por meio de duas bandas espectrais na faixa do infravermelho termal, com resolução espacial de 100 metros, e o Operational Land Imager (OLI) com bandas espectrais nas faixas do visível, infravermelho próximo e infravermelho de onda curta, com resolução espacial de 30 metros e 15 metros

² WFI: Câmera de Campo Largo (Wide Field Camera). Fonte: INPE, 2019.

³ WPM: Câmera Multiespectral e pancromática de Ampla Varredura (Camera and Wide Scan Panchromatic) Fonte: INPE, 2019.

(pancromática) (USGS, 2023). A seguir vemos um quadro com as informações dos sensores do landsat 9.

Quadro 3: Dados descritivos dos sensores do satélite Landsat 9. Fonte: (USGS, 2021) e Adaptado de (Engesat, 2023).

Landsat				
9				
Sensor	Bandas	Resolução Espectral	Resolução (m)	Revisita (dias)
OLI (Operational Land Imager)	B1 (Azul Costeiro)	0,43 – 0,45	30 m	16
	B2 (Azul)	0,45 – 0,51		
	B3 (Verde)	0,53 – 0,59		
	B4 (Vermelho)	0,64 – 0,67		
	B5 (Infravermelho Próximo)	0,85 – 0,88		
	B6 (Infravermelho Médio)	1,57 – 1,65		
	B7 (Infravermelho Médio)	2,11 – 2,29		
	B8 (Pancromática)	0,50 – 0,68	15 m	
	B9 (Cirrus)	1,36 – 1,38	30 m	
TIRS (Thermal Infrared Sensor)	B10 (Infravermelho Termal)	10,6 – 11,19	100 m	
	B11 (Infravermelho Termal)	11,5 – 12,51		

Ambos os satélites citados possuem diversas aplicações, dentre elas o monitoramento do aumento ou diminuição da cobertura vegetal, acompanhamento de queimadas, na agricultura, entre outros.

3.7 Classificação do uso e cobertura da terra

O reconhecimento e detalhamento do espaço físico territorial é de suma importância para qualquer trabalho sendo ele referente a obras de engenharia, arquitetura, conservação de solos, mapeamentos temáticos etc. Tal mapeamento da cobertura do terrestre pode ser realizado através de métodos de classificação de imagens de satélite (Ribeiro, et al., 2001), (IBGE, 2023)

E em conjunto com o sensoriamento remoto e a aplicação de regras e parâmetros em determinados softwares é possível construir as classificações de uso e ocupação de solo, como citado por (Ribeiro, et al., 2001), que novas pesquisas utilizam cada vez mais técnica da Inteligência artificial para reconhecimento de Padrões e classificação de imagens orbitais associando estes dados a dados auxiliares como geomorfologia, geologia e outros.

No caso citado pelos autores em sua obra, é utilizado a classificação na associação de um “pixel” a determinada categoria e com isso é feito cruzamento entre os pixels da imagem e se encontra os que possuem aspectos mais semelhantes, e no presente trabalho será utilizado o método GEOBIA (Análise de imagens baseada em objetivos geográficos) que será debatido nos itens seguintes.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

O presente estudo foi conduzido nos municípios de Águas de Lindóia, Lindóia e Serra Negra, situados em uma região específica do estado de São Paulo. De acordo com o (IBGE, 2023) Águas de Lindóia possui uma área aproximada de 60 km², Lindóia possui uma área de 48 km² e por fim, Serra negra possui uma área de cerca de 203 km², e todas estão localizadas na região conhecida como Circuito das Águas (Figura 3).

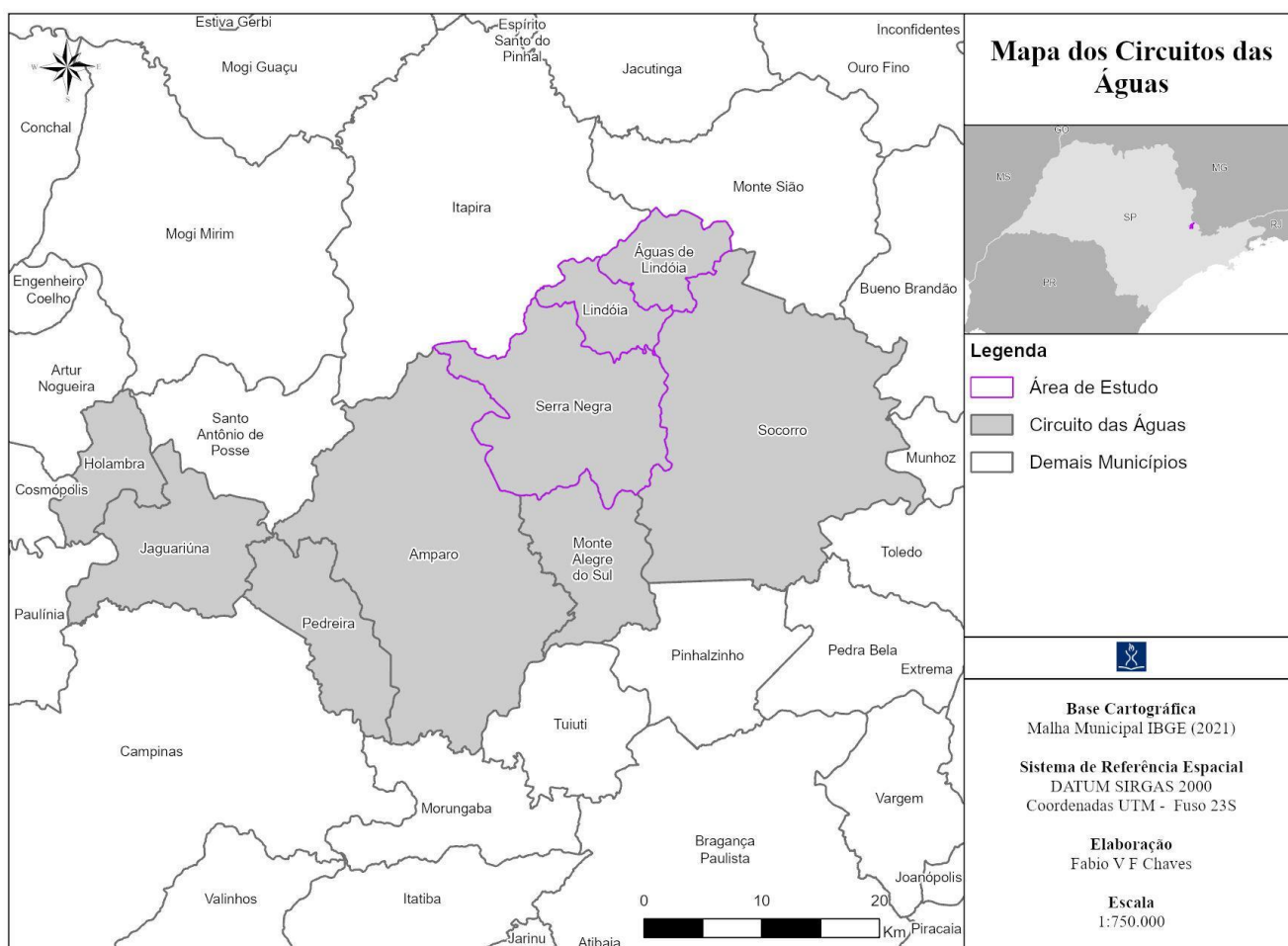


Figura 3 - Mapa de localização da Área de estudo e do circuito das águas. Fonte: Fábio Chaves (2023).

Esses municípios são reconhecidos por suas características naturais e turísticas, sendo objetos de estudo acadêmico como (Pinto, et al., 2020) e (Ambrósio, 2008). Águas de Lindóia e Lindóia são conhecidas por suas águas termais e beleza cênica, enquanto Serra Negra é famosa por suas fontes de águas minerais terapêuticas (Circuito das Águas Paulista, 2021). Além disso,

esses municípios oferecem uma infraestrutura turística desenvolvida, incluindo comércio, gastronomia e artesanato local. São destinos muito procurados por turistas que buscam relaxamento, contato com a natureza e benefícios das águas terapêuticas (Pinto, et al., 2020).

A vegetação presente na Área de estudo está inserida na mata atlântica, e de acordo com o Inventário Florestal 2020 (Secretaria de Meio Ambiente, 2020), as fitofisionomias presentes são: Floresta Ombrófila Densa que abrange a maior parte desta área e pequenas parcelas de Floresta Estacional Semidecidual e Formação Pioneira com Influência Fluvial (Figura 4).

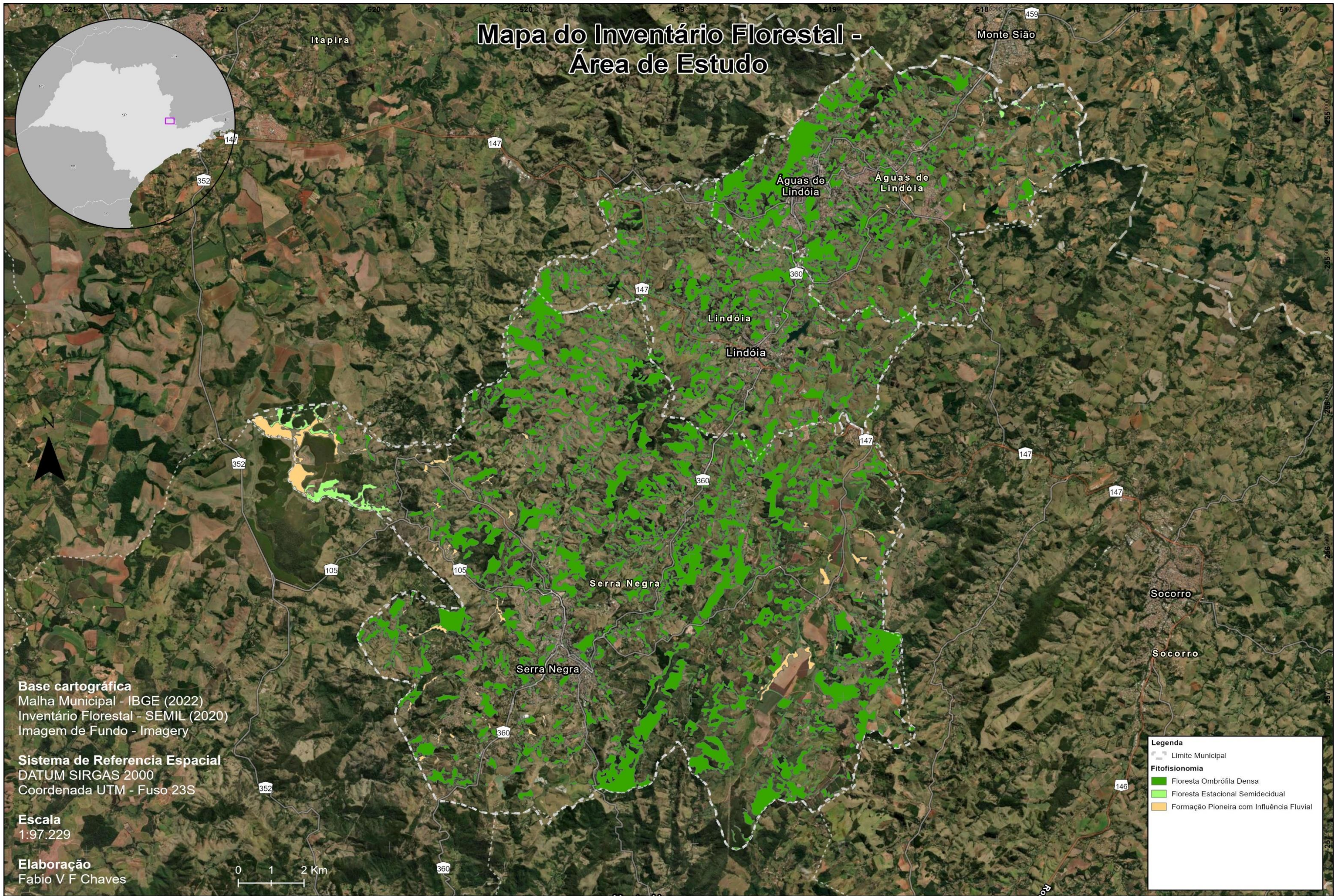


Figura 4 - Mapa do Inventário Florestal na Área de Estudo. Autor: Fábio Chaves (2023)

Enquanto isso, a geomorfologia do circuito das águas, abrange duas províncias geomorfológicas: a Depressão periférica Paulista caracterizada por colinas de topos tabulares e o Planalto Atlântico, representado pela Serra da Mantiqueira (Ross, et al., 1997).

4.2 Procedimentos Metodológicos

A metodologia empregada na elaboração da pesquisa seguiu as etapas conforme o fluxograma a seguir representado pela figura 4, que passou pelas etapas principais de aquisição das imagens do satélite CBERS 4A; passando para as etapas de pré-processamento; a seguir os passos para a classificação aplicando o método GEOBIA, e por fim com a classificação gerada são organizados os dados e gerados os mapas com a classificação de uso e cobertura da terra.

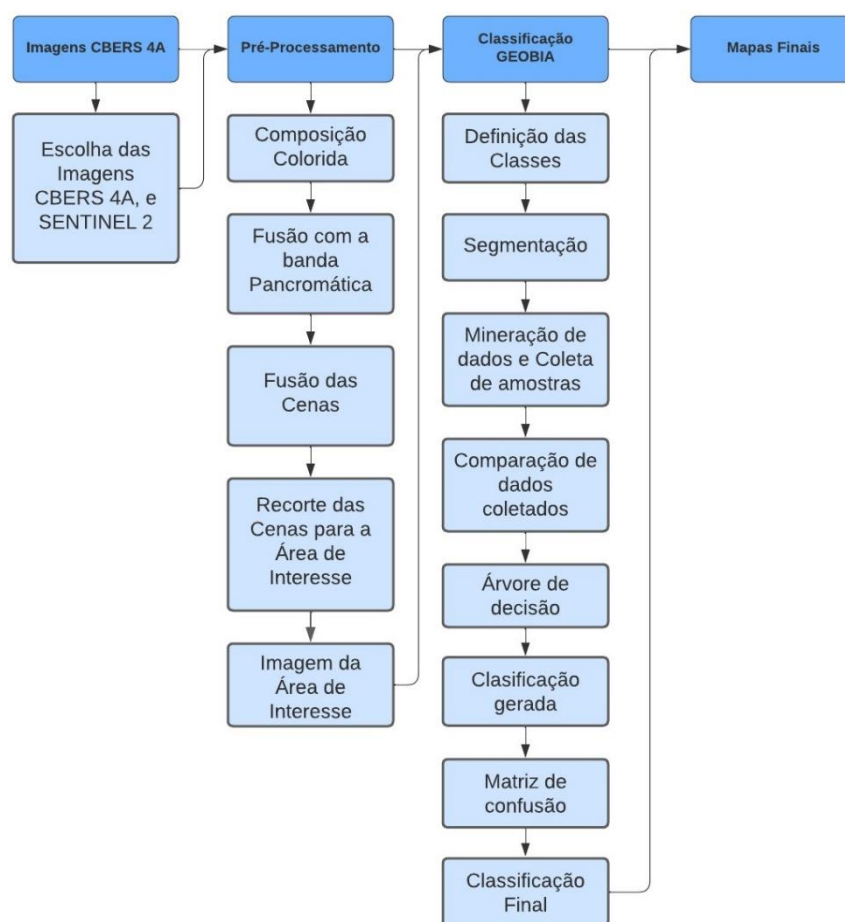


Figura 5 - Fluxograma Metodológico. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2022)

4.3 Materiais

O critério de escolha da imagem foi determinado entre abril e novembro pois devido à menor cobertura de nuvens, melhor visibilidade, sazonalidade de recursos hídricos e possui melhores condições para análise agrícola (Engesat, 2023). A imagem do sensor WPM (câmera multiespectral e pancromática de ampla varredura) do satélite CBERS 4A que foi utilizada para gerar as classificações e mapas foi obtida através do portal oficial do INPE, para abranger toda a área dos três municípios alvo. Foi necessária apenas uma cena. A cena selecionada abrange toda a área dos municípios, e foi gerada pelo sensor no dia 06/11/2021. Como já descrito anteriormente, esse tipo de imagem possui resolução na banda pancromática de 2 metros, e na composição multiespectral de 8 metros, com uma largura de 92 Km de faixa imageada. Na figura 6 é possível observar a imagem com a banda pancromática já fundida e com o recorte da área de estudo.

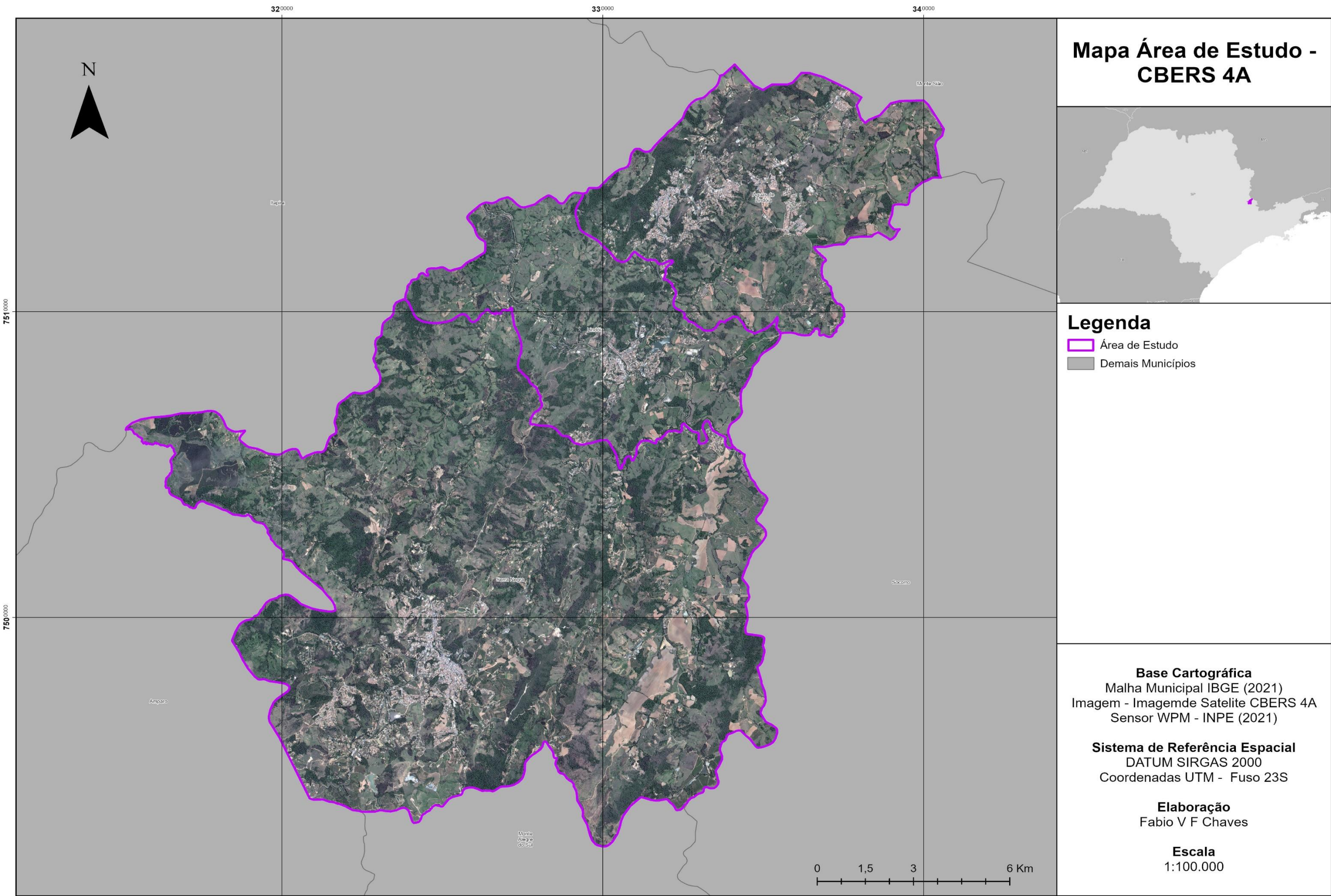


Figura 6 - Mapa de Localização da Área de Estudo e imagem CBERS 4A. Fonte: Fabio Vinicius Ferreira Chaves (2022)

4.4 Classificação GEOBIA

Diferente do método citado pelos autores (Ribeiro, et al., 2001) no item 3.7, a metodologia que será aplicada para classificação das imagens do sensor WPM do satélite CBERS 4 A, será análise de imagens com base em objetos geográficos é uma técnica relativamente recente e foi proposta por (Blaschke, et al., 2006) e (Hay, et al., 2008) a definem da seguinte forma:

“Análise de imagens baseada em objetivos geográficos (GEOBIA) é uma especialidade da Ciência de informação Geográfica (GIScience) dedicada ao desenvolvimento de métodos automatizados para particionar imagens de sensoriamento remoto em objetos significativos, e avaliar suas características através de escalas espaciais, espectrais e temporais, de modo a gerar nova informação geográfica em formato GIS” (Hay, et al., 2008 p. 77)

A segmentação da imagem é o principal procedimento que antecede a definição dos objetos. Desta forma, a segmentação é a divisão da imagem em várias regiões, gerando segmentos que apresentam uniformidade interna e contrastam com a sua vizinhança (Blaschke, et al., 2003; Cracknell, 1998), esta segmentação será utilizada para a construção de regiões que possuem diversas variáveis quantificáveis, como aspectos texturais, espectrais, geométricos, contextuais, entre outros.

A análise das diversas dimensões (espectral, espacial, morfológica e contextual) do segmento, é a principal vantagem do GEOBIA quando comparado às outras técnicas de classificação, entretanto, os resultados ainda podem ser manipulados em um SIG (Sistemas de Informações Geográficas) (Navulur, 2006). Apesar disso, o segmento em si não pode ser considerado um objeto, este, só adquire essa denominação quando a informação semântica é atribuída ao segmento (Araújo, et al., 2016).

O conceito de “objeto” é de extrema importância nas análises de GEOBIA, uma vez que a informação semântica não se encontra mais no pixel. Assim, o objeto pode ser definido como uma unidade de processamento com informação semântica e atributos quantificáveis (Blaschke, 2010).

As classificações de análise de imagens baseadas em objetos geográficos, apresentam uma estrutura e as relações entre as classes assumem duas formas: a rede hierárquica e a rede semântica.

As redes hierárquicas referem-se ao compartilhamento de operação entre classes genéricas e específicas de forma hierárquica, que permite um refinamento posterior das classificações, já a rede semântica, por sua vez, apresenta relações entre as classes que podem ser tanto hierárquicas como topológicas (Araújo, 2015)

“O que diferencia a análise de GEOBIA das demais técnicas é o fato de que a imagem que possui redes hierárquicas e semânticas é estruturada a partir da escala de análise da imagem empregada pelo executor. Assim, o software apresenta-se como um modelo de conhecimento que visa simular, em ambiente computacional, o processo cognitivo humano para interpretações de imagens de sensoriamento remoto. Em suma, o processo de segmentação e classificação da imagem poderá ter como base duas abordagens: uma mais específica, de baixo para cima (*bottom-up*) ou mais generalista (*top-down*) em relação à escala” (Novack, 2009)

No caso deste trabalho, foi adotada a abordagem *bottom-up*, pois o objetivo é identificar os padrões de ocupação do solo dos municípios de interesse.





4.5 Definição das classes de uso e cobertura do solo

Antes de ser iniciado o processo de segmentação e classificação é necessário que as classes nas quais a imagem será dividida já estejam definidas, e (Pinho, 2005) comenta em sua dissertação que:

“A caracterização das classes foi auxiliada pela elaboração de chaves de interpretação para cada uma das classes. Nestas chaves foram analisados os elementos de interpretação: cor, tamanho, forma, localização e textura” (Pinho, 2005).

E a autora apresenta modelos de chaves de interpretação com base nas coberturas de solo de interesse. Com base nessas chaves, foram elaboradas as chaves inéditas específicas para o presente trabalho com a definição das classes que serão utilizadas que podem ser observadas no Quadro 4:

Quadro 4: Chave de interpretação das classes de cobertura. Fonte: CHAVES, 2024, adaptado de (Pinho, 2005) e (Araújo, 2015).

Classe	Imagem WPM em composição RGB e fusão da banda pancromática	Localização/ contexto	Forma e Textura
Vegetação Arbórea (remanescentes de FODM)		Localizada dentro de quadras, mas seu dossel cobre parcialmente ou totalmente algumas ruas	Possui textura rugosa, com variação no tamanho dos elementos texturais dependendo do tipo de árvore
Vegetação Herbácea		Localizada dentro de quadras e ao longo de vias de acesso	Textura lisa
Corpos Hídricos		Localiza-se um pouco afastados do espaço intraurbano, próximos a área de vegetação arbórea e grama	Possui formato arredondado ou alongado e textura lisa
Área Construída		Ocorre como cobertura de edificações localiza-se dentro das quadras	Textura e tamanhos variados, e preferencialmente retangular

Solo Exposto		Localizado dentro de quadras em novos loteamentos, terrenos inutilizados ou em ruas não pavimentadas	Forma, textura e tamanhos variados
Agropecuária		Localizada no entorno do município distante do centro urbano	Forma e tamanho variados e textura lisa

Após a definição das classes de classificação foi definida uma hierarquia (figura 7) entre as classes, para melhor agrupá-las entre as que possuem parâmetros similares e facilitar o processo de classificação e diferenciação entre as mesmas

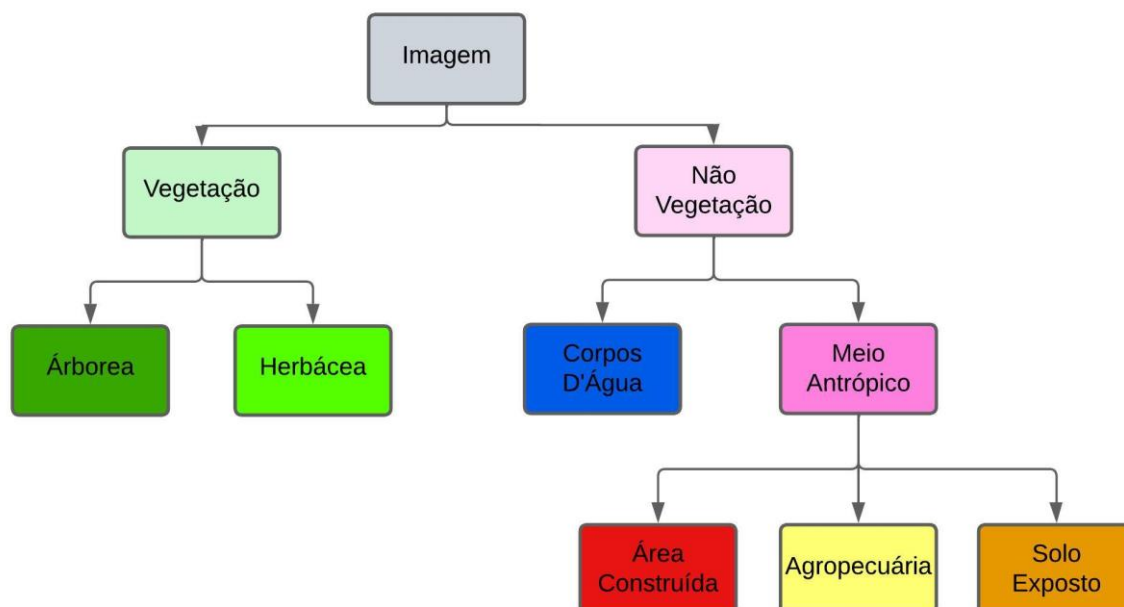


Figura 7 - Rede hierárquica das classes de cobertura. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)

Ao longo da análise de dados, os parâmetros que foram observados como mais indicados, foi o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o Brilho. O primeiro, é calculado a partir das bandas do infravermelho próximo, e é utilizado para realçar informações da vegetação, já o segundo, foi aplicado para separar áreas construídas, pelo fato de apresentarem alta resposta espectral (Salim, 2013). Foram utilizados valores mais elevados e brilho para a delimitação dessa classe.

4.6 Índice KAPPA

Para a avaliação da acurácia e qualidade das classificações, foi utilizado o índice *kappa* e a matriz de confusão. De acordo com (Araújo, 2015), este índice é o mais utilizado para a avaliação de mapas temáticos elaborados a partir de classificação de imagens de Sensoriamento Remoto.

Assim, o índice *kappa* é aplicado através de uma matriz de confusão. Segundo (Araújo, 2015), é uma amostra com o valor-verdade, coletado em campo, e outra com o valor estimado pelo processo de classificação. O índice é representado pela equação a seguir:

$$Kappa = \frac{P(O) - P(E)}{1 - P(E)}$$

Onde,

P(O): proporção observada de concordâncias (soma das respostas concordantes divididas pelo total);

P(E): proporção esperada de concordâncias (soma dos valores esperados das respostas concordantes divididas pelo total).

Landis & Koch, 1977 propõem uma tabela de interpretação dos valores índice *kappa*. Os valores variam de 0 a 1, onde 0 representa resultados sem nenhuma concordância e 1 representa concordância perfeita, como é possível ser verificado no Quadro 5 a seguir:

Quadro 5: Interpretação de valores de índice kappa. Fonte: Landis; Koch, 1977; n.33:159-174, tradução (Araújo, 2015).

Valores de Kappa	Interpretação
<0	Péssima

0,0 - 0,19	Ruim
0,20 - 0,39	Razoável
0,40 – 0,59	Bom
0,60 – 0,79	Muito Bom
0,80 – 1,00	Excelente

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Classificações de uso do solo

Após ser realizada a classificação com a aplicação do método GEOBIA, foi obtido um mapa temático do uso e cobertura da terra da área de estudo (municípios de Águas de Lindóia, Lindóia e Serra Negra), e o mapa foi construído a partir da aplicação das árvores de processos (figura 8) e se dividiram entre seis classes conforme apresentado anteriormente no Quadro 4.

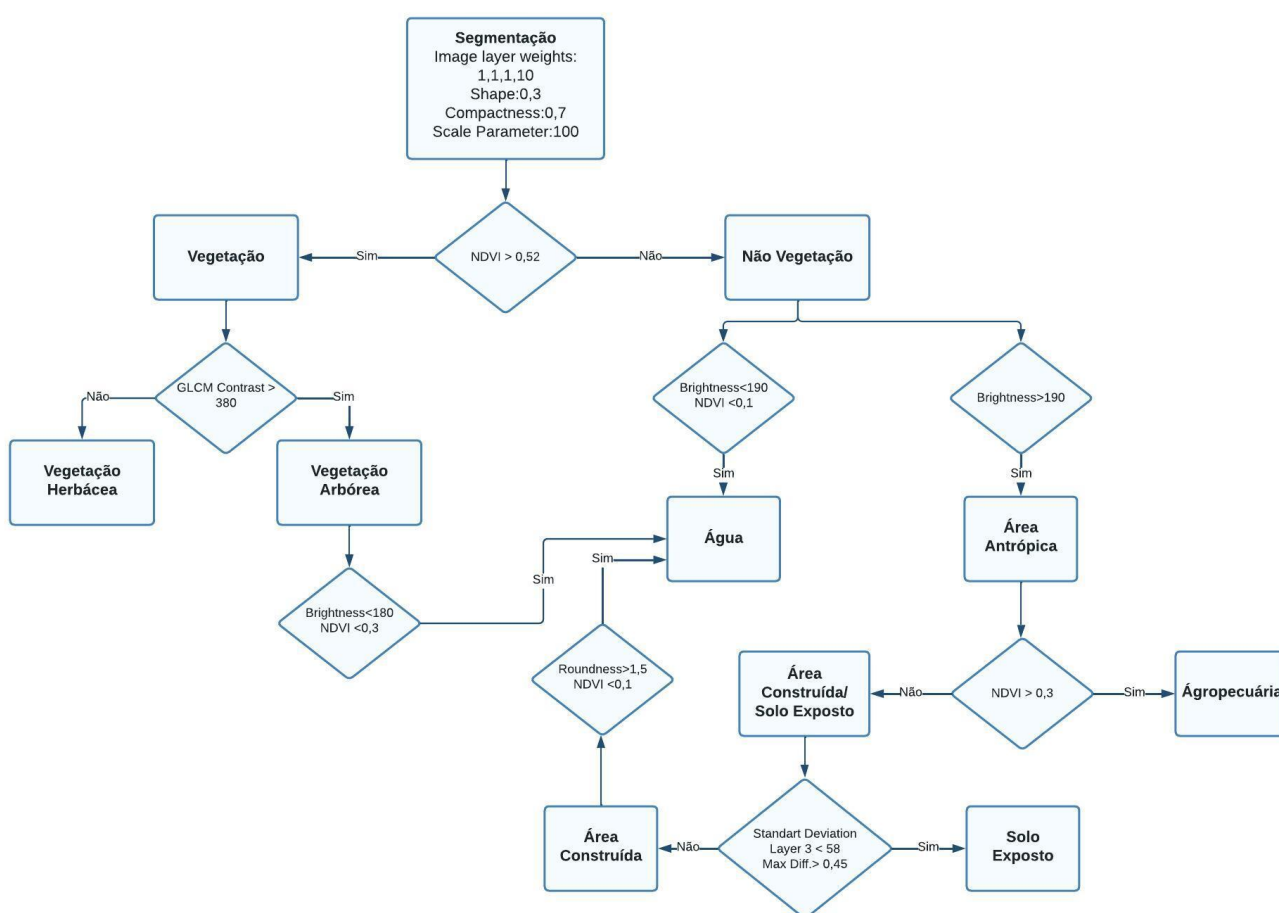


Figura 8 - Árvore de Processos. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)

Na etapa inicial da análise da imagem de satélite foi realizada a segmentação da imagem no software eCognition Developer 64, que é controlada pelos parâmetros escala, for e forma em que a escala controla a heterogeneidade máxima permitida por segmento, logo, deixar todos os parâmetros constantes em uma escala maior resulta em segmentos maiores (Kressler, et al., 2006).

Os parâmetros cor e forma somam um e determinam quanta informação de cor e forma é usada para o processo de segmentação, e mais especificamente, o segundo parâmetro citado, é dividido em compactidade e suavidade. Um alto valor de compactação leva a segmentos menores e muito compactos, sendo mais adequados para objetos feitos pelo homem, como por exemplo, nesta pesquisa as classes de solo exposto e área construída. Enquanto isso, um alto valor de suavidade leva a segmentos otimizados para ter bordas, sendo mais adequados para objetos naturais (Kressler, et al., 2006), como por exemplo, a vegetação arbórea e herbácea.

Ao longo da análise de dados, os parâmetros que foram observados como mais indicados, foram o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o Brilho. O primeiro, é calculado a partir das bandas do infravermelho próximo, e é utilizado para realçar informações da vegetação, já o segundo, foi aplicado para separar áreas construídas, pelo fato de apresentarem alta resposta espectral (Salim, 2013). Foram utilizados valores mais elevados de brilho para a delimitação dessa classe, e na figura 8 está exposta a árvore de processos, e todos os demais parâmetros aplicados à classificação.

Para maior facilidade na identificação das classes, na imagem já classificada, foram atribuídas cores a cada uma delas. Sendo assim, a vegetação arbórea corresponde ao verde escuro, e a vegetação herbácea ao verde mais claro, já a classe Corpos D'água está na cor azul escuro; na classe da área construída foi utilizado o vermelho, solo exposto foi empregada cor laranja e na classe agropecuária foi atribuído o amarela, e os mapas gerados pela segmentação e classificação estão expostos abaixo nas figuras 9, 10 e 11.

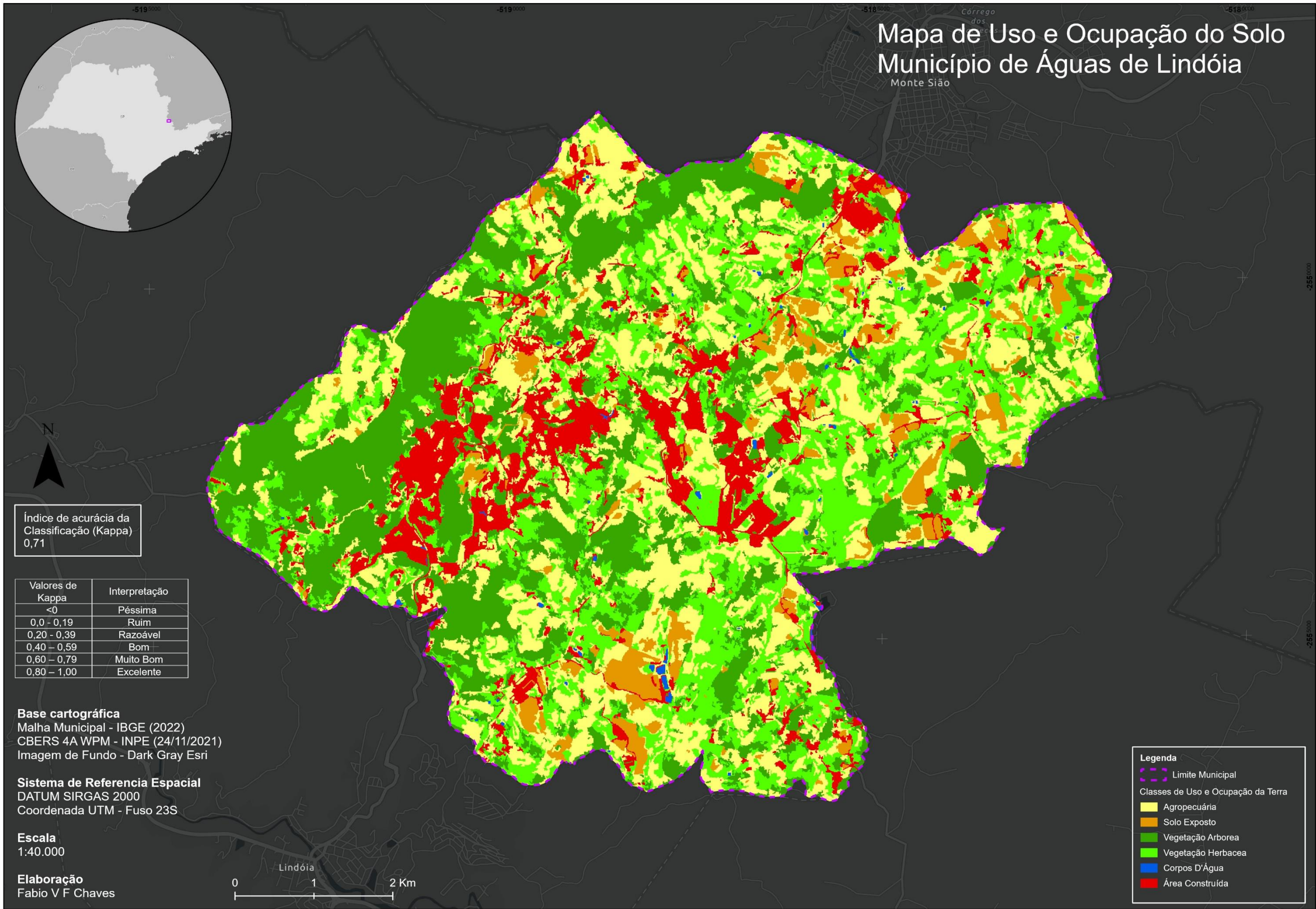


Figura 9 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A - Águas de Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)

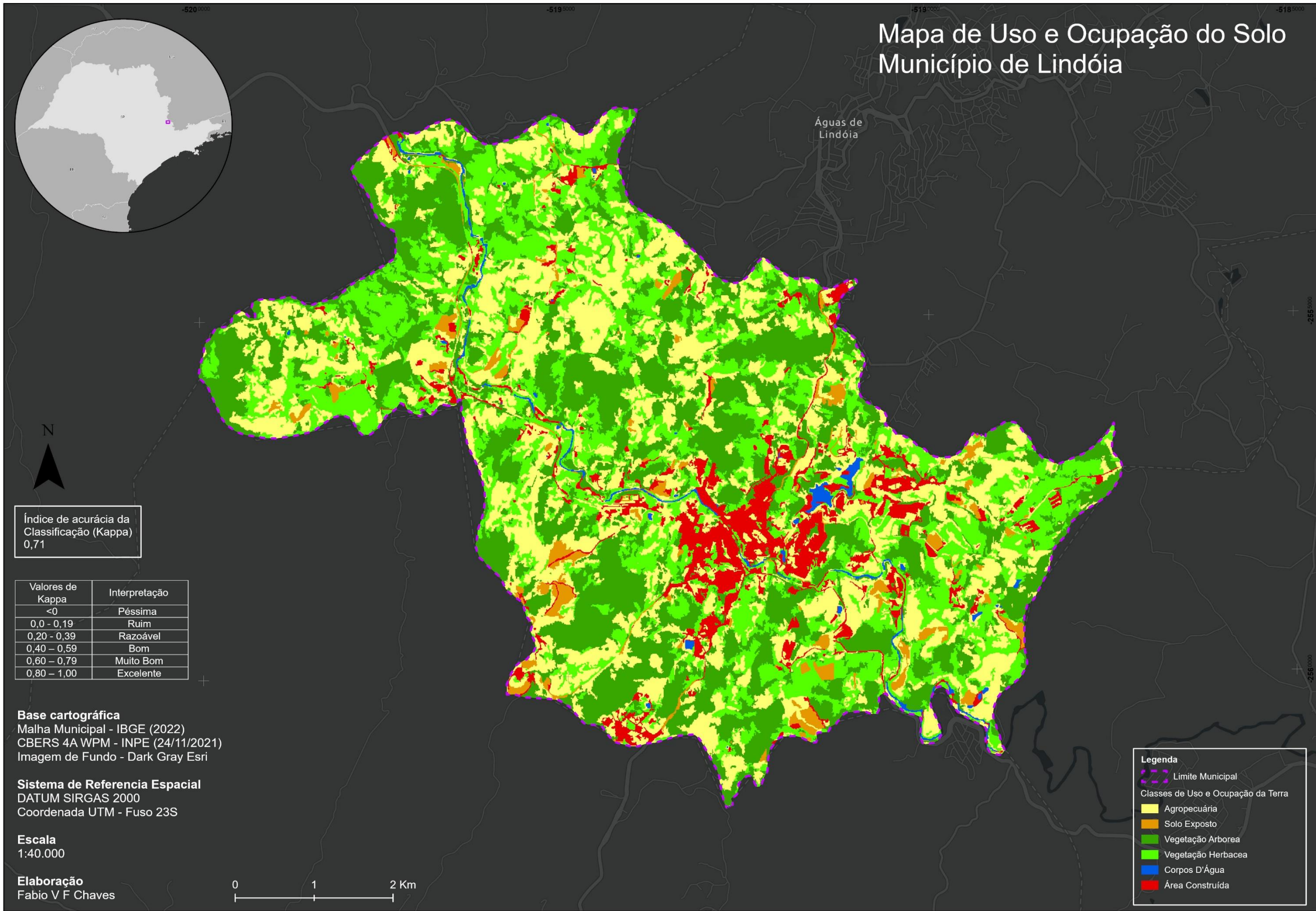


Figura 10 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A - Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).

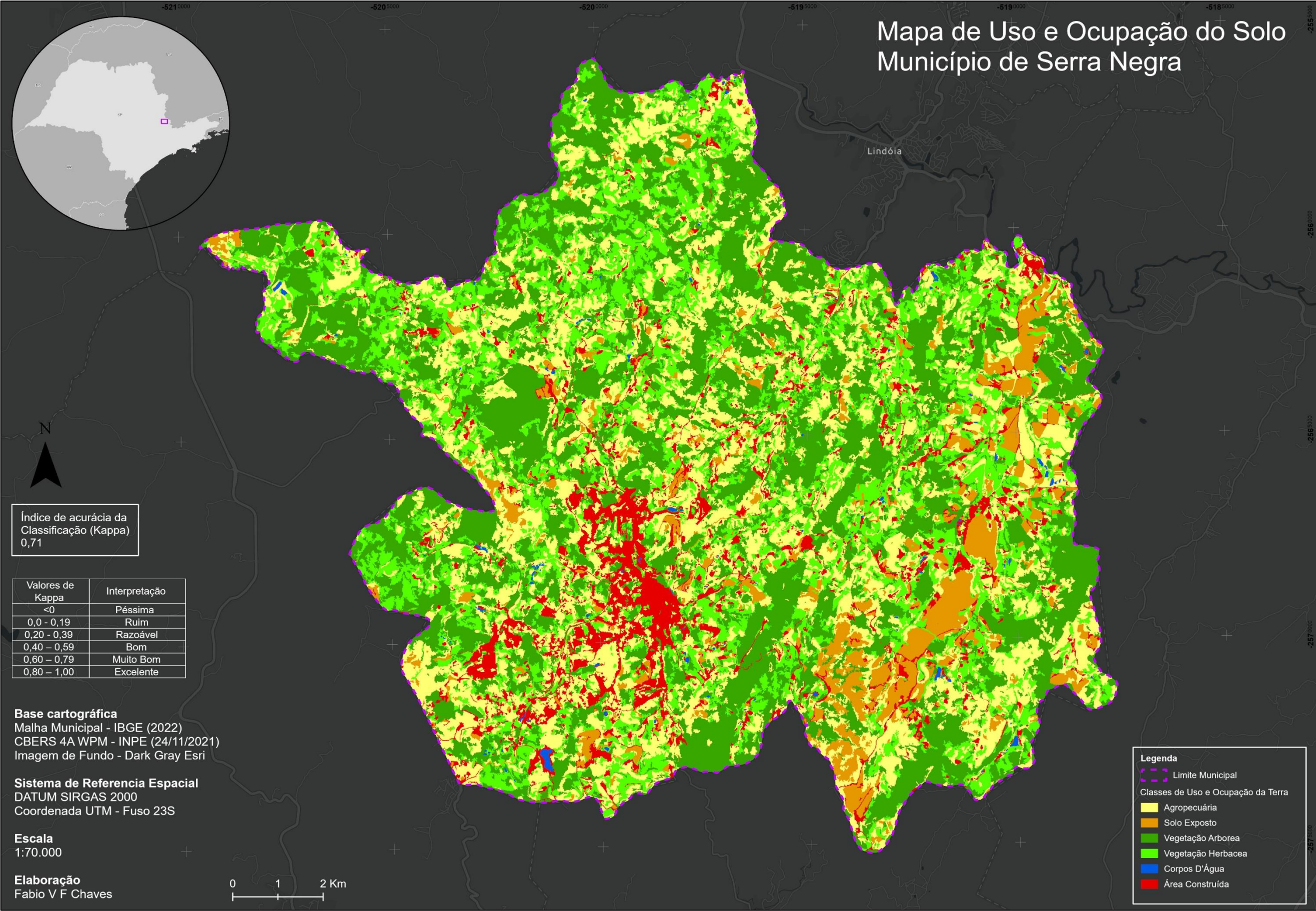


Figura 11 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A - Serra Negra. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).

Com o resultado da classificação de uso e ocupação da terra, é possível verificar que na região estudada, a classe definida como vegetação arbórea tem uma participação de certo destaque e essa informação é reforçada quando observado o quadro 6 e a figura 12, abaixo é especificado a participação de cada uma das classes na ocupação da terra na região.

Quadro 6: Área de cada uma das classes de cobertura do solo. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).

Classes	Área (km ²)	Área (%)
Vegetação Arbórea	104,39	33,40
Vegetação Herbácea	72,69	23,25
Corpos D'água	01,21	0,38
Agropecuária	87,64	28,04
Área Construída	26,93	08,62
Solo Exposto	19,73	06,31
Total	312,59	100

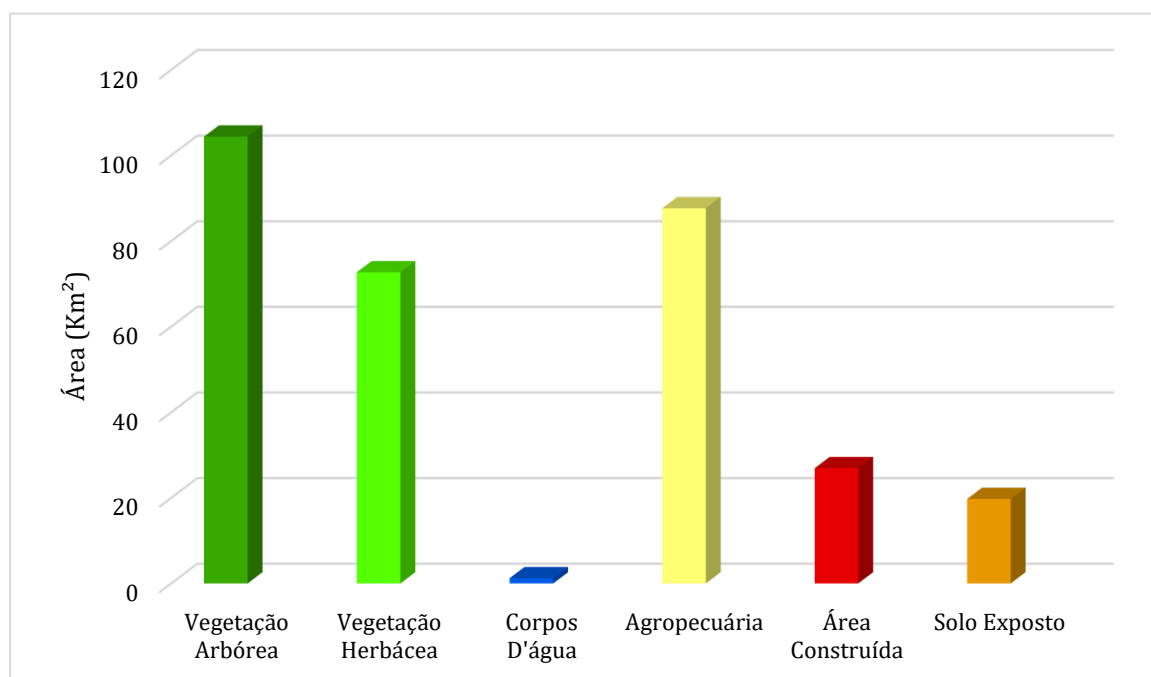


Figura 12 - Gráfico com a área de cada uma das classes de cobertura do solo. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).

5.2 Avaliação da Acurácia e Matriz de Confusão

Foi utilizado o índice Kappa para gerar uma matriz de confusão, tal índice foi utilizado para verificar o grau de acurácia do método aplicado, e pode ser dito que este índice, é uma técnica poderosa em sua capacidade de fornecer informações sobre uma única matriz, bem como comparar matrizes estatisticamente (Congalton, 1991).

A matriz de confusão como descrito por (Lillesand, et al., 1994), seria uma tabela que permite comparar as classes verdadeiras com as classes atribuídas pela classificação utilizada, logo permite comparar a realidade do uso do solo com o que foi definido pela classificação, e (Araújo, 2015) diz, ela apresenta a exatidão de cada classe com os erros de comissão (quando um elemento é incluído em uma classe à qual não pertence) e omissão (quando o elemento é excluído da classe à qual ele pertence).

E os autores (Lillesand, et al., 1994) ,também descrevem que com a matriz de confusão é possível calcular as medidas descritivas como a exatidão do produto (Ep) que seria a razão entre o número de elementos classificados corretamente em uma determinada classe pelo número de elementos de referência amostrados para a mesma categoria, e essa medida reflete os erros ocorridos na omissão e a porcentagem de acerto para cada classe e para essa quantificação é aplicada pela seguinte equação:

$$Ep = \frac{X_{ii}}{X_{+i}}$$

Onde:

X_{ii} : Número de elementos classificados corretamente

X_{+i} : Total de elementos de referência amostrados para uma categoria i

E para aplicar tal índice foram definidos pontos de controle ou validação, dentro do recorte da imagem de satélite, espalhados de forma aleatória e proporcional dentro da imagem classificada, dito isso, classes que têm maior área dentro da classificação, consequentemente tem mais pontos atrelados a ela.

Araújo (2015) completa em sua tese que, sem os procedimentos que avaliam uma classificação e sem uma matriz de confusão as classificações de imagens coletadas pelo sensoriamento remoto podem apresentar erros graves e uma baixa qualidade de acurácia, e dessa forma podendo gerar desconfiança sobre os resultados apresentados.

E de acordo com as informações discutidas anteriormente em relação a matriz de confusão, a matriz construída no presente trabalho está apresentada no Quadro 7, na qual foi atingido um valor de *Kappa* de 0,71 que de acordo com os parâmetros definidos por (Landis, et al., 1977), está na categoria muito boa (Quadro 5).

Quadro 7: Matriz de Confusão

Classes	Vegetação Arbórea	Vegetação Herbácea	Corpos D'Água	Agropecuária	Área Construída	Solo Exposto	Total
Vegetação Arbórea	99	15	0	6	3	2	125
Vegetação Herbácea	16	67	1	2	0	2	88
Corpos D'Água	0	0	11	0	0	0	11
Agropecuária	15	2	2	78	9	0	106
Área Construída	0	0	0	0	28	4	32
Solo Exposto	0	1	0	1	2	20	24
Total	130	85	14	87	42	28	386
<i>Kappa</i>	0,718						

Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)

5.3 Análise da classificação e a mineração de água

A análise dos dados citados anteriormente é possível observar que ocorre uma certa confusão entre algumas classes, como vegetação arbórea e herbácea, e vegetação arbórea e agropecuária, contudo, mesmo com essa confusão entre elas, o resultado obtido por meio da classificação do uso e cobertura da terra nos municípios de Águas de Lindóia, Lindóia e Serra Negra alcançou um índice Kappa de 0,718, que de acordo com o quadro 5 de (Landis, et al., 1977) é um valor muito bom, e evidencia a qualidade da classificação e demonstra como o método GEOBIA foi eficiente.

Com a classificação finalizada, e demonstrada sua qualidade, o ponto proposto inicialmente era, verificar se a mineração de água mineral na região demonstra algum tipo de padrão no uso e ou ocupação do solo que reduza a cobertura vegetal presente, e para verificar

essa ocupação, as figuras 13, 14 e 15 trazem a classificação finalizada sobreposta com os processos minerários de extração de água mineral da ANM.

Quando o mapa é examinado mais atentamente, pode-se notar que não teria um padrão específico na ocupação do solo nas localidades onde encontramos os processos, logo, podemos dizer que não haveria uma relação direta entre a extração de água mineral e a cobertura vegetal nas imediações. Caso haja impacto relacionado a extração de água mineral seria por efeitos na implementação do empreendimento, instalação de galpão, entrada e saída de caminhões que distribuem o produto engarrafado.

É importante ressaltar que o emprego da abordagem GEOBIA permitiu automatizar a separação das seis classes previamente definidas. Essa automatização resultou em uma economia significativa de tempo em comparação com o mapeamento manual da cobertura do solo. Além disso, a qualidade da imagem utilizada, que possui uma resolução de 2 metros ao integrar a imagem multiespectral com a banda pancromática, contribui para a eficácia do processo. Esse método não somente é mais eficiente temporalmente, mas também proporciona uma resolução espacial de alta qualidade e está disponível gratuitamente para toda a população.

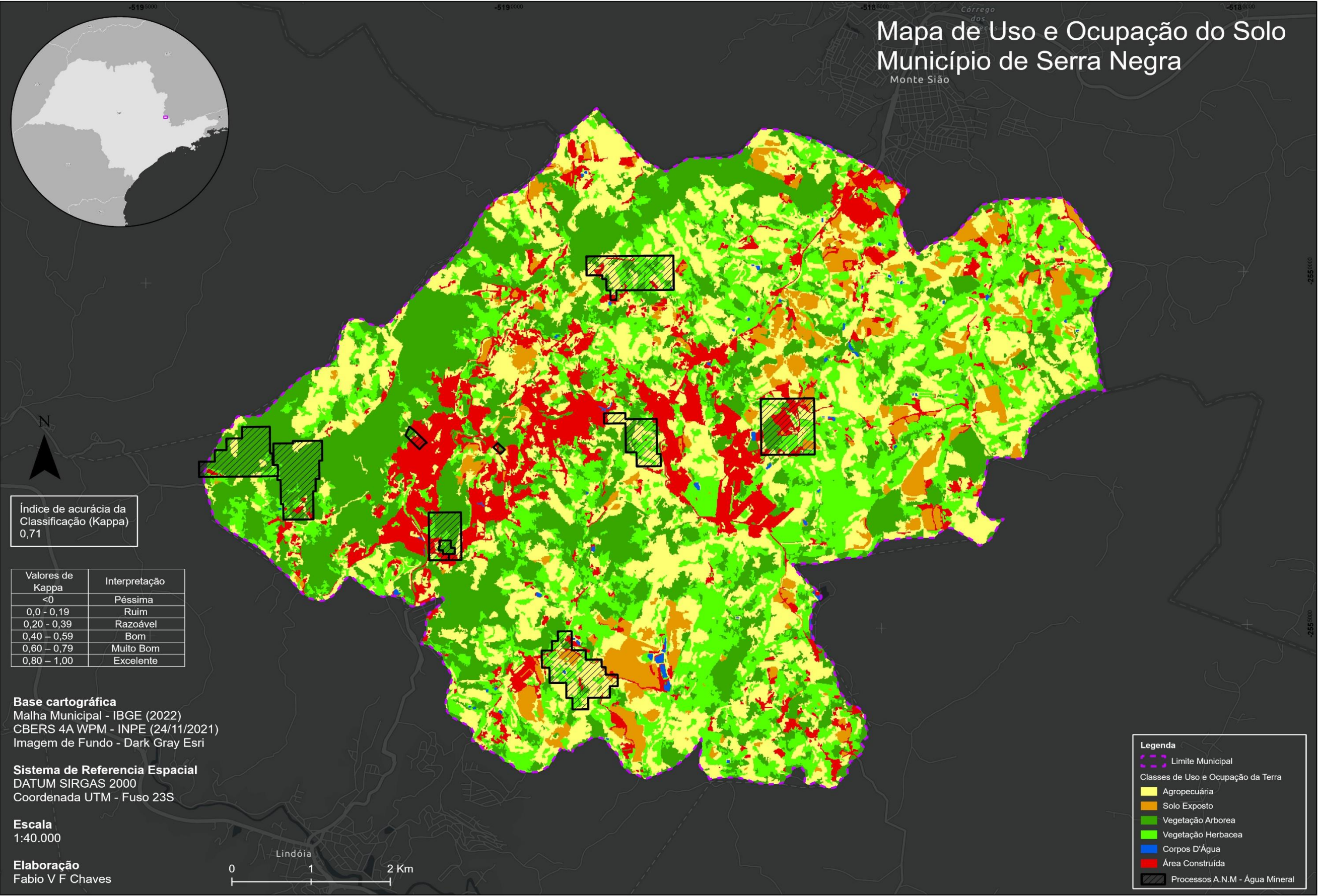


Figura 13 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A e Processos Minerários - Águas de Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023).

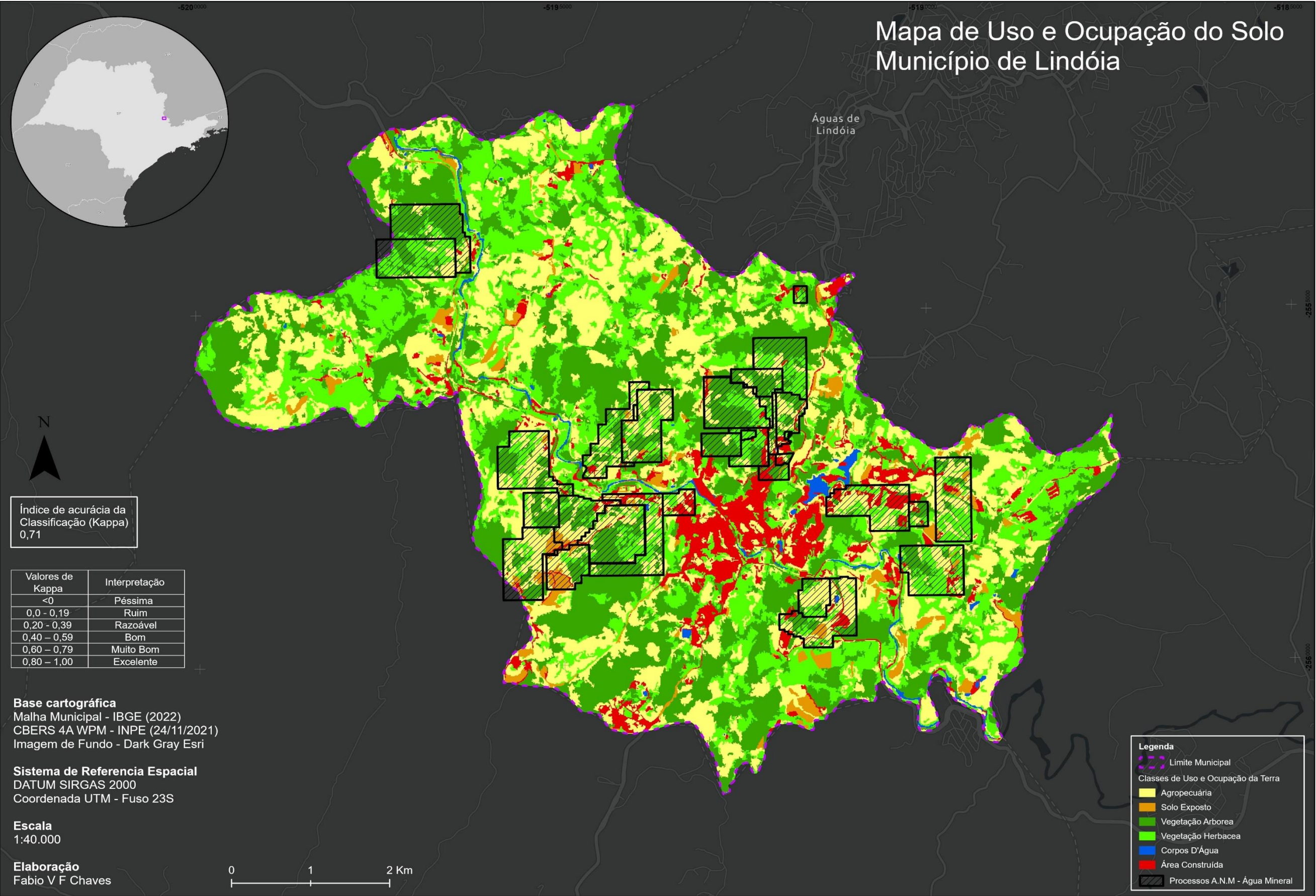


Figura 14 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A e Processos Minerários - Lindóia. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)

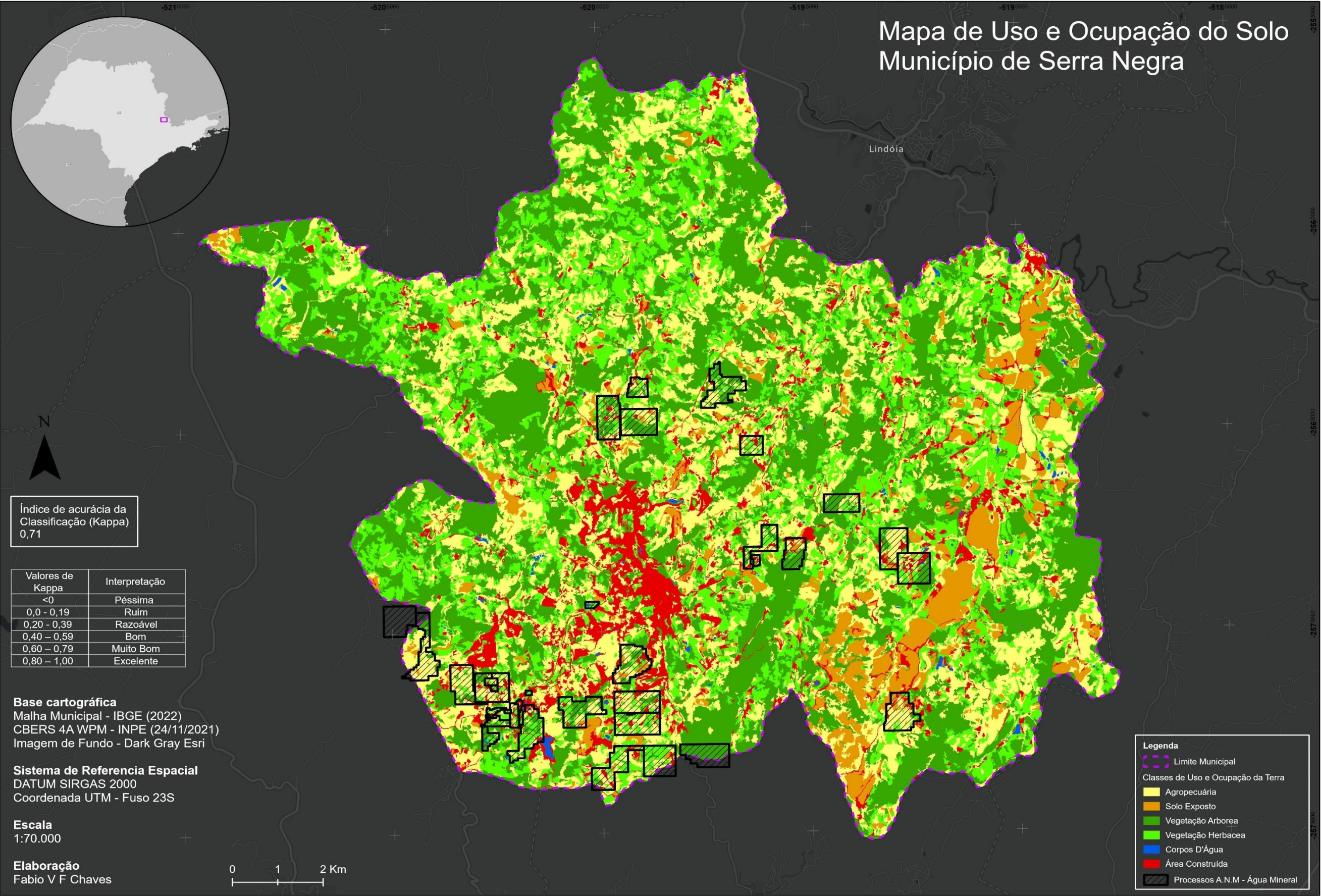


Figura 15 - Mapa de uso e cobertura da terra para imagem do satélite CBERS 4A e Processos Minerários - Serra Negra. Fonte: Fábio Vinicius Ferreira Chaves (2023)

6 CONCLUSÃO

Após todo o debate realizado, fica claro que a imagem do satélite CBERS 4A e o método GEOBIA possuem boa qualidade no que se diz respeito análise de uso e ocupação da terra, e que essas ferramentas podem ser utilizadas em análises sistemáticas, não só para mineração, mas também no processo de licenciamento ambiental como um todo, com foco em automatizar e melhorar a qualidade da análise da cobertura vegetal.

Vale mencionar que outra opção de satélite com cenas de acesso gratuito é a coleção LANDSAT. No entanto, é importante notar que a resolução espacial dessa coleção é de 30 metros por pixel na faixa multiespectral. Na versão mais recente da coleção, LANDSAT 9, a resolução máxima pode ser melhorada para 15 metros por meio da fusão da imagem multiespectral com a pancromática. A diferença entre as resoluções das duas imagens quando a banda pancromática é combinada pode ser observada na Figura 16.

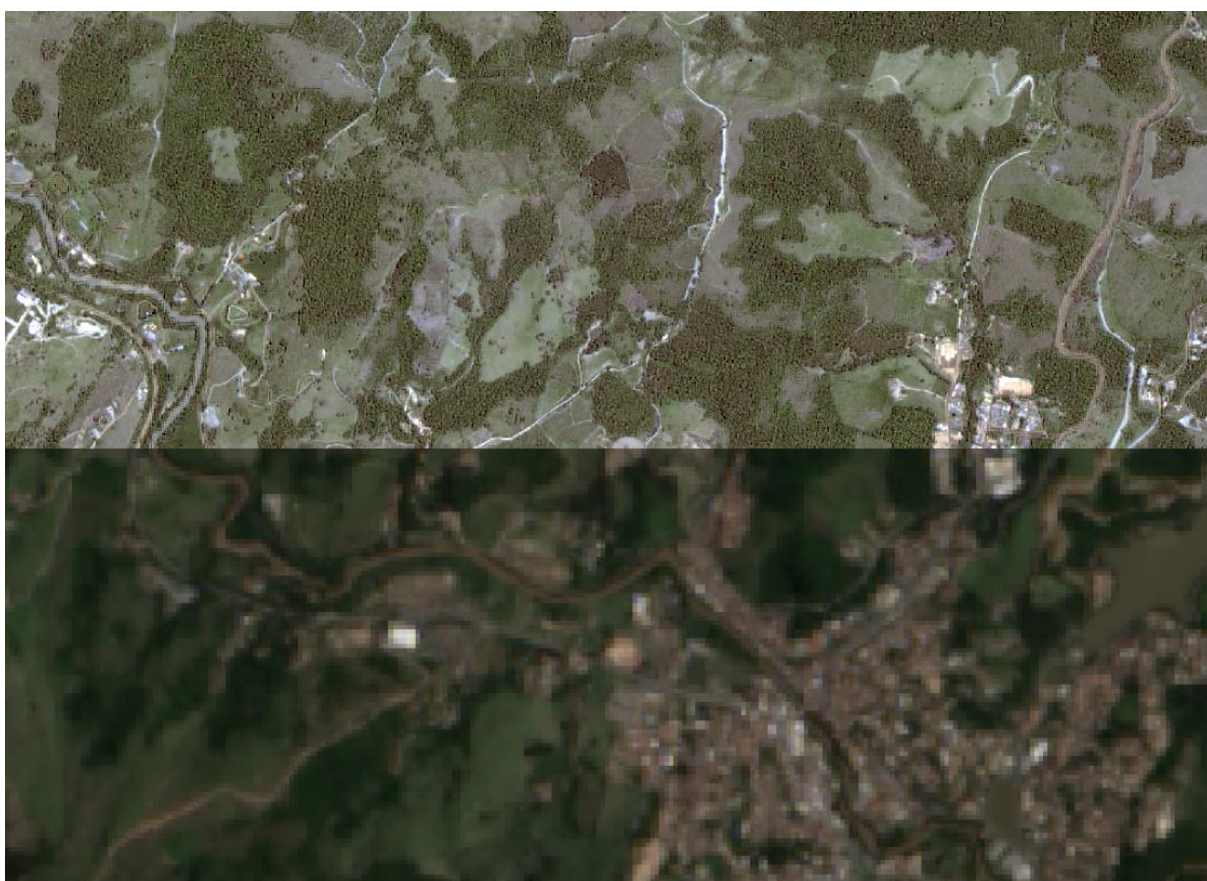


Figura 16 - Comparativo entre as imagens dos satélites CBERS 4ª (Acima), e LANDSAT 8 (abaixo). Fonte: INPE (2022); USGS (2021).

Esse contexto ressalta a importância da escolha do método e do sensor de imagem adequados para as necessidades específicas de mapeamento e monitoramento, levando em

consideração tanto a qualidade das informações geradas quanto a eficiência do processo. Com base na Figura 9, fica evidente a comparação entre as imagens provenientes do Landsat 9 e do CBERS 4A. Essa análise visual reforça de maneira clara a superioridade da qualidade da imagem gerada pelo CBERS 4A. Portanto, considerando tal discrepância, a utilização da imagem do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para um mapeamento sistemático do uso e ocupação da terra promete um salto considerável na precisão do monitoramento da cobertura vegetal em âmbito nacional.

Vale mencionar também que a relevância das imagens do Landsat transcende a mera comparação. Essas imagens desempenham um papel fundamental no contexto do projeto MAPBIOMAS, uma plataforma de destaque que se dedica à produção sistemática de diversos mapas temáticos. Entre esses, destaca-se o monitoramento de desmatamento, mudanças no uso e ocupação da terra, e outros temas afins.

Nesse sentido, a Figura 16 enfatiza de maneira visual e concreta as diferenças notáveis entre as imagens do Landsat 9 e do CBERS 4A, conferindo ainda mais embasamento à importância do uso dessas tecnologias para a geração de informações precisas e confiáveis sobre a dinâmica ambiental e territorial do país.

Portanto, investir em tecnologias como o CBERS 4A torna-se imperativo para viabilizar um monitoramento abrangente das transformações na cobertura vegetal em todo o território nacional. Além disso, a existência de plataformas similares ao MAPBIOMAS, bem como o engajamento de órgãos públicos, revela-se cruciais. Essas iniciativas desempenham um papel essencial na prevenção do crescimento do desmatamento e na preservação de ecossistemas nativos.

Essas medidas também desempenham um papel crucial na análise de processos de licenciamento ambiental, acelerando a resolução e, assim, desencorajando atividades prejudiciais ao meio ambiente. Essa abordagem proativa é fundamental para manter a integridade dos ecossistemas e para evitar práticas prejudiciais que possam comprometer a sustentabilidade ambiental.

Nesse sentido, o investimento em tecnologias avançadas, como o CBERS 4A, e a promoção de plataformas colaborativas, como o MAPBIOMAS, refletem um compromisso com a preservação ambiental e a promoção do desenvolvimento sustentável. A conjugação

desses esforços contribui para a construção de um futuro mais resiliente, onde a conservação do meio ambiente e a harmonia dos ecossistemas são prioridades incontestáveis.

7 REFERÊNCIAS

- Ambrósio, Ana Paula. 2008.** A Pluriatividade e a Reestruturação Produtiva: Transformações no Meio Rural da Região do “Circuito das Águas Paulista”. *REDD - Revista Espaço de Diálogo e Desconexão*. 2008.
- Araújo, Agnes Silva. 2015.** *Cobertura da terra intraurbana para inferências sobre a qualidade de vida na cidade de Marília/SP*. São Paulo : Departamento de Geografia da faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2015.
- Araújo, Agnes Silva e Luchiari, Ailton. 2016.** Elaboração de mapa de cobertura da terra intraurbana com base em análise baseada em objetos (OBIA) para inferências sobre o uso na cidade de Marília/SP. Maio/Agosto de 2016, pp. 241-260.
- Blaschke, Thomas e Burnett, Carolyn. 2003.** A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. *ScienceDirect*. 2003, pp. 233-249.
- Blaschke, Thomas e Drăguț, Lucian. 2006.** Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *ScienceDirect*. 29 de Novembro de 2006, pp. 330-344.
- Blaschke, Thomas. 2010.** Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*. 2010, pp. 2-16.
- Circuito das Águas Paulista. 2021.** Águas de Lindóia. [Online] 2021. [Citado em: 7 de Junho de 2023.] <https://www.circuitodasaguaspaulista.sp.gov.br/cidade/aguas-de-lindoiia>.
- Congalton, Russell G. 1991.** A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote sensing of environment*. 1991, Vol. 37, pp. 35-46.
- Cracknell, Arthur P. 1998.** Synergy in remote sensing –What’s in a pixel? *International Journal of Remote Sensing*. 1998, pp. 2025-2047.
- Dias, Claudio Luiz, et al. 2004.** Restrições de uso e ocupação do solo em áreas de proteção de aquíferos: Conceitos, legislação e proposta de aplicação no estado de São Paulo. *Águas Subterrâneas*. 20 de 09 de 2004.
- Engesat. 2023.** Imagem de Satelite - Landsat 8. [Online] 2023. [Citado em: 29 de Maio de 2023.] <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/landsat-8/>.
- . **2023.** Programação de Imagens de Satélite . [Online] 2023. [Citado em: 24 de Maio de 2023.] <https://www.engesat.com.br/programacao-de-imagens-de-satelite/>.
- Farias, Carlos Eugênio Gomes e Coelho, José Mário. 2002.** *Mineração e meio ambiente no Brasil*. s.l. : CGEE-PNUD, 2002.
- Hager, Francis Priscilla Vargas et al. 2002.** A problemática da gestão das águas subterrâneas no Brasil. *Águas Subterrâneas*. 26 de 07 de 2002.
- Hay, Geoffrey J. e Castilla, Guillermo. 2008.** Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): A new name for a new discipline. In: Object-based image analysis: Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. *Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg*. 2008, pp. 75-89.

- IBGE. 2023.** IBGE - Cidades. [Online] 2023. [Citado em: 30 de Maio de 2023.] <https://cidades.ibge.gov.br/>.
- INPE. 2022.** INPE/CBERS 4A. [Online] 2022. [Citado em: 26 de Maio de 2022.] <http://www.cbers.inpe.br/sobre/cbers04a.php>.
- Kressler, Florian P. e Steinnocher, Klaus. 2006.** Image data and LIDAR—an ideal combination matched by object oriented analysis. *Geographic Object-Based Image Analysis, Salzburg University, Austria*. 2006.
- Landis, J. Richard e Koch, Gary G. 1977.** The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*. 1977, pp. 159-174.
- Lillesand, Thomas, Kiefer, Ralph W. e Chipman, Jonathan. 1994.** Remote sensing and image interpretation. *John Wiley & Sons*. 3, 1994.
- Meneses, Paulo Roberto e Almeida, Tati de. 2012.** *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília : Universidade de Brasília, 2012.
- Navulur, Kumar. 2006.** *Multispectral Image Analysis Using the Object-Oriented Paradigm*. s.l. : CRC press, 2006.
- Novack, Tessio. 2009.** Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor QuickBird. *Dissertação de Mestrado*. 2009.
- Pinho, Carolina Moutinho Duque de. 2005.** *Análise orientada a objetos de imagens de satélites de alta resolução espacial aplicada à classificação de cobertura do solo no espaço intra-urbano: o caso de São José dos Campos*. São José dos Campos : Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005. p. 179.
- Pinto, Victor Grannier Bittencourt e Criscuolo, Cristina. 2020.** Caracterização da Agricultura nos Municípios do Circuito das Águas Paulista como Apoio ao Turismo Rural. *Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica – CIIC 2020*. 2020.
- Ribeiro, Selma Regina Aranha e Centeno, Jorge Silva. 2001.** Classificação do uso do solo utilizando redes neurais e o algoritmo MAXVER. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 2001.
- Rosa, Roberto e Brito, Jorge Luis Silva. 2013.** *Introdução ao geoprocessamento*. Uberlândia : UFU, 2013.
- Rosemback, Roberta, França, Andreia Maria Silva e Florenzano, Teresa Gallotti. 2005.** Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 2005, pp. 1075-1082.
- Ross, Jurandyr Luciano Sanches e Moroz, Isabel Cristina. 1997.** Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo. *Departamento de Geografia-FFLCH-USP/IPT/FAPESP*. 1997.
- Rouse, John Wilson, et al. 1974.** *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. 1. Texas : NASA, 1974.
- Salim, Aline. 2013.** *Caracterização do uso da terra em periferias urbanas utilizando geotecnologias: bacia do Reservatório Guarapiranga*. São Paulo : Departamento de Geografia da faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, 2013.

Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. 2020. Novo Inventário Florestal do ESP Aponta Crescimento de 214 Mil Hectares de Vegetação Nativa no Território Paulista. [Online] 2020. <https://semil.sp.gov.br/2020/08/novo-inventario-florestal-do-esp-aponta-crescimento-de-214-mil-hectares-de-vegetacao-nativa-no-territorio-paulista/>.

Teixeira, César Valdenir e Castro, Carlos Eduardo de. 2003. Geoprocessamento no licenciamento ambiental: estudo de caso—mineração. *XI Congresso de Cartografia*. 2003.

USGS. 2021. Landsat 9. [Online] 2021. [Citado em: 28 de Maio de 2023.] <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-9>.

—. **2023.** Landsat Satellite Missions. [Online] 2023. [Citado em: 27 de Maio de 2022.] <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>.