



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JOELSON DE SOUZA PASSOS

ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL EM REMANESCENTES DE CERRADO
POR MEIO DE AVALIAÇÃO IN LOCO E SENSORES REMOTOS
MULTIESCALARES

GOIÂNIA

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO (TECA) PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TESES

E DISSERTAÇÕES NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a [Lei 9.610/98](#), o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo das Teses e Dissertações disponibilizado na BDTD/UFG é de responsabilidade exclusiva do autor. Ao encaminhar o produto final, o autor(a) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do material bibliográfico

Dissertação Tese Outro*: _____

*No caso de mestrado/doutorado profissional, indique o formato do Trabalho de Conclusão de Curso, permitido no documento de área, correspondente ao programa de pós-graduação, orientado pela legislação vigente da CAPES.

Exemplos: Estudo de caso ou Revisão sistemática ou outros formatos.

2. Nome completo do autor

Joelson de Souza Passos

3. Título do trabalho

Análise da qualidade ambiental em remanescentes de Cerrado por meio de avaliação in loco e sensores remotos multiescalares

4. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador)

Concorda com a liberação total do documento SIM NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante:

a) consulta ao(a) autor(a) e ao(a) orientador(a);

b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo da tese ou dissertação. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro;
- Publicação da dissertação/tese em livro.

Obs. Este termo deverá ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Eduardo Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 07/08/2025, às 11:15, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Joelson De Souza Passos, Discente**, em 08/08/2025, às 13:06, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5553766** e o código CRC **27C33D03**.

Referência: Processo nº 23070.009132/2024-54

SEI nº 5553766

JOELSON DE SOUZA PASSOS

**ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL EM REMANESCENTES DE CERRADO
POR MEIO DE AVALIAÇÃO IN LOCO E SENSORES REMOTOS
MULTIESCALARES**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia.

Área de concentração: Natureza e Produção do Espaço

Linha de pesquisa: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica

Orientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Andrelisa Santos de Jesus

Goiânia

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Passos, Joelson de Souza
ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL EM REMANESCENTES
DE CERRADO POR MEIO DE AVALIAÇÃO IN LOCO E SENSORES
REMOTOS MULTIESCALARES [manuscrito] / Joelson de Souza
Passos. - 2025.
252 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira; co-orientadora Dra.
Andrelisa Santos de Jesus.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de
Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em
Geografia, Goiânia, 2025.

Bibliografia. Apêndice.

Inclui siglas, mapas, fotografias, abreviaturas, símbolos, gráfico,
tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Ativos Ambientais. 2. Conservação. 3. Savana. 4. Satélite. 5.
PAR. I. Ferreira, Manuel Eduardo, orient. II. Título.

CDU 911



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIO-AMBIENTAIS

ATA DE DEFESA DE TESE

Ata Nº **20/2024** da sessão de Defesa de Tese de **Joelson de Souza Passos** que confere o título de Doutor em **Geografia**, na área de concentração em **Natureza e Produção do Espaço**.

Aos **cinco dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e quatro**, a partir das **14 horas**, por meio de **videoconferência** (<https://meet.google.com/nao-iamj-vng>), realizou-se a sessão pública de Defesa de Tese intitulada “**Análise da qualidade ambiental de remanescentes do cerrado por meio de protocolos e sensores remotos multiescalares**”. Os trabalhos foram instalados pelo Orientador, Professor Doutor **Manuel Eduardo Ferreira (IESA/UFG)**, com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Professora Doutora **Karla Maria Silva de Faria (IESA/UFG)**, membro titular interno; Professor Doutor **Guilherme Taitson Bueno (IESA/UFG)**, membro titular interno; Professor Doutor **Rherison Tyrone Silva Almeida (IESA/UFG)**, membro titular externo; Professor Doutor **Cleberison Ribeiro de Jesus (Geografia/UFMT)**, membro titular externo. Registra-se também a participação da Professora Doutora **Andrelisa Santos de Jesus (IESA/UFG)**, Co-orientadora desta tese de doutorado. Durante a arguição, os membros da banca fizeram sugestão de alteração do título do trabalho. A Banca Examinadora reuniu-se em sessão secreta a fim de concluir o julgamento da Tese, tendo sido o candidato **aprovado** pelos seus membros. Proclamados os resultados pelo Professor Doutor **Manuel Eduardo Ferreira**, Presidente da Banca Examinadora, foram encerrados os trabalhos e, para constar, **lavrou-se a presente ata, que é assinada pelos Membros da Banca Examinadora aos cinco dias do mês de abril do ano de dois mil e vinte e quatro**.

TÍTULO SUGERIDO PELA BANCA

Análise da qualidade ambiental em remanescentes de Cerrado por meio de avaliação in loco e sensores remotos multiescalares



Documento assinado eletronicamente por **Rherison Tyrone Silva Almeida, Professor do Magistério Superior**, em 07/08/2025, às 10:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Manuel Eduardo Ferreira, Professor do Magistério Superior**, em 07/08/2025, às 11:19, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Karla Maria Silva De Faria, Professora do Magistério Superior**, em 11/08/2025, às 08:57, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Taitson Bueno, Vice-Coordenador**, em 14/08/2025, às 10:12, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5554049** e o código CRC **20744E5A**.

Referência: Processo nº 23070.009132/2024-54

SEI nº 5554049

JOELSON DE SOUZA PASSOS

**ANÁLISE DA QUALIDADE AMBIENTAL EM REMANESCENTES DE CERRADO
POR MEIO DE AVALIAÇÃO IN LOCO E SENSORES REMOTOS
MULTIESCALARES**

COMPOSIÇÃO DA BANCA DE DEFESA DA TESE

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Doutor em Geografia, aprovada pela banca examinadora composta pelos seguintes professores:

Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira

Orientador – PPGeo/IESA

Prof.^a Dr.^a Andrelisa Santos de Jesus

Co-orientadora – PPGeo/IESA

Prof.^a Dr.^a Karla Maria Silva de Faria

Membro Interno – PPGeo/IESA

Prof. Dr. Guilherme Taitson Bueno

Membro Interno – PPGeo/IESA

Prof. Dr. Rherison Tyrone Silva Almeida

Membro Externo – CIAMB/IESA

Prof. Dr. Cleberson Ribeiro de Jesus

Membro Externo – ICHS/UFMT

Dedico esta Tese, fruto de anos de esforço e dedicação, aos meus amados pais, Maria Gorete e Joel Passos, por terem sido meu alicerce inabalável, a fonte inesgotável de apoio, amor e inspiração.

E em memória eterna de meus avós, que me precederam e cuja vida me inspira:

Aos meus avós paternos, Benvindo de Souza Passos e Custódia Rodrigues dos Passos.

Aos meus avós maternos, Regina Canova Soligo e Dionisio Domingos Soligo.

AGRADECIMENTOS

A Deus, minha profunda gratidão pela força, sabedoria e oportunidade concedidas para completar esta Tese. Sua presença foi a disciplina e a luz que guiaram todo o processo, desde o início até a conclusão. A Ele, o mérito por ter me capacitado e por ter colocado as pessoas certas no meu caminho para o apoio necessário.

Desejo expressar minha imensa e profunda gratidão a todos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte e contribuíram para esta trajetória acadêmica, que totaliza um mínimo de quatro anos apenas nesta última etapa. Foram muitas as pessoas envolvidas – desde professores e colegas, até técnicos administrativos, amigos e familiares – e embora seja impossível listar todos os nomes neste espaço, saibam que sou infinitamente grato a cada um que dedicou tempo, forneceu apoio logístico, compartilhou conhecimento, ofereceu uma palavra de incentivo, ou simplesmente acreditou em mim. O sucesso desta Tese é, em parte, reflexo da generosidade e do auxílio de todos vocês.

Em especial, expresso minha imensa gratidão ao meu orientador e amigo, Professor Dr. Manuel Eduardo Ferreira. Sou grato, primeiramente, por ter me aceito como seu orientando e por me ter inserido no ambiente altamente produtivo do Grupo de Pesquisa PROVANT, no Laboratório LAPIG. Sua orientação foi um dos pilares para o desenvolvimento da pesquisa, caracterizada por qualidade e dedicação inabaláveis. Agradeço imensamente pelas orientações, sugestões e correções, especialmente aquelas disponibilizadas fora do horário convencional. Agradeço pelo companheirismo excepcional e, sobretudo, pela paciência inesgotável, essenciais para a conclusão da minha Tese.

Agradeço, imensamente, à minha coorientadora, Professora Dra. Andreilisa Santos de Jesus. Sua participação foi ativa e intensa na elaboração da minha pesquisa, oferecendo um apoio contínuo e decisivo desde a definição da área de pesquisa, junto ao PELD COFA, até a minha defesa. As reuniões de coorientação e desenvolvimento do trabalho foram essenciais. Agradeço também, pelo suporte psicológico durante os momentos de tensão (seja nos meus travamentos da pesquisa, seja durante a Pandemia de COVID-19). Sua participação na minha jornada, que demonstrou grande desenvoltura e profundo conhecimento de interdisciplinaridade para superar as dificuldades, foi fundamental e vital para a qualidade e o sucesso deste trabalho.

Agradeço imensamente aos professores componentes da Banca Examinadora desta Tese: Dra. Karla Maria Silva de Faria, Dr. Guilherme Taitson Bueno, Dr. Rherison Tyrone Silva Almeida, Dr. Cleberson Ribeiro de Jesus e Dra. Andreilisa Santos de Jesus. Minha

profunda gratidão por terem aceitado prontamente o convite, pela valiosa disponibilidade e por dedicarem seu tempo à leitura crítica deste trabalho. Suas considerações precisas, valiosas e construtivas foram fundamentais para elevar a qualidade e o rigor desta pesquisa.

Agradeço, também, meus primeiros orientadores, que deram início à minha vida acadêmica e abriram o caminho até o Doutorado. À Dra. Sinthia Cristina Batista (Graduação) e ao Dr. José Carlos Ugeda Júnior (Mestrado). Graças à sua dedicação e influência, consegui dar seguimento na vida acadêmica. Agradeço por toda a sua contribuição e inspiração em meu crescimento pessoal e profissional.

Aos meus amados pais, Maria Gorete e Joel, dedico minha mais profunda e eterna gratidão. Vocês foram o meu alicerce inabalável, oferecendo apoio incondicional e suporte que me encorajaram e inspiraram desde o início da minha jornada até a celebração da conclusão desta etapa. O apoio de vocês foi a força motriz. Estendo este agradecimento com igual afeto aos meus irmãos, Joelzinho e Joelma e meus sobrinhos Júlia e Estevão, por toda a compreensão, paciência e incentivo.

Estendo esta gratidão a toda minha família materna (Soligo), em especial minhas tias: Santa, Lourdes, Elisa, Janete, Neri; aos tios: Edeimar, Juca e Severino; e aos primos(as): Anderson (*in memoriam*), Geovani-Preto (*in memoriam*), Andrei, Carlos Henrique, Renault Júnior, Lenir (Maninha), Adriana, Amarildo, Andressa e Dayara, Luiz Antônio e Alessandro (Chiquinho), Jocimara, Izamara, Antonio (Toninho) e Raquel, Wagner (Tito), Claudineia, Jhenifer e Jonathan, Dicleia, Natlan, Natiele e Natalia, Sirlei e Edilson, Sirlene e Eleonei (Tuti), Osmar, Eliane, Solange e Gilmar (Shiru), Vilmar, Gilmar, Clari, Marilete, Everton, Kauan, João Victor e Nicoli, Rosilei, Rennan, Raysa e Rúbia.

Da mesma forma, agradeço a toda minha família paterna (Passos), em especial minhas tias: Milza, Noemia, Maria, Creuza e Marlene; aos tios: Daniel, Israel e Mizael; e aos primos(as): Adenilza, Adilson, Adeilza (Dé), Kacianny, Kaciellen, Kacia Keren, Marional (Marcelo), Raquel, Rogério, Rodrigo, Ricardo, Sandro, Reinis Régis, Marcos Júnior, Kátia, Rhayane, Brunno e Mickael, Matheus, Arthur, Stefany e Emerson, Israel Junior, Israeli Junia, Gabriely, Lorraine e Ludimilla. A todos os membros da minha família (Soligo e Passos), meu carinho e minha gratidão, principalmente pela compreensão da minha ausência durante esta fase de intensa dedicação. Saibam que vocês são muito importantes para mim.

Agradeço aos meus amigos, Dr. Pedro Moreira (Pedróvisky), que me acompanha desde 2009 na graduação de Geografia na UFMT, e ao Dr. Rodrigo Lima (Rodrigóvisky), amigo desde 2016. Minha gratidão por terem sido os grandes catalisadores que me apresentaram à UFG e ao IESA em 2016 e 2017. Seu apoio logístico e incentivo psicológico foram

importantíssimos nos processos seletivos do Doutorado. Sem a presença e o estímulo de vocês, eu não teria me inserido neste meio acadêmico. Ao Dr. Rodrigo, agradeço pelo apoio durante o trabalho de campo, indo comigo a todos os pontos de análise, e por compartilhar suas experiências e conhecimento.

Minha gratidão se estende de forma muito especial ao meu amigo Dr. Jepherson Sales (Jephão), que me acompanha desde o Mestrado e que também foi parte importante da minha entrada no Doutorado na UFG. Agradeço-lhe pelo apoio incondicional que se manteve firme do início ao fim. Seu vasto conhecimento e suporte constante foram fundamentais para que eu pudesse finalizar esta tese, principalmente nos momentos finais. Agradeço profundamente sua disposição e dedicação tanto à minha pessoa quanto à minha pesquisa, principalmente nos momentos finais.

Minha gratidão se estende à minha amiga e "irmã de orientação", Dra. Gabriella Arruda (@Gabibela), uma das pessoas mais carismáticas que já conheci. Agradeço imensamente pelo apoio emocional, pela rica troca de experiências e pela grande ajuda nos processamentos estatísticos utilizando o RStudio. Sua assistência no desenvolvimento final da tese, especialmente durante a padronização dos capítulos em artigo, foi de valor inestimável.

À minha amiga, Dra. Fernanda Ramalho, uma amizade que o Encontro Nacional de Geógrafos (ENG) me proporcionou e o Doutorado consolidou. Sou grato por ser uma fonte constante de inspiração, pelo companheirismo nos momentos difíceis, pelos valiosos conselhos e por sua ajuda inigualável com seu vasto conhecimento, que foi fundamental para que minha tese chegasse ao seu ponto final. As longas e esclarecedoras conversas que tivemos durante todos esses anos de Doutorado são inesquecíveis.

Ao meu amigo, Dr. David, expresso minha sincera gratidão pelo companheirismo, apoio e por dividir os custos com os aluguéis em nossa estadia no Cheverny, o que facilitou muito minha vida em Goiânia. Obrigado pelos conselhos e longas conversas, grato também por compartilhar da culinária nordestina durante as refeições. Sou grato pela sua paciência e carisma inestimável.

Agradeço ao meu amigo/irmão Edller Félix e sua família, Anny Oliveira e Wedller (Gordinho), meu afilhado. Também a Dona Vera e Edgar, Wanessa, Gabi, Gustavo e Isabella, pela amizade e pelo apoio de sempre.

Aos meus amigos que participaram e acompanharam minha jornada: Alessandro Bello (*in memoriam*), Allan Bello e Gabriela, José Mello, Luiz Mello, Sérgio Zaina, Fabiane, Andressa Rodrigues, Patricia, Duda, João, Laira Laiza, Ana Júlia, Leonardo, Lucas, Kimberly, Neyla, Madson, Vitor Briteba, minha gratidão por sua amizade e por compartilhar momentos

divertidos e leves. Aos amigos Vascaínos de Joinville, Rafael Azevedo (Rafabike), Eduardo, PP, Mirovasco, Luiz Fernando, Jorge, Othon, Hugo Luiz, Fábio e Sandovasco. Agradeço o carinho especial, os momentos de diversão e a compreensão de minha ausência.

Aos meus amigos da Graduação, as "Bússolas de Ouro": Pedro, Felipe, Gilson, Lucas, Zenildo, José Messias e Arthur. Grandes amigos que acompanharam minha jornada desde 2009 na Graduação em Geografia na UFMT.

Em especial, dedico meus mais profundos agradecimentos à família do "Dr." Pedro Moreira, meu grande amigo, que considero como irmão. Agradeço à sua família, composta pela esposa Jenniffer, pelo filho Nicolas, e pelas queridas Amanda e Pietra, pelo apoio e pelos momentos divertidos que passamos juntos. Minha gratidão se estende à sua mãe Fátima, seus irmãos Júlio (Ne) e Tito e ao seu primo Bico de Pato (Fabiano), pelo suporte que recebi. À família de Jenniffer, em especial Dona Joice, Dona Vilma, Larissa e Elayne, muito obrigado pelo carinho recebido e pela amizade.

Agradeço calorosamente a todos os amigos que o IESA e o Doutorado me permitiram conhecer, uma rede de apoio e camaradagem que deu um significado especial a esta jornada. Em especial, agradeço a Andréa Maciel (Andy), Francielle (Fran), Laís Campos, Josiane (Joyce), Helci Ramos (Helcisóvisky - O Líder), Daniela (Dani), Alice, Ana Foli e Daniella. Obrigado pelos momentos inesquecíveis de diversão e descontração, pela parceria nas aulas e nos estudos, pelos almoços no Restaurante Universitário (RU) e pelos passeios pela UFG e por Goiânia. Sem a presença, o companheirismo e a energia de vocês, o Doutorado não teria o mesmo sentido nem a mesma leveza.

Aos amigos do PRO-VANT e LAPIG, que fizeram parte desta intensa trajetória, em especial João Vitor, Gustavo, Victoria, Leomar, Samuel, Vinicius, Leandro, Claudinei, Ana Paula, Lana, Charles Tiarini, Gislaine, Túlio, Fernanda, Roberto Urzeda, Roberto Souto e Valéria, estendendo-se a todos os outros colegas: sou grato pela colaboração ativa com minha pesquisa, pelos tutoriais, scripts e códigos compartilhados, e pelas conversas e descontrações. Os momentos que passamos juntos foram essenciais para o desenvolvimento e o suporte técnico da minha pesquisa.

Minha gratidão se estende a todos os professores que conheci na UFG, principalmente no IESA, de todas as linhas de pesquisa, no LAPIG, CIAMB e em outros Cursos. Vocês contribuíram de forma significativa e foram extremamente importantes na minha formação. Em especial, agradeço aos professores(as): Dr. Manuel Ferreira, Dra. Andrelisa Jesus, Dr. Laerte Ferreira, Dr. Rherison Almeida, Dra. Elaine Barbosa, Dr. Nilson Ferreira, Dr. Fernando Araújo, Dr. Ivanilton Oliveira, Dra. Karla Faria, Dr. Maximiliano Bayer, Dra. Ana Cristina, Dr.

Guilherme Bueno, Dra. Cláudia Lima, Dra. Fabrizia Nunes, Dr. Denis Richter, Dra. Míriam Bueno, Dr. Luis Cherem, Dra. Rosane Collevatti, Dra. Eliana Morais, Dr. Ronan Borges, Dra. Lana Cavalcanti, Dr. Vanilton Souza, Dr. Adriano Oliveira, Dr. Eguimar Chaveiro e presto uma homenagem especial à Dra. Maria Geralda (*in memoriam*).

Agradeço imensamente a todos os servidores, funcionários e profissionais da Universidade Federal de Goiás, que contribuíram para minha formação direta e indiretamente: à coordenação, secretaria, aos técnicos administrativos e aos auxiliares de limpeza. Agradeço por manterem o funcionamento vital da Universidade. Em especial, a todos do IESA: Ivonaldo Duarte, Luana Amorim, Samuel, Fernanda Silva, Tania Carvalho, Nilvete Santos, José Alfredo, Dr. Lucas Rosa, Dr. Elizon Nunes, Charles Souza, Sylvia Farias, Onésio Rodrigues e todos os outros servidores. Agradeço por manterem o funcionamento vital da Universidade, permitindo-nos usufruir de sua infraestrutura. Sua dedicação faz a diferença.

Agradeço à Universidade Federal de Goiás (UFG), pela oportunidade e por toda a infraestrutura e logística disponibilizada (Restaurante Universitário e Biblioteca), essenciais para a pesquisa.

Agradeço imensamente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido, na forma de bolsa de Doutorado, que possibilitou minha permanência em Goiânia e a realização desta pesquisa.

A todos os citados, e a tantos outros cujos nomes não couberam nestas linhas, mas cuja influência e apoio foram sentidos em cada etapa: muito obrigado. Esta Tese é a materialização de um esforço coletivo. A gratidão que sinto por ter tido tamanha rede de apoio — técnica, emocional e espiritual — é indescritível. Que este trabalho seja um reflexo do investimento e da generosidade de cada um de vocês em minha jornada.

Por fim, dedico um agradecimento especial a você, leitor(a). Minha gratidão por se interessar pelo tema, por dedicar seu valioso tempo e atenção à leitura e análise deste trabalho, e por percorrer o caminho que tracei nesta pesquisa. Boa Leitura.

RESUMO

O monitoramento da qualidade ambiental em remanescentes de vegetação nativa é uma importante etapa para a preservação da biodiversidade em ecossistemas como o Cerrado, ameaçados com o uso intensivo do solo, num cenário de mudanças climáticas já em curso. Normalmente, essa avaliação enfrenta desafios devido à limitação de área e precisão, uma vez que os métodos de investigação tradicionais, realizados *in loco*, cobrem pequenas áreas a custos elevados, senão realizados majoritariamente com o uso de dados de Sensoriamento Remoto, de médio-alta e/ou moderada resolução espacial, sem um devido controle de práticas de campo que permitam aferir a confiabilidade e a adequação dos produtos ambientais e cartográficos aos objetivos do monitoramento. Neste contexto, o objetivo geral desta tese é desenvolver e avaliar um conjunto de procedimentos metodológicos que integrem técnicas avançadas de sensoriamento remoto baseado em plataformas aéreas e orbitais, com avaliações de qualidade ambiental realizadas *in loco*. Mais especificamente, tem por finalidade compreender como os produtos de sensoriamento remoto, incluindo índices de vegetação baseados em imagens aéreas RGB, captam as interações entre a vegetação, a qualidade da água e a saúde geral do ecossistema, utilizando uma abordagem multisensor e multiescalar. Foram empregadas diferentes ferramentas metodológicas, incluindo levantamento bibliográfico, aquisição e processamento de imagens dos satélites Planet e Sentinel-2, trabalho de campo com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT/drone), aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) para caracterizar a qualidade ambiental em fragmentos de vegetação, medições de parâmetros físico-químicos da água com sonda multiparamétrica, organização de uma base de dados geográfica, análises estatísticas (com destaque para Análise de Componentes Principais e modelos de regressão) e elaboração de mapas temáticos. Os resultados indicam correlações significativas entre os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto e os dados biofísico-químicos, com predominância das classes de qualidade ambiental classificadas como “Alta” e “Moderada” em mais de 60% dos locais avaliados, conforme os critérios adotados. Observou-se, ainda, correlação consistente entre as Análises de Componentes Principais (PCA) e parâmetros físico-químicos da água, destacando o papel de variáveis como pH, totais de sólidos dissolvidos (TDS) e condutividade elétrica. A integração entre o PAR e os dados de sensoriamento remoto provenientes de VANT, Planet e Sentinel-2 permitiu avaliar a qualidade ambiental considerando múltiplos aspectos da paisagem, como geomorfologia do canal e uso e cobertura do solo. Os índices espectrais GLI, PRI, RGR, TGI e VARI mostraram-se eficientes na diferenciação das classes de qualidade ambiental, evidenciando a potencialidade das técnicas de sensoriamento remoto integradas com avaliações *in loco* para o monitoramento detalhado de áreas impactadas por atividades humanas. O método proposto apresentou capacidade adequada para identificar tanto áreas conservadas quanto trechos com necessidade de recuperação, capacidade ampliada pela integração de dados multiescalares e multisensores. Em conjunto, os resultados demonstram o potencial dessas técnicas para o monitoramento e a avaliação de ativos ambientais do Cerrado, como água, solo, clima e biodiversidade, em múltiplas escalas espaciais e temporais, oferecendo subsídios para políticas públicas e estratégias de conservação em um bioma crítico e ameaçado.

Palavras-chave: Ativos Ambientais, Conservação, Savana, Satélite, Drone, PAR.

ABSTRACT

Environmental quality monitoring in remnants of native vegetation is an important step for biodiversity conservation in ecosystems such as the Cerrado, which are threatened by intensive land use in a context of ongoing climate change. This assessment typically faces challenges related to spatial coverage and precision: traditional field-based methods cover small areas at high cost, whereas the predominant use of Remote Sensing data at medium–high and/or moderate spatial resolution is often not accompanied by field protocols that ensure the reliability and suitability of environmental and cartographic products for monitoring objectives. In this context, the general objective of this thesis is to develop and evaluate a set of methodological procedures that integrate advanced remote sensing techniques, based on airborne and orbital platforms, with in situ environmental quality assessments. More specifically, it aims to understand how remote sensing products, including vegetation indices derived from RGB aerial images, capture interactions among vegetation, water quality and overall ecosystem health, using a multisensor and multiscale approach. Different methodological tools were employed, including literature review; acquisition and processing of Planet and Sentinel-2 satellite images; fieldwork using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV/drone); application of the Rapid Assessment Protocol (RAP) to characterize environmental quality in vegetation fragments; measurements of physicochemical water parameters with a multiparameter probe; organization of a geographic database; statistical analyses (with emphasis on Principal Component Analysis and regression models); and the production of thematic maps. The results indicate significant correlations between vegetation indices obtained from remote sensing and biophysical–chemical data, with a predominance of environmental quality classes classified as “High” and “Moderate” in more than 60% of the sampled sites, according to the criteria adopted. A consistent correlation was also observed between Principal Component Analysis (PCA) and physicochemical water parameters, highlighting the role of variables such as pH, total dissolved solids (TDS) and electrical conductivity. The integration of the PAR with remote sensing data from UAV, Planet and Sentinel-2 enabled the assessment of environmental quality considering multiple landscape aspects, such as channel geomorphology and land use/land cover. The spectral indices GLI, PRI, RGR, TGI and VARI proved effective in discriminating environmental quality classes, evidencing the potential of remote sensing techniques integrated with in situ evaluations for detailed monitoring of areas impacted by human activities. The proposed method showed adequate capacity to identify both conserved areas and stretches requiring restoration, a capacity enhanced by the integration of multisensor and multiscale data. Taken together, the results demonstrate the potential of these techniques for monitoring and evaluating environmental assets of the Cerrado, such as water, soil, climate and biodiversity, at multiple spatial and temporal scales, providing support for public policies and conservation strategies in this critical and threatened biome.

Keywords: Environmental Assets, Conservation, Savanna, Satellite, Drone, RAP.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Localização da área de estudo, no município de Silvânia-GO/sítio PELD – Cofa...	28
Figura 2: Linha do Tempo do Programa <i>Landsat</i> , iniciado com o lançamento do <i>Landsat 1</i> , em 1972 até o lançamento do <i>Landsat 9</i> em 2021, com previsão de lançamento do <i>Landsat Next</i> para 2030.	39
Figura 3: Distribuição dos sítios PELD aprovados na Chamada CNPq/Capes/FAPs/BC – Fundo Newton/PELD n.º 15/2016 (vigência: 2016 a 2021).....	57
Figura 4: Bacias hidrográficas no sítio PELD.	59
Figura 5: Características Físicas e uso do solo do sítio PELD em Silvânia, Goiás.....	64
Figura 6: Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.	65
Figura 7: Plataforma de aquisição de imagens <i>Planet - Planet Explorer</i>	69
Figura 8: Mapa de localização dos pontos amostrais para voo com VANT no sítio PELD. ...	72
Figura 9: Exemplo de comparação com sensores remotos multiescalares, considerando as imagens <i>Sentinel</i> , <i>Planet</i> e VANT.....	73
Figura 10: Parte inicial do PAR, caracterização geral das informações da área a ser avaliada.	74
Figura 11: Parâmetros Adaptados do PAR e Condições Categóricas.	75
Figura 12: Condições Categóricas e Pontuação do PAR.....	76
Figura 13: Medidor multiparamétrico HANNA 9829 utilizado neste estudo.	80
Figura 14: Vista da parte superior do <i>eBee Plus</i> RTK.	82
Figura 15: Vista da parte inferior do <i>eBee Plus</i> RTK.....	82
Figura 16: VANT DJI Phantom 4 Prov V2 empregado na pesquisa.	83
Figura 17: Organização da base de dados geográfica para a região do sítio PELD.	90
Figura 18: Mapa de localização da área de estudo.	97
Figura 19: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.....	98
Figura 20: Locais de Aplicação do PAR e coleta com medidor multiparamétrico.	99
Figura 21: Gráfico de distribuição percentual do PAR para a categoria geomorfologia do canal: (a) deposição de sedimentos, (b) pontos de estrangulamento, (c) estabilidade das margens e (d) ponto de alagamento e inundação.	103
Figura 22: Gráfico de distribuição percentual do PAR para as categorias de qualidade da água e uso e cobertura: (a) cor da água, (b) materiais flutuantes, (c) acesso ao local e (d) presença de animais na APP.	105

Figura 23: Gráfico de distribuição percentual do PAR para a categoria de uso e cobertura: (a) uso humano no entorno da APP, (b) uso do canal, (c) proteção das margens pela vegetação e (d) estado de conservação do entorno.	106
Figura 24: Gráficos de distribuição dos Parâmetros físico-químicos da água (coletados com medidor multiparamétrico).	109
Figura 25: Análise de componentes principais para as variáveis de parâmetros da água e PAR.	112
Figura 26: Mapa de localização da área de estudo.	131
Figura 27: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.	132
Figura 28: Comparação das Faixas Espectrais no Espectro Visível do <i>Sentinel 2</i> , <i>Planet</i> and VANT.	133
Figura 29: Gráfico de precipitação do município de Silvânia, ano de 2021.	134
Figura 30: <i>Boxplots</i> de distribuição dos índices espectrais por qualidade ambiental - Muito Alta (A), Alta (B), Moderada (C), Baixa (D).	140
Figura 31: Análise dos componentes principais dos sensores VANT, <i>Planet</i> e <i>Sentinel</i>	142
Figura 32: Modelos de regressão obtidos da relação entre PAR e índices de vegetação elaborados com os satélites <i>Sentinel</i> e <i>Planet</i> , e veículo aéreo não tripulado (VANT).	147
Figura 33: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, <i>Sentinel</i> , <i>Planet</i> e o PAR. Exemplo para a classe muito alta.	148
Figura 34: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, <i>Sentinel</i> , <i>Planet</i> e o PAR. Exemplo para a classe alta.	150
Figura 35: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, <i>Sentinel</i> , <i>Planet</i> e o PAR. Exemplo para a classe moderada.	151
Figura 36: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, <i>Sentinel</i> , <i>Planet</i> e o PAR. Exemplo para a classe alta.	152
Figura 37: Mapa de qualidade ambiental nos remanescentes de Cerrado, baseados no <i>Sentinel</i> e <i>Planet</i>	154
Figura 38: Gráfico Qualidade <i>ambiental versus</i> uso da terra (pastagem e soja).	156

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Distribuição dos sítios PELD aprovados na Chamada CNPq/Capes/FAPs/BC-Fundo Newton/PELD n.º 15/2016 (vigência: 2016 a 2021).	55
Tabela 2: Ocorrência das unidades geológicas no sítio PELD Cofa.	60
Tabela 3: Unidades geomorfológicas no sítio PELD.	63
Tabela 4: Classes de relevo.	67
Tabela 5: Características dos sensores <i>Dove/Planet</i>	68
Tabela 6: Pontos amostrais para a coleta de dados de sensoriamento remoto e campo.	71
Tabela 7: Índice de classificação do nível de preservação ambiental	79
Tabela 8: Locais onde foram realizados os voos com o VANT Phantom 4 Pro V2.	84
Tabela 9: Classificação do protocolo de avaliação rápida dos pontos de coleta.	102
Tabela 10: Itens do PAR relativo às categorias de qualidade da água e uso e cobertura.	107
Tabela 11: Correlação das variáveis de parâmetros de água com as componentes principais.	112
Tabela 12: Correlação entre o valor de qualidade ambiental PAR e as componentes principais.	113
Tabela 13: Correlação V-test entre a variável suplementar e as componentes principais.....	114
Tabela 14: Índices adaptados para as bandas espectrais RGB das plataformas VANT, <i>Planet</i> e <i>Sentinel</i>	133
Tabela 15: Classificação do protocolo de avaliação rápida dos pontos de coleta.	138
Tabela 16: Eigenvalues – Contribuição nas componentes principais – VANT, <i>Planet</i> e <i>Sentinel</i> em <i>buffer</i> de 200 m.	143
Tabela 17: Correlação das variáveis espectrais com as principais componentes VANT, <i>Planet</i> e <i>Sentinel</i> em <i>buffer</i> de 200 m.	144
Tabela 18: Correlação da qualidade ambiental com as componentes principais do VANT, <i>Planet</i> e <i>Sentinel</i> em <i>buffer</i> de 200 m.	144
Tabela 19: Correlação das variáveis suplementares categóricas \cos^2 com as principais componentes.	145
Tabela 20: Correlação das variáveis suplementares categóricas v-Test com as principais componentes.	146

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP	<i>Analytic Hierarchy Process</i>
Alos	<i>Advanced Land Observing Satellite</i>
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
ANA	Agência Nacional de Águas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AP	Agricultura de Precisão
APIgai	Complexo Granulítico Anápolis-Itauçu
APIgaio	Granulitos Ortoderivados
APIgaip	Granulitos Paraderivado
APP	Área de Preservação Permanente
ASTER GDEM	<i>Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model</i>
Aw	Clima tropical de savana
BHRV	Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho
CFB	Código Florestal Brasileiro
CMOS	<i>Complementary Metal Oxide Semiconductor</i>
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COA	Componentes opticamente ativos
Cofa	Conectividade Funcional e Antropização da Paisagem
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Cwa	Clima subtropical ou clima tropical de altitude
DF	Distrito Federal
DO%	Percentual de oxigênio dissolvido
Emater	Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
EPI	Equipamentos de proteção individual
EQA	<i>Ecological Quality Assessment</i>
ERTS1	<i>Earth Resources Technology Satellite</i>
ESA	Agência Espacial Europeia
FA	Faixa Aluvial

GCP	<i>Ground Control Point</i>
GEE	<i>Google Earth Engine</i>
GEMS	<i>Goodyear Mapping System 1000</i>
GMES	<i>Global Monitoring for Environment and Security</i>
GLONASS	<i>Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
ha	Hectares
Ibama	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade
IEF	índice de estado trófico
Iesa/UFG	Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás
Inmet	Instituto Nacional de Meteorologia
Inpa	Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Inpe	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ISS	Estação Espacial Internacional
IV	Índice de vegetação
IVs	Índices de vegetação
K	Potássio
km	Quilômetro
km ²	Quilômetros quadrados
Labogef	Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física
Lapig	Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento
m	Metros
MCTI	Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
mm	Milímetros
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MPRI	<i>Modified Photochemical Reflectance Index</i>
MSI	<i>Multispectral Instrument</i>
MSS	<i>Multispectral Scanner System</i>

Nasa	Agência Espacial Americana
NDVI	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
ONG	Organizações Não Governamentais
ORP	Potencial de redução de oxidação
P	Fósforo
Palsar	<i>Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar</i>
PAR	Protocolo de Avaliação Rápida
PCA	Análise de componentes principais
PELD	Pesquisa Ecológica de Longa Duração
pH	Potencial hidrogeniônico
PivssA	Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia – Unidade Metavulcânica
PIvssB	Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia – Unidade Mista
PmaA	Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade A
PmaB	Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade B
PMDBBS	Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite
PNE	Parque Nacional das Emas
Probio	Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
Prodecer	Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento Agrícola dos Cerrados
PVI	Índice de vegetação perpendicular
Qa	Depósitos Aluvionares
qt	Moscovita-quartzito
RAP	<i>Rapid Assessment Protocol</i>
RBV	<i>Return Beam Vidicon</i>
RGB	<i>Red, Green and Blue</i>
RL	Reserva Legal
RPA	<i>Remotely Piloted Aircraft</i>
RPAS	<i>Remotely Piloted Aircraft System</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SCP	<i>Semi-automatic Classification Plugin</i>

SHP	<i>Shapefile</i>
Sicar	Sistema de Cadastro Ambiental Rural
Sieg	Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SIGEF	Sistema de Gestão Fundiária
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SLAR	<i>Side looking airborne radar</i>
SODA	<i>Sensor Optimised for Drone Applications</i>
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
SRAIIA(fo)	Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação forte
SRAIIA(fr)	Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação fraca
SRAIIA(m)	Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação média
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SSO	Órbita heliosíncrona
TDS	Sólidos dissolvidos totais
TIF	<i>Tagged Image File Format</i>
TIRS	<i>Thermal Infrared Sensor</i>
TOF	<i>Time-of-flight</i>
TQdl	Coberturas Detrito-Lateríticas
TSS	Total de sólidos suspensos
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UC	Unidades de Conservação
UFG	Universidade Federal de Goiás
UFU	Universidade Federal de Uberlândia
UHE	Usina Hidrelétrica
URSS	União das Repúblicas Socialistas Soviéticas
UTM	Universal Transversa de Mercator
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VART	Veículo Aéreo Remotamente Tripulado
y1	Granitoide
ZER/IIA(fo)	Zona de Erosão Recuante
ZR	Zonas Ripárias

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	26
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	31
2.1 Cerrado, um <i>hotspot</i> a ser conservado	31
2.1.1 Remanescentes de Cerrado e Áreas de Preservação Permanentes – APP	34
2.2 Geotecnologias, sensoriamento remoto aéreo e orbital no contexto das pesquisas ambientais	35
2.2.1 Satélites, Sensores e Produtos Orbitais.....	38
2.2.1.1 Imagens <i>Sentinel</i>	41
2.2.1.2 Imagens <i>PlanetScope</i>	44
2.2.2 Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT: Conceitos E Aplicações	46
2.2.3 Índices de Vegetação Baseados em Bandas RGB	49
2.2.3.1 Índices de Vegetação RGB e sua aplicação.....	50
2.3. Medidores multiparamétricos associados à qualidade da água	51
2.4 Protocolos de Avaliação Rápida como índice de qualidade ambiental	53
2.5 Sítios PELD no âmbito da conservação ambiental.....	55
3 MATERIAIS E MÉTODOS	59
3.1 Área de estudo e sua caracterização física	59
3.2 Procedimentos Metodológicos	65
3.2.1 Levantamento Bibliográfico e Cartográfico	65
3.2.1.1 Geologia	66
3.2.1.2 Aspectos geomorfológicos e Relevô	66
3.2.1.3 Aquisição das imagens de satélite	67
3.2.2 Coleta de Dados em Campo	71
3.2.2.1 Aplicação do protocolo de avaliação rápida.....	74
3.2.2.1.1 Categoria de Identificação Introdutória	77
3.2.2.1.2 Categoria Geomorfologia do Canal.....	77
3.2.2.1.3 Categoria Qualidade da Água.....	78
3.2.2.1.4 Categoria Uso e Cobertura	78
3.2.2.1.5 Pontuação	79
3.2.2.2 Obtenção dos parâmetros de qualidade da água.....	80

3.2.2.3 Imageamento aéreo com VANT.....	81
3.2.3 Tratamento e organização do Banco de Dados	86
3.2.3.1 Processamento dos dados Aéreos e Orbitais	86
3.2.3.2 Organização e armazenamento em Base de dados Geográfico	88
3.2.4 Análise de Dados Estatísticos.....	90
3.2.5 Produtos dos Modelos de Qualidade Ambiental	92
4 ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE AMBIENTAL E HÍDRICA EM REMANESCENTES DE CERRADO: UM ESTUDO UTILIZANDO O PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA E SONDA MULTIPARAMÉTRICA.....	93
4.1 Introdução	94
4.2 Materiais e métodos.....	96
4.2.1 Área de estudo	96
4.2.2 Etapas da pesquisa	98
4.3 Resultados	101
4.3.1 Classificação ambiental dos pontos de coleta.....	101
4.3.2 Distribuição dos dados do PAR.....	103
4.3.3 Distribuição dos dados físico-químicos da água – medidor multiparamétrico	107
4.3.4 Análise de componentes principais do PAR e qualidade da água	111
4.4 Discussão	114
4.4.1 Protocolo de avaliação rápida.....	114
4.4.2 Parâmetros de qualidade da água e qualidade ambiental (PAR).....	116
4.5 Conclusões	119
Agradecimentos	120
Referências	120
5 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DA PAISAGEM PARA DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM ZONAS RIPÁRIAS: UMA ABORDAGEM INTEGRADA E MULTIESCALAR PARA O HOTSPOT CERRADO.....	126
5.1 Introdução	127
5.2 Materiais e Métodos	130
5.2.1 Área de estudo	130
5.2.2 Procedimentos metodológicos.....	131
5.2.2.1 Aquisição e processamento de imagens de satélite e imagens de VANT	132

5.2.2.2 Aplicação do protocolo de avaliação rápida em remanescentes de Cerrado	134
5.2.2.3 Tratamento estatístico dos dados de sensoriamento remoto.....	135
5.3 Resultados	137
5.3.1 Qualidade ambiental	137
5.3.2 Estatística descritiva e distribuição.....	139
5.3.3 Análise de componentes principais dos sensores e qualidade ambiental	141
5.3.4 Regressão qualidade ambiental x índices espectrais	146
5.3.5 Mapa de qualidade ambiental: comparação de plataformas	147
5.3.6 Extrapolação de qualidade ambiental nas plataformas <i>Planet</i> e <i>Sentinel</i>	153
5.3.7 Análise de proximidade de uso do Solo com as áreas de remanescentes de Cerrado ...	155
5.4 Discussões	156
5.4.1 Integração do protocolo de avaliação rápida e SIG	156
5.4.2 Comparação do PAR com os Índices Espectrais.....	157
5.4.3 Sensoriamento remoto e impactos ambientais em áreas com remanescentes de vegetação	158
5.5 Considerações finais	159
Referências	159
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	169
REFERÊNCIAS	171
APÊNDICE A: PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO	195
APÊNDICE B: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PONTOS AMOSTRAIS	203
APÊNDICE C: MAPAS MULTIESCALARES DOS PONTOS AMOSTRAIS	223
APÊNDICE D: OUTROS PRODUTOS	239
APÊNDICE E: FICHA DE PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA (PAR)	250

1 INTRODUÇÃO

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil e da América do Sul, estendendo-se de forma contínua por uma área aproximada de dois milhões de km² e nove estados brasileiros, além do Distrito Federal, totalizando 23% do território nacional (Oliveira *et al.*, 2020; Ribeiro; Walter, 1998). Caracteriza-se por um mosaico de fisionomias, como as formações savânicas, campestres e florestais, que se desenvolvem sob diferentes condições climáticas, geomorfológicas e pedológicas (Ab'Saber, 1983; Castilho, Chaveiro, 2010). Esse bioma detém os maiores reservatórios naturais de água do país, superficiais e subterrâneos, com a presença de nascentes e rios em oito das doze maiores bacias hidrográficas da América do Sul, possuindo um grande potencial hídrico (Brasil, 2010; Lima, 2011; Lima; Silva, 2005; Amorim; Perez Filho *et al.*, 2017).

Além disso, o Cerrado também se destaca, nacional e internacionalmente, por sua elevada biodiversidade, abrigando mais de 320 mil espécies de seres vivos, entre plantas, animais, insetos, fungos e vírus (Parron *et al.*, 2008). Apresenta uma fauna e flora heterogênea, com vegetação bastante diversificada, compreendida por floresta estacional, matas ciliares e de galeria, veredas, vegetações savânicas, arbustos e árvores de pequeno porte, campos limpos e campos sujos (Aguiar *et al.*, 2015; Ratter; Bridgewater; Ribeiro, 2003; Ribeiro; Walter, 1998).

Desde o ano 2000, o Cerrado é visto como um *hotspot* de biodiversidade global (Myers *et al.*, 2000; Dalle Laste *et al.*, 2019), porém, este complexo ecossistema está ameaçado pela crescente e intensa degradação causada por ação antrópica, tendo o desmatamento como a principal ameaça (média de 8 mil a 10 mil km²/ano; INPE, 2024), impactando a captação e o abastecimento de água, em quantidade e qualidade (Demambro; Pietrafesa; Rojas, 2021). Aproximadamente, metade de sua extensão já foi substituída por pastagens e culturas perenes e anuais, sendo a pecuária e a agricultura as principais atividades desenvolvidas no Cerrado (Ferreira *et al.*, 2007; Klink; Machado, 2005; Machado *et al.*, 2004; MapBiomias, 2024).

A remoção da vegetação nativa reduz a permeabilidade do solo, o que provoca o rebaixamento do nível do lençol freático e, conseqüentemente, afeta o volume e a área de descarga nas nascentes e ao longo dos cursos d'água. Além disso, fertilizantes e agrotóxicos empregados na produção agropecuária são transportados pelo escoamento superficial ou lixiviados até o lençol freático, contaminando a água e tornando seu tratamento complexo e oneroso, tanto para consumo humano quanto para a fauna local e regional (Bonnet; Ferreira; Lobo, 2008; Oliveira-Filho; Dutra; Ceruti, 2012; Pinto *et al.*, 2004; Ribeiro, 2009).

Em decorrência de tais problemas, ainda se observa uma lacuna de estudos científicos que relacionem a perda ou degradação da vegetação e o tipo de uso da terra à qualidade dos remanescentes e à situação das nascentes no bioma Cerrado. Vale destacar que esse bioma abriga as nascentes de pelo menos oito das maiores bacias hidrográficas brasileiras, entre as quais se encontram as bacias Araguaia/Tocantins, São Francisco e Paraná/Paraguai. Essa ausência de pesquisas mais aprofundadas dificulta a tomada de decisões voltadas à conservação e ao uso sustentável do Cerrado, bem como à gestão de seus recursos hídricos.

Nesse sentido, o monitoramento sistemático e dinâmico das bacias hidrográficas tornou-se urgente, sobretudo diante da necessidade de frear ou reverter o déficit ambiental mencionado. Esse processo de monitoramento e as ações de políticas públicas dele decorrentes exigem técnicas e ferramentas fundamentadas em Geotecnologias, tais como Sistemas de Informação Geográfica (SIG), plataformas Remotely Piloted Aircraft System (RPAS) e imagens de satélite de alta resolução espacial, dentre outras fontes de dados.

Mais recentemente, com a ampla popularização dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) — conhecidos como drones e tecnicamente denominados de Sistema de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP), do inglês *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) ou *Remotely Piloted Aircraft System* (RPAS) — a obtenção de informações sobre cobertura vegetal e uso da terra vem se tornando viável em diferentes cenários, principalmente em áreas de acesso restrito. Tais dispositivos permitem análises em escalas cartográficas de maior detalhamento e com intervalos de tempo flexíveis (Nero *et al.*, 2020; Paz; Sampaio, 2019).

Em comparação com os levantamentos tradicionais, realizados por aeronaves e satélites, a coleta de dados com um RPA possui mais flexibilidade logística e resolução espacial centimétrica, destacando-se pelo elevado custo-benefício. Além disso, outra vantagem é a possibilidade de se realizar mais de um voo no mesmo dia e em diferentes escalas, o que não ocorre com imagens geradas por satélites (Garcia-Ruiz *et al.*, 2013; Paz; Sampaio, 2019).

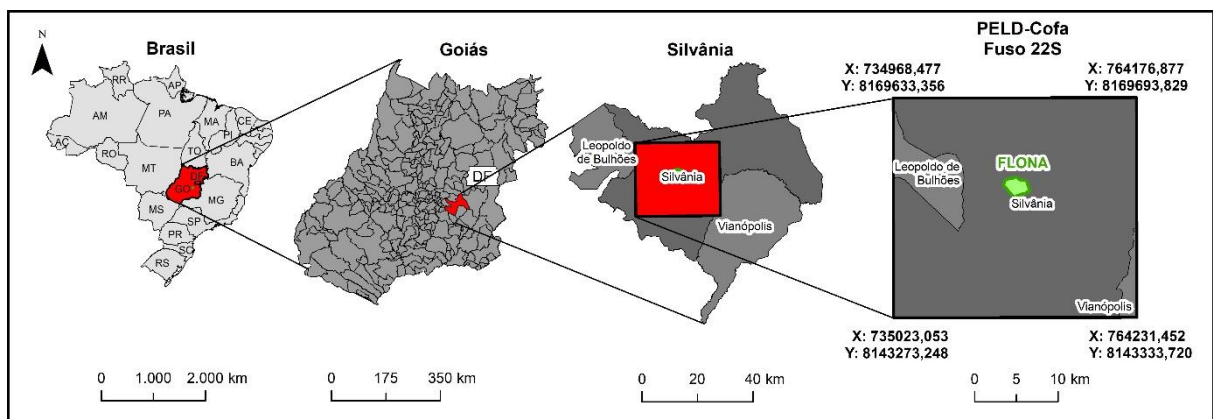
Tais avanços vêm possibilitando mapeamentos e monitoramentos mais eficazes, principalmente no diagnóstico e prognóstico de impactos ambientais gerados pela agricultura, pecuária, interferências urbanas, mineração, dentre outros, facilitando o monitoramento ambiental de determinada região, especialmente daquela em recuperação/restauração (Alves Jr. *et al.*, 2015; Garcia-Ruiz *et al.*, 2013; Pegoraro; Gubiani; Philips, 2013; Simpson, 2003).

Tendo isso em vista, verifica-se a necessidade de se definir protocolos de monitoramento e avaliação das alterações ambientais no Cerrado, por meio de sensores remotos embarcados em plataformas aéreas (RPA) e orbitais (satélites de médio-alta resoluções espaciais, com acesso público), especialmente para áreas de preservação permanente (APP).

A presente tese de doutorado foi desenvolvida em uma área definida como Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), no município de Silvânia-GO, a 80 km da capital Goiânia. O limite do sítio PELD foi definido a partir de projeto de pesquisa financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), no qual esta tese está inserida, denominado de “Conectividade funcional e antropização da paisagem: estudo de caso na Flona Silvânia e Microbacia do Rio Vermelho” (Brito; Mamede; Oliveira, 2020; Collevatti *et al.*, 2020), conforme ilustrado na Figura 1.

Busca-se, assim, analisar a integração das imagens de satélite e de veículos aéreos não tripulados com a metodologia do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) aplicado em fragmentos arbóreos de Cerrado, uma ferramenta para avaliar a qualidade ambiental, ao mesmo tempo em que se supre a demanda por informações geoespaciais dos colaboradores do referido PELD.

Figura 1: Localização da área de estudo, no município de Silvânia-GO/sítio PELD – Cofa.



Fonte: elaborada pelo autor (2022).

O sítio Pesquisa Ecológica de Longa Duração – Conectividade Funcional e Antropização da Paisagem (PELD - Cofa) abrange boa parte da área central do município de Silvânia, estendendo-se, também, a uma pequena porção do sudeste de Vianópolis e a oeste de Leopoldo de Bulhões.

Sua localização está compreendida entre as coordenadas Longitude $48^{\circ}47'53,75''$ W e Latitude $16^{\circ}32'37,41''$ S (UTM: 734968,477 E e 8169633,356 N) e Longitude $48^{\circ}31'16,24''$ W e Latitude $16^{\circ}46'41,42''$ S (UTM: 764231,452 E e 8143333,720 N). Sua área total é de 769,94 km² ou 76.993,98 ha; no entanto, não possui limites naturais (rios, morros ou vales), nem limites físicos artificiais (cercas, muros ou estradas). Sua delimitação é abstrata, sendo definida por um retângulo, cujo centro é a Floresta Nacional de Silvânia, abrangendo todo o seu entorno.

Denominado Projeto Cofa, o estudo investiga como modificações na paisagem e distúrbios de origem antrópica afetam a biodiversidade, o funcionamento dos ecossistemas e os serviços ecossistêmicos em uma das regiões de maior relevância para o agronegócio no Brasil. A pesquisa engloba a biodiversidade aquática (peixes, zooplâncton, fitoplâncton), invertebrados (abelhas, cupins), vertebrados (anuros, répteis, aves) e plantas, avaliando de que forma o uso de agrotóxicos e fertilizantes impacta esses organismos (Amaral *et al.*, 2020; Granjeiro, 2020; Lima; Bastos, 2021).

Adotando uma perspectiva multiescalar, este trabalho inicia com dados do satélite Sentinel 2 (resolução espacial de 10 metros), segue com os dados do satélite Planet (3 metros) e, por fim, abrange as informações obtidas por RPA, cujo nível de detalhamento alcança a escala centimétrica. Esses dados são confrontados com medições de campo obtidas pelo Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) em APP de rios e nascentes.

A principal justificativa para a realização deste estudo reside na lacuna de conhecimento acerca da relação entre a perda de vegetação, os diferentes usos e coberturas do solo e a qualidade da vegetação remanescente e da água nas nascentes do bioma Cerrado. Espera-se, portanto, fornecer subsídios científicos para a gestão sustentável desse bioma e das bacias hidrográficas a ele associadas.

Tendo em vista que medições de campo com sondas multiparamétricas e a aplicação do PAR são métodos pontuais e exigem consideráveis recursos de tempo, enquanto plataformas de alta resolução espacial fornecem dados passíveis de análise em maior escala temporal, surgem alguns questionamentos que norteiam esta pesquisa:

- (i) Qual é o potencial das plataformas imageadoras na estimativa de parâmetros biofísicos e ambientais nos remanescentes de Cerrado, especialmente em áreas de preservação permanente e nascentes?
- (ii) Quais as possibilidades de integração entre os sensores remotos aéreos e orbitais aliados ao PAR?
- (iii) Quais seriam as escalas cartográficas e escala temporal adequadas para uma análise integrada?
- (iv) Quais os ganhos reais obtidos com um RPA na análise da qualidade ambiental de áreas com remanescentes de Cerrado, marcado pela presença de rios e nascentes?

Para responder a essas questões, pretende-se identificar um conjunto de tecnologias e procedimentos eficazes no monitoramento ambiental de remanescentes de Cerrado e de seus recursos hídricos em áreas de cabeceira de drenagem, viabilizando análises tanto de paisagens nativas quanto antrópicas na área de estudo. Organizações públicas e não governamentais

(ONGs) que atuam em pesquisa, ensino e conservação da biodiversidade poderão adaptar esses protocolos para promover um uso mais sustentável da terra.

Considerando que levantamentos de campo utilizando sondas multiparamétricas e o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) são métodos pontuais, que demandam consideráveis recursos de tempo, e que plataformas imageadoras de alta resolução espacial fornecem dados para análise de índices espectrais capazes de estimarem as condições ambientais de múltiplas áreas, em uma escala temporal mais ampla, formulou-se a seguinte hipótese:

- (i) A integração de dados coletados in loco por meio do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) e de parâmetros físico-químicos (obtidos com sondas multiparamétricas) com as imagens de alta resolução de drones (RPA) e as plataformas orbitais (Satélites Sentinel e Planet) melhora significativamente a estimativa da qualidade ambiental em remanescente de Cerrado e APP, em comparação a cada uma dessas fontes de dados utilizada isoladamente.

Dessa forma, busca-se testar a hipótese de que a integração de dados de campo (obtidos por meio de protocolos de avaliação in loco) e informações de sensoriamento remoto aéreo e orbital aprimora significativamente a análise e o monitoramento da qualidade ambiental em remanescentes de Cerrado e áreas de preservação permanente. Esse conjunto de técnicas e ferramentas permite uma compreensão mais abrangente e detalhada das condições ambientais, considerando aspectos biofísicos em múltiplas escalas espaciais e temporais.

A adoção dessa abordagem integrada fornece subsídios valiosos para a gestão e a conservação dos remanescentes estudados, contribuindo para a formulação de políticas públicas e para a tomada de decisões baseadas em evidências científicas. Além disso, a metodologia desenvolvida pode ser replicada em outras áreas de importância ambiental, aumentando o alcance e a relevância dos resultados obtidos.

Portanto, o **objetivo geral** deste trabalho é desenvolver e avaliar procedimentos metodológicos para a integração da análise de qualidade ambiental em remanescentes de Cerrado, por meio da combinação entre técnicas de sensoriamento remoto e avaliações in loco. Almeja-se, dessa forma, oferecer uma visão mais aprofundada das interações entre vegetação, qualidade da água e condições gerais do ecossistema, auxiliando em ações de conservação e manejo sustentável desses ambientes críticos.

Como **objetivos específicos** da tese, têm-se os seguintes:

- (i) Mensurar a qualidade ambiental em remanescentes de Cerrado com ênfase na vegetação ripária, por meio do Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) e da análise de parâmetros físico-químicos da água, em áreas selecionadas no sítio PELD;
- (ii) Avaliar o potencial e as limitações de diferentes sensores remotos (*Sentinel*, *Planet* e RPA) na obtenção de informações multiespectrais e de alta resolução, com foco em APPs (especialmente na vegetação ripária), para subsidiar o monitoramento ambiental dos remanescentes de vegetação do bioma Cerrado;
- (iii) Correlacionar os índices de vegetação (gerados a partir das bandas espectrais RGB do RPA e dos satélites) com os dados do PAR e da qualidade da água, para estimar a condição ambiental em áreas de Cerrado, incluindo ambientes ripários, e validar a abordagem em diferentes cenários, com destaque para o sítio PELD.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Cerrado, um *hotspot* a ser conservado

O Cerrado, enquanto bioma de notável extensão e complexidade, constitui um objeto de estudo relevante no campo da Geografia, especialmente no que concerne à análise das interações entre os componentes biofísicos e as atividades humanas, bem como dos processos de transformação do espaço geográfico. Esse bioma engloba uma diversidade de formações vegetais, climáticas e geológicas, cuja dinâmica e evolução estão intrinsecamente relacionadas com as práticas socioeconômicas e culturais das populações que nele habitam.

O termo Cerrado é amplamente utilizado para descrever uma diversidade de ecossistemas inter-relacionados, englobando formações vegetais, como savanas, florestas estacionais, campos e matas de galeria, os quais ocorrem predominantemente na porção central do território brasileiro (Eiten, 1977; Ribeiro; Sano; Silva, 1981).

De acordo com Costa-Coutinho *et al.* (2019), o bioma Cerrado desempenha um papel ecotonal, devido à sua localização geográfica e às suas extensas faixas marginais e disjuntas com os domínios circundantes, tais como a Amazônia, a Mata Atlântica, a Caatinga e o Pantanal. Conseqüentemente, o Cerrado apresenta características ecológicas e composicionais de transição com esses outros ambientes (Vieira *et al.*, 2019).

O bioma Cerrado possui uma grande riqueza na diversidade da sua flora, com mais de 12.000 espécies nativas catalogadas e uma significativa diversidade de habitats, que resulta em transições marcantes entre diferentes tipologias de vegetação. Além disso, o bioma possui cerca

de 250 espécies de mamíferos, acompanhados por uma avifauna rica de 856 espécies registradas. Abriga, ainda, aproximadamente 800 espécies de peixes, 262 répteis e 204 anfíbios. Muitas dessas espécies e suas variações são endêmicas, não apenas no âmbito do *hotspot*, mas também para algumas áreas específicas dentro dele (Sawyer *et al.*, 2016).

A vegetação do Cerrado varia desde campos abertos até florestas densas, passando por formações arbustivas e savanas. De acordo com Ribeiro e Walter (2008), há onze categorias fitofisionômicas distintas identificadas no Cerrado, que podem ser classificadas em formações florestais (mata ciliar, mata de galeria, mata seca e cerradão), savânicas (cerrado sentido restrito, parque de cerrado, palmeiral e vereda) e campestres (campo sujo-campo rupestre e campo limpo), muitos apresentando, ainda, subtipos próprios.

O clima é predominantemente tropical, classificado como Aw de *Köppen* (tropical chuvoso), com duas estações bem definidas: a seca (inverno) e a chuvosa (verão). A estação seca é marcada por baixa umidade e escassez de água, o que contribui para a adaptação das plantas do Cerrado, como o desenvolvimento de raízes profundas para acessar água no subsolo (Ribeiro; Walter, 2008).

Os recursos de biodiversidade do bioma Cerrado sustentam os meios de vida de milhões de agricultores familiares, comunidades tradicionais e povos indígenas, além de fornecer uma ampla variedade de serviços ecossistêmicos. Como um dos maiores produtores mundiais de gado e produtos agrícolas, o bioma é responsável por 30% do produto interno bruto do Brasil. Do ponto de vista hidrológico, a ecologia do Pantanal, a maior planície alagada do mundo, depende da água que flui do Cerrado, enquanto quase todos os afluentes do sul do Rio Amazonas, com exceção de dois, têm origem no *hotspot* (Cunha *et al.*, 1993; Sawyer *et al.*, 2016).

Além disso, o bioma fornece água para o consumo humano e para a agricultura em grande parte do centro-sul do Brasil, por meio de escoamento superficial, recarga de água subterrânea e fluxos atmosféricos de vapor de água (Sawyer *et al.*, 2016). Ainda, o Cerrado também desempenha um papel importante na regulação climática global, pois possui grandes quantidades de carbono estocadas em seus solos e em suas florestas, principalmente nas raízes profundas que as árvores das florestas precisam para sobreviver à longa temporada seca (Corrêa, 2020; Sawyer *et al.*, 2016).

Todavia, apesar dessa relevância, esse bioma encontra-se em situação preocupante em relação à sua conservação, tendo o desenvolvimento regional um elevado custo ambiental (Pereira; Coneglian, 2020). Uma vez que essa savana tropical já perdeu mais da metade de sua vegetação natural nos últimos 55 anos, e restando cerca de 30 a 40% de sua vegetação nativa,

concomitantemente, tornou-se o celeiro do Brasil, com mais de 20 milhões de hectares de lavouras e 56 milhões de hectares de pastagens cultivadas (MapBiomass, 2020; Melito; Metzger; Oliveira, 2018; Melo *et al.*, 2018; Latrubesse *et al.*, 2019).

Segundo Silva *et al.* (2020), o bioma Cerrado possui a menor porcentagem de áreas com unidades de conservação (UC) de todos os *hotspots* do mundo. Oliveira *et al.* (2020) explicam que o Cerrado apresenta somente 8,21% do território legalmente protegido e apenas 2,85% são por Unidades de Conservação e Proteção Integral.

Para compreender essa dinâmica e as mudanças ao longo do tempo, é preciso entender que, a partir da década de 1970, a região Centro-Oeste recebeu diversos incentivos para a ocupação do Cerrado, principalmente com a modernização das técnicas para agropecuária, visando o cultivo de monoculturas. Houve uma pressão da produção capitalista no campo, iniciando a expansão da fronteira agrícola, com incentivos governamentais, a partir da redução de impostos e abertura de crédito, ocasionando uma desconcentração produtiva do Sudeste direcionada, a partir daí, para o Centro-oeste (Demambro; Pietrafesa; Rojas, 2021; Ferreira; Lino, 2021; Sano *et al.*, 2019)

Estudos científicos demonstram que, caso a tendência de desflorestamento seja mantida, a extinção de mais de mil espécies endêmicas do Cerrado pode ocorrer nas próximas décadas (Machado *et al.*, 2004; Sano *et al.*, 2019; Strassburg *et al.*, 2017). Essa destruição levou o bioma a ser classificado como um dos 34 *hotspots* mundiais, uma área com alta biodiversidade, ameaçada de extinção (Mittermeier, 2004; Myers *et al.*, 2000).

Especificamente sobre os recursos hídricos, a ação antrópica vem interferindo diretamente na qualidade e quantidade de água nos rios e nas nascentes, principalmente pelas atividades agrícolas, as quais se utilizam de uma excessiva quantidade de água, além de contribuírem com fontes difusas de poluentes. Assim, o desflorestamento, a erosão do solo e a poluição dos mananciais são vistos como principais fatores de degradação desse ativo ambiental (Bonnet; Ferreira; Lobo, 2008; Oliveira-Filho; Dutra; Ceruti; 2012; Pinto *et al.*, 2004; Ribeiro, 2009; Silva *et al.*, 2021).

O desmatamento no bioma Cerrado, que se intensificaram desde a década de 1970, está afetando a população brasileira em várias frentes (Ferreira; Lino, 2021). Dentre os impactos observados, destacam-se: a) a inclusão de 32 municípios do estado de Goiás no Atlas de Abastecimento Urbano da Agência Nacional de Águas (ANA), em 2010, indicando a necessidade de substituição de mananciais em um futuro próximo (Brasil, 2010); b) a decretação de emergência hídrica no Ribeirão Meia Ponte, em Goiânia, no período entre

setembro de 2017 e março de 2018, e a crescente escassez de recursos hídricos em diversas capitais, incluindo São Paulo, Brasília e Goiânia (Castro, 2022).

Devido a essa pressão ocasionada pela ocupação, principalmente, das atividades agropecuárias, o bioma apresenta uma alta fragmentação dos *habitats* naturais, o que interfere diretamente na sua conservação, colocando diversas espécies de plantas e animais em risco de extinção (Melo; Martins, 2020; Oliveira, 2022). Projeções para 2050 indicam que o Cerrado pode perder até 34% de sua vegetação nativa, levando à extinção de pelo menos mil espécies endêmicas, o que corresponderia a um impacto oito vezes superior ao de extinção mundial de plantas desde 1500 (Strassburg *et al.*, 2017)

2.1.1 Remanescentes de Cerrado e Áreas de Preservação Permanentes – APP

As áreas de vegetação remanescentes estão definidas na Lei Federal n. 12.651/2012 (Código Florestal) e são consideradas as áreas de vegetação nativa primária ou regeneração. Como dito, as áreas remanescentes de Cerrado têm sofrido com a supressão da vegetação, agravada com a expansão produtiva para o centro do País. Conforme dados o Ministério do Meio Ambiente, menos de 8,5% desses remanescentes de Cerrado se encontram legalmente protegidos em unidades de conservação (UC) (Bastos; Pestana e Oliveira 2023; Bogéa *et al.*, 2021; Pereira; Fernandes, 2022). Mesmo diante de prognósticos preocupantes, as atividades antrópicas não cessam e essa realidade não parece ter sofrido alguma mudança nos últimos anos. De acordo com Blanco *et al.* (2022), em 2018, cerca de 44,61% das áreas agrícolas do País já ocupavam o bioma do Cerrado.

De acordo com o MapBiomas Alerta, sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real do Instituto Nacional de Pesquisas Especiais (Deter/Inpe), criado em 2018, somente no ano de 2019 foram desmatados 408.646 ha no Bioma Cerrado, boa parte em unidades de conservação, terras indígenas, territórios quilombolas e áreas de preservação permanente, reserva legal ou nascentes (MapBiomas, 2020). Sano *et al.* (2020) alertou que aproximadamente metade do bioma já está transformado em algum tipo de uso e já foi alterado.

As APP, mesmo as inseridas em propriedades privadas, tal qual as reservas legais (RL), devem ser protegidas por lei e se fazem presentes no art 3º da Lei n. 12.651/2012, relativa ao Código Florestal brasileiro. De acordo com essa normativa, as áreas de preservação permanente são espaços protegidos, com ou sem cobertura de vegetação nativa. Estas têm a função de resguardar tanto os recursos hídricos quanto a paisagem, manter a estabilidade biótica e abiótica, além de garantir a estabilidade da fauna e da flora e o bem-estar humano (Brasil, 2012,

art. 3º). No entanto, conforme Gontijo *et al.* (2019), alguns estudos têm sido desenvolvidos para detectar inconsistências no cumprimento da legislação; em análises atuais avalia-se que, no Brasil, há cerca de 21 milhões de hectares de déficit de vegetação nativa situada em APP e RL.

Devido à importância ambiental na preservação dessas áreas, há a necessidade de fiscalizar e monitorar. O diagnóstico constante dessas áreas depende do apoio do mapeamento, por meio de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG), permitindo um rápido levantamento. O mapeamento das APP se torna essencial também no planejamento territorial, no qual, de forma comparativa, pode-se obter informações quando ao cumprimento da legislação para a preservação nos âmbitos local e nacional (Silva *et al.*, 2020; Teixeira; Camargo; Martins Júnior, 2018).

De acordo com Sano *et al.* (2020), em um levantamento entre os anos de 1995 e 1996, detectou-se que a maioria dos municípios do estado de Goiás demonstraram baixos índices de preservação da sua vegetação natural: 165 municípios apresentaram menos de 25% de área preservada. Atualmente, esses dados são ainda mais alarmantes: segundo o mapeamento mais recente sobre uso e cobertura da terra, MapBiomas Cerrado (2022), o bioma ainda possui 53,1% de vegetação nativa, que sofre com forte pressão antrópica e perda de 21% de área desde 1985. O estudo utiliza mais de 150 mil imagens do *Landsat 5, 7 e 8* do País para realizar suas análises.

As imagens de satélite são utilizadas como fonte para o mapeamento de informações sobre a superfície terrestre, ecossistemas e paisagens, sendo utilizadas no mapeamento da dinâmica espaço-temporal do uso das terras em todas as aplicações decorrentes (Umeda *et al.*, 2015). Assim, uma de suas principais aplicações é o apoio ao monitoramento de áreas de preservação, da cobertura vegetal e do uso da terra.

2.2 Geotecnologias, sensoriamento remoto aéreo e orbital no contexto das pesquisas ambientais

O sensoriamento remoto pode ser compreendido como uma ciência, técnica ou ferramenta que possibilita adquirir informações sobre objetos, áreas ou fenômenos sem o contato direto com os alvos em questão (Cardoso *et al.*, 2021), tornando possível coletar dados e produzir imagens da Terra e de seus recursos naturais, incluindo o solo, a vegetação, a água, a atmosfera e os objetos construídos pelo homem. Assim, é importante para vários setores, incluindo agricultura, gestão de recursos naturais, meio ambiente, meteorologia, geologia, urbanização, planejamento territorial, dentre outros (Lillesand; Kiefer; Chipman, 2008).

Aliado às Geotecnologias, o sensoriamento remoto tem sido fundamental para a observação e o registro dos fenômenos geográficos na superfície terrestre. O avanço tecnológico permitiu um grande salto nesse campo, sendo possível observar e registrar, praticamente em tempo real, diversos fenômenos no espaço geográfico (Moreira *et al.*, 2008).

Uma das etapas decisivas nessa evolução ocorreu na década de 1970, com o lançamento do *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS1), também conhecido como *Landsat 1*, em 1972 (USGS, 2013). Esse satélite artificial revolucionou a forma como coletar e interpretar informações sobre a superfície terrestre, produzindo imagens detalhadas e de média resolução espacial. Anteriormente, as imagens da superfície terrestre eram obtidas a partir de fotografias aéreas capturadas por sensores embarcados em aeronaves tripuladas (Borges; Pachêco; Santos, 2015).

Assim, até algumas décadas atrás, as plataformas satelitárias, os sensores e os computadores eram grandes e pesados, porém, menos eficazes e com pouco poder de processamento, aliados a poucos *softwares* e ferramentas para análise, o que tornava o monitoramento e o mapeamento da superfície terrestre custoso e demorado.

A tecnologia, contudo, avançou significativamente, permitindo o desenvolvimento de plataformas imageadoras, aéreas e satelitárias, mais leves e compactas, bem como sensores e computadores mais eficientes e com mais poder de processamento. Além disso, as ferramentas de análise de dados e *softwares* acompanharam os avanços tecnológicos, na mesma proporção, tornando o processo de monitoramento e mapeamento mais rápido, preciso e acessível.

Nesse sentido, sensores remotos, aéreos ou orbitais, multiespectrais ou hiperespectrais possibilitam a obtenção de imagens de alta resolução espacial, gerando informações detalhadas e precisas da superfície terrestre, tais como uso e cobertura da terra, relevo, geologia, geomorfologia, hidrografia, dentre outras. A combinação desses avanços tecnológicos tem viabilizado o monitoramento contínuo de áreas de interesse, com uma enorme quantidade de dados da superfície terrestre, possibilitando a comparação histórica e a tomada de decisões baseadas em dados precisos e atualizados.

No universo dos mapeamentos, então, o sensoriamento remoto, o geoprocessamento e os sistemas de informações geográficas tornaram-se presentes, cada vez mais, sendo ferramentas valiosas e indispensáveis à interpretação do espaço geográfico. Constituem ferramentas computacionais que propiciam mais frequência na atualização de dados, trazendo mais agilidade ao processamento.

Nesse cenário, podem-se gerar novas informações espaciais, a partir da análise e representação do espaço ou dos fenômenos espaciais, de maneira mais econômica (Vaeza *et al.*,

2010), capazes de propiciar a análise de grandes volumes de dados, em um menor período de tempo, facilitando um melhor planejamento da gestão dos recursos naturais, a avaliação do uso e cobertura da terra e a análise de bacias hidrográficas, por exemplo (Faustino; Ramos; Silva, 2014).

Para Rodrigues *et al.* (2014), o sensoriamento remoto se tornou uma ferramenta bastante eficaz na espacialização e quantificação dos recursos naturais e os sistemas de informações geográficas (SIG) têm colaborado para o mapeamento e zoneamento, atuando como método de fiscalização e planejamento. Além disso, facilita a realização de operações complexas, permitindo a integração de grande volume de dados de natureza e escalas diferentes, como imagens de satélite, cartas topográficas e informações pontuais (Valle; Francelino; Pinheiro, 2016).

Percebe-se, atualmente, que são vários os projetos para análise e mapeamento proporcionados pela interpretação e classificação de imagens de satélite. Dentre os de abrangência nacional estão o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio, 2002), coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente, em parceria com o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), o Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (MMA, 2015), coordenado pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais (Ibama), o Programa TerraClass Cerrado, coordenado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) e pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (Brasil, 2015), e o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas, 2020), formado por organizações não governamentais (ONG), universidades e empresas de tecnologia.

Nota-se que, partir dos anos 2000, a utilização de Geotecnologias para o mapeamento e monitoramento do uso e cobertura dos biomas brasileiros, incluindo o Cerrado, ganhou mais visibilidade, potencializado por investimentos do Ministério do Meio Ambiente (MMA), Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), instituições internacionais, dentre outros programas e projetos direcionados para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal. Neste grupo estão, por exemplo, o Programa de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia (Prodes), o Projeto de Detecção de Áreas Desflorestadas em Tempo Real (Deter), Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), o Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio), o TerraClass, o projeto FIP FM Cerrado e MapBiomas (Almeida *et al.*, 2014; Ferreira *et al.*, 2019; Oliveira Junior *et al.*, 2019; Maurano; Almeida; Meira, 2019; Oliveira *et al.*, 2020; Sano *et al.*, 2019).

Isso resultou em avanços significativos no entendimento das dinâmicas de uso e ocupação da terra e na gestão do bioma Cerrado, de suma importância para a biodiversidade brasileira. Além disso, possibilitou a criação de uma base de dados robusta e uma diversidade de técnicas, metodologias e ferramentas, que auxiliam o planejamento de ações de conservação, uso sustentável dos recursos, combate ao desmatamento, políticas públicas e financiamentos direcionados para a pesquisa e conservação ambiental. Assim, as geotecnologias, como o próprio sensoriamento remoto, demonstram ser ferramentas fundamentais para a gestão ambiental e territorial. A capacidade de obter dados detalhados da superfície da Terra, praticamente em tempo real, transformou radicalmente as práticas de mapeamento, monitoramento e planejamento em diversos campos, desde a agricultura até a conservação ambiental (Ferreira *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2020).

2.2.1 Satélites, Sensores e Produtos Orbitais

O Sensoriamento Remoto, como é conhecido atualmente, é o resultado do trabalho conjunto de diversas áreas do conhecimento, com destaque para as áreas de física, química, biociências, geociências, computação e mecânica, dentre outras ciências. Essa colaboração interdisciplinar, tem sido fundamental para o desenvolvimento de tecnologias de detecção remota, tal como os satélites artificiais, que possibilitam a observação e análise da superfície da Terra à distância (Zanetti *et al.* 2015).

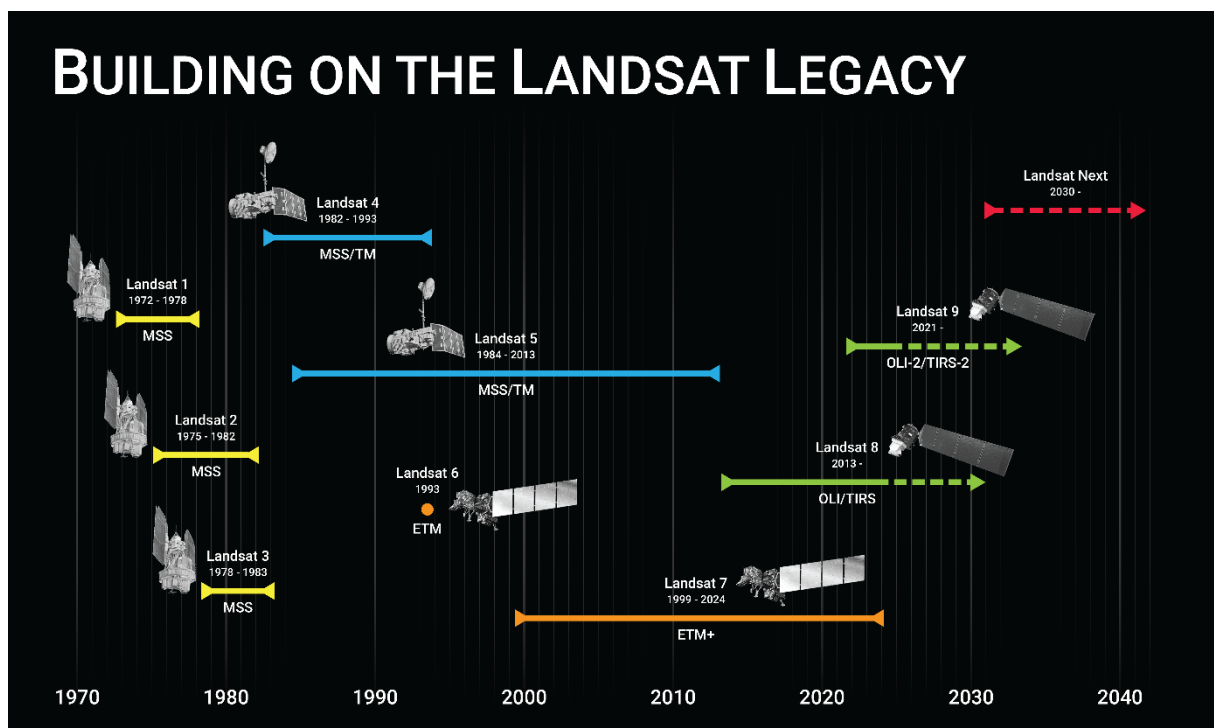
Nesse sentido, os satélites vêm desempenhando um papel importante na história da observação terrestre, desde o lançamento do primeiro satélite artificial do planeta, o *Sputnik 1*, lançado pela antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) em 04 de outubro de 1957, durante a Guerra Fria, dando início a era espacial, seguido pelo desenvolvimento de satélites americanos, na década de 1960, influenciando até os dias atuais (Anz-Meador; Opiela; Liou, 2023; Landgrebe, 1997; Lauer; Morain; Salomonson, 1997; Zanetti *et al.* 2015).

Nesse contexto, O programa *Landsat* representa um marco histórico na observação da Terra, começando com o lançamento do *Earth Resources Technology Satellite* (ERTS), posteriormente renomeado para *Landsat 1*. Este programa teve início na década de 1960, marcando uma nova era da série de satélites dedicados ao mapeamento da superfície terrestre. Em 1975, o projeto ERTS foi oficialmente renomeado para *Landsat*, representando a transição para uma série contínua de missões sob o desenvolvimento conjunto do *United States Geological Survey* (USGS) e da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA),

focadas predominantemente no monitoramento dos recursos naturais da Terra (Inpe, 2023; Loveland; Dwyer, 2012; Roy *et al.*, 2014; Voskanian *et al.* 2023).

A série *Landsat* evoluiu significativamente desde então, com o lançamento subsequente dos satélites *Landsat 2* (1975 – 1982), *Landsat 3* (1978 – 1983), *Landsat 4* (1982 – 1993), *Landsat 5* (1984 – 2013), *Landsat 6* (1993), *Landsat 7* (1999 – 2024), *Landsat 8* (2013 – em funcionamento) e *Landsat 9* (2021 – em funcionamento), com previsão de lançamento do décimo satélite da série, o *Landsat Next*, para o ano de 2030, conforme Figura 2.

Figura 2: Linha do Tempo do Programa *Landsat*, iniciado com o lançamento do *Landsat 1*, em 1972 até o lançamento do *Landsat 9* em 2021, com previsão de lançamento do *Landsat Next* para 2030.



Fonte: *Landsat Science* – NASA.

Os satélites foram equipados com uma variedade de instrumentos sensores, incluindo as câmeras *Return Beam Vidicon* (RBV) e *Multispectral Scanner System* (MSS) (*Landsat 1* ao *Landsat 5*), e mais tarde, o *Thematic Mapper* (TM), lançado em 1982 e usado no *Landsat 4* e *Landsat 5*. Este último representou uma evolução significativa com sua capacidade aprimorada para capturar dados em sete diferentes bandas espectrais, permitindo uma análise mais detalhada e diversificada da superfície terrestre.

Os avanços continuaram com o lançamento do sensor *Enhanced Thematic Mapper* (ETM), utilizado no *Landsat 6* e aprimorado como ETM+ para o *Landsat 7*. Além desses foram

desenvolvidos o *Operational Land Imager* (OLI) e *Thermal Infrared Sensor* (TIRS), introduzidos nos *Landsat 8* e aprimorado no *Landsat 9* (TIRS-2 e OLI-2), demonstrado na Figura 2. Estes satélites mais recentes oferecem imagens ortorretificadas disponibilizadas em formato GeoTIFF, ampliando o acesso e a aplicabilidade desses dados para uma gama mais vasta de pesquisas e aplicações.

O Landsat, desde o seu desenvolvimento, tem desempenhado um papel importante na observação da Terra, com cada satélite trazendo novos avanços tecnológicos que aprimoram nossa compreensão do planeta. O impacto do programa Landsat é global, fornecendo dados da superfície terrestre essenciais para o monitoramento ambiental, gestão de recursos naturais, planejamento urbano, estudos climáticos e científicos, dentre outros. No Brasil, as imagens *Landsat* têm sido fundamentais no monitoramento do uso e cobertura do solo, disponibilizados gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e também pelo USGS, sendo utilizado em projetos importantes como o Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), atualmente disponibilizados pelo TerraBrasilis, levantamento do uso e cobertura no Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (Probio) coordenado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA), o Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), dentre outros (Embrapa, 2022; Inpe, 2023; MapBiomias, 2024; MMA, 2015).

Diante deste cenário, Oliveira *et al.* (2020) ressaltam a importância do uso do sensoriamento remoto como uma poderosa ferramenta para mapear a vegetação e a dinâmica temporal da supressão *versus* a expansão agropecuária. Um exemplo notável é o estudo de Almeida *et al.* (2016) que realizou o mapeamento do desflorestamento a partir do uso de imagens *Landsat 5/TM* e o resultado deste estudo é um mapa de uso e cobertura da terra com alta resolução espacial para toda a Amazônia Legal Brasileira, para o ano de 2008, e os respectivos percentuais da área ocupada por diferentes classes de uso da terra.

Há, portanto, um ganho considerável das técnicas advindas do sensoriamento remoto, aliados ao uso dos satélites orbitais, sobretudo na elaboração de diagnósticos e prognósticos mais precisos sobre as paisagens, principalmente em áreas rurais. A utilização de ferramentas e técnicas específicas de geoprocessamento no sensoriamento remoto, seja orbital ou aéreo, tem permitido a integração de vários elementos da paisagem, como solo, hidrografia, relevo, informações climáticas, uso e ocupação da terra, dentre outros (Bøgh *et al.*, 2004; Jesuz *et al.*, 2017; Latrubesse; Rodrigues; Mamede, 1998; Reatto *et al.*, 2004).

Com o avanço tecnológico, uma variedade de constelações de satélites tem sido lançada e aprimorada ao longo dos anos e estão orbitando a Terra, registrando imagens para o

monitoramento e análise dos recursos naturais da superfície terrestre. Dentre elas destacam-se *NOAA (desde 1970)*, *Landsat (1972)*, *SPOT (1986)*, *Ikonos (1999)*, *CBERS (1999)*, *Quickbird (2001)*, *Worldview (2007)*, *Rapideye (2008)*, *Geoeye (2008)*, *Sentinel (2014)* e, por fim, os nanossatélites desenvolvidos pela *Planet*, lançados entre 2015 e 2016, com revisita diária e uma resolução espacial nominal de 3 m (Anz-Meador; Opiela; Liou, 2023; Landgrebe, 1997; Lauer; Morain; Salomonson, 1997; Yang *et al.*, 2023; Zanetti *et al.* 2015).

Dessa maneira, para esta pesquisa, adotou-se a série de satélites *Sentinel*, desenvolvido pela *European Space Agency (ESA)* e lançado em 2014, tendo como objetivo monitorar os recursos naturais terrestres, o uso e a ocupação das terras, os ambientes marinhos, o clima e os desastres naturais, com 13 bandas espectrais e resolução espacial de 10 m e resolução temporal de 5 dias e seus dados disponibilizados gratuitamente pela ESA (Embrapa, 2023; Sousa, 2023; Teixeira, 2018).

Bem como também foi escolhido o Satélite *PlanetScope* desenvolvidos e operados pela empresa *PlanetLabs*, por tratar-se de uma revolução na área do sensoriamento remoto e uma ferramenta inovadora, com mais de 200 satélites em órbita, gerando imagens diárias da superfície terrestre com alta resolução espacial de três metros, quatro bandas espectrais (azul, verde, vermelho e infravermelho próximo – NIR) e precisão planimétrica. Nenhum outro satélite possui a qualidade de sua cobertura, possibilitando análises complexas e minuciosas (Barroso; Oliveira, 2016; Planet, 2018).

2.2.1.1 Imagens *Sentinel*

A Missão *Sentinel* originou-se da missão denominada *Global Monitoring for Environment and Security (GMES)*, renomeada como *Sentinel* no ano de 2012. A série de satélites *Sentinel* se desenvolveu a partir do projeto da Agência Espacial Europeia (ESA), com o primeiro lançamento no ano de 2014, fazendo parte do Programa de Observação da Terra da União Europeia, o Copernicus. A missão compôs-se de pares de satélites (*Sentinel 1A*, *Sentinel 1B*, *Sentinel 2A*, *Sentinel 2B*, dentre outros). A principal finalidade da missão *Sentinel 2* é a de disponibilizar dados satelitários multiespectrais com boa resolução para o monitoramento da cobertura e uso da terra, monitoramento agrícola, mudanças climáticas e de catástrofes, além de complementar outras missões de satélite, como o *Landsat*. (Donlon *et al.*, 2012; Phiri *et al.*, 2020; Szantoi; Strobl, 2019).

O primeiro satélite *Sentinel* lançado foi o *Sentinel 1A*, com o sensor de radar SAR, um sensor de abertura sintética que opera na banda C (entre 8 a 4 GHz ou 3,8-7,5 cm), lançado em

3 de abril de 2014. Já o *Sentinel 1B* foi lançado em 22 de abril de 2016, com o mesmo sensor de radar. Os dados dos satélites *Sentinel 1* são amplamente utilizados para o monitoramento da superfície terrestre, de corpos d'água, áreas úmidas e oceanos (Tian *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2019; Zeng *et al.* 2017).

Já os satélites da série *Sentinel 2* foram lançados em 23 de junho de 2015 (*Sentinel 2A*) e 7 de março de 2017 (*Sentinel 2B*), carregando a bordo o sensor óptico *Multispectral Instrument* (MSI), com resolução espacial de até 10 m e 13 bandas espectrais (variando de 442 nm até 2.202 nm). Os satélites da série *Sentinel 2* possuem uma órbita polar heliossíncrona, estando a uma altitude aproximada de 786 km; a resolução temporal de cada satélite é de dez dias, no entanto, a resolução temporal combinada dos satélites é de cinco dias, fornecendo assim informações multiespectrais da superfície terrestre e zona costeira, para as mais diversas aplicações, tais como monitoramento florestal, agricultura, avaliação do uso e cobertura da terra. (Immitzer; Vuolo; Atzberger, 2016; Drusch, 2012; Korhonen *et al.*, 2017; Phiri *et al.*, 2020).

Desde seu lançamento, os dados do satélite *Sentinel 2* têm sido amplamente utilizados pela comunidade científica em diversas aplicações. Addabbo *et al.* (2016), por exemplo, compararam o NDVI derivado do *Sentinel 2* e do *Landsat 8* para avaliar a saúde da vegetação no entorno do Palácio de Caserta, na Itália, concluindo que, em áreas menores, o *Sentinel 2* se mostrou mais adequado. Panigada *et al.* (2019), por sua vez, empregaram imagens desse satélite para monitorar a dinâmica fenológica de diferentes componentes da vegetação de terras secas no deserto de Negev, em Israel, obtendo sucesso ao rastrear o esverdeamento da biocrosta em um intervalo de apenas 15 dias após o início da estação sazonal.

Rodrigues *et al.* (2019) analisaram a capacidade do satélite *Sentinel 1* na detecção de mudanças na cobertura vegetal do Cerrado, visando fiscalização e controle de desmatamentos ilegais no oeste da Bahia. O estudo obteve 95% de acurácia, o que levou os autores a recomendarem o uso integrado de dados ópticos e de radar (*Sentinel 1* e *Sentinel 2*) no mapeamento da cobertura vegetal do Cerrado. De forma semelhante, Brito e Brito (2020) confirmaram a adequação das imagens do *Sentinel 2* para o mapeamento da qualidade das pastagens no bioma, por meio de índices de vegetação.

Rezende e Ferreira (2020) trazem um estudo que avalia as estimativas do conteúdo de umidade do combustível de duas fitofisionomias do Cerrado: Cerrado Típico e Campo Limpo, a partir dos índices de reflectância por faixas espectrais do satélite *Sentinel 2*. A metodologia se mostrou eficaz e pode ser aplicada em grandes áreas da região do Cerrado, estimando a

quantidade de combustível; com isso, torna-se possível realizar a estimativa de riscos de incêndios.

Ainda, Lewis *et al.* (2022) realizaram o mapeamento de vegetação nativa e não nativa no Cerrado brasileiro, em Goiás, utilizando dados do *Sentinel 1*, *Sentinel 2* e *Landsat 8*, utilizando o *Google Earth Engine* (GEE) e classificador RF. As precisões das classificações entre variaram de 88,6 a 92,6% para vegetação nativa e não nativa no estágio 1 e 70,7 a 77,9% para vegetação nativa no estágio 2. Bem como, Furuya *et al.* 2020 realizaram mapeamento de vegetação florestal nas zonas ribeirinhas do bioma Atlântico, utilizando imagens do *Sentinel 2*, aplicando algoritmos de aprendizado de máquina para extrair as informações dos dados satelitários, obtendo alta acurácia nos resultados do mapeamento da vegetação.

Outro exemplo quanto à utilização das imagens do *Sentinel* é o estudo realizado por Bolfe *et al.* (2023) que utilizou técnicas de aprendizado de máquina para combinar diversos índices de vegetação *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Water index* (NDWI) e *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), gerados a partir de imagens multiespectrais do *Sentinel 2* para mapear e avaliar a intensificação agrícola no Cerrado brasileiro. E o estudo de Sano *et al.* (2023) que encontraram evidências promissoras ao utilizar imagens dos satélites *Landsat*, *Sentinel 2*, *PlanetScope* e *CBERS-4A* (*China-Brasil Earth Resources*) como parâmetros para o classificador *Random Forest* (RF), com apoio de dados de campo para o monitoramento agrícola no Cerrado.

Além desses, outros estudos foram realizadas utilizando o *Sentinel 2* para mapeamento do potencial de intensificação sustentável da agricultura brasileira; relações das fitofisionomias de Caatinga com atributos dos solos; identificação de áreas com plantas invasoras em Unidades de Conservação; detecção de áreas de acumulação; mapeamento de corpos d'água, severidade de queimadas, classificação da vegetação dentre outras (Du *et al.*, 2016; Gomes, 2017; Immitzer; Vuolo; Atzberger, 2016; Kuchler *et al.*, 2017; Novelli; Aguilar *et al.*, 2016; Silveira, 2018; Silva; Beltrão; Santos, 2023).

Portanto, foram utilizados dados dos satélites *Sentinel 2* nesta pesquisa, devido à sua boa resolução espacial (10 m), capacidade de captura em diversas bandas espectrais e a frequência regular de revisita (5 dias), o que permite monitoramento contínuo e detalhado da superfície terrestre, possibilitando o mapeamento do uso e cobertura da terra, a quantificação de áreas de vegetação nativa dos remanescentes de Cerrado, das áreas de agricultura e pastagens, bem como a identificação de cursos d'água na área de estudo.

2.2.1.2 Imagens *PlanetScope*

A empresa *Planet Labs* foi fundada em 2011, na Califórnia (EUA) e hoje mantém três constelações de satélites: *PlanetScope*, *RapidEye* e *Sky-Sat* (*Planet*, 2018). O conjunto de satélites *PlanetScope* é composto por nanossatélites — também chamados de *CubeSats* — com dimensões de aproximadamente 10 cm e massa de até 1,33 kg (Marinan; Nicholas; Cahoy, 2013).

Entre 2015 e 2022, a *Planet Labs* lançou mais de 240 desses nanossatélites, denominados *Dove* e *SuperDove*, os quais produzem diariamente mais de 300 milhões de km² de imagens desde 2016, viabilizando o monitoramento diário da superfície terrestre com resolução espacial de 3 m. Os satélites estão distribuídos em duas órbitas: uma na Estação Espacial Internacional (ISS), a aproximadamente 400 km de altitude, e outra em órbita heliossíncrona (SSO), a cerca de 475 km, com hora local solar entre 9h30 e 11h30 (Barroso; Oliveira, 2016; Planet, 2018; Tan *et al.*, 2023).

A constelação *Dove*, lançada a partir de 2015, captura imagens multiespectrais em quatro bandas (Azul: 455–515 nm, Verde: 500–590 nm, Vermelho: 590–670 nm e Infravermelho próximo: 780–860 nm), com resolução radiométrica de 12 bits e espacial de 3 m, resultando em produtos ortorretificados (*Planet*, 2019). Já os *SuperDove* contam com oito canais (sete no espectro visível e um no NIR), porém a resolução de amostragem varia: 3 m para as bandas do Azul ao Vermelho (RGB), 6 m para *Red Edge* e NIR, e 12 m para a banda *Coastal Blue*. Apesar das diferenças de amostragem, a Planet disponibiliza esses dados em formato GeoTIFF ortorretificado, com pixels de 3 × 3 m, por meio do Planet Explorer (<https://www.planet.com/explorer>) ou via interface de programação de aplicativos (API) (Tan *et al.*, 2023).

Para adquirir as imagens, os usuários podem solicitar um orçamento diretamente à empresa ou obter uma licença para uso acadêmico através do site www.planet.com. Para as atividades de pesquisas associadas a universidades, a Planet permite a obtenção gratuita de imagens, além disso após um acordo internacional *International Climate & Forests Initiative* (NICFI), os usuários agora podem acessar os mosaicos de alta resolução e prontos para análise dos trópicos do mundo, para usos não comerciais.

As aplicações das imagens *PlanetScope* tendem a suprir o mercado global, que demanda uma capacidade de recobrimento diária e alta resolução espacial, como o monitoramento de desmatamento, o mapeamento do uso e cobertura da terra, setores da agricultura, atendendo também à demanda de órgãos federais e estaduais (Barroso; Oliveira, 2016).

Estudos recentes buscaram avaliar o potencial das imagens *PlanetScope* em diferentes aplicações, tais como os de Asner, Martin e Mascaro (2017), que avaliaram a acurácia das imagens *Planet* comparadas com levantamentos fotográficos subaquáticos no mapeamento de recifes de coral no arquipélago de *Spratly*, verificando uma acurácia de 92% das imagens classificadas na detecção da extensão dos recifes de coral rasos. Steiner *et al.* (2017) combinaram as imagens de alta resolução da *PlanetScope* com imagens *Landsat* e modelos digitais de elevação na quantificação das mudanças de altitude e velocidades de fluxo durante um surto de geleiras do *Glaciar Khurdopin*, no ano de 2017. McCabe *et al.* (2017) utilizaram os dados da *PlanetScope* para estimar a dinâmica da vegetação e a evaporação terrestre. Os resultados demonstraram um nível de detalhe alto dentro e entre os campos, distribuindo padrões do uso de água em escala de fazenda, além de identificar áreas com estresse de nutrientes ou água, detalhes não identificados com imagens *Landsat*.

Pinheiro, Ramos e Marcato Júnior (2020) investigaram a utilização e aplicação das imagens *Planet* ao Cadastro Ambiental Rural no Mato Grosso do Sul. Para tanto, aplicaram o classificador *Random Forest*, no *Google Earth Engine*, para classificar as imagens *Planet*, com uma exatidão global de 99,98%. Constataram uma efetividade de 100% das imagens *Planet* para classificação das áreas de vegetação nativa e um destaque na classificação das áreas de ocupação agrossilvipastoris, ecoturismo e turismo rural. Dessa maneira, concluíram que as imagens *PlanetScope* possuem um grande potencial de uso, a partir da classificação semi-supervisionada, no Cadastro Ambiental Rural, para facilitar e acelerar o uso em diagnóstico dos desmatamentos ocorridos em APP e reservas legais.

E, Wang *et al.* (2021) utilizou imagens de satélite do *PlanetScope* para detecção de nuvens e sombras de nuvens em regiões tropicais, cujo resultado sugeriu precisão de 98,03% para esse tipo de mapeamento; e o de Sano *et al.* (2023), que analisaram o potencial de seis mosaicos mensais do *PlanetScope* das safras de 2021/2022 para discriminar áreas de cultivo duplo em um município do estado de Goiás, Brasil. A precisão geral foi de 92,2% e a ideia é a de que a abordagem seja referência para o mapeamento e o monitoramento das fronteiras agrícolas do bioma Cerrado.

Os estudos confirmam o potencial das imagens *PlanetScope*, devido à sua alta resolução espacial, comparadas aos satélites *Landsat* (resolução espacial de 30 m); no entanto, ainda que a resolução espacial da *Planet* seja de 3 m, alguns detalhes podem passar despercebidos em uma escala de detalhe maior, podendo eles serem supridos pelo uso de um VANT.

2.2.2 Veículos Aéreos Não Tripulados – VANT: Conceitos E Aplicações

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) ou Veículo Aéreo Remotamente Tripulado (VART), ou do inglês *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) ou *Remotely Piloted Aircrafts* (RPA), foram desenvolvidos inicialmente para usos militares, com a finalidade de acessar ambientes hostis e de difícil acesso aos seres humanos (Jorge; Inamasu, 2014; Viana *et al.*, 2018). Com o avanço tecnológico, nas últimas décadas, ocorreu a popularização do VANT, amplamente conhecido como “drone”, sendo utilizada para diversas aplicações em vários setores da sociedade, tais como: agricultura, ambiental, infraestrutura, uso militar, segurança pública, universidades, dentre outros (Furtado *et al.*, 2023).

De forma sucinta, o termo "drone" tem origem na língua inglesa, nos Estados Unidos da América (EUA), podendo ser traduzido como “zangão”. Esse termo é uma denominação genérica e popular, sem amparo técnico ou legal, que passou a ser difundido globalmente para se referir a qualquer tipo de aeronave não tripulada, que são controladas remotamente, independente da sua finalidade (comercial, militar, profissional, recreativo, dentre outras) (Neto; Furlaneto, 2022). No Brasil, segundo as normas da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o termo Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) ou "*Remotely Piloted Aircraft*" (RPA), em inglês, é o mais adequado para denominar as aeronaves remotamente pilotadas de caráter não-recreativo (Sobral; Santos, 2019).

Em nosso país, o uso dos veículos aéreos não tripulados é regulamentado pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) e pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). O principal documento normatizador, emitido pelo DECEA, é a Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10, em 23/09/2010, intitulada como "Veículos Aéreos Não Tripulados", criado para regular o uso dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARP).

Assim, no Brasil, Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é adotado como a nomenclatura oficial pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo para definir este tipo de atividade. Segundo a Circular de Informações Aéreas AIC N 21/10 de 23/09/2010, do DECEA, caracteriza o VANT como “um veículo aéreo projetado para operar sem piloto a bordo, que possua uma carga útil embarcada e que não seja utilizado para fins recreativos”, sendo definido como carga útil “todos os equipamentos a bordo que não são necessários para o voo e nem para o seu controle, e seu transporte visa, exclusivamente, o cumprimento de uma missão” (DECEA, 2010; Alves Jr., 2015). Sendo complementada pela Instrução Suplementar

– IS nº. 21-002A da ANAC, que define VANT como “Aeronave projetada para operar sem piloto a bordo que não seja utilizada para fins meramente recreativos” incluem-se, ainda, nesta definição, “todos os aviões, helicópteros e dirigíveis controláveis nos três eixos, excluindo-se, portanto, os balões tradicionais e os aeromodelos” (ANAC, 2012; Silva, 2013, Fontes; Pozzetti, 2016).

Os VANT podem ser equipados com uma ampla gama de câmeras e sensores, tais como: RGB, térmicas, multiespectrais, hiperespectrais, LIDAR (*Light Detection and Ranging*), dentre outros, possibilitando a aplicação desse equipamento em diversas áreas. Com essas possibilidades de configuração, o VANT se mostra bastante promissor, principalmente nas áreas ambientais, científicas e na agricultura, sendo utilizado para fotografia e filmagem aérea, mapeamento de terrenos, inspeções em locais de difícil acesso, na agricultura de precisão, monitoramento ambiental, projetos viários, entre outras aplicações (Almeida *et al.*, 2014; Alves Jr., 2015; Andrade *et al.*, 2018; Fontes; Pozzetti, 2016; Longhitano, 2010; Madureira, 2021). Nesse sentido, as informações coletadas pelos VANTs auxiliam em diversas atividades, mapeamento do uso e cobertura da terra, mapeamento de vegetação nativa, na detecção de falhas de plantio, estresse hídrico e nutricional, doenças e pragas, além de fornecerem dados sobre a saúde, vigor e estrutura das plantas, entre outras (Crato, 2018; Candido; Silva; Paranhos Filho, 2015; Hoerlle *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2015).

Além disso, o seu emprego para monitorar a cobertura de vegetação e usos da terra tem apresentado resultados importantes, como o monitoramento ambiental avaliado por Almeida *et al.* (2015). Esses autores realizaram um levantamento aéreo e obtiveram a qualidade geométrica e cartográfica produzida pelo VANT em alta resolução espacial, permitindo a atualização de bases cartográficas com escala de 1/10.000, alcançando, dessa maneira, informações precisas e detalhadas daquele ambiente. Além disso, há uma redução do tempo de coleta, custo e até mesmo dos riscos para os pesquisadores que estão em campo (Dandois; Ellis, 2013; Zahawi *et al.*, 2015).

A partir do aerolevanteamento por VANT, são gerados os modelos digitais de superfície (MDS), os modelos digitais de terreno (MDT) e os modelos digitais de elevação (MDE), além dos mosaicos ortorretificados. Segundo Chaplot (2006), o modelo digital de elevação (MDE) é uma representação numérica da topografia do terreno com células de mesmo tamanho (pixel), que representam valores de elevação; alguns autores, entretanto, preferem utilizar a denominação de modelo digital de superfície para descrevê-lo. Para Cruz *et al.* (2011), o MDS é um modelo que representa a superfície do terreno somada a quaisquer objetos (isto é, árvores e construções, cujo topo será representado como a superfície do terreno), enquanto o MDE pode

trazer apenas os elementos sobre o terreno, propiciando análises precisas, como a de altura de árvores ou prédios, ou profundidade de erosões, por exemplo.

Dentre algumas vantagens do MDS gerado pelo VANT, em relação àqueles gerados pela missão SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*, ou pelo *Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Global Digital Elevation Model* (ASTER GDEM), se deve à elevada resolução espacial na modelagem 3D da paisagem, possibilitando uma visualização mais detalhada e o entendimento de certas relações entre uso da terra e feições naturais (Isioye; Jobin, 2012). Além disso, a resolução temporal do VANT é outro diferencial, pois permite que o usuário escolha o período de repetição do levantamento, facilitando o acompanhamento dos alvos ao longo do tempo (Figueira; Oliveira, 2013).

Com a crescente popularização, os VANT têm sido utilizados em diversos estudos florestais, aliados a técnicas de fotogrametria 3D para obtenção de parâmetros estruturais da vegetação, tais como a cobertura florestal, a altura das árvores e a altura do dossel, dentre outros (Banu *et al.*, 2017; Mlambo *et al.*, 2017; Puliti *et al.*, 2015; Schonberger; Frahm, 2016; Wu *et al.*, 2019; Yurtseven *et al.*, 2019; Zahawi *et al.*, 2015). Essas variáveis são importantes para a identificar falhas de plantios, taxas de desmatamento e regeneração florestal, bem como para a estimativa de biomassa e volume de árvores. Esses parâmetros podem ser obtidos em campo, porém, demandam muito tempo; desse modo, geralmente são utilizados cálculos estatísticos para estimar os valores para determinada área. Em contrapartida, com a aplicação do VANT, usando técnicas de fotogrametria 3D e *softwares* adequados, é possível obter dados de áreas mais amplas, em menor tempo.

Dentre essas técnicas de sensoriamento remoto, o uso de sensores de imageamento embarcados em drones tem se destacado nos últimos anos, consolidando-se como um novo método de obtenção de dados suborbitais com alta resolução espacial, temporal, espectral e multissensores (Almeida, 2010; Colomina; Molina, 2014; Dias; Rossa, 2015; Jesuz *et al.*, 2017). A flexibilidade de transporte e a aplicação, aliadas ao baixo custo, estimularam o uso generalizado de drones em estudos ambientais, geológicos, na agricultura, dentre outros (Felix *et al.*, 2017; Jorge; Inamasu, 2014; Linhares *et al.*, 2014; Lucieer *et al.*, 2014; Niethammer *et al.*, 2012; Tschiedel; Oliveira; Paiva, 2017).

De modo geral, um VANT destaca-se como uma ferramenta eficaz para a captação de imagens de alta definição, oferecendo tanto um custo reduzido quanto uma elevada resolução temporal. Tais atributos têm contribuído para a crescente popularidade dos VANTs, especialmente na atualização e criação de mapas em regiões remotas ou de pequena extensão,

onde a aplicação de técnicas tradicionais de fotogrametria se mostra economicamente inviável (Alves Jr., 2015).

2.2.3 Índices de Vegetação Baseados em Bandas RGB

Os índices de vegetação são amplamente discutidos na literatura por explorarem as propriedades espectrais da vegetação, especialmente nas faixas do espectro visível e do infravermelho próximo (Ponzoni; Shimabukuro, 2010). De modo geral, um índice de vegetação envolve uma combinação aritmética entre duas ou mais bandas espectrais, obtidas por sensores remotos em plataformas aéreas ou orbitais, com o intuito de enfatizar componentes de interesse ligados às características fisiográficas das plantas (Pezzopane *et al.*, 2019; Shiratsuchi *et al.*, 2014).

Nesse contexto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) figura como um dos mais utilizados, devido à sua forte correlação linear com o crescimento das culturas, como apontado por Shiratsuchi *et al.* (2014). Tucker (1979), ao estudar diferentes combinações lineares das bandas do verde, vermelho e infravermelho próximo (NIR), demonstrou a relevância desses comprimentos de onda para monitorar atributos como biomassa, teor de água e clorofila na vegetação.

No entanto, para o cálculo do NDVI, é indispensável que o sensor registre comprimentos de onda no infravermelho próximo (NIR), recurso presente em sensores multiespectrais ou hiperespectrais, mas que acarreta custos relativamente elevados. Em contrapartida, os recentes avanços tecnológicos na captação de imagens no espectro visível (RGB) — com câmeras mais acessíveis e facilmente embarcadas em veículos aéreos não tripulados (VANTs) — têm incentivado o desenvolvimento de índices de vegetação baseados apenas em RGB, atendendo a diversas finalidades práticas (Abrantes, 2019).

As câmeras RGB simulam a visão humana ao detectar luz entre 390 e 700 nm, faixa na qual a refletância vegetal é afetada por pigmentos como a clorofila (Mahlein, 2016). Essa característica possibilita a elaboração de vários índices de vegetação (IVs), empregando bandas específicas na região verde e vermelha do espectro (Barbosa *et al.*, 2019; Brunori *et al.*, 2020).

Como resultado, índices obtidos a partir de imagens RGB vêm se mostrando promissores, sobretudo pelo custo reduzido em comparação aos sensores multiespectrais, hiperespectrais ou termais (Barbedo, 2019; Haider *et al.*, 2021; Linhares *et al.*, 2013; Vesali *et al.*, 2015). Tais câmeras são relativamente baratas e portáteis, adaptando-se bem à aerofotogrametria. Assim, diversos pesquisadores têm buscado abordagens que simplifiquem o

uso de câmeras RGB acopladas a VANTs, desenvolvendo índices menos complexos como alternativa aos tradicionais NDVIs com banda NIR (Ballesteros et al., 2018).

2.2.3.1 Índices de Vegetação RGB e sua aplicação

Segundo Rigon et al. (2016), os índices de vegetação RGB expressam exclusivamente as propriedades do espectro visível dos alvos, estando diretamente relacionados à refletância dos pigmentos da superfície do dossel registrados nas imagens. Kazemi e Ghanbari Parmehr (2023) avaliaram índices RGB como MExG (Modified Excess Green), MGRVI (Modified Green Red Vegetation Index), RGBVI (Red Green Blue Vegetation Index) e GLI (Green Leaf Index), obtidos a partir de imagens aéreas capturadas por um VANT DJI Phantom 4 Multispectral. O objetivo do estudo foi monitorar o crescimento de culturas de arroz, sendo destacado pelos autores o bom desempenho dos índices RGB, que proporcionaram uma gestão agrícola eficaz e permitiram minimizar danos à produção agrícola, com desempenho comparável ao do NDVI derivado de câmeras multiespectrais.

Por outro lado, Santos et al. (2022), no estudo intitulado “Comparação entre produtos de sensoriamento remoto obtidos por sensores orbitais e VANT aplicados à conservação de precisão”, discutiram a aplicação da agricultura de precisão (AP) para aumentar a produtividade agrícola utilizando menos recursos. Nesse contexto, introduziram a abordagem denominada “Conservação de Precisão”, que prioriza os aspectos conservacionistas antes de outros fatores no sistema produtivo.

A pesquisa foi desenvolvida em uma lavoura de soja durante a safra 2018/2019, utilizando imagens obtidas por VANT e dois satélites orbitais: o sensor OLI/Landsat 8 e o Sentinel 2. Foram confeccionados mapas de índices vegetativos (IV), sendo utilizados o NDVI nas imagens de satélite e o índice espectral RGB denominado MPRI (Modified Photochemical Reflectance Index) nas imagens obtidas pelo VANT. Além disso, realizaram-se classificações do uso da terra com duas macroclasses (solo e soja), utilizando o método Semi-automatic Classification Plugin (SCP) (Santos et al., 2022).

A eficiência dos diferentes métodos foi avaliada por meio de análise visual e quantitativa. Os resultados apontaram que o uso do satélite OLI/Landsat 8 se justifica por sua gratuidade e boa resolução temporal, enquanto os produtos obtidos com o Sentinel 2 se mostraram eficazes na identificação de irregularidades nas lavouras. Entretanto, os mapas produzidos com imagens do VANT destacaram-se pelo alto nível de detalhamento alcançado.

O método de classificação SCP obteve resultados satisfatórios em todos os tratamentos, bem como o índice MPRI aplicado ao monitoramento agrícola por VANT (Santos et al., 2022).

Ferreira et al. (2019) avaliaram o uso de VANTs para zoneamento de áreas com risco de queimadas em parques e reservas naturais no Cerrado. Realizaram 32 voos no Parque Nacional de Brasília, utilizando os índices RGB MPRI, GLI, TGI e VARI, com o intuito de estimar a proporção de vegetação verde e seca, e assim identificar áreas com maior susceptibilidade a incêndios. O método mostrou-se vantajoso e de bom custo-benefício, permitindo identificar com precisão áreas com elevado risco de incêndios, sendo sugerida a adoção dessa abordagem por instituições de conservação.

Esses exemplos evidenciam que a comunidade científica tem explorado com sucesso o potencial dos índices espectrais RGB para extração de informações em imagens de satélites e fotografias aéreas obtidas por VANTs. Cada banda do espectro visível possui um comprimento de onda específico, capaz de captar informações particulares sobre a superfície terrestre. Ao combiná-las por meio de técnicas em softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), podem-se gerar índices espectrais que realçam elementos específicos da superfície terrestre, como vegetação, solo e água. Tais ferramentas têm se tornado importantes instrumentos de análise geoespacial e monitoramento ambiental, sendo utilizadas para avaliar a saúde da vegetação, identificar áreas degradadas, monitorar mudanças de cobertura vegetal e, inclusive, apoiar estudos voltados à conservação da biodiversidade (Andrade et al., 2019; Ferreira et al., 2019; Rodrigues et al., 2023).

2.3. Medidores multiparamétricos associados à qualidade da água

Há uma crescente demanda para o uso de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto na análise dos parâmetros de qualidade da água. Os estudos que integram tanto o sensoriamento remoto quanto a análise *in situ* são importantes na validação e acurácia entre os valores obtidos, pois a resposta espectral da água está totalmente relacionada com os componentes opticamente ativos (COA), representados por sedimentos inorgânicos em suspensão (ex. silte, argila) e sedimentos orgânicos (ex. macrófitas e fitoplânctônicos).

A sonda multiparamétrica para análise da água, por exemplo, realizam a leitura de parâmetros físico-químicos *in situ*, além da temperatura, pressão e turbidez (para alguns modelos), sendo uma ferramenta de apoio ao monitoramento dos corpos hídricos. Em geral, o procedimento é simples. A sonda deve ser calibrada com reagentes específicos em laboratório (principalmente para pH); na sequência, é colocada na água para obter dados durante alguns

minutos; ademais, apenas uma sonda pode ter múltiplos sensores, de modo a abranger os parâmetros de interesse.

Normalmente, este tipo de sonda inclui parâmetros como condutividade, resistividade, oxigênio dissolvido, salinidade, sólidos totais dissolvidos (TDS), clorofila, nitrato, temperatura, pH, turbidez, vazão, potencial de óxido-redução, amônia e cloreto. O funcionamento é praticamente o mesmo, com a diferença do tratamento dos dados aplicados nos *dataloggers* e *software* complementares (Santos *et al.*, 2023).

Nessa perspectiva, Mendonça *et al.* (2017) analisaram a confiabilidade dos dados apresentados pela sonda multiparamétrica no monitoramento de águas superficiais, afirmando que a sonda pode ser usada como ferramenta para o monitoramento constante, preliminar e rápido, mas, para maior confiabilidade dos dados, indica a análise laboratorial de amostras coletadas *in loco*. Tal como fez Santos *et al.* (2023), os autores analisaram a qualidade da água de cisternas no oeste do estado da Bahia, mensuraram parâmetros tanto em laboratórios quanto *in situ*, com a utilização da sonda multiparamétrica, e os resultados obtidos apontaram que a qualidade da água não estava adequada para o consumo, principalmente pela falta de limpeza e manutenção do sistema. Puderam, assim, propor medidas para o armazenamento de água em cisternas na região.

Santos *et al.* (2017), a seu turno, discutiram a relação entre qualidade da água e uso e cobertura da terra em múltiplas escalas espaciais a nível de bacia hidrográfica, utilizando imagens de satélite para mapear a área de estudo e a sonda multiparamétrica para analisar, *in situ*, os parâmetros de qualidade da água, buscando correlacionar os impactos do uso da terra com a qualidade da água presente nos mananciais. Os resultados revelaram que esta bacia possui, em média, 85%-95% de cobertura vegetal e os parâmetros de qualidade de água estão dentro dos limites de classe 1, segundo a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) n. 357/2005 (Brasil, 2005).

Em outro estudo, Pereira *et al.* (2020) analisaram a qualidade da água, o índice de estado trófico (IET) e a balneabilidade em uma cachoeira turística, em Rio Verde, Goiás, a partir de sete campanhas de coleta com o uso da sonda multiparamétrica para avaliar a qualidade da água, realizando coleta e análises laboratoriais para levantar o estado trófico e a balneabilidade. O estudo se mostrou eficaz e apresentou dados alarmantes quanto aos parâmetros permitidos pelas Resoluções Conama n. 274/2000 (Brasil, 2000) e n. 357/2005 (Brasil, 2005), pois o local foi classificado como impróprio para uso.

Diversas são, portanto, as aplicações da sonda multiparamétrica nos estudos atuais, mostrando-se uma grande aliada nas análises *in situ* para a qualidade dos recursos hídricos,

sejam eles subterrâneos ou superficiais. Como visto, na maioria das vezes, a sonda convém como uma ferramenta complementar indispensável para a análise comparativa junto aos parâmetros químicos e mapas do ambiente, principalmente em estudos de pequenos cursos d'água.

2.4 Protocolos de Avaliação Rápida como índice de qualidade ambiental

Atualmente, muito se tem discutido sobre a relação entre os diferentes tipos de uso e ocupação da terra com a qualidade da água, em escala de bacia hidrográfica. Bonnet, Ferreira e Lobo (2008), Oliveira-Filho, Dutra e Ceruti (2012) e Silva *et al.* (2021) consideram que a substituição de vegetação nativa por pastagens e agricultura é um dos principais fatores de alteração da qualidade da água. A agricultura é a mais impactante, pois, além de substituir toda a vegetação, ainda se utiliza de agrotóxicos e fertilizantes, os quais acabam concentrados nos mananciais, por meio de infiltração e escoamento superficial no período das chuvas.

Segundo Rodrigues (2004), a mata ciliar tem função protetora, auxiliando na manutenção da qualidade da água, na regularização e proteção dos cursos d'água, na conservação da biodiversidade, além de ser uma alternativa econômica para a exploração sustentável da biota, do turismo, da pesquisa científica, entre outros. Assim, a sua retirada altera todo o sistema do curso hídrico, reduzindo a qualidade e a quantidade da água, causando impactos negativos que afetam tanto o ser humano quanto a própria natureza (Aquino *et al.*, 2012; Rodrigues, 2004; Souza, 2012).

Nessa perspectiva, a conservação das áreas de preservação permanentes é de fundamental importância para a gestão de bacias hidrográficas, pois contribui para a estabilidade dos ciclos hidrológicos e biogeoquímicos, visando a dar condições de sustentabilidade à agricultura (Ribeiro; Silveira; Santos, 2015).

Logo, o monitoramento da qualidade desta e a relação com o uso e a ocupação da terra são fundamentais para que, a partir das informações primárias obtidas em campo, seja possível entender melhor as verdadeiras influências de cada processo de degradação da nascente e do curso hídrico, possibilitando o planejamento de como recuperar os mananciais (Queiroz *et al.*, 2010; Rodrigues, 2004; Silva, 2009). O mesmo ocorre com o monitoramento dos remanescentes de Cerrado nas áreas de preservação permanente (Rodrigues, 2004; Souza, 2012).

Desse modo, os protocolos de avaliação rápida podem ser importantes ferramentas para avaliação qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos, pois levam em consideração a análise integrada dos ecossistemas, com uma metodologia de fácil aplicação (Barbour *et al.*, 1999). São

definidos como um documento com procedimentos metodológicos que podem ser empregados na avaliação rápida, qualitativa e semiquantitativa dos cursos hídricos, diagnosticando o nível de degradação do manancial de forma rápida e eficaz, indicando, dessa maneira, a qualidade ambiental referente aos aspectos físicos e biológicos de um ecossistema fluvial (Callisto *et al.*, 2002; Rodrigues; Castro; Malafaia, 2010).

Na avaliação aplicada com o PAR, são utilizadas medidas quantitativas e qualitativas de características importantes do ecossistema, tais como: geomorfologia do canal, uso e cobertura da terra e qualidade da água, dentre outras, adaptando-se ao objetivo da pesquisa. Também pode ser utilizada como uma ferramenta de monitoramento e avaliação de programas de conservação e manejo de recursos naturais.

Uma das principais vantagens do PAR é que esta técnica pode ser usada para avaliar rapidamente a condição ecológica de uma área, sem a necessidade de coletar dados extensos, ação particularmente útil em áreas remotas ou de difícil acesso, onde a coleta de dados pode ser onerosa. As aplicações do PAR na área ambiental são amplas, podendo ser utilizadas na avaliação da diversidade de habitats (Callisto *et al.*, 2002), na avaliação de bacias hidrográficas, para a análise de impactos ambientais em cursos hídricos, monitoramento de áreas degradadas, dentre outros.

O protocolo de avaliação rápida surgiu nos Estados Unidos, a partir da década de 1980, quando os órgãos de fiscalização passaram a utilizar métodos qualitativos na análise ambiental como alternativa aos métodos quantitativos, a fim de reduzir gasto e tempo. A *Environmental Protection Agency* (EPA) desenvolveu estudos sobre a qualidade da água, em 1986, publicando o relatório *Surface Water Monitoring: A Framework for Change*, em 1987, embasando a criação dos protocolos de avaliação rápida para avaliação de cursos hídricos, possibilitando, assim, o desenvolvimento de pesquisas com menor custo (Bizzo; Menezes; Andrade, 2014; Rodrigues, 2008).

No Brasil, várias pesquisas e estudos têm utilizado os PAR como instrumentos para avaliação ambiental e demonstrado bons resultados, como observado nos trabalhos de Callisto *et al.* (2002), Minatti-Ferreira e Beaumord (2004, 2006), Gomes, Melo e Vale (2005), Xavier e Teixeira (2007), Dillenburg (2007), Rodrigues e Castro (2008), Pimenta, Pena e Gomes (2009), Padovesi-Fonseca *et al.* (2010), Krupek (2010), Firmino, Malafaia e Rodrigues (2011), Lobo, Voos e Fiedler Júnior (2011), Vargas e Ferreira Júnior (2012), Rodrigues *et al.* (2012) e Silva *et al.* (2019).

Na análise ambiental, os dados do protocolo de avaliação rápida (PAR) podem ser combinados com mapas derivados de imageamentos, a partir do uso de veículos aéreos não

tripulados (VANT) e satélite. Imagens de satélite podem ser empregadas para avaliar a cobertura vegetal e o nível de degradação geral, enquanto as imagens aéreas obtidas pelo VANT fornecem uma avaliação mais detalhada da vegetação e dos usos da terra na área de estudo, devido à sua resolução espacial aprimorada. Os dados do PAR, por sua vez, podem ser utilizados para examinar as condições ambientais abaixo das copas de árvores, onde o VANT não consegue alcançar, incluindo até mesmo nascentes, para verificar suas condições ambientais. Adicionalmente, o PAR e o VANT podem ser aplicados conjuntamente no monitoramento da evolução do ambiente ao longo do tempo.

2.5 Sítios PELD no âmbito da conservação ambiental

Os programas de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD) são áreas e projetos do Governo Federal, fomentados pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), que, desde 1997, desenvolve pesquisas sobre os ecossistemas brasileiros e suas diversidades ecológicas, com admiráveis contribuições para a elaboração de políticas públicas voltadas para a conservação da biodiversidade e o bem-estar humano (Brito; Mamede; Oliveira, 2020; Tabarelli *et al.*, 2013).

As pesquisas são realizadas em “sítios” PELD, áreas delimitadas como referência para as pesquisas ecológicas no Brasil, podendo o termo ser utilizado para o conjunto de locais de amostragem de um projeto PELD, que define uma área (ou sítio) de referência para a pesquisa a ser desenvolvida. Logo, trata-se de um projeto de pesquisa aprovado pelo CNPq dentro do programa PELD (Tabarelli *et al.*, 2013).

Atualmente, existem 34 sítios PELD distribuídos pelos mais diversificados ecossistemas no território brasileiro. A Tabela 1 a seguir expõe os locais e a descrição de cada um deles:

Tabela 1: Distribuição dos sítios PELD aprovados na Chamada CNPq/Capes/FAPs/BC-Fundo Newton/PELD n.º 15/2016 (vigência: 2016 a 2021).

SIGLAS	DESCRIÇÃO	ESTADO
ABRS	PELD Abrolhos;	BA
AGCV	APA Gama Cabeça de Veado, Brasília	DF
BISC	Biodiversidade de Santa Catarina	SC
BROA	Bacias Hidrográficas dos Rios Itaqueri e Lobo e Represa da Usina Hidrelétrica (UHE) Carlos Botelho	SP
CCAL	PELD APA Costa dos Corais	AL
CIPÓ	Campos rupestres da Serra do Cipó	MG
COFA	Conectividade Funcional e Antropização na Floresta Nacional de Silvânia	GO
DARP	Dinâmicas Ecológicas na Planície de Inundação do Alto Rio Paraguai	MT
DIVA	Diversidade da Várzea	AM
ELPA	Estuário da Lagoa dos Patos e Costa Adjacente	RS

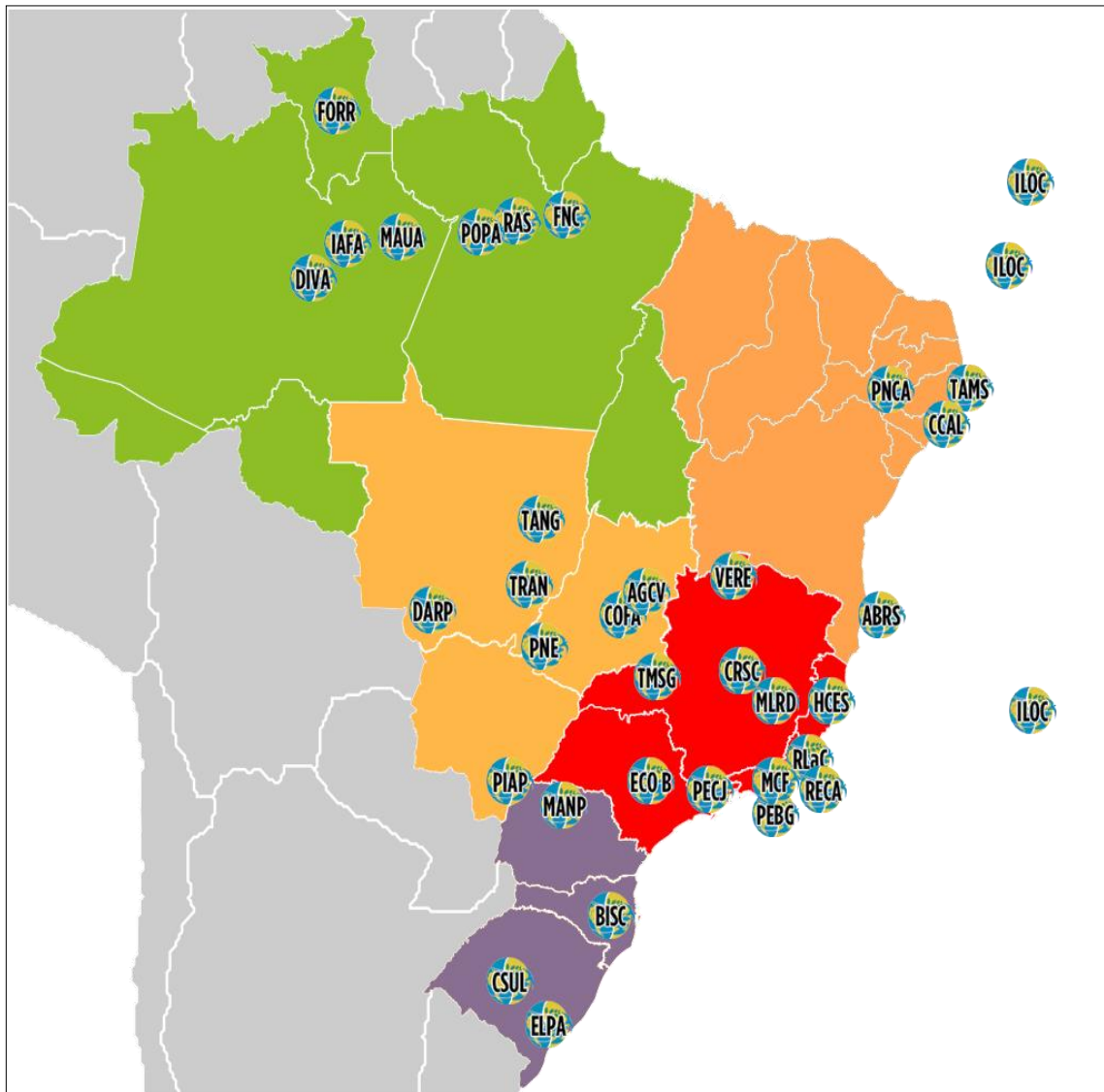
FNC	Floresta Nacional de Caxiuanã	PA
FORR	Florestas de Roraima	RR
HCES	<i>Habitats</i> Costeiros do Espírito Santo	ES
IAFA	Impactos Antrópicos na Floresta Amazônica – Reservas Florestais do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa)	AM
ILOC	Ilhas Oceânicas	PE
MANP	Mata Atlântica do Norte do Paraná	PR
MAUA	PELD Áreas Úmidas Amazônicas	AM;
MCF	Mosaico Central Fluminense	RJ
MLRD	Mata Atlântica e Sistema Lacustre do médio Rio Doce	MG
PEBG	PELD Baía de Guanabara	RJ
PECJ	Parque Estadual de Campos do Jordão	SP
PELD SUL	PELD Campos Sulinos	RG
PIAP	Planície de Inundação do Alto rio Paraná	PR
PNCA	Parque Nacional do Catimbau	PE
PNE	Parque Nacional das Emas (PNE)	GO
POPA	PELD do Oeste do Pará	PA
RAS	Rede Amazônia Sustentável	PA
RECA	Ressurgência de Cabo Frio	RJ
RlaC	Restingas e Lagoas Costeiras do Norte Fluminense	RJ
TAMS	Tamandaré Sustentável	PE
TANG	Fazenda Tanguro	MT
TMSG	Triângulo Mineiro e Sudeste de Goiás	MG
TRAN	Transição Cerrado – Floresta Amazônica	MT
VERE	Veredas no sertão Mineiro	MG

Fonte: elaborado pelo autor em 2023, a partir de Brito; Mamede; Oliveira (2020).

Os sítios PELD atuantes estudam demandas cientificamente relevantes no contexto do desenvolvimento sustentável, tanto em abrangência nacional quanto internacional, realizando o monitoramento das causas e efeitos das mudanças climáticas sobre a biodiversidade e o funcionamento ecossistêmico, auxiliando na gestão de ambientes aquáticos de água doce e de ambientes costeiros e marinhos, bem como do impacto e manejo do fogo, principalmente em ambiente do Cerrado. Trabalham, ainda, com estudos e aplicações na restauração ecológica e na recuperação de áreas degradadas (Bacellar *et al.*, 2020; Brito; Mamede; Oliveira, 2020; Pereira *et al.*, 2020).

Para a eficiência do funcionamento ecossistêmico, os PELD estão distribuídos por todas as regiões e biomas brasileiros. A Figura 3 mostra a distribuição dos PELD por região brasileira.

Figura 3: Distribuição dos sítios PELD aprovados na Chamada CNPq/Capes/FAPs/BC – Fundo Newton/PELD n.º 15/2016 (vigência: 2016 a 2021)



Fonte: Brito; Mamede; Oliveira (2020).

Considera-se uma relevante parceria a estabelecida entre o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), abrangendo os sítios em Unidades de Conservação (UC), envolvendo a pesquisa científica e a conservação na difusão do conhecimento para a sociedade brasileira (Bacellar *et al.*, 2020).

No âmbito do desenvolvimento de projetos no Cerrado Setentrional, podemos citar os estudos de Coutinho *et al.* (2021) quanto aos fatores ambientais determinantes das comunidades arbóreas, com o objetivo de abordar o mosaico de vegetações savânicas, analisando fatores

edáficos e climáticos em 21 comunidades arbóreas do Cerrado. Como resultado, o estudo detectou uma dependência espacial entre elas, apesar de serem ecologicamente independentes.

Já em relação à contribuição expressiva do PELD na Savana Amazônica, Fadini *et al.* (2021) explicaram que é uma das mais antigas iniciadas, tendo mantido *plots* de pesquisa em uma área próxima à vila de Alter do Chão, no estado do Pará. O sítio em questão contribuiu para a produção de 70 artigos científicos, 31 dissertações de mestrado e teses de doutorado, englobando pesquisas variadas sobre a biodiversidade do fragmento, entre análise de espécies animais e vegetais.

Outro exemplo a ser citado é o PELD do Parque Nacional das Emas (PNE), no estado de Goiás, localizado totalmente no bioma Cerrado, abrangendo quase todas as fitofisionomias características desse bioma. Um dos estudos realizados nesse local é o de Melo *et al.* (2021), uma proposição para monitorar anfíbios, mais especificamente os anuros (sapos, rãs e pererecas). Segundo os autores, as descobertas podem auxiliar os pesquisadores no projeto de pesquisas em ambientes tropicais e no Cerrado brasileiro no monitoramento dessa espécie.

Não pretendemos analisar aqui todos os sítios PELD citados. A intenção, ao apresentar esses exemplos, é demonstrar que as pesquisas têm se tornado referência nos levantamentos da biodiversidade brasileira, com potencial para desenvolver sínteses do conhecimento, crescendo em todos os âmbitos, tanto no meio científico quanto envolvendo o poder público e a comunidade, com o auxílio de políticas públicas para cada região do País.

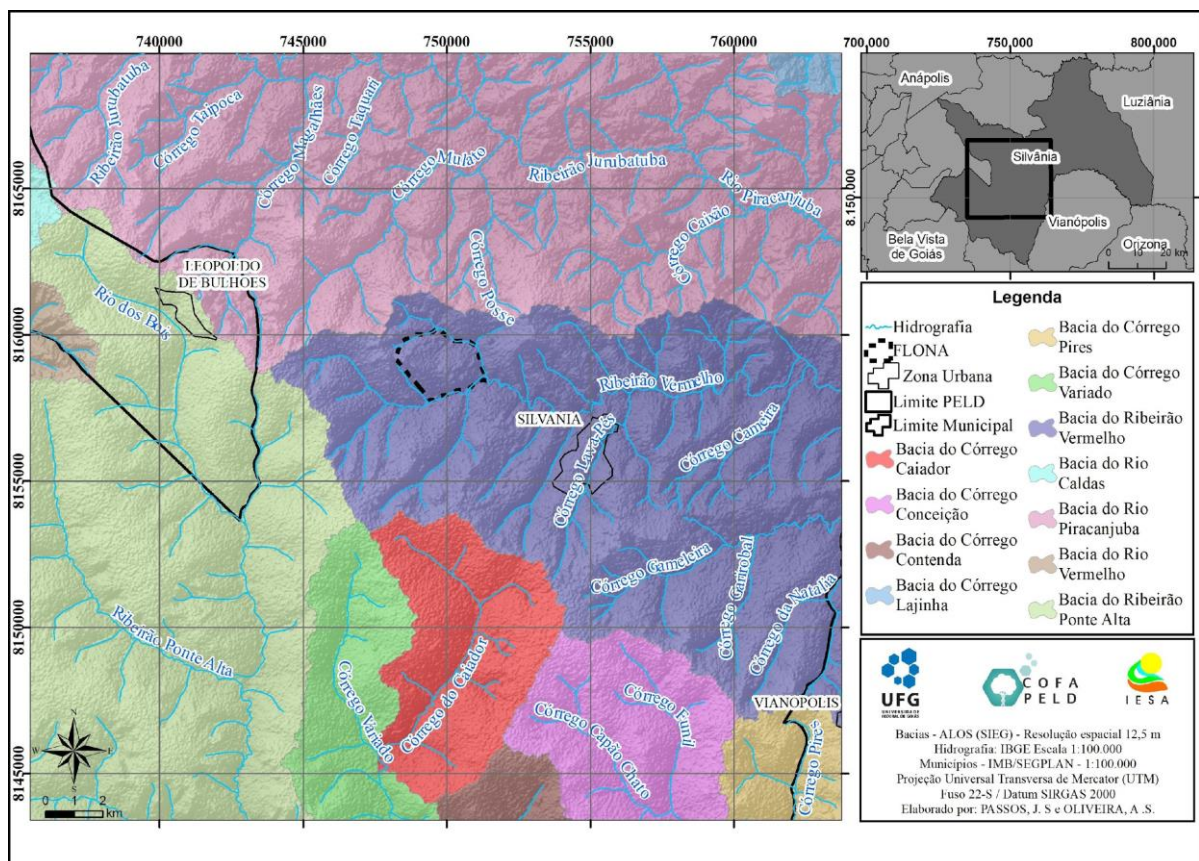
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo e sua caracterização física

A área da pesquisa está representada pelo recorte do sítio PELD localizado no município de Silvânia, no estado de Goiás. O PELD é drenado por afluentes do Rio Parnaíba, tributário da bacia do Rio Paraná. Grande parte dos corpos hídricos são perenes, devido à acumulação de água durante a estação chuvosa nas chapadas formadas pelas coberturas detrito-lateríticas; assim, a vazão é mantida durante o período de seca.

Em escala local, a maioria dos cursos hídricos do sítio PELD contribui para a bacia do Rio Corumbá e, a nordeste, para a bacia do Rio Meia Ponte (a exemplo dos rios Caldas e Vermelho). Desse modo, é possível identificar as seguintes bacias hidrográficas: Bacia do Córrego Caiador, Bacia do Córrego Conceição, Bacia do Córrego Contenda, Bacia do Córrego Lajinha, Bacia do Córrego Pires, Bacia do Córrego Variado, Bacia do Ribeirão Vermelho, Bacia do Rio Caldas, Bacia do Rio Piracanjuba, Bacia do Rio Vermelho e Bacia do Rio dos Bois, conforme Figura 4.

Figura 4: Bacias hidrográficas no sítio PELD.



Fonte: elaborada por J. S. Passos e A. S. Oliveira, em 2022.

Segundo a classificação climática de Köppen, refinada por Alvares *et al.* (2013), o sítio PELD enquadra-se em dois tipos climáticos: clima tropical de savana (Aw) e clima subtropical ou clima tropical de altitude, com inverno seco e verão chuvoso (Cwa), conforme Figura 5(i).

O clima tropical de savana (Aw) possui, no mês mais frio, temperatura superior a 18° C, enquanto no mês mais quente a temperatura ultrapassa os 22° C. A precipitação nessa região, no mês mais seco (no inverno), fica abaixo de 60 mm. Esse tipo climático tende a ocorrer em locais com altitudes abaixo dos 1.000 m (Embrapa, 1978). Já o clima tropical de altitude (Cwa) tende a ocorrer em locais com altitudes acima de 1.000 m, com inverno seco e verão chuvoso, porém, a temperatura no mês mais frio fica abaixo de 18°C e, no mês mais seco, a precipitação é inferior a um décimo da precipitação do mês mais chuvoso, sendo que precipitação anual varia de 900 a 1800 mm (Embrapa, 1978).

Assim, os tipos climáticos Aw e Cwa possuem duas estações bem definidas: o verão, que se estende de outubro a abril, caracterizado pelo período com maior índice pluviométrico, e o inverno, que ocorre de maio a setembro, época mais seca e com menor índice de precipitação (Alvares *et al.*, 2013).

Quanto à geologia, a região do sítio PELD incide sobre a carta de Leopoldo de Bulhões (SE.22X-B-V), elaborada por Oliveira (1994). Foram identificadas nove unidades geológicas: Depósitos Aluvionares (Qa), Coberturas Detrito-Lateríticas (TQdl), Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade B (PMaB), Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade A (PMaA), Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia – Unidade Mista (PIvssB), Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia – Unidade Metavulcânica (PIvssA), Granitoide (y1), Granulitos Paraderivado (APIgaip) e Granulitos Ortoderivados (APIgaio). A ocorrência de cada unidade geológica pode ser vista na Figura 5(a) e a sua extensão, na Tabela 2.

Tabela 2: Ocorrência das unidades geológicas no sítio PELD Cofa.

Simbologia	Unidade geológica	Área (km²)	Área (%)
Qa	Depósitos Aluvionares	18,67	2,42
TQdl	Coberturas Detrito-Lateríticas	154,73	20,1
PMaB	Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade B	34,71	4,51
PMaA	Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade A	10,7	1,39
PIvssB	Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia, Unidade Mista	30,7	3,99
PIvssA	Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia, Unidade Metavulcânica	53,11	6,9
y1	Granitoide	12,06	1,57
APIgaip	Granulitos Paraderivados	336,25	43,67
APIgaio	Granulitos Ortoderivados	118,99	15,46
Total Geral	-	769,94	100

Fonte: Carta Leopoldo de Bulhões (SE.22X-B-V) (Oliveira, 1994). Escala Original: 1:100.000.

Os Depósitos Aluvionares, segundo Oliveira (1994), foram formados no período quaternário e são caracterizados por sedimentos recentes, arenosos, siltico-argilosos e areias com níveis de cascalho. As areias são formadas principalmente por grãos de quartzo arredondados ou sub-arredondados, contendo, de maneira subordinada, minerais pesados (e.g. magnetita e ilmenita). Ocorrem em leitos de rios, ribeirões, córregos e suas cabeceiras e lagoas, sendo localizados na região Nordeste do sítio PELD, sobretudo associados ao Ribeirão Vermelho e ao Rio Piracanjuba, na escala 1:100.000; ocupam um percentual de 2,42% (18,67 km²).

As coberturas Detrito-Lateríticas são originárias do período Terciário-Quaternário e encontradas nos interflúvios planos na região centro-sul da área de estudo, normalmente em altitudes acima de 900 m, ocupando uma área de 154,73 km² (20,10%) no sítio PELD. Segundo Oliveira (1994), são unidades formadas principalmente de latossolos argilosos, vermelhos escuros, parcialmente laterizados, com espessura de até 30 m, constituídos basicamente pelo horizonte B, que ocasionalmente aparece concrecionado por óxidos de ferro e manganês; já o Horizonte A, com pouca matéria orgânica, geralmente é pouco expressivo ou não existe (Oliveira, 1994).

O Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade B – P_{Ma}B foi formado no período Proterozoico Médio e é constituído por moscovita xistos, moscovita-quartzo xistos, granada-moscovita-quartzo-xistos com intercalações de moscovita-quartzito (qt). O sítio PELD ocorre na parte sudoeste e se estende por 34,71 km² (4,51%) (Oliveira, 1994).

O Grupo Araxá Sul de Goiás Unidade A – P_{Ma}A também é do período Proterozoico Médio e é constituído por granada-biotita-xistos feldspáticos, biotita-moscovita xistos feldspáticos e granada-biotita-quartzo xistos feldspatizados, quando assumem aspecto bandado, pela coloração de vênulas graníticas entre foliação milonítica. Ocorre na parte sudoeste do sítio PELD, em uma área de 10,7 km² (1,39%) (Oliveira, 1994).

A Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia Unidade Mista – P_{ivss}B foi formada no Proterozoico Inferior e é constituída por quartzo-mica xistos granadíferos, clanita-quartzo-estaurolita-clorita-granada-moscovita xistos, moscovita-quartzo-xistos, moscovita-clanita-quartzo xistos, granada-moscovita xistos com intercalações de quartzitos (qt). Ocorrem, ainda, metalufos com intercalações centimétricas a métricas de níveis de castoquímicos, xistos grafitosos, cherts e clorita-talco xisto, dentre outros. Estende-se por aproximadamente 30,7 km² (3,99%) a leste do sítio PELD (Oliveira, 1994).

A Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia Unidade Metavulcânica – P_{ivss}A, também foi formada no período Proterozoico Inferior e é constituída, principalmente, de

anfíbolitos e meta-andesitos, granada anfíbolito (meta basaltos, metaandesitos, dacitos e quartzo andesitos). Ocorre no sentido centro-norte a leste por 53,11 km² (6,9%) (Oliveira, 1994).

Conforme Oliveira (1994), os Granitoides (y1) estão relacionados ao período Arqueano Superior até o Proterozoico Inferior, e são compostos de metatonalitos, metagranitos e granada granitoides, augen-granitoides foliados, às vezes com estrutura gnáissica e restritos de rochas supracrustais granulitizadas (Oliveira, 1994). Ocorrem na parte norte e nordeste do sítio PELD, de forma pontual entre os Granulitos Paraderivados e a Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia Unidade Metavulcânica, ocupando uma área de 12,06 km² (1,57%).

Os Granulitos Paraderivados (APgaip) e os Ortoderivados (APgaio) são subdivisões do Complexo Granulítico Anápolis-Itaçu (APIgai). Sua formação ocorreu entre o período Arqueano superior e Proterozoico inferior (aproximadamente 1.700 m.a. a 2.700 m.a.). Segundo Oliveira (1994), os Granulitos Paraderivados são constituídos por: gnaisses aluminosos e hiperaluminosos, com intercalações de quartzitos aluminosos (qt), quartzitos ferruginosos, gonditos, rochas calcissilicatadas e mármore (mm) e subordinadamente granulitos ortoderivados associados (Oliveira, 1994). Na área de estudo, os Granulitos Paraderivados representam a maior, ocupando um total de 336,25 km² (43,67%), concentrados entre a região norte-nordeste e centro-sul do sítio PELD.

Os Granulitos Ortoderivados possuem origem vulcânica e neles podem ser encontradas as seguintes rochas: gnaisses ortoderivados, charnockitos, enderbitos e charnoenderbitos e rochas básicas e ultrabásicas como as metagabros, metanoritos, metaperidotitos, metapiroxenitos, dentre outras. Eles ocupam uma extensão de 118,99 km² (15,46%) no sítio PELD, ocorrendo no sentido sudeste a noroeste (Oliveira, 1994).

Conforme o mapa geomorfológico do estado de Goiás, elaborado por Latrubesse e Carvalho (2006) na escala de 1:250.000, na área do sítio PELD tem-se cinco unidades geomorfológicas: FA – Faixa Aluvial, SRAIIA(fo– - Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação forte, SRAIIA(fr– - Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação fraca, SRAIIA(m– - Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação média e a ZER/IIA(fo– - Zona de Erosão Recuante com dissecação forte, demonstradas na Figura 5(b) e na Tabela 3.

Tabela 3: Unidades geomorfológicas no sítio PELD.

Unidade Geomorfológica	Área (km ²)	Área (%)
FA – Faixa Aluvial	9,24	1,20
SRAIIA (fo) – Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação forte	1,81	0,24
SRAIIA (m) – Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação média	11,77	1,53
SRAIIA (fr) – Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação fraca	358,07	46,51
ZER/IIA (fo) – Zona de Erosão Recuante com dissecação forte	389,04	50,53
Total	769,94	100

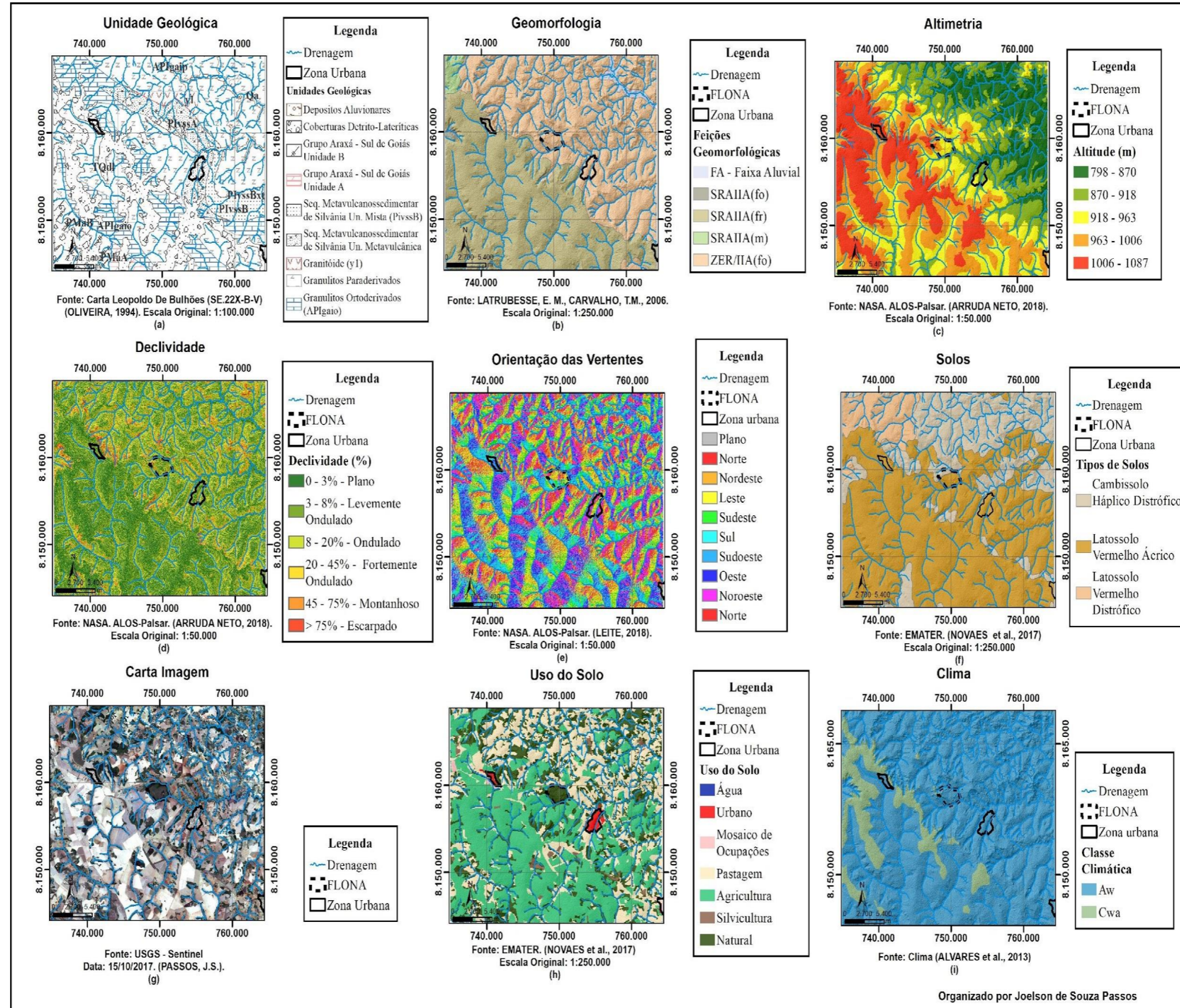
Fonte: Latrubesse e Carvalho (2006), escala 1:250.000.

A FA ocorre na região nordeste do PELD, no entorno do Rio Piracanjuba, ocupando uma faixa de 9,24 km² (1,20%), com rochas dos depósitos aluvionares, estando em altitude abaixo de 900 m. Enquanto a Superfície Regional de Aplainamento IIA acontece entre cotas altimétricas acima de 900 m e abaixo de 1.100 m, desenvolvidas sobre rochas pré-cambrianas, predominando sob essas superfícies os latossolos vermelho-amarelos e os latossolos vermelhos, podendo aparecer plintossolos em regiões de depressão. No sítio PELD essa unidade encontra-se dividida em SRAIIA (fo), a oeste, ocupando 1,81 km² (0,24%), SRAIIA (m) com dissecação média, à noroeste, ocupando uma área de 11,77 km² (1,53%), e SRAIIA (fr) com dissecação fraca, estendendo-se por 46,51% da área do sítio PELD, sendo a segunda maior unidade geomorfológica presente na área. Há, ainda, a ZER/IIA (fo), erosionando predominantemente a SRAIIA, que predomina em toda a área do sítio PELD, com uma extensão de 389,04 km², um percentual de 50,53% de toda a área de estudo.

De modo mais específico, quanto a alguns atributos do relevo, é possível destacar que o sítio PELD está em uma faixa altimétrica que varia de 798 m a 1.087 m; as maiores altitudes estão na região sudoeste, que vai decrescendo com o entalhamento da drenagem em direção à nordeste, conforme pode ser visualizado na Figura 5(c). Assim, as áreas mais elevadas, entre as cotas de 1.006 a 1.087 m, concentram as áreas mais declivosas, acima de 75% de declividade, conforme Figura 5(d), onde encontra-se a maioria das cabeceiras de drenagem. No entanto, predominam, nessa faixa de cota altimétrica, o relevo plano (isto é, 0% a 3%) e um relevo levemente ondulado (isto é, 3% a 8%), correspondendo à unidade geológica Detrito-Laterítica.

Conforme a classificação de solos da Agência Goiana de Assistência Técnica, Extensão Rural e Pesquisa Agropecuária (Emater), realizada por Novaes *et al.* (1983) na escala 1:250.000, no sítio PELD predominam o latossolo vermelho ácrico (64,61%), que se estende pela maior parte, concentrando-se mais na parte sul, seguido do cambissolo háplico distrófico (27,91%), que ocorre no norte-nordeste e, pontualmente, no centro e sul do PELD, e o latossolo vermelho distrófico (7,48%), que ocorre na região noroeste, Figura 5(f). Dentre os latossolos, os ácricos são os solos com maior incidência na região da presente pesquisa.

Figura 5: Características Físicas e uso do solo do sítio PELD em Silvânia, Goiás.

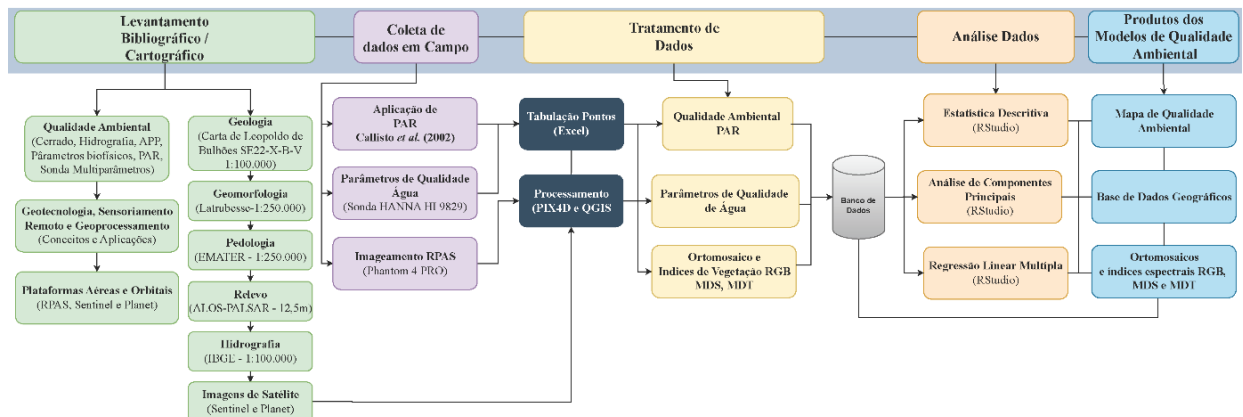


Fonte: elaborada pelo autor.

3.2 Procedimentos Metodológicos

Neste tópico estão apresentados os procedimentos metodológicos seguidos para o desenvolvimento da pesquisa. Os métodos foram divididos em três etapas: levantamento bibliográfico, etapas de geoprocessamento e atividades de campo, conforme ilustrado no organograma apresentado na Figura 6.

Figura 6: Organograma dos procedimentos metodológicos da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

3.2.1 Levantamento Bibliográfico e Cartográfico

A primeira etapa do organograma de pesquisa consiste em criterioso levantamento bibliográfico na literatura científica, a partir da leitura e compilação de trabalhos publicados em livros, periódicos, artigos de jornais, *sites* da internet, manuais, dentre outras fontes para o embasamento teórico e a definição da metodologia a ser aplicada.

Para elaborar o embasamento teórico, buscou-se estabelecer um tripé entre a análise de bacias hidrográficas, sensoriamento remoto e geoprocessamento e legislação ambiental. Para tanto, foram analisados textos da área de Geografia e áreas afins, que discutam sobre os conceitos e análise de bacias hidrográficas, conceitos de aerofotogrametria, sensores remotos e o protocolo de avaliação rápida aplicado à análise de bacias hidrográficas. Ainda, foram realizadas leituras bibliográficas sobre temas como geologia, geomorfologia e pedologia do estado de Goiás e da região de Silvânia, para caracterizar a área de estudo.

Além disso, para elaborar os procedimentos metodológicos, procurou-se pesquisas que aplicaram o PAR em avaliação de cursos hidrográficos e remanescentes de vegetação do

Cerrado, além de materiais sobre a legislação ambiental¹, modelos de sistemas ambientais, análises geoestatísticas, manuais de *softwares* como *Pix4Dmapper*, manuais dos equipamentos como VANT e sonda mutiparâmetros, dentre outros, com a finalidade de definir e refinar a metodologia para coleta de dados em campo e processamento das informações, bem como elaborar os produtos finais da tese (a exemplo dos ortomosaicos, modelos digitais do terreno, índices de vegetação, mapas temáticos, dentre outros). Essa etapa, em constante atualização, ajudou a delinear o tema e delimitar os contornos teóricos que embasam a pesquisa.

3.2.1.1 Geologia

Os dados referentes à geologia da região do sítio PELD foram compilados a partir do mapa digitalizado (em formato *raster*, na extensão .tif) da folha de Leopoldo de Bulhões – SE-22-X-B-V, elaborado por Oliveira (1994). Utilizou-se, para isso, o *software Arcgis 10.4.1*, para georreferenciar a imagem, vetorizar as unidades geológicas e extraí-las para arquivos *shapefile*. A partir dessa informação, foi possível elaborar o mapa geológico do PELD.

3.2.1.2 Aspectos geomorfológicos e Relevô

As informações dos aspectos geomorfológicos da região do sítio PELD são importantes para compreender o relevo da área de estudo. Para obtê-las, foram compilados mapas de hipsometria, declividade e orientação de vertentes (aspecto) a partir de modelos digitais de superfície (MDS), que permitem representar numericamente a superfície terrestre a partir de dados altimétricos, e do modelo digital do terreno (MDT), que representa a superfície sem a presença de vegetação e construções, considerando apenas o solo (Paranhos Filho; Lastoria; Torres, 2008).

A base de dados geográficos traz informações do relevo a partir de modelos digitais das seguintes fontes: Topodata, Aster-GDEM e Alos-Palsar. O Topodata baseia-se no SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), com resolução espacial de 30 m; o Aster (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) – GDEM (*Global Digital Elevation Model*) possui resolução espacial de 30 m; e o Alos (*Advanced Land Observing Satellite*), com

¹ BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n. 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n. 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n. 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Código Florestal. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 28 maio 2012.

sensor de micro-ondas Palsar (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), com espaçamento de pixel de 12,5 m².

Para esta pesquisa, utilizam-se os dados do Alos-Palsar, pois, devido à sua resolução espacial e à escala de análise, ele é o MDT mais apropriado para representar o relevo de todo o sítio PELD. Além disso, os dados do Alos-Palsar são coletados por Radar, um sistema ativo que possibilita às ondas atravessarem a vegetação e alcançarem o terreno, por isso considerado como um MDT (Paranhos Filho; Lastoria; Torres, 2008). Os dados do Alos-Palsar foram baixados pelo portal de mapas do Sieg para todo o estado de Goiás e posteriormente recortados para a área de estudo com a ferramenta *clip*, no *Arcgis*.

A partir do Modelo Digital de Terreno do Alos-Palsar, foram gerados o mapa altimétrico, o mapa de declividade e de orientação de vertentes. Dessa maneira, no mapa de altimetria, por meio do *software Arcgis 10.4.1*, foi realizado um fatiamento no MDT, gerando cinco classes com intervalo de 50 m, sendo a primeira classe até 850 m e a última de 1.050 m até 1.100 m; em seguida, associou-se às faixas definidas com classes temáticas.

O mapa de declividade foi gerado com a ferramenta *slope*, do *Arcgis*, também utilizando-se o MDT Alos-Palsar, em porcentagem. A classe temática para o relevo foi adotada seguindo a metodologia da Embrapa (1979), que sugere intervalos de 0 a 3% (plano), de 3 a 8% (suave ondulado), de 8 a 20% (ondulado), de 20 a 45% (forte ondulado), de 45 a 75% (montanhoso) e acima de 75% (escarpado), conforme demonstrado na Tabela 4.

Tabela 4: Classes de relevo.

Classe de relevo	Declividade (%)
Plano	< – 3
Suave Ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte Ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	> 75

Fonte: Adaptado de Embrapa (1979).

3.2.1.3 Aquisição das imagens de satélite

Para a obtenção e tratamento de imagens de satélites, foram utilizados dois sistemas orbitais distintos: os satélites Planet e *Sentinel 2*. O processo de aquisição das imagens envolveu

² ALASKA SATELLITE FACILITY. *ALOS PALSAR Radiometric Terrain Correction*. Disponível em: https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/#dem_information. Acesso em: 13 mai. 2024.

diferentes etapas e técnicas, adaptadas de acordo com as características específicas e maneira de disponibilização de cada satélite. As cenas das imagens obtidas extrapolaram os limites da área de estudo, portanto, usando-se o *software* de SIG QGIS, as imagens foram recortadas, utilizando a ferramenta de recorte, adequando-as para a o limite do PELD Cofa, assim, reduzindo o tempo de processamento e o tamanho dos arquivos produzidos posteriormente.

3.2.1.3.1 Satélite *Planet*

As imagens orbitais de alta resolução, espacial e temporal, foram obtidas por meio de sensores remotos orbitais da constelação de satélites *PlanetScope*, capturadas em data próxima das avaliações e trabalho de campo, levando em conta as condições meteorológicas locais. As imagens do satélite *Planet* apresentam uma resolução espacial de 3 metros, resolução radiométrica de 12 bits e resolução temporal diária.

O sensor empregado nesta constelação de satélites é do tipo Bayer Mask CCD, conhecido como instrumento PS2, que registra os comprimentos de onda nas faixas azul (B) (455–515 nm), verde (G) (500 – 590 nm), vermelho (R) (590 – 670 nm) e infravermelho próximo (NIR) (780 – 860 nm) (Tabela 5). As imagens estão configuradas no sistema de projeção UTM, com datum horizontal WGS-84 e nível de correção 3B, fornecidas como produto de imagem ortorretificada e corrigidas para valores de Reflectância de Superfície.

Tabela 5: Características dos sensores *Dove/Planet*.

Satélite	Bandas espectrais	Resolução Temporal	Resolução Temporal	Resolução Radiométrica
Dove / Planet	455–515 nm (Azul)	3,0 a 3,9 m	diária	12 bits
	500–590 nm (Verde)			
	590–670 nm (Vermelho)			
	780–860 nm (Infravermelho próximo)			

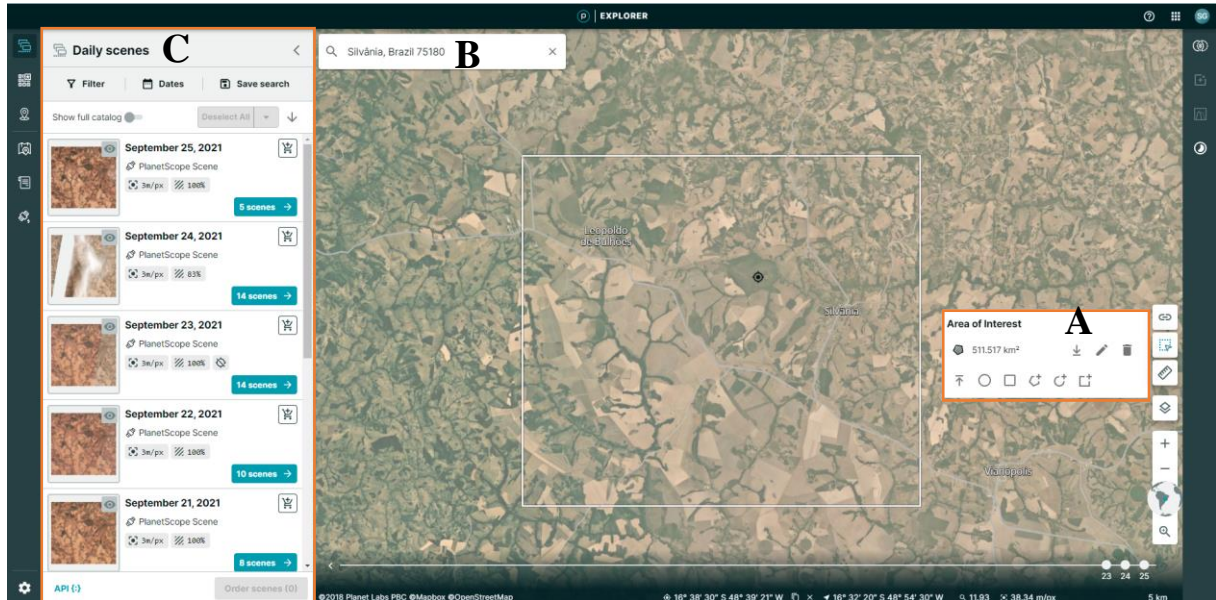
Fonte: Adaptado de Planet (2023).

Como procedimentos de coleta dos dados, foi efetuada a seleção e aquisição de imagens obtidas através de sensoriamento remoto com análise em laboratório, sendo realizada uma consulta do catálogo da Planet (<https://www.planet.com/explorer>) para verificar as imagens de satélite que poderiam ser utilizadas como imagens potenciais para estudo.

A busca das imagens foi realizada por meio da inserção da camada *shapefile* da área em questão que foi importado para definir o interesse ou desenhando a área desejada através das

geometrias disponíveis (A), ou digitando na barra de busca (B) o endereço do local e aplicar um filtro de datas (C) (Figura 7).

Figura 7: Plataforma de aquisição de imagens *Planet - Planet Explorer*.



Fonte: *Planet Explorer*.

Após análise das imagens disponíveis foram selecionadas as imagens da data de 22/09/2021 e realizadas a solicitação de aquisição. Para as imagens do satélite PLANET, não foi necessário realizar as correções atmosféricas, visto que as imagens foram adquiridas no formato SR (*Surface Reflectance*). Neste formato, os produtos analíticos padrão (radiância) são processados para refletância do topo da atmosfera e em seguida, corrigidos atmosféricamente para refletância da superfície.

Além disso, foram realizados processamentos para realizar os mosaicos das imagens e recortar para os limites da área de interesse, como a imagem já vem toda processada e com a composição de bandas prontas, apenas foi adaptado no *software* para utilizar a composição RGB, bandas 1, 2 e 3, tendo em vista que a pesquisa visa comparar os produtos obtidos por meio de sensores RGB, não foi utilizada a banda NIR, nesta pesquisa.

Além dessas imagens do ano de 2021, inicialmente, no ano de 2018 houve a aquisição de imagens do satélite *Planet* (plataforma *Dove*, cortesia Santiago & Cintra) referentes a área do sítio PELD, para o período agrícola do ano de 2017/2018, com resolução espacial de 3 metros, para estudos preliminares comparativos com dados de aerolevantamentos com VANT, na região da Flona, obtidos entre 2016 e 2019, que fazem parte do acervo Lapig/Pro-Vant.

3.2.1.3.2 Satélite *Sentinel 2*

Para este estudo, foram empregadas imagens do satélite *Sentinel 2*, que possui um sistema avançado de sensoriamento remoto que captura imagens com resolução espacial de 10 m e temporal de 5 dias combinados, cobrindo uma ampla gama de espectros. As imagens deste satélite foram obtidas, gratuitamente, por meio do portal do programa *Copernicus*, que está associado à Agência Espacial Europeia (ESA, em inglês), no endereço eletrônico <https://scihub.copernicus.eu>.

O dado empregado possui nível 1C de processamento, que conta com a imagem geometricamente corrigida (ortorretificada), valores de reflectância no topo da atmosfera (TOA) e resolução espacial de entre 10 e 60 metros.

Após pesquisa, foi selecionada a imagem do dia 19 do mês de setembro de 2021, pois foi a imagem com melhor qualidade que coincidiu com o período mais próximo do trabalho de campo.

Diferentemente do satélite *Planet*, as imagens do *Sentinel 2* foram submetidas a procedimentos de pré-processamento para garantir sua qualidade e utilidade para análise. Isso envolveu a correção atmosférica, a correção radiométrica e a correção geométrica, adaptadas às características específicas do sensor e das bandas espectrais do *Sentinel 2*, por meio do *software* QGIS.

As imagens obtidas pelo satélite *Sentinel 2* foram processadas nas bandas espectrais vermelha, verde e azul (RGB) para gerar índices de vegetação RGB. Esses índices foram calculados com o objetivo de realizar comparações e avaliar o potencial dos sensores remotos na detecção e monitoramento dos remanescentes de vegetação nativa do Cerrado. Além disso, também foram realizados processamentos de classificação da imagem para obter informações sobre o uso e cobertura da área de estudo.

3.2.2 Coleta de Dados em Campo

Essa etapa consistiu na realização do trabalho de campo, dividida em três frentes de atividades distintas: a primeira foi a aplicação do Protocolo de Avaliação Rápida, para avaliar a qualidade do ambiente, seguido da aferição de alguns parâmetros físicos da água, a fim de verificar a qualidade da água e validar a qualidade ambiental, por meio de sonda multiparamétrica e, por fim, a aquisição de imagens aéreas de alta resolução nas áreas amostrais e em seu entorno imediato, com a utilização do VANT.

Devido à pandemia da Covid-19, os trabalhos de campo foram realizados em setembro de 2021. Durante o período entre 20/09/2021 e 24/09/2021 foi feita uma campanha de campo com 38 voos de VANT e 15 aplicações do PAR, além da medição dos parâmetros físico-químicos da água com sonda multiparamétrica, nos pontos amostrais na área de estudo.

Foram previamente selecionados 15 (quinze) pontos amostrais (Tabela 6) para a obtenção de imagens aéreas, de alta resolução espacial, a partir de sensores remotos embarcados em VANT, além da aplicação do protocolo de avaliação rápida (PAR) nos pontos próximos aos cursos hidrográficos e cabeceiras de drenagem, a fim de obter parâmetros da qualidade ambiental na área estudada.

A seleção dos pontos foi baseada em diversos critérios (proximidade de corpos hídricos de APP, com acesso facilitado) e em locais próximos a outros pontos de coletas de campo realizadas por outros pesquisadores no âmbito do PELD, baseando-se em pontos utilizados em outras pesquisas (fauna edáfica, vegetação, qualidade da água, qualidade de habitat etc.).

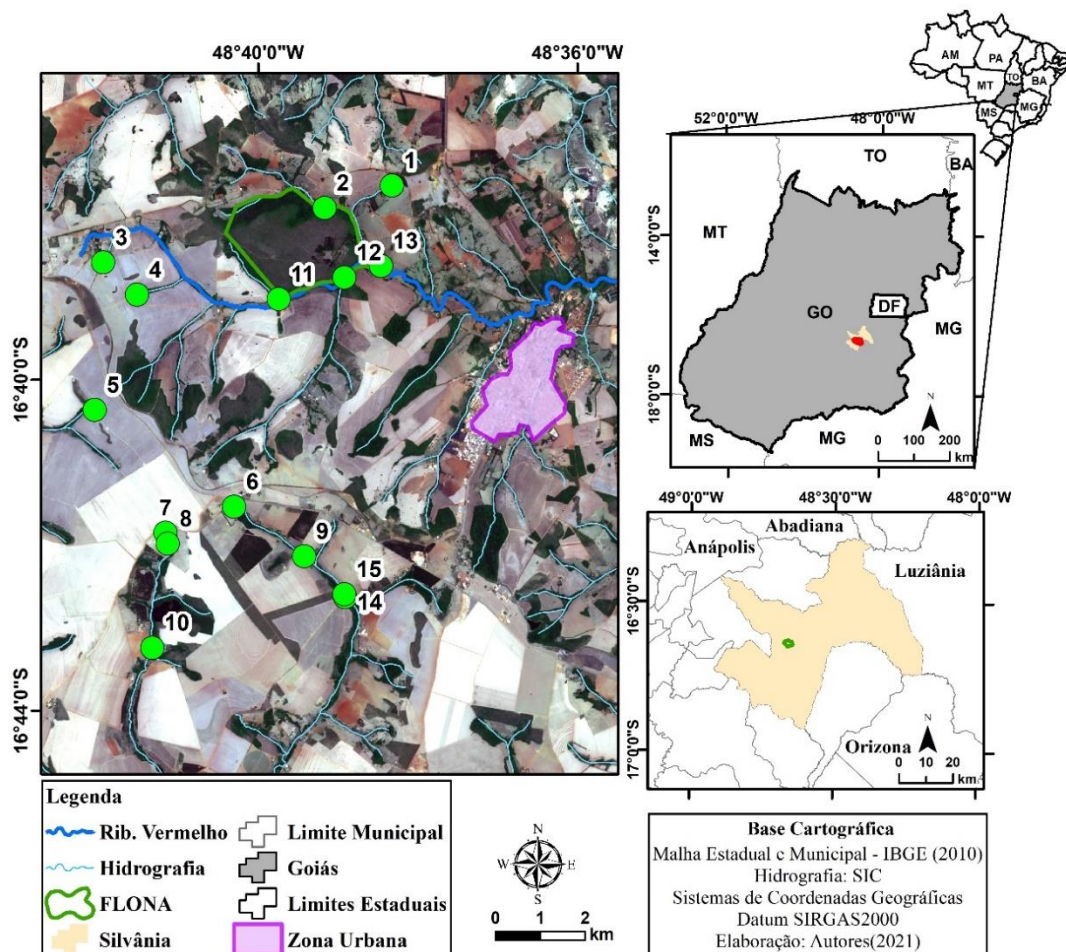
Tabela 6: Pontos amostrais para a coleta de dados de sensoriamento remoto e campo.

Local	Longitude (W)	Latitude (S)
P1	48° 38' 18,96"	16° 37' 36,29"
P2	48° 39' 9,23"	16° 37' 53,04"
P3	48° 41' 55,46"	16° 38' 34,41"
P4	48° 41' 29,63"	16° 38' 57,43"
P5	48° 42' 0,58"	16° 40' 21,45"
P6	48° 40' 14,84"	16° 41' 30,43"
P7	48° 41' 6,28"	16° 41' 49,85"
P8	48° 41' 4,54"	16° 41' 57,68"
P9	48° 39' 21,68"	16° 42' 5,71"
P10	48° 41' 15,03"	16° 43' 13,44"
P11	48° 39' 43,17"	16° 38' 59,56"
P12	48° 38' 53,94"	16° 38' 43,22"
P13	48° 38' 26,39"	16° 38' 34,71"
P14	48° 38' 50,52"	16° 42' 35,05"
P15	48° 38' 51,01"	16° 42' 32,89"

Fonte: elaborado pelo autor.

Os pontos amostrais foram selecionados no interior do sítio PELD, coincidindo com áreas estudadas por outros pesquisadores. Dessa maneira, os produtos gerados (ortomosaico, MDS, MDT, dentre outros) podem ser utilizados por outros cientistas na caracterização da vegetação, altura do dossel, uso e cobertura da terra etc.. Assim, podem-se cruzar essas informações com as coletas de campo, com o objetivo de validar os dados obtidos pelo VANT, podendo ser utilizada como verdade terrestre. Na Figura 8 se encontram especializados os pontos amostrais para coleta de dados com voo por VANT.

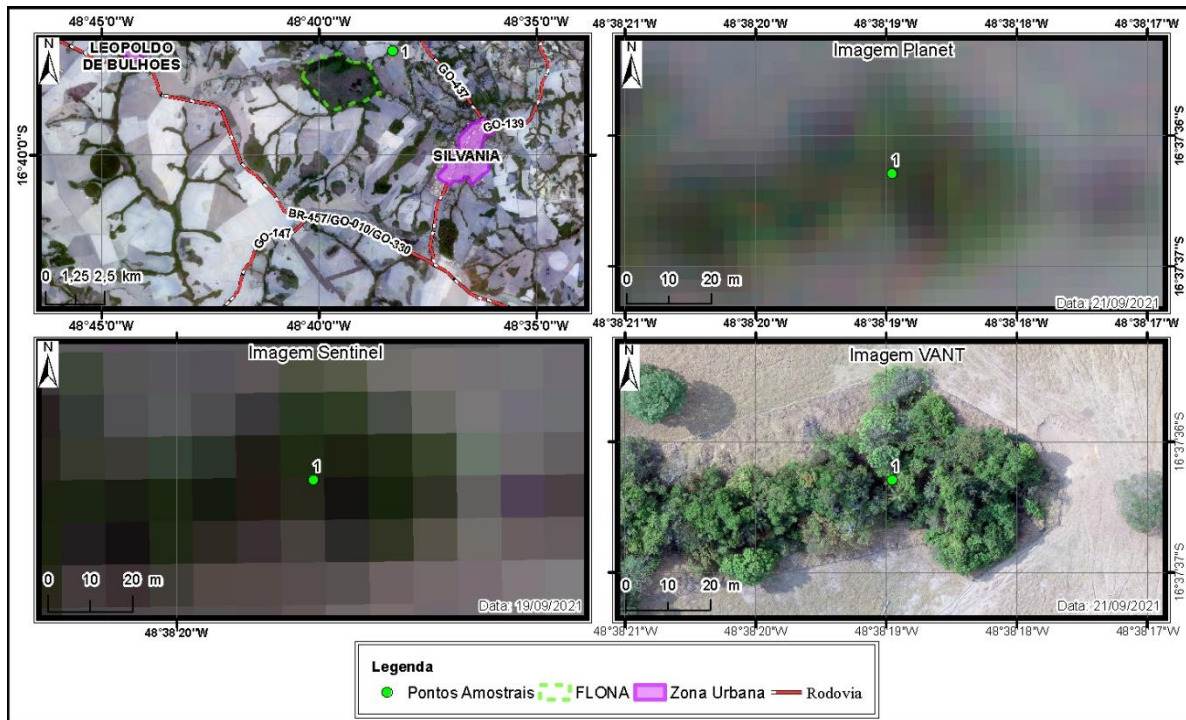
Figura 8: Mapa de localização dos pontos amostrais para voo com VANT no sítio PELD.



Fonte: elaborada pelo autor (2022).

Para cada ponto amostral foi definida uma área de interesse, com 4,0 ha (200 m x 200 m), para serem realizadas as análises geoestatísticas e a comparação entre os diferentes dados e suas escalas de análise (imagem do VANT *versus* imagens de satélite), como ilustrado na Figura 9 (ponto amostral selecionado em diferentes escalas com as imagens Planet, *Sentinel* e VANT).

Figura 9: Exemplo de comparação com sensores remotos multiescalares, considerando as imagens *Sentinel*, *Planet* e VANT.



Fonte: elaborada pelo autor (2022).

Para realizar esta tese foram utilizados *softwares* e equipamentos disponibilizados pelo Núcleo de Pesquisa e Capacitação com Veículos Aéreos Não Tripulados (Pro-Vant), do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig) da Universidade Federal de Goiás (UFG).

Os programas necessários para desenvolver a pesquisa foram: *DJI GO*, para configurar o VANT, *Pix4DCapture* (aplicativo disponível para IOS e *Android*) para planejar e executar o voo, *Pix4Dmapper* para processar as imagens aéreas e gerar os ortomosaicos, modelos digitais de superfície e terreno, dentre outros, e o *Esri Arcgis/Arcmap* e *QGIS* - *softwares* de geomática, importantes como sistema de informação geográfica (SIG), visando analisar, interpretar e processar os ortomosaicos, as imagens de satélites, gerar mapas de uso e ocupação da terra, índices espectrais, qualidade ambiental, dentre outros, para concluir os produtos cartográficos em geral da tese.

3.2.2.1 Aplicação do protocolo de avaliação rápida

O protocolo de avaliação aplicado neste estudo é composto por três categorias de avaliação do ambiente por meio de um conjunto de 17 parâmetros, pontuados de 0 a 3. Possui como referência metodológica o protocolo de Belizário (2015) e Silva *et al.* (2019), uma adaptação do protocolo realizado por Gomes, Melo e Vale (2005), trabalhos elaborados por Rodrigues (2008), Costa e Reis (2014) e Hannaford *et al.* (1997) *apud* Callisto *et al.* (2002).

A ficha do PAR inclui três categorias introdutórias para a identificação e caracterização geral do ponto analisado: identificação do local avaliado, caracterização geral do meio físico e caracterização geral geomorfológica do canal (Figura 10).

Figura 10: Parte inicial do PAR, caracterização geral das informações da área a ser avaliada.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS - UFG INSTITUTO DE ESTUDOS SÓCIOAMBIENTAIS - IESA		
FICHA DE MONITORAMENTO - PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS		
Bacia avaliada:	Coordenada UTM:	Foto
Referência complementar:	Nº Ponto	
Data de coleta:	Hora da avaliação:	
Quando ocorreu a última chuva:		
CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MEIO FÍSICO		
Litologia:	Declividade:	
Geomorfologia:	Pedologia:	
Bacia: () Alto curso () Médio curso () Baixo curso		
CARACTERIZAÇÃO GERAL GEOMORFOLÓGICA DO CANAL		
Regime de velocidade/profundidade: () Rápido/raso () Lento/raso () Rápido/profundo () Lento/profundo		
Condições de escoamento: () Ruim () Regular () Ótima () _____		
Sinuosidade: () Retilíneo () Meandrante () Anastomosado () Entrelaçado		
Forma do Canal: () Planície de inundação () Vale em "V" () Canal em "U"		
Alteração na forma: () Represamento () Desvio () _____		
Largura do canal:		

Fonte: Rodrigues (2008); Costa e Reis (2014); Belizário (2015) – Adaptado por Ribeiro e Silva (2015).

O PAR engloba de maneira sistemática dezessete parâmetros divididos em três categorias: Categoria 1 – Geomorfologia do Canal (Deposição de sedimentos, pontos de estrangulamento, estabilidade das margens, pontos de alagamentos/inundação); Categoria 2 – Qualidade da Água (cor da água, odor, materiais flutuantes, espumas, óleos, lançamento da rede de saneamento); e, Categoria 3 – Uso e Cobertura (acesso ao local, uso por animais no entorno da APP, uso por humanos no entorno da APP, uso no canal, proteção das margens pela

vegetação, estado de conservação da vegetação do entorno e lixo ao redor), conforme Figura 11.

Figura 11: Parâmetros Adaptados do PAR e Condições Categóricas.



Fonte: Rodrigues (2008); Costa e Reis (2014); Belizário (2015) – Adaptado por Ribeiro e Silva (2015).

Cada parâmetro recebe uma pontuação de 1 a 3, indicando, respectivamente, qualidade muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. A soma dessas pontuações resulta no escore total para cada local, variando entre 17 e 51 pontos. Com base nas observações de campo, com a soma da pontuação, pode-se classificar a qualidade ambiental nas seguintes categorias: muito alta (A = entre 45 e 51 pontos), alta (B = entre 38 e 44 pontos), moderada (C = entre 31 e 37 pontos), baixa (D = entre 24 e 30 pontos) e muito baixa (E = abaixo de 24 pontos), conforme Figura 12.

Figura 12: Condições Categóricas e Pontuação do PAR.

CONDICÕES CATEGÓRICAS		PARÂMETROS		PONTUAÇÃO (1)		PONTUAÇÃO (2)		PONTUAÇÃO (3)	
GEOMORFOLOGIA DO CANAL	1. Deposição de sedimentos ()	Ruim (> 50 %) ()		Regular (< 50 %) ()		Ótimo (inexistente) ()			
	2. Pontos de estrangulamento () Dique () Terraplanagem () Assoreamento () Barragem/Aterro () Enronçamento () Canalização/Impermeabilização	Ruim (Muita alteração do curso d'Água) ()		Regular (Pouca alteração do curso d'Água) ()		Ótimo (Sem alteração do curso d'Água) ()			
	3. Estabilidades das margens () Gabião () Erosão () Escoramento () Movimento de massa () Outros	Instável ()		Intermediário ()		Estável ()			
	4. Pontos de alagamentos/inundação () Muros de contenção () Comportas () Marcas em árvores e edificações () Outros	Presença ()		Apenas Marcas ()		Não detectado ()			
QUALIDADE DA ÁGUA	5. Cor da água	Escura ()		Clara ()		Transparente ()			
	6. Odor	Odor forte ()		Odor fraco ()		Inodor ()			
	7. Materiais flutuantes () Galhos e folhas () Lixo orgânico () Lixo inorgânico	Muito ()		Pouco ()		Sem flutuantes ()			
	8. Espumas	Muita ()		Pouco ()		Sem espuma ()			
	9. Óleos	Muito ()		Pouco ()		Sem Óleo ()			
	10. Lançamento da rede saneamento () Esgoto () Águas pluviais () Águas servidas () Efluente Industrial	Intenso ()		Intermediário ()		Não detectado ()			
USO E COBERTURA	11. Acesso ao local () Cercas () Guardas () Muros () Portões e porteiças.	Com acesso livre ()		Com acesso limitado ()		Sem acesso ()			
	12. Uso por animais no entorno (APP) () Suínos () Aves () Bovinos () Silvestres () Outros	Presença ()		Apenas Marcas ()		Não detectado ()			
	13. Uso por humanos no entorno (APP) () Chácaras () Construção residencial () Construção comercial () Construção Industrial	Presença ()		Apenas Marcas ()		Não detectado ()			
	14. Uso no canal () Irrigação () Caminhão pipa () Bombeamento () Extração de areia () Extração de argila	Intenso ()		Intermediário ()		Não detectado ()			
	15. Proteção das margens pela vegetação () Vegetação nativa () Reflorestamento () Cultivo agrícola () Pastagem () Outros	Ruim (inexistente) ()		Regular (< 50 %) ()		Ótimo (> 50 %) ()			
	16. Estado de conservação da vegetação do entorno () Vegetação nativa () Vegetação de grande porte () Vegetação exótica () Vegetação invasora	Ruim (inexistente) ()		Regular (< 50 %) ()		Ótimo (> 50 %) ()			
	17. Lixo ao redor () Lançados ao acaso () Depósito de entulhos () Restos de varrição pública () Descarte de lixo doméstico () Descarte orgânico () Outros	Muito ()		Pouco ()		Sem lixo ()			
PONTUAÇÃO TOTAL									
() Entre 45 e 51 pontos		() Entre 38 e 44 pontos		() Entre 31 e 37 pontos		() Entre 24 e 30 pontos		() Abaixo de 24 pontos	
A	Muito Alta	B	Alta	C	Moderada	D	Baixa	E	Muito Baixa

Fonte: Rodrigues (2008); Costa e Reis (2014); Belizário (2015) – Adaptado por Ribeiro e Silva (2015).

3.2.2.1.1 Categoria de Identificação Introdutória

A parte de Identificação Introdutória do protocolo abrange a coleta de informações essenciais para o local avaliado, incluindo detalhes como o nome da bacia, coordenadas UTM, data e hora da coleta, entre outros. Além disso, há espaço para notas sobre as últimas chuvas e dados fotográficos, fundamentais para a construção da base de dados da pesquisa. Esta seção também contempla a descrição geral do meio físico, fornecendo informações sobre litologia, declividade, geomorfologia e pedologia, que apoiam a análise ponderada dos parâmetros. A caracterização da geomorfologia do canal é igualmente relevante, fornecendo suporte para parâmetros que delineiam o comportamento do sistema fluvial, como regime de velocidade, profundidade e tipos de sinuosidade, além de aspectos como forma do canal, alterações e largura, conforme apresentado na Figura 10.

3.2.2.1.2 Categoria Geomorfologia do Canal

A categoria de Geomorfologia do canal refere-se ao estudo dos processos e formas relacionados ao fluxo dos cursos d'água, visando extrair conclusões sobre seu estado a partir das características morfológicas e dos componentes naturais dos rios.

Na ficha elaborada, os parâmetros incluem: deposição de sedimentos, pontos de estrangulamento, estabilidade das margens e pontos de alagamento. A deposição de sedimentos é avaliada em relação à quantidade presente no canal, classificada como Ruim (>50%), Regular (<50%) e, Ótima (inexistente).

Os pontos de estrangulamento são identificados por alterações antrópicas que podem afetar o curso d'água, como diques, aterros e canalizações, e são avaliados quanto ao grau de interferência no fluxo, classificados como Ruim (muita alteração), Regular (pouca alteração) e, Ótima (sem alteração). A estabilidade das margens é analisada considerando a presença de vegetação e medidas de estabilização, classificadas como Instável (Ruim), Intermediário (Regular) e, Estável (Ótima). Os pontos de alagamento/inundação são avaliados com base em indicadores como muros de contenção e marcas em edificações, classificados como: Presença (Ruim), Apenas marcas (Regular) e Não detectado (Ótima).

3.2.2.1.3 Categoria Qualidade da Água

A categoria "Qualidade da água" tem como objetivo identificar possíveis pontos de contaminação que comprometem a qualidade do corpo hídrico. Para essa avaliação, são considerados parâmetros que evidenciam problemas de poluição e contaminação, os quais comprometem a qualidade dos corpos hídricos, incluindo a cor, o odor, a presença de materiais flutuantes, espumas, óleos e o lançamento de rede de saneamento. A cor da água é avaliada visualmente, levando em conta a sua aparência escura, clara ou transparente. O odor é avaliado através da percepção sensorial, identificando se é forte, fraco ou inodoro.

Quanto aos materiais flutuantes, observa-se a presença de galhos, folhas e outros detritos, classificando-se a quantidade como muito, pouco ou ausente. Espumas e óleos são indicadores de alteração antrópica e são avaliados visualmente, classificando-se a presença como muito, pouco ou ausente. Por fim, o lançamento de rede de saneamento é analisado considerando diversos indicadores, tais como águas pluviais, esgoto e efluentes industriais, classificando-se a intensidade como intenso, intermediário ou não detectado. Esses parâmetros fornecem perspectivas importantes sobre a saúde do ecossistema aquático e são fundamentais para a avaliar a qualidade dos cursos hídricos.

3.2.2.1.4 Categoria Uso e Cobertura

A categoria "Uso e Cobertura" está intimamente ligada às atividades humanas e suas consequências nos ecossistemas aquáticos. Essa categoria abrange parâmetros como acesso ao local, uso por animais e humanos no entorno, uso do canal, proteção das margens pela vegetação, estado de conservação da vegetação e presença de lixo ao redor. O acesso ao local é avaliado com base na presença de cercas, muros e portões, indicando acesso livre, limitado ou impedido. O uso por animais e humanos é ponderado, considerando a presença de animais domésticos e atividades humanas no entorno da Área de Preservação Permanente (APP).

Enquanto o uso do canal é classificado de acordo com a intensidade de atividades, como irrigação, bombeamento e extração de recursos; já a proteção das margens pela vegetação é avaliada pela presença de vegetação natural e seu estado de conservação. O estado de conservação da vegetação é determinado pela presença de vegetação nativa, exótica e de grande porte. A presença de lixo ao redor, resultado do aumento populacional em áreas urbanas, é analisada considerando diversos indicadores, como deposição de entulhos e descarte de lixo doméstico, classificando a área como muito poluída, pouco poluída ou livre de lixo. Esses

parâmetros fornecem uma visão abrangente das condições ambientais relacionadas ao uso e cobertura da área de estudo.

3.2.2.1.5 Pontuação

Para avaliar a integridade ambiental dos pontos amostrais da área de estudo, cada parâmetro foi pontuado de 1 a 3, representando os níveis de preservação ambiental como Muito Baixa, Baixa, Moderada, Alta e Muito Alta. Ao final, os pontos de cada parâmetros foram somados, resultando em uma pontuação final, variando entre 17 e 51 pontos para cada local avaliado. Com base na pontuação final foi possível classificar a qualidade ambiental em cinco categorias: Muito Alta (A), Alta (B), Moderada (C), Baixa (D) e Muito Baixa (E), com intervalos específicos de pontuação para cada categoria conforme Tabela 7. Essa abordagem foi adaptada do protocolo original de Gomes et al. (2005) para se adequar ao número de parâmetros avaliados.

Tabela 7: Índice de classificação do nível de preservação ambiental

CLASSE	NÍVEL DE PRESERVAÇÃO	PONTUAÇÃO FINAL
A	Muito Alta (Ótima)	Entre 45 e 51 pontos
B	Alta (Boa)	Entre 38 e 44 pontos
C	Moderada (Razoável)	Entre 31 e 37 pontos
D	Baixa (Ruim)	Entre 24 e 30 pontos
E	Muito Baixa (Péssima)	Abaixo de 24 pontos

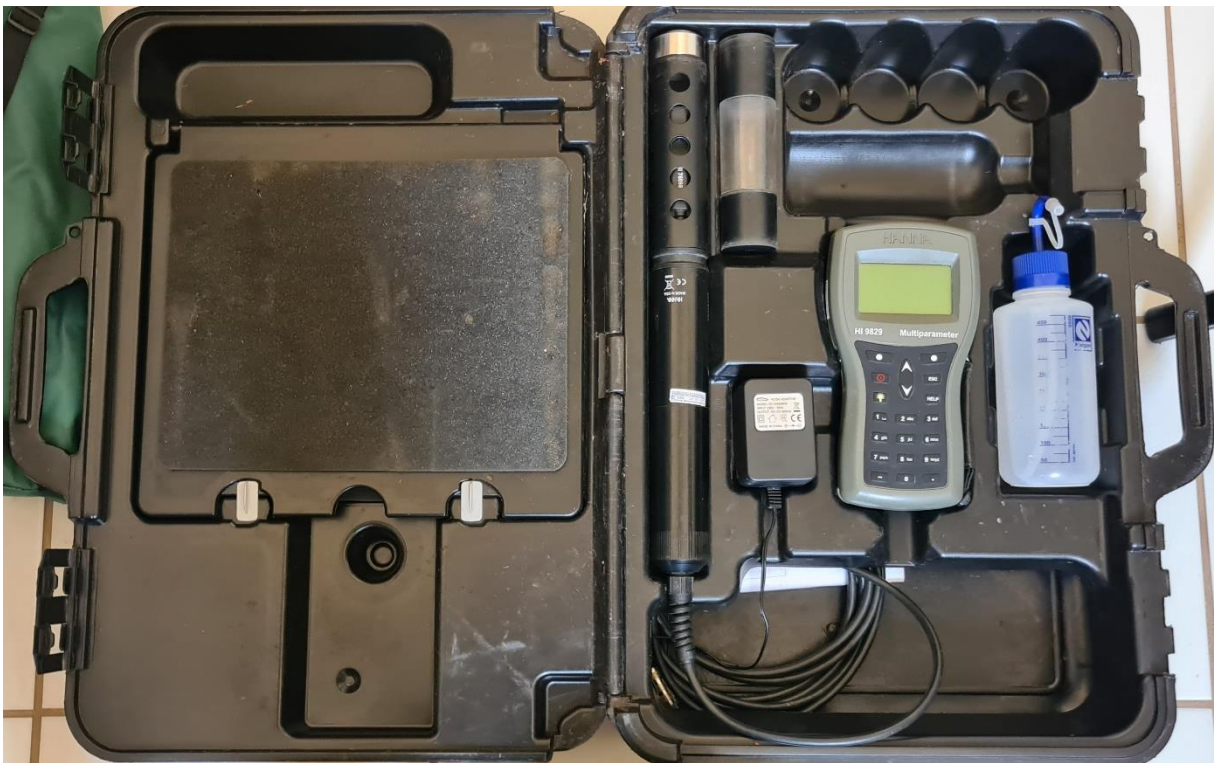
Fonte: Gomes et al. (2005) – Adaptado por Ribeiro e Silva (2015).

Por fim, os dados do PAR foram organizados em uma base de dados tabular (Excel), classificando a qualidade ambiental de cada ponto de coleta para serem aplicados modelos estatísticos, a fim de correlacionar os dados do PAR e do medidor multiparamétrico, com a geração de gráficos e histogramas para identificar padrões e variações na qualidade ambiental.

3.2.2.2 Obtenção dos parâmetros de qualidade da água

Nos levantamentos de campo foi utilizado um medidor multiparamétrico da marca/modelo *HANNA HI 9829* (Figura 13), o qual possui um multisensor com microprocessador, previamente calibrado, com a finalidade de aferir as condições físico-químicas da qualidade da água. O equipamento utilizado pertence ao Laboratório de Geomorfologia, Pedologia e Geografia Física (Labogef), do Instituto de Estudos Socioambientais (IESA) da UFG.

Figura 13: Medidor multiparamétrico HANNA 9829 utilizado neste estudo.



Fonte: o autor.

O aparelho medidor é equipado com um conjunto de sensores da série HI 76 x 9829, capaz de medir até 15 parâmetros de qualidade de água, tais como pH, potencial de redução de oxidação (ORP), condutividade, turbidez, temperatura, íons amônio, nitrato, cloreto (NH_4^+ , $\text{NO}_3\text{—N}$, Cl^-), concentração de oxigênio dissolvido, resistividade, sólidos totais dissolvidos (TDS), salinidade, gravidade específica da água do mar e a pressão atmosférica (medida por

compensação de oxigênio dissolvido). O equipamento possui uma tela LCD capaz de exibir até doze parâmetros simultaneamente.

Os parâmetros da água foram obtidos pela sonda multiparamétrica Hanna HI-9829 *in loco* (Figura 13), no qual o sensor da sonda ficou submerso nos primeiros 10 centímetros da superfície (epilímnio), onde tende a ocorrer as maiores temperaturas, o que, junto com o aporte de nutrientes, aumenta a produtividade de organismos nas camadas superficiais (Esteves, 1998; Cabral *et al.*, 2013). Os parâmetros avaliados foram oxigênio dissolvido (OD) em porcentagem (%) e partes por milhão (ppm), potencial Hidrogeniônico (pH), temperatura (T), total de sólidos dissolvidos (TDS), dentre outros.

As leituras da sonda foram realizadas em triplicata, para tentar diminuir erros de leitura; a leitura que apresentou maior diferença entre as 3 obtidas era descartada. Os resultados dos dados foram determinados pela média das duas leituras mais próximas, desde que apresentassem uma diferença superior a 5% (Barcelos, 2021). Esse método de leitura foi realizado em todos os pontos definidos ao longo da área de estudo.

Além desses materiais, durante os trabalhos de campo foram utilizadas outras ferramentas de apoio, tais como a câmera fotográfica digital, para registrar a paisagem e os locais analisados, prancheta para apoio das fichas de análise do PAR e GPS de navegação para registro e confirmação da localização dos pontos, equipamentos de proteção individual (EPI) (chapéu, camisa de manga longa com proteção UV 50+, perneira, facão, dentre outros) e aparelho celular (*smartphone*) para navegar na área de estudo por mapas digitais em aplicativos de trabalho de campo (ex. *Avenza Maps*).

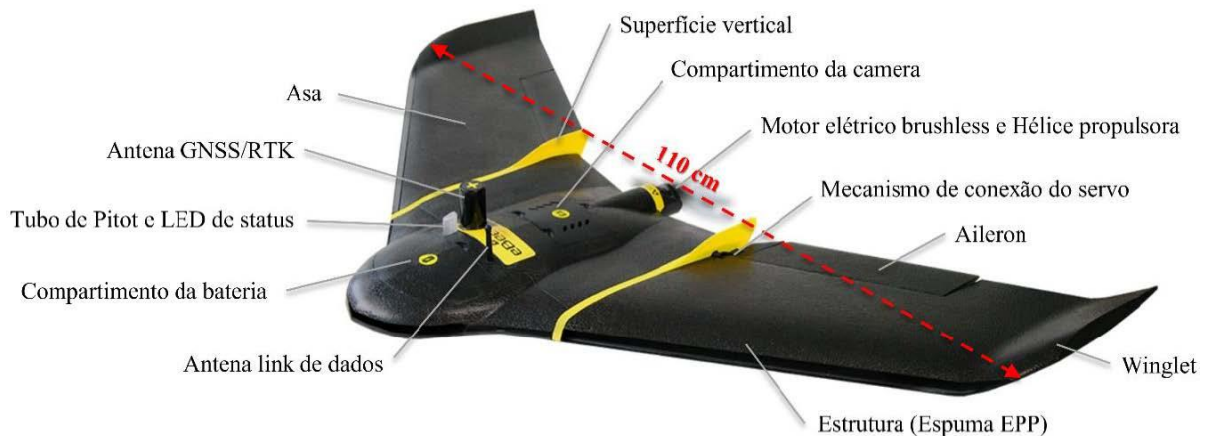
3.2.2.3 Imageamento aéreo com VANT

As imagens de VANT utilizadas na tese foram obtidas em dois momentos distintos. No primeiro momento, foram obtidas imagens de VANT, de outros estudos anteriores, pertencentes a base de dados do Lapig/Provant, que foram aplicadas em um estudo preliminar no início do doutorado, no ano de 2018 e 2019, apresentado no Capítulo 4 desta tese. No segundo momento, no ano de 2021, foram obtidos os dados de VANT por meio de trabalho de campo com o DJI *Phantom 4 PRO V2*.

As imagens aéreas utilizadas no primeiro momento foram obtidas pelo VANT da marca *SenseFly* (empresa suíça), modelo *eBee Plus* com *Real Time Kinematic* (RTK) (Figura 14 e Figura 15), em 02/12/2017. O *eBee Plus* RTK é um VANT de asa fixa compacto, construído a partir de espuma de polipropileno expandido, também conhecida como *Expanded*

Polypropylene (EPP). O *eBee Plus* estava equipado com uma câmera modelo *Sensor Optimised for Drone Applications (SODA)* de 20 Mp e 1 polegada, além da opção de um sensor multiespectral para capturar imagens em quatro bandas espectrais, incluindo a faixa do NIR (infravermelho próximo). Operando com um motor elétrico, este drone de asa fixa tem uma autonomia de voo de até 45 minutos, alcançando uma velocidade máxima de 60 km/h e um raio de operação de até 3 km. Durante a missão, o *eBee Plus* voou a uma altura de 140 metros, alcançando uma resolução espacial de aproximada de 16,22 cm/pixel, permitindo análises detalhadas de densidade florestal, desmatamento, erosões, entre outros aspectos (Alves Junior, 2021).

Figura 14: Vista da parte superior do *eBee Plus* RTK.



Fonte: Alves Junior (2021, p. 78)

Figura 15: Vista da parte inferior do *eBee Plus* RTK.



Fonte: Alves Junior (2021, p. 78)

Para o segundo momento, durante trabalho de campo, no ano de 2021, a aquisição de imagens aéreas na área de estudo foi utilizado um VANT, marca/modelo DJI *Phantom 4 PRO V2* (Figura 16), drone multirotor quadricóptero. Esse modelo está equipado com câmera RGB, sensor *Complementary Metal Oxide Semiconductor* (CMOS) de 1 polegada com 20 megapixels; além disso, possui um sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) capaz de captar sinais dos sistemas *Global Positioning System* (GPS, EUA) e *Global Navigational Satellite System* (GLONASS, Rússia) e sistema de detecção de obstáculos em cinco direções.

O DJI *Phantom 4 PRO V2* conta ainda com uma autonomia de voo média de 30 minutos por bateria, podendo ter um *payload* de até 800 g, contando com o peso do drone e da bateria. Para esta etapa, executou-se os seguintes procedimentos: planejamento de voo, execução do plano de voo para obtenção de imagens aéreas georreferenciadas, Tratamento e Processamento dos dados do VANT e Análise em uma ferramenta de SIG.

Figura 16: VANT DJI Phantom 4 Prov V2 empregado na pesquisa.



Fonte: site da DJI

3.2.2.3.1 Planejamento de Voo

Para a elaboração dos planos de voo, utilizou-se o aplicativo para celular (*smartphone*) *Pix4DCapture*, com o qual foram criados plano de voo para os 15 locais de amostragem (Tabela 8). Foram consideradas as seguintes variáveis no momento de planejar a missão do voo: altura de voo, tempo do voo, tamanho da área de sobrevoo e o *Ground Sample Distance* (GSD), que

indica o tamanho do pixel no terreno (Tabela 8). As alturas dos voos determinaram as resoluções, representando a distância de amostra do solo em centímetros.

A altura dos voos foi definida em 150 m, o que resultou em uma resolução espacial estimada em, 4 cm/pixel. A sobreposição das fotografias frontal e lateral foram de 80% e 70%, estando acima dos valores recomendados pela bibliografia para um resultado satisfatório.

Tabela 8: Locais onde foram realizados os voos com o VANT Phantom 4 Pro V2.

Local	Longitude (W)	Latitude (S)	Data	Hora	Altura	Tempo de Voo	GSD (cm/px)	Total Imagens
P1	48° 38' 18,96"	16° 37' 36,29"	21/09/2021	14:08	150	8min8s	4	66
P2	48° 39' 9,23"	16° 37' 53,04"	21/09/2021	15:30	150	26min1s	4	275
P3	48° 41' 55,46"	16° 38' 34,41"	22/09/2021	11:05	150	8min51s	4	77
P4	48° 41' 29,63"	16° 38' 57,43"	22/09/2021	12:59	150	8min7s	4	98
P5	48° 42' 0,58"	16° 40' 21,45"	22/09/2021	14:37	150	8min21s	4	88
P6	48° 40' 14,84"	16° 41' 30,43"	23/09/2021	09:38	150	12min15s	4	112
P7	48° 41' 6,28"	16° 41' 49,85"	23/09/2021	10:32	150	9min12s	4	80
P8	48° 41' 4,54"	16° 41' 57,68"	23/09/2021	10:32	150	9min12s	4	80
P9	48° 39' 21,68"	16° 42' 5,71"	23/09/2021	13:43	150	12min17s	4	144
P10	48° 41' 15,03"	16° 43' 13,44"	23/09/2021	14:59	150	6min45s	4	78
P11	48° 39' 43,17"	16° 38' 59,56"	24/09/2021	08:19	150	10min50s	4	105
P12	48° 38' 53,94"	16° 38' 43,22"	24/09/2021	12:08	150	12min33s	4	117
P13	48° 38' 26,39"	16° 38' 34,71"	24/09/2021	12:54	150	7min50s	4	85
P14	48° 38' 50,52"	16° 42' 35,05"	24/09/2021	16:08	150	15min59s	4	144
P15	48° 38' 51,01"	16° 42' 32,89"	24/09/2021	16:08	150	15min59s	4	144

Fonte: o autor.

3.2.2.3.2 Execução do Plano de Voo para Obtenção de Imagens Aéreas Georreferenciadas

Após a configuração dos planos de voos, no *Pix4DCapture*, necessita-se posicionar o VANT em um local aberto e sem obstruções para a decolagem. A altura de voo é o fator determinante na quantidade de imagens capturadas e a tamanho do pixel no solo. Além disso, o essencial é realizar voos o mais alto possível, pois assim se cobre uma área maior com menos fotografias. Utilizando *Pix4DCapture* dá-se o comando para iniciar a decolagem da aeronave e obtenção das imagens georreferenciadas, conforme o plano de voo definido. O pouso e a decolagem de um drone multirrotor quadricóptero é muito mais simples que outros tipos de aeronaves, por exemplo os de asa fixa.

Para o registro das fotografias aéreas georreferenciadas o aplicativo realiza cálculos baseando-se na sobreposição de fotos, tanto lateral quanto frontal, a fim de que se possa obter uma cobertura adequada da superfície imageada e com precisão para geração de modelos de elevação.

As imagens capturadas são armazenadas no cartão de memória inserido no drone, utilizando-se o formato EXIF JPG, com mínima compressão, para evitar perda de qualidade. São incluídos no cabeçalho das imagens armazenadas informações sobre de latitude, longitude e altitude, para que sejam utilizadas pelo *software* de processamento para o devido posicionamento e sobreposição para gerar as nuvens de pontos e ortomosaicos.

3.2.2.3.3 Tratamento e Processamento dos Dados do VANT

Após o aerolevanteamento com registro das imagens aéreas, os seus arquivos foram transferidos do cartão de memória para o computador para tratamento e processamento das imagens para gerar os ortomosaicos. O programa utilizado para realizar esta operação foi o *Pix4DMapper*, um *software* comercial, com avançado sistema de processamento e análise de imagens, que transforma as fotografias aéreas capturadas por drones ou aeronaves tripuladas em ortomosaicos e Modelos Digitais de Elevação (MDE), além de índices espectrais georreferenciados, podendo essas informações serem exportadas em formatos compatíveis com outros *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG), como QGIS e ArcGIS, dentre outros, para as devidas análises e elaboração de mapas.

Na etapa de tratamento das imagens aéreas com o *Pix4Dmapper*, inicialmente importou-se as fotografias e aplicou-se a configuração padrão do *software*. Contudo, para a primeira fase do processamento, selecionou-se a opção de máxima precisão disponível para o alinhamento das fotos. Essa escolha permite que o *software* identifique e associe pontos equivalentes entre as diversas imagens, facilitando a localização exata da câmera em cada foto e aprimorando os parâmetros de calibração da mesma. O *software Pix4DMapper* calcula as posições e orientações das imagens originais de forma automática, por meio da Triangulação Aérea (AAT) e Ajustamento de feixes em Bloco (*Bundle Block Adjustment, BBA*). E baseando-se em nuvem de pontos 3D, obtidos durante a AAT e BBA, é gerado um Modelo Digital de Superfície (MDS) por triangulação destes pontos. O ortomosaico é gerado a partir da projeção e combinação das imagens originais com o MDS e ao final é gerado um relatório do processamento (Dambroski *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2014).

3.2.3 Tratamento e organização do Banco de Dados

Esta etapa consistiu em sistematizar toda a informação, tanto adquirida quanto produzida, em uma base de dados para processamento. Foram utilizados os *softwares* Microsoft Excel® para organizar as informações tabulares e aplicar técnicas de análise estatística exploratória, definidas de acordo com o referencial bibliográfico, bem como para sistematizar planilhas e elaborar tabelas.

As imagens aéreas obtidas com o VANT foram processadas em *softwares* específicos, visando a produção de ortofotos, modelo digital de superfície (MDS) e dos índices de vegetação RGB (por exemplo, MPRI, ExG, VARI). O *Pix4Dmapper* é um *software* proprietário específico para processar fotos, especialmente as aéreas. Além desse, existem outros, como *Agisoft Metashape*. Aqui optou-se por utilizar o *Pix4Dmapper*, já que o Lapig está equipado com licenças de utilização. A partir das imagens de alta resolução espacial e do modelo digital do terreno, foram obtidos dados sobre compartimentos do relevo da paisagem, uso e cobertura da terra, índice de vegetação, entre outros.

Para verificar em campo os mapas de solo, uso e ocupação, altimetria e etc., foi utilizado o aplicativo *Avenza Maps* para dispositivo móvel, que permite navegar por mapas digitais georreferenciados (nos formatos TIF ou PDF), apresentando a localização em tempo real do trabalho *in loco*.

Assim, a produção cartográfica utiliza as informações da base de dados, organizando-as por dados primários e secundários, tabulares, vetoriais e matriciais, empregando-se o *software Arcgis 10.4.1*, visto que ele possui ferramentas completas para gerar os mapas temáticos e permite uma melhor integração dos diferentes tipos de arquivos integrantes da base de dados. Ao fim, foram utilizados o índice de Kappa e os de Exatidão Global para determinar a acurácia dos mapas produzidos.

3.2.3.1 Processamento dos dados Aéreos e Orbitais

Após a criação dos ortomosaicos e MDS, a partir das imagens aéreas, estes podem ser utilizados nos *softwares* de SIG para gerar índices espectrais e correlações com outros dados obtidos. Foi utilizado o *software QGIS* para gerar os índices espectrais e realizar demais processamentos, a partir dos ortomosaicos obtidos. O QGIS, sigla para Quantum GIS, é um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto que permite visualizar, editar e analisar dados geoespaciais. O QGIS permite importar dados geoespaciais, como

shapefiles, *raster* ou arquivos de dados CSV; realizar análises espaciais, como sobreposição de camadas ou cálculos de proximidade; estilizar os elementos do mapa, como cores, símbolos e rótulos para criar mapas interativos; e por fim, exportar o mapa finalizado em diferentes formatos, como imagem, PDF ou arquivo vetorial.

No *software* QGIS 3.30.2, utilizando a ferramenta “calculadora *raster*”, foram processadas as bandas espectrais de cada ortomosaico, bem como os índices de vegetação, utilizando as fórmulas identificadas nas equações 1 a 10. Os índices RGB analisados incluem: ARI2 (*Anthocyanin Reflectance Index*), desenvolvido por Gitelson, Merzlyak e Chivkunova (2001) para avaliar a concentração da antocianina na vegetação; CRI (*Carotenoid Reflectance Index*) de Gitelson et al. (2002), voltado para a estimar o conteúdo de carotenoides nas plantas; ExG (*Excess Green Index*) proposto por Varela et al. (2021), destinado a medir a saúde das plantas e monitorar mudanças na cobertura vegetal; GLI (*Green Leaf Index*) por Zhang et al. (2021), que quantifica a quantidade de clorofila na vegetação e auxilia na identificação de folhagem verde; MPRI (*Modified Photochemical Reflectance Index*) de Tucker (1979), para avaliar a eficiência fotossintética, detectar estresses e alterações fisiológicas nas plantas; RI (*Redness Index*) de Escadafal e Huete (1991), para quantificar a clorofila nas folhas e indicar a saúde e vigor das plantas; PRI (*Photochemical Reflectance Index*) por Gamon, Serrano e Surfus (1997), para analisar a atividade fotossintética da vegetação; RGR (*Red-Green Ratio*) introduzido por Gamon and Surfus (1999), que avalia a saúde e o vigor da planta; TGI (*Triangular Greenness Index*) de Hunt Jr. et al. (2011), para estimar os níveis de clorofila na planta, podendo indicar a saúde e a densidade de vegetação; e VARI (*Visible Atmospherically Resistant Index*) por Gitelson, Solovchenko e Alexei (2020), projetado para minimizar os efeitos da atmosfera na medição da saúde e vigor da vegetação.

Esses índices proporcionam uma gama de ferramentas para a análise detalhada da vegetação, desde a identificação de clorofila até a distinção entre plantas saudáveis, doentes ou mortas e diferenciar do solo exposto, além de permitir identificar áreas de estresse vegetal, auxiliando em estudos ambientais e na agricultura.

Os cálculos desses índices foram realizados através de ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), como o QGIS, um software livre e de código aberto amplamente utilizado por pesquisadores e profissionais da área ambiental. A partir da ferramenta calculadora *raster*, foram aplicadas as fórmulas específicas de cada índice de vegetação RGB desejado, para as imagens digitais aéreas e orbitais, conforme demonstrado nas equações de cada índice espectral, a seguir.

Equações:

$$ARI2 = \left(\frac{1}{B} - \frac{1}{G}\right) * R \quad (\text{Eq. 1})$$

$$CRI = \left(\frac{1}{B} - \frac{1}{G}\right) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$ExG = 2 * G - R - B \quad (\text{Eq. 3})$$

$$GLI = \frac{2 * G - R - B}{2 * G + R + B} \quad (\text{Eq. 4})$$

$$MPRI = \frac{G - R}{G + R} \quad (\text{Eq.5})$$

$$RI = \frac{R - G}{R + G} \quad (\text{Eq. 6})$$

$$PRI = \frac{B - G}{B + G} \quad (\text{Eq. 7})$$

$$RGR = \frac{R}{G} \quad (\text{Eq. 8})$$

$$TGI = G - 0.39 * R - 0.61 * B \quad (\text{Eq. 9})$$

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde: R = banda vermelha; G = banda verde e, B = banda azul.

3.2.3.2 Organização e armazenamento em Base de dados Geográfico

O conjunto de dados desta tese está organizado e armazenado de maneira estruturada em uma base de dados geográfico, sempre acompanhado de um arquivo de texto (metadados primários) com explicações detalhadas sobre o dado coletado, que incluem informações como local de coleta, data e resolução do produto e o pesquisador que fez a coleta e a organização, buscando dar crédito a todos os envolvidos.

Dessa maneira, garante-se que os dados possam, futuramente, ser entendidos e utilizados por qualquer pessoa, não se restringindo apenas a quem coletou. Para manter a qualidade e a longevidade dos dados, as informações são validadas e estão em constante avaliação, a fim de evitar erros comuns de digitação ou duplicidade, buscando manter um padrão com arquivos de qualidade.

A construção da base de dados geográfico ocorreu a partir da aquisição de dados analíticos e cartográficos em SIG nos formatos vetoriais, matriciais e tabulares, com informações referentes ao estado de Goiás, ao município de Silvânia e à região do sítio PELD-Cofa. Esses dados contêm informações sobre limite estadual, limite municipal, hidrografia, uso da terra, cobertura vegetal, geologia, modelo digital de superfície (MDS), propriedades rurais, ponto de captação de água, dentre outros dados. Essas informações foram adquiridas por meio de *sites* oficiais ou sistemas de SIG *online*, dentre eles o Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (Lapig Maps)³, Sistema Estadual de Geoinformação de Goiás (Sieg),⁴ HidroWeb da Agência Nacional da Água (ANA),⁵ Sistema de Cadastro Ambiental Rural (Sicar)⁶, dentre outros. Ainda, foram adquiridas informações sobre os dados censitários do município de Silvânia, no *site* do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).⁷

Além disso, foram obtidos dados coletados por pesquisadores do sítio PELD, tais como coletas de água, fauna edáfica, coleta de solos, *habitats*, informações sobre a flora, dentre outros dados, bem como imagens aéreas realizadas anteriormente e produtos cartográficos desenvolvidos por estudantes e cientistas envolvidos com as pesquisas no sítio PELD - Cofa.

Assim, todas as informações foram compiladas e sistematizadas em formato vetorial (*shapefile*), *raster* (imagem) ou tabular (planilhas) e organizadas em pastas e subpastas dentro da Base de Dados Geográficos (Figura 17). A organização das pastas ocorre no seguinte sentido: pasta principal (base de dados), subpastas da região ou local da informação (nível país, estado ou local), seguido de outras subpastas com a temática do dado (ex. geologia, altimetria), que contém as fontes da informação (a exemplo de ALOS, SRTM), e, por fim, os arquivos a serem utilizados em *softwares* de SIG (ex. QGIS, Arcgis, dentre outros).

³ Disponível em: <http://maps.lapig.iesa.ufg.br/lapig.html>. Acesso em: 20 set. 2019. Essa plataforma foi descontinuada.

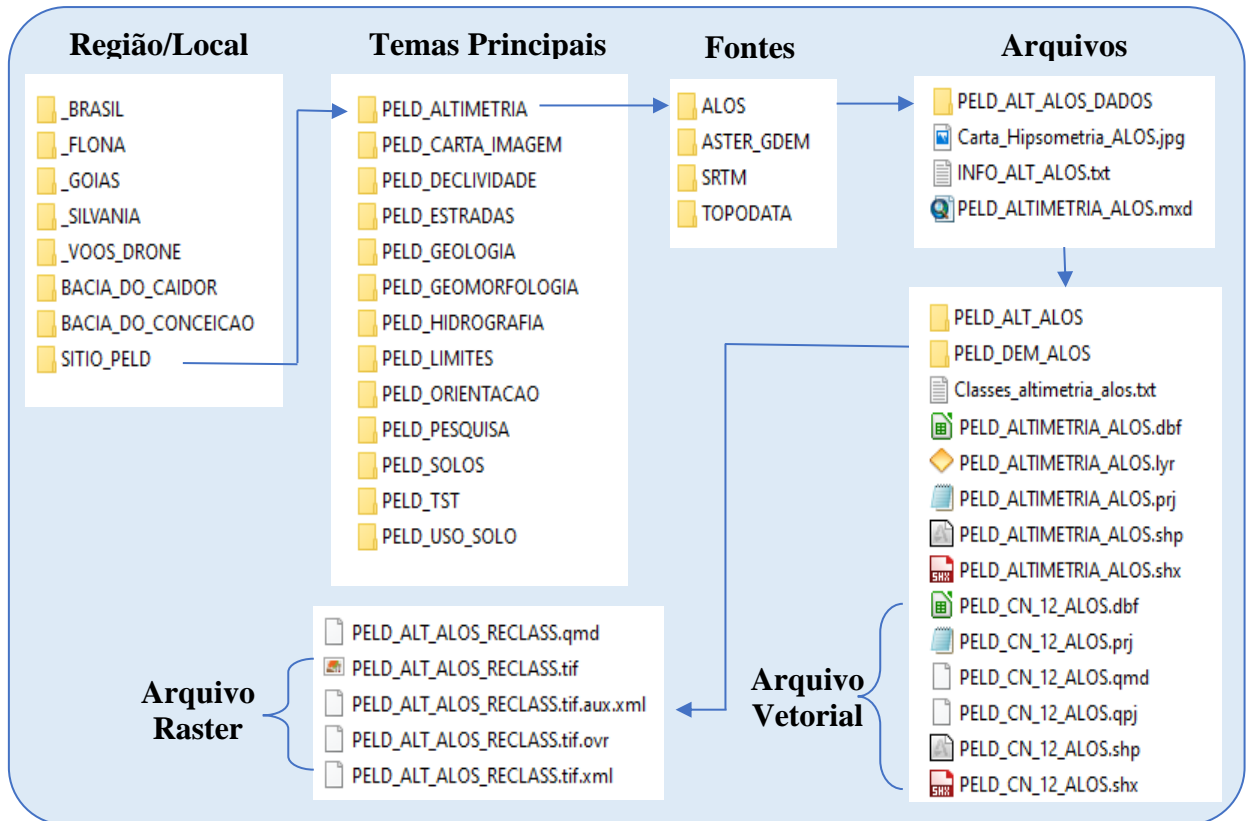
⁴ Disponível em: <http://www.sieg.go.gov.br/>. Acesso em: 20 set. 2019.

⁵ Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/> ou <http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb.asp>. Acesso em: 20 set. 2019.

⁶ Disponível em: <https://car.gov.br/>. Acesso em: 20 set. 2019.

⁷ Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 20 set. 2019.

Figura 17: Organização da base de dados geográfica para a região do sítio PELD.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em alguns casos, a mesma informação é armazenada em mais de um formato (como em *shapefile*, *raster* ou tabela), para ampliar o acesso e o manuseio do arquivo por mais de um programa, não se limitando a apenas um *software*. Além disso, facilita algumas operações de cálculo de área (no formato *shapefile*, o processo é mais simplificado) e realiza uma álgebra de mapas (no formato *raster*, o processo é mais eficaz).

Todas as informações estão referenciadas no *Datum* Sirgas 2000 (oficial do Brasil) e projetadas no sistema de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM), para o fuso 22S, em que está inserida toda a região do PELD. Os dados que estavam outro sistema de coordenada (SAD-69 ou coordenadas geográficas) foram convertidos pela ferramenta *Project* do *Arcgis*, a fim de padronizá-los em Sirgas 2000.

3.2.4 Análise de Dados Estatísticos

Para esta etapa, utilizando a ferramenta Estatísticas Zonais do *Software* QGIS (3.30.2), foram extraídos os dados espectrais dos índices de vegetação. Os procedimentos foram executados na área do *buffer* de 200 metros dos pontos amostrais. Os dados extraídos dos IVs

foram necessários para realizar as etapas seguintes: a análise estatística descritiva e multivariada da qualidade ambiental e sua relação com os índices espectrais.

Com os dados extraídos e organizados em uma tabela do *Excel*, foram realizadas a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade, utilizando o *software RStudio* v.2023. No *software Rstudio* foram utilizados os pacotes estatísticos como *readxl*, *corrplot*, e *Factoshiny* para realizar os procedimentos estatísticos.

Em seguida, realizou-se a aplicação de modelos estatísticos para analisar e interpretar os dados coletados de maneira mais eficaz, a fim de correlacionar os dados do PAR, o medidor multiparamétrico e os índices espectrais do VANT. Foram gerados gráficos e histogramas para identificar padrões e variações relacionadas à qualidade ambiental e *boxplots* para comparar os diferentes níveis de qualidade da água.

Além disso, realizou-se uma análise de componentes principais (PCA, em inglês) (Araújo; Coelho, 2009; Karamizadeh *et al.*, 2013; Smith, 2002) com o intuito de identificar quais índices espectrais apresentam uma melhor associação entre os dados de qualidade ambiental (PAR) e índices espectrais do VANT, e também entre os dados do PAR e os dados da sonda multiparamétrica.

Ademais, a análise de regressão linear múltipla foi empregada para avaliar a relação entre a qualidade ambiental (PAR) e os índices espectrais das plataformas *Sentinel 2*, *Planet* e *UAV*, utilizando o método *backward*.

No tratamento estatístico foi realizada a análise descritiva dos dados e o teste de normalidade, utilizando o *software RStudio* v.2023. Foi utilizada a regressão clássica, conforme o modelo de regressão apresentado na Equação 11.

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \quad (\text{Eq. 11})$$

Onde:

Y_i é a variável explicada ou dependente;

β_0 é Constante de regressão;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ são Coeficientes de regressão;

X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis explicativas ou independentes;

ε_i é o erro não explicado pelo modelo.

Para verificar se as amostras procediam de uma determinada distribuição de probabilidade, foram usados os testes de hipóteses não paramétricos Shapiro-Wilk (1965) e Jarque-Bera (1987).

Empregou-se a análise de regressão linear múltipla (Equação 11), por meio do método *backward*, para aferir se ocorre uma relação linear entre a qualidade ambiental (variável dependente) e os índices espectrais (variáveis independentes) das plataformas *Sentinel 2*, *Planet* e VANT.

Foram elaborados modelos de regressão linear entre o PAR e os IVs obtidos com dados de satélite e VANT. A avaliação dos modelos foi realizada a partir do coeficiente de determinação (R²) e p-valor com significância de 95%. Com os resultados da regressão, utilizou-se o QGIS para calcular os dados dos índices espectrais e gerar os mapas de qualidade ambiental.

3.2.5 Produtos dos Modelos de Qualidade Ambiental

Empregando *softwares* de SIG e modelos de regressão linear baseados em Índices de Vegetação (IVs) para estimar os resultados do protocolo de avaliação rápida, foram elaborados mapas de qualidade ambiental utilizando dados das plataformas *Sentinel 2*, *Planet* e o VANT. Foram utilizados os *softwares* de SIG ARCGIS e o QGIS e a ferramenta calculadora *raster* (*Raster Calculator*), onde foram aplicadas as fórmulas dos modelos de regressão gerando os mapas de qualidade ambiental.

Utilizando *software* de SIG e os modelos de regressão desenvolvidos a partir de Índices de Vegetação (IVs) para prever os resultados do protocolo de avaliação rápida, foram criados mapas de qualidade ambiental, empregando dados do *Sentinel 2*, *Planet* e VANT. Além disso, foi aplicada a técnica de classificação não supervisionada *k-means* (Forgy, 1965) no *software* QGIS. Esse procedimento cria um agrupamento para o conjunto de dados em um número pré-definido de *clusters*. A fim de gerar o mapa extrapolado da classificação que representa, potencialmente, as classes de qualidade ambiental muito alta, alta, regular, baixa e muito baixa.

4 ANÁLISE INTEGRADA DA QUALIDADE AMBIENTAL E HÍDRICA EM REMANESCENTES DE CERRADO: UM ESTUDO UTILIZANDO O PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA E SONDA MULTIPARAMÉTRICA

Resumo

Analisar a qualidade ambiental de um determinado local não é tarefa simples e constitui-se em atividade importante para o monitoramento de áreas naturais. Em uma abordagem tradicional, esse processo costuma ser realizado de maneira pontual, cobrindo poucas áreas da região analisada e com o auxílio de análises laboratoriais. O objetivo deste estudo é analisar a eficácia de diferentes metodologias, associadas a parâmetros biofísicos para emprego em atividades de monitoramento de qualidade ambiental. A metodologia baseou-se no levantamento bibliográfico dos desafios de conservação e características ambientais/hidrológicas dos remanescentes de Cerrado e também no uso do protocolo de avaliação rápida (PAR) do meio ambiente, para avaliar cursos d'água e nascentes na região de Silvânia-GO. Em campo, aplicou-se o PAR e realizou-se a coleta de parâmetros da água com o uso do Medidor Multiparamétrico HANNA HI989. O tratamento dos dados foi realizado a partir da espacialização e tratamento dos dados para aplicação dos modelos estatísticos, para identificar padrões e variações relacionadas à qualidade ambiental, enquanto os *boxplots* permitiram comparar os diferentes níveis de qualidade da água. Os resultados indicaram que na geomorfologia do canal os atributos relacionados à deposição de sedimentos exercem mais influência na qualidade do PAR. Quanto à categoria de qualidade da água, o atributo cor da água e detecção de materiais flutuantes, quando analisados isoladamente, não representam indicadores confiáveis para avaliar a qualidade ambiental da área de estudo. O parâmetro de acesso ao local dentro da categoria de uso e cobertura indicou que locais com mais qualidade ambiental têm características de acesso limitado. Os parâmetros físico-químicos da água em relação às classes de qualidade ambiental do PAR revelaram associações significativas, com relações diretas entre valores mais elevados e melhores classes de qualidade ambiental. A aplicação da análise de componentes principais demonstrou que os parâmetros de qualidade de água estão associados aos valores e às categorias de qualidade ambiental avaliados no PAR. No contexto da escala local adotada neste estudo, os métodos baseados em PAR e parâmetros de qualidade de água permitem a compreensão da qualidade ambiental, além da relação desta com as mudanças no contexto da paisagem.

Palavras-chave: Qualidade Ambiental; Qualidade da Água; Alteração da Paisagem; Cerrado.

Abstract

Analyzing the environmental quality of a specific location is not a simple task and is essentially important for the monitoring of natural areas. In a traditional approach, this process tends to be carried out in a punctual manner, covering only a few areas of the region being analyzed and with the support of laboratory analyses. The aim of this study is to analyze the effectiveness of different methodologies, associated with biophysical parameters for use in environmental quality monitoring activities. The methodology was based on a bibliographic survey of conservation challenges and environmental/hydrological characteristics of the Cerrado remnants, as well as on the use of the Rapid Environmental Assessment Protocol (RAP) to evaluate watercourses and springs in the Silvânia-GO region. In the field, the RAP was applied and water parameters were collected using the HANNA HI989 Multiparameter Probe. Data processing was carried out through the spatialization and treatment of data for the application of statistical models, to identify patterns and variations related to environmental quality, while boxplots allowed for the comparison of different levels of water quality. The results indicated that in the channel geomorphology, attributes related to sediment deposition exert more influence on the RAP quality. Regarding the water quality category, the water color attribute and detection of floating materials, when analyzed separately, do not represent reliable indicators to assess the environmental quality of the study area. The parameter of access to the location within the land use and cover category indicated that places with higher environmental quality have characteristics of limited access. The physicochemical parameters of the water in relation to the environmental quality classes of the RAP showed significant associations, with direct relationships between higher values and better environmental quality classes. The application of principal component analysis demonstrated that the water quality parameters are associated with the values and environmental quality categories evaluated in the RAP. In the context of the local scale adopted in this study, methods based on RAP and water quality parameters allow for an understanding of environmental quality, as well as its relationship with changes in the landscape context.

Keywords: environmental quality; water quality; landscape change; Cerrado.

4.1 Introdução

O Cerrado é o segundo maior bioma do Brasil, ocupando cerca de 22% do território brasileiro, reconhecido tanto pela sua riqueza em espécies quanto pelo seu alto nível de endemismo. A diversidade de vida nesse bioma é notável, com mais de 7.000 espécies de plantas, bem como uma ampla variedade de aves, peixes, répteis, anfíbios e insetos (Klink; Machado, 2005).

Além disso, o Cerrado é frequentemente chamado de o “berço das águas”, “caixa d’água” ou “pai das águas” do Brasil, dado o seu importante papel na regulação hídrica do País, com uma importância que acaba extrapolando os limites do bioma. Menezes *et al.* (2016) explicam, inclusive, que o Cerrado é responsável pela alimentação de três das principais bacias hidrográficas da América do Sul – Tocantins-Araguaia, São Francisco e Prata –, influenciando em oito das doze bacias hidrográficas brasileiras e três aquíferos, pois abriga nascentes de seus principais afluentes (Latrubesse *et al.*, 2019; Lima, 2011; Lima; Silva, 2008).

Em contraste, esse bioma enfrenta sérias ameaças, pois, ao longo dos anos, mais da metade de sua área original de dois milhões de km² foi desmatada, afetando sua biodiversidade. Esse desmatamento foi potencializado a partir da década de 1970, com a expansão da fronteira agrícola patrocinada pelas políticas públicas à época (Klink; Machado, 2005; Maurano; Almeida; Meira, 2019; Miziara; Ferreira, 2008).

A perda de vegetação, a redução de seus *habitats* e as alterações nas condições climáticas acabam impactando a dinâmica da água no sistema, afetando a sua capacidade de regulação hídrica, tanto em escala local quanto para todo o bioma, ocasionando crises hídricas que afetam diversos estados do País (Resende *et al.*, 2009; Sano *et al.*, 2020; Sawyer, 2018; Strassburg *et al.*, 2017). Devido a isso, o Cerrado se tornou um dos principais *hotspots* da biodiversidade mundial, pois apresenta uma riqueza excepcional em espécies, com elevado nível de endemismo, em risco de uma possível extinção em massa (Klink; Machado, 2005; Myers *et al.*, 2000).

Atualmente, o bioma Cerrado possui um alto índice de utilização para setores econômicos, principalmente ligados a monoculturas de *commodities* e pastagens, com a construção de reservatórios para instalação de hidrelétricas e a expansão das áreas urbanas como causas secundárias (Françoso *et al.*, 2015). As atividades econômicas realizadas em seus mananciais e cabeceiras de drenagem ameaçam o equilíbrio ambiental e afetam a qualidade da água desse importante bioma (Hunke *et al.*, 2015; Menezes *et al.*, 2016).

A alteração da qualidade da água em nascentes e pequenos cursos d'água é um problema presente nos remanescentes de Cerrado, o qual pode estar diretamente ligado às práticas de uso da terra que ocorrem neste bioma, como a agricultura, a pecuária, a indústria e o perímetro urbano (Carvalho; Marco Júnior; Ferreira, 2009).

Por essa razão, o conhecimento do uso e da ocupação do solo em áreas próximas aos cursos d'água auxilia na compreensão dos efeitos das atividades antrópicas, visto que diferentes usos podem alterar as condições físicas, químicas e biológicas da água (Silveira *et al.*, 2022; Souza; Folharini, 2019). O uso do setor agropecuário no entorno da vegetação, por exemplo, pode desencadear impactos tanto no solo como na qualidade dos mananciais, interferindo não só no espaço rural, mas também em outros setores da sociedade. Uma bacia hidrográfica ideal é aquela em que seus aspectos ambientais se encontram em equilíbrio e a água é a consequência principal dessa harmonia dentro da bacia; ademais, compreender essa qualidade das águas superficiais requer a análise do uso do solo (Vieira *et al.*, 2023).

Vale destacar que, no Brasil, o despejo de esgoto *in natura* é a principal causa de poluição das águas superficiais, uma vez que apenas 50% da população tem esgoto coletado, e, deste, apenas 42% é tratado (Snis, 2017). A segunda maior causa de poluição hídrica está relacionada ao uso inadequado de produtos agrícolas (Corrêa *et al.*, 2022; Santos *et al.*, 2023). Além disso, é essencial compreender o papel desempenhado pela vegetação nativa na manutenção da qualidade da água, como a interceptação da precipitação, proteção contra a erosão e o assoreamento, filtragem da água e retenção da matéria orgânica no solo (Balbino *et al.*, 2008).

A fim de estabelecer um diagnóstico preciso das condições ambientais presentes nos ecossistemas de nascentes e cursos d'água, os protocolos de avaliação rápida de rios (PAR) se apresentam como instrumentos viáveis. Esses protocolos constituem ferramentas de avaliação de aplicação e interpretação simplificada, cujo objetivo principal é fornecer uma descrição holística e qualitativa das variadas características físicas do habitat de determinado rio, nascente ou curso d'água (Callisto *et al.*, 2002; Rodrigues *et al.*, 2012).

Além disso, medidores adaptados com sondas multiparamétricas têm se mostrado como poderosos instrumentos para avaliar os parâmetros físico-químicos da água em atividades de campo. Esses instrumentos fornecem dados em tempo real, permitindo uma análise mais rápida e precisa dos diversos parâmetros físico-químicos que influenciam diretamente a qualidade da água, como potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, sólidos totais dissolvidos, potencial de oxidação-redução, salinidade e temperatura.

Nesse contexto, surge a seguinte problemática científica, que não envolve apenas a área de pesquisa, mas também, toda a vegetação remanescente do bioma Cerrado: é possível estabelecer uma relação entre as variáveis qualitativas do protocolo de avaliação rápida (PAR) – que mede a qualidade ambiental – e os resultados quantitativos obtidos por meio de medidores multiparamétricos, que avaliam a qualidade da água? Em outras palavras, é possível identificar uma conexão entre as características observadas no campo durante a aplicação do PAR e os parâmetros físico-químicos quantitativos que avaliam a qualidade da água? Essa questão configura uma problemática complexa que exige investigação rigorosa, tanto para quantificar o impacto das atividades humanas na qualidade da água no Cerrado quanto para avaliar a eficácia do Protocolo de Avaliação Rápida na identificação de parâmetros de qualidade da água afetados.

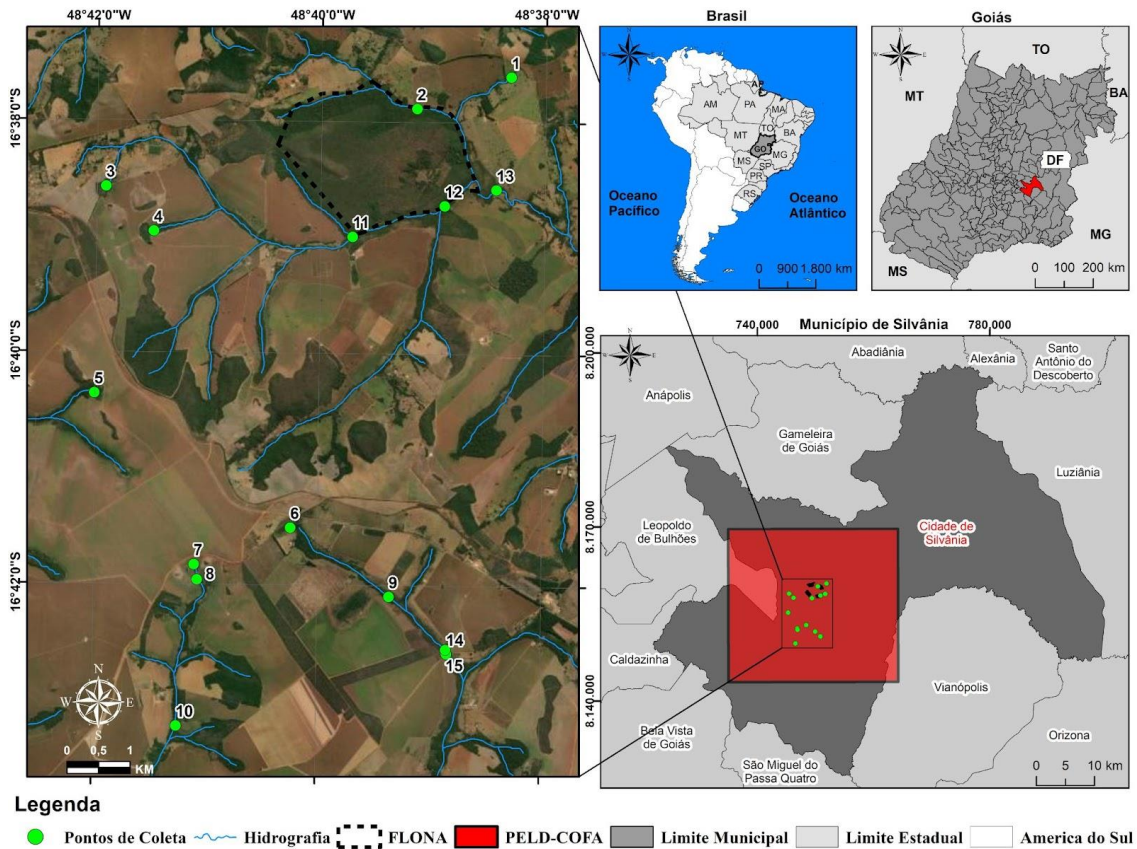
Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar a relação estatística entre os parâmetros do protocolo de avaliação rápida e os parâmetros de qualidade da água em remanescentes do bioma Cerrado localizados no município de Silvânia-GO, no entorno da Floresta Nacional de Silvânia (Flona), na área de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD), denominada Conectividade Funcional e Antropização da Paisagem (Cofa).

4.2 Materiais e métodos

4.2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Silvânia, Goiás, conforme mostra a Figura 18. Faz parte do Programa de Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) – Conectividade Funcional e Antropização da Paisagem (Cofa), financiado pelo CNPq, cujo objetivo é investigar os processos ecológicos ao longo do tempo em ecossistemas que circundam a Floresta Nacional de Silvânia. Esse programa reúne pesquisadores de diferentes áreas e instituições, ampliando a compreensão interdisciplinar do ambiente local.

Figura 18: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: o autor

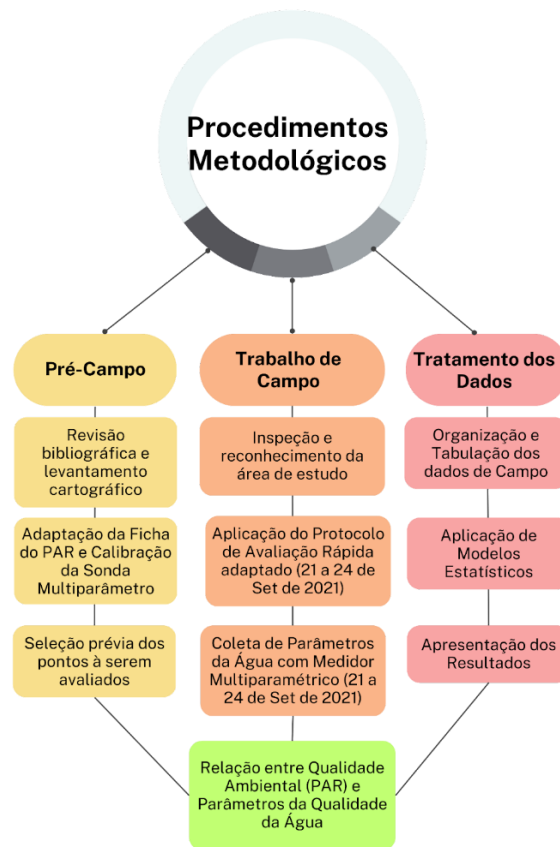
A região apresenta as seguintes unidades geológicas: Depósitos Aluvionares (Qa), Coberturas Detrito-Lateríticas (TQdl), Grupo Araxá Sul de Goiás (Unidades A e B: PMAA e PMA B), Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia (PIvssA – metavulcânica e PIvssB – unidade mista), Granitoide (y1), Granulitos Paraderivado (APIgaip) e Granulitos Ortoderivados (APIgaio). Esses conjuntos geológicos exercem influência direta nos processos de infiltração e no escoamento superficial, determinando, em grande medida, a disponibilidade hídrica local.

A área apresenta relevo suavemente ondulado, situado no Planalto Central, com elevações de cerca de 891 m. O clima tropical sazonal registra temperatura média anual de 22,5 °C e precipitação em torno de 1.370 mm (Inmet). Predominam latossolos vermelho-amarelos, cuja porosidade favorece a recarga hídrica, enquanto neossolos quartzarênicos retêm menos água. A vegetação é típica de cerrado, com áreas de mata de galeria que protegem nascentes e estabilizam margens fluviais, contribuindo para a qualidade e disponibilidade de água. Hidrogeograficamente, a região se encontra em cabeceiras de drenagem e afluentes da Bacia do Rio Parnaíba, tributária do Rio Paraná. A área de estudo evidencia a interação entre uso da terra e características geológicas, pedológicas e vegetacionais — interação que pode acarretar impactos ambientais, como alterações no regime hídrico e na conservação dos recursos naturais.

4.2.2 Etapas da pesquisa

Na Figura 19 são apresentadas as etapas da pesquisa em questão. A primeira fase, denominada pré-campo, consistiu no levantamento de uma pesquisa bibliográfica abrangente, focada nos desafios de conservação e características ambientais/hidrológicas dos remanescentes de Cerrado. Posteriormente, realizou-se um levantamento bibliográfico específico sobre o método de diagnóstico ambiental dos remanescentes de Cerrado, utilizando o protocolo de avaliação rápida do meio ambiente (em inglês, *Rapid Assessment Protocol – RAP*), para avaliação de cursos d'água. Além disso, foram buscadas referências sobre a utilização de medidores multiparâmetros na aferição dos parâmetros físico-químicos da água, em consonância com a Resolução Conama n. 357/2005.

Figura 19: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.

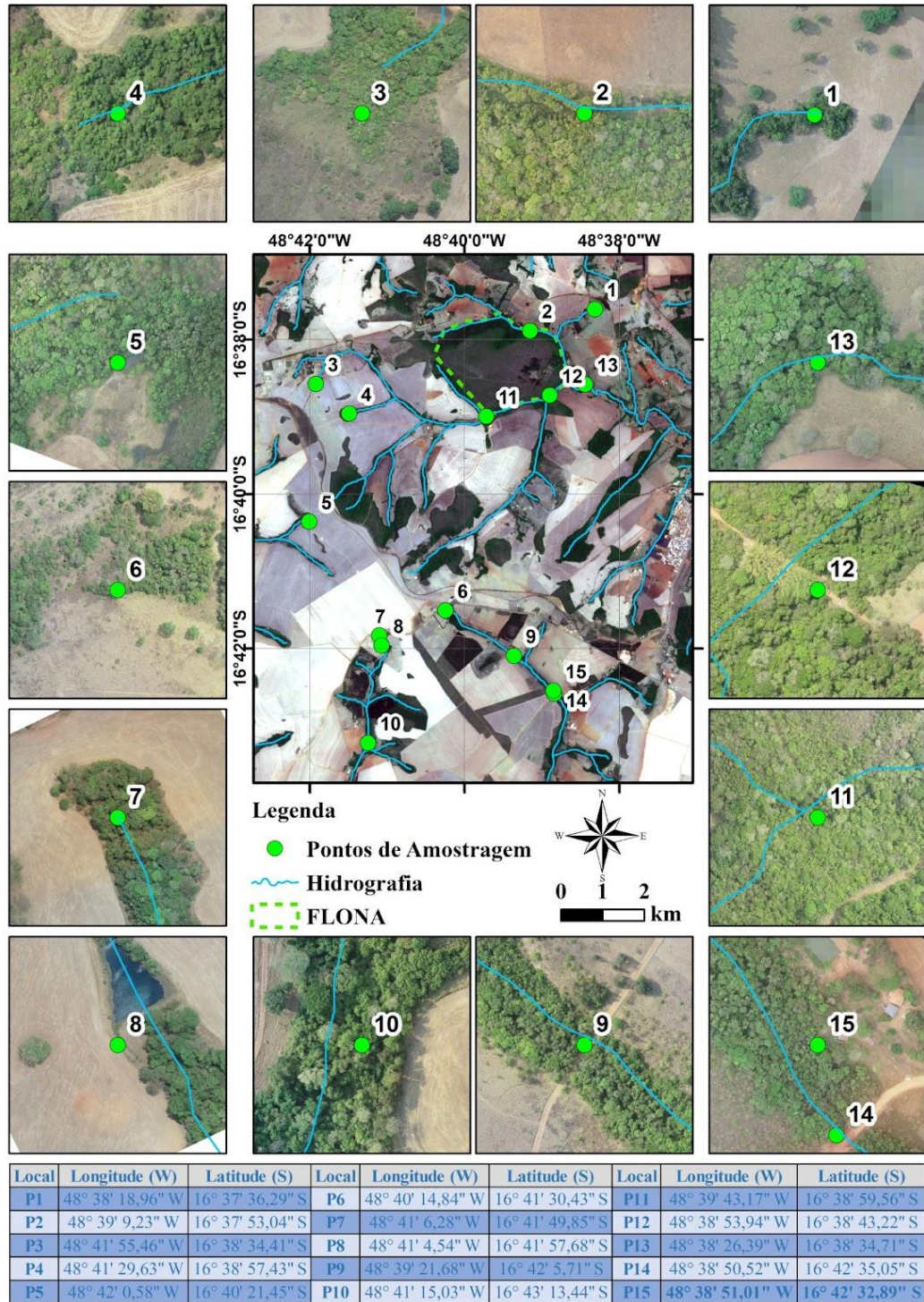


Fonte: os autores.

Concomitantemente, foi realizada a seleção de 15 pontos, para a avaliação ambiental e aferição dos parâmetros físico-químicos da água. Dos pontos amostrados, cinco são em áreas de nascentes e dez estão ao longo dos cursos d'água, na zona rural, no entorno da Flona de

Silvânia, com base em critérios de conectividade dos remanescentes de Cerrado e diversidade de tipos de uso, conforme demonstrado na Figura 20.

Figura 20: Locais de Aplicação do PAR e coleta com medidor multiparamétrico.



Fonte: os autores.

Após definir os pontos de coleta, iniciou-se a fase de campo, realizada entre 21 e 24 de setembro de 2021, onde foi aplicado o protocolo de avaliação rápida (PAR), desenvolvido por Hannaford, Barbour e Resh (1997), adaptado por Callisto *et al.* (2002) e Silva *et al.* (2019). O PAR utilizado para avaliar a qualidade ambiental dos remanescentes de Cerrado é composto por 17 parâmetros, divididos em três categorias: geomorfologia do canal, qualidade da água e uso e cobertura. Cada parâmetro possui uma nota, sendo 1 para ruim, 2 para bom e 3 para ótimo. Essas notas são somadas para obter-se uma pontuação total dos 17 parâmetros para cada local avaliado, que varia de 17 a 51 pontos. Através da observação de campo, foi possível classificar o ambiente nas seguintes classes: ótima (A = entre 45-51), boa (B = entre 38-44), razoável (C = entre 31-37), ruim (D = entre 24-30) e péssima (E = abaixo de 24).

Simultaneamente à realização dos PAR, foram obtidos dados físico-químicos da água nos quinze pontos de amostragem, como: potencial hidrogeniônico (pH), potencial de oxirredução (ORP), percentual de oxigênio dissolvido (DO%), condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$), resistividade ($\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$), sólidos dissolvidos totais (TDS mg/L), turbidez (FNU) e temperatura ($^{\circ}\text{C}$), por meio das medições da sonda multiparamétrica Hanna HI 9829, com os devidos sensores calibrados.

A leitura com a sonda é feita na camada mais superficial do corpo d'água (epilímnio), onde tende a ocorrer as maiores temperaturas, o que, em conjunto com o aporte de nutrientes, aumenta a produtividade de organismos nas camadas superficiais (Cabral *et al.*, 2013; Esteves, 1998). As amostragens ocorreram em nascentes e cursos d'água da área de estudo, com períodos de medição variando de 8 a 10 minutos por local de coleta. Os parâmetros de temperatura, potencial hidrogeniônico, turbidez, total de sólidos dissolvidos e oxigênio dissolvido em mg/L foram analisados a partir dos limites estabelecidos pela Resolução Conama n. 357/2005 (Quadro 1).

Quadro 1: Padrões de qualidade da água das classes 1, 2, 3 e 4 de águas doces, segundo a Resolução Conama n. 357/2005.

Parâmetros de qualidade da água	Limites (Classe 1)	Limites (Classe 2)	Limites (Classe 3)	Limites (Classe 4)
T ($^{\circ}\text{C}$)	-	-	-	-
pH	6 a 9	6 a 9	6 a 9	6 a 9
Turb (UNT)	40	até 100	100	-
TDS (mg/L)	500	500	500	-
DO (mg/L)	≥ 6	≥ 5	≥ 4	> 2

Legenda: T: temperatura, pH: potencial hidrogeniônico, Turb: Turbidez, TDS: total de sólidos dissolvidos; DO: oxigênio dissolvido.

Fonte: Adaptado da Resolução Conama n. 357/2005.

Após a coleta dos dados de qualidade ambiental e dos parâmetros de qualidade da água usando o PAR, os dados foram organizados em uma base de dados tabular, onde se classificou a qualidade ambiental de cada um dos pontos de coleta. Em seguida, realizou-se a aplicação de modelos estatísticos para analisar e interpretar os dados coletados de maneira mais eficaz, a fim de correlacionar os dados do PAR e do medidor multiparamétrico.

Foram gerados gráficos e histogramas para identificar padrões e variações relacionadas à qualidade ambiental, enquanto os *boxplots* permitiram comparar os diferentes níveis de qualidade da água. Particularmente, o *boxplot* é uma ferramenta útil para visualizar a distribuição dos dados como um todo, podendo ser usado para identificar valores discrepantes, a dispersão dos dados e a tendência central dos dados (Pinheiro *et al.*, 2009).

Além desses métodos, foi utilizada a análise de componentes principais (PCA), que é um componente estatístico que se inicia a partir de combinações lineares das variáveis, que tem por finalidade básica a análise dos dados usados visando sua redução, eliminação de sobreposições e a escolha das formas mais representativas de dados a partir de combinações lineares das variáveis originais (Becegato *et al.*, 2019).

No trabalho, a PCA foi empregada para identificar as variáveis dos parâmetros físico-químicos da água afetadas em ambientes com diferentes níveis de qualidade ambiental, contribuindo para a diferenciação desses ambientes em termos de qualidade da água.

4.3 Resultados

4.3.1 Classificação ambiental dos pontos de coleta

A Tabela 9 apresenta os resultados da aplicação do PAR nos pontos selecionados na área de estudo. Essa tabela apresenta uma síntese dos dados coletados de uma avaliação rápida de vários parâmetros ambientais, divididos em categorias como geomorfologia do canal, qualidade da água, uso e cobertura. Cada categoria possui parâmetros específicos, avaliados por meio da ficha de protocolo de pesquisa, com pontos atribuídos a 15 diferentes locais (P1 a P15), totalizando uma pontuação final e uma classificação para cada local.

No âmbito da geomorfologia do canal, os aspectos observados foram a deposição de sedimentos, os pontos de estrangulamento, a estabilidade das margens e os pontos de alagamento/inundação. Para avaliar a qualidade da água, foram verificados a cor da água, o odor, a presença de materiais flutuantes, espumas, óleos e o lançamento de rede de esgoto. No que diz respeito ao uso e à cobertura do local, analisou-se o acesso ao local, o uso por animais

no entorno, o uso por humanos no entorno, o uso do canal, a proteção das margens, a conservação da vegetação e a presença de lixo ao redor. Os resultados foram diversificados, com locais alcançando pontuações finais de 30 a 47 e classificações entre A (ótima) e D (ruim).

Dos 15 pontos avaliados, dois (2) foram classificados como ótima (A), seis (6) como boa (B), seis (6) como razoável (C) e um (1) como ruim (D). Não houve nenhum local avaliado como péssimo (E) na área estudada.

Tabela 9: Classificação do protocolo de avaliação rápida dos pontos de coleta.

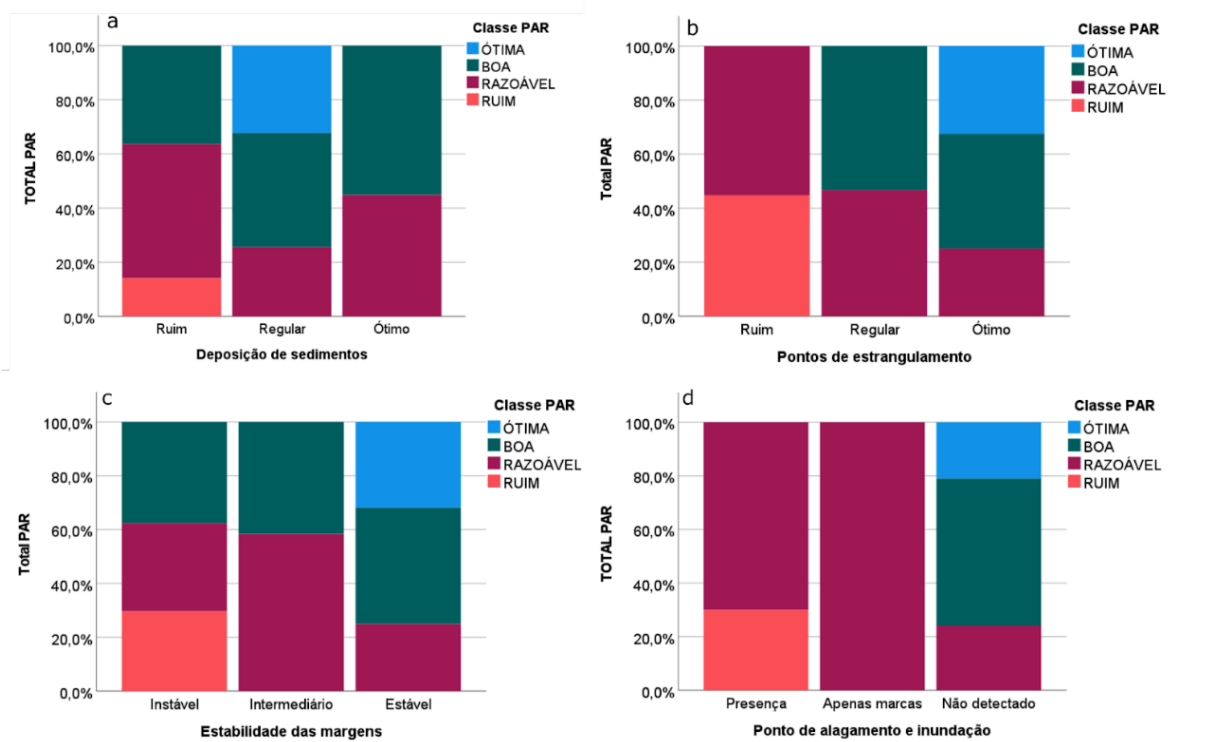
Parâmetros		Protocolo de Avaliação Rápida														
		Pontos Avaliados														
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Geomorfologia do Canal	Deposição de sedimentos	1	2	3	1	1	2	1	1	3	2	2	2	2	1	2
	Pontos de estrangulamento	3	1	2	2	2	3	3	1	2	3	3	3	3	2	2
	Estabilidade das margens	2	3	3	3	2	2	2	1	3	3	3	3	2	1	1
	Pontos de alagamento / inundação	3	3	1	3	2	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3
Qualidade da Água	Cor da água	2	1	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2
	Odor	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Materiais Flutuantes	1	2	1	1	1	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2
	Espumas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Óleos	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Lançamento de rede de esgoto	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Uso e Cobertura	Acesso ao local	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
	Uso por animais no entorno	2	1	1	1	2	1	2	2	3	3	3	3	2	1	3
	Uso por humanos no Entorno	1	1	1	3	2	1	1	1	2	2	3	2	2	1	1
	Uso do canal	2	2	1	3	2	2	1	1	2	3	3	3	2	1	1
	Proteção das margens	2	2	2	2	2	1	2	1	3	2	3	2	2	2	2
	Conservação da vegetação	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	3	2	1	2	2
	Lixo ao redor	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3
Pontuação Final		38	37	35	39	37	36	35	30	43	45	47	43	39	33	38
Classificação		B	C	C	B	C	C	C	D	B	A	A	B	B	C	B

Fonte: os autores.

4.3.2 Distribuição dos dados do PAR

Em relação à distribuição dos dados do protocolo de avaliação rápida, observou-se que, quanto à geomorfologia do canal, os atributos relacionados à deposição de sedimentos exercem influência na qualidade do PAR, principalmente nas classes razoável e ruim, representando cerca de 62% dessas classificações. No entanto, chama a atenção o fato de dois PAR terem sido classificados como ótimos, mesmo apresentando deposição de sedimento regular. Isso sugere que a deposição de sedimentos é uma característica comum para PAR com impacto negativo no ambiente, porém, não é determinante para o total da qualidade ambiental na área estudada (Figura 21a).

Figura 21: Gráfico de distribuição percentual do PAR para a categoria geomorfologia do canal: (a) deposição de sedimentos, (b) pontos de estrangulamento, (c) estabilidade das margens e (d) ponto de alagamento e inundação.



Fonte: os autores.

Na Figura 21b, a análise dos dados do PAR demonstra que os pontos de estrangulamento (pontes, estradas, canalização, barragens), entendidos como ações que realizam a obstrução do fluxo natural da água, desempenham um papel importante na determinação da qualidade ambiental. Ademais, locais sem pontos de estrangulamento foram associados a classificações

como: ótima, boa e razoável, o que indica uma melhor qualidade ambiental nessas áreas. Em contraste, locais com pontos de estrangulamento foram predominantemente classificados como razoáveis e ruins, sugerindo que a presença dessa característica está correlacionada a uma qualidade ambiental inferior. De forma geral, o parâmetro de pontos de estrangulamento apresentou-se um gradiente de ruim para ótimo, correlacionado com as classes do PAR, demonstrando ser um bom parâmetro para a área estudada (Figura 21b).

A análise do gráfico da estabilidade das margens (Figura 21c) revelou uma influência significativa na classificação geral do PAR, pois observou-se que locais com margens estáveis foram responsáveis por aproximadamente 70% das classificações ótimas e boas. Por outro lado, a presença de margens instáveis teve um impacto considerável, influenciando cerca de 60% das classificações razoáveis e ruins. Esses resultados destacam a importância da estabilidade das margens como um fator determinante na qualidade ambiental dos locais avaliados.

No que diz respeito aos pontos de alagamento/inundação (Figura 21d), os PARs demonstraram que a presença de pequenas represas, utilizadas para geração de energia elétrica e dessedentação animal, resulta em áreas alagadas. Nessas regiões alagadas, a qualidade do PAR foi classificada como ruim ou razoável. Por outro lado, as áreas sem alagamentos foram classificadas como ótimas, boas ou razoáveis. Isso indica que a presença de pontos de alagamentos/inundação influencia na classificação da qualidade ambiental.

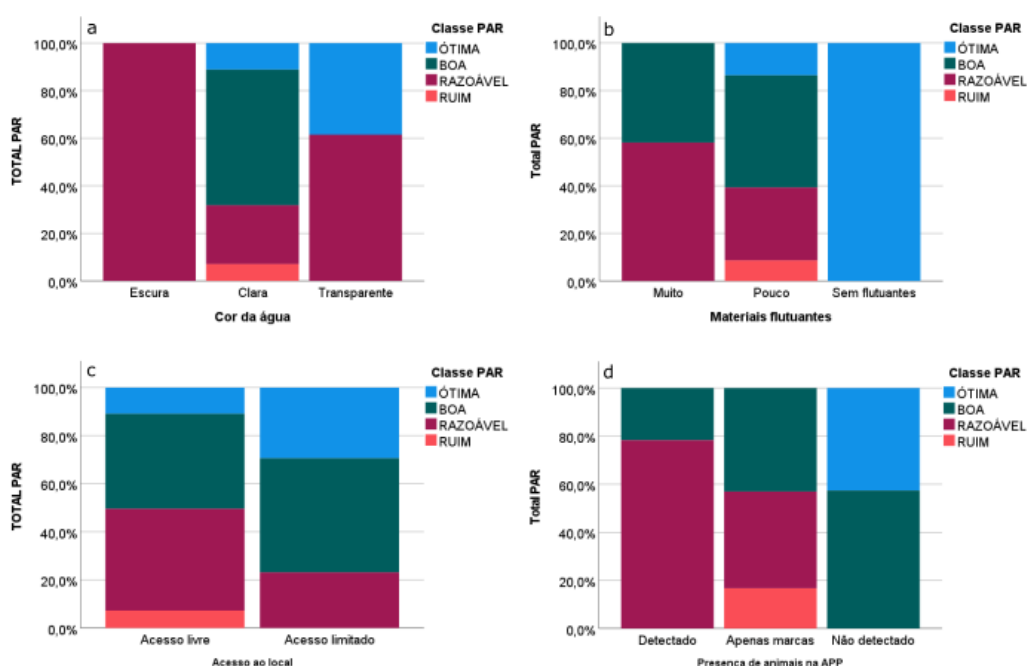
No que diz respeito à categoria de qualidade da água, no PAR foram analisadas informações sobre a coloração da água e a presença de materiais flutuantes (Figura 22a e b). Em relação ao parâmetro cor da água (Figura 22a), notou-se que esse atributo, quando considerado isoladamente, não se revela um indicador confiável para avaliar a qualidade ambiental da área de estudo. Essa informação é constatada ao se observar que o protocolo de avaliação rápida (PAR) variou entre as classes de ruim a ótima, em locais que apresentavam águas com a pontuação 2, cor clara.

Na Figura 22b, a detecção de materiais flutuantes, quando analisada de maneira isolada, tampouco se constitui como um indicador decisivo para a qualidade ambiental na área de estudo. Constatou-se que locais com poucos materiais flutuantes – tais como galhos e folhas –, pontuação 2, foram classificados em ruim, razoável, boa e ótima. Sem embargo, locais sem materiais flutuantes foram classificados como ótimo.

Quanto ao uso e cobertura, o parâmetro acesso local (Figura 22c), constatou-se que foi possível ter acesso a todos os locais onde o PAR foi aplicado. Devido a isso, não houve a identificação de locais “sem acesso”, pontuação 1. Considerando que a área de estudo é um ambiente rural com estradas vicinais, a maioria desses locais apresentava acesso livre ou restrito

por cercas. Nesse sentido, notou-se nessa figura (Figura 22c) que a distribuição para o parâmetro acesso ao local foi bem distribuído; assim, locais com acesso limitado, pontuação 3, estiveram presentes, em maior parte, nas áreas classificadas em razoável, boa e ótima. Entretanto, percebeu-se que os PAR com mais qualidade ambiental (boa e ótima) tinham características de acesso limitado.

Figura 22: Gráfico de distribuição percentual do PAR para as categorias de qualidade da água e uso e cobertura: (a) cor da água, (b) materiais flutuantes, (c) acesso ao local e (d) presença de animais na APP.

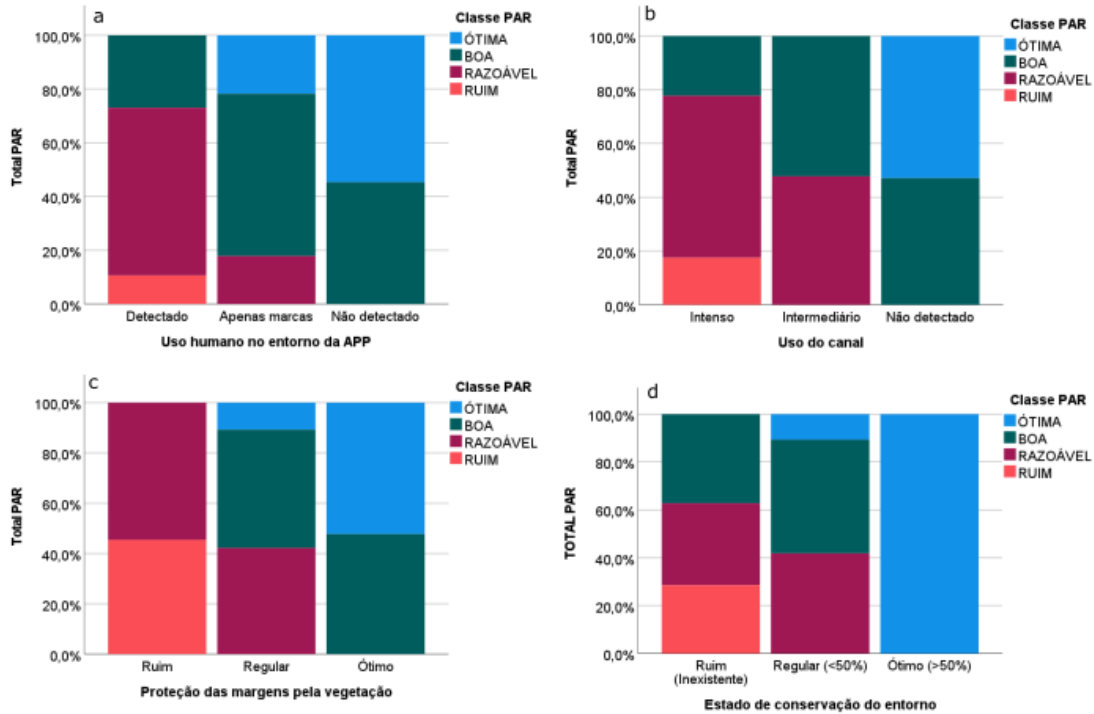


Fonte: os autores.

A presença de animais na área de preservação permanente (APP) (Figura 22d) não se mostrou um fator impactante na avaliação da qualidade ambiental das áreas analisadas, conforme o protocolo de avaliação rápida (PAR) de qualidade ambiental. Ainda, locais com presença efetiva de animais foram classificados como bom, enquanto áreas apenas com marcas de animais variaram em classificações de ótimo e ruim. Assim, essa característica não se revelou bem distribuída no processo de avaliação da qualidade ambiental, conduzido por meio do PAR nas áreas em que foi aplicado.

A observação *in loco* dos parâmetros associados ao uso e à cobertura nos locais em que foram aplicados o PAR e seu entorno foi importante para compreender o grau de influência dessa categoria para a qualidade do ambiente (Figura 23).

Figura 23: Gráfico de distribuição percentual do PAR para a categoria de uso e cobertura: (a) uso humano no entorno da APP, (b) uso do canal, (c) proteção das margens pela vegetação e (d) estado de conservação do entorno.



Fonte: os autores.

Como demonstrado na Figura 23a, a inexistência de uso humano, pontuação 3, em áreas de preservação permanente (APP), está distribuída de forma consistente, estando associada às áreas classificadas em ótima e boa, conforme o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) de qualidade ambiental, indicando que a ausência de intervenção humana na APP pode ser um bom indicador de qualidade ambiental (Figura 23a). Todavia, locais com a pontuação 2, apenas marcas, estiveram presentes nas áreas classificadas como razoável, boa e ótima, indicando que devem ser levados em consideração outros parâmetros; nos locais com pontuação 1, detectada a presença do uso humano na APP, os locais foram classificados em ruim, razoável e boa, indicando haver relação entre alteração na qualidade do ambiente.

A utilização do canal (Figura 23b) demonstrou ser um eficaz indicador na mensuração da qualidade ambiental dos locais avaliados pelo protocolo de avaliação rápida (PAR). Notavelmente, houve a influência do parâmetro de uso do canal para as classificações dos locais. Assim, nas áreas avaliadas como ótima e boa, foi avaliado o uso do canal como inexistente, pontuação 3, enquanto locais onde o uso do canal foi detectado como de uso intenso, pontuação 1, obtiveram a classificação razoável e ruim, com aproximadamente 80%.

Na Figura 23c, a proteção das margens também é um bom indicador da qualidade do PAR na área estudada, pois a classificação das áreas analisadas aumentava à medida que a conservação da área aumentava. Nesse sentido, locais em que a preservação das margens por vegetação era ruim foram classificados de ruim a razoável. Já os locais nos quais a estabilidade das margens obteve pontuação 3 foram classificados como ótima e boa.

A Figura 23d demonstra também um bom indicador para a qualidade do ambiente, nas áreas estudadas, tendo em vista que locais onde não havia vegetação, pontuação 1, receberam a classificação de ruim a boa, enquanto locais cuja conservação da vegetação estava acima de 50%, pontuação 3, foram classificados totalmente como ótimo.

De forma geral, na Figura 23, houve uma distribuição gradual das pontuações dos parâmetros utilizados na avaliação, demonstrando correlação positiva com a classificação dos locais em termos de qualidade ambiental (ruim, razoável, boa e ótima). Essa relação evidencia a influência direta do uso e cobertura do solo na qualidade do ambiente, indicando que locais com maior pontuação nos parâmetros relacionados ao uso e cobertura apresentaram uma classificação mais elevada em termos de qualidade ambiental.

4.3.3 Distribuição dos dados físico-químicos da água – medidor multiparamétrico

Os dados físico-químicos da água associados com a classificação do PAR estão representados na Tabela 10.

Tabela 10: Itens do PAR relativo às categorias de qualidade da água e uso e cobertura.

Parâmetros da qualidade da água por pontos PAR									
Local	pH	ORP	DO %	Condutividade $\mu\text{S/cm}$	Resistividade $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$	TDS mg/L	Turbidez FNU	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	PAR Classe
P1	4,73	177,10	25,80	23,00	0,04	11,00	3,30	22,34	BOA
P2	5,86	167,50	28,90	93,00	0,01	47,00	15,50	22,62	RAZOÁVEL
P3	4,01	309,30	36,90	8,00	0,13	4,00	6,00	19,86	RAZOÁVEL
P4	4,46	189,80	31,60	7,00	0,14	4,00	13,20	21,53	BOA
P5	4,15	232,10	31,00	5,00	0,20	3,00	1,10	23,00	RAZOÁVEL
P6	3,11	361,30	29,00	5,00	0,20	3,00	0,80	22,40	RAZOÁVEL
P7	3,38	392,80	27,30	5,00	0,20	3,00	7,80	23,01	RAZOÁVEL
P8	3,74	365,70	28,20	3,00	0,33	2,00	18,20	25,39	RUIM
P9	3,70	303,40	30,30	0,00	0,00	0,00	1,40	22,68	BOA

(Continua)

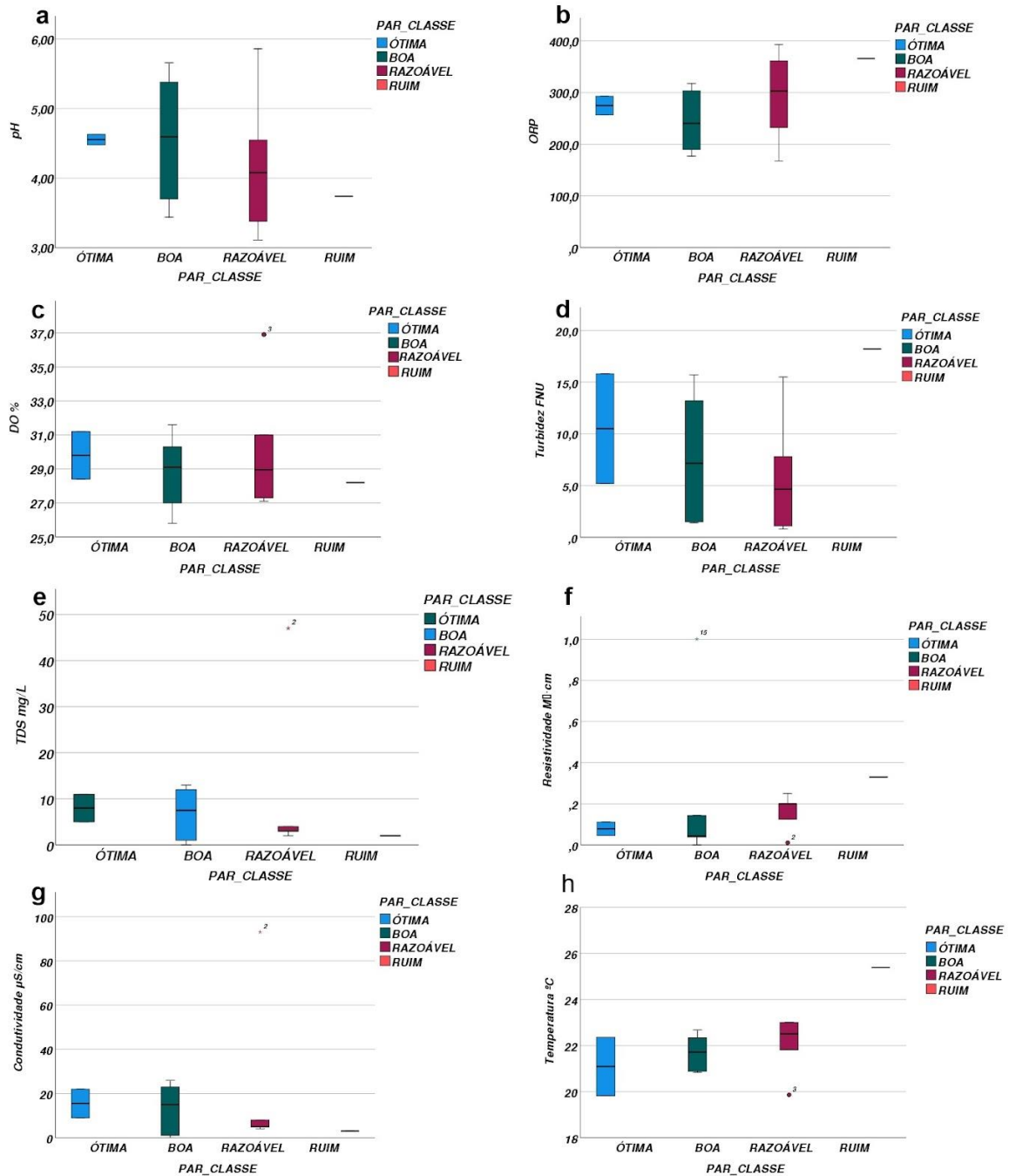
(Continuação)

Parâmetros da qualidade da água por pontos PAR									
Local	pH	ORP	DO %	Condutividade $\mu\text{S/cm}$	Resistividade $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$	TDS mg/L	Turbidez FNU	Temperatura $^{\circ}\text{C}$	PAR Classe
P10	4,48	256,80	31,20	9,00	0,11	5,00	5,20	22,36	ÓTIMA
P11	4,63	292,90	28,40	22,00	0,05	11,00	15,80	19,82	ÓTIMA
P12	5,66	214,90	27,00	23,00	0,04	12,00	15,70	20,84	BOA
P13	5,38	265,60	28,50	26,00	0,04	13,00	11,00	20,89	BOA
P14	4,55	296,60	27,10	4,00	0,25	2,00	3,30	21,82	RAZOÁVEL
P15	3,44	317,50	29,70	1,00	1,00	1,00	1,50	21,90	BOA

Fonte: os autores.

A distribuição dos indicadores de qualidade da água em relação ao protocolo de avaliação rápida de qualidade ambiental é verificada na Figura 25, onde as informações estão organizadas em gráficos de *boxplot* com os valores dos parâmetros físico-químicos da água para cada ponto coletado, separado pela classificação do PAR (Figura 24).

Figura 24: Gráficos de distribuição dos Parâmetros físico-químicos da água (coletados com medidor multiparamétrico).



Gráficos das informações de a) potencial hidrogeniônico (pH); b) potencial de oxidação/redução (ORP); c) oxigênio dissolvido (DO%); d) turbidez (FNU); e) total de sólidos dissolvidos (TDS); f) resistividade; g) condutividade; e h) temperatura.

Fonte: os autores.

Na Figura 24a, em relação ao índice de pH, percebeu-se uma tendência de que os locais avaliados pelo protocolo de avaliação rápida (PAR) com melhores indicadores de qualidade ambiental, categorizados como ótima e boa, apresentassem medianas mais altas, registrando índices de pH superiores a 4. Por outro lado, os locais com classificações ambientais inferiores,

classificadas como razoável e ruim, tenderam a possuir medianas mais baixas, exibindo condições de pH mais ácidas, próximas ou inferiores a 4.

A análise do potencial de oxidação-redução (ORP) (Figura 24b) apresentou um aumento progressivo dos valores nas categorias boa, razoável e ruim do protocolo de avaliação rápida (PAR), sugerindo uma tendência de crescimento em que valores mais elevados de ORP podem estar associados a uma pior qualidade ambiental.

No caso do oxigênio dissolvido (OD) (Figura 24c), observou-se uma redução dos valores ao passar da classe ótima para a ruim, variando entre 25,8 e 31,6, com um ponto discrepante de 36. A sobreposição de valores de OD entre as classes, sugere que a variável não refletiu as classificações ambientais obtidas na vegetação remanescente avaliadas no Protocolo de Avaliação Rápida (PAR). Em outras palavras, as condições locais investigadas não exerceram influência marcante sobre esse parâmetro, o que indica que o OD, isoladamente, não captura as variações de qualidade ambiental observadas.

A análise da turbidez da água (FNU) (Figura 24d) indicou valores elevados em todas as classes de qualidade ambiental, com a classe Ruim apresentando o valor mais alto. Contudo, observou-se sobreposição de valores entre as classes Ótima, Boa e Razoável, evidenciando que a turbidez pode permanecer alta mesmo em áreas consideradas de melhor qualidade ambiental. Esse resultado sugere que fontes a montante dos locais avaliados podem ser responsáveis por essa condição de turbidez.

A análise do total de sólidos dissolvidos (TDS) revelou uma redução nos valores à medida que as classes de qualidade ambiental do PAR regrediram de ótimo para ruim. De forma notável, as águas com maior quantidade de sólidos dissolvidos foram encontradas nos PAR classificados como tendo mais qualidade ambiental, conforme demonstrado na Figura 24e.

Na Figura 24f, observa-se que os valores de TDS (Total de Sólidos Dissolvidos) variam entre as classes “Ótima”, “Boa” e “Razoável”, com algumas sobreposições e outliers significativos, enquanto a classe “Ruim” exibe valores muito baixos ou próximos de zero. Embora se perceba, em geral, maiores concentrações de TDS em pontos classificados como “Ótima” e “Boa”, alguns locais “Razoáveis” também apresentam outliers elevados. Esse comportamento indica que a presença de sólidos dissolvidos pode estar relacionada a processos a montante do ponto avaliado, não sendo determinada unicamente pela condição ambiental imediata. Desse modo, embora haja uma tendência de menores valores na classe “Ruim”, a sobreposição entre as demais categorias evidencia que o TDS, por si só, não segue um gradiente linear de qualidade ambiental verificado *in loco*.

A análise da resistividade (Figura 24f) revelou uma tendência de aumento nos valores de resistividade da água à medida que as classes de PAR avançaram de ótima para boa, razoável e ruim. Ademais, os PAR classificados como ótimos tiveram os menores valores de resistividade, enquanto aqueles com classificações de qualidade ambiental boa, razoável e ruim demonstraram valores progressivamente mais altos de resistividade.

A seu turno, a análise da condutividade (Figura 24g) revelou que os locais classificados no PAR como ótimo e bom apresentaram valores mais elevados, enquanto as classes razoável e ruim exibiram valores mais baixos. Isso indica uma relação direta entre a qualidade do ambiente com a qualidade da água, avaliada por meio da sonda multiparamétrica, com os referidos valores de condutividade registrados. A gradação de qualidade observada na análise do PAR acompanhou os níveis de condutividade medidos pela sonda multiparamétrica.

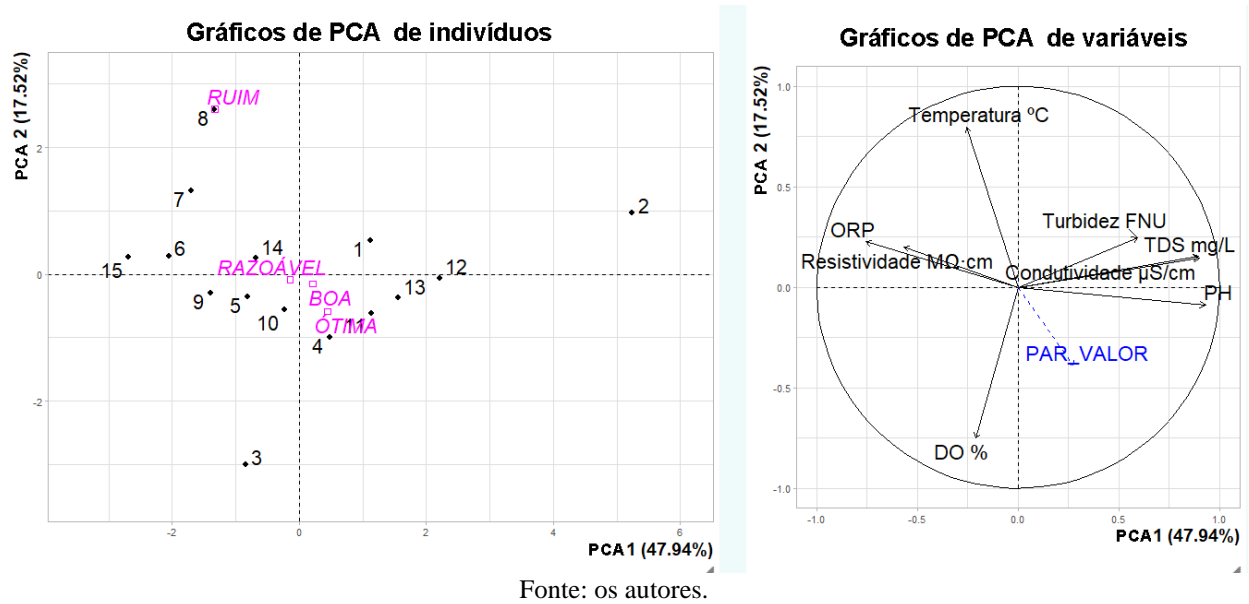
A análise da temperatura da água, realizada por meio de uma sonda multiparamétrica, revelou uma tendência de valores mais baixos de temperatura nos ambientes com qualidade ambiental ótima e boa, enquanto os ambientes de qualidade ambiental razoável e ruim tiveram os maiores valores de temperatura, como demonstrado na Figura 24h.

De forma geral, a análise dos parâmetros físico-químicos da água em relação às classes de qualidade ambiental do PAR revelou associações significativas. O pH estabeleceu uma relação direta entre valores mais elevados e melhores classes de qualidade ambiental, enquanto o ORP teve maiores medianas nas classes de qualidade razoável e ruim. A turbidez mostrou-se mais associada às classes ótima e boa, enquanto o TDS exibiu medianas mais altas nas classes boa e ótima, e menores nas classes razoável e ruim. A resistividade mostrou um aumento gradativo com medianas mais altas nas classes razoável e ruim. Por sua vez, a condutividade apresentou medianas mais altas nas classes ótima e boa. A temperatura, por fim, mostrou medianas mais altas nas classes razoável e ruim, indicando uma menor qualidade ambiental com o aumento da temperatura. Essas observações ressaltam a importância dos parâmetros físico-químicos da água na avaliação da qualidade ambiental do PAR.

4.3.4 Análise de componentes principais do PAR e qualidade da água

A aplicação da análise de componentes principais (Figura 25) demonstrou que os parâmetros de qualidade de água estão associados aos valores e categorias de qualidade ambiental avaliados no protocolo de avaliação rápida (PAR).

Figura 25: Análise de componentes principais para as variáveis de parâmetros da água e PAR.



A análise de componentes principais (PCA) foi empregada para explorar a estrutura multivariada do conjunto de dados em estudo. O primeiro componente principal (PCA 1) foi o mais informativo, respondendo por 47,945% da variância total. O segundo componente principal (PCA 2) contribuiu com um adicional de 17,520% da variância explicada. Juntos, esses dois componentes principais explicaram significativamente a maior parte da variabilidade observada no conjunto de dados, perfazendo uma porcentagem combinada de 65,47% da variância total dos dados, conforme ilustrado na Figura 25a.

A análise das correlações entre as variáveis e as componentes principais, apresentada na Tabela 11, revela que a PCA 1 apresenta fortes correlações positivas com o pH, a condutividade $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os sólidos totais dissolvidos (TDS mg/L). Essas correlações robustas sugerem que a PCA 1 é fortemente influenciada por essas variáveis.

Tabela 11: Correlação das variáveis de parâmetros de água com as componentes principais.

Variáveis	Principais componentes				
	Dim.1	Dim.2	Dim.3	Dim.4	Dim.5
PH	0.93	-0.09	-0.03	-0.13	-0.17
ORP	-0.76	0.23	-0.33	0.30	-0.03
DO %	-0.21	-0.75	0.07	0.48	0.36
Condutividade $\mu\text{S}/\text{cm}$	0.90	0.15	0.24	0.22	0.10
Resistividade $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$	-0.57	0.20	0.51	0.36	-0.47

TDS mg/L	0.90	0.15	0.24	0.23	0.10
Turbidez FNU	0.59	0.24	-0.54	0.44	-0.19
Temperatura °C	-0.26	0.80	0.11	0.04	0.47

Fonte: os autores.

O segundo componente principal (PCA 2), por outro lado, apresenta uma correlação forte com a temperatura. Essa alta correlação indica que a variação da temperatura desempenha um papel significativo na variação observada no segundo componente principal, o que sugere ser uma variável-chave na diferenciação dos dados nesse componente.

As demais componentes, dimensão 3, dimensão 4 e dimensão 5, não mostraram uma correlação dominante com nenhuma variável individual, mas é importante notar que a concentração de oxigênio dissolvido (DO%) e a turbidez apresentaram correlações não negligenciáveis com essas dimensões, indicando sua contribuição para a variabilidade desses componentes.

A análise de componentes principais (PCA) também foi empregada para investigar a relação entre as variáveis físico-químicas da água e a variável suplementar contínua PAR_VALOR, a qual indica a pontuação final da qualidade ambiental de forma crescente aferida pelo PAR (Tabela 12). Os resultados dessa análise, apresentados na Tabela 12, demonstram que PAR_VALOR possui uma correlação moderada com o primeiro componente principal (dimensão 1), sugerindo uma associação significativa entre as variáveis de qualidade da água e a qualidade ambiental expressa por PAR_VALOR.

A correlação negativa entre PAR_VALOR e a segunda componente principal (PCA-2) pode indicar uma relação inversa com as variáveis que mais contribuem para essa dimensão. Isso sugere que a melhoria da qualidade ambiental pode estar associada a reduções nesses parâmetros específicos. As correlações com as demais componentes são relativamente baixas, sugerindo uma menor associação de PAR_VALOR com as variáveis que contribuem para essas dimensões.

Tabela 12: Correlação entre o valor de qualidade ambiental PAR e as componentes principais.

Variáveis Suplementares	PCA-1	PCA-2	PCA-3	PCA-4	PCA-5
PAR_VALOR	0.28	-0.39	-0.12	-0.26	-0.21

Fonte: os autores.

Ainda na análise das componentes principais, é possível identificar a associação entre as variáveis físico-químicas da água e as categorias de qualidade ambiental (ótima, boa, razoável, ruim), apresentadas na Tabela 13.

Tabela 13: Correlação V-test entre a variável suplementar e as componentes principais.

Variáveis Suplementares	PCA-1	PCA-2	PCA-3	PCA-4	PCA-5
ÓTIMA	0.34	-0.73	-0.95	0.05	-0.41
BOA	0.33	-0.39	0.54	-1.27	-1.37
RAZOÁVEL	-0.22	-0.23	0.77	0.51	1.36
RUIM	-0.68	2.20	-1.30	1.44	0.59

Fonte: os autores.

Na PCA-1, a classe ótima apresenta uma correlação positiva de 0.34, enquanto a classe boa demonstra uma correlação positiva de 0.33, sugerindo uma associação positiva dessas classes com os padrões identificados nessa dimensão. Em contraste, a classe ruim exibe uma correlação negativa de -0.68 com a PCA-1, constituindo uma associação inversa com esse padrão. A classe razoável, embora também negativa, possui uma correlação de menor magnitude (-0.22) com a PCA-1.

No que concerne à segunda dimensão (PCA-2), observa-se que as classes ótima e boa têm correlações negativas (-0.73 e -0.39, respectivamente), refletindo uma associação inversa com os padrões descritos por essa dimensão. Alternativamente, a classe ruim manifesta uma correlação positiva de 2.20 com a PCA-2. A classe razoável traz uma correlação próximo de zero (-0.23), indicando uma associação menos significativa com a dimensão 2.

Em relação à terceira dimensão (PCA-3), a classe boa exibe uma correlação positiva de 0.54, ao passo que a classe ótima apresenta uma correlação negativa de -0.95. A classe razoável tem uma correlação positiva de 0.77, mostrando uma associação positiva com a PCA-3. Por outro lado, a classe ruim possui uma correlação negativa de -1.30 com a PCA-3.

4.4 Discussão

4.4.1 Protocolo de avaliação rápida

A abertura da fronteira do Cerrado, em meados de 1960, com a transferência da capital para Brasília, proporcionou vários investimentos no setor rodoviário e no setor agropecuário, em especial devido aos investimentos em políticas públicas na região, como o Programa de

Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento Agrícola dos Cerrados (Prodecer) (Lima; Assunção; Scopel, 2019; Ribeiro; Faria; Cezare, 2019). Esse cenário fez com que o Brasil se tornasse o maior exportador de soja e carne bovina no mundo (Latrubesse *et al.*, 2019; Oliveira, 2016).

Essas políticas de desenvolvimento, atreladas à expansão do território brasileiro, fizeram com que o Cerrado perdesse, ao longo dos anos, mais da metade de seus dois milhões de km²; conseqüentemente, perdeu seus serviços ecossistêmicos devido a essa intensa fragmentação, impactando diretamente as áreas de nascentes e cursos d'água no Cerrado (Anjos; Vasconcelos; Negreiros, 2021; Pedroso; Colesanti, 2017; Silva; Nascimento, 2018). Latrubesse *et al.* (2019) ressaltam que a vegetação é um componente primário do ciclo hidrológico e os altos níveis de desmatamento e conversão de vegetação natural para lavouras e pastagens são gatilhos para as mudanças hidrológicas, geomorfológicas e bioquímicas em rios de pequeno e grande porte.

Em virtude desse panorama, as atividades antrópicas causam certo desequilíbrio ambiental, alguns mais intensos que os outros, e, por isso, o protocolo de avaliação rápida foi essencial na avaliação dos recursos hídricos na região, por ser criado com o intuito de avaliar a integridade ambiental de bacias hidrográficas e mostrar a qualidade ambiental do meio-físico, de modo a determinar o grau de integridade ambiental por meio de um índice de classificação de integridade dos cursos d'água (Silva *et al.*, 2019).

O protocolo mostrou que a deposição de sedimentos nas áreas de realização do PAR destacou-se como um fator relevante para determinar a qualidade ambiental no presente estudo, embora não seja o único critério de avaliação. A estabilidade das margens do canal e a ausência de pontos de estrangulamento foram identificadas como importantes para a manutenção da qualidade ambiental. No entanto, a presença de alagamentos não resultou necessariamente em classificações ambientais baixas, contradizendo parcialmente os achados de França, Rodrigues e Malafaia (2013). Desse modo, a presença de pontos de alagamento foi caracterizada, em nossos estudos, como a presença de áreas úmidas de veredas, ocorridas nos locais P3 e P5.

Nossos resultados também destacam a importância do acesso local e do uso humano na determinação da qualidade ambiental. O uso humano intensivo dos cursos de água e das áreas de preservação permanente (APP) resultou em classificações ambientais mais baixas. A limitação do acesso humano e a inexistência de uso do canal mostraram-se favoráveis à manutenção da qualidade ambiental, como em P11, que está inserido no interior da Floresta Nacional de Silvânia.

4.4.2 Parâmetros de qualidade da água e qualidade ambiental (PAR)

Os resultados demonstram uma correlação significativa entre as PCA e os parâmetros físico-químicos da água, obtidos na sonda multiparamétrica. Além disso, foram encontradas correlações médias e fracas entre as PCA e a qualidade ambiental PAR_VALOR, bem como entre os parâmetros físico-químicos da água com a qualidade ambiental. A variedade de correlações é um reflexo da complexidade e heterogeneidade das condições ambientais influenciadas por diversas atividades humanas, como agricultura, pecuária, construção de represas, estradas, dentre outros.

O valor de qualidade ambiental (PAR_VALOR) obteve uma baixa correlação positiva com a Dimensão 1 (0,28); por sua vez, os parâmetros físico-químicos da água – pH (0,93), TDS (0,90) e condutividade elétrica (0,90) – obtiveram alta correlação com a PCA 1, ou seja, constituem as variáveis que mais contribuem para essa dimensão. Pode-se inferir que essas variáveis desempenham papéis significativos na constituição da PCA 1.

De forma similar, ao examinar a contribuição das variáveis categóricas (por meio do V-test) para a PCA 1, há uma sequência de correlações que variam de positivas a negativas nas classes ótima (0,34), boa (0,33), razoável (-0,22) e ruim (-0,68). Esses resultados sugerem que a primeira dimensão (marcada pelos parâmetros pH, oxigênio dissolvido, condutividade, totais de sólidos dissolvidos) pode ter a capacidade de oferecer distinção entre as quatro categorias de qualidade ambiental.

Quanto ao pH, verifica-se que os valores obtidos durante o campo (de 3,11 a 5,86) estão abaixo do limite permitido pela Resolução Conama n. 357/2005, que define critérios para os cursos d'água e nascentes de classe 1 e 2, adaptados para o uso humano, que estabelece os limites de pH entre 6,0 e 9,0. Esses resultados podem ter sido influenciados pela data da coleta, que ocorreram apenas na época de seca, o que pode ter influenciado os resultados do pH, devido à menor quantidade de água disponível nos cursos d'água e nascentes. Em contraste com esses indicadores, no PAR 15 se localiza o ponto de coleta de água para abastecimento da cidade de Silvânia, no Córrego Caidor.

Os corpos d'água são fortemente influenciados por fatores naturais, como geologia, solos e vegetação, até mesmo por atividades antrópicas (Liberoff *et al.*, 2019; Rodrigues *et al.*, 2018). No Cerrado, em geral, os solos são ácidos e o PAR 15 está localizado em área de latossolo vermelho-ácrico, que se encontram na posição máxima de acúmulo de óxidos de ferro e alumínio (Silva, 2016). Essa concentração de alumínio pode influenciar na acidez da água, juntamente com a concentração de substâncias húmicas e matéria orgânica presente no local

(Silva; Rezende; Sales, 2020), como observado por Ramalho *et al.* (2022), para os quais, em áreas de nascentes com maior quantidade de vegetação nativa, existe uma tendência na acidez do pH quando comparadas às áreas da foz da bacia hidrográfica.

Além disso, a correlação elevada de 0,93 entre o pH e a PCA 1, em comparação com a correlação de 0,28 com o valor do PAR_VALOR (Tabela 12), reitera a relevância do pH como indicador de qualidade da água (Rolim; Leite Júnior; Gomes Filho, 2013). Tais estudos ressaltam a necessidade de monitoramento do pH, especialmente em áreas sujeitas à poluição por esgoto não tratado, para garantir a conformidade com os padrões estabelecidos pela Resolução Conama n. 357/2005. Esteves (1998) afirma que o pH pode ser considerado uma das variáveis ambientais mais relevantes e mais difíceis de ser interpretada, em função do grande número de variáveis que podem influenciá-la.

Analisando os resultados da PCA-2, ela apresenta uma correlação negativa significativa com o PAR_VALOR (-0,39), indicando que essa dimensão pode fornecer uma compreensão efetiva da qualidade ambiental. Nela verificamos que a temperatura °C mostra uma forte correlação positiva com a PCA-2, com um coeficiente de 0,80 (Tabela 12). Isso sugere que um aumento na temperatura pode estar associado a uma diminuição na qualidade ambiental, considerando a natureza inversa dos sinais de correlação.

Quanto à temperatura, os valores variaram de 19,82 °C a 25,39 °C, valores que podem estar associados tanto com o horário de realização da leitura com a sonda ou mesmo com o sombreamento da mata ciliar, que tende a diminuir a temperatura da água, enquanto em APP com menor vegetação, a temperatura tende a ser maior (Arcova; Cicco, 1999; Donadio; Galbiattao; Paula, 2005; Marmontel; Rodrigues, 2015), ou seja, a preservação das APP e o uso intensivo do entorno das nascentes e cursos d'água influenciam nesse parâmetro de água.

Além disso, verifica-se que o oxigênio dissolvido (DO%) apresenta correlação negativa forte com a PCA-2 (-0,75), a qual se associa mais à qualidade ambiental (PAR_VALOR) (Tabela 12). Isso significa que, na PCA-2, à medida que a temperatura aumenta, o oxigênio dissolvido tende a diminuir. A concentração de DO em águas naturais pode ser influenciada pela temperatura e pela presença de nutrientes como fósforo e nitrogênio (Ramalho *et al.*, 2022). Para Buzelli e Cunha-Santino (2013), o DO está ligado ao processo de oxidação de íons metálicos e decomposição aeróbica da matéria orgânica.

No que diz respeito ao oxigênio dissolvido (DO), os resultados obtidos nos pontos analisados variaram de 2,03 mg/L (25,8% DO) a 3,02 mg/L (36,9% DO) (Tabela 11). Todos os pontos coletados estão em desacordo com a Resolução Conama n. 357/2005, que estabelece limites específicos de oxigênio dissolvido de no mínimo 6 mg/L, correspondentes a

aproximadamente 70% de DO, a 1 Atm e 25 °C para águas de nascentes e córregos classe 1 e 2. Com base nesse critério, os resultados indicam uma presença inadequada de oxigênio dissolvido na água, abaixo do esperado. Esse panorama negativo com o resultado de DO, quando comparado com a Resolução vigente, deve considerar três fatores: canais de primeira ordem (áreas de nascentes), locais com maior concentração de vegetação (nativa) tendem a diminuir a vazão, e a data de leitura em campo foi realizada no mês de setembro, que é um mês de transição entre período menos chuvoso para período chuvoso. Logo, esses três fatores podem ter culminado nos resultados baixos de DO.

A condutividade $\mu\text{S}/\text{cm}$ e os sólidos totais dissolvidos (TDS mg/L) na água, fortemente associados à PCA-1, também podem estar positivamente associados ao PAR_VALOR. Isso porque níveis moderados desses parâmetros podem indicar a presença de nutrientes essenciais na água, mas níveis muito altos podem ser prejudiciais à vida aquática.

Quanto à condutividade, os valores encontrados nos pontos variaram de 3,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 93,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, todos dentro dos limites estabelecidos pela Resolução Conama n. 357/2005 (limite máximo de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para águas de classe 2). A condutividade elétrica é um indicador da concentração de íons na água e pode estar relacionada à presença de sais, nutrientes e poluentes.

Os valores de sólidos totais dissolvidos aferidos em campo ficaram entre 1 e 47 mg/L; resultados abaixo de 500 mg/L correspondem ao limite máximo permitido pela Resolução Conama n. 357/2005. Apesar de todos os valores de condutividade e TDS estarem dentro dos limites estabelecidos pela Resolução, o ponto 2 apresenta valores muito altos quando comparado aos demais. Vale ressaltar que é um local no limite da Flona, cujo entorno está desmatado, inclusive próximo ao curso d'água, e pode estar sendo impactado com o efeito de borda.

Ao comparar esses resultados com outros estudos, é possível observar que a qualidade da água pode variar amplamente em diferentes regiões e bacias hidrográficas. Pereira *et al.* (2014) encontraram tendências de degradação da qualidade da água relacionadas ao oxigênio dissolvido, turbidez, amônia, nitrato e sólidos totais dissolvidos, possivelmente influenciadas por práticas agrícolas.

Redondo *et al.* (2016) observaram diferenças na qualidade da água entre ambientes urbanos e agrícolas, com mais similaridade entre os pontos localizados em áreas rurais. A qualidade da água em ambientes urbanos foi influenciada pelo despejo de esgoto doméstico, enquanto em áreas rurais, a contaminação por fertilizantes e defensivos agrícolas desempenhou um papel importante.

Conroi *et al.* (2016) destacaram haver uma influência das práticas agropecuárias do uso da terra na qualidade da água de rios, com base em variáveis como pH, sedimentos e diversidade biológica. Essa percepção foi corroborada por Veras *et al.* (2019), que, ao avaliarem quinze córregos em ambiente de transição entre o Cerrado e a Caatinga, confirmaram a relação direta entre a integridade ambiental das matas ciliares e a qualidade da água, aspecto que também ressalta a importância dessas áreas para a manutenção da diversidade biológica (Dias-Silva *et al.*, 2010). Juntos, esses estudos evidenciam como a conservação das matas ciliares e nascentes é importante para a manutenção dos parâmetros físico-químicos que definem a qualidade da água.

Em resumo, os resultados na área pesquisada indicam uma acidez elevada na água, indicada pelos valores de pH abaixo do limite estabelecido pela Resolução Conama n. 357/2005. No entanto, outros parâmetros analisados – como oxigênio dissolvido, condutividade, turbidez e temperatura – estavam dentro dos limites estabelecidos. A comparação com outros estudos evidenciou a variabilidade da qualidade da água em diferentes regiões e destacou a influência de atividades humanas, como agricultura e urbanização, na degradação da qualidade da água. Essas informações são relevantes para a compreensão da situação local e a implementação de ações públicas para melhorar a qualidade da água e preservar os ecossistemas aquáticos na região.

4.5 Conclusões

No estudo de caso realizado, observou-se que o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR), aliado à aferição de parâmetros físico-químicos da água por sonda multiparamétrica, forneceu indicativos úteis acerca da qualidade ambiental dos fragmentos de Cerrado selecionados. A comparação entre aspectos como geomorfologia do canal, cor e odor da água, deposição de sedimentos e uso do solo permitiu identificar tendências na condição ambiental dos locais avaliados.

A análise estatística demonstrou que, para a escala adotada, parâmetros como pH, resistividade, condutividade e oxigênio dissolvido apresentaram associações significativas com as classes de qualidade ambiental definidas pelo PAR. Entretanto, é importante ressaltar que a utilização de atributos isolados, como cor da água e presença de materiais flutuantes, nem sempre se mostrou consistente na distinção de diferentes níveis de qualidade ambiental, uma vez que o curso de água recebe influência do uso da terra não apenas *in loco*, mas também de outras áreas de contribuição da bacia.

O PAR demonstrou-se uma ferramenta útil para avaliar a qualidade ambiental em escala local, embora seus resultados dependam das condições pontuais de cada área e da percepção do analista. Dessa forma, embora não represente todo o Cerrado, o estudo oferece insights que podem ser aplicados em outros locais com características semelhantes.

Os resultados sugerem também que a qualidade da água pode ser afetada pelas práticas de uso e ocupação do solo, como agricultura e pecuária, reiterando a necessidade de monitoramento e de ações de manejo pontuais, especialmente em áreas de cabeceira de drenagem. Para ampliar a compreensão dos processos ecossistêmicos, recomenda-se inserir na análise outros parâmetros (por exemplo, fósforo e nitrogênio) e realizar coletas em diferentes períodos ao longo do ano, abarcando tanto a estação seca quanto a chuvosa.

Em síntese, o presente estudo evidencia a potencialidade do PAR como um indicador de campo para áreas específicas do Cerrado, mas não sugere que seus resultados sejam automaticamente extrapolados para todo o bioma ou para outros ecossistemas aquáticos. A adoção de metodologias mais integradoras, com ampla variedade de parâmetros, e a replicação das coletas em diferentes datas podem refinar o diagnóstico e fornecer uma base mais confiável para a tomada de decisões e a conservação dos recursos hídricos em escala local.

Agradecimentos

À Capes, pelo valioso apoio provido pela Bolsa de Demanda Social. Agradecemos ao Lapig/Pro-Vant pelo suporte com a seleção de áreas e *softwares* de processamento. Estendemos nossa gratidão ao Labogef, pelo empréstimo e calibração da sonda multiparâmetros.

Referências

ANJOS, Ana Paula Ribeiro dos; VASCONCELOS, Fernanda Carla Wasner; NEGREIROS, Daniel. Diagnóstico ambiental do Córrego do Bálamo, Ibité-MG, por meio de um protocolo de avaliação rápida. **Acta Geográfica**, Boa Vista, v. 15, n. 39, p. 42-61, 2021.

ARCOVA, Francisco Carlos Soriano; CICCO, Valdir de. Qualidade da água de microbacia com diferentes usos do solo na região de Cunha, Estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, [s.l.], v. 56, p. 125-134, 1999.

BALBINOT, Rafaela *et al.* O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Revista Ambiência**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 131-149, 2008.

BECEGATO, Valter A. *et al.* Multivariate Statistical Analysis Correlating 238U, 232Th, and 40K Equivalent Activities in Soil to Geochemical Data from an Agricultural Area. **Journal of Soils and Sediments**, [s.l.], v. 19, n. 4, p. 1901-1910, 22 abr. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de afluentes, e dá outras providências. Brasília: Conama, [2005]. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 4 fev. 2024.

BUZELLI, Giovanna Moretti; CUNHA-SANTINO, Marcela Bianchessi da. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonito-SP. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 8, p. 186-205, 2013.

CABRAL, João Batista Pereira *et al.* Diagnóstico Hidrossedimentológico do Reservatório da UHE Caçu-GO. **Revista Geofocus**, Madrid, v. 13, 2013.

CALLISTO, Marcos *et al.* Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Sorocaba, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002. Disponível em: <http://jbb.ibict.br/handle/1/708>. Acesso em: 12 fev. 2024.

CARVALHO, Fábio M. V.; MARCO JÚNIOR, Paulo de; FERREIRA, Laerte G. The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of Central Brazil. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 142, p. 1392-1403, 2009.

CONROY, E. *et al.* Evaluating the Relationship Between Biotic and Sediment Metrics Using Mesocosms and Field Studies. **Science of The Total Environment**, [s.l.], v. 568, n. 15, p. 1092-1101, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.168>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969716313420?via%3Dihub>. Acesso em: 13 fev. 2024.

CORRÊA, Marília Guidotti *et al.* Assessment of Pesticides in the Chasqueiro Irrigation District, Southern Brazil, an Agricultural Area of International Importance. **Water, Air, & Soil Pollution**, [s.l.], v. 233, n. 12, p. 517, 2022.

DIAS-SILVA, Karina *et al.* The Influence of Habitat Integrity and Physical-Chemical Water Variables on the Structure of Aquatic and Semi-Aquatic Heteroptera. **Zoologia**, v. 27, n. 6, p. 918-930, 2010.

DONADIO, Nicole M. M.; GALBIATTAO, João A.; PAULA, Rinaldo C. de. Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego Rico, São Paulo, Brasil. **Engenharia Agrícola**, v. 25, n. 1, p. 115-125, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100013>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/m9KzFQywkjqVLCZZdhT7JsF/?lang=pt>. Acesso em: 12 fev. 2024.

ESTEVEZ, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FRANÇA, Luan de Oliveira; RODRIGUES, Aline Sueli de Lima; MALAFAIA, Guilherme. Diagnóstico ambiental do córrego do Açude, Orizona-GO por meio de um protocolo de avaliação rápida de rios. **Revista Tropic: Ciências Agrárias e Biológicas**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 32-44, 2013.

FRANÇOSO, Renata D. *et al.* Habitat Loss and the Effectiveness of Protected Areas in the Cerrado Biodiversity Hotspot. **Natureza & Conservação**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 35-40, 2015.

HANNAFORD, Morgan J.; BARBOUR, Michael T.; RESH, Vincent H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of the North American Benthological Society**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 853-860, 1997.

HUNKE, Philip *et al.* The Brazilian Cerrado: Assessment of Water and Soil Degradation in Catchments Under Intensive Agricultural Use. **Ecohydrology**, v. 8, n.6, p. 1154-1180, 2015.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005.

LATRUBESSE, Edgardo M. *et al.* Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, [s.l.], v. 1, n. 9, p. e77, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1111/csp2.77>. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/csp2.77>. Acesso em: 22 jan. 2024.

LIBEROFF, Ana L. *et al.* Assessing Land Use and Land Cover Influence on Surface Water Quality Using a Parametric Weighted Distance Function. **Limnologica**, [s.l.], v. 74, p. 28-37, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.limno.2018.10.003>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0075951117303171>. Acesso em: 13 fev. 2024.

LIMA, Halan Faria; ASSUNÇÃO, Hildeu Ferreira da; SCOPEL, Iraci. Simulação do efeito de uso da terra na atenuação da energia cinética da chuva sobre uma bacia hidrográfica no sudoeste de Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, [s.l.], v. 25, ano 15, p. 101-121, jul.-dez. 2019.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. Situação e perspectivas sobre as águas do Cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 63, n. 3, p. 27-29, jul. 2011. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000300011. Acesso em: 6 nov. 2022.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; SILVA, Euzebio Medrado da. Recursos hídricos do Bioma Cerrado. *In*: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe (org.). **Cerrado: Ecologia e Flora**. 2. Ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2008. V. 1, p. 90-106.

LIMA, Mariana Caroline Gomes de *et al.* Generated Impacts and the Management of the Capibaribe River Basin-PE. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 75-85, 2018.

MARMONTEL, Caio Vinicius Ferreira; RODRIGUES, Valdemir Antonio. Parâmetros indicativos para qualidade da água em nascentes com diferentes coberturas de terra e conservação da vegetação ciliar. **Floresta e ambiente**, [s.l.], v. 22, p. 171-181, 2015.

MAURANO, Luis Eduardo P.; ALMEIDA, Cláudio Aparecido de; MEIRA, Maurício Braga. Monitoramento do desmatamento do cerrado brasileiro por satélite Prodes Cerrado. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XIX., 2019, [s.l.]. **Anais [...]**. [S.l.: s.n.], 2019. P. 191-194.

MENEZES, João Paulo Cunha *et al.* Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, [s.l.], v. 21, n. 3, p. 519-534, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522016145405>.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/9WBFsRNdrzqJcrZnPXSgDyM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 13 fev. 2024.

MIZIARA, Fausto; FERREIRA, Nilson C. Expansão da fronteira agrícola e evolução da ocupação e uso do espaço no Estado de Goiás: subsídios à política ambiental. *In: FERREIRA, Laerte Guimarães (org.). A encruzilhada socioambiental – biodiversidade, economia e sustentabilidade no Cerrado*. Goiânia: UFG, 2008. P. 107-125.

MYERS, Charles R. *et al.* Chromium (VI) reductase activity is associated with the cytoplasmic membrane of anaerobically grown *Shewanella putrefaciens* MR-1. **Journal of Applied Microbiology**, [s.l.], v. 88, n. 1, p. 98-106, 2000.

OLIVEIRA JUNIOR, Ernandes Sobreira *et al.* Aplicação de protocolos de avaliação rápida como ferramenta robusta na qualificação ambiental em dois córregos urbanos que desagüam no Rio Paraguai. **Raega – O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 199-220, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v48i0.69215>. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/69215/43405>. Acesso em: 5 dez. 2021.

OLIVEIRA, Gustavo de L. T. The geopolitics of Brazilian soybeans. **The Journal of Peasant Studies**, [s.l.], v. 43, n. 2, p. 348-372, 2016.

PEDROSO, Leonardo Batista; COLESANTI, Marlene Teresinha de Muno. Aplicação do protocolo de avaliação rápida de rios em uma microbacia hidrográfica localizada ao sul de Goiás. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 18, n. 64, p. 248-262, 2017.

PEREIRA, Lyne Sussuarana *et al.* Variação sazonal da qualidade da água do Ribeirão Piancó, no município de Anápolis-GO. **Revista Mirante**, Anápolis, v. 7, n. 2, p. 1-19, 2014.

PINHEIRO, João Ismael de *et al.* **Estatística básica: a arte de trabalhar com dados**. São Paulo: Elsevier Editora Ltda, 2009.

RAMALHO, Fernanda Luisa *et al.* Spatial and Temporal Evaluation of Water Streams Using Quality Indexes: A Case Study. **Water**, [s.l.], v. 14, n. 21, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/w14213526>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/21/3526>. Acesso em: 13 fev. 2024.

REDONDO, Guilherme *et al.* Análise comparativa de variáveis de qualidade da água em diferentes usos do solo na microbacia hidrográfica do Rio do Campo-PR. **Blucher Engineering Proceedings**, v. 3, n. 2, p. 267-274, 2016.

RIBEIRO, Helen de Fátima; FARIA, Karla Maria Dilva de; CEZARE, Cassio Henrique Giusti. Dinâmica espaço-temporal do desmatamento nos territórios da cidadania no nordeste goiano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 12, n. 13, p. 1180-1196, 2019.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima *et al.* Adequação e avaliação da aplicabilidade de um Protocolo de Avaliação Rápida na bacia do rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 231-244, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.872>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/CbTg6dKQhzZHJb5bYX5L3Dq/abstract/?lang=pt>.

Acesso em: 13 fev. 2024.

RODRIGUES, Valdemir *et al.* Effects of Land Use and Seasonality on Stream Water Quality in a Small Tropical Catchment: The headwater of Córrego Água Limpa, São Paulo (Brazil).

Science of the Total Environment, [s.l.], v. 622-623, p. 1553-1561, 2018. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.028>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969717327158?via%3Dihub>.

Acesso em: 13 fev. 2024.

ROLIM, H. O.; LEITE JÚNIOR, J. B.; GOMES FILHO, R. R. Qualidade da água. *In*: GOMES FILHO, R. R. (org.). **Gestão de recursos hídricos: conceitos e experiências em bacias hidrográficas**. Goiânia: América: UEG, 2013. P. 215-253.

SANO, Edson Eyji *et al.* **Características gerais da paisagem do Cerrado**. Brasília:

Embrapa Informática Agropecuária, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1121717/caracteristicas-gerais-da-paisagem-do-cerrado>. Acesso em:

9 fev. 2024.

SANTOS, Gabriel Borges dos *et al.* Análise qualitativa das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Piratini-RS. **Boletim Geográfico do Rio Grande do Sul**, [s.l.], n. 41, p. 9-33, 2023.

SAWYER, Donald *et al.* **Perfil do Ecossistema: Hotspot de biodiversidade do cerrado**. [S.l.: s.n.], 2018.

SILVA, Carlos Eduardo Félix da *et al.* Análise macroscópica da qualidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos córregos Lava-Pés e Pedrinhas em Silvânia-GO. **Tecnia**, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 44-59, 2019.

SILVA, Cássia Monalisa dos Santos; REZENDE, Wagner Sobrinho; SALES, Marcelo Alves da Silva. Análise da qualidade da água do rio Traíras na reserva Legado Verdes do Cerrado (LVC). **Novos Cadernos NAEA**, [s.l.], v. 23, n. 1, p. 81-105, 2020.

SILVA, Katyuce; NASCIMENTO, Diego Tarley Ferreira. Avaliação rápida do estado de degradação ambiental do Córrego Tamanduá, Iporá-GO. **Revista Geoaraguaia**, Barra do Garças-MT, v. 8, n. 2, p. 49-70, 2018.

SILVA, Laércio Santos. **Mineralogia da fração argila dos solos do Planalto Ocidental Paulista**. 2016. 83 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2016.

SILVEIRA, Nara Tôrres *et al.* Avaliação da qualidade da água do reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 15, n. 6, p. 2866-2877, 2022.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2015**. Brasília: SNSA/MCIDADES, 2017.

SOUZA, Sirius Oliveira; FOLHARINI, Saulo de Oliveira. Mapeamento do uso e ocupação da terra do município de Petrolina (PE) – Médio Vale do Rio São Francisco Através do NDVI de Imagem Landsat 8 (OLI). **Revista Equador**, v. 8, n. 2, p. 489-502, 2019.

STRASSBURG, Bernardo *et al.* Momento da verdade para o hotspot do Cerrado. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 0099, 2017. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0099>. Acesso em: 9 fev. 2024.

VERAS, Daniel Silas *et al.* (2019). Evaluating the Habitat Integrity Index as a Potential Surrogate for Monitoring the Water Quality of Streams in the Cerrado-Caatinga Ecotone in Northern Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 191, n. 9, p. 562, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7667-x>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7667-x>. Acesso em: 13 fev. 2024.

VIEIRA, Micaelle Juliano *et al.* O uso do solo e os impactos na qualidade da bacia hidrográfica do ribeirão Vereda. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 16, n. 5, p. 2690-2703, 2023.

5 TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO E PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA DA PAISAGEM PARA DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM ZONAS RIPÁRIAS: UMA ABORDAGEM INTEGRADA E MULTIESCALAR PARA O HOTSPOT CERRADO

Resumo

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil e *hotspot* de biodiversidade, enfrenta ameaças devido à alta taxa de substituição de sua vegetação nativa para usos antrópicos, impactando negativamente seu ecossistema. Avaliar a qualidade ambiental em regiões com uso intensivo da terra é uma atividade complexa, entretanto é fundamental para o monitoramento ambiental de áreas naturais, como os remanescentes de Cerrado. Esse trabalho, tem como o objetivo avaliar a eficácia da integração entre dados de índices espectrais RGB, gerados com plataformas de sensoriamento remoto aéreas e orbitais, com dados de qualidade ambiental obtidos por meio de aplicação de Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) em áreas de vegetação ripária do bioma Cerrado. A metodologia adotada envolveu a aquisição e o processamento de imagens das plataformas *Sentinel 2* e Planet, além de imagens aéreas obtidas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Os resultados revelaram existir uma correlação significativa entre os índices de vegetação obtidos por sensoriamento remoto e os dados biofísico-químicos, indicando uma variação da qualidade ambiental de "alta" a "moderada" em mais de 60% dos locais avaliados. Dos melhores modelos de regressão linear múltipla entre o PAR e os dados de sensoriamento remoto das plataformas orbitais e aéreas, o modelo do *Sentinel* obteve $R^2 = 0,706$ e p-valor = 0,028, enquanto o VANT obteve $R^2 = 0,685$ e p-valor < 0,037 e o Planet $R^2 = 0,359$ e p-valor < 0,018. Além disso, a utilização de mapas de qualidade ambiental gerados a partir dos modelos de regressão permitiu identificar áreas prioritárias para conservação e recuperação ambiental. Isso, indica que a integração de diferentes plataformas de sensoriamento remoto com dados coletados *in loco* é eficaz na avaliação da qualidade ambiental em áreas naturais. Assim, a capacidade de combinar análises de sensoriamento remoto de alta resolução com avaliações *in loco* abre novas perspectivas para a gestão sustentável dos ecossistemas do Cerrado, contribuindo significativamente para a conservação da biodiversidade e dos recursos hídricos nesse bioma crítico.

Palavras-chave: Qualidade ambiental. Água. Savana. Sentinel. Planet. VANT. Parâmetros biofísicos.

Abstract

The Cerrado, Brazil's second-largest biome and a biodiversity hotspot, faces threats due to the high rate of replacement of its native vegetation for anthropic uses, negatively impacting its ecosystem. Assessing environmental quality in regions with intensive land use is a complex activity, however, it is fundamental for the environmental monitoring of natural areas, such as the remnants of the Cerrado. This work aims to evaluate the efficacy of integrating RGB spectral index data, generated with aerial and orbital remote sensing platforms, with environmental quality data obtained through the application of a Rapid Assessment Protocol (RAP) in riparian vegetation areas of the Cerrado biome. The adopted methodology involved the acquisition and processing of images from the Sentinel 2 and Planet platforms, as well as aerial images obtained by an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). The results revealed a significant correlation between the vegetation indices obtained by remote sensing and the biophysical-chemical data, indicating a variation in environmental quality from "high" to "moderate" in more than 60% of the evaluated locations. Among the best multiple linear regression models between the RAP and the remote sensing data from the orbital and aerial platforms, the Sentinel model obtained an $R^2 = 0.706$ and p-value = 0.028, while the UAV obtained an $R^2 = 0.685$ and p-value < 0.037, and the Planet $R^2 = 0.359$ and p-value < 0.018. Furthermore, the use of environmental quality maps generated from the regression models allowed the identification of priority areas for conservation and environmental recovery. This indicates that the integration of different remote sensing platforms with data collected in situ is effective in assessing environmental quality in natural areas. Thus, the ability to combine high-resolution remote sensing analyses with in situ evaluations opens new perspectives for the sustainable management of the Cerrado ecosystems, significantly contributing to the conservation of biodiversity and water resources in this critical biome.

Keywords: Environmental quality. Water. Savannah. Sentinel. Planet. UAV. Biophysical parameters.

5.1 Introdução

O bioma Cerrado é uma savana neotropical com alto índice de biodiversidade (Myers et al., 2000; Nogueira *et al.*, 2011; Silva; Bates, 2002). A sua rápida e intensa ocupação, principalmente a partir das décadas de 1960 e 70, deu-se pelo desmatamento da vegetação nativa, desde então assumindo alarmantes taxas anuais, substituída por áreas de agricultura, pastagem e urbanização (Ferreira *et al.*, 2013; Laurance; Sayer; Cassman, 2014; Klink; Machado, 2005; Macedo *et al.*, 2012; Rodrigues *et al.*, 2022). Atualmente, o Cerrado possui cerca de 40% de vegetação nativa (Ferreira *et al.*, 2013; Soares-Filho *et al.*, 2014; Strassburg *et al.*, 2017), embora seja o segundo maior bioma do País e abrigue diversas nascentes das bacias hidrográficas brasileiras.

Se os índices atuais de desmatamento permanecerem (atualmente da ordem de 8 mil a 10 mil km²/ano; INPE, 2024), as projeções indicam que poderá haver a extinção de inúmeras espécies de plantas e animais, além de impactos significativos na hidrologia e no clima regional do bioma (Machado *et al.*, 2004; Salmona *et al.* 2023; Strassburg *et al.*, 2017).

Dos fragmentos de Cerrado que ainda permanecem preservados, uma parcela significativa encontra-se nas zonas ripárias (ZR), também denominadas vegetação ciliar, matas ciliares ou matas de galeria (Ribeiro; Walter, 1998). Conforme o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012), essas áreas são classificadas como Áreas de Preservação Permanente (APP), destinadas prioritariamente às funções hidrológicas e à conservação da biodiversidade (Brasil, 2012). A preservação desses fragmentos ocorre principalmente pela obrigatoriedade legal imposta pela legislação ambiental, ou então devido à baixa aptidão agrícola dessas áreas, caracterizada pela elevada declividade e condições edafoclimáticas desfavoráveis (Bianchi; Haig, 2013; Ferraz *et al.*, 2014; McJannet *et al.*, 2012; Silva *et al.*, 2008; Tiwari *et al.*, 2016). Apesar disso, as zonas ripárias continuam sujeitas a fortes pressões antrópicas devido à proximidade com áreas dedicadas à monocultura (por exemplo, soja, algodão e milho) e à pecuária extensiva (pastagem) (Bharati *et al.*, 2002; Neill *et al.*, 2013).

As zonas ripárias são compostas por áreas de vegetação remanescente que dão suporte aos últimos *habitats* que comportam a biodiversidade animal e vegetal (Bateman; Merritt, 2020; Forio *et al.*, 2020; Popescu *et al.*, 2021; Zhang *et al.*, 2023). Pesquisas anteriores têm avaliado a qualidade desses ambientes em relação aos impactos negativos gerados pelo uso agropecuário e pelo desmatamento, incluindo alterações físico-químicas como mudanças no pH do solo, variação nos níveis de nutrientes (por exemplo, potássio e fósforo) e redução na disponibilidade e qualidade da água (Deegan *et al.*, 2011; Galford *et al.*, 2010; Hunke et al., 2014; Sweeney *et*

al., 2004). Além disso, estudos sobre a biodiversidade apontam uma relação direta entre a complexidade estrutural da vegetação nativa e a diversidade de organismos, evidenciando que ambientes com maior complexidade fisionômica sustentam maior riqueza de formigas, pequenos mamíferos, insetos, fungos e ácaros no Cerrado (Carmignotto; Pardini; Vivo, 2022; Finger; Finger, 2015; Moraes *et al.*, 2022; Nóbrega *et al.*, 2020).

Ambas as abordagens de avaliação, físico-química e biológica, são realizadas de maneira pontual, restringindo-se a pequenas áreas de estudo. Outras modalidades de pesquisa para monitorar e avaliar ecologicamente o bioma Cerrado têm sido desenvolvidas a partir de produtos de sensoriamento remoto. Estes são, geralmente, utilizados para analisar a mudança do uso e cobertura da terra, com métodos de quantificação do desmatamento e da vegetação remanescente (Beuchle *et al.*, 2015; Estrabis *et al.*, 2022; Parente *et al.*, 2021; Zaiatz *et al.*, 2018), bem como por meio de índices ecológicos e espectrais para verificar a qualidade ambiental (Bueno *et al.*, 2020; Hill *et al.*, 2017; Ji *et al.*, 2023; Liao; Jiang, 2020). Essas abordagens podem ser classificadas, contudo, como indiretas, já que dependem de produtos de sensoriamento remoto e não incorporam o controle de variáveis ambientais obtidas em campo, fundamentais para estabelecer uma correlação efetiva entre a qualidade ambiental e os dados indiretos obtidos por sensoriamento.

Nessa perspectiva, o protocolo de avaliação rápida (PAR) se destaca como uma abordagem de baixo custo, que permite avaliar rapidamente a qualidade ambiental com base em variáveis críticas, como geomorfologia local, sedimentos e qualidade da água, além do uso e cobertura do solo observados diretamente no local (Callisto *et al.*, 2002; Lawson; Goosem; Gillieson, 2008; Rodrigues; Castro, 2008). Esse método quantifica a qualidade ambiental e a classifica em categorias que vão de ‘muito baixa’ a ‘muito alta’. Embora eficaz, o PAR, por ser uma metodologia aplicada pontualmente em campo, pode estar sujeito a vieses subjetivos do avaliador. Para um diagnóstico mais eficaz, o PAR é geralmente complementado com dados adicionais, como qualidade da água e informações do solo (Sousa Junior *et al.*, 2022; Lemke; Vilharva; Suárez, 2018; Barbosa Neto; Cabral; Oliveira, 2017; Wantzen *et al.*, 2006), a fim de enriquecer e conferir mais validade às avaliações de qualidade ambiental.

Embora o Protocolo de Avaliação Rápida (PAR) seja uma ferramenta eficaz para avaliação de campo, suas limitações exigem técnicas complementares, como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), amplamente empregados no planejamento e modelagem ambiental. Esses sistemas facilitam a integração entre dados de campo e informações derivadas de sensoriamento remoto (SR) em diversas escalas espaciais, auxiliando na modelagem e

avaliação da qualidade ambiental. Essa abordagem permite a incorporação e análise integrada de múltiplas informações, otimizando o uso dos dados disponíveis (Lana et al., 2022).

Entre as plataformas disponíveis para SR, atualmente, destacam-se os satélites *Sentinel 2* (resolução espacial de 10 m), *Planet* (3 m) e os sensores embarcados em veículos aéreos não tripulados (VANTs), capazes de capturar imagens em resolução centimétrica. Essas plataformas operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético, incluindo as bandas do visível (vermelho, verde, azul) e do infravermelho próximo, presentes inclusive em sensores de baixo custo. A partir dessas imagens é possível gerar índices de vegetação (IV), amplamente empregados em estudos ambientais, como o monitoramento de vegetação nativa e agrícola, avaliação da proliferação de algas e caracterização de habitats aquáticos (Barbosa *et al.*, 2020; Benson, 2019; Lallya *et al.*, 2019;), usado no monitoramento de lavouras e das condições fitossanitárias de plantas (Singhal *et al.*, 2019), ou mesmo na avaliação da proliferação de algas em lagos e rios da região (Becker *et al.*, 2019; Cobelo et al., 2023).

Esses avanços tecnológicos no uso de plataformas aéreas e orbitais têm ampliado significativamente as capacidades de avaliação e monitoramento ambiental, principalmente devido à facilidade de geração de índices espectrais RGB, acessíveis mesmo em VANTs mais simples. Essa evolução abre caminho para uma integração direta e comparativa entre os dados obtidos por sensoriamento remoto e as observações realizadas em campo. Neste contexto, surgem as seguintes questões científicas: 1) Até que ponto é possível correlacionar as características observáveis em campo com as variáveis obtidas por SR? 2) Mais especificamente, quais índices e características observáveis pelo SR serão associados com as observações realizadas em campo para aferir a qualidade ambiental de um fragmento vegetacional, como as zonas ripárias? 3) Ou quais os ganhos efetivos, quali-quantitativos, ao operar uma análise da paisagem com camadas de dados obtidas em diferentes escalas e sensores?

Em busca de respostas às estas questões, o objetivo deste trabalho é avaliar a eficácia da integração entre dados de índices espectrais RGB, gerados com plataformas de sensoriamento remoto aéreas e orbitais, com dados de qualidade ambiental obtidos por meio de aplicação de protocolo de avaliação rápida em áreas de vegetação ripária do bioma Cerrado.

5.2 Materiais e Métodos

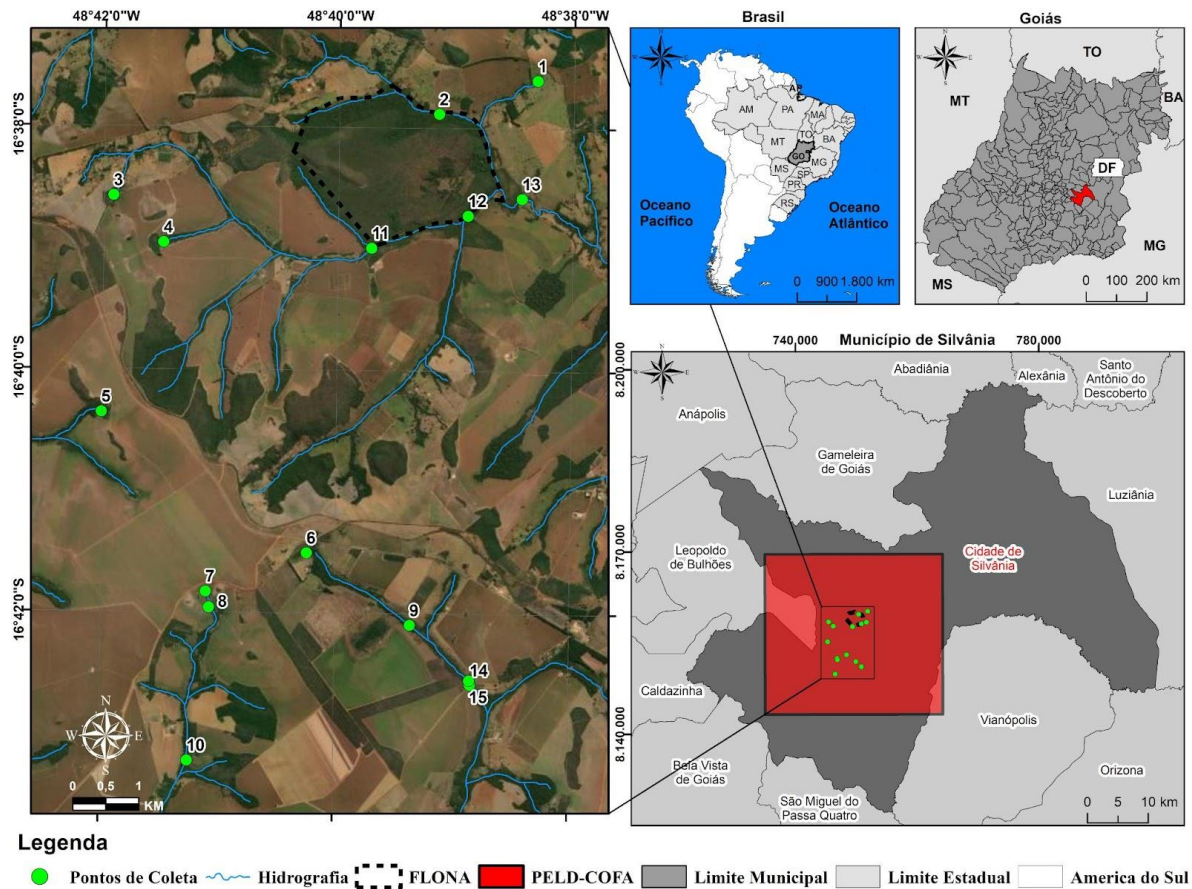
5.2.1 Área de estudo

A área de estudo localiza-se no município de Silvânia (GO), abrangendo a região central onde está inserida a Floresta Nacional de Silvânia (Figura 26), unidade de conservação federal (Brasil, 2000). A região apresenta relevo suavemente ondulado, pertencente ao Planalto Central brasileiro, com altitude média de 891 m acima do nível do mar. O clima é classificado como tropical sazonal, com temperatura média anual de 22,5 °C e precipitação anual em torno de 1.370 mm.

Do ponto de vista geológico, destacam-se na região unidades como os Depósitos Aluvionares (Qa), Coberturas Detrito-Lateríticas (TQdl), o Grupo Araxá Sul de Goiás (Unidades PMaA e PMaB), a Sequência Metavulcanossedimentar de Silvânia (Unidade Metavulcânica PIVssA e Unidade Mista PIVssB), além dos Granitoides (y1) e Granulitos (Ortoderivados APIgaio e Paraderivados APIgaip). Em função dessas características geológicas e do clima regional, predominam na área os latossolos vermelho-amarelos, com áreas menores ocupadas por neossolos quartzarênicos.

A vegetação nativa remanescente é predominantemente composta por cerrado típico, incluindo áreas de campo cerrado e matas de galeria (ou vegetação ripária), que são fundamentais na proteção dos recursos hídricos locais e no suporte à biodiversidade (Ribeiro; Walter, 1998).

Figura 26: Mapa de localização da área de estudo.

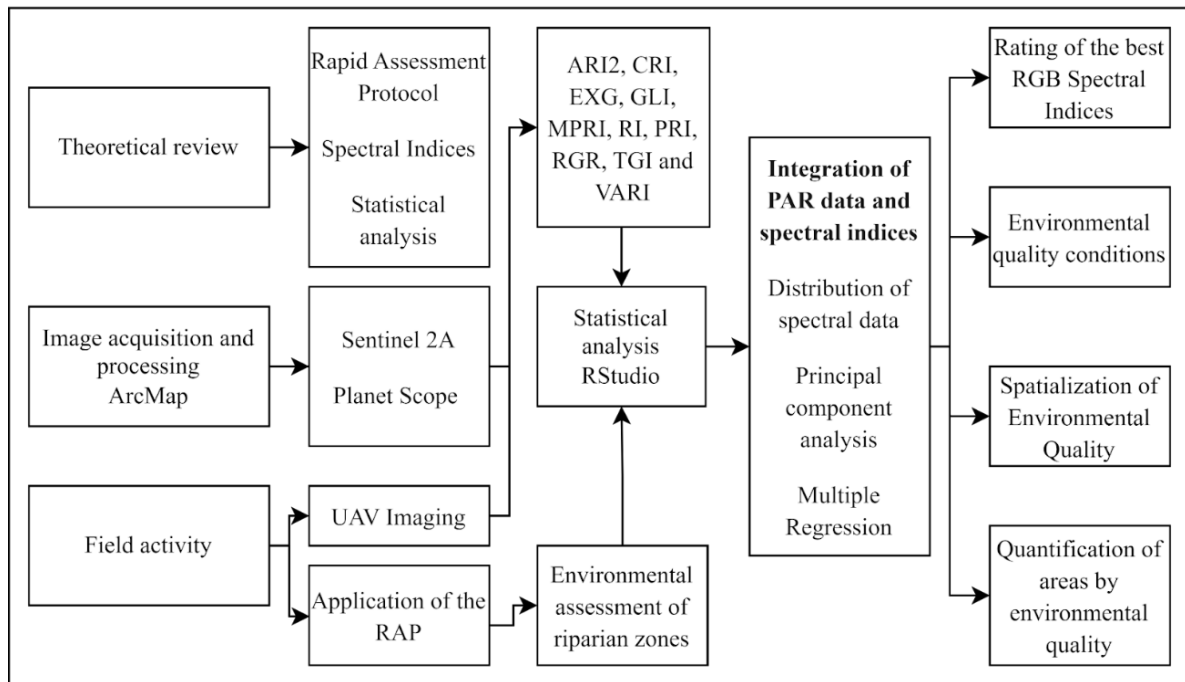


Fonte: os autores.

5.2.2 Procedimentos metodológicos

A abordagem metodológica seguiu as etapas especificadas na Figura 27, a saber: 1) revisão teórica em plataformas científicas; 2) aquisição e processamento de imagens de satélite *Sentinel 2* e *Planet* e imagens de VANT; 3) trabalho de campo para aplicar o PAR em remanescentes de Cerrado e imageamento aéreo da área de estudo; 4) tratamento e processamento das imagens aéreas e orbitais; 5) análises estatísticas descritivas e multivariadas entre os dados obtidos por meio de SR e os dados de qualidade ambiental obtidos com aplicação do PAR.

Figura 27: Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: os autores.

5.2.2.1 Aquisição e processamento de imagens de satélite e imagens de VANT

A pesquisa foi realizada com imagens espectrais compreendendo as bandas RGB das plataformas orbitais *Sentinel 2*, sensor MSI (resolução espacial 10m) e *Planet* (resolução espacial 3 m), bem como imagens áreas por meio de VANT (resolução espacial centimétrica). As imagens do satélite *Sentinel 2* foram adquiridas na plataforma da Agência Espacial Europeia (ESA), processadas ao nível 1C. As imagens do satélite *Planet* foram adquiridas no *site* da *PlanetScope*, com quatro bandas espectrais RGB-NIR. As imagens do VANT foram realizadas com o drone Phantom 4 Pro V2, sensor CMOS, com bandas RGB. Todas as imagens foram obtidas entre os dias 19 e 24 de setembro de 2021, durante a estação seca, a fim de comparar os dados dos sensores em datas próximas.

As bandas espectrais das plataformas utilizadas (Figura 28) apresentam uma coincidência relativa às faixas dos espectros RGB (~400 nm a 750 nm) e serão utilizadas para comparar os índices espectrais (Tabela 14) e a qualidade ambiental.

Figura 28: Comparação das Faixas Espectrais no Espectro Visível do *Sentinel 2*, *Planet* and VANT.

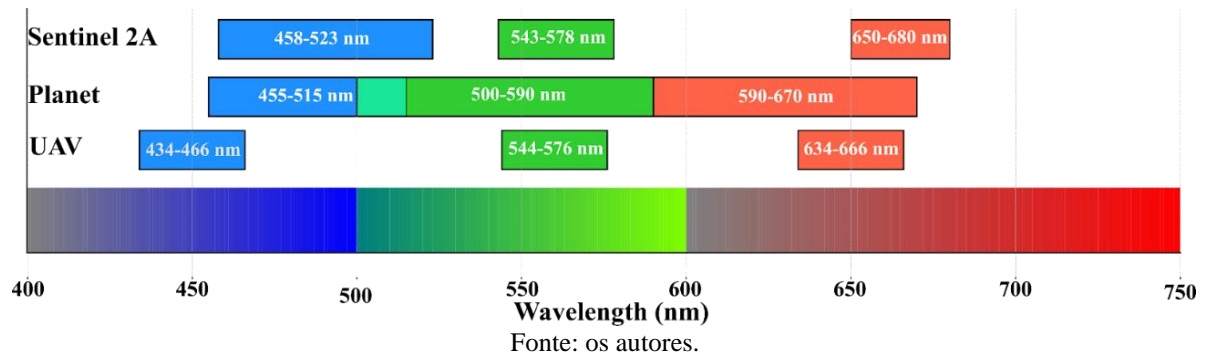


Tabela 14: Índices adaptados para as bandas espectrais RGB das plataformas VANT, *Planet* e *Sentinel*.

Nome do Índice	Índice	Equação	Referência
<i>Anthocyanin Reflectance Index</i>	ARI2	$((1 / B) - (1 / G)) * R$	Gitelson, Merzlyak e Chivkunova (2001)
<i>Carotenoid Reflectance Index</i>	CRI	$(1 / B) - (1 / G)$	Gitelson et al. (2002)
<i>Excess Green Index</i>	EXG	$2 * G - (R - B)$	Varela et al. (2021)
<i>Green Leaf Index</i>	GLI	$(2 * G - R - B) / (2 * G + R + B)$	Zhang et al. (2021)
<i>Modified Photochemical Reflectance Index</i>	MPRI	$(G - R) / (G + R)$	Tucker, 1979
<i>Redness Index</i>	RI	$(R - G) / (R + G)$	Escadafal e Huete (1991)
<i>Photochemical Reflectance Index</i>	PRI	$(B - G) / (B + G)$	Gamon, Serrano e Surfus (1997)
<i>Red-Green Ratio</i>	RGR	R / G	Gamon and Surfus (1999)
<i>Triangular Greenness Index</i>	TGI	$G - 0.39 * R - 0.61 * B$	Hunt Jr. et al. (2011)
<i>Visible Atmospherically Resistant Index</i>	VARI	$(G - R) / (G + R - B)$	Gitelson, Solovchenko e Alexei (2020)

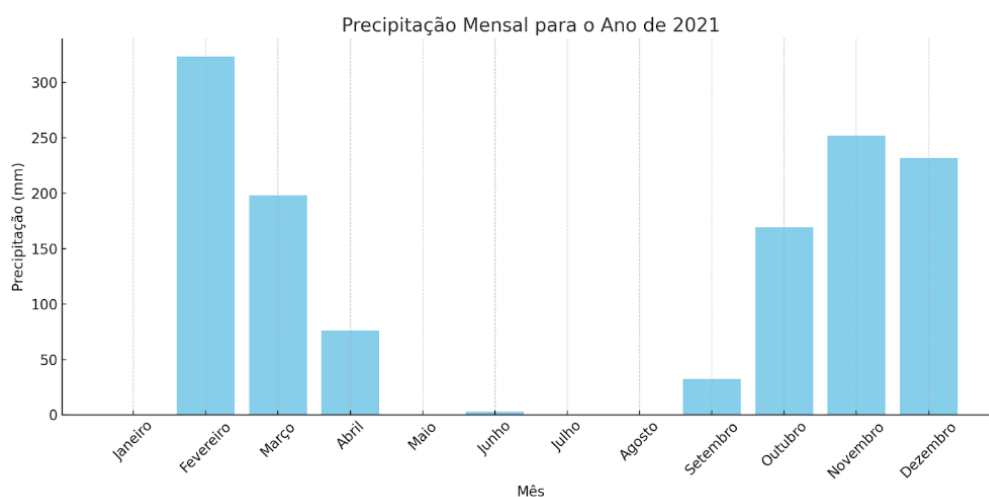
Fonte: os autores.

5.2.2.2 Aplicação do protocolo de avaliação rápida em remanescentes de Cerrado

O protocolo de avaliação rápida (PAR) foi adaptado conforme módulos sugeridos por Hannaford, Barbour e Resh (1997), Callisto *et al.* (2002), Gomes, Melo e Vale (2005), Rodrigues (2008), Costa e Reis (2014), Belizário (2015) e Silva *et al.* (2019). Ele engloba dezessete parâmetros, distribuídos em três categorias – geomorfologia do canal, qualidade da água e uso e cobertura do solo. Cada parâmetro recebe uma pontuação de 1 a 3, indicando, respectivamente, qualidade muito baixa, baixa, moderada, alta e muito alta. A soma dessas pontuações resulta no escore total para cada local, variando entre 17 e 51 pontos. Com base nas observações de campo, foi possível classificar a qualidade ambiental nas categorias: muito alta (A = 45 a 51 pontos), alta (B = 38 a 44 pontos), moderada (C = 31 a 37 pontos), baixa (D = 24 a 30 pontos) e muito baixa (E = menos de 24 pontos).

O questionário do PAR foi aplicado em 15 pontos, os quais variaram de acordo com diferentes critérios, como o tipo de intervenção no entorno, tipos de solo e declividade, durante o período de 21 a 24 de setembro de 2021. O período de aplicação caracterizou-se como o ponto mais alto de estiagem no município de Silvânia-GO, marcado por 64 dias sem registro de chuvas de abril a junho, interrompido por uma precipitação de 2,8 mm, seguido por mais 102 dias de ausência de chuvas na região até o dia 25 de setembro de 2021, conforme dados do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) (Figura 29). O período de seca pode ser entendido como um importante ponto de avaliação e observação da degradação do Cerrado, uma vez que as condições ambientais desfavoráveis são acentuadas, afetando intensamente a saúde e a resiliência da vegetação (Santos *et al.*, 2021).

Figura 29: Gráfico de precipitação do município de Silvânia, ano de 2021.



Fonte: Inmet, adaptado pelos autores.

5.2.2.3 Tratamento estatístico dos dados de sensoriamento remoto

Na etapa inicial da análise estatística, realizou-se a extração dos dados espectrais nos pontos de aplicação do PAR, em um buffer de 200 metros. O procedimento foi realizado pela ferramenta Estatísticas Zonais do *Software* QGIS (3.18.3), extraindo os valores de mediana para subsidiar a análise estatística descritiva e multivariada da qualidade ambiental e sua relação com os índices espectrais.

Na sequência, foi realizada uma análise exploratória dos dados para identificar quais índices espectrais e plataformas se adequam ao conjunto de dados e à qualidade ambiental obtida por meio do PAR. Para tanto, analisou-se a distribuição dos dados espectrais em relação à qualidade ambiental relacionada ao protocolo “PAR”, por meio de gráficos *boxplots*. Além disso, conduziu-se uma análise de componentes principais (Araújo; Coelho, 2009; Karamizadeh *et al.*, 2013; Smith, 2002;) com o intuito de identificar quais índices espectrais apresentam uma associação mais robusta com os valores de qualidade ambiental (PAR_VALOR) e a classe de qualidade ambiental (PAR_CLASSE).

Empregou-se a análise de regressão linear múltipla (Equação 12), por meio do método *backward*, para aferir se ocorre uma relação linear entre a qualidade ambiental (variável dependente) e os índices espectrais (variáveis independentes) das plataformas *Sentinel 2*, *Planet* e *VANT*. O método *backward* principia por um modelo de regressão que inclui todas as variáveis preditoras, eliminando progressivamente as menos significativas, com base no p-valor (com um limiar de 0,05). O processo é repetido até que somente as variáveis com significância estatística permaneçam, resultando em um modelo que busca otimizar o coeficiente de determinação (R^2) (Grégoire, 2014; Kumari; Yadav, 2018; Mishra *et al.*, 2020; Oshima; Dell-Ross, 2016).

Equação 12:

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n + \varepsilon_i \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

Y_i é a variável explicada ou dependente;

β_0 é Constante de regressão;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ são Coeficientes de regressão;

X_1, X_2, \dots, X_n são as variáveis explicativas ou independentes;

ε_i é o erro não explicado pelo modelo.

Os melhores modelos de regressão por plataforma (*Sentinel 2*, *Planet* e VANT) foram utilizados para gerar o mapa de qualidade ambiental nas áreas de amostragem, com o uso das fórmulas de regressão implementadas na ferramenta *Raster Calculator* do SIG *Arcgis*. Essa etapa teve como objetivo realizar uma análise descritiva e avaliar o impacto das resoluções espaciais e espectrais dos sensores sobre o mapeamento da qualidade ambiental nos remanescentes do bioma Cerrado. Esse procedimento permitiu comparar como as diferentes plataformas afetam a precisão do mapeamento de qualidade ambiental.

Utilizando mapas de regressão das plataformas *Sentinel 2* e *Planet*, foi possível gerar um mapa de qualidade ambiental, empregando para tal uma máscara de vegetação remanescente de Cerrado obtida com a base Mapbiomas (2021), numa área de aproximadamente 70 mil hectares. Sobre as imagens recortadas, foi aplicada a técnica de classificação não supervisionada *k-means* (Forgy, 1965) no *software* QGIS. Esse procedimento cria um agrupamento para o conjunto de dados em um número pré-definido de *clusters*. O mapa gerado com a classificação *k-means* representa, potencialmente, as classes de qualidade ambiental muito alta, alta, regular, baixa e muito baixa. O procedimento permitiu verificar a conformidade dos centroides atribuídos pela classificação *k-means* com as faixas de qualidade ambiental atribuídas pelo PAR.

O algoritmo *k-means* é uma técnica de aprendizado não supervisionado, que busca agrupar um conjunto de dados em um número pré-definido de *clusters*. No contexto do QGIS, tal algoritmo é bastante útil para realizar análises geoespaciais.

Na fase final da pesquisa, foi conduzida a análise de proximidade entre a qualidade ambiental entre as áreas de remanescentes de Cerrado e as áreas convertidas para pastagem e agricultura (nesta região predomina a monocultura de soja). Esse procedimento foi realizado com a criação de mil pontos aleatórios na imagem de qualidade ambiental, sendo distribuídos duzentos pontos para cada classe de qualidade ambiental (muito alta, alta, regular, baixa e muito baixa). Adicionalmente, foi gerado uma camada *raster* com a distância euclidiana dos usos do solo (pastagem e soja) obtidos no MapBiomas (2021), por meio da ferramenta *Euclidian Distance* do ArcGIS. Ao término desta etapa, foram gerados *boxplots* com a distribuição da distância entre as classes de qualidade ambiental e o uso do solo, a fim de avaliar, de forma exploratória, se existe relação (inversamente proporcional) entre as classes de qualidade ambiental nas áreas nativas com as classes de uso do solo.

5.3 Resultados

5.3.1 Qualidade ambiental

O trabalho de campo, com a aplicação do PAR, resultou na avaliação da qualidade ambiental de quinze locais, classificados em: dois como muito alta (A), seis como alta (B), seis como regular (C) e um como baixa (D) (Tabela 15). O resultado do PAR representa a qualidade ambiental referente às características da geomorfologia e sedimentologia do canal, qualidade da água e atividades humanas que alteram o uso e a cobertura da terra, desenvolvidas próximas ao local e que afetam a sua qualidade ambiental.

Os pontos de alta qualidade ambiental foram caracterizados, principalmente, por não apresentarem problemas de sedimentação do canal, qualidade da água e, sobretudo, por haver poucas atividades humanas evidentes nesses locais. Em contrapartida, as áreas com menor qualidade ambiental caracterizaram-se por intensa atividade humana no seu entorno, tais como atividades agrícolas, pouca vegetação, estrangulamento do canal, represamento, dentre outros.

Tabela 15: Classificação do protocolo de avaliação rápida dos pontos de coleta.

Protocolo de Avaliação Rápida																
Parâmetros		Pontos Avaliados														
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
Geomorfologia do Canal	Deposição de sedimentos	1	2	3	1	1	2	1	1	3	2	2	2	2	1	2
	Pontos de estrangulamento	3	1	2	2	2	3	3	1	2	3	3	3	3	2	2
	Estabilidade das margens	2	3	3	3	2	2	2	1	3	3	3	3	2	1	1
	Pontos de alagamento / inundação	3	3	1	3	2	3	1	1	3	3	3	3	3	3	3
Qualidade da Água	Cor da água	2	1	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	2	2	2
	Odor	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Materiais Flutuantes	1	2	1	1	1	2	1	2	2	3	2	2	2	2	2
	Espumas	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Óleos	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Lançamento de rede de esgoto	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Uso e Cobertura	Acesso ao local	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2
	Uso por animais no entorno	2	1	1	1	2	1	2	2	3	3	3	3	2	1	3
	Uso por humanos no Entorno	1	1	1	3	2	1	1	1	2	2	3	2	2	1	1
	Uso do canal	2	2	1	3	2	2	1	1	2	3	3	3	2	1	1
	Proteção das margens	2	2	2	2	2	1	2	1	3	2	3	2	2	2	2
	Conservação da vegetação	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	3	2	1	2	2
	Lixo ao redor	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Pontuação Final		38	37	35	39	37	36	35	30	43	45	47	43	39	33	38
Classificação		B	C	C	B	C	C	C	D	B	A	A	B	B	C	B

Fonte: os autores.

5.3.2 Estatística descritiva e distribuição

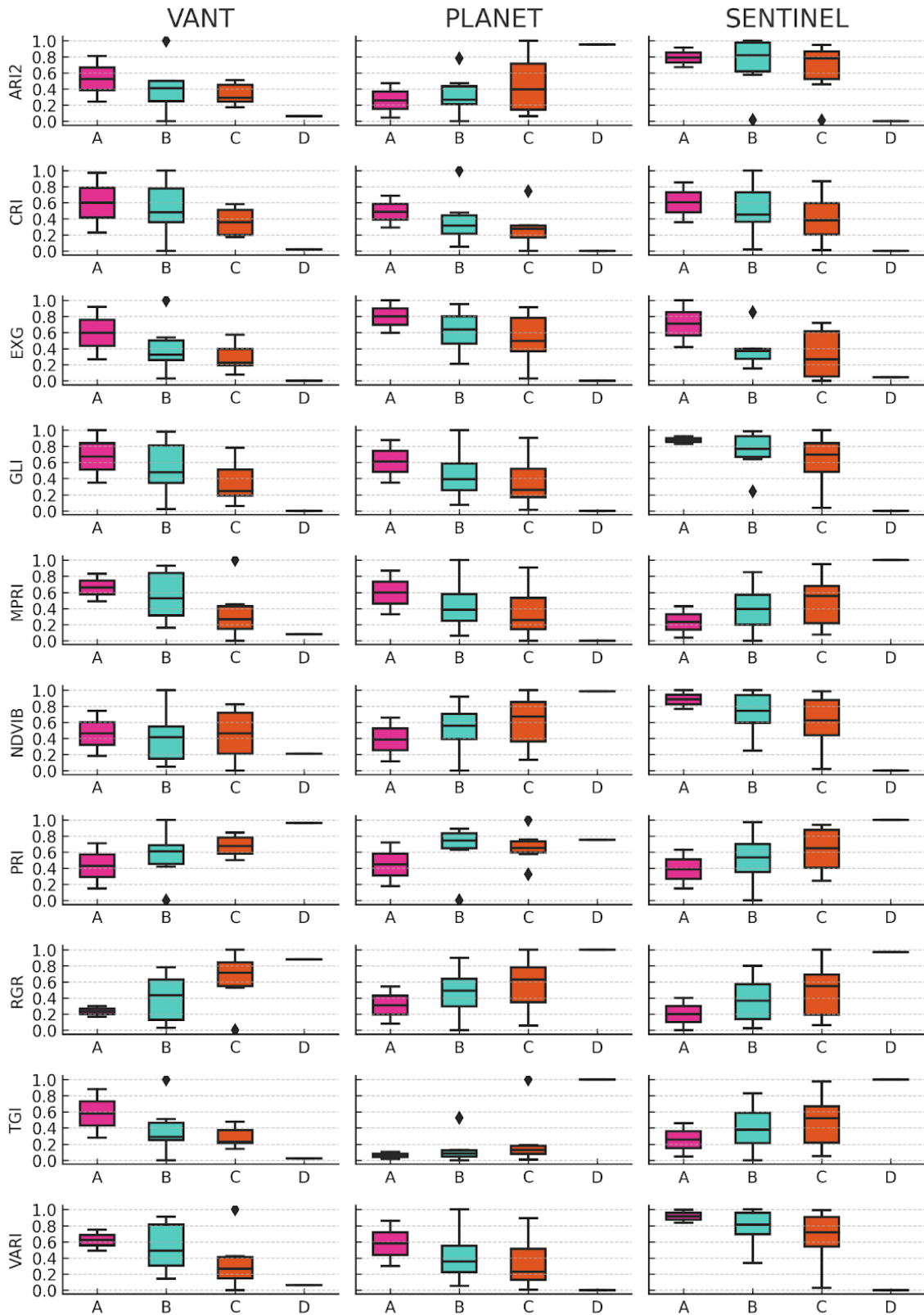
A Figura 30 apresenta os resultados da distribuição dos dados espectrais por classe de qualidade ambiental. Os gráficos apresentam os dados das plataformas VANT, *Planet* e *Sentinel*, para os dados avaliados nos quinze pontos de amostragem. A distribuição dos dados gerados com o VANT obteve as melhores correlações com os índices espectrais GLI, PRI, RGR, TGI e VARI. Esses índices apresentaram medianas bem diferenciadas entre todas as classes e pouca sobreposição lateral entre as classes de qualidade ambiental (Figura 30).

Os dados de distribuição da Plataforma *Planet* revelaram que os índices EXG, GLI, RI, RGR e VARI são os mais eficazes para diferenciar as classes ambientais ‘muito alta’, ‘alta’, ‘moderada’ e ‘baixa’. Esses índices espectrais apresentam intervalos interquartis diferenciados, medianas bem definidas e poucos *outliers*. RI e VARI são particularmente eficazes, com mínima sobreposição de dados entre as categorias e uma clara sequência de medianas.

A distribuição dos dados de qualidade ambiental da plataforma *Sentinel 2* apresentou uma boa diferenciação das medianas a partir dos índices GLI, RI e VARI, que tiveram as menores sobreposições entre as classes de qualidade ambiental e distribuições mais claras de seus valores, conforme pode ser visualizado na Figura 30. Os outros índices espectrais da plataforma *Sentinel 2*, embora diferenciem as classes na mediana, possuem sobreposições lateral consideráveis.

Ao analisar os índices espectrais por meio dos *boxplots* (Figura 30), observa-se que o *Sentinel 2* destaca-se pela clara separação entre as medianas das classes de qualidade ambiental, embora apresente uma expressiva sobreposição lateral. O satélite *Planet*, por sua vez, não apresenta uma progressão ordenada das medianas, como pode ser visualizado no índice PRI, bem como apresenta muitos *outliers* nos índices ARI2, CRI, PRI e TGI, com uma considerável sobreposição lateral entre as classes de qualidade ambiental em quase todos os índices espectrais, dificultando a distinção delas. Em uma análise preliminar e exploratória, os dados do VANT demonstram uma melhor distinção de medianas, menor intervalo interquartil e menor sobreposição lateral em comparação com os dados das plataformas *Sentinel* e *Planet*.

Figura 30: *Boxplots* de distribuição dos índices espectrais por qualidade ambiental - Muito Alta (A), Alta (B), Moderada (C), Baixa (D).



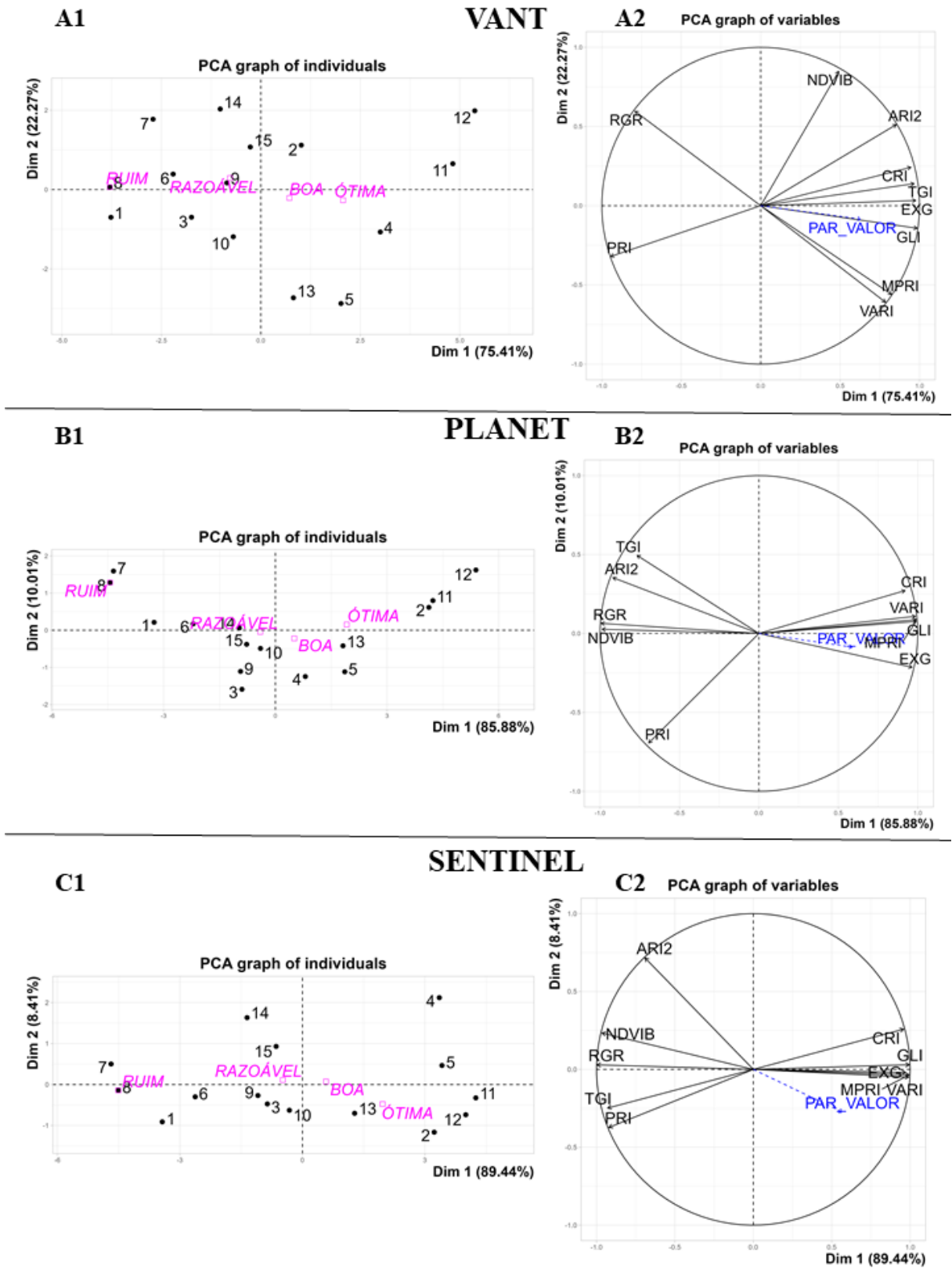
Fonte: elaborado pelos autores.

5.3.3 Análise de componentes principais dos sensores e qualidade ambiental

A análise de componentes principais (PCA) realizada entre as variáveis espectrais dos sensores do VANT, *Planet* e *Sentinel*, em conjunto com as variáveis suplementares de qualidade ambiental, PAR_CLASSE (variável categórica) e PAR_VALOR (variável suplementar numérica), mostrou que o *Sentinel* apresentou a maior variação cumulativa, somando-se à primeira e à segunda componente principal, com 97,8%. O VANT teve resultado similar, com 97,7%, e o *Planet* com 95,8% (Figura 31 e Tabela 16).

Em relação ao sensor *Sentinel*, os índices mais correlacionados com a dimensão 1 foram RGR (-0.998), GLI (0.996) e MPRI (0.994); para a dimensão 2, os índices mais correlacionados foram ARI2 (0.716), PRI (-0.373) e CRI (0.259). Na plataforma orbital *Planet*, RGR (-0.993), GLI (0.992) e MPRI (0.990) foram os índices mais correlacionados com a dimensão 1, e PRI (-0.694), TGI (0.494) e ARI2 (0.354) foram os mais correlacionados com a dimensão 2. Por fim, para o sensor VANT, GLI (0.986), EXG (0.977) e TGI (0.966) destacaram-se mais na correlação com a dimensão 1, enquanto RI (0.849), VARI (-0.609) e RGR (0.597) se destacaram para a dimensão 2.

Figura 31: Análise dos componentes principais dos sensores VANT, Planet e Sentinel.



Fonte: os autores (2023).

A variável suplementar contínua PAR_VALOR, analisada nos componentes principais, possui, no Sensor VANT, a maior contribuição na primeira dimensão, com cerca de 0,400 e, na dimensão 2, 0,007. O sensor *Sentinel* possui a segunda maior contribuição na dimensão 1, com 0,326, e 0,076 na dimensão 2. A plataforma *Planet* possui 0,348 na primeira dimensão e 0,034 na segunda. Desse modo, no contexto dessa análise, relativa ao parâmetro PAR_VALOR em relação à qualidade ambiental, a plataforma VANT é a que mais contribui na dimensão 1, enquanto o satélite *Sentinel* é mais contributiva na dimensão 2 (Tabela 16).

A primeira linha da Tabela 16, rotulada como ‘% of var.’, ilustra a porcentagem de variância total dos dados, explicada por cada componente principal de maneira isolada. Como exemplo, a primeira componente principal (dimensão 1) na plataforma VANT é responsável por 75,4% da variância total dos dados, enquanto a segunda componente principal (dimensão 2) adiciona mais 22,2%.

A segunda linha da Tabela 16,

denominada ‘Cumulative % of var.’, apresenta a porcentagem acumulada da variância explicada pelas componentes principais, considerando até a dimensão em questão. Por exemplo, no caso da plataforma VANT, as duas primeiras componentes principais (dimensão 1 e dimensão 2) explicam conjuntamente 97,7% da variância total dos dados.

Tabela 16: Eigenvalues – Contribuição nas componentes principais – VANT, *Planet* e *Sentinel* em *buffer* de 200 m.

	VANT		Planet		Sentinel	
	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 1	Dim. 2
% of var.	75.4	22.2	85.8	10.0	89.4	8.4
Cumulative % of var.	75.4	97.7	85.8	95.8	89.4	97.8

Fonte: os autores.

A Tabela 17 apresenta as correlações entre os índices espectrais e as duas primeiras dimensões da análise de componentes principais (PCA) para as plataformas VANT, Planet e Sentinel. As correlações expressam a relação linear entre cada índice espectral e as dimensões extraídas pela PCA, sendo que valores próximos de 1 ou -1 indicam forte associação positiva ou negativa, respectivamente.

Destacam-se, nas três plataformas, os índices EXG e GLI, que apresentaram fortes correlações positivas com a primeira dimensão, indicando que tais índices estão intimamente associados à variação explicada pela dimensão 1 da PCA. Outros índices, como CRI, MPRI, e VARI, também demonstraram elevada correlação com essa dimensão, o que sugere sua relevância para a caracterização espectral das áreas avaliadas.

Tabela 17: Correlação das variáveis espectrais com as principais componentes VANT, *Planet* e *Sentinel* em *buffer* de 200 m.

Variáveis Espectrais ou IVs	VANT		PLANET		SENTINEL	
	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2
ARI2	0.854	0.512	-0.919	<u>0.354</u>	-0.691	<u>0.716</u>
CRI	0.946	0.243	0.920	<u>0.272</u>	0.959	<u>0.259</u>
EXG	<u>0.977</u>	0.033	0.965	-0.214	0.971	-0.019
GLI	<u>0.986</u>	-0.142	<u>0.992</u>	0.088	<u>0.996</u>	0.030
MPRI	0.825	-0.560	<u>0.990</u>	0.076	<u>0.994</u>	-0.035
RI	0.492	<u>0.849</u>	-0.987	0.026	-0.966	0.234
PRI	-0.945	-0.321	-0.694	<u>-0.694</u>	-0.921	<u>-0.373</u>
RGR	-0.791	<u>0.597</u>	<u>-0.993</u>	0.064	<u>-0.998</u>	0.029
TGI	<u>0.966</u>	0.139	-0.767	<u>0.494</u>	-0.929	-0.248
VARI	0.786	<u>-0.609</u>	0.986	0.109	0.992	-0.050

Fonte: os autores (2023).

Embora as três plataformas apresentem padrões semelhantes, algumas particularidades são observadas. Na plataforma *Planet*, o índice ARI2 apresentou forte correlação negativa com a primeira dimensão, o que indica que menores valores de ARI2 estão associados a maiores escores na dimensão 1 da PCA, refletindo possíveis diferenças na resposta espectral associadas a esse índice. Já na plataforma *Sentinel*, todos os índices espectrais, exceto RI e RGR, demonstraram forte correlação positiva com a primeira dimensão. O índice RI, além de apresentar correlação negativa moderada com a primeira dimensão, mostrou correlação positiva com a segunda dimensão, sugerindo que essa variável contribui significativamente para a variação capturada pela segunda dimensão da PCA no *Sentinel*.

A Tabela 20 apresenta a qualidade da representação da variável de qualidade ambiental PAR_VALOR nas duas primeiras dimensões da PCA, expressa pelos valores de Cos2 (quadrado do cosseno). Valores mais elevados de Cos2 indicam que a variável é melhor representada no espaço definido pelas dimensões analisadas.

Tabela 18: Correlação da qualidade ambiental com as componentes principais do VANT, *Planet* e *Sentinel* em *buffer* de 200 m.

	VANT		Planet		Sentinel	
	Cos2. Dim. 1	Cos2. Dim. 2	Cos2. Dim. 1	Cos2. Dim. 2	Cos2. Dim. 1	Cos2. Dim. 2
PAR_VALOR	0.400	0.007	0.348	0.008	0.326	0.076

Fonte: os autores (2023).

Na primeira dimensão (dimensão 1), observa-se que a plataforma VANT apresenta a maior contribuição de PAR_VALOR ($\cos^2 = 0.400$), indicando uma representação

relativamente mais forte dessa variável pela dimensão 1. Isso sugere que a primeira dimensão da PCA, utilizando dados do VANT, é particularmente relevante para capturar aspectos significativos da qualidade ambiental medidos por PAR_VALOR. Comparativamente, as plataformas *Planet* e *Sentinel* também mostram contribuições importantes na dimensão 1, com valores de \cos^2 de 0.348 e 0.326.

Para a segunda dimensão (dimensão 2), as contribuições de PAR_VALOR são substancialmente menores em todas as plataformas, com o *Sentinel* apresentando a maior contribuição ($\cos^2 = 0.076$), seguido pelo *Planet* ($\cos^2 = 0.034$) e pelo VANT ($\cos^2 = 0.007$). Esses valores indicam que, embora a dimensão 2 capture aspectos adicionais da variabilidade dos dados, sua relevância para explicar a variabilidade da qualidade ambiental específica de PAR_VALOR é limitada em comparação com a dimensão 1.

A Tabela 19 apresenta a correlação entre variáveis suplementares categóricas e as principais componentes através do \cos^2 nas plataformas VANT, Planet e *Sentinel*. Na plataforma VANT, a primeira dimensão demonstra uma correlação significativa com altos níveis de qualidade ambiental, especialmente na categoria "Muito Alta" ($\cos^2 = 0.959$), enquanto a segunda dimensão mostra uma associação mais fraca. Isso indica que a dimensão 1 é predominantemente eficaz na captura da variabilidade relacionada à qualidade ambiental superior.

Em contraste, a plataforma *Planet* exibe uma distribuição mais equilibrada de informações entre as duas dimensões principais, com a dimensão 1 destacando-se na categoria "Moderada" ($\cos^2 = 0.975$) e a dimensão 2 ganhando relevância na categoria "Alta" ($\cos^2 = 0.152$). E a plataforma *Sentinel*, por sua vez, evidencia uma forte representação de níveis inferiores de qualidade ambiental na dimensão 1, particularmente na categoria "Baixa" ($\cos^2 = 0.984$), enquanto a dimensão 2 apresenta uma contribuição moderada para a categoria "Muito Alta" ($\cos^2 = 0.055$).

Tabela 19: Correlação das variáveis suplementares categóricas \cos^2 com as principais componentes.

	VANT		PLANET		SENTINEL	
	\cos^2 Dim. 1	\cos^2 Dim. 2	\cos^2 Dim. 1	\cos^2 Dim. 2	\cos^2 Dim. 1	\cos^2 Dim. 2
Muito Alta	0.959	0.016	0.972	0.006	0.939	0.055
Alta	0.891	0.077	0.806	0.152	0.962	0.015
Moderada	0.860	0.121	0.975	0.012	0.918	0.048
Baixa	0.997	0.000	0.898	0.075	0.984	0.001

Fonte: os autores.

Para a plataforma VANT, as categorias ‘muito alta’ e ‘alta’ estão positivamente correlacionadas com a Dimensão 1 (dimensão 1), enquanto as categorias ‘moderada’ e ‘baixa’ estão negativamente correlacionadas. A categoria ‘baixa’ tem uma correlação negativa bastante acentuada (-1.38), como observado na Tabela 20. Para a dimensão 2, a categoria ‘moderada’ é a única que mostra uma correlação positiva moderada.

Tabela 20: Correlação das variáveis suplementares categóricas v-Test com as principais componentes.

	VANT		PLANET		SENTINEL	
	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2	Dim.1	Dim.2
Muito Alta	1.104	-0.264	0.959	0.226	0.963	-0.763
Alta	0.799	-0.433	0.529	-0.672	0.590	0.240
Moderada	-0.862	0.595	-0.423	-0.137	-0.490	0.367
Baixa	-1.382	0.041	-1.515	1.281	-1.507	-0.153

Fonte: os autores.

Analogamente, na plataforma *Planet* (Tabela 22), as categorias ‘muito alta’ e ‘baixa’ mostram uma correlação negativa com a dimensão 2, sendo a categoria “baixa” mais expressiva. Na dimensão 1, a correlação é positiva para a categoria ‘muito alta’ e negativa para ‘alta’ e ‘moderada’. A categoria ‘baixa’ apresenta uma correlação negativa intensa.

Por fim, na plataforma *Sentinel*, o padrão é semelhante ao observado na plataforma *Planet* para a dimensão 1, porém, na dimensão 2, a categoria ‘muito alta’ apresenta uma correlação negativa intensa.

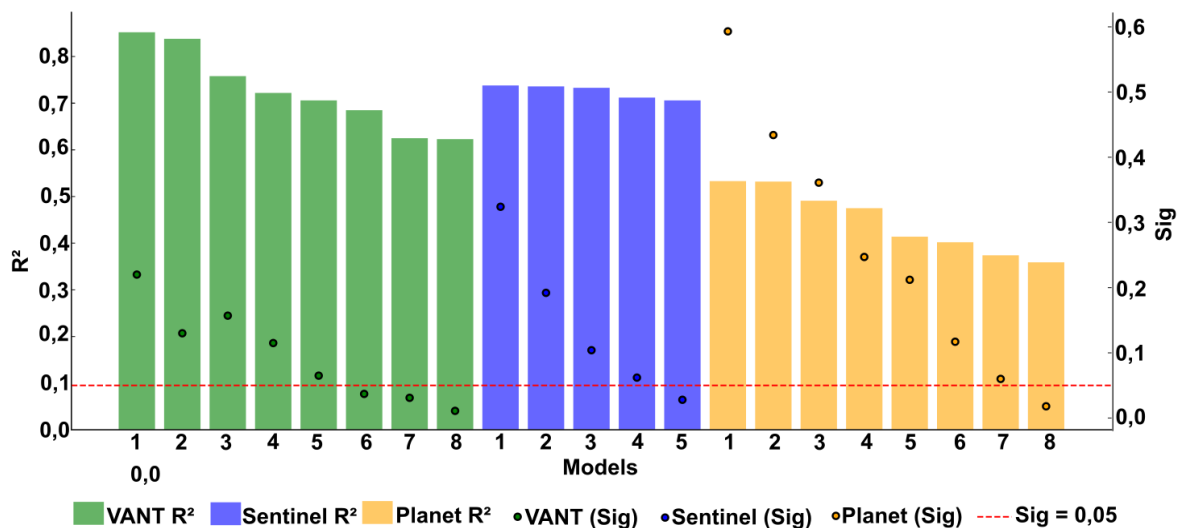
5.3.4 Regressão qualidade ambiental x índices espectrais

Foram elaborados modelos de regressão linear entre o PAR (PAR_VALOR) e os IVs obtidos com dados de satélite e VANT (Figura 32). A avaliação dos modelos foi realizada a partir do coeficiente de determinação (R^2) e p-valor com significância de 95%. Há diferenças entre os modelos determinados com os diferentes sensores e plataformas, de modo geral, por existir tendência dos melhores modelos obtidos com VANT, *Sentinel* e *Planet*, respectivamente.

Com relação a cada sensor, para a plataforma *Sentinel*, o modelo mais preciso foi o 5-*Sentinel* ($R^2 = 0,706$ e p-valor =0,028); para a plataforma VANT, a precisão do modelo 6-

VANT foi a segunda mais alta ($R^2 = 0,685$ e $p\text{-valor} < 0,037$), indicando os IVs gerados com esse sensor como o melhor modelo para explicar o PAR estatisticamente. Já para a plataforma *Planet*, os modelos tiveram o menor nível de significância, ou seja, coeficientes de determinação mais baixos quando comparados com as outras plataformas. Dentre os modelos gerados pelos dados do Planet, o ‘modelo de regressão 8’ foi o que obteve melhor resultado, dentre eles, com $R^2 = 0,359$ e $p\text{-valor} < 0,018$, indicando que os dados do Planet não se correlacionaram tão fortemente com os parâmetros de qualidade ambiental medidos quanto os dados de outras plataformas. Desse modo, os sensores *Sentinel* e VANT demonstraram ser os mais eficazes na correlação com os dados de qualidade ambiental obtidos com o PAR.

Figura 32: Modelos de regressão obtidos da relação entre PAR e índices de vegetação elaborados com os satélites *Sentinel* e Planet, e veículo aéreo não tripulado (VANT).



Fonte: os autores. Sig = Significância

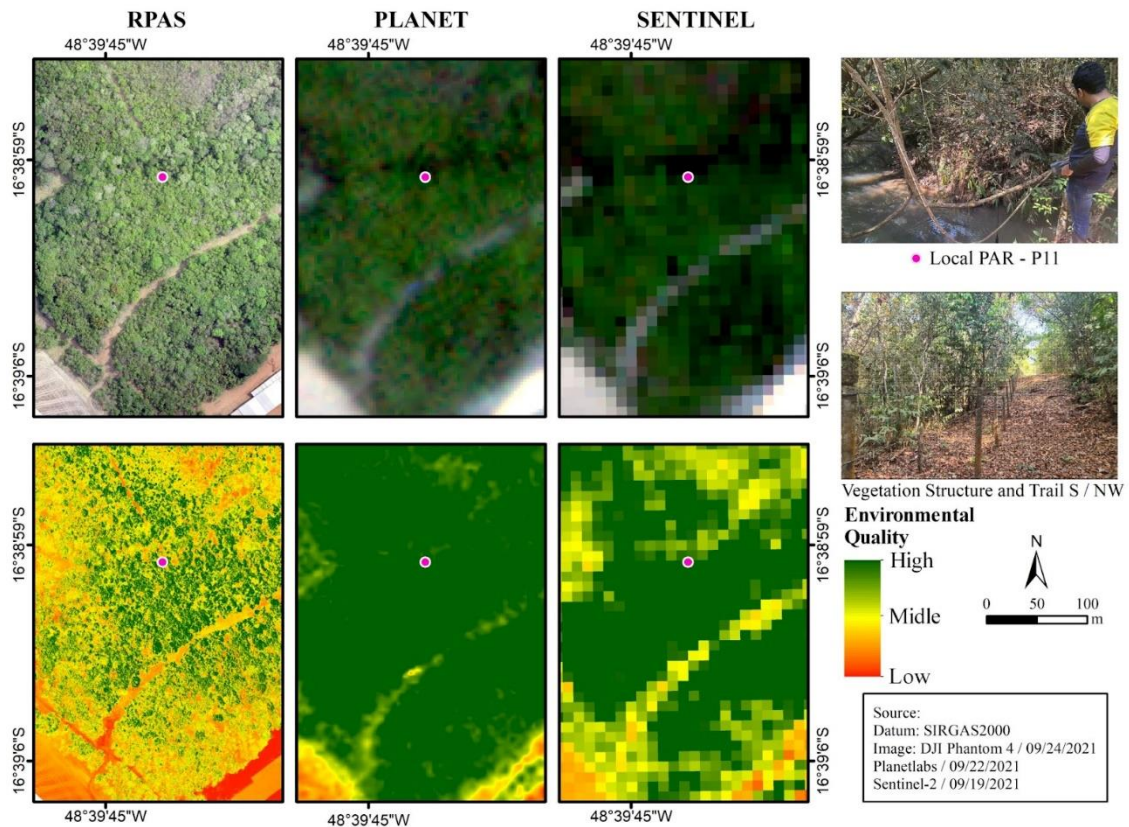
5.3.5 Mapa de qualidade ambiental: comparação de plataformas

Baseado nos melhores modelos de regressão obtidos por meio dos IVs, para estimar o valor do protocolo de avaliação rápida, foram gerados mapas de qualidade ambiental para as plataformas *Sentinel 2*, *Planet* e VANT. Mesmo que os IVs gerados do Planet não resultassem em bons coeficientes de correlação com dados PAR, o mapa também foi considerado com essa plataforma, visto que a resolução espacial desse sensor pode compensar seu baixo desempenho estatístico, ao auxiliar o analista na discriminação dos alvos na superfície.

Os mapas apresentam a distribuição da qualidade ambiental dos remanescentes de Cerrado em categorias de qualidade ambiental (Tabela 15), sendo classificados conforme o PAR: P11, categoria muito alta (Figura 33), P04, categoria alta (Figura 34), P06, categoria moderada (Figura 35), e P08, categoria baixa (Figura 36).

No ponto P11, localizado no interior da Floresta Nacional (Flona) de Silvânia, o PAR foi classificado como de muito alta qualidade ambiental (Figura 33). Sua proximidade com a Flona é um dos fatores que contribuem para sua alta classificação. A presença contínua de vegetação nativa, particularmente nas proximidades do curso d'água, é indicativo de um ecossistema bem conservado e resiliente. Isto é, apresenta área de preservação permanente (APP) com alta conservação e uma estrutura de vegetação robusta e de grande porte, indicando um ecossistema maduro e bem estabelecido. As margens do curso d'água têm alta estabilidade e baixa sedimentação no canal, além da água ser clara e transparente, conforme observações realizadas em campo.

Figura 33: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, *Sentinel*, *Planet* e o PAR. Exemplo para a classe muito alta.

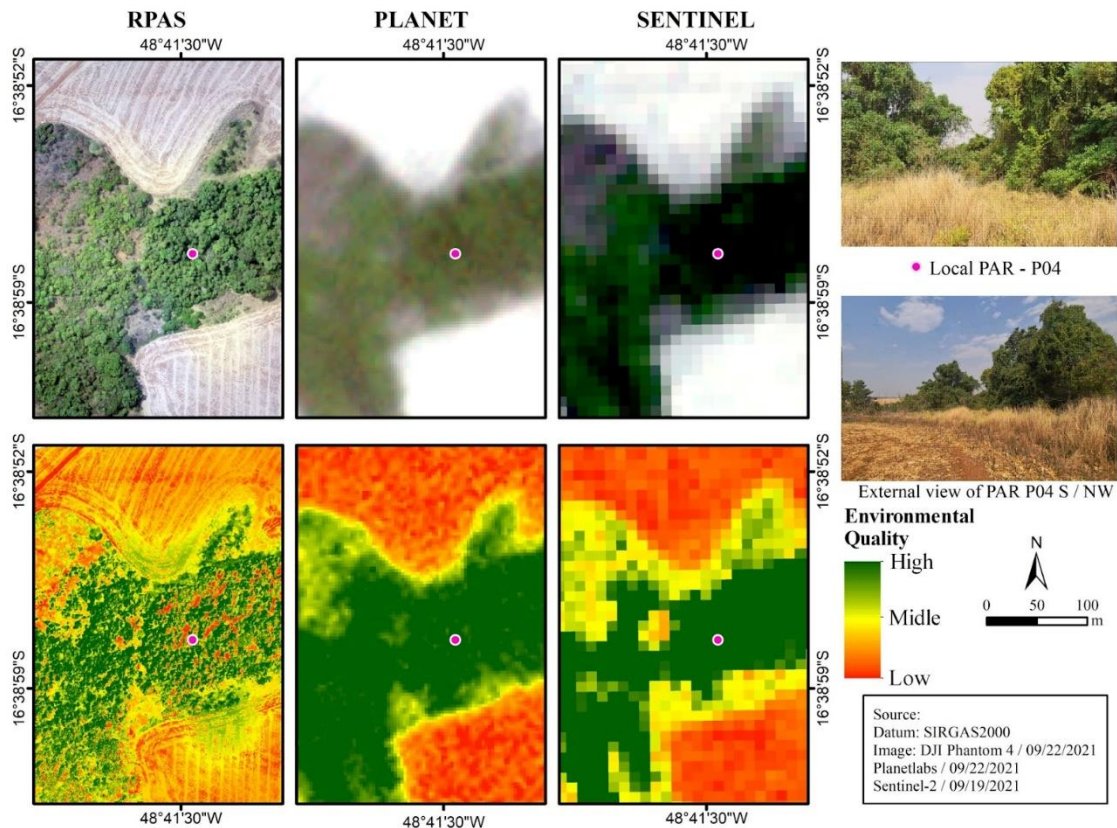


Fonte: os autores

De forma geral, nota-se, na Figura 34, a abundância de cores verdes, escura e clara, indicativas de classificação de ‘alta’ qualidade ambiental nas três plataformas. Verifica-se, também, a presença de alguns pontos em amarelo, laranja e vermelho, indicando uma pior qualidade ambiental, particularmente na imagem do VANT e também no *Sentinel 2*. No VANT, pode ser explicado pela resolução espacial de 5 cm, destacando os locais com solo exposto, presença de árvores caducifólias, e locais com ausência de vegetação de grande porte. No *Sentinel 2*, a ocorrência de áreas laranjas e vermelhas pode ser entendida como uma alta sensibilidade espectral da plataforma, a qual conseguiu capturar pequenas nuances, mesmo possuindo resolução espacial de 10 m. A plataforma *Planet* teve tendência de superestimar a qualidade ambiental muito alta, fornecendo menos detalhes que o *Sentinel* e VANT, o que pode ser atribuído à baixa resolução espectral.

No ponto P04 (Figura 34) foi aferida a qualidade ambiental ‘alta’, pois os remanescentes de vegetação são rodeados pela agricultura e nas bordas há vegetação secundária e capim do tipo braquiária; a vegetação remanescente possui efeito de borda com a agricultura, constatando-se a presença de sedimentação no canal. Tanto o VANT quanto o *Sentinel 2* retratam a paisagem com tons verdes e amarelados e o VANT oferece mais detalhes, principalmente ao destacar áreas de solo exposto e a ausência de vegetação de grande porte no interior da APP.

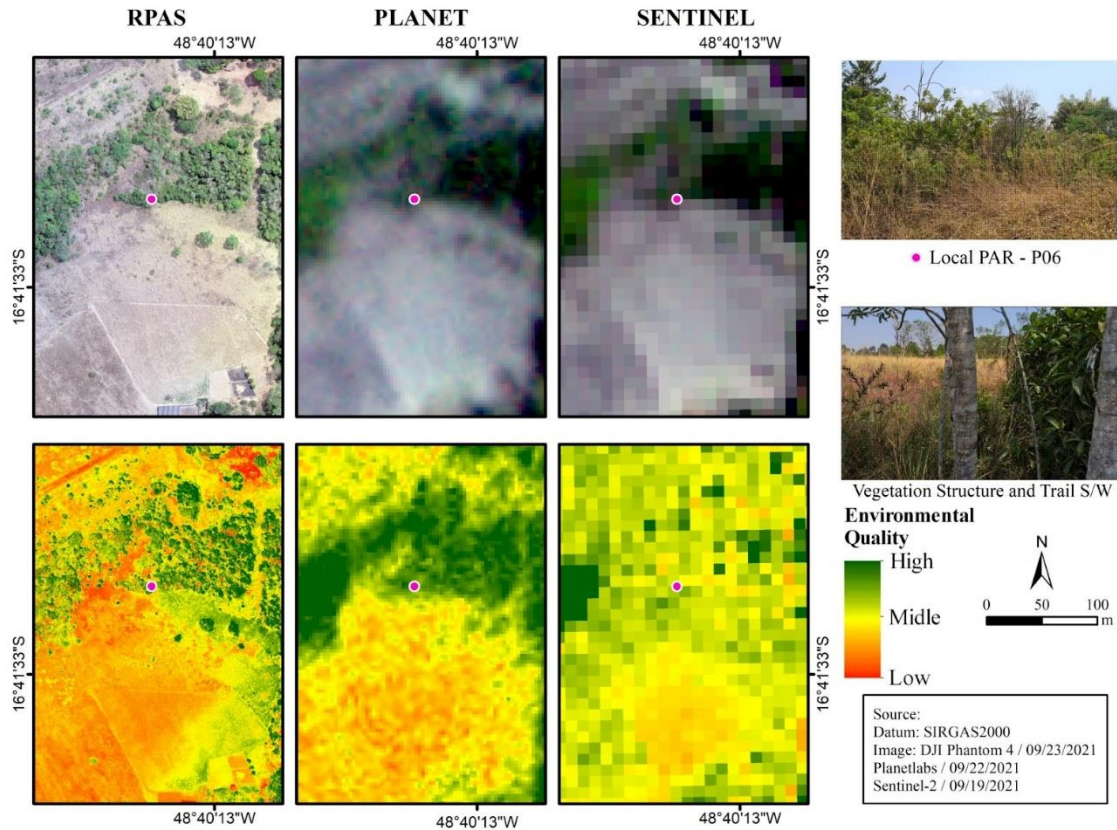
Figura 34: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, *Sentinel*, *Planet* e o PAR. Exemplo para a classe alta.



Fonte: os autores.

No P06 (Figura 35), a qualidade ambiental é ‘moderada’, todas as plataformas apresentam tons amarelados ou alaranjados, indicando uma qualidade inferior, com o VANT e o *Sentinel 2*, enfatizando a fragmentação da vegetação do Cerrado. No *Sentinel*, o índice de qualidade ambiental está pixelizado, mas similarmente ao VANT, indicando uma alta fragmentação da paisagem, observada pelos tons amarelo e laranja, com poucos pixels representando a qualidade ‘muito alta’. O remanescente de Cerrado apresenta alta fragmentação e o seu entorno tem presença de pecuária extensiva. O local possui uma densa invasão de pastagem do tipo braquiária, que alcança as margens do córrego, cujo canal está com assoreamento, conforme relatado no PAR. Tanto no P04 quanto no P06, o *Planet* superestimou a qualidade ambiental, suavizando a fragmentação dos remanescentes de Cerrado.

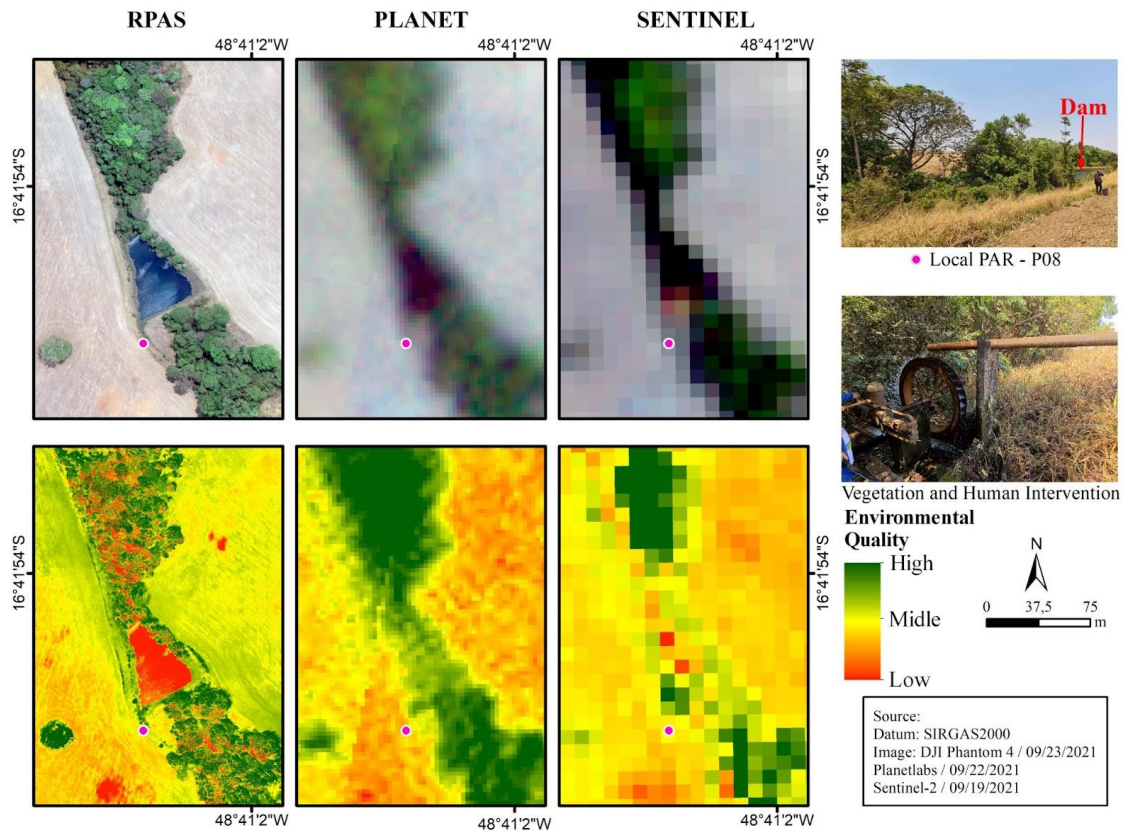
Figura 35: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, *Sentinel*, *Planet* e o PAR. Exemplo para a classe moderada.



Fonte: os autores.

A qualidade ambiental ‘baixa’ do PAR é retratada com o P08 (Figura 36). A paisagem nessa área inclui um curso d’água com represamento e agricultura no seu entorno, ilustrando intervenções antrópicas significativas no ambiente. A área é circundada por atividades agrícolas, no entanto, nas bordas da APP foi notada a presença de capim braquiária, sugerindo que o local já foi utilizado para pecuária. Próximo à represa, a APP se encontra totalmente degradada e ocupada por pastagem. A agricultura, associada à falta de vegetação nativa na APP, contribui para a sedimentação do canal. Além disso, há pedaços de troncos de árvores e matéria orgânica em decomposição no interior da APP. A água da represa é direcionada, por um pequeno canal, até uma roda hidráulica, na margem do córrego, sendo devolvida ao curso d’água em uma parte concretada.

Figura 36: Mapa de qualidade ambiental de remanescentes de Cerrado, obtido com a equação de regressão entre RPAS, *Sentinel*, *Planet* e o PAR. Exemplo para a classe alta.



Fonte: os autores.

Em geral, as três plataformas apresentam aspectos tanto positivos quanto negativos em sua relação com o PAR. Os IVs com dados VANT mostram o solo exposto nas tonalidades vermelho e amarelo, indicando baixa qualidade ambiental nessas áreas; de acordo com os dados PAR, esse comportamento é o esperado. A principal vantagem do VANT, em relação aos satélites, é o destaque dos locais com presença de vegetação, sendo possível visualizar árvores individuais, trilhas, aceiros e estradas, bem como áreas com solo exposto. Nessa perspectiva, o VANT tende a subestimar os dados do PAR, no entanto, o método do PAR classifica a área de modo horizontal, até onde o operador em campo consegue visualizar; já o VANT permite a visão aérea, com mais detalhes e ótima resolução espacial, mesmo que tenha menor resolução espectral (sensor RGB).

A resolução espacial do *Sentinel* prejudicou a classificação dos pixels, causando confusão entre as áreas. Já a mais alta resolução espectral reduziu essa confusão, sendo possível discernir áreas alagadas de mata ciliar. Esse satélite categorizou a maior parte da área como qualidade ambiental baixa, sinalizando a presença de solo exposto e degradação das APP. Esses

resultados sugerem possíveis alterações nos remanescentes de vegetação nativa, indicando comprometimento na qualidade dos remanescentes de Cerrado.

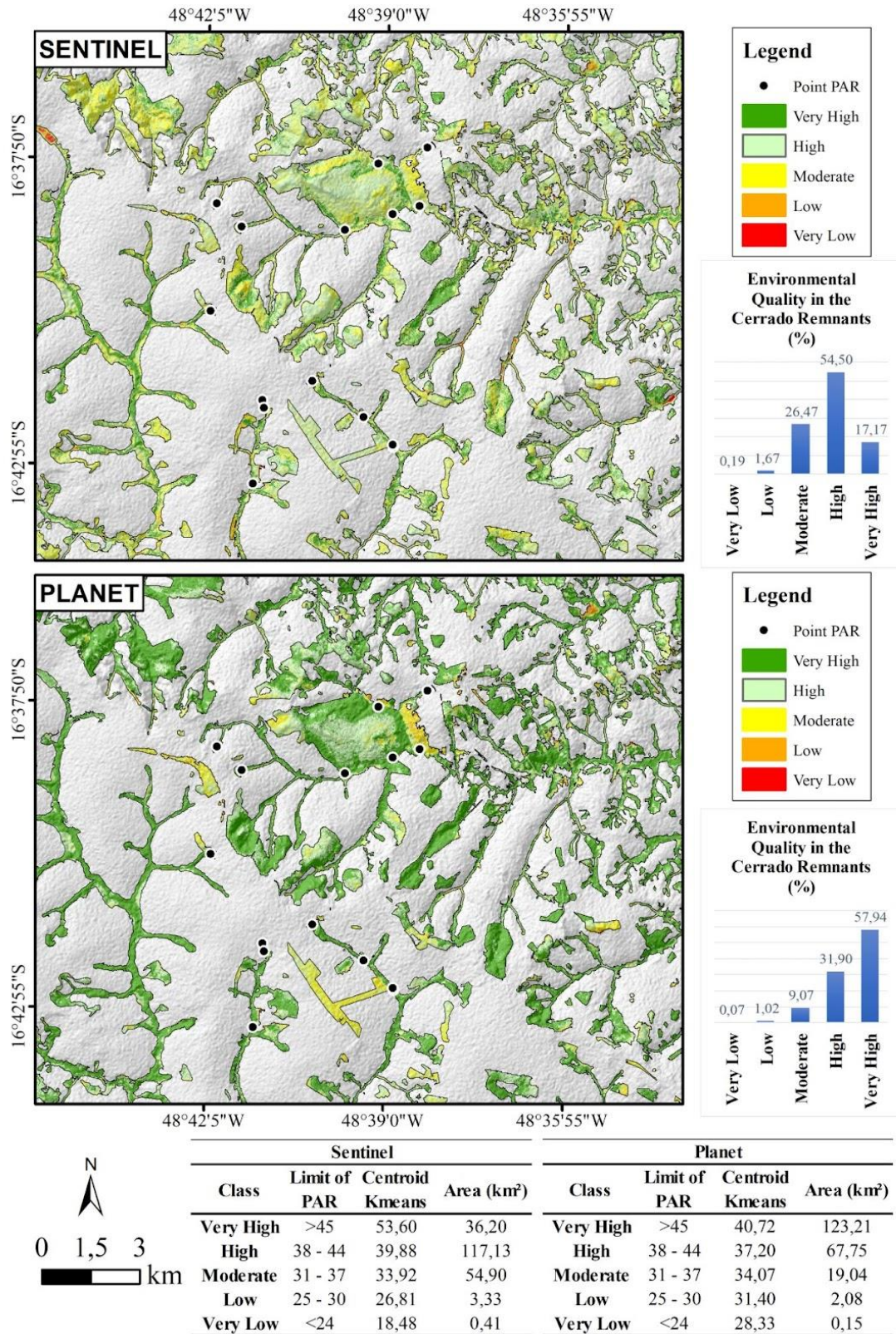
A qualidade ambiental em áreas de APP foi superestimada com os IVs do satélite *Planet*, além de resultar em confusão espectral entre a mata ciliar e a água. Esse comportamento pode estar relacionado sensibilidade espectral de suas respectivas bandas RGB para distinguir esses dois tipos de cobertura do solo.

5.3.6 Extrapolação de qualidade ambiental nas plataformas *Planet* e *Sentinel*

A quantificação e extrapolação das classes de qualidade ambiental nas áreas de remanescentes de Cerrado próximas à Floresta Nacional de Silvânia, realizada via classificação não supervisionada, revela nuances importantes na capacidade de detecção das plataformas *Sentinel* e *Planet*. Segundo os dados apresentados, a plataforma *Sentinel* demonstrou alta precisão, situando os centroides de todas as suas classes de qualidade ambiental estritamente dentro dos limites estabelecidos pela metodologia de coleta e análise do PAR. Isso reflete uma distribuição de área acurada entre as categorias de qualidade ambiental, que são: muito alta (36,20 km²), alta (117,13 km²), moderada (54,90 km²), baixa (3,33 km²) e muito baixa (0,41 km²) (Figura 37).

Por outro lado, a plataforma *Planet*, apesar de ter identificado uma extensão maior de áreas classificadas como de alta e muito alta qualidade ambiental (123,21 km² e 67,75 km², respectivamente), não alcançou a mesma precisão, com exceção da categoria moderada (19,04 km²), quando se trata do limite do PAR. Os centroides das categorias de qualidade baixa e muito baixa (2,08 km² e 0,15 km², respectivamente), bem como de alta e muito alta, foram posicionados fora dos limites do PAR, indicando uma possível superestimação dessas classes. Esses resultados podem estar relacionados com o baixo coeficiente de determinação obtido no modelo de regressão com as imagens *Planet*.

Figura 37: Mapa de qualidade ambiental nos remanescentes de Cerrado, baseados no *Sentinel* e *Planet*.



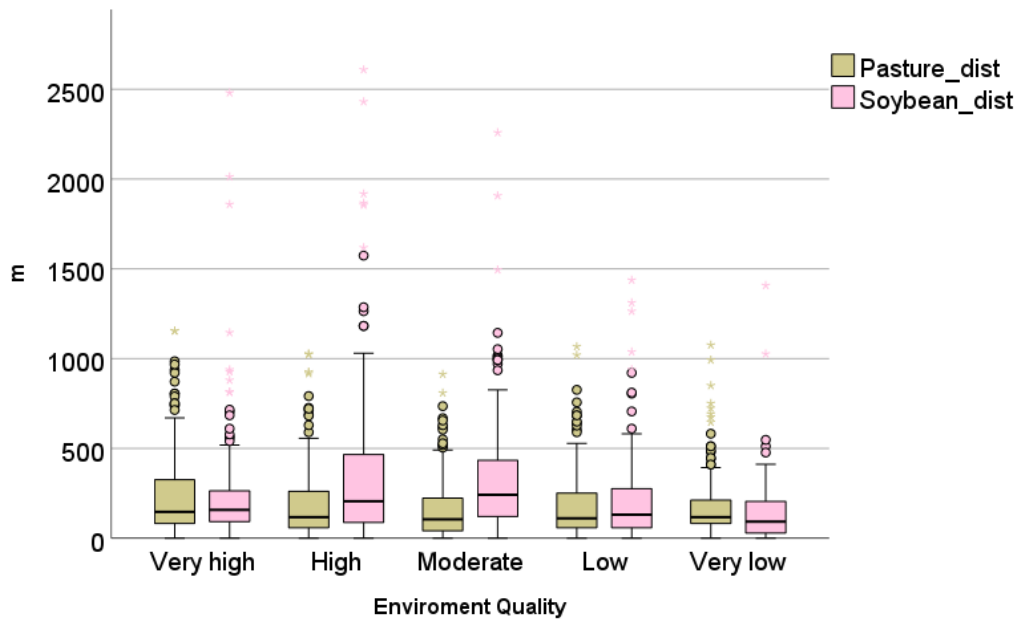
Fonte: os autores.

5.3.7 Análise de proximidade de uso do Solo com as áreas de remanescentes de Cerrado

A análise de proximidade do uso solo, incluindo as classes pastagem, agricultura e remanescentes de Cerrado, oferece um indicativo de como a qualidade ambiental dos remanescentes pode estar associada à cobertura do solo mais próxima (Figura 38). No caso da pastagem, de forma geral, as medianas das distâncias são relativamente consistentes entre as diferentes classes de qualidade ambiental dos remanescentes de Cerrado. Tal consistência pode indicar que a pastagem, por si só, não exerce um impacto direto ou significativo na qualidade ambiental dos remanescentes analisados. Adicionalmente, a distribuição mais ampla de distâncias, observada em algumas classes, particularmente em remanescentes de qualidade ‘muito alta’, sugere existirem outros fatores, além da mera proximidade com a pastagem, que possivelmente influenciam a qualidade ambiental do Cerrado.

Ao analisar a proximidade de remanescentes de Cerrado com áreas de soja, verifica-se um gradiente perceptível de piora na qualidade ambiental dos remanescentes à medida que se aproximam da área plantada. Tal padrão é particularmente evidente ao comparar as classes ‘moderada’, ‘baixa’ e ‘muito baixa’. A mediana das distâncias para essas classes diminui progressivamente, indicando que remanescentes com qualidade ambiental inferior tendem a estar mais próximos das áreas de cultivo de soja. Pode-se verificar, ainda, que nessas classes de qualidade ambiental há valores menos dispersos, indicando as classes ‘moderada’, ‘baixa’ e ‘muito baixa’ para a proximidade dos remanescentes com o cultivo de soja. Embora haja uma tendência geral em relação à proximidade da soja e à qualidade ambiental, as diferenças observadas entre as classes ‘muito alta’ e ‘alta’ sublinham a complexidade das interações entre o uso da terra e a conservação do Cerrado.

Figura 38: Gráfico Qualidade *ambiental versus* uso da terra (pastagem e soja).



Fonte: os autores.

5.4 Discussões

5.4.1 Integração do protocolo de avaliação rápida e SIG

Originalmente, o PAR foi desenvolvido para avaliações pontuais, por se tratar de uma ferramenta empírica, que se apoia na opinião de especialistas, a fim de avaliar a qualidade ambiental, a qualidade da água, a qualidade de áreas úmidas, dentre outros (Bersot; Menezes; Andrade, 2015; Callisto *et al.*, 2002; Guimarães; Rodrigues; Malafaia, 2017; Silva *et al.* 2019; Vargas e Ferreira Júnior, 2012). Algumas pesquisas têm buscado, contudo, a integração dessa técnica a dados de sensoriamento remoto em ambiente SIG. Nossos resultados apresentam a integração direta da metodologia do PAR na modelagem de qualidade ambiental, utilizando modelos estatísticos de regressão em multiplataformas de imagens de sensoriamento remoto em ambiente SIG.

Por outro lado, essa integração do PAR em modelagem SIG tem sido utilizada de forma complementar, seja para validar os modelos de fragilidade ambiental e/ou qualidade ambiental, os quais, comumente, são construídos com base em produtos de sensoriamento remoto e ferramentas de geoprocessamento, como a *Analytic Hierarchy Process* (AHP) (Celestino *et al.*, 2019). O PAR também é realizado para aferir, validar e comparar as taxas de alteração do uso da terra com a qualidade ambiental, após a realização de modelos de classificação do uso da

terra (Silva; Rodrigues; Fonseca, 2023), ou, também, são utilizados como dados de entrada para modelos de classificação do uso da terra por técnicas de *ground truthing* (verdade terrestre), para comparar os resultados da classificação com observações detalhadas obtidas no PAR (Quinn; Burns, 2015).

5.4.2 Comparação do PAR com os Índices Espectrais

Os IVs expressam características da vegetação, tais como áreas sob estresse hídrico, quantificação da vegetação, área foliar, avaliação da biomassa, dentre outras (ARI2, CRI, EXG, GLI, MPRI, RI, PRI, RGR, TGI e VARI), conforme Tabela 14. Esses índices têm sido aplicados para analisar e monitorar lavouras, em conjunto com controles de campo, examinando o vigor vegetativo de diversas culturas, a fim de obter maior produtividade (Feng *et al.* 2022; Frachini *et al.*, 2018; Possoch *et al.*, 2016). Também são integrados a índices ecológicos para estimar a qualidade ambiental em áreas de vegetação natural, tal como o *Ecological Quality Assessment* (EQA) (Ding *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2012). Entretanto, esses estudos que utilizam o EQA, a partir de dados de SR e SIG, são usados para detalhar a qualidade ambiental regionalmente, muitas vezes em microbacias, fornecendo poucos detalhes em escalas locais.

Os resultados deste trabalho apresentam um detalhamento ao nível de pixel, tanto ao utilizar imagens de SR aéreas e orbitais, que possibilitam mapeamento tanto em escala regional (como o *Sentinel 2* e o *Planet*), quanto local (VANT). Métodos semelhantes foram utilizados por Morgan, Wang e Morris (2021) para estimar a biomassa por meio de regressão linear, com o IV RGB e amostragem em campo. Masocha *et al.* (2017) utilizaram modelo semelhante para estimar o total de sólidos suspensos (TSS) em água, por meio do NDVI, e Gould (2000) modelou a diversidade de vegetação por meio de métodos de regressão múltipla e NDVI. Esses tipos de abordagens são viáveis devido à sensibilidade da vegetação e da biodiversidade local aos impactos ambientais, tais como erosão do solo, estresse hídrico, urbanização, desmatamento, dentre outros (Jiao *et al.*, 2009; Jin; Wang; Li, 2018; Patten; Rouse; Stromberg, 2008). Esses fatores influenciam as características espectrais da cobertura vegetal, especialmente em ecossistemas como o Cerrado (Trancoso; Sano; Meneses, 2015), causando alterações nos índices espectrais. Tais alterações podem auxiliar a identificar os impactos ambientais e a qualidade do ambiente.

5.4.3 Sensoriamento remoto e impactos ambientais em áreas com remanescentes de vegetação

Áreas de remanescentes de vegetação em zonas ripárias, que estão próximas a áreas com intensivo uso da terra para atividades agropecuárias e urbanas, são influenciadas por diversos tipos de impactos, tais como uso de defensivos agrícolas, queimadas, desmatamentos e processos de intensificação de sedimentação no canal.

Pesquisas sobre a diversidade biológica de vegetação natural em áreas próximas a zonas de uso intensivo de agroquímicos, desenvolvidas por Schmitz, Hahn e Brühl (2014), indicaram que as aplicações contínuas de fertilizantes e herbicidas resultam em uma redução significativa na frequência de diversas espécies vegetais e na extinção de comunidades vegetais menos tolerantes a defensivos agrícolas. As análises aqui realizadas revelam que as regiões com menor qualidade ambiental estão mais próximas das plantações de soja e milho (Figura 38), cuja aplicação de agrotóxicos é frequente. Essa constatação é reforçada pelo estudo de Yousef *et al.* (2019), que utilizaram o NDVI de imagens de satélite *Landsat* para mostrar que as vegetações ripárias próximas a zonas agrícolas são mais afetadas pelos pesticidas aplicados. Essas informações corroboram com a influência desses impactos ambientais nos índices de vegetação e na diversidade da qualidade ambiental identificada nesta pesquisa.

Pace *et al.* (2022) identificaram a qualidade ambiental de zonas ripárias por meio de IVs, análise de fragmentos de vegetação e trabalho de campo. Os autores verificaram que as perturbações ambientais nessas áreas têm efeitos diretos na estabilização das margens dos canais, contribuindo para a erosão e a sedimentação do leito dos rios. Os resultados descritos neste artigo demonstraram que áreas com a presença de margens menos estabilizadas, com erosão e sedimentação do canal, obtiveram menor pontuação de qualidade ambiental aferida pelo PAR (Tabela 15). Nesse sentido, também, é possível interpretar que os impactos de fragmentação da vegetação nativa, além de aumentar o processo de sedimentação do canal e desestabilizar as margens, alteraram os valores de reflectância da vegetação e os IVs nesses locais (Figura 30 e Figura 31), corroborados pelos resultados de Trancoso, Sano e Meneses (2015), que analisaram as alterações espectrais no bioma Cerrado a partir de ações de desmatamento.

5.5 Considerações finais

Os resultados obtidos neste estudo destacam a eficácia das plataformas de sensoriamento remoto e dos índices de vegetação na modelagem e extrapolação da qualidade ambiental. Essa análise foi especialmente relevante em áreas extensas do bioma Cerrado, com intenso uso do solo.

A metodologia proposta se diferencia ao permitir identificar a qualidade ambiental em larga escala, utilizando tecnologias de baixo custo, como os VANT e satélites. Essa abordagem abre caminhos para realização de estudos ambientais mais acessíveis e abrangentes.

Os desafios enfrentados foram significativos, relacionados ao processamento de grande volume de dados espaciais, incluindo os dados de sensoriamento remoto. Para superar isso, sugere-se a implementação de modelagens em ambientes de processamento de dados em nuvem, como o *Google Earth Engine* (GEE), que facilitam o manejo e a análise dessas informações.

Embora os resultados atuais se baseiem em dados de um período único, a metodologia tem potencial para ser aplicada em análises temporais. Isso permitirá o acompanhamento de tendências e mudanças na qualidade ambiental ao longo do tempo, fornecendo *insights* valiosos para a gestão sustentável do bioma Cerrado.

Este estudo demonstra a viabilidade de modelar a qualidade ambiental em múltiplas escalas de detalhamento (viabilizadas por satélites e drones), por meio do uso de índices de vegetação e verificações em campo. Os índices espectrais revelaram-se eficazes para identificar variações na complexidade ambiental, permitindo a detecção de áreas que necessitam de recuperação prioritária ou de conservação intensificada. Essa abordagem é particularmente relevante para preservar ou recuperar a biodiversidade no bioma Cerrado.

Referências

ARAÚJO, Wagner Oliveira; COELHO, Clarimar José. **Análise de componentes principais (PCA)**. Relatório Técnico. Anápolis: UniEvangélica, 2009.

BARBOSA NETO, Valdemar Correia; CABRAL, Jaime Joaquim da Silva Pereira; OLIVEIRA, Atalys Lira. Protocolo de avaliação rápida do estado de conservação de um trecho de mata ciliar do rio Sirinhaém (PE). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 64-77, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.003.0007>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BARBOSA, João Lucas Ribeiro *et al.* Sistema de monitoramento de métricas para Ambiente integrado UAV-FOG. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 6, p. 38541-38561, 2020. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv6n6-411>. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/11818/9970>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BATEMAN, Heather L.; MERRITT, David M. Complex Riparian Habitats Predict Reptile and Amphibian Diversity. **Global Ecology and Conservation**, v. 22, e00957, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e00957>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351989419306699?via%3Dihub>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BECKER, Richard H. *et al.* Unmanned Aerial System Based Spectroradiometer for Monitoring Harmful Algal Blooms: A New Paradigm in Water Quality Monitoring. **Journal of Great Lakes Research**, [s.l.], v. 45, n. 3, p. 444-453, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2019.03.006>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0380133019300619?via%3Dihub>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BELIZÁRIO, Wesley da Silva. **Análise geoquímica e ambiental das bacias hidrográficas dos córregos Almeida e Santa Rita em Aparecida de Goiânia/GO**. 2015. 219 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.

BENSON, James *et al.* Microorganisms Collected from the Surface of Freshwater Lakes Using a Drone Water Sampling System (DOWSE). **Water**, [s.l.], v. 11, n. 1, p. 157, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/w11010157>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/1/157>. Acesso em: 12 fev. 2024.

BERSOT, Myrella Rodrigues de Oliveira Bizzo; MENEZES, Juliana Magalhães; ANDRADE, Sandra Fernandes. Aplicação do protocolo de avaliação rápida de rios (PAR) na bacia hidrográfica do rio Imbé-RJ. **Ambiência**, v. 11, n. 2, p. 277-294, 2015. DOI: <https://doi.org/10.5935/ambiencia.2015.02.01>. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3303/pdf>. Acesso em: 13 fev. 2024.

BEUCHLE, René *et al.* Land Cover Changes in the Brazilian Cerrado and Caatinga Biomes from 1990 to 2010 Based on a Systematic Remote Sensing Sampling Approach. **Applied Geography**, [s.l.], v. 58, p. 116-127, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.01.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622815000284?via%3Dihub>. Acesso em: 11 fev. 2024.

BHARATI, Luna *et al.* Soil-Water Infiltration Under Crops, Pasture, and Established Riparian Buffer in Midwestern USA. **Agroforestry Systems**, [s.l.], v. 56, p. 249-257, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021344807285>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1021344807285>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BIANCHI, Carlos A.; HAIG, Susan M. Deforestation Trends of Tropical Dry Forests in Central Brazil. **Biotropica**, [s.l.], v. 45, n. 3, p. 395-400, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1111/btp.12010>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/btp.12010>. Acesso em: 10 fev. 2024.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Congresso Federal, [2012]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 10 fev. 2024.

BRASIL. **Lei n. 9.985, de 18 de julho de 2000.** Regulamenta o art. 225, § 1o, incisos I, II, III e VII da Constituição Federal, institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2000]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19985.htm. Acesso em: 12 fev. 2024.

BUENO, Inacio T. *et al.* Spatial Agreement Among Vegetation Disturbance Maps in Tropical Domains Using Landsat Time Series. **Remote Sensing**, v. 12, n. 18, p. 2948, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12182948>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/18/2948>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CALLISTO, Marcos *et al.* Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividade de ensino e pesquisa (MG-RJ). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Sorocaba, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002. Disponível em: <http://jbb.ibict.br/handle/1/708>. Acesso em: 12 fev. 2024.

CARMIGNOTTO, Ana Paula; PARDINI, Renata; VIVO, Mario de. Habitat Heterogeneity and Geographic Location as Major Drivers of Cerrado Small Mammal Diversity Across Multiple Spatial Scales. **Frontiers in Ecology and Evolution**, [s.l.], v. 9, 739919, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.739919>. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fevo.2021.739919/full>. Acesso em: 11 fev. 2024.

CELESTINO, Elaine F. *et al.* Environmental Assessment in Neotropical Watersheds: A Multi-Factorial Approach. **Sustainability**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 490, 2019.

COBELO, I.; MACHADO, K. B.; DAVID, A. C. M.; CARVALHO, P.; FERREIRA, M. E.; NABOUT, J. C.. Unmanned aerial vehicles and low-cost sensor as tools for monitoring freshwater chlorophyll-a in mesocosms with different trophic state. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 20, p. 5925-5936, 2023.

COSTA, A. P.; REIS, B. A. **Aplicação de um protocolo de avaliação rápida em cursos d'água inseridos em bacias urbanas no município de Jaraguá/GO.** Goiânia: Instituto de Estudos Socioambientais:Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.

DEEGAN, Linda A. *et al.* Amazon Deforestation Alters Small Stream Structure, Nitrogen Biogeochemistry and Connectivity to Larger Rivers. **Biogeochemistry**, [s.l.], v. 105, p. 53-74, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10533-010-9540-4>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10533-010-9540-4>. Acesso em: 10 fev. 2024.

DING, Qian *et al.* An Integrated System for Rapid Assessment of Ecological Quality Based on Remote Sensing Data. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, p. 32779-32795, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-09424-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-09424-6>. Acesso em: 13 fev. 2024.

ESCADAFAL, Richard; HUETE, Alfredo. Étude des propriétés spectrales des sols arides appliquée à l'amélioration des indices de végétation obtenus par télédétection. **Comptes Rendus de l'Académie des Sciences**, [s.l.], v. 312, p. 1385-1391, 1991.

ESTRABIS, Nayara *et al.* Brazilian Cerrado Native Vegetation Mapping with Google Earth Engine. **Conjecturas**, [s.l.], v. 22, n. 16, p. 565-586, 2022. DOI: <https://doi.org/10.53660/CONJ-2077-2S20>. Disponível em: <https://conjecturas.org/index.php/edicoes/article/view/2077>. Acesso em: 11 fev. 2024.

FENG, Haikuan *et al.* Comparison of UAV RGB Imagery and Hyperspectral Remote-Sensing Data for Monitoring Winter Wheat Growth. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 14, n. 15, p. 3811, 2022.

FERRAZ, Silvio F. B. *et al.* How Good Are Tropical Forest Patches for Ecosystem Services Provisioning? **Landscape Ecology**, [s.l.], v. 29, p. 187-200, 2014.

FERREIRA, Manuel E. *et al.* Modeling Landscape Dynamics in the Central Brazilian Savanna Biome: Future Scenarios and Perspectives for Conservation. **Journal of Land Use Science**, [s.l.], v. 8, n. 4, p. 403-421, 2013.

FINGER, Zenesio; FINGER, Felipe Augusto. Fitossociologia em comunidades arbóreas remanescentes de Cerrado sensu stricto no Brasil Central. **Floresta**, [s.l.], v. 45, n. 4, p. 769-780, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/ufv.v45i4.30860>

FORGY, E. W. Cluster Analysis of Multivariate Data: Efficiency Versus Interpretability of Classifications. **Biometrics**, [s.l.], v. 21, p. 768-769, 1965.

FORIO, Marie Anne *et al.* Small Patches of Riparian Woody Vegetation Enhance Biodiversity of Invertebrates. **Water**, [s.l.], v. 12, n. 11, p. 3070, 2020.

FRACHINI, Julio Cezar *et al.* **Uso de imagens aéreas obtidas com drones em sistemas de produção de soja**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. (Documentos/Embrapa Soja; n. 408).

GALFORD, Gillian L. *et al.* Greenhouse Gas Emissions from Alternative Futures of Deforestation and Agricultural Management in the Southern Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, [s.l.], v. 107, p. 19649-19654, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1000780107>. Disponível em: <https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.1000780107>. Acesso em: 10 fev. 2024.

GAMON, John A.; SERRANO, Lydia; SURFUS, J. S. The Photochemical Reflectance Index: An Optical Indicator of Photosynthetic Radiation Use Efficiency Across Species, Functional Types, and Nutrient Levels. **Oecologia**, [s.l.], v. 112, p. 492-501, 1997.

GAMON, John A.; SURFUS, J. S. Assessing Leaf Pigment Content and Activity with a Reflectometer. **The New Phytologist**, [s.l.], v. 143, n. 1, p. 105-117, 1999.

GITELSON, Anatoly A. *et al.* (2002). Assessing Carotenoid Content in Plant Leaves With Reflectance Spectroscopy. **Photochemistry and Photobiology**, [s.l.], v. 75, p. 272-281, 2002.

GITELSON, Anatoly A.; MERZLYAK, Mark N.; CHIVKUNOVA, Olga B. Optical Properties and Nondestructive Estimation of Anthocyanin Content in Plant Leaves. **Photochemistry and Photobiology**, [s.l.], v. 71, p. 38-45, 2001.

GITELSON, Anatoly A.; SOLOVCHENKO, Alexei; VIÑA, Andrés. Foliar Absorption Coefficient Derived from Reflectance Spectra: A Gauge of the Efficiency of in Situ Light-Capture by Different Pigment Groups. **Journal of Plant Physiology**, [s.l.], v. 254, p. 153277, 2020.

GOMES, Priscila Moreira; MELO, Celine de; VALE, Vagner Santiago do. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: Análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 17, n. 32, p. 103-120, 2005. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/sociedadenatureza/article/view/9169/5638>. Acesso em: 4 fev. 2024.

GOULD, William A. Remote Sensing of Vegetation, Plant Species Richness, and Regional Biodiversity Hotspots. **Ecological Applications**, [s.l.], v. 10, n. 6, p. 1861-1870, 2000.

GRÉGOIRE, Gérard. Multiple Linear Regression. **European Astronomical Society Publications Series**, [s.l.], v. 66, p. 45-72, 2014.

GUIMARÃES, Ariane; RODRIGUES, Aline Sueli de Lima; MALAFAIA, Guilherme. Adapting a rapid assessment protocol to environmentally assess palm swamp (Veredas) springs in the Cerrado biome, Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 189, n. 11, p. 1-10, 2017.

HANNAFORD, Morgan J.; BARBOUR, Michael T.; RESH, Vincent H. Training reduces observer variability in visual-based assessments of stream habitat. **Journal of the North American Benthological Society**, [s.l.], v. 16, n. 4, p. 853-860, 1997.

HILL, Michael J. *et al.* Relationships Between Vegetation Indices, Fractional Cover Retrievals and the Structure and Composition of Brazilian Cerrado Natural Vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 38, n. 3, p. 874-905, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1271959>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2016.1271959>. Acesso em: 11 fev. 2024.

HUNKE, Philip *et al.* The Brazilian Cerrado: Assessment of Water and Soil Degradation in Catchments Under Intensive Agricultural Use. **Ecohydrology**, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 1154-1180, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/eco.1573>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/eco.1573>. Acesso em: 10 fev. 2024.

HUNT JR, E. Raymond *et al.* Remote Sensing Leaf Chlorophyll Content Using a Visible Band Index. **Agronomy Journal**, [s.l.], v. 103, n. 4, p. 1090-1099, 2011. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-012-2752-4>. Acesso em: 12 fev. 2024.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Information. 2021. Disponível em: <http://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 18 nov. 2023.

Ji, Jianwan *et al.* Study on Regional Eco-Environmental Quality Evaluation Considering Land Surface and Season Differences: A Case Study of Zhaotong City. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 15, n. 3, p. 657, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15030657>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/15/3/657>. Acesso em: 12 fev. 2024.

JIAO, Juying *et al.* Research progress on the effects of soil erosion on vegetation. **Acta Ecologica Sinica**, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 85-91, 2009.

JIN, Kai; WANG, Fei; LI, Pengfei. Responses of Vegetation Cover to Environmental Change in Large Cities of China. **Sustainability**, [s.l.], v. 10, n. 1, p. 270, 2018.

KARAMIZADEH, Sasan *et al.* An Overview of Principal Component Analysis. **Journal of Signal and Information Processing**, [s.l.], v. 4, n. 3B, p. 173, 2013.

KLINK, Carlos A.; MACHADO, Ricardo B. (2005). Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, v. 19, n. 3, p. 707-713. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00702.x>. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1523-1739.2005.00702>. Acesso em: 12 fev. 2024.

KUMARI, Khushbu; YADAV, Suniti. Linear Regression Analysis Study. **Journal of the Practice of Cardiovascular Sciences**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 33-36, 2018.

LALLYA, Heather *et al.* Can Drones Be Used to Conduct Water Sampling in Aquatic Environments? A review. **The Science of the Total Environment**, [s.l.], v. 670, p. 569-575, 2019.

LANA, Luiara Castro de *et al.* Desenvolvimento de um sistema de informações geográficas para aplicações ambientais e de saneamento: SIGAS-UERJ. **Revista Brasileira de Geomática**, [s.l.], v. 10, n. 4, p. 260-278, 2022.

LAURANCE, William F.; SAYER, Jeffrey; CASSMAN, Kenneth G. Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. **Trends in Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 29, n. 2, p. 107-116, 2014.

LAWSON, Tina; GOOSEM, Miriam; GILLIESON, David Rapid Assessment of Habitat Quality in Riparian Rainforest Vegetation. **Pacific Conservation Biology**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 20-33, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1071/PC080020>. Disponível em: <https://www.publish.csiro.au/pc/PC080020>. Acesso em: 12 fev. 2024.

LEMKE, Ana Paula; VILHARVA, Kellen Natalice; SÚAREZ, Yzel Rondon. Comparação entre o índice de qualidade da água com um protocolo de avaliação rápida em dois córregos urbanos do município de Naviraí, MS. **Revista on line de Extensão e Cultura-Realização**, [s.l.], v. 5, n. 9, p. 87-92, 2018. DOI: <https://doi.org/10.30612/re-ufgd.v5i9.8583>. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/realizacao/article/view/8583>. Acesso em: 12 fev. 2024.

LIAO, Weihua; JIANG, Weiguo. Evaluation of the Spatiotemporal Variations in the Eco-Environmental Quality in China Based on the Remote Sensing Ecological Index. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 12, n. 15, p. 2462, 2000. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs12152462>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/15/2462>. Acesso em: 12 fev. 2024.

MACEDO, Marcia N. *et al.* Decoupling of deforestation and soy production in the southern Amazon during the late 2000s. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 109, n. 4, p. 1341-1346, 2012.

MACHADO, Ricardo B. *et al.* **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília, DF: Conservação Internacional, 2004. Disponível em: https://jbb.ibict.br/bitstream/1/357/1/2004_%20Conservacao%20Internacional_%20estimativa_desmatamento_cerrado.pdf. Acesso em: 8 out. 2019.

MAPBIOMAS. **Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/map/colecao-8/>. Acesso em: nov. 2023.

MASOCHA, Mhosisi *et al.* Remote Sensing of Surface Water Quality in Relation to Catchment Condition in Zimbabwe. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 100, p. 13-18, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pce.2017.02.013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S147470651630047X>. Acesso em: 13 fev. 2024.

MCJANNET, David *et al.* The Filtering Capacity of a Tropical Riverine Wetland: II. Sediment and Nutrient Balances. **Hydrological Processes**, [s.l.], v. 26, n. 1, p. 53-72, 2012.

MISHRA, Chandan *et al.* Application of Backward Elimination in Multiple Linear Regression Model for Prediction of Stock Index. In: MISHRA, Chandan *et al.* **Intelligent And Cloud Computing: Proceedings of ICICC 2019**. v. 2. Singapore: Springer Singapore, 2020. p. 543-551.

MORAES, Vinicius de S. *et al.* Vegetation Structure Define Mite Assemblage on Plants: A Case Study in Cerrado Biome. **Entomological Communications**, [s.l.], v. 4, ec04029, 2022. DOI: <https://doi.org/10.37486/2675-1305.ec04029>. Disponível em: <https://www.entomologicalcommunications.org/index.php/entcom/article/view/ec04029>. Acesso em: 11 fev. 2024.

MORGAN, Grayson R.; WANG, Cuizhen; MORRIS, James T. RGB Indices and Canopy Height Modelling for Mapping Tidal Marsh Biomass from a Small Unmanned Aerial System. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 13, n. 17, p. 3406, 2021.

MYERS, Charles R. *et al.* Chromium (VI) reductase activity is associated with the cytoplasmic membrane of anaerobically grown *Shewanella putrefaciens* MR-1. **Journal of Applied Microbiology**, [s.l.], v. 88, n. 1, p. 98-106, 2000.

NEILL, Christopher *et al.* Watershed Responses to Amazon Soya Bean Cropland Expansion and Intensification. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 368, n. 1619, p. 20120425, 2013.

NÓBREGA, Rodolfo L. *et al.* Ecosystem Services of a Functionally Diverse Riparian Zone in the Amazon-Cerrado Agricultural Frontier. **Global Ecology and Conservation**, [s.l.], v. 21, e00819, 2020.

NOGUEIRA, Cristiano *et al.* Vicariance and Endemism in a Neotropical Savanna Hotspot: Distribution Patterns of Cerrado Squamate Reptiles. **Journal of Biogeography**, [s.l.], v. 38, n. 10, p. 1907-1922, 2011.

OSHIMA, T. Chris; Dell-Ross, Theresa. All Possible Regressions Using IBM SPSS: A Practitioner's Guide To Automatic Linear Modeling. **Georgia Educational Research Association Conference**, [s.l.], 7 out. 2016. Disponível em: <https://digitalcommons.georgiasouthern.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1187&context=gera>. Acesso em: 12 fev. 2024.

PACE, G. *et al.* Remote Sensing Indicators to Assess Riparian Vegetation and River Ecosystem Health. **Ecological Indicators**, [s.l.], v. 144, p. 109519, 2022.

PARENTE, Leandro *et al.* Quality Assessment of the PRODES Cerrado Deforestation Data. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, [s.l.], v. 21, 100444, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100444>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2352938520301750?via%3Dihub>. Acesso em: 11 fev. 2024.

PATTEN, Duncan T.; ROUSE, Leigh; STROMBERG, Juliet C. Isolated Spring Wetlands in the Great Basin and Mojave Deserts, USA: Potential Response of Vegetation to Groundwater Withdrawal. **Environmental Management**, [s.l.], v. 41, p. 398-413, 2008.

POPESCU, Cristina *et al.* (2021). Riparian Vegetation Structure Influences Terrestrial Invertebrate Communities in an Agricultural Landscape. **Water**, [s.l.], v. 13, n. 2, p. 188, 2021.

POSSOCH, Marcel *et al.* Multi-Temporal Crop Surface Models Combined with the RGB Vegetation Index from UAV-Based Images for Forage Monitoring in Grassland. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, [s.l.], v. 41, p. 991-998, 2016.

QUINN, Nigel W.; BURNS, Jos R. Use of a Hybrid Optical Remote Sensing Classification Technique for Seasonal Wetland Habitat Degradation Assessment Resulting from Adoption of Real-Time Salinity Management Practices. **Journal of Applied Remote Sensing**, [s.l.], v. 9, n. 1, p. 096071-096071, 2015.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. Fitofisionomia do bioma Cerrado. In: SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe (orgs.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa: CPAC, 1998. p. 47-86.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima. **Adequação de um protocolo de avaliação rápida para o monitoramento e avaliação ambiental de cursos d'água inseridos em campos rupestres do Cerrado**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Adaptation of a Rapid Assessment Protocol for Rivers on Rocky Meadows. **Acta Limnologica Brasiliense**, Sorocaba, v. 20, n. 4, p. 291-303, 2008. Disponível em: <https://actalb.org/article/627da199782aad07b35c1a28/pdf/alb-20-4-291.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2024.

RODRIGUES, Ariane A. *et al.* Cerrado Deforestation Threatens Regional Climate and Water Availability for Agriculture and Ecosystems. **Global Change Biology**, [s.l.], v. 28, n. 22, p. 6807-6822, 2022.

SALMONA, Yuri Botelho *et al.* A Worrying Future for River Flows in the Brazilian Cerrado Provoked by Land Use and Climate Changes. **Sustainability**, [s.l.], v. 15, n. 5, p. 4251, 2023.

SCHMITZ, Juliane; HAHN, Melanie; BRÜHL, Carsten A. Agrochemicals in Field Margins – An Experimental Field Study to Assess the Impacts of Pesticides and Fertilizers on a Natural Plant Community. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, [s.l.], v. 193, p. 60-69, 2014.

SILVA, Aichely Rodrigues da; RODRIGUES, Claudinei José; FONSECA, Alessandra Larissa D'Oliveira. Análise da paisagem em bacias hidrográficas costeiras como ferramenta de compreensão da qualidade ambiental. **GEOgraphia**, Niterói, v. 25, n. 54, p. 1-18, 2023.

SILVA, Carlos Eduardo Félix da *et al.* Análise macroscópica da qualidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos córregos Lava-Pés e Pedrinhas em Silvânia-GO. **Tecnia**, [s.l.], v. 4, n. 2, p. 44-59, 2019.

SILVA, José Maria Cardoso da; BATES, John M. Biogeographic patterns and conservation in the South American Cerrado: A tropical savanna hotspot. **BioScience**, [s.l.], v. 52, n. 3, p. 225-234, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2002\)052\[0225:BPACIT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2002)052[0225:BPACIT]2.0.CO;2). Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/52/3/225/312213>. Acesso em : 13 fev. 2024.

SILVA, Lucas C. R. *et al.* Expansion of Gallery Forests into Central Brazilian Savannas. **Global Change Biology**, [s.l.], v. 14, n. 9, p. 2108-2118, 2008.

SINGHAL, Gaurav *et al.* Chlorophyll estimation Using Multi-Spectral Unmanned Aerial System Based on Machine Learning Techniques. **Remote Sensing Applications: Society & Environment**, [s.l.], v. 100235, 2019.

SMITH, Lindsay I. A tutorial on Principal Components Analysis. **Computer Science Technical Report No. OUCS-2002-12**, 2002. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10523/7534>. Acesso em: 12 fev. 2024.

SOARES-FILHO, Britaldo *et al.* Cracking Brazil's Forest Code. **Science**, v. 344, p. 363-364, 2014. DOI: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1246663>. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.1246663>. Acesso em: 10 fev. 2024.

SOUSA JUNIOR, Pedro Moreira de *et al.* Integration of Environmental Assessment Models: A Study of the Impact on Urban Micro-Watersheds in the Amazon-Brazil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 5, p. 2194-2199, 2022.

STRASSBURG, Bernardo *et al.* Momento da verdade para o hotspot do Cerrado. **Nature Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 1, n. 0099, p. 1-3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0099>. Acesso em: 12 fev. 2024.

SWEENEY, Bernard W. *et al.* Riparian Deforestation, Stream Narrowing, and Loss of Stream Ecosystem Services. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 101, n. 39, p. 14132-14137, 2004.

TIWARI, Tejshree *et al.* Cost of Riparian Buffer Zones: A Comparison of Hydrologically Adapted Site-Specific Riparian Buffers with Traditional Fixed Widths. **Water Resources Research**, [s.l.], v. 52, n. 2, p. 1056-1069, 2016.

TRANCOSO, Ralph; SANO, Edson E.; MENESES, Paulo Roberto. The spectral changes of deforestation in the Brazilian tropical savanna. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 187, p. 1-15, 2015.

TUCKER, Compton J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425779900130>. Acesso em: 12 fev. 2024.

VARELA, Sebastian *et al.* Understanding Growth Dynamics and Yield Prediction of Sorghum Using High Temporal Resolution UAV Imagery Time Series and Machine Learning. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 13, p. 1763, 2021.

VARGAS, Jancy Rômulo Aschauer; FERREIRA JÚNIOR, Paulo Dias. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida na caracterização da qualidade ambiental de duas microbacias do rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 161-168, 2012.

WANG, Xiaodan *et al.* A New Method of Regional Eco-environmental Quality Assessment and Its Application. **Journal of Environmental Quality**, [s.l.], v. 41, n. 5, p. 1393-1401, 2012. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2011.0390>. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23099930/>. Acesso em: 13 fev. 2024.

WANTZEN, Karl M. *et al.* Stream-Valley Systems of the Brazilian Cerrado: Impact Assessment and Conservation Scheme. **Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems**, [s.l.], v. 16, n. 7, p. 713-732, 2006.

YOUSEF, Foad *et al.* Remote-Sensing Based Assessment of Long-Term Riparian Vegetation Health in Proximity to Agricultural Lands with Herbicide Use History. **Integrated Environmental Assessment and Management**, [s.l.], v. 15, n. 4, p. 528-543, 2019.

ZAIATZ, Ana Paula Souza Rodrigues *et al.* Agricultural Land Use and Cover Change in the Cerrado/Amazon Ecotone: A Case Study of the Upper Teles Pires River Basin. **Acta Amazonica**, [s.l.], v. 48, p. 168-177, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201701930>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/zwBSKZFjBNy8WXkv6vqrXsR/?lang=en>. Acesso em: 11 fev. 2024.

ZHANG, Jiayi *et al.* Combining Texture, Color, and Vegetation Indices from Fixed-Wing UAS Imagery to Estimate Wheat Growth Parameters Using Multivariate Regression Methods. **Computers and Electronics in Agriculture**, [s.l.], v. 185, p. 106138, 2021.

ZHANG, Lei-Lei *et al.* Riparian Vegetation Conversion to an Oil Tea Plantation: Impacts on Small Mammals at the Community, Population, and Individual Level. **Forests**, [s.l.], v. 14, n. 6, p. 1169, 2023.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estamos em plena revolução cartográfica e geoespacial, com uma diversidade de satélites de imageamento voltados ao monitoramento de recursos naturais, operando com crescente periodicidade e melhor resolução espacial. Essa cobertura orbital é complementada por veículos aéreos não tripulados, equipados com sensores multiespectrais, laser e térmicos. Paralelamente, o processamento dessas informações torna-se cada vez mais ágil, em função do avanço tecnológico, de *hardwares* e *softwares* especializados, permitindo gerar produtos cartográficos e ambientais com elevada confiabilidade para análise ambiental.

Ao combinar técnicas de geoprocessamento com fontes de dados de elevada precisão cartográfica, tal como as imagens aéreas de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) e do satélite *Planet*, obtêm-se subsídios para o diagnóstico e o monitoramento ambiental por parte de órgãos gestores, como demonstrado no mapeamento dos ativos ambientais da Flona de Silvânia e região do entorno; com isso, pode-se atenuar as fragilidades existentes no processo de fiscalização e ocupação do solo, fomentando medidas de conservação de reservas legais e APP de rios e nascentes.

O estudo de caso realizado no entorno da Flona de Silvânia, a partir da utilização de VANT, buscou avaliar o potencial de sensores remotos multiescalares para avaliar a qualidade ambiental os remanescentes de Cerrado, no entorno de cursos hídricos em áreas de proteção permanente, constatando a eficiência dessa ferramenta frente ao satélite, com destaque para os seguintes diferenciais: (1) maior resolução espacial, facilitando identificar os alvos durante o mapeamento; (2) melhor custo-benefício do VANT em relação ao custo de imagens de satélites comerciais; (3) o tempo de revisita com VANT é menor em comparação às imagens de satélites; isso representa uma grande flexibilidade para o analista, lembrando-se de que as imagens do *Planet* podem ter uma revisita a cada 24 horas, graças a sua grande constelação de mais de cem plataformas orbitais, porém sujeitas a nuvens, ruídos no sensor, distorção radiométrica e geométrica.

No entanto, embora as imagens do *PlanetScope* possuam menor resolução espacial (3 metros, com 4 bandas espectrais, uma delas no infravermelho próximo), elas podem ser combinadas com as imagens de VANT, em uma análise multiescalar, para visualizar um contexto macro, tendo em vista que as imagens do VANT abrangem uma área pequena, em razão da autonomia de voo limitada em 30 minutos (caso o voo seja feito com um VANT asa-fixa, esta autonomia pode ser estendida). Em contrapartida, as imagens de VANT possuem uma melhor resolução espacial e temporal que as imagens de satélite, permitindo, assim, a partir

dessa combinação, uma visão sinóptica e detalhada das áreas prioritizadas para a conservação ambiental.

Em áreas com proximidade maior ao uso do solo intensivo, ficou demonstrado estas possuírem menor qualidade ambiental, identificada pelo sensoriamento remoto aéreo e orbital. A integração entre produtos *in loco* de qualidade ambiental identificados por PAR e validados pela qualidade da água foi integrado a uma plataforma de sensoriamento remoto com potencial de identificar áreas com maior e menor qualidade ambiental.

Nesse sentido, os resultados desta pesquisa evidenciam a eficácia das tecnologias de sensoriamento remoto e dos índices de vegetação na modelagem e extrapolação da qualidade ambiental, especialmente em extensas áreas do bioma Cerrado, com intenso uso do solo. Este estudo atendeu aos seus objetivos originais, ao demonstrar que é possível identificar a qualidade ambiental em larga escala, empregando tecnologias de baixo custo, como os UAVs, abrindo caminhos para estudos ambientais mais acessíveis e abrangentes.

Enfrentamos desafios significativos relacionados ao processamento de um grande volume de dados espaciais e de sensoriamento remoto. Para superá-los, sugerimos a implementação de modelagens em ambientes de processamento em nuvem, como o *Google Earth Engine* (GEE), que facilitam o manejo e análise dessas informações.

Embora baseados em dados de um período único, a metodologia tem potencial para aplicações em análises temporais, permitindo o monitoramento de tendências e mudanças na qualidade ambiental ao longo do tempo, o que é crucial para a gestão sustentável do bioma Cerrado.

Este estudo confirmou a hipótese de que os índices espectrais e as imagens de sensoriamento remoto são eficazes para identificar variações na complexidade ambiental do Cerrado, permitindo a detecção de áreas que necessitam de recuperação prioritária ou de conservação intensificada. A pesquisa ressalta a importância de abordagens multiescalares e a sinergia entre diferentes tecnologias de sensoriamento remoto para uma compreensão mais abrangente e eficaz da qualidade ambiental em ecossistemas críticos.

Para futuros estudos, sugere-se a aplicação destas metodologias para outras áreas críticas de conservação, a exploração de novas técnicas e instrumentos de sensoriamento remoto com maior resolução ou capacidades espectrais, e o aprofundamento em análises que correlacionem mais diretamente o uso do solo e práticas agrícolas com a qualidade da água e biodiversidade local. Além disso, sugere-se o processamento dos dados em nuvem, combinado com aprendizado de máquina para aprimorar a análise e modelagem dos dados de sensoriamento.

REFERÊNCIAS

- ABADIAS, Ivalmir Mota; FONSECA, Paulo Roberto Beltramin da; BARBOSA, Cleison Hugo. Manejo da pecuária: uma análise sobre impactos ambientais. **Revista EDUCAmazônia**, Humaitá, v. 25, n. 1, p. 113-125, 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/educamazonia/article/view/7669/5366>. Acesso em: 8 ago. 2020.
- ABRANTES, T. C. Análise da deriva simulada de herbicidas auxínicos em soja através de índices de vegetação RGB obtidos por VANT. 2019.
- AB'SABER, Aziz Nacib. O domínio dos cerrados: introdução ao conhecimento. **Revista do Serviço Público**, [s.l.], v. 40, n. 4, p. 41-56, 1983. Disponível em: <https://revista.enap.gov.br/index.php/RSP/article/view/2144>. Acesso em: 22 jan. 2024.
- AGUIAR, Ludmilla L. S. *et al.* Cerrado: Terra incógnita do século 21. **Revista Ciência Hoje**, Rio de Janeiro, v. 55, n. 330, p. 32-37, 2015.
- ALMEIDA, C., SILVA, M., LOBO, F. D. L., FARIAS, T. P., GOMES, A., COSTA, L. C., & ESCADA, M. I. S. (2014). TerraClass: classificação dos padrões de uso e cobertura da terra da Amazônia Legal. *Cenários para a Amazônia: clima, biodiversidade e uso da terra*, 137-147.
- ALMEIDA, Cláudio Aparecido de *et al.* High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, [s.l.], v. 46, n. 3, p. 291-302, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1809-4392201505504>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aa/a/fpVGDbJQwpT3MmK8mNxcnBy/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 13 fev. 2024.
- ALMEIDA, I. D. C.; COSTA, G. C.; SILVA, D. C.; MEDEIROS, J. R. B. Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários. Recife: Universidade Católica de Pernambuco, 2014.
- ALMEIDA, José Augusto de. Normas de Segurança para Implantação dos VANT Civis no Espaço Aéreo Brasileiro: uma nova abordagem. **Conexão SIPAER**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 212-220, 2010.
- ALMEIDA, Wagner Santos de *et al.* Avaliação dos dados de alta resolução espacial obtido por veículo aéreo não tripulado (VANT) para produção de modelo digital de terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVII., 2015, João Pessoa. **Anais [...]**. João Pessoa-PB: [s.n.], 2015.
- ALVARES, Clayton Alcarde *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, [s.l.], v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>. Disponível em: https://www.schweizerbart.de/papers/metz/detail/22/82078/Koppen_s_climate_classification_map_for_Brazil?af=crossref. Acesso em: 13 fev. 2024.
- ALVES JÚNIOR, Leomar Rufino. **Comparação de sistemas imageadores aerotransportados ópticos e LiDAR para quantificação da biomassa em áreas de Cerrado nativo**. 2021. 280 f. Tese (Doutorado em Geografia) — Universidade Federal de

Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2021.

ALVES JR. Leomar Rufino *et al.* Análise do uso e cobertura da terra em áreas de captação hídrica em Silvânia (GO), com auxílio de um RPAS. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. **Anais eletrônicos [...]**. São José dos Campos: INPE, 2023. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/analise-do-uso-e-cobertura-da-terra-em-areas-de-captacao-hidrica-em-silvania-go?lang=pt-br>. Acesso em: 8 fev. 2024.

ALVES JR., Leomar Rufino *et al.* Validação de ortomosaicos e modelos digitais de terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 67, p. 1-15, 2015.

AMARAL, Tatiana Souza do *et al.* Agricultural Landscape Heterogeneity Matter: Responses of Neutral Genetic Diversity and Adaptive Traits in a Neotropical Savanna Tree. **Frontiers in Genetics**, [s.l.], v. 11, 2020. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33613620/>. Acesso em: 5 jan. 2024.

AMORIM, Raul Reis; PEREZ FILHO, Arquimedes (org.). **Os desafios da Geografia Física na fronteira do conhecimento**. 1. ed. Campinas, SP: Instituto de Geociências da Unicamp, 2017. p. 4859-4870.

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil. 2012. Instrução Suplementar - IS Nº 21-002 Revisão A, 4 OUT 2012 (ANAC). Disponível em: <https://pergamum.anac.gov.br/pergamum/vinculos/IS21-002A.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2023.

ANDRADE, J. D. A.; PRETTO, R. D.; CARVALHO, E.; BOLONHEZI, D.; SCARPELLINI, R. J.; CARDOSO, V. B. Avaliação de RPAs para pulverização em diferentes culturas. *Ingeniería y Región*, n. 20, p. 72-77, 2018.

ANDRADE, R. G., HOTT, M. C., JUNIO, W. C. P. de M., D'OLIVEIRA, P. S., & OLIVEIRA, J. S. e. (2019). Monitoring of Corn Growth Stages by UAV Platform Sensors. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, 6(9). Disponível em: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.69.5>. Acesso em: 28 jan. 2024.

ANZ-MEADOR, Phillip; OPIELA, John; LIOU, Jer-Chyi. **History of on-orbit satellite fragmentations**. 16th Edition. NASA/TP-20220019160. National Aeronautics and Space Administration, Houston. 2023. Disponível em: https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20220019160/downloads/HOOSF_16e_all_for_STRIVES.pdf. Acesso em: 01 nov. 2023.

AQUINO, Fabiana de Gois *et al.* **Cerrado**: restauração de matas de galeria e ciliares. Brasília: Embrapa Cerrados, 2012.

ASNER, Gregory P.; MARTIN, Roberta E.; MASCARO, Joseph. Coral Reef Atoll Assessment in the South China Sea Using Planet Dove Satellites. **Remote Sensing in Ecology and Conservation**, [s.l.], v. 3, n. 2, p. 57-65, 2017.

BACELLAR, Ana Elisa de Faria *et al.* Parceria entre CNPq e Instituto Chico Mendes no fortalecimento dos Sítios PELD em Unidades de Conservação federais. **Oecologia Australis**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 266-270, 2020. DOI: <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2402.03>.

Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/oa/article/view/28552>. Acesso em: 13 fev. 2024.

BALLESTEROS, Roci; Ortega, J. F., Hernandez, D., Del Campo, A., & Moreno, M. A. Combined use of agro-climatic and very high-resolution remote sensing information for crop monitoring. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 72, p. 66-75, 2018.

BANU, Tiberiu-Paul *et al.* Determination of the Forest Canopy Cover Using a Low-Cost Commercial Drone in a Turkey Oak and Durmast Oak Stand in the Zarand Mountains, Romania. **Research Journal of Agriculture Science**, [s.l.], v. 49, p. 12-17, 2017.

BARBEDO, J.G.A. Detection of nutrition deficiencies in plants using proximal images and machine learning: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 162, p. 482-492, 2019.

BARBOSA, B. D. S., FERRAZ, G. A. S., GONÇALVES, L. M., MARIN, D. B., MACIEL, D. T., FERRAZ, P. F. P., et al. (2019). RGB vegetation indices applied to grass monitoring: a qualitative analysis. *Agron. Res.* 17, 349–357. doi: 10.15159/AR. 19.119

BARBOUR, Michael T. **Rapid bioassessment protocols for use in wadeable streams and rivers:** periphyton, benthic macroinvertebrates and fish. [S.l.]: US Environmental Protection Agency: Office of Water, 1999.

BARCELOS, A. A. Avaliação das condições limnológicas e sedimentológicas do reservatório da usina hidrelétrica de Espora-GO. 229 f. Tese (Doutorado em Geografia), Unidade Acadêmica Especial de Estudos Geográficos. Universidade Federal de Goiás, 2021.

BARROSO, Guilherme; OLIVEIRA, Murilo. Nanossatélites Planet – a realidade do monitoramento contínuo. **MundoGeo**, 2016. Disponível em: <https://mundogeo.com/2016/12/09/artigo-nanossatelites-planet-a-realidade-do-monitoramento-contínuo/>. Acesso em: 8 out. 2019.

BASTOS, Maria CC; PESTANA, Mateus CA; OLIVEIRA, Rafael F. Legislative inertia fails Brazil's Cerrado. **Science**, v. 382, n. 6674, p. 1008-1008, 2023.

BIZZO, Myrella Rodrigues de Oliveira; MENEZES, Juliana; ANDRADE, Sandra Fernandes de. Protocolos de avaliação rápida de rios (PAR). **Caderno de Estudos Geoambientais- CADEGEO**, [s.l.], v. 5-6, 2014.

BLANCO, Leticia de Souza *et al.* O projeto de modernização brasileira e suas consequências socioambientais no Matopiba. **Boletim Paulista de Geografia**, [s.l.], n. 107, p. 2447-0945, jan.-jun. 2022.

BOGÉA, É., dos SANTOS, R. G., RAMOS, M. V. V., & MENEZES, I. P. HIGH DIVERSITY AND LOW GENETIC STRUCTURE OF REMNANTS FROM HANCORNIA SPECIOSA GOMES IN TWO SAVANIC FORMATIONS OF THE CERRADO BIOME IN THE STATE PARK OF SERRA DE CALDAS NOVAS-GOÍÁS. **International Journal of Conservation Science**, v. 12, n. 2, p. 599-612, 2021.

BØGH, Eva *et al.* Incorporating remote sensing data in physically based distributed agro-hydrological modelling. **Journal of Hydrology**, [s.l.], v. 287, p. 279-299, 2004.

BOLFE, É. L., PARREIRAS, T. C., SILVA, L. A. P. D., SANO, E. E., BETTIOL, G. M., VICTORIA, D. D. C., ... & VICENTE, L. E. Mapping agricultural intensification in the Brazilian savanna: A machine learning approach using harmonized data from Landsat Sentinel-2. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, v. 12, n. 7, p. 263, 2023.

BONNET, Barbara Rocha Pinto; FERREIRA, Laerte Guimarães; LOBO, Fábio Carneiro. Relações entre qualidade da água e uso do solo em Goiás: uma análise à escala da bacia hidrográfica. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 32, p. 311-322, 2008. Disponível em: <http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/handle/123456789/11224>. Acesso em: 1º jan. 2024.

BORGES, Gustavo Marques; PACHÊCO, Admilson da Penha; SANTOS, Francisco Kennedy da Silva dos. Sensoriamento remoto: avanços e perspectivas. *Revista de Geografia*, [s.l.], v. 32, p. 267-292, 2015. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229116>. Acesso em: 23 jan. 2024.

BORGOGNO MONDINO, Enrico; GAJETTI, Marco. Preliminary considerations about costs and potential market of remote sensing from UAV in the Italian viticulture context. *European Journal of Remote Sensing*, [s.l.], v. 50, p. 310-319, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1328269>. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2017.1328269>. Acesso em: 13 fev. 2024.

BRASIL. **Atlas Brasil de Abastecimento Urbano de Água**. Brasília, DF: Agência Nacional de Águas, 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n. 274, de 29 de novembro de 2000**. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. Brasília: Conama, 2000. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2018/01/RESOLU%C3%87%C3%83O-CONAMA-n%C2%BA-274-de-29-de-novembro-de-2000.pdf>. Acesso em: 4 fev. 2024.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução Conama n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de afluentes, e dá outras providências. Brasília: Conama, [2005]. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 4 fev. 2024.

BRASIL. **Lei n. 11.516, de 28 de agosto de 2007**. Dispõe sobre a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - Instituto Chico Mendes; altera as Leis nos 7.735, de 22 de fevereiro de 1989, 11.284, de 2 de março de 2006, 9.985, de 18 de julho de 2000, 10.410, de 11 de janeiro de 2002, 11.156, de 29 de julho de 2005, 11.357, de 19 de outubro de 2006, e 7.957, de 20 de dezembro de 1989; revoga dispositivos da Lei no 8.028, de 12 de abril de 1990, e da Medida Provisória no 2.216-37, de 31 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, [2007]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11516.htm. Acesso em: 8 fev. 2024.

BRASIL. **Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis n.ºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis n.ºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória n.º 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Brasília: Congresso Federal, [2012]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 22 jan. 2024.

BRASIL. **Lei n. 7.803, de 18 de julho de 1989.** Altera a redação da Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis n.ºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. Brasília: Presidência da República, [1989]. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l7803.htm. Acesso em: 8 fev. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do uso e cobertura da terra do Cerrado:** Projeto TerraClass Cerrado 2013. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2015.

BRITO, Brenda Nogueira; BRITO, Jorge Luís Silva. Mapeamento de qualidade em pastagens do Cerrado por meio de imagens Sentinel 2. **Geografia Ensino & Pesquisa**, p. e44-e44, 2020.

BRITO, M. A., OLIVEIRA, D., de ARAUJO MAMEDE, M., RANDIG, O., & de LACERDA, F. S. Programa de pesquisa ecológica de longa duração – PELD/CNPq–desafios da gestão, avanços e perspectivas. **Oecologia Australis**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 259-265, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.4257/oeco.2020.2402.02>. Acesso em: 14 mar. 2022.

BRUNORI, E., MAESANO, M., MORESI, F. V., ANTOLINI, A., BELLINCONTRO, A., FORNITI, R., et al. (2020). Using UAV –based remote sensing to assess grapevine canopy damages due to fire smoke. *J. Sci. Food Agric.* 100, 4531–4539. doi: 10.1002/jsfa. 10494

CABRAL, J. B. P.; WACHHOLZ, F.; BECEGATO, V. A.; NASCIMENTO, E. S. Diagnóstico Hidrossedimentológico do Reservatório da UHE Caçu - GO. *Revista Geofocus* (Madrid),v. 13, 2013.

CALLISTO, Marcos *et al.* Aplicação de um protocolo de avaliação rápida da diversidade de habitats em atividades de ensino e pesquisa (MG – RJ). **Acta Limnologica Brasiliense**, Sorocaba, v. 14, n. 1, p. 91-98, 2002.

CÂNDIDO, Anny Keli Aparecida Alves; SILVA, Normandes Matos; PARANHOS FILHO, Antonio Conceição. Imagens de alta resolução espacial de veículos aéreos não tripulados (VANT) no planejamento do uso e ocupação do solo. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 38, n. 1, p. 147-156, 2015.

CARDOSO, Phillipe Valente *et al.* Mapeamento de Áreas de Caatinga Através do Random Forrest: Estudo de caso na Baía do Rio Taperoá. **Revista Georaguaiá**, [s.l.], v. 11, p. 55-68, 2021.

CASTILHO, Denis; CHAVEIRO, Eguimar Felício. **Por uma análise territorial do Cerrado.** Cerrados: perspectivas e olhares. Goiânia: Editora Vieira, 2010. p. 35-50.

CASTRO, César Nunes de. **Água, problemas complexos e o Plano Nacional de Segurança Hídrica.** Rio de Janeiro: Ipea, 2022. 281 p.

CHAPLOT, Vincent *et al.* Accuracy of interpolation techniques for the derivation of digital elevation models in relation to landform types and data density. **Geomorphology**, [s.l.], v. 77, n. 1, p. 126-141, 2006.

COLLEVATTI, Rosane Garcia *et al.* Multi-Scale Landscape Influences on Genetic Diversity and Adaptive Traits in a Neotropical Savanna Tree. **Frontiers in Genetics**, [s.l.], v. 11, p. 259, 2020.

COLOMINA, Ismael; MOLINA, Pere. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. **ISPRS – Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 92, p. 79-97, 2014.

CORRÊA, Brenda Bogatzky Ribeiro. **Oferta de serviço ecossistêmico relacionado ao carbono em paisagens com fisionomias florestais e campestres em Cerrado**. 2020. 78 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

COSTA-COUTINHO, Joxleide Mendes *et al.* Conexões biogeográficas de savanas brasileiras: partição da diversidade marginal e disjunta e conservação do trópico ecotonal setentrional em um hotspot de biodiversidade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 12, p. 2406-2427, 2019. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.7.p2407-2427>. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/242207>. Acesso em: 13 fev. 2024.

COUTINHO, Joxleide Mendes da Costa Pires *et al.* Environmental Drivers Organize Woody Plant Assemblages across a Cerrado Vegetation Mosaic in Northern Brazil. **Nature and Conservation**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 1-21, 2021.

CRATO, Jorgiana Kamila Teixeira. Detecção em Multiescala de Bicho-Mineiro em Lavoura Cafeeira Utilizando Imagens Multiespectrais. 2018. 48 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) - Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2018

CROMMELINCK, Sophie *et al.* Contour Detection for UAV-Based Cadastral Mapping. **Remote Sens**, [s.l.], v. 9, p. 171-184, 2017. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9020171>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/9/2/171>. Acesso em: 13 fev. 2024.

CRUZ, Carla Bernadete Madureira *et al.* Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR, XV., 2011, Curitiba. Anais [...]*. Curitiba: Inpe, 2011. p. 5463.

CUNHA, Aécio S. *et al.* Uma avaliação da sustentabilidade da agricultura nos cerrados. **Estudos de Política Agrícola – Sumários Executivos**, Brasília, n. 2, p. 35-52, 1993.

DAAKIR, Mehdi *et al.* Lightweight UAV with On-Board Photogrammetry and Single-Frequency GPS Positioning for Metrology Applications. **ISPRS – Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [s.l.], v. 127, p. 115-126, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.12.007>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271616306402?via%3Dihub>. Acesso em: 13 fev. 2024.

DALLE LASTE, Keila Caroline; DURIGAN, Giselda; ANDERSEN, Alan N. Biodiversity Responses to Land-Use and Restoration in a Global Biodiversity Hotspot: Ant Communities in Brazilian Cerrado. **Austral Ecology**, [s.l.], v. 44, p. 313-326, 2019. DOI:

<https://doi.org/10.1111/aec.12676>. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/aec.12676>. Acesso em: 13 fev. 2024.

DAMBROSKI, A. A., DALMOLIN, L. C., MODRO, N. R., & RODRIGUES, G. O. Estudo comparativo de ferramentas de software para processamento de dados georreferenciados obtidos a partir de VANTS. **Revista Prociências**, v. 4, n. 1, p. 54-68, 2021.

DANDOIS, Jonathan P.; ELLIS, Erle C. High spatial resolution three-dimensional mapping of vegetation spectral dynamics using computer vision. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 136, p. 259-276, 2013.

DECEA. Circular de Informações Aeronáuticas nº 21 de 23 de setembro de 2010. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1356635.

Acesso em: 13 fev. 2024.

DEMAMBRO, Elizeu; PIETRAFESA, Pedro Araújo; ROJAS, Gabriela Vivian Gómez. A expansão do cultivo de soja e os impactos ambientais no vale do Araguaia, entre 2000 e 2019. **South American Development Society Journal**, [s.l.], v. 7, n. 20, p. 83, 2021. DOI:

<http://dx.doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v7i20p-83-108>. Disponível em:

<https://www.sadsj.org/index.php/revista/article/view/397>. Acesso em: 13 fev. 2024.

DIAS, Haryan Gonçalves; ROSSA, Alexandre Augusto. Considerações sobre o emprego de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) armados à luz do Direito Internacional dos Conflitos Armados. **Coleção Meira Mattos: Revista das Ciências Militares**, [s.l.], v. 9, n. 34, p. 189-212, 2015.

DILLENBURG, Angélica Karina. A importância do monitoramento ambiental na avaliação da qualidade de um rio – estudo de caso – Mercedes, PR. **Revista Urutágua – Revista Acadêmica Multidisciplinar**, Maringá, n. 12, p. 1-10, 2007.

DONLON, C., BERRUTI, B., BUONGIORNO, A., FERREIRA, M. H., FÉMÉNIAS, P., FRERICK, J., ... & SCIARRA, R. The global monitoring for environment and security (GMES) sentinel-3 mission. **Remote sensing of Environment**, v. 120, p. 37-57, 2012.

DU, Y., ZHANG, Y., LING, F., WANG, Q., LI, W., LI, X., Water bodies' mapping from Sentinel-2 imagery with modified normalized difference water index at 10-m spatial resolution produced by sharpening the SWIR band. **Remote Sensing**, v. 8, n. 4, p. 354, 2016.

EITEN, George. Delimitação do conceito de Cerrado. **Arquivos do Jardim Botânico**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 125-134, 1977.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço de Levantamento e Conservação de Solos. **Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Distrito Federal**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1978. 455p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. *In*: EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1979. 83p.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. LANDSAT. Satélites de Monitoramento. 2022. Disponível em: <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/landsat>. Acesso em: 22 out. 2022.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2023). SENTINEL - Missão Sentinel. Satélites de Monitoramento. Disponível em <https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/sentinel>. Acesso em: em 12 de abril de 2023

EIPHANIO, José C. N. *et al.* Índices de vegetação no sensoriamento remoto da cultura do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 6, p. 445-454, 1996. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4503/1789>. Acesso em: 8 fev. 2024.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 1998.

FADINI, Rodrigo F. *et al.* (2021). Long-Term Standardized Ecological Research in an Amazonian Savanna: A Laboratory Under Threat. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, [s.l.], v. 93, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120210879>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/aabc/a/7Q97873Z4LTtGTphw3FbLPm/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 13 fev. 2024.

FAUSTINO, Aline Berto; RAMOS, Fernanda Faria; SILVA, Sebastião Milton Pinheiro da. Dinâmica temporal do uso e cobertura do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Doce (RN) com base em Sensoriamento Remoto e SIG: uma contribuição aos estudos ambientais. **Sociedade e Território**, [s.l.], v. 26, n. 2, p. 18-30, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/sociedadeeterritorio/article/view/5305/4318>. Acesso em: 23 jan. 2024.

FELIX, Filipe Castro *et al.* Mapeamento da cobertura vegetal a partir de imagens de alta resolução obtidas por VANT. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, XVII, CONGRESSO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA, I., 2017, [s.l.]. **Anais [...]**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 5095-5105. DOI: <https://doi.org/10.20396/sbgfa.v1i2017.2217>. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2217>. Acesso em: 13 fev. 2024.

FERREIRA, M. E., SILVA, B. E., MALAQUIAS, S. S. F., TEIXEIRA, L. M. S., DOS SANTOS BARROS, N., & CARNEIRO, M. Plataforma de conhecimento do Cerrado: uma proposta de gestão para um bioma crítico e ameaçado. **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 1-4, 2019.

FERREIRA, Manuel Eduardo; ARAUJO, Ila Santos; AVINO, Felipe Spina; SILVA COSTA, Joao Vitor; OLIVEIRA-DA-COSTA, Marcelo; ALBUQUERQUE, Rafael Walter; BALBUENA, Enrique Mieza (2019). [IEEE IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - Yokohama, Japan (2019.7.28-2019.8.2)] IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium - Zoning the Fire-Risk in Protected Areas in Brazil with Drones: A Study Case for the Brasília National Park. , (), 9097–9100. doi:10.1109/igarss.2019.8900421

FERREIRA, Nilson C. *et al.* An Operational Deforestation Mapping System Using MODIS Data and Spatial Context Analysis. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 28, p. 47-62, 2007.

FERREIRA, Rildo; LINO, Estefânia Naiara da Silva. Expansão agrícola no cerrado: o desenvolvimento do agronegócio no estado de Goiás entre 2000 a 2019. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 22, n. 79, p. 1-17, 2021. DOI: <http://doi.org/10.14393/RCG227951217>. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/51217>. Acesso em: 22 jan. 2024.

FIGUEIRA, Nina M.; OLIVEIRA, Leonardo C. de. Super-Resolução: técnicas existentes e possibilidade de emprego às imagens do Vant VT-15. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, [s.l.], v. 30, p. 3-19, 2013.

FIRMINO, Poliane Francisco; MALAFAIA, Guilherme; RODRIGUES, Aline Sueli de Lima. Diagnóstico da integridade ambiental de trechos de rios localizados no município de Ipameri, Sudeste do Estado de Goiás, através de um protocolo de avaliação rápida. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, Itajaí, v. 15, n. 2, p. 1-12, 2011.

FONTES, Juliana Carvalho; POZZETTI, Valmir César. O uso dos veículos não tripulados no monitoramento ambiental na Amazônia. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 2, n. 2, p. 149-164, 2016.

FURTADO, Kenedy Daniel Calegari, CARVALHO, Victor Esmite Barroso de, BARBOSA, Gabriel Marcos Rodrigues, FERREIRA, Hyorran Cristian Paes, & BEZERRA, Mauro Guilherme Ferreira. O papel dos drones na agricultura 4.0 e 5.0: Auxílio tecnológico para uma agricultura eficiente, produtiva e sustentável. Seven Editora, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.56238/tecnocienagrariabiosoci-013>. Acesso em: 13 fev. 2024.

FURUYA, D. E. G., AGUIAR, J. A. F., ESTRABIS, N. V., PINHEIRO, M. M. F., FURUYA, M. T. G., PEREIRA, D. R., ... & RAMOS, A. P. M. A machine learning approach for mapping forest vegetation in riparian zones in an Atlantic Biome Environment using Sentinel-2 imagery. **Remote Sensing**, v. 12, n. 24, p. 4086, 2020.

GARCIA-RUIZ, Francisco *et al.* Comparison of Two Aerial Imaging Platforms for Identification of Huanglongbing-infected Citrus Trees Computers and Electronics. **Agriculture**, [s.l.], v. 91, p. 106-115, 2013.

GOMES, Amanda P. A. *et al.* Comparing a Single-Sensor Camera with a Multisensor Camera for Monitoring Coffee Crop Using Unmanned Aerial Vehicles. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 41, p. 87-97, 2021.

GOMES, Daniel Fernandes. Uso de imagens Sentinel-2 na identificação de áreas com infestação do capim-anonni-2 no Complexo Eólico Cerro Chato, Santana do Livramento, RS. 2017. 77p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS.

GOMES, Priscila Moreira; MELO, Celine de; VALE, Vagner Santiago do. Avaliação dos impactos ambientais em nascentes na cidade de Uberlândia-MG: Análise macroscópica. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 17, n. 32, p. 103-120, 2005. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/sociedadnatureza/article/view/9169/5638>. Acesso em: 4 fev. 2024.

GRANJEIRO, G. F. **Estrutura e dinâmica da comunidade zooplanctônica em diferentes ambientes do Cerrado**. 2020. 59 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNB_1f6faa65ea12b17b3327c119400ab19c. Acesso em: 5 jan. 2024.

HAIDER, T.; FARID, M.S.; MAHMOOD, R.; ILYAS, A.; KHAN, M.H.; HAIDER, S.T.-A.; CHAUDHRY, M.H.; GUL, M. A computer-vision-based approach for nitrogen content estimation in plant leaves. *Agriculture*, v. 11, n. 8, 766, 2021.

HOERLLE, G.S.; SANTINI, J.; PORTELA, N.B.; BONATTO, S.W.; SANTOS, H.J. Monitoramento de áreas de proteção permanente através de imagens e ortofotos geradas por VANTS e fotogrametria. Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais – IBEAS. Porto Alegre, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Desbravar, conhecer, mapear:** memórias do Projeto Radam / RadamBrasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2018.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE cidades:** Silvânia – Censo Agropecuário 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/go/silvania/pesquisa/24/76693>. Acesso em: 2 set. 2020.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico de uso da terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE; 2006. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv8199.pdf>. Acesso em: 8 maio 2020.

IMMITZER, Markus; VUOLO, Francesco; ATZBERGER, Clement. First experience with Sentinel-2 data for crop and tree species classifications in central Europe. **Remote sensing**, v. 8, n. 3, p. 166, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs8030166>. Acesso em 10 fev. 2024

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat>. Acesso em: 18 abr. 2023.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. PRODES - Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. Avisos – Bioma Cerrado. **Portal Terrabrasilis**. Disponível em: <http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/cerrado/increments>. Acesso em: 18 fev. 2024.

ISIOYE, Olalekan Adekunle; JOBIN, Paul. An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources. **Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 1-17, 2012. Disponível em: https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig2011/papers/ts05i/ts05i_isioye_jobin_4911.pdf. Acesso em: 3 fev. 2024.

JARQUE, C. M.; BERA, A. K. A test for normality of observations and regression residuals. *International Statistical Review*, v.55, p.163-172, 1987.

JESUZ, Cleberson Ribeiro de *et al.* Aplicação de veículos aéreos não tripulados na obtenção de parâmetros para análise da paisagem: um ensaio de pesquisa em Campo Verde-MT. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, Campinas, v. 1, p. 4859-4870, 2017.

JORGE, Lúcio André de Castro; INAMASU, Ricardo Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em agricultura de precisão. Embrapa Instrumentação. Ferramentas para agricultura de precisão, v. 8, p. 109, 2014.

JORGE, Lúcio André de Castro; INAMASU, Ricardo Y. Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão. *In: Agricultura de Precisão: resultados de um novo olhar*: ferramentas para a agricultura de precisão. São Carlos: Embrapa Instrumentação, 2014. p. 109-134.

KAZEMI, F.; GHANBARI PARMEHR, E. Evaluation of RGB vegetation indices derived from UAV images for rice crop growth monitoring. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 10, p. 385-390, 2023.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 147-155, 2005. Disponível em: https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Texto_Adicional_ConservacaoID-xNOKMLsupY.pdf. Acesso em: 8 out. 2019.

KORHONEN, L.; PACKALEN, P.; RAUTIAINEN, M. Comparison of Sentinel-2 and Landsat 8 in the estimation of boreal forest canopy cover and leaf area index. **Remote sensing of environment**, v. 195, p. 259-274, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.021>. Acesso em 10 fev. 2024

KRUPEK, Rogério Antônio. Análise comparativa entre duas bacias hidrográficas utilizando um protocolo de avaliação rápida da diversidade de *habitats*. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, n. 1, p. 147-158, 2010. Disponível em: <https://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/981>. Acesso em: 4 fev. 2024.

KUCHLER CALVANO, P., SIMOES, M., BÉGUÉ, A., MACHADO, P. L., FERRAZ, R. P., MADARI, B. E., ... & MANZATTO, C. Extração de métricas fenológicas a partir de séries temporais de NDVI visando o mapeamento da intensificação sustentável da agricultura brasileira. In: XXVII Congresso Brasileiro de Cartografia e XXVI Expositiva, 27., 2017, Rio de Janeiro. Anais [...] Rio de Janeiro: SBC, 2017. p. 1582-1586.

KUMAR, P., PRASAD, R., GUPTA, D. K., MISHRA, V. N., VISHWAKARMA, A. K., YADAV, V. P., ... & AVTAR, R. Estimation of winter wheat crop growth parameters using time series Sentinel-1A SAR data. **Geocarto international**, v. 33, n. 9, p. 942-956, 2018.

LANDGREBE, David. The evolution of Landsat data analysis. **Photogrammetric engineering and remote sensing**, v. 63, n. 7, p. 859-867, 1997.

LATRUBESSE, Edgardo M. *et al.* Fostering water resource governance and conservation in the Brazilian Cerrado biome. **Conservation Science and Practice**, [s.l.], v. 1, n. 9, p. e77, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/csp2.77>. Disponível em: <https://conbio.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/csp2.77>. Acesso em: 22 jan. 2024.

LATRUBESSE, Edgardo M.; CARVALHO, Tiago. **Mapa Geomorfológico de Goiás e Distrito Federal**. Goiânia: Superintendência de Geologia e Mineração do Estado de Goiás, 2006.

LATRUBESSE, Edgardo M.; RODRIGUES, S. C.; MAMEDE, L. Sistema de classificação e mapeamento geomorfológicos: uma nova proposta. **Geosul**, [s.l.], v. 14, n. 17, p. 682-687, 1998.

LAUER, Donald T.; MORAIN, Stanley A.; SALOMONSON, Vincent V. The Landsat program: Its origins, evolution, and impacts. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 63, n. 7, p. 831-838, 1997.

LEWIS, K., DE V. BARROS, F., CURE, M. B., DAVIES, C. A., FURTADO, M. N., HILL, T. C., ... & ROWLAND, L. Mapping native and non-native vegetation in the Brazilian Cerrado using freely available satellite products. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, p. 1588, 2022.

LIBOMBO, Sérgio Elias; GALVINCIO, Josicleda Domiciano. Análise da cobertura vegetal do município de Moçambique, utilizando imagens de satélites. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, [s.l.], v. 12, n. 6, p. 410-417, 2022.

LILLESAND, Thomas M.; KIEFER, Ralph W.; CHIPMAN, Jonathan W. Digital Image Interpretation and Analysis. **Remote Sensing and Image Interpretation**, [s.l.], v. 6, p. 545-81, 2008.

LIMA, Flávia Pereira; BASTOS, Rogério Pereira. No Bats, no Gain: Educational Intervention Increases Farmers Perception of Ecosystem Services. **International Journal of Agricultural Sustainability**, [s.l.], v. 20, n. 1, p. 1-16, 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/14735903.2021.1911510>. Acesso em: 5 jan. 2024.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. Situação e perspectivas sobre as águas do Cerrado. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 63, n. 3, p. 27-29, jul. 2011. Disponível em: http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252011000300011. Acesso em: 6 nov. 2022.

LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck; SILVA, Euzebio Medrado da. Estimativa da produção hídrica superficial do Cerrado brasileiro. In: SCARIOT, Aldicir; SOUSA-SILVA, José Carlos; FELFILI, Jeanine M. (orgs.). **Cerrado: ecologia, biodiversidade e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005. p. 60-72.

LINHARES, M. M. A.; ROCHA, N. C. C.; AMARAL, B. A. S. Análise do índice MPRI como indicador vegetativo através da correlação do mesmo com o índice NDVI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. Anais... São José dos Campos: INPE, 2013. p. 8254-8260.

LINHARES, Mayklyns M. A. *et al.* Vant's aplicados ao monitoramento da evolução vegetativa de culturas agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO – CpnBAP, 2014, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: [s.n.], 2014. p. 1-8.

LOBO, Eduardo A.; VOOS, José Guilherme; FIEDLER JÚNIOR, Edson de Abreu. Utilização de um protocolo de avaliação rápida de impacto ambiental em sistemas lóticos do Sul do Brasil. **Caderno de Pesquisa, Série Biologia**, Santa Cruz, v. 23, n. 1, p. 18-33, 2011.

LONGHITANO, George Alfredo. VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10012011-105505>. Acesso em: 18 mar 2020.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto**: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-10012011-105505/>. Acesso em: 11 maio 2020.

LUCIEER, Arko *et al.* Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to Capture micro-Topography of Antarctic Moss Beds. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s.l.], v. 27, Part A, p. 53-62, 2014.

MACHADO, Ricardo B. *et al.* **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília, DF: Conservação Internacional, 2004. Disponível em: https://jbb.ibict.br/bitstream/1/357/1/2004_%20Conservacao%20Internacional_%20estimativa_a_desmatamento_cerrado.pdf. Acesso em: 8 out. 2019.

MADUREIRA, Elisa Lello. Uso de drones para entregas de pequeno porte no Brasil, 2021. Artigo de graduação (Curso Superior de Tecnologia em Logística) - Faculdade de Tecnologia de Americana, Americana, 2021. Trabalho apresentado no XII Congresso de Logística das Faculdades de Tecnologia do Centro Paula Souza - FatecLog Mogi das Cruzes, 2021

MAHLEIN, A. K. Plant disease detection by imaging sensors – parallels and specific demands for precision agriculture and plant phenotyping. **Plant Dis.** 100, 241–254. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1094/PDIS-03-15-0340-FE>. Ac Acesso em: 24 out. 2023.

MANFREDA, Salvatore *et al.* On the use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. **Remote Sens**, [s.l.], v.10, p. 641-669, 2018. Disponível em <https://doi.org/10.3390/rs10040641> Acesso em: 24 out. 2023.

MAPBIOMAS. Área de agropecuária no Brasil cresceu 50% nos últimos 38 anos. **MapBiomias**, 2020. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/2023/10/06/area-de-agropecuaria-no-brasil-cresceu-50-nos-ultimos-38-anos/>. Acesso em: 24 out. 2023.

MAPBIOMAS. Plataforma **MapBiomias uso e cobertura - Coleção 8**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/>. Acesso em: 10 fev. 2024.

MARINAN, Anne; NICHOLAS, Austin; CAHOY, Kerri. Ad Hoc Cubesat Constellations: Secondary Launch Coverage and Distribution. **2013 IEEE Aerospace Conference**, [s.l.], p. 1-15, 2013. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/6497174>. Acesso em: 24 jan. 2024.

- MAURANO, Luis Eduardo P.; ALMEIDA, Cláudio Aparecido de; MEIRA, Maurício Braga. Monitoramento do desmatamento do cerrado brasileiro por satélite PRODES Cerrado. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 191-194, 2019.
- MCCABE, Matthew F. *et al.* Cubesats in Hydrology: Ultrahigh-resolution Insights into Vegetation Dynamics and Terrestrial Evaporation. **Agu Water Resources Research**, [s.l.], v. 53, p. 10-17, 2017.
- MELITO, Melina; METZGER, Jean Paul; OLIVEIRA, Alexandre A. de. Landscape-level Effects on Aboveground Biomass of Tropical Forests: A Conceptual Framework. **Global Change Biology**, [s.l.], v. 24, n. 2, p. 597-607, 2018.
- MELO, Ana Clara Alves; MARTINS, Patrick Thomaz de Aquino. Contribuição das áreas de proteção ambiental na conservação do Cerrado. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 2, 2020.
- MELO, Emanuelle Zordan de. **Geotecnologias aplicadas à análise e delimitação de área de preservação permanente (APP) de cursos d'água**. 2019. 67 f. Dissertação (Mestrado em Qualidade Ambiental) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.14393/ufu.di.2019.2573>. Disponível em: <http://repositorio.ufu.br/handle/123456789/29056>. Acesso em: 13 fev. 2024.
- MELO, Isabel *et al.* A Review of Threshold Responses of Birds to landscape Changes Across the World. **Journal of Field Ornithology**, [s.l.], v. 89, n. 4, p. 303-314, 2018.
- MELO, Isabella Rodrigues de *et al.* Aplicações do monitoramento acústico automático de anuros: inventário de espécies, comparações metodológicas e estudo da detectabilidade das espécies. **Ecological Indicators**, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108305>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X21009705?via%3Dihub>. Acesso em: 13 fev. 2024.
- MENDONÇA, Angela Maria *et al.* Confiabilidade dos parâmetros monitorados em águas por sonda multiparâmetros. **REGA**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 1-11, 2017.
- MINATTI-FERREIRA, Denize Demarche; BEAUMORD, Antonio Carlos. Adequação de um protocolo de avaliação rápida de integridade ambiental para ecossistemas de rios e riachos: aspectos físicos. **Revista Saúde e Ambiente**, Joinville, v. 7, n. 1, p. 39-47, 2006.
- MINATTI-FERREIRA, Denize Demarche; BEAUMORD, Antonio Carlos. Avaliação rápida de integridade ambiental das sub-bacias do rio Itajaí-Mirim no Município de Brusque, SC. **Revista Saúde e Ambiente**, Joinville, v. 5, n. 2, p. 21-27, 2004.
- MITTERMEIER, Russell A. *et al.* **Hotspots revisited**: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions. 1. ed. Mexico City: Cemex Books on Nature Series, 2004.
- MLAMBO, Reason *et al.* Structure from Motion (sfm) Photogrammetry with Drone Data: A Low Cost Method for Monitoring Greenhouse Gas Emissions from Forests in Developing Countries. **Forests, Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 68, 2017.

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **PMDBBS: Monitoramento do bioma Cerrado do período 2010-2011**. Brasília: MMA, 2015. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/publicacoes/biomas/category/62-cerrado.html?download=1138:monitoramento-do-desmatamento-dos-biomas-brasileiros-por-sat%C3%A9lite-cerrado-cerrado-2010-2011>. Acesso em: 15 abr. 2023.

MOREIRA, Maurício Alves *et al.* **Satélites e história do Sensoriamento remoto**. Formação continuada de professores: curso astronáutica e ciências do Espaço. São José dos Campos: Inpe, 2008.

MYERS, Norman *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, [s.l.], v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/d5b2d2a869b307c285d51d325d3a2208/1?pq-origsite=gscholar&cbl=40569>. Acesso em: 8 out. 2019.

NERO, Marcelo Antonio *et al.* Construção de um modelo de potencial de radiação solar local e discussão das aplicações sustentáveis e potenciais associados. **Sustainability in Debate**, Brasília, v. 11, n. 2, p. 190-207, 2020.

NETO, Mario Furlaneto; FURLANETO, Fernanda de Paiva Badiz. Estudo sobre a responsabilidade decorrente do uso de “veículo aéreo não tripulado” (drone) no Brasil. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 4, p. e47811427834-e47811427834, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i4.27834>. Acesso em: 13 fev. 2024.

NIETHAMMER, Uwe *et al.* UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results. **Engineering Geology**, [s.l.], v. 128, p. 2-11, 2012.

NOVAES, Antonio Santos Silva *et al.* Pedologia. In: ROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE.22** – Goiânia (Levantamento de Recursos Naturais, 31). Rio de Janeiro: IBGE, 1983. p. 413-576.

NOVELLI, A., AGUILAR, M. A., NEMMAOUI, A., AGUILAR, F. J., & TARANTINO, E. Performance evaluation of object based greenhouse detection from Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI data: A case study from Almería (Spain). **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 52, p. 403-411, 2016.

OLIVEIRA, Cipriano Cavalcante de (org.). **Programa Levantamentos Básicos do Brasil** – Folha SE.22-X-B-V. Leopoldo de Bulhões; Brasília: DNPM, 1994.

OLIVEIRA, M. T., CASSOL, H. L. G., GANEM, K. A., DUTRA, A. C., PRIETO, J. D., ARAI, E., & SHIMABUKURO, Y. E. Mapeamento da vegetação do cerrado – uma revisão das iniciativas de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 72, 2020.

OLIVEIRA, Marcell Terra *et al.* Mapeamento da vegetação do cerrado – uma revisão das iniciativas de sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 72, 2020.

OLIVEIRA-FILHO, Paulo Costa de; DUTRA, Andressa Moraes; CERUTI, Fabiane Cristina. Qualidade das águas superficiais e o uso da terra: estudo de caso pontual em bacia hidrográfica do oeste do Paraná. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, 2012.

OLIVEIRA JUNIOR, Luis Augusto Lima; NUNES, Sâmia; SOUZA JUNIOR, Carlos; KIRCHHOFF, Frederic; SIQUEIRA, João Victor. Análise comparativa do mapeamento de

vegetação secundária dos projetos TerraClass e MapBiomias. In: **ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019**, Santos. Anais eletrônicos... São José dos Campos: INPE, 2019. Disponível em: <https://proceedings.science/sbsr-2019/trabalhos/analise-comparativa-do-mapeamento-de-vegetacao-secundaria-dos-projetos-terraclas?lang=pt-br>. Acesso em: 23 fev. 2024.

PADOVESI-FONSECA, Claudia *et al.* Diagnóstico da sub-bacia do ribeirão Mestre d'Armas por meio de dois métodos de avaliação ambiental rápida, Distrito Federal, Brasil Central. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 5, n. 1, p. 43-56, 2010.

PADRÓ, Joan-Cristian *et al.* Comparison of Four UAV Georeferencing Methods for Environmental Monitoring Purposes Focusing on the Combined Use with Airborne and Satellite Remote Sensing Platforms. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s.l.], v. 75, p. 130-140, 2019.

PANIGADA, C., TAGLIABUE, G., ZAADY, E., ROZENSTEIN, O., GARZONIO, R., DI MAURO, B., ... & ROSSINI, M. A new approach for biocrust and vegetation monitoring in drylands using multi-temporal Sentinel-2 images. **Progress in Physical Geography: Earth and Environment**, v. 43, n. 4, p. 496-520, 2019.

PARANHOS FILHO, Antonio Carlos; LASTORIA, Giancarlo; TORRES, Thais Gisele. **Sensoriamento remoto ambiental aplicado**. Campo Grande: Editora UFMS, 2008.

PARANHOS FILHO, Antonio Conceição *et al.* **Geotecnologias para aplicações ambientais**. Maringá, PR: Uniedusul, 2021.

PARRON, Lucilia Maria *et al.* **Cerrado: desafios e oportunidades para o desenvolvimento sustentável**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2008.

PAZ, Otacílio Lopes de Souza da; SAMPAIO, Tony Vinicius Moreira. Aeronaves remotamente pilotadas na pesquisa geográfica uma análise dos usos, aplicações e desenvolvimento tecnológico associado entre os anos de 2014 e 2017. **Revista Interface**, Porto Nacional, v. 17, n. 17, p. 23-31, 2019.

PEGORARO, Antoninho João; GUBIANI, Juçara Salete; PHILIPS, Jurgen W. Veículo Aéreo Não Tripulado: uma ferramenta de auxílio na gestão pública. In: SIMPOSIO ARGENTINO DE INFORMATICA Y DERECHO, Córdoba, 2013. **Anais [...]**. Córdoba: [s.n.], 2013. p. 177-187.

PEREIRA, Cássio Cardoso; FERNANDES, Geraldo Wilson. Cerrado conservation is key to the water crisis. **Science**, v. 377, n. 6603, p. 270-270, 2022.

PEREIRA, Ismael Martins; CONEGLIAN, Ademilson. Situação e perspectivas da conservação do Cerrado em 2019. **Revista Agrotecnologia**, Ipameri, v. 11, n. 1, p. 16-22, 2020. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/9748>. Acesso em: 22 jan. 2024.

PEREIRA, Maria Antônia Balbino *et al.* Qualidade Hídrica da Cachoeira do Rio São Tomás, no Município de Rio Verde, Goiás, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 377-390, 2020.

PESARESI, M., CORBANE, C., JULEA, A., FLORCZYK, A.J., SYRRIS, V., SOILLE, P., Assessment of the added-value of Sentinel-2 for detecting built-up areas. **Remote Sensing**, v. 8, n. 4, p. 299, 2016.

PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; BOSI, C.; CRIPPA, P. H.; SANTOS, P. M.; NARDACHIONE, E. C. Assessment of Piatã palisadegrass forage mass in integrated livestock production systems using a proximal canopy reflectance sensor. **European Journal of Agronomy**, v. 103, p. 130-139, 2019.

PHIRI, D., SIMWANDA, M., SALEKIN, S., NYIRENDA, V. R., MURAYAMA, Y., & RANAGALAGE, M. (2020). Sentinel-2 data for land cover/use mapping: A review. **Remote Sensing**, 12(14), 2291.

PIMENTA, Sandro Morais; PENA, Alfredo Palau; GOMES, Patrícia Silva. Aplicação de métodos físicos, químicos e biológicos na avaliação da qualidade das águas em áreas de aproveitamento hidroelétrico da bacia do rio São Tomás, município de Rio Verde – Goiás. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 21, n. 3, p. 393-412, 2009.

PINHEIRO, Évelyn Camila Casadias; RAMOS, Ana Paula Marques; MARCATO JUNIOR, José. Validação da aplicação de imagens *Planet* à regularização ambiental de imóveis rurais no Mato Grosso do Sul. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s.l.], v. 42, n. 3, p. 145-153, 2020.

PINTO, Lilian Vilela Andrade *et al.* Estudo das nascentes da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG. **Scientia Florestalis**, [s.l.], n. 65, p. 197-206, jun. 2004. Disponível em: <https://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr65/cap19.pdf>. Acesso em: 1º jan. 2024.

PLANET. **Planet Imagery Product Specifications**. San Francisco, Ca: Planet. 2018. 57 p. Disponível em <https://www.planet.com/docs/spec-sheets/sat-imagery/>. Acesso em: 7 out. 2019.

PONZONI, Flávio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Ed. Parêntese, 2007.

PROBIO. **Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/informmma/item/486-probio.html>. Acesso em: 23 jan. 2022.

PULITI, Stefano *et al.* Inventory of Small Forest Areas Using an Unmanned Aerial System. **Remote Sensing, Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, [s.l.], v. 7, n. 8, p. 9632-9654, 2015.

QUEIROZ, Manoel Moisés Ferreira de *et al.* Influência do uso do solo na qualidade da água de uma microbacia hidrográfica rural. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 5, n. 4, p. 200-210, 2010.

RATTER, James Alexander; BRIDGEWATER, Sam; RIBEIRO, José Felipe. Analysis of the Floristic Composition of the Brazilian Cerrado Vegetation III: Comparison of the Woody Vegetation of 376 Areas. **Edinburgh Journal of Botany**, [s.l.], v. 60, n. 1, p. 57-109, 2003.

REATTO, A. *et al.* **Mapa Pedológico digital SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 31 p.

RESENDE, Álvaro Vilela de *et al.* Caracterização, uso e conservação do solo e água: demandas para a pesquisa. *In:* FALEIRO, Fábio Gelape; FARIAS NETO, Austerclínio Lopes de (org.). **Savanas: demandas para pesquisa**. 1. ed. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2009. v. 1, p. 44-51.

REZENDE, Leidiane de Paula; FERREIRA, Ricardo Vicente. Análise do conteúdo de umidade foliar de fitofisionomias do Cerrado com uso de imagens do multispectral instrument do satélite Sentinel 2. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 13, n. 7, p. 3315-3325, 2020.

RIBEIRO, Fernanda Leite; SILVEIRA, Gabriel Rondina Pupo da; SANTOS, William Renan Piva dos. Análise da preservação dos recursos hídricos por meio de imagem de satélite. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 5, 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/288331407_ANALISE_DA_PRESERVACAO_DO_S_RECURSOS_HIDRICOS_POR_MEIO_DE_IMAGEM_DE_SATELITE. Acesso em: 4 fev. 2024.

RIBEIRO, José Felipe; SANO, Sueli Matiko; SILVA, J. A. da. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. *In:* CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, XXXII., 1981, Teresina. **Anais [...]**. Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, 1981. p. 124-133.

RIBEIRO, José Felipe; WALTER, Bruno Machado Teles. Fitofisionomia do bioma Cerrado. *In:* SANO, Sueli Matiko; ALMEIDA, Semíramis Pedrosa de; RIBEIRO, José Felipe (orgs.). **Cerrado: ambiente e flora**. Planaltina, DF: Embrapa: CPAC, 1998. p. 47-86.

RIBEIRO, Karina Hache. **Qualidade da água superficial e a relação com o uso do solo e componentes ambientais na microbacia do rio Campestre, Colombo, PR**. 2009. 51 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima *et al.* Adequação e avaliação da aplicabilidade de um Protocolo de Avaliação Rápida na bacia do rio Gualaxo do Norte, Leste-Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 2, p. 231-244, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.872>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/CbTg6dKQhzZHJb5bYX5L3Dq/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 13 fev. 2024.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima. **Adequação de um protocolo de avaliação rápida para o monitoramento e avaliação ambiental de cursos d'água inseridos em campos rupestres do Cerrado**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Evolução Crustal e Recursos Naturais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2008.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim. Protocolos de avaliação rápida: instrumentos complementares no monitoramento dos recursos hídricos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 13, n. 1, p. 161-170, 2008.

RODRIGUES, Aline Sueli de Lima; CASTRO, Paulo de Tarso Amorim; MALAFAIA, Guilherme. Utilização dos protocolos de avaliação rápida de rios como instrumentos complementares na gestão de bacias hidrográficas envolvendo aspectos da geomorfologia fluvial: uma breve discussão. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 6, n. 11, p. 1- 9, 2010.

Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/4162>. Acesso em: 4 fev. 2024.

RODRIGUES, M. T., RODRIGUES, B. T., GABRIEL, C. C. E., & GMACH, D. DETECÇÃO DE VEGETAÇÃO EM ÁREA DE MINERAÇÃO POR MEIO DE ÍNDICES ESPECTRAIS. In: ANAIS DO XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2023, Florianópolis. *Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2023*. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2023/trabalhos/deteccao-de-vegetacao-em-area-de-mineracao-por-meio-de-indices-espectrais?lang=pt-br>>. Acesso em: 28 jan. 2024.

RODRIGUES, Mikael Timóteo *et al.* Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao uso da terra para avaliação entre classificadores a partir do índice Kappa. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, [s.l.] v. 23, n. 1, p. 60-70, 2014.

RODRIGUES, Taise *et al.* Detecção de mudanças da cobertura vegetal natural do Cerrado por meio de dados de radar (Sentinel-1A). **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 31, p. 1-22, 2019.

RODRIGUES, Valdemir Antônio. Morfometria e mata ciliar da microbacia hidrográfica. In: WORKSHOP EM MANEJO DE MICROBACIAS HIDROGRÁFICAS, 8., 2004, Botucatu. *Anais [...]*. Botucatu: Unesp, 2004. p. 7-18.

ROY, D. P., WULDER, M. A., LOVELAND, T. R., WOODCOCK, C. E., ALLEN, R. G., ANDERSON, M. C., ... & ZHU, Z. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. **Remote sensing of Environment**, v. 145, p. 154-172, 2014.

SANO, E. E., BOLFE, E., Parreiras, T. C., DEL'ARCO SANCHES, I., BETTIOL, G., VICTORIA, D. D. C., & Vicente, L. E. Uso de dados multi-sensores para o monitoramento agrícola no cerrado: resultados preliminares. 2023.

SANO, E. E., ROSA, R., SCARAMUZZA, C. A. D. M., ADAMI, M., BOLFE, E. L., COUTINHO, A. C., ... & BAYMA-SILVA, G. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, 2019.

SANO, Edson Eyji *et al.* **Características gerais da paisagem do Cerrado**. Dinâmica agrícola no cerrado: análises e projeções. Brasília: Embrapa Cerrados, 2020. p. 21-37.

SANO, Edson Eyji *et al.* Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 54, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2019.v54.00138>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/GQYcBYK993bQksGszxwkcsf/?lang=en>. Acesso em: 22 jan. 2024.

SANO, Edson Eyji *et al.* Uso de dados multi-sensores para o monitoramento agrícola no cerrado: resultados preliminares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XX., 2023, Florianópolis. *Anais [...]*. Florianópolis: Inpe, 2 a 5 de abril de 2023. p. 412-415.

SANTOS, Ana Júlia *et al.* Comparação entre produtos de sensoriamento remoto obtidos por sensores orbitais e RPAS aplicados à conservação de precisão. **Enciclopédia Biosfera**,

Jandaia-GO, v. 19, n. 41, p. 26-34, 2022. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2022c/comparacao.pdf>. Acesso em: 16 maio 2023.

SANTOS, Cloves Vilas Boas dos *et al.* Comparação de imagens multiespectrais utilizando Satélites e VANT para análise de mudanças estruturais em área de Floresta Seca. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 14, n. 6, p. 2510-2522, 2021.

SANTOS, João Pedro dos *et al.* Relações entre qualidade da água e uso e cobertura do solo em múltiplas escalas espaciais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais. **Revista Espinhaço**, [s.l.], v. 6, n. 2, p. 36-46, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufvjm.edu.br/revista-espinhaco/article/view/105>. Acesso em: 18 abr. 2023.

SANTOS, Juliana Silveira dos *et al.* Landscape Ecology in the Anthropocene: An Overview for Integrating Agroecosystems and Biodiversity Conservation. **Perspectives in Ecology and Conservation**, [s.l.], p. 158-170, 2021.

SANTOS, Marcus Vinícius Albuquerque *et al.* Avaliação da qualidade da água e manejo de cisternas domiciliares em comunidade rural do Oeste da Bahia (Brasil). **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, [s.l.], v. 11, n. 1, 2023.

SAWYER, Donald *et al.* Perfil do ecossistema *hotspot* de biodiversidade do Cerrado. **Critical Ecosystem Partnership Found**, [s.l.], p. 495, 2016.

SCHONBERGER, Johannes L.; FRAHM, Jan-Michael. Structure-from-motion revisited. *In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, [s.l.], p. 4104-4113, 2016.

SHAPIRO, A. S. S.; WILK, M. B. An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, v.52, n.3/4, p.591–611, 1965.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDAO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P.; VILELA, M. F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. *In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.). Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília, DF: Embrapa, 2014. p. 58-73.*

SHIRATSUCHI, Luciano Shozo *et al.* Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. *In: BERNARDI, Antônio Carlos de Campos et al. Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar. Brasília: Embrapa, 2014. p. 58-73.*

SILVA Patrícia Evelyn da. **A influência da mata ciliar na qualidade da água em dois rios na área rural de Foz do Iguaçu – PR.** 2009. Trabalho Final de Graduação (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Faculdade Dinâmica de Cataratas, União Dinâmica de Faculdade Cataratas, Foz do Iguaçu, 2009.

SILVA, Ana Beatriz Neves; BELTRÃO, Norma Ely Santos; SANTOS, Lucyana Barros. Utilizando imagens Sentinel-2 e índices espectrais para análise de severidade em áreas queimadas de origem antrópica: um estudo no sudeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 01, p. 489-504, 2023.

SILVA, Andréa Leme da *et al.* Water Appropriation on the Agricultural Frontier in Western Bahia and Its Contribution to Streamflow Reduction: Revisiting the Debate in the Brazilian Cerrado. **Water**, [s.l.], v. 13, n. 8, p. 1054, 2021.

SILVA, C.A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M.V. S.; SABADIA, J.A.B. Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Paraíba, Anais, 2015, p. 1137-1144.

SILVA, Carlos Eduardo Félix da *et al.* Análise macroscópica da qualidade dos recursos hídricos das bacias hidrográficas dos córregos Lava-Pés e Pedrinhas em Silvânia/GO. **Tecnia**, [s.l.], v. 4, p. 44-59, 2019.

SILVA, D. C., Toonstra, G. W. A., Souza, H. L. S., & Pereira, T. A. J. Qualidade de ortomosaicos de imagens de VANT processados com os softwares APS, PIX4D e PHOTOSCAN. V **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife-PE**, 2014.

SILVA, Eristelma Teixeira de Jesus Barbosa. Veículos aéreos não tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia. In: **SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. Foz do Iguaçu: INPE, 2013. p. 9324-9331.

SILVA, J.R.; RUFINO Jr, L.; FERREIRA, M.E.; VIEIRA, P.A. Análise Morfométrica do Perímetro Urbano de Goiás/Rio Vermelho com Dados obtidos por VANT'S. In: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Paraíba, 2015, Anais, p. 2309-2316.

SILVA, Viviane Farias *et al.* Análise da degradação da vegetação nativa em área de preservação permanente na Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s.l.], v. 13, n. 1, p. 121-130, 2020.

SILVEIRA, Hilton Luís Ferraz. Uso de dados do sensor MSI/Sentinel-2 e de Lidar aerotransportado para mapeamento de fitofisionomias de Caatinga e estudo das relações com atributos físico-químicos dos solos. 2018. 136p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Ciências Espaciais, MCTIC, São José dos Campos.

SIMPSON, Andrew David. Development of an Unmanned Aerial Vehicle for Low-cost Remote Sensing and Aerial Photography. 2003. **Master of Science Thesis** – University of Kentucky, Lexington, 2003.

SOBRAL, Patrícia Verônica Nunes Carvalho; SANTOS, Alex Torres. A INSERÇÃO DOS DRONES (RPAs) NA SEGURANÇA PÚBLICA BRASILEIRA. **Revista Em Tempo**, v. 18, n. 01, p. 133-155, 2019.

SOUSA, Monik Silva. Detecção e classificação de perturbações no meio aquático via aprendizado profundo e rede neural artificial integrada à métodos estatísticos. 2023.

SOUZA, Alessandro Oliveira; SILVA, Marcos José da. Senna (*Leguminosae*, *Caesalpinioideae*) na Floresta Nacional de Silvânia, Goiás, Brasil. **Rodriguésia**, v. 67, n. 3, p. 773-784, 2016.

SOUZA, Milena Caramori Borges de. **Influência da mata ciliar na qualidade da água de trecho do Rio Jararecica - Maceió/AL**. 2012. 195 f. Dissertação (Mestrado em Recursos

Hídricos e Saneamento) – Centro de Tecnologia, Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

STEINER, Jakob F. *et al.* Brief Communication: The Khurdopin Glacier Surge Revisited – Extreme Flow Velocities and Formation of a Dammed Lake in 2017. **The Cryosphere**, [s.l.], v. 12, p. 95-101, 2017.

STRASSBURG, Bernardo *et al.* Momento da verdade para o hotspot do Cerrado. **Nature Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 1, n. 0099, p. 1-3, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41559-017-0099>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41559-017-0099>. Acesso em: 13 fev. 2024.

SZANTOI, Zoltan; STROBL, Peter. Copernicus Sentinel-2 calibration and validation. **European Journal of Remote Sensing**, v. 52, n. 1, p. 253-255, 2019.

TABARELLI, Marcelo *et al.* **PELD – CNPq dez anos do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração no Brasil: achados, lições e perspectivas**. 1. ed. Recife: Editora Universitária UFPE, 2013. v. 1. 446p.

TAN, Jiao; DING, Jianli; HAN, Lijing; GE, Xiangyu; WANG, Xiao; WANG, Jiao; WANG, Ruimei; QIN, Shaofeng; ZHANG, Zhe; LI, Yongkang. Exploring planetscope satellite capabilities for soil salinity estimation and mapping in arid regions oases. **Remote Sensing**, v. 15, n. 4, p. 1066, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs15041066>. Acesso em 10 fev. 2024.

TEIXEIRA, Marcilio Baltazar; CAMARGO, Pedro Luiz Teixeira de; MARTINS JUNIOR, Paulo Pereira. Uso das imagens de sensores remotos para análise crítica da degradação do Cerrado no Alto Médio São Francisco-Minas Gerais. **Anuário do Instituto de Geociências**, [s.l.], v. 14, n. 1, p. 245-254, 2018.

TIAN, Haifeng, WANG Li, MINGQUAN Wu, NI Huang, GUODONG Li, XIANG Li, and ZHENG Niu. Dynamic monitoring of the largest freshwater Lake in China using a new water index derived from high spatiotemporal resolution Sentinel-1A data. **Remote Sensing**, v. 9, n. 6, p. 521, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs9060521>. Acesso em 10 fev. 2024.

TSCHIEDEL, Arthur da Fontoura; OLIVEIRA, Vinícius Quadros de; PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de. Utilização de VANTS de pequeno porte em estudos de rompimento de barragens. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, XXII., 2017, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: ABRH, 2017. p. 1-8.

TUCKER, Compton J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 8, n. 2, p. 127-150, 1979. DOI: [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0034425779900130>. Acesso em: 12 fev. 2024.

UMEDA, Camila Yuri Lira *et al.* Uso de sensoriamento remoto na identificação de corredores ecológicos: estudo de caso da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Bonito, MS. **Engenharia Sanitária Ambiental**, [s.l.], v. 20, n. 4, 2015. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1135919>. Acesso em: 22 jan. 2024.

USGS – United States Geological Survey. **Landsat Project Description**. 2013. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8>. Acesso em: 24 out. 2020.

VAEZA, Rafael Franco *et al.* Uso e ocupação do solo em bacia hidrográfica urbana a partir de imagens orbitais de alta resolução. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 17, n. 1, p. 23-29, 2010. Disponível em: <https://www.floram.org/article/10.4322/floram.2011.003/pdf/floram-17-1-23.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2024.

VALLE, Ivana Cola; FRANCELINO, Márcio Rocha; PINHEIRO, Helena Saraiva Koenow. Mapeamento da fragilidade ambiental na bacia do rio Aldeia Velha, RJ. **Floresta e Ambiente**, [s.l.], v. 23, n. 2, p. 295-308, 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/floram/a/CLKFqFSkdjXRDgvZ6VmdPBj/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 23 jan. 2024.

VARGAS, Jancy Rômulo Aschauer; FERREIRA JÚNIOR, Paulo Dias. Aplicação de um protocolo de avaliação rápida na caracterização da qualidade ambiental de duas microbacias do rio Guandu, Afonso Cláudio, ES. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 161-168, 2012.

VESALI, F.; OMID, M.; KALEITA, A.; MOBLI, H. Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 116, p. 211-220, 2015.

VIANA, L.A. et al. Potencial uso de câmera termal acoplada a VANT para monitoramento de culturas. *Brazilian Journal of Biosystems Engineering*, v. 12, n. 3, p. 286-298, 2018.

VIEIRA, Leandro T. A. *et al.* A Biogeographic and Evolutionary Analysis of the Flora of the North-Eastern Cerrado, Brazil. **Plant Ecology & Diversity**, [s.l.], 2019. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17550874.2019.1649311>. Acesso em: 8 fev. 2024.

WAMMES, Eduardo V. S. *et al.* Importância ambiental das áreas de preservação permanente e sua quantificação na microbacia hidrográfica da Sanga Mineira do município de Mercedes-PR, Brazil. **Resumos do V CBA – Uso e Conservação de Recursos Naturais**, [s.l.], v. 2, n. 2, p. 1408-1411, 2007. Disponível em: <http://revistas.abaagroecologia.org.br/index.php/rbagroecologia/article/view/7064>. Acesso em: 25 jun. 2020.

WANG, J., DING, J., LI, G., LIANG, J., YU, D., AISHAN, T., ... & LIU, J. Dynamic detection of water surface area of Ebinur Lake using multi-source satellite data (Landsat and Sentinel-1A) and its responses to changing environment. **Catena**, v. 177, p. 189-201, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.02.020>. Acesso em 10 fev. 2024

WANG, Jing *et al.* Automatic Cloud and Cloud Shadow Detection in Tropical Areas for PlanetScope Satellite Images. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 264, p. 112604, 2021.

WU, Xiangqian *et al.* Assessment of Individual Tree Detection and Canopy Cover Estimation Using Unmanned Aerial Vehicle Based Light Detection and Ranging (uav-lidar) Data in Planted Forests. **Remote Sensing, Multidisciplinary Digital Publishing Institute**, [s.l.], v. 11, n. 8, p. 908, 2019.

XAVIER, André Luís; TEIXEIRA, Débora do Amaral. Diagnóstico das nascentes da sub-bacia hidrográfica do rio São João em Itaúna, MG. *In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL*, 7., 2007, Caxambu. **Anais [...]**. Caxambu: SEB, 2007. p. 1-2.

YAO, Huang; QIN, Rongjun; CHEN, Xiaoyu. Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing Applications-A Review. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 11, n. 12, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs11121443>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/11/12/1443>. Acesso em: 13 fev. 2024.

YURTSEVEN, Huseyin *et al.* Determination and Accuracy Analysis Of Individual Tree Crown Parameters Using Uav Based Imagery and Obia Techniques. **Measurement**, [s.l.], v. 145, p. 651-664, 2019.

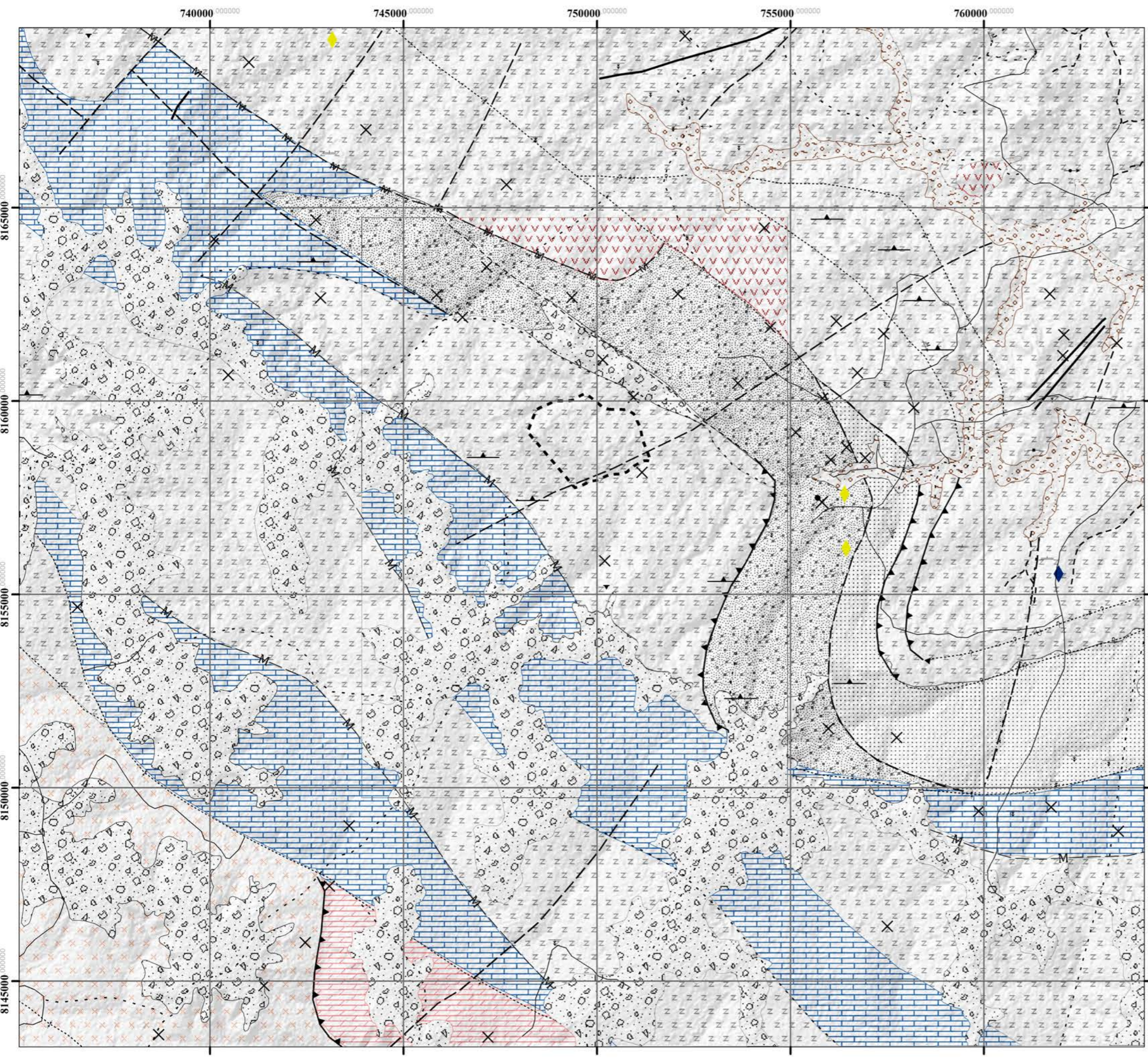
ZANETTI, Juliete, GRIPP, Jéssica Sathler, FERREIRA, Italo Oliveira, & MEDEIROS, Nilcilene das Graças. Análise crítica da evolução do sistema landsat. *Anais do Seminário Científico do UNIFACIG*, n. 1, 2015.

ZAHAWI, Rakan A. *et al.* Using Lightweight Unmanned Aerial Vehicles to Monitor Tropical Forest Recovery. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 186, p. 287-295, 2015.

ZENG, L., SCHMITT, M., LI, L., ZHU, X.X., Analysing changes of the Poyang Lake water area using Sentinel-1 synthetic aperture radar imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 38, n. 23, p. 7041-7069, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2017.1370151>. Acesso em 10 fev. 2024

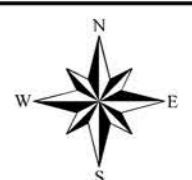
APÊNDICE A: PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DA ÁREA DE ESTUDO

Carta de Geologia Sítio PELD - Silvânia



Legenda

- FLONA
- Contato
- Contato Aproximado
- Contato Gradativo
- Contato Aproximado obtido por Magnetometria
- Falha
- Falha Aproximada
- Falha Aproximada obtida por Magnetometria
- Falha Contraccional
- Zona de cisalhamento
- Zona de cisalhamento transcorrente dextral
- Zona de cisalhamento transcorrente sinistral
- Foliação com mergulho medido
- Foliação com mergulho indicado
- Foliação Milonítica com mergulho indicado
- Foliação Milonítica com mergulho medido
- Lineação de Estiramento
- Lineação de estiramento com caimento medido
- Lineação de estiramento com representacao do movimento transcorrente dextral
- Lineação de estiramento com representacao do movimento transcorrente sinistral
- Junta de cisalhamento com mergulho indicado
- Junta de cisalhamento vertical
- Veio de Quartzo
- Afloramento Descrito
- Cl
- Au
- Garimpo Inativo
- Unidades Geológicas**
- Coberturas Detrito Lateriticas
- Depositos Aluvionares
- Granitóide
- Granulitos Ortoderivados
- Granulitos Paraderivados
- Grupo Araxá - Sul de Goias Unidade A
- Grupo Araxá - Sul de Goias Unidade B
- Seq. Metavulcanossedimentar de Silvânia Un. Metavulcanica
- Seq. Metavulcanossedimentar de Silvânia Un. Metavulcanica
- Seq. Metavulcanossedimentar de Silvânia Un. Mista



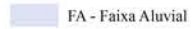







Fonte: Compilado de Carta Leopoldo de Bulhões (SE.22.X-B-V) na escala 1:100.000. (Oliveira, C.C. 1993)

Projeção Universal Transversa de Mercator
Zona 22-S
Datum SIRGAS 2000
Elaborado por: ARRUDA NETO, J.M.

Carta de Geomorfologia Sítio PELD - Silvânia

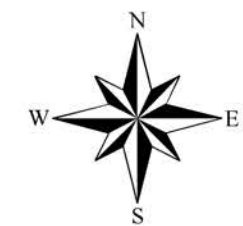
Legenda

Feições Geomorfológicas - LATRUBESSE, E. M., CARVALHO, T.M., 2006.

-  FA - Faixa Aluvial
-  SRAIIA(fo) - Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação forte, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas
-  SRAIIA(fr) - Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação fraca, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas
-  SRAIIA(m) - Superfície Regional de Aplainamento IIA com dissecação média, desenvolvida sobre rochas pré-cambrianas
-  ZER/IIA(fo) - Zona de Erosão Recuante com dissecação forte, erosionando predominantemente a SRAIIA
-  Drenagem
-  Floresta Nacional de Silvânia
-  Zona Urbana

Área do Sítio PELD - Silvânia

Feições Geomorfológicas	Km ²	Hectares	Porcentagem
FA	9,24	923,9	1,20%
SRAIIA(m)	11,774	1177,41	1,53%
SRAIIA(fo)	1,813	181,27	0,24%
SRAIIA(fr)	358,078	35807,8	46,51%
ZER/IIA(fo)	389,053	38941,2	50,53%
Total	769,9 km²	77031,58 (hectares)	100%



0 1 2
km

Escala Original: 1:500.000



Fonte: Secretaria de Indústria e Comércio
Superintendência de Geologia e Mineração. Latrubesse, E. M., Carvalho, T.M., 2006.

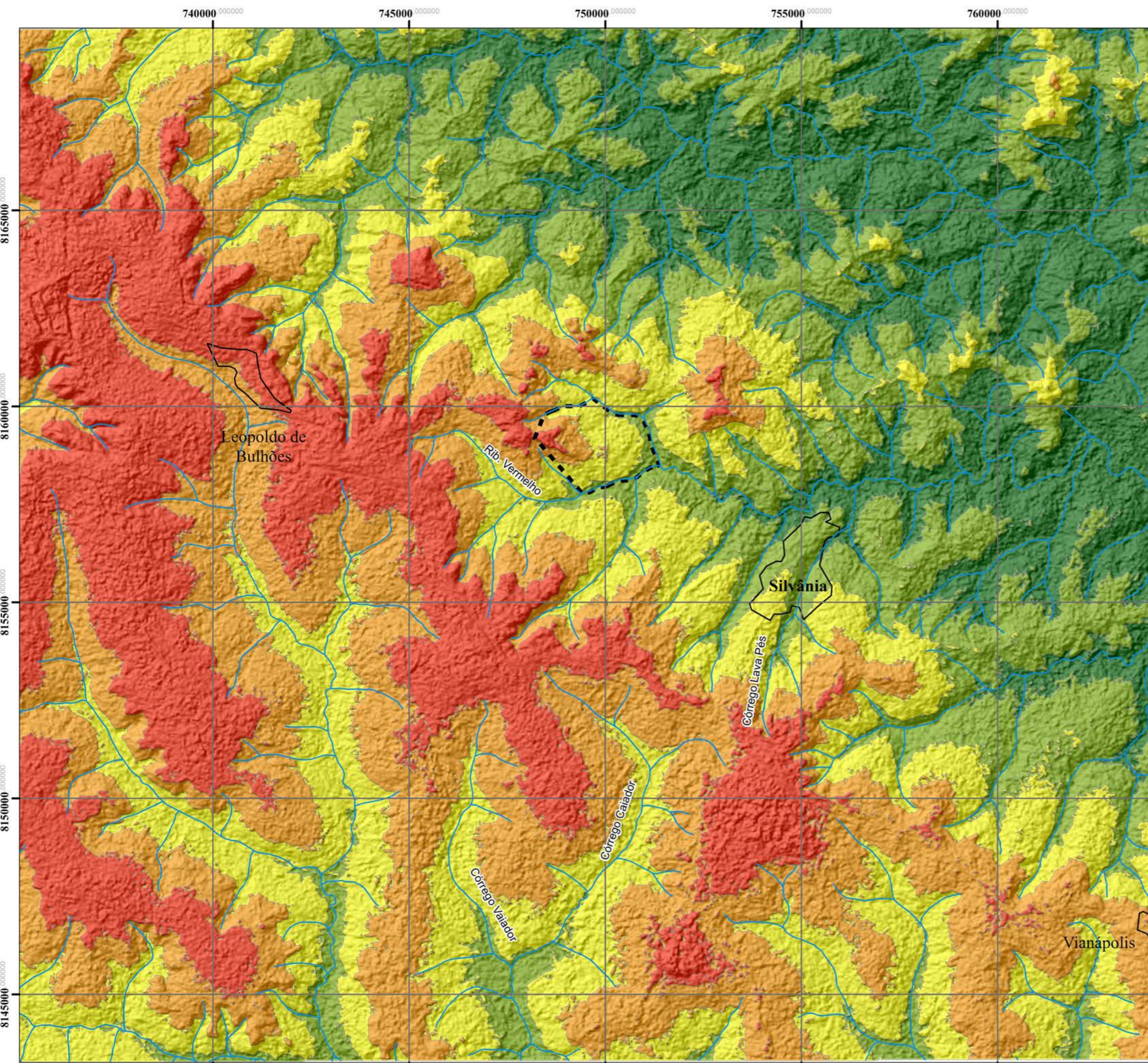
Projeção Universal Transversa de Mercator

Zona 22-S

Datum SIRGAS 2000

Elaborado por: ARRUDA NETO, J.M.

Carta de Hipsometria Sítio PELD - Silvânia



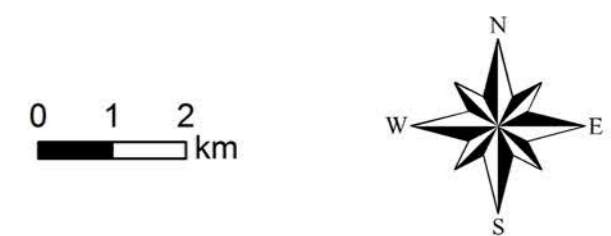
Legenda

- Drenagem
- FLONA
- Zona Urbana

Altitude (metros)

- 805 - 880
- 880,1 - 928
- 928,1 - 974
- 974,1 - 1016
- 1016,1 - 1106

Área do Sítio PELD - Silvânia			
Altitude (metros)	Km ²	Hectares	Porcentagem
805 - 880	128,95	12832,43	16,74%
880,1 - 928	140,74	14323,54	18,28%
928,1 - 974	171,94	16685,4	22,33%
974,1 - 1016	192,45	19399,13	24,99%
1016,1 - 1106	135,91	13754,98	17,66%
Total	769,99	76995,48	100,00%

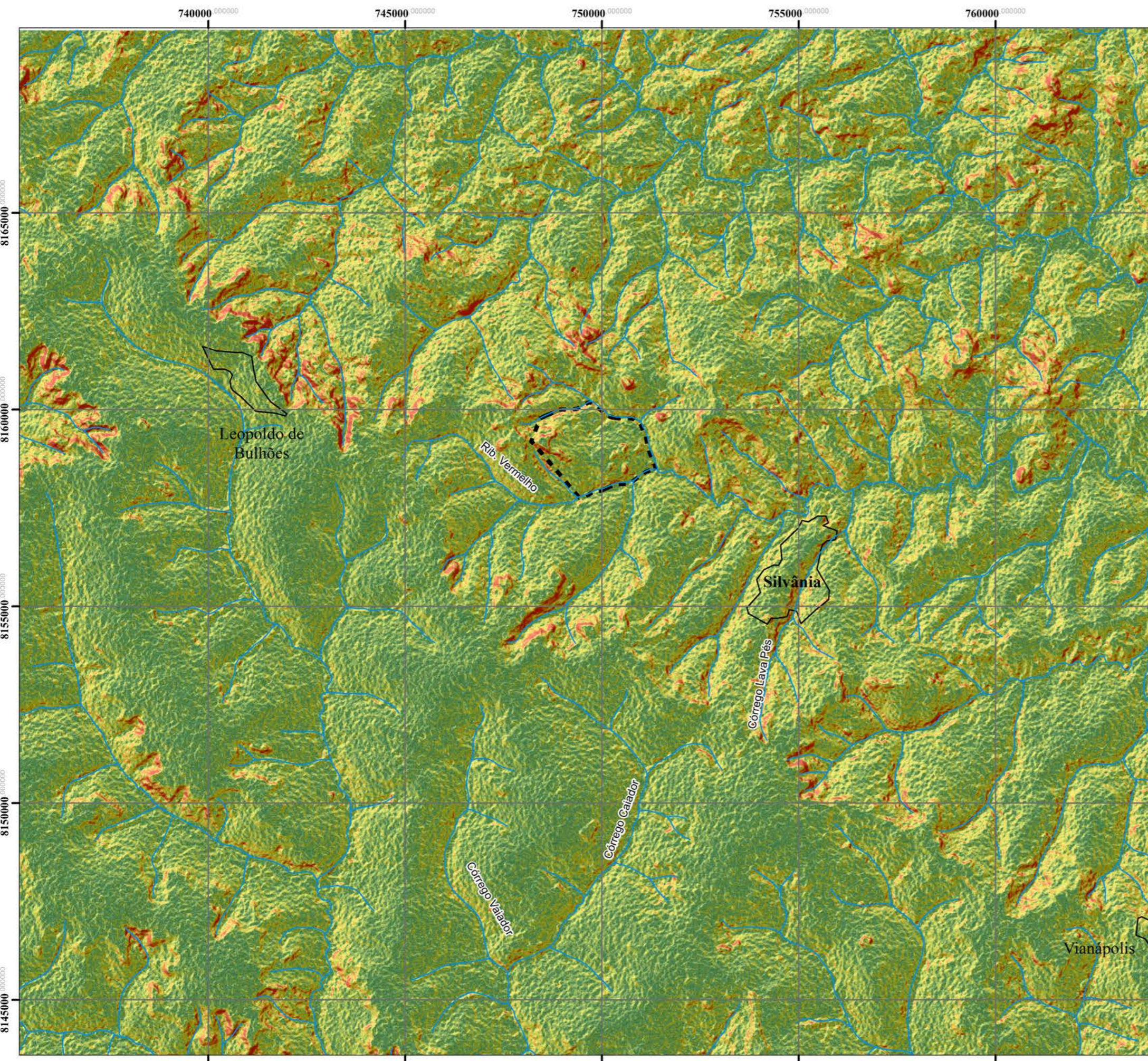






Fonte: ERSDAC - ASTER-GDEM
 Resolução Espacial do Pixel de 15 metros
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Zona 22-S
 Datum SIRGAS 2000
 Elaborado por: ARRUDA NETO, J.M.

Carta de Declividade Sítio PELD - Silvânia



Legenda

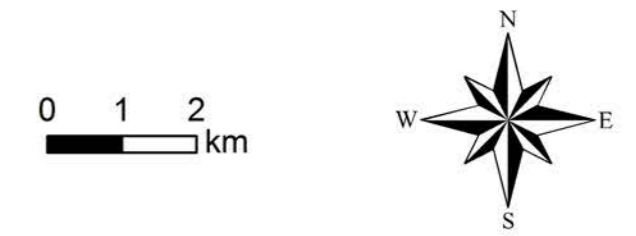
- Drenagem
- Zona Urbana
- FLONA

Declividade
Classificação (Embrapa, 1979)

- 0 - 3% - Plano
- 3 - 8% - Levemente Ondulado
- 8 - 20% - Ondulado
- 20 - 45% - Fortemente Ondulado
- 45 - 75% - Montanhoso
- > 75% - Escarpado

Área do Sítio PELD - Silvânia

Declividades (%)	Km ²	Hectares	Porcentagem
0 - 3%	179,85	17985	23,36%
3 - 8%	288,82	2882	37,51%
8 - 20%	181,9	18190	23,62%
20 - 45%	78,88	7882	10,25%
45 - 75%	32,2	3217	4,18%
> 75%	8,31	8310	1,07%
Total	769,96	129466	100%










Fonte: UAK - Allaska Facility Sattelite
 ALOS-Palsar
 Resolução Espacial do pixel de 12,5 metros
 Projeção Universal Transversa de Mercator
 Zona 22-S
 Datum SIRGAS 2000
 Elaborado por: ARRUDA NETO, J.M.




Carta de Solos

Sítio PELD - Silvânia

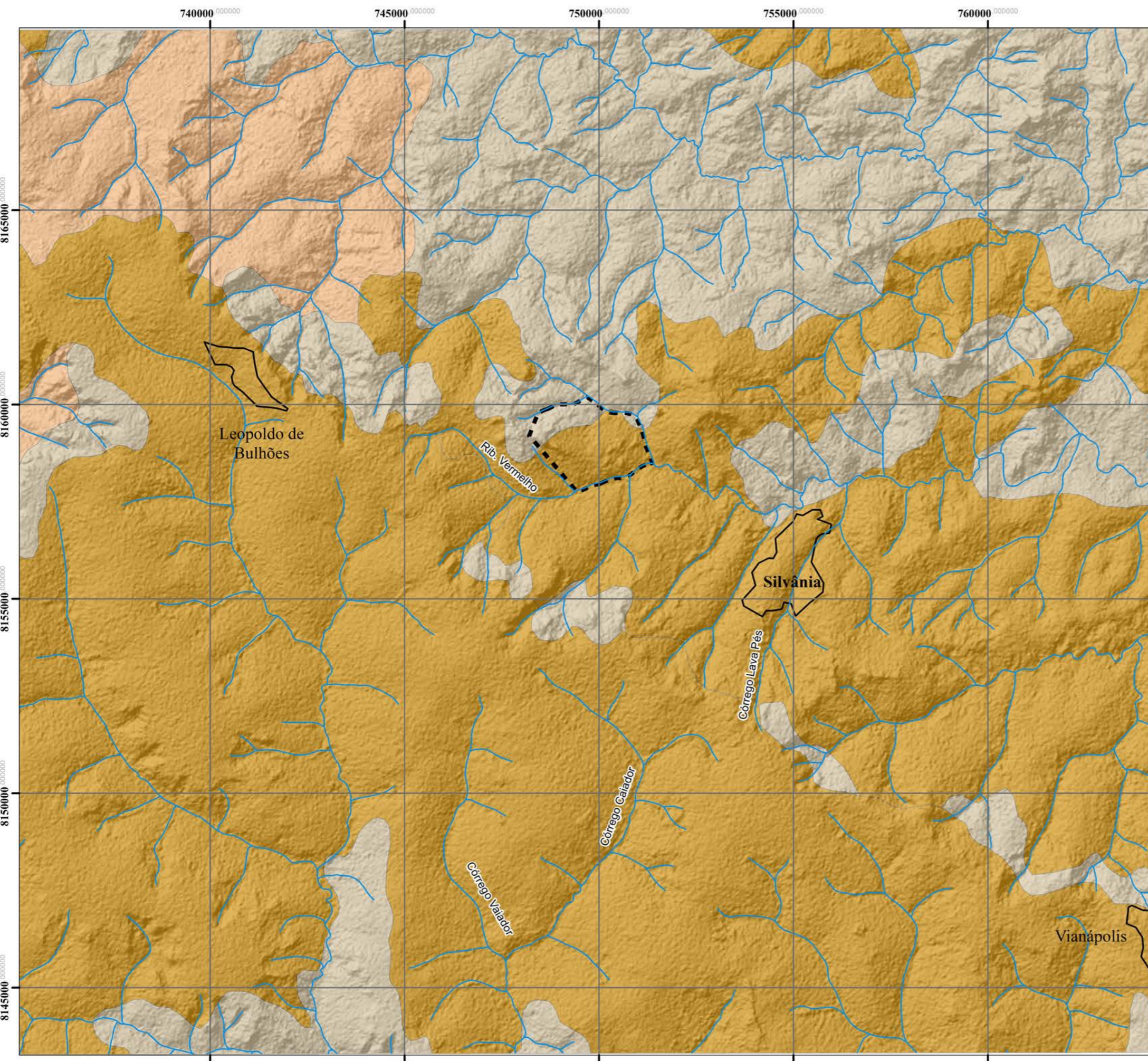
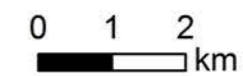
Legenda

-  Drenagem
-  FLONA
-  Zona Urbana

Tipos de Solos

-  Cambissolo Háptico Distrófico
-  Latossolo Vermelho Ácrico
-  Latossolo Vermelho Distrófico

Área do Sítio PELD - Silvânia			
Classes de Solos	Km²	Hectares	Porcentagem
Cambissolo Háptico	214,88	21488	27,91
Latossolo Vermelho Distrófico	57,623	5762,3	7,48
Latossolo Vermelho Ácrico	497,436	49743,6	64,6
Total	769,99	76993,9	100%



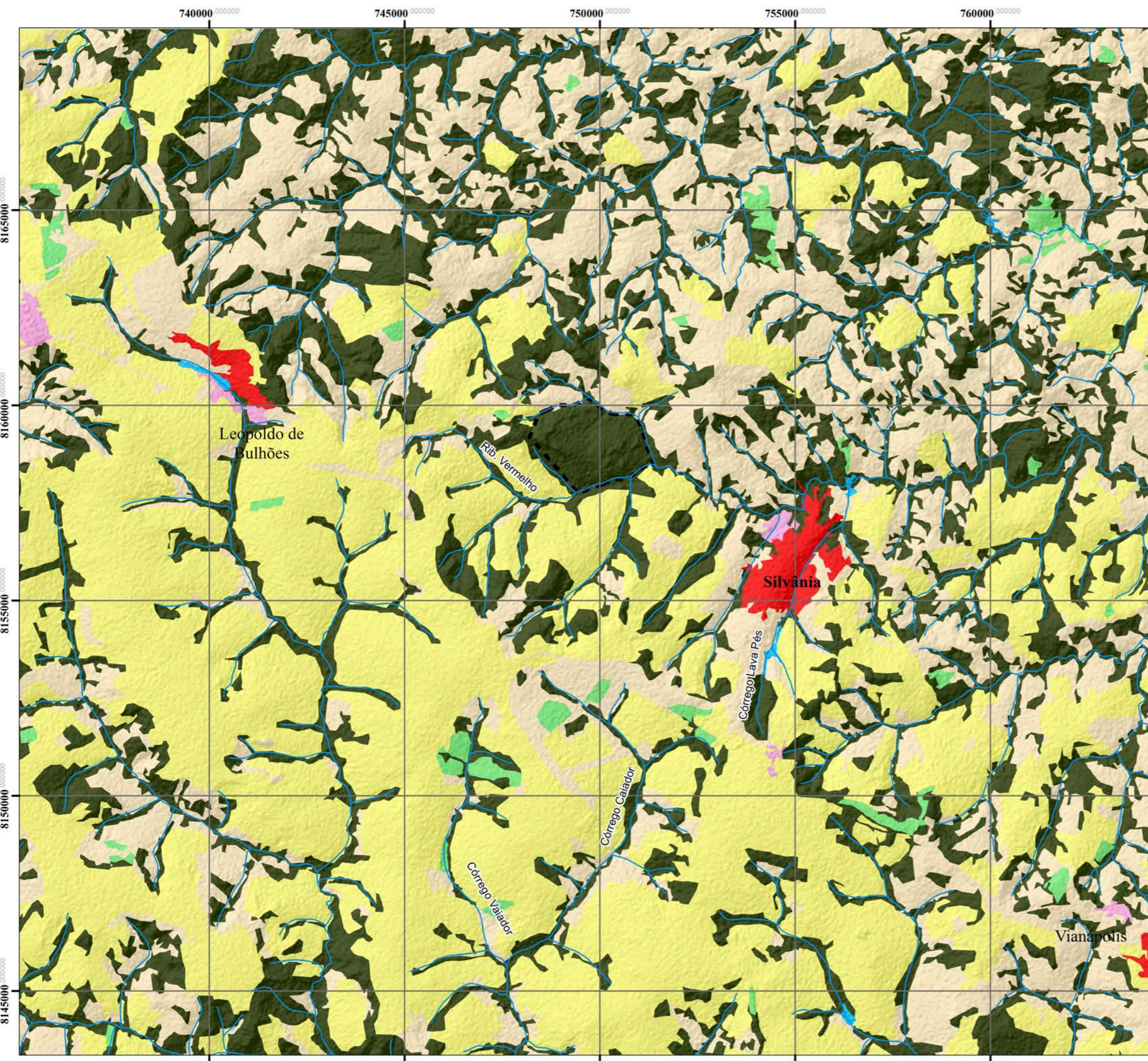
Fonte: Emater, 2016

Projeção Universal Transversa de Mercator
Zona 22-S

Datum SIRGAS 2000

Elaborado por: ARRUDA NETO, J.M.

Carta de Uso dos Solos Sítio PELD - Silvânia

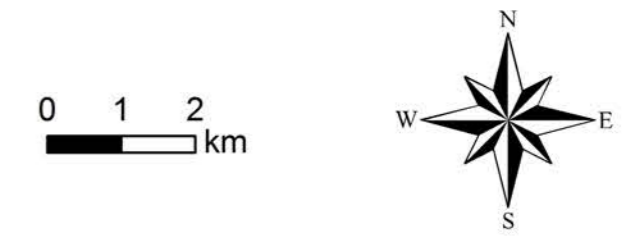


Legenda

- Drenagem
- FLONA
- Classes de Uso**
- Água
- Urbano
- Mosaico de Ocupações
- Pastagem
- Agricultura
- Silvicultura
- Natural

Área do Sítio PELD - Silvânia

Classes de Uso	Km²	Hectares	Porcentagem
Agricultura	308,7	30869,9	40,09%
Água	0,67	67,24	0,09%
Ocupações	2,2	219,8	0,29%
Natural	220,4	22040,1	28,63%
Silvicultura	8,22	822,2	1,07%
Urbano	5,84	583,9	0,76%
Pastagem	223,9	22390,7	29,08%
Total	769,93	76993,84	100%







Fonte: Ministério do Meio Ambiente, Projeto TerraClass.

Projeção Universal Transversa de Mercator
Zona 22-S
Datum SIRGAS 2000
Elaborado por: ARRUDA NETO, J.M.

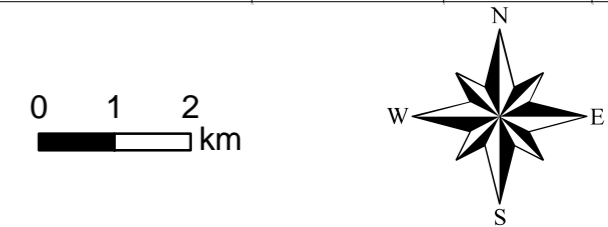
Uso do Solo em APP no Sítio PELD em Silvânia - GO



Legenda

- Urbano (0,50%)
- Mosaico de Ocupações (0,15%)
- Agricultura (6,30%)
- Pastagem (16,57%)
- Silvicultura (0,56%)
- Natural (75,26%)
- Água (0,64%)
- Limite PELD
- FLONA
- Zona Urbana
- NASCENTE
- Hidrografia

Uso do Solo nas APPs			
Classes de Uso	Área Km ²	Hectares (ha)	(%)
Urbano	0,21	20,75	0,50
Mosaico de Ocupações	0,06	6,37	0,15
Agricultura	2,60	260,31	6,30
Pastagem	6,84	684,34	16,57
Silvicultura	0,23	23,27	0,56
Natural	31,08	3.107,68	75,26
Água	0,26	26,47	0,64
Total Geral	41,29	4.129,18	100,00








Fonte: Hidrografia: IBGE Escala 1:100.000
 APP: Lei 12.651/2012
 Uso do Solo: TerraClass INPE, Escala 1:250.000 (2013)
 Imagem: WorldView2, Digital Globe, 18/07/2017
 Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM)
 Zona 22-S
 Datum SIRGAS 2000
 Elaborado por: PASSOS, J. S.





Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AeroGRID, IGN, and the GIS User Community

PELD - Imóveis Rurais Silvânia, Leopoldo de Bulhões e Vianópolis - GO

Legenda

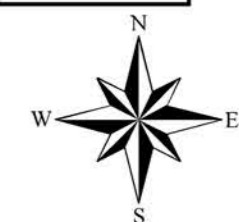
-  PELD
-  FLONA
-  Perímetros Urbanos
-  Limites Municipais
-  Hidrografia

Tamanho dos Imóveis Rurais por M.F.

-  Minifundio (427)
-  Pequeno Imóvel Rural (261)
-  Médio Imóvel Rural (126)
-  Grande Imóvel Rural (41)

Tamanho do Módulo Fiscal (MF)	
Município	Área (ha)
Leopoldo de Bulhões	16
Silvânia	30
Vianópolis	40

0 1 2 km











Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) – COFA
 Fontes: CAR- Serviço Florestal Brasileiro (2019)
 Hidrografia IBGE 1:100.000 / INCRA
 Limites Municipais IMB/Segplan/IBGE 1:100.000 (2017)
 UTM Fuso 22 S - SIRGAS2000
 Elaborado em 05/2019 por: FRANCA, T.M.; PASSOS, J.S.
 Supervisão: Dra. Andrelisa Santos de Jesus

PELD - APP

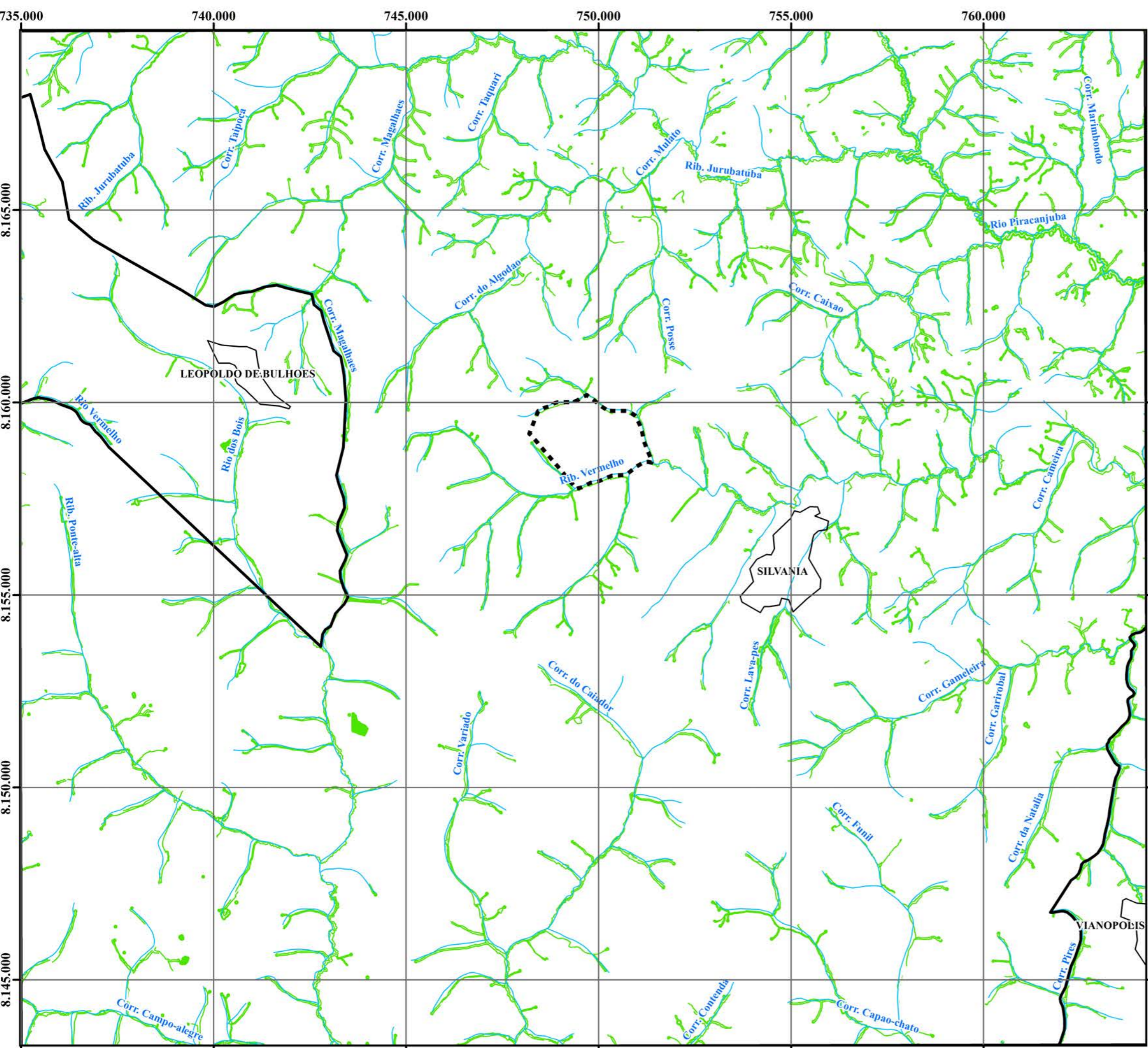
Silvânia, Leopoldo de Bulhões e Vianópolis - GO

Legenda

-  PELD
-  FLONA
-  Perímetros Urbanos
-  Limites Municipais
-  Hidrografia
-  Área de Preservação Permanente











Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) – COFA
 Fontes: CAR- Serviço Florestal Brasileiro (2019)
 Hidrografia IBGE 1:100.000
 Limites Municipais IMB/Segplan/IBGE 1:100.000 (2017)
 UTM Fuso 22 S - SIRGAS2000
 Elaborado em 05/2019 por: FRANCA, T.M.; PASSOS, J.S.
 Supervisão: Dra. Andreilisa Santos de Jesus




PELD - Reserva Legal Silvânia, Leopoldo de Bulhões e Vianópolis - GO

Legenda

-  PELD
-  FLONA
-  Perímetros Urbanos
-  Limites Municipais
-  Hidrografia
-  Reserva Legal

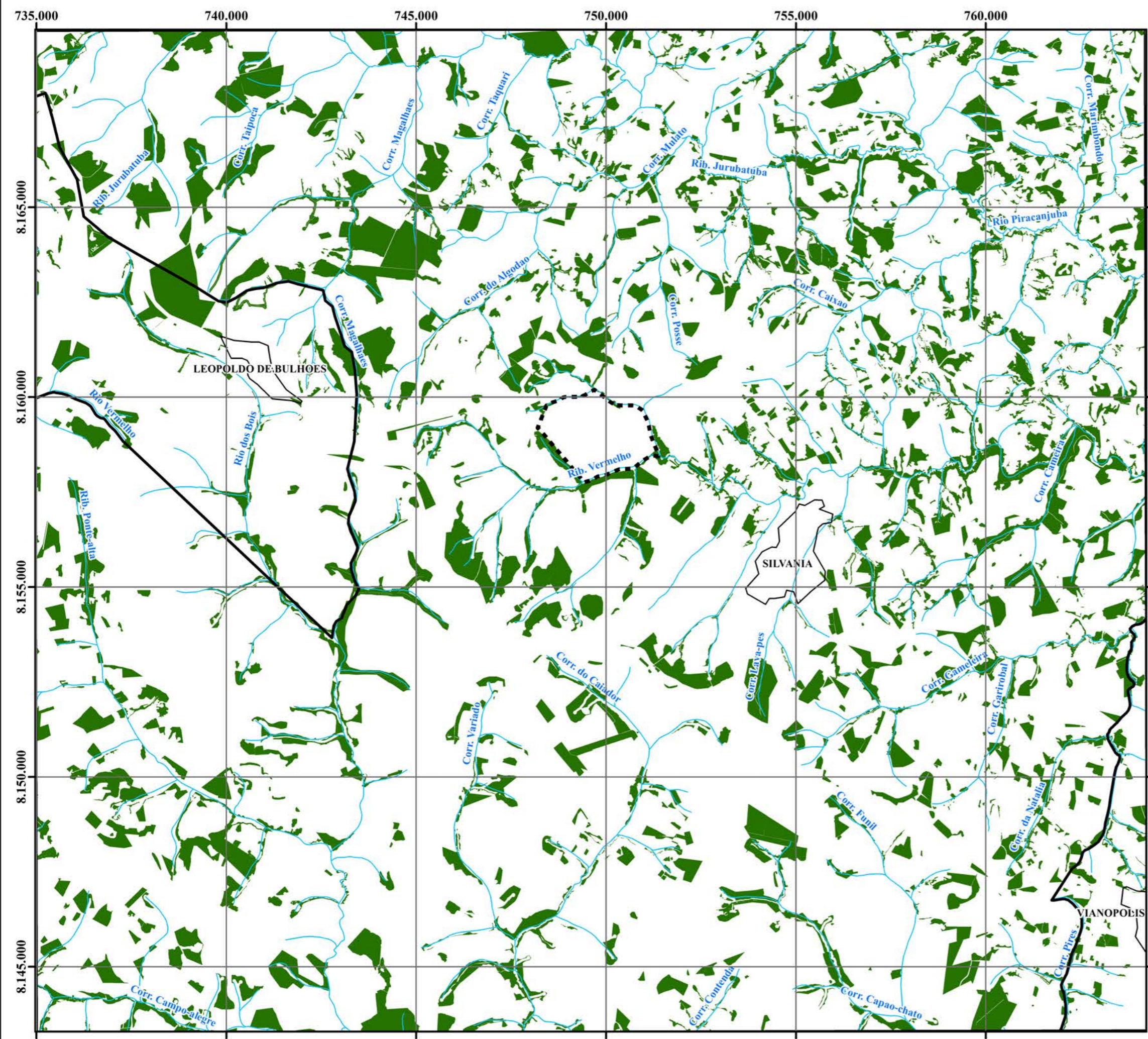
0 1 2 km







Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) – COFA
 Fontes: CAR- Serviço Florestal Brasileiro (2019)
 Hidrografia IBGE 1:100.000
 Limites Municipais IMB/Segplan/IBGE 1:100.000 (2017)
 UTM Fuso 22 S - SIRGAS2000
 Elaborado em 05/2019 por: FRANCA, T.M.; PASSOS, J.S.
 Supervisão: Dra. Andrelisa Santos de Jesus



PELD - APP

Silvânia, Leopoldo de Bulhões e Vianópolis - GO

Legenda

- PELD
- FLONA
- Perímetros Urbanos
- Limites Municipais
- Hidrografia

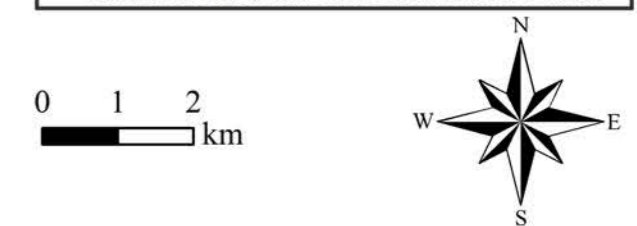
Usos do Solo APP

- Natural (75,26%)
- Urbano (0,50%)
- Mosaico de Ocupações (0,15%)
- Agricultura (6,30%)
- Pastagem (16,57%)
- Silvicultura (0,56%)
- Água (0,64%)

Área de Preservação Permanente - PELD (ha)

Vegetação Natural Necessária*	4129.18403
Vegetação Natural Existente*	3107.67851
Vegetação Natural Faltante*	1021.50551

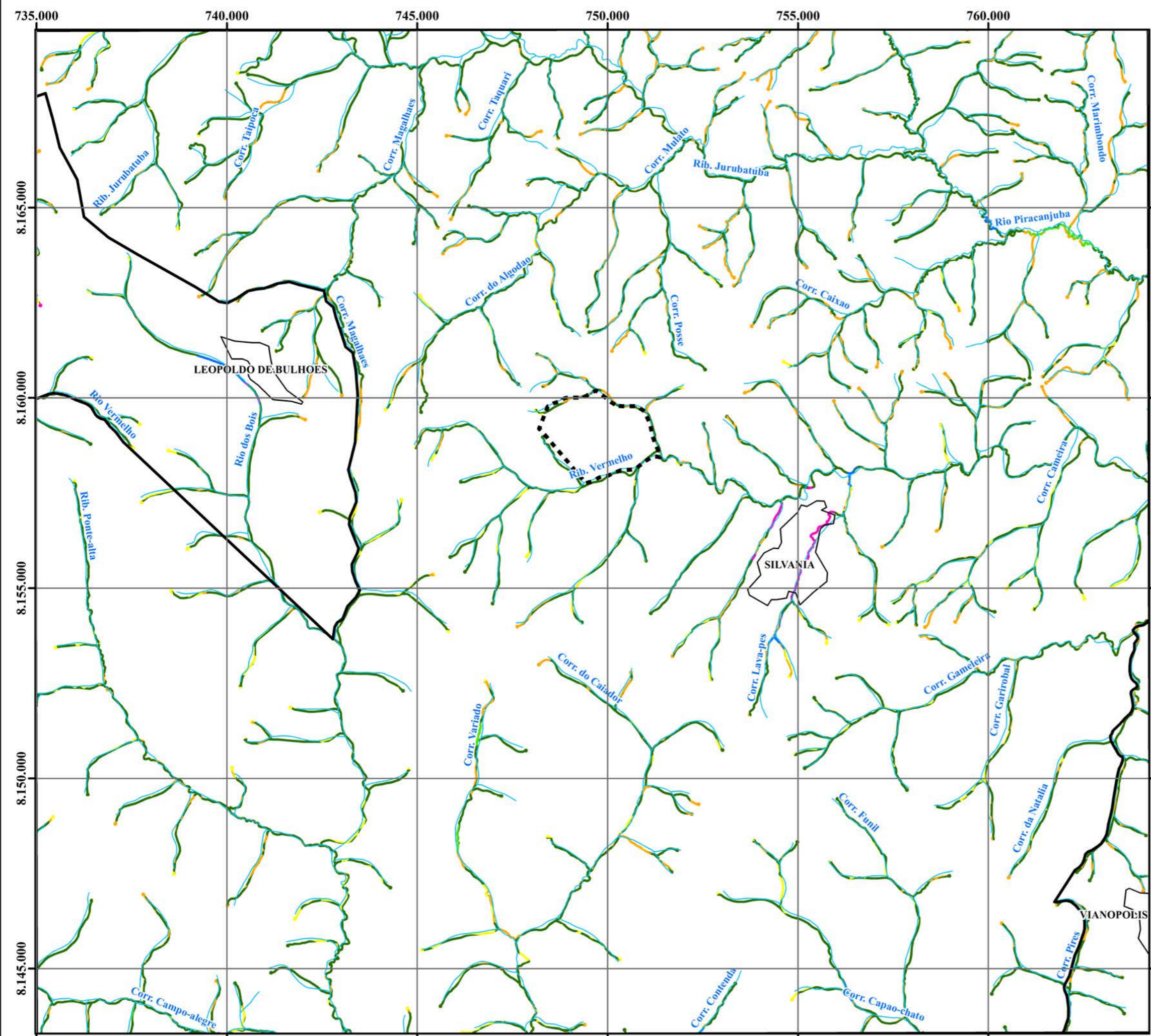
*Baseado em dados do TerraClass Cerrado e IBGE





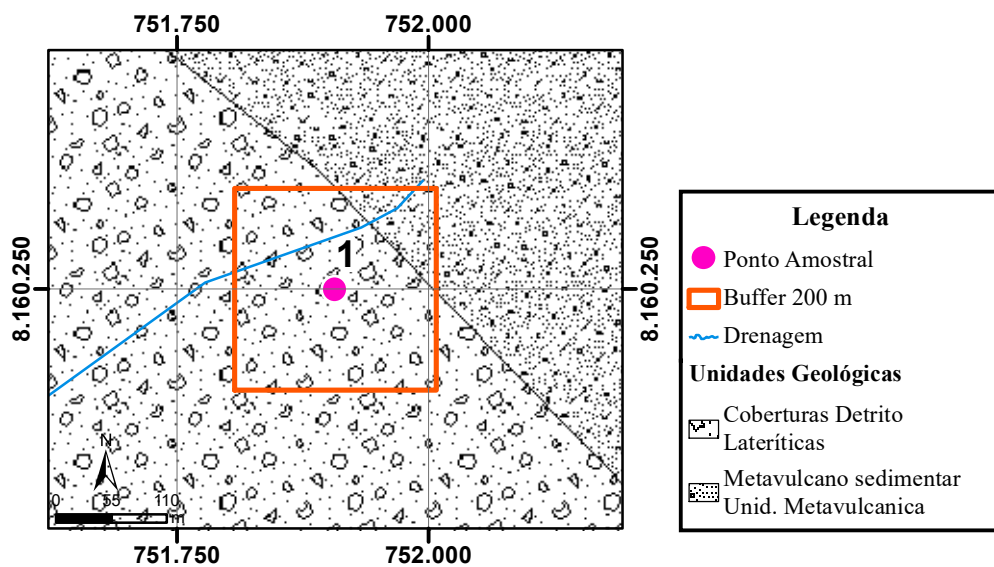


Pesquisa Ecológica de Longa Duração (PELD) – COFA
 Fontes: Projeto TerraClass Cerrado INPE, 1:250.000 (2013)
 Hidrografia IBGE 1:100.000 / APP: Lei 12.651/2012
 Limites Municipais IMB/Segplan/IBGE 1:100.000 (2017)
 UTM Fuso 22 S - SIRGAS2000
 Elaborado em 05/2019 por: FRANCA, T.M.; PASSOS, J.S.
 Supervisão: Dra. Andreilisa Santos de Jesus



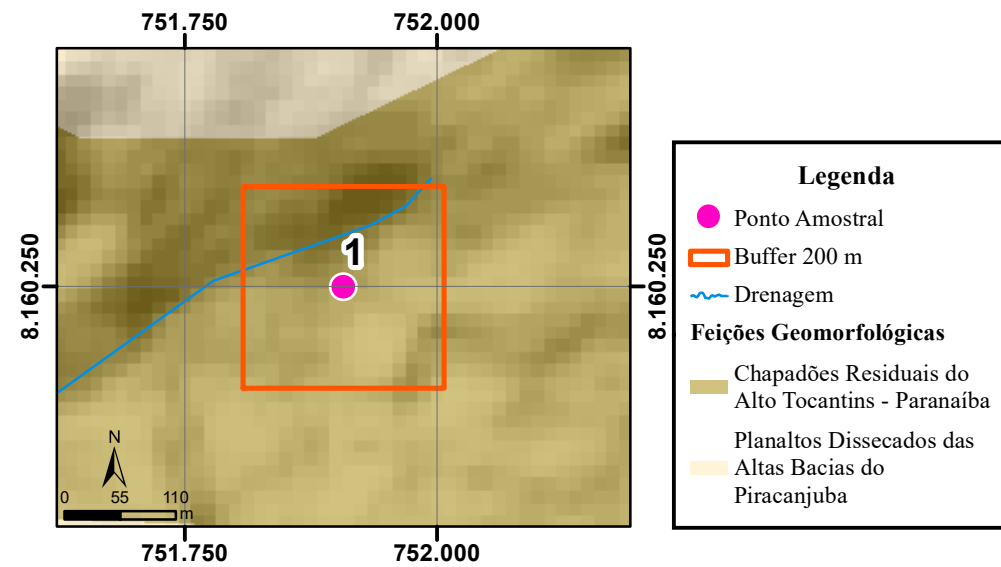
APÊNDICE B: CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS PONTOS AMOSTRAIS

Unidade Geológica



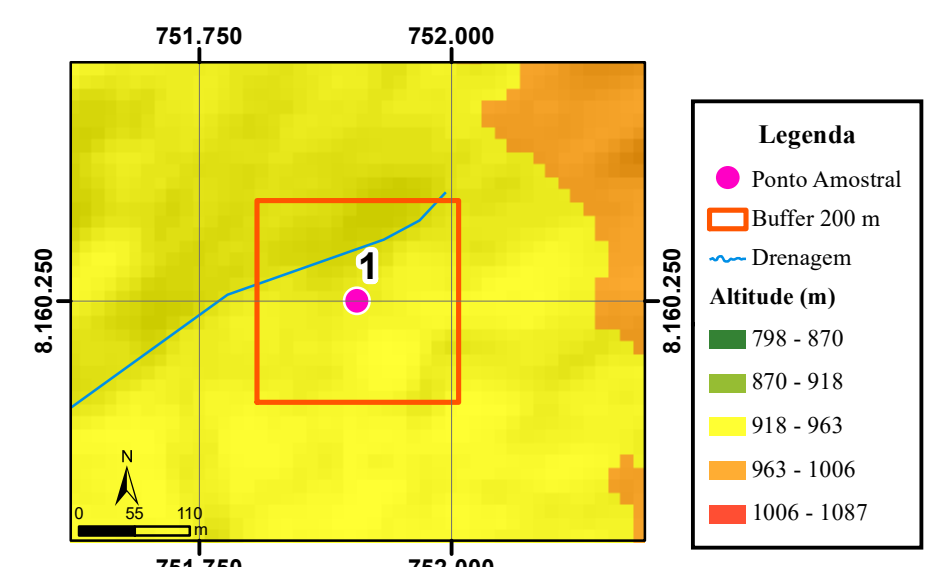
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)

Geomorfologia



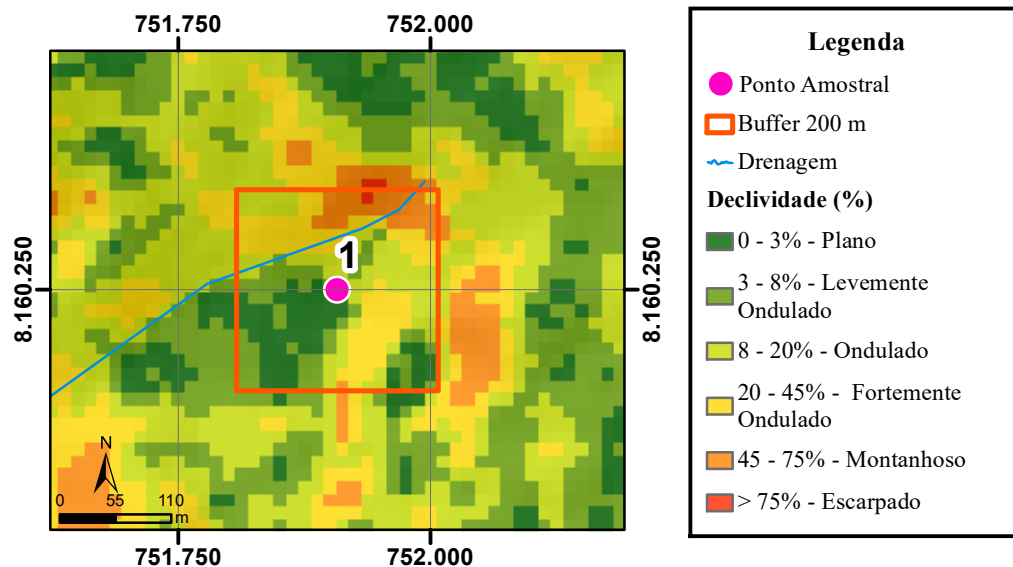
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)

Altimetria



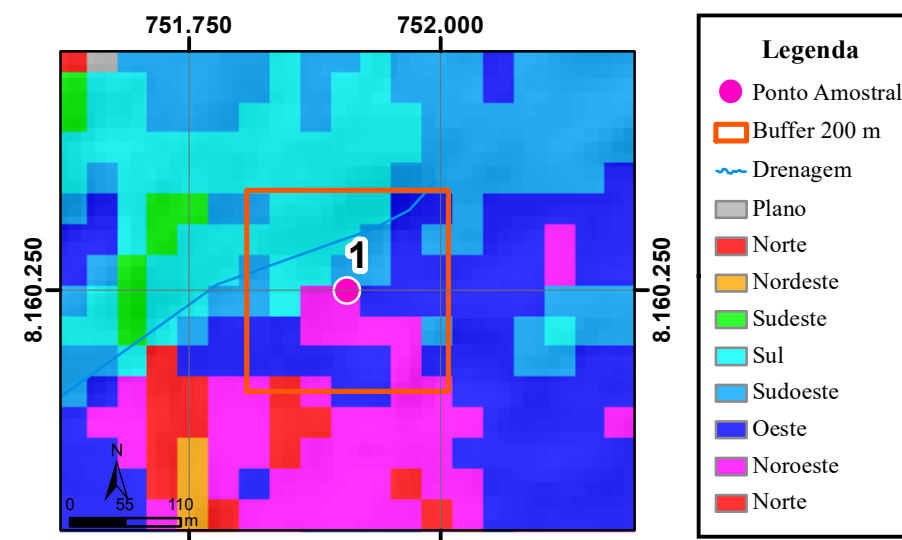
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)

Declividade



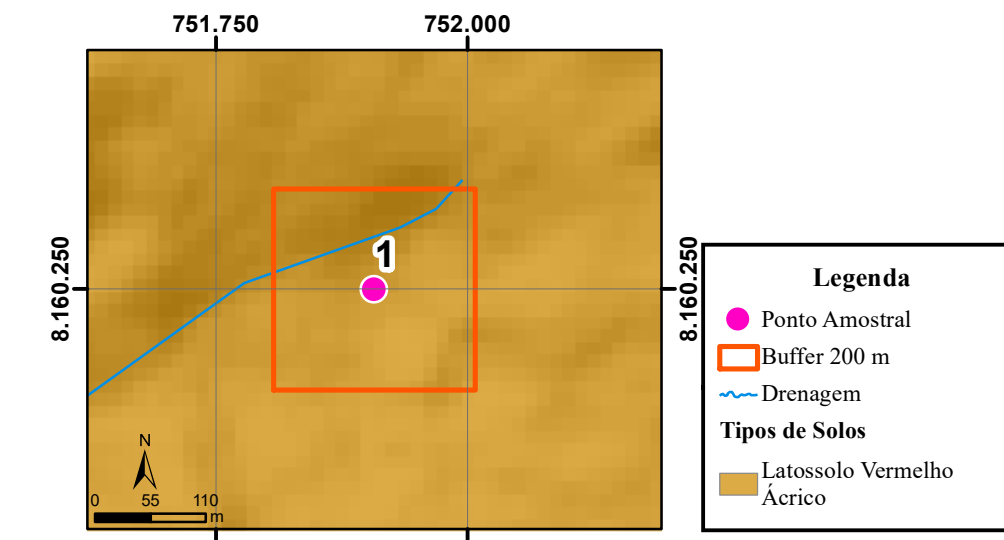
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)

Orientação das Vertentes



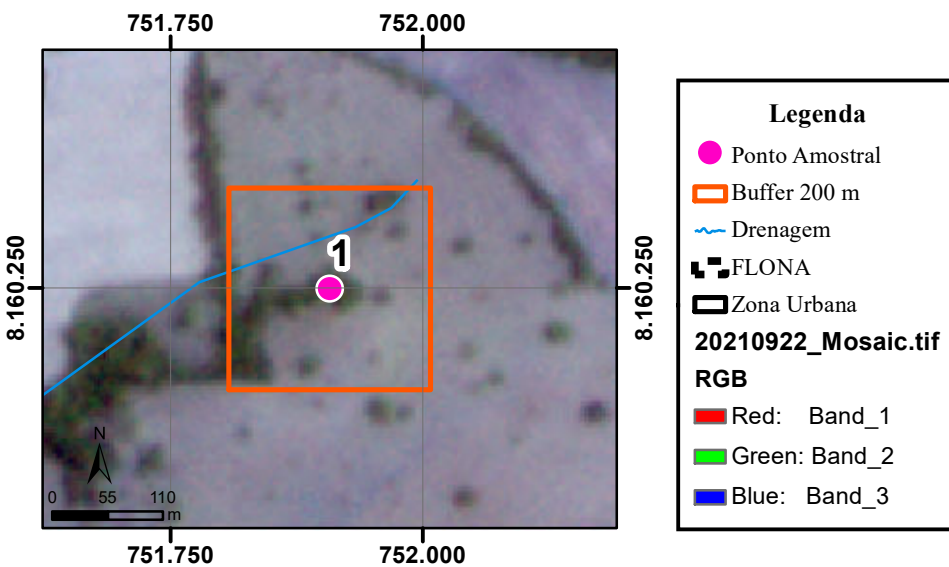
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)

Solos



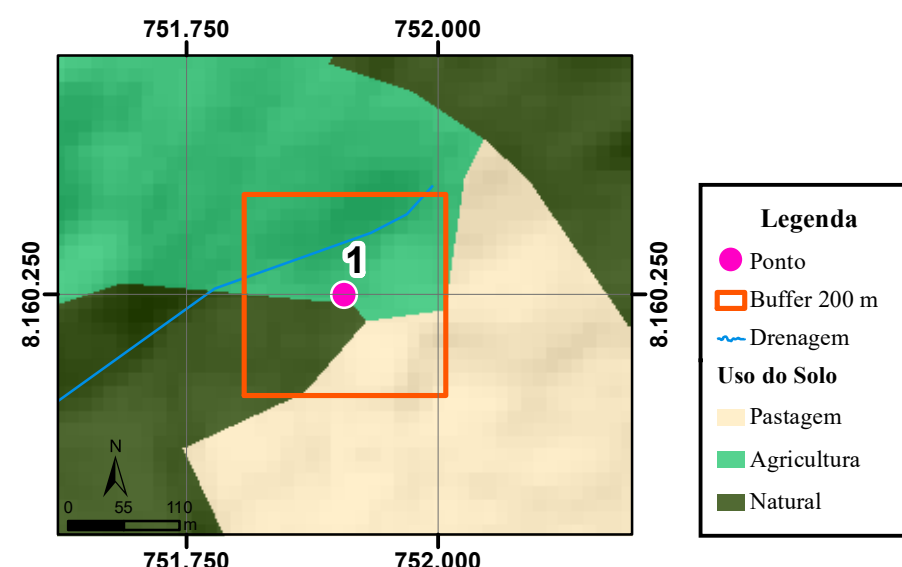
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)

Carta Imagem



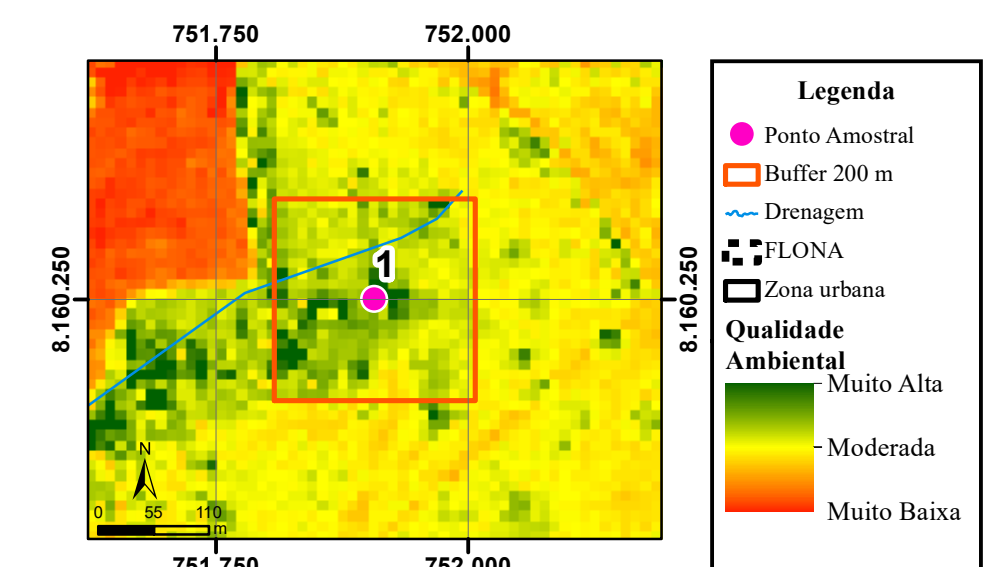
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

Uso do Solo



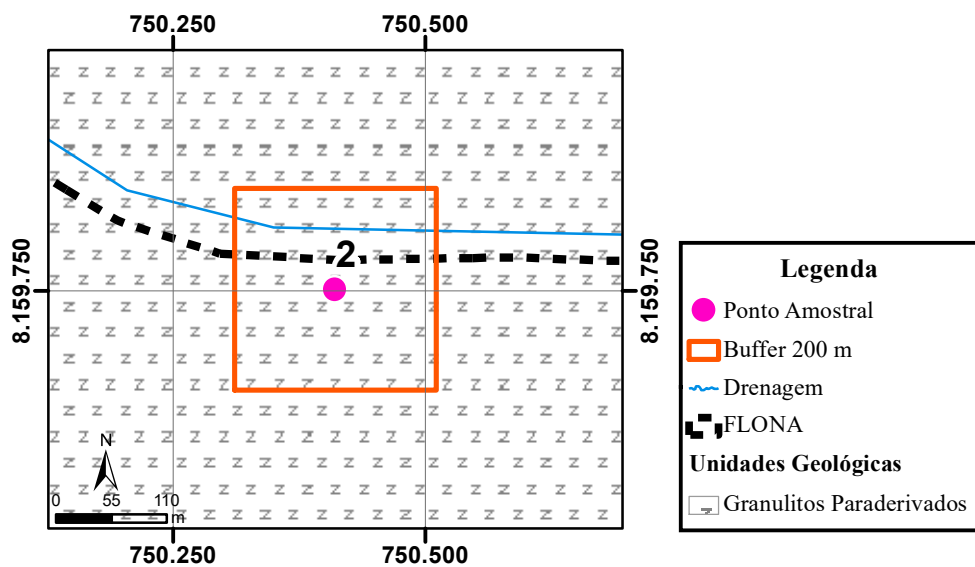
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)

Qualidade Ambiental



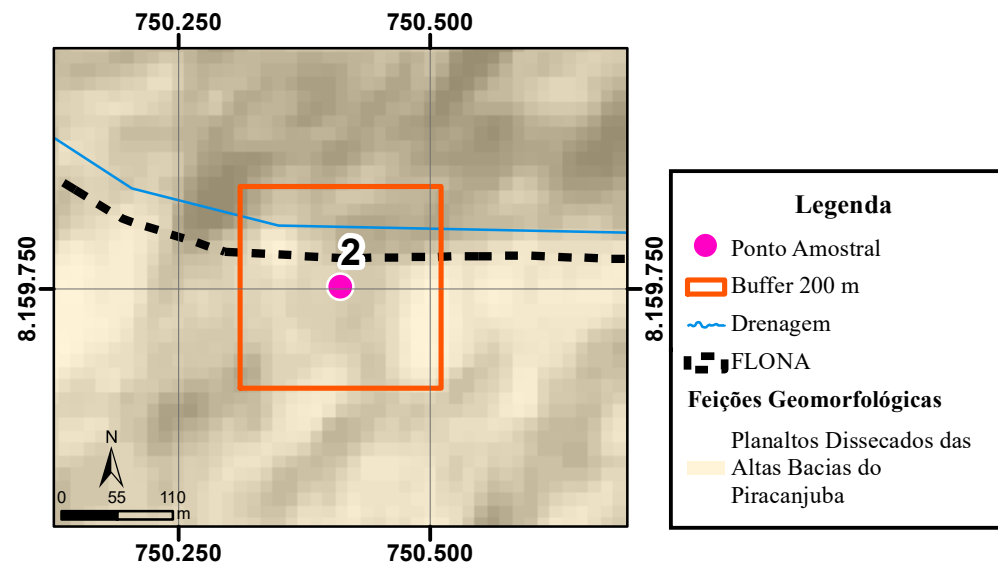
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)

Unidade Geológica



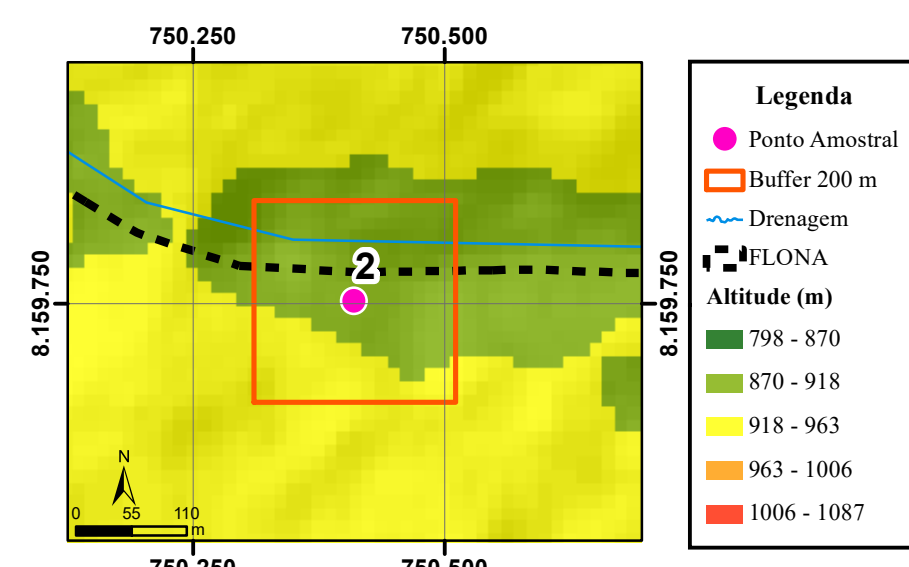
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)

Geomorfologia



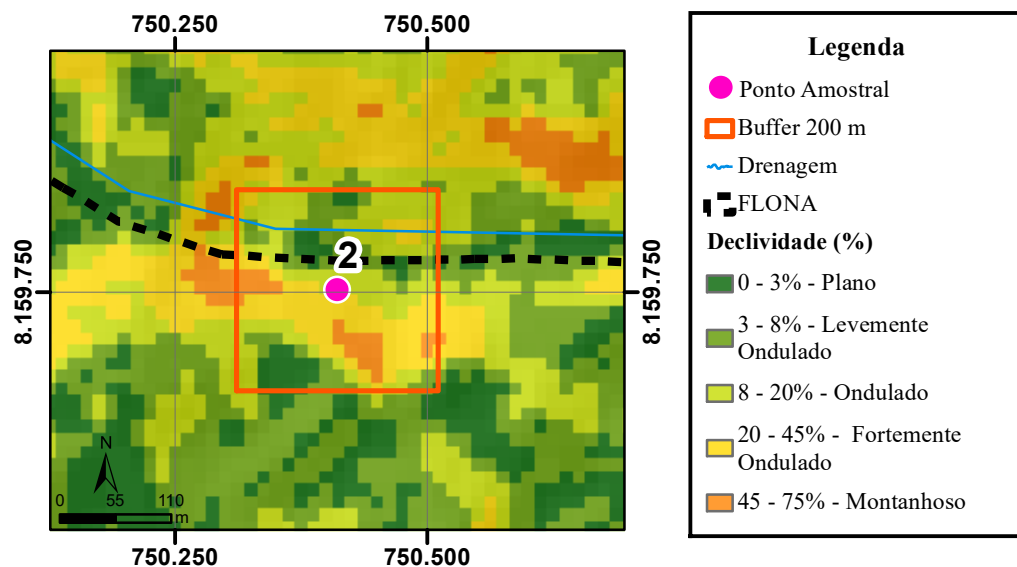
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)

Altimetria



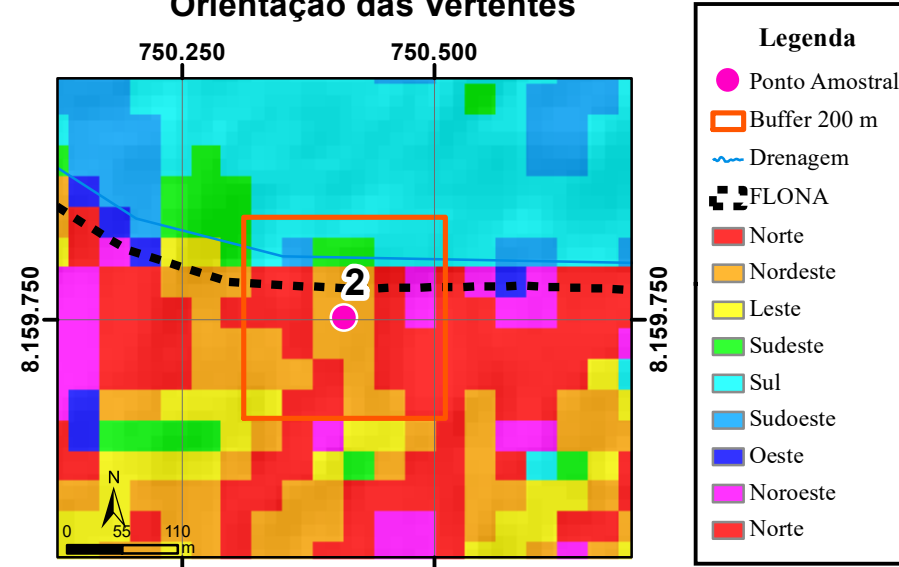
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)

Declividade



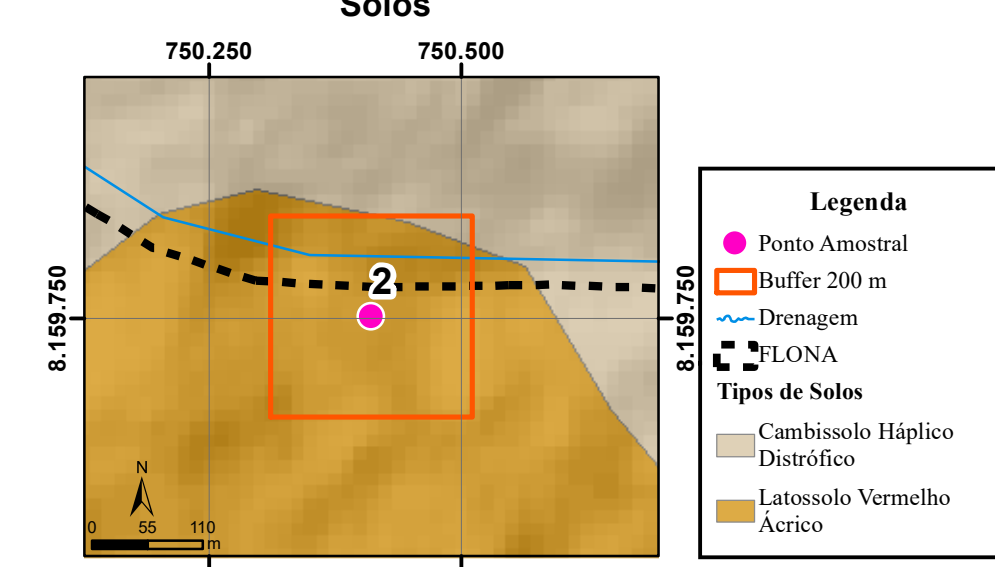
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)

Orientação das Vertentes



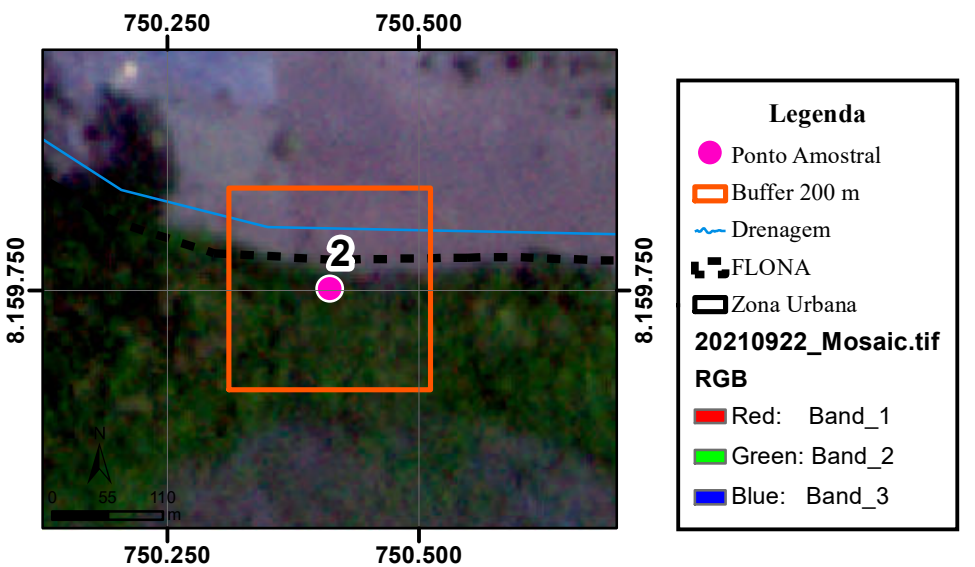
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)

Solos



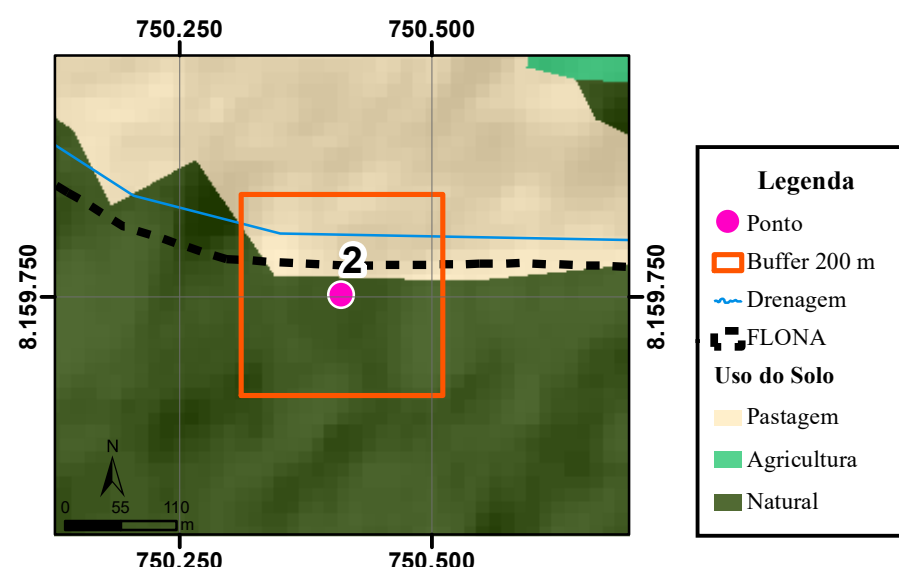
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)

Carta Imagem



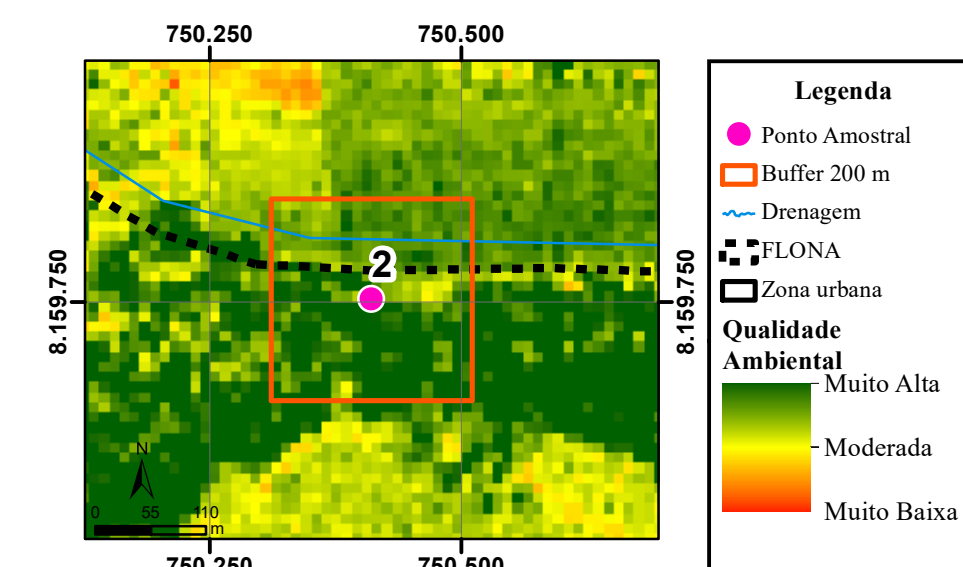
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

Uso do Solo



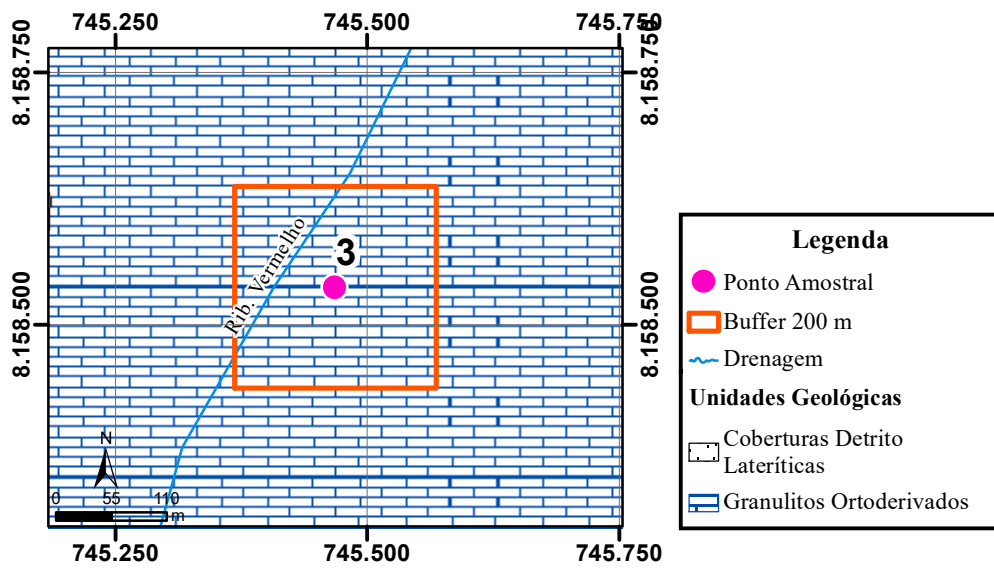
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)

Qualidade Ambiental



Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)

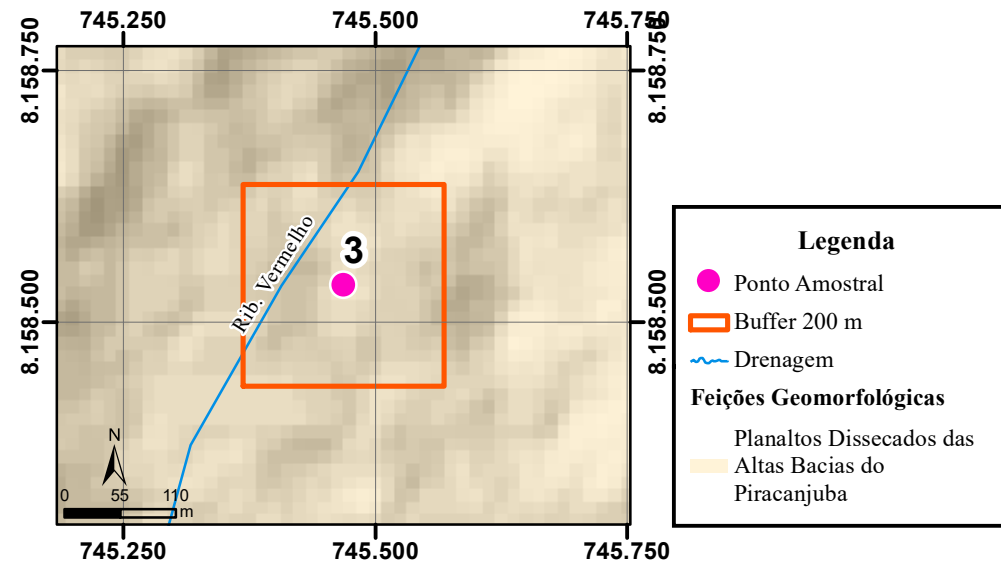
Unidade Geológica



Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000

(a)

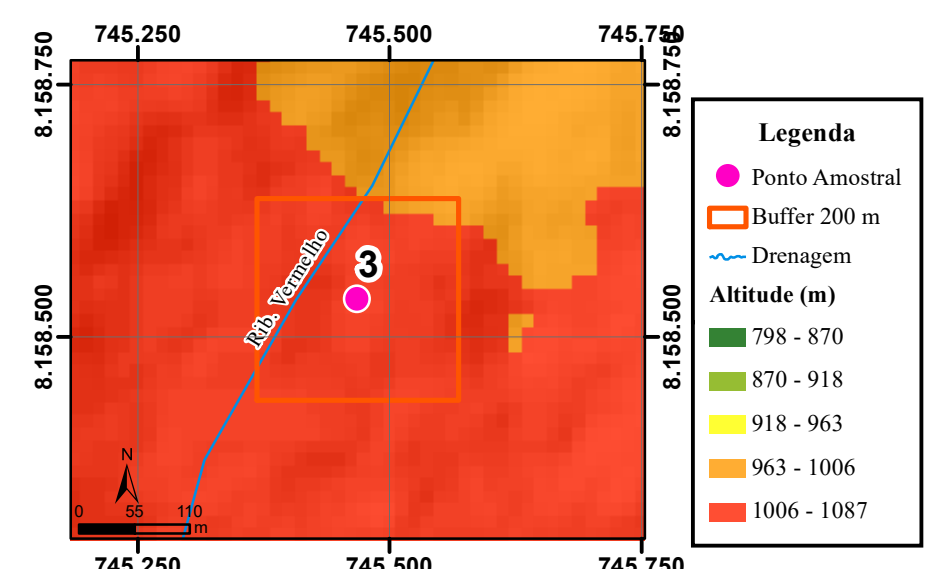
Geomorfologia



Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000

(b)

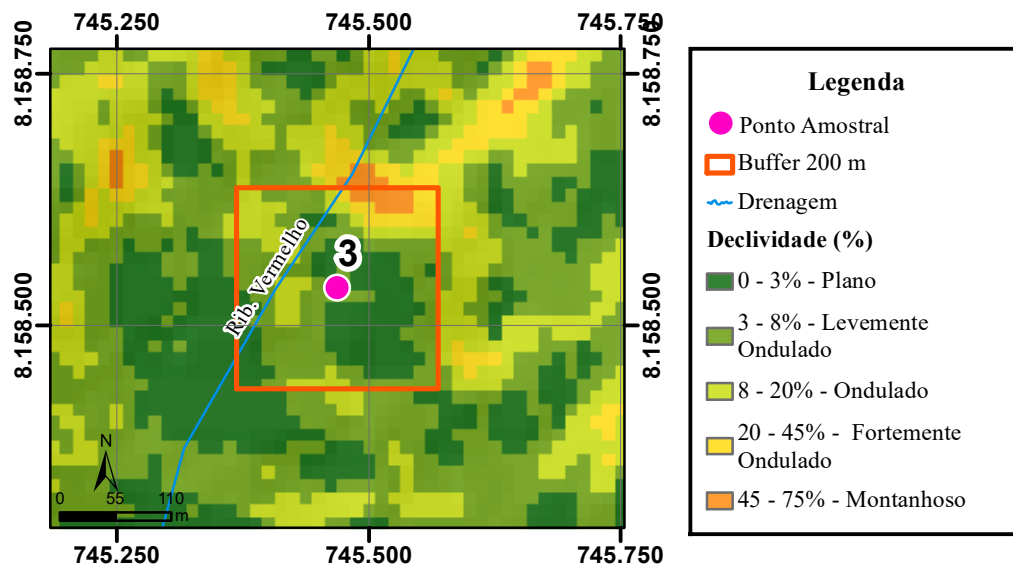
Altimetria



Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000

(c)

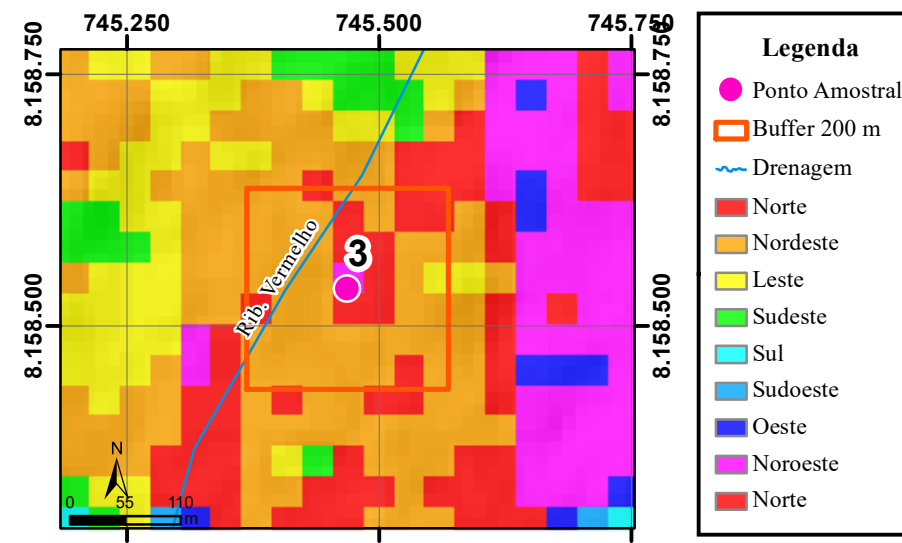
Declividade



Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000

(d)

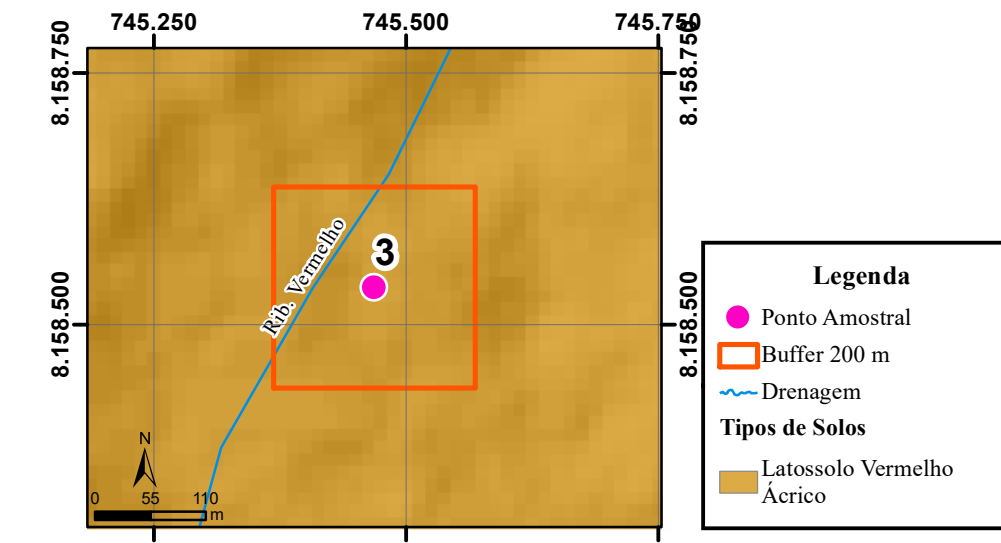
Orientação das Vertentes



Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000

(e)

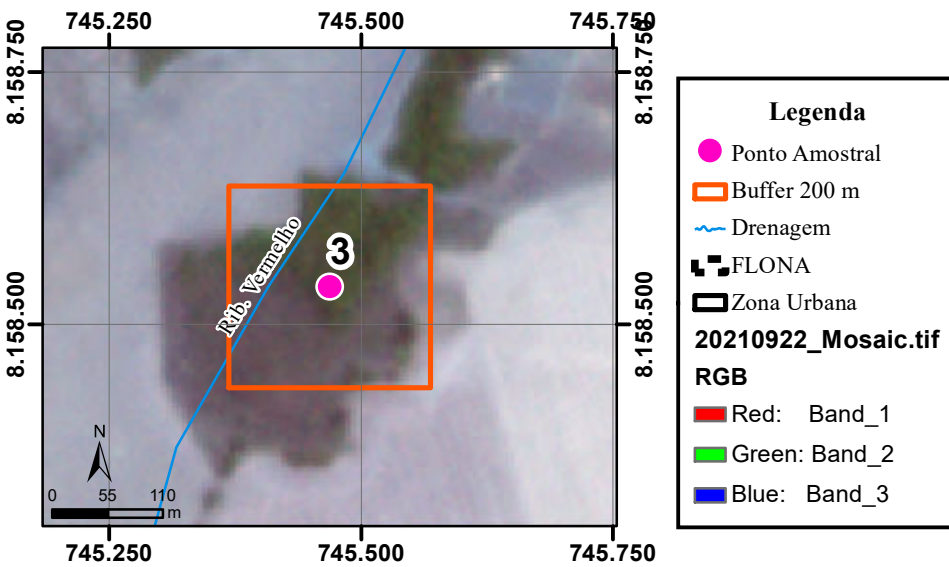
Solos



Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000

(f)

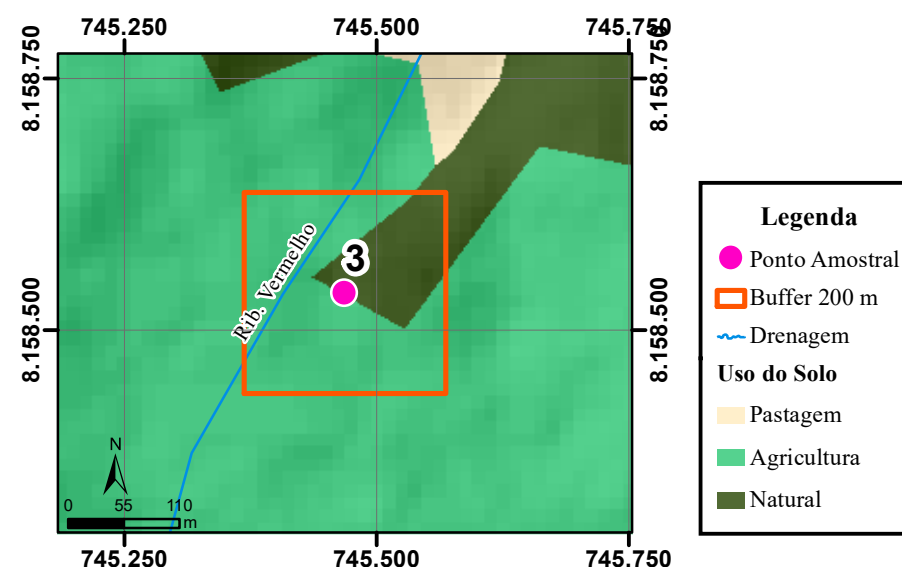
Carta Imagem



Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023).

(g)

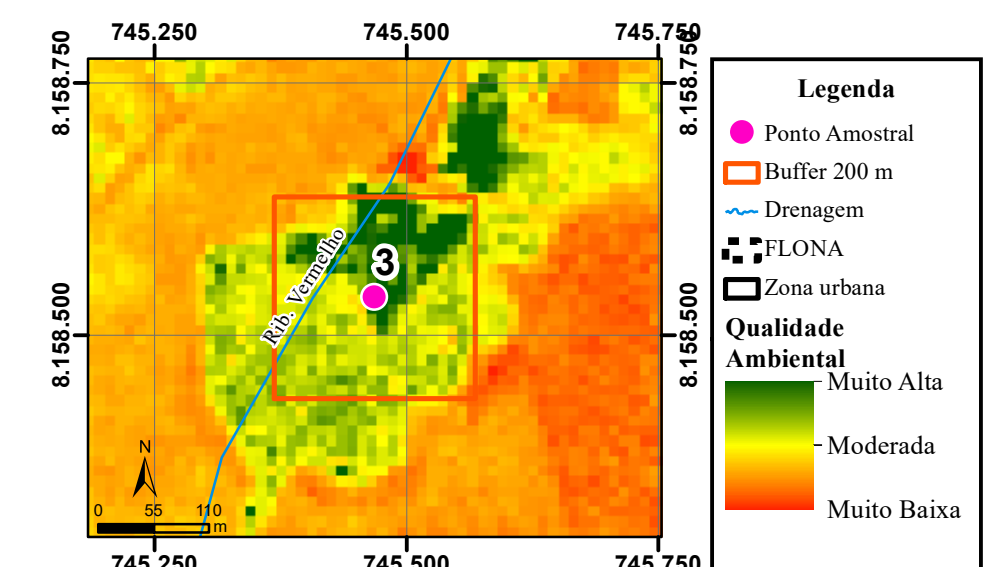
Uso do Solo



Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000

(h)

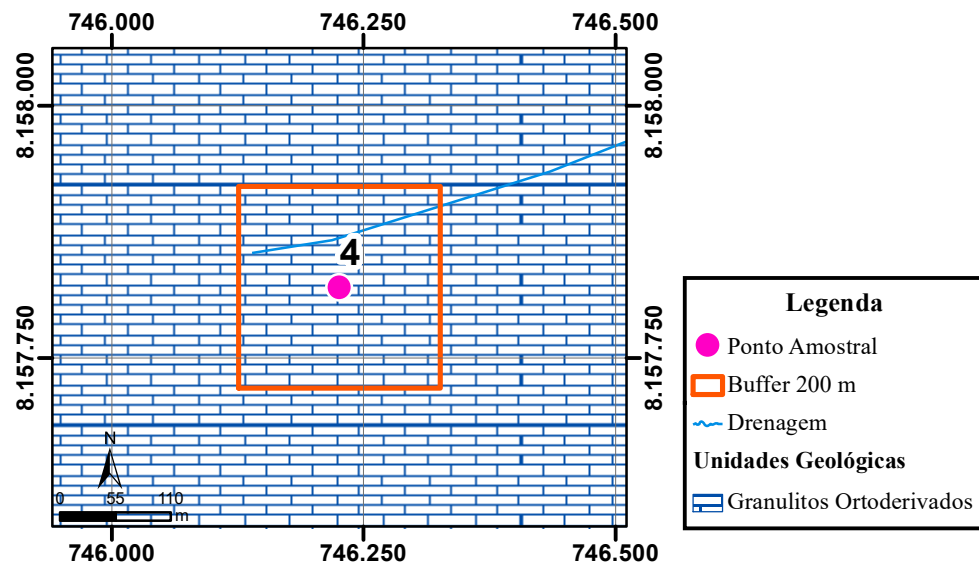
Qualidade Ambiental



Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023)

Organizado por Joelson de Souza Passos

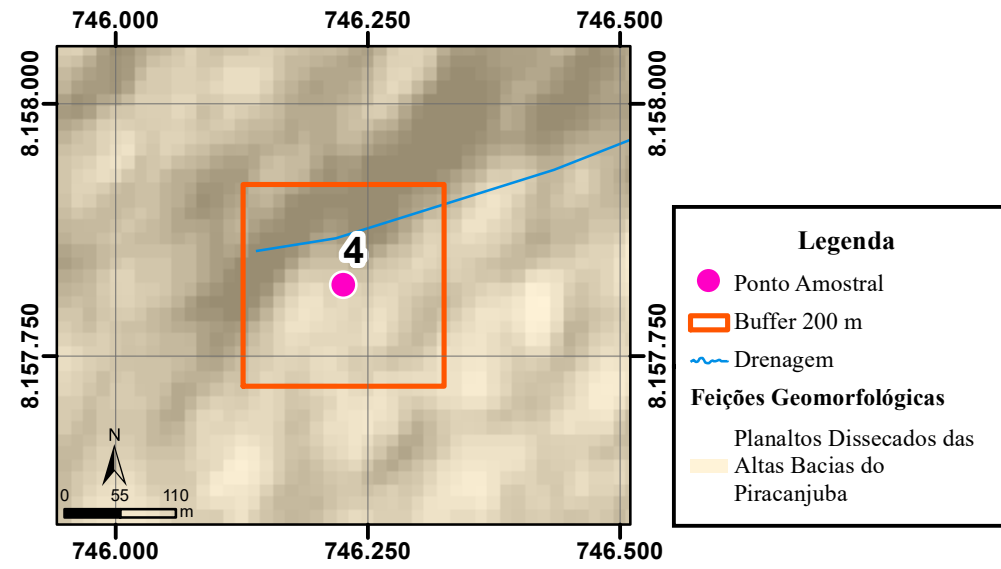
Unidade Geológica



Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000

(a)

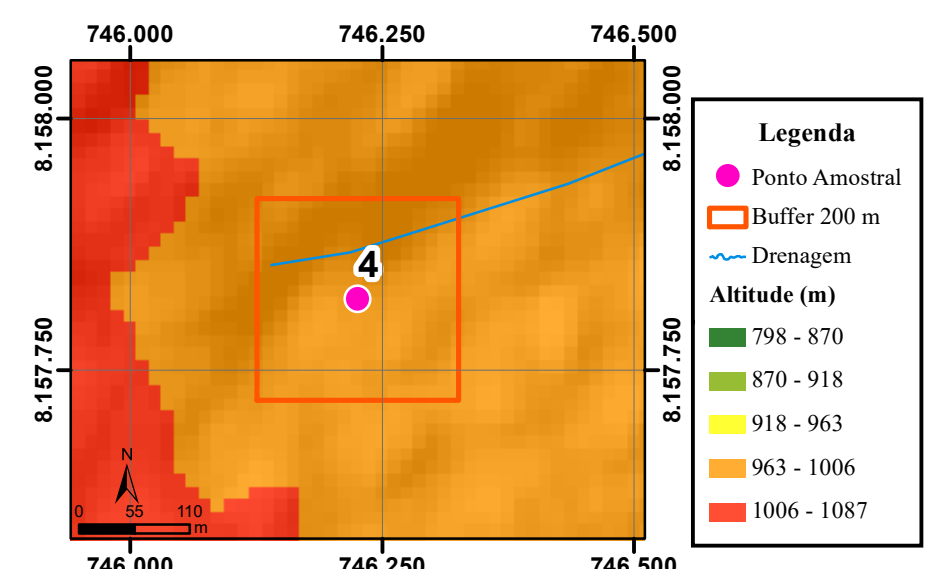
Geomorfologia



Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000

(b)

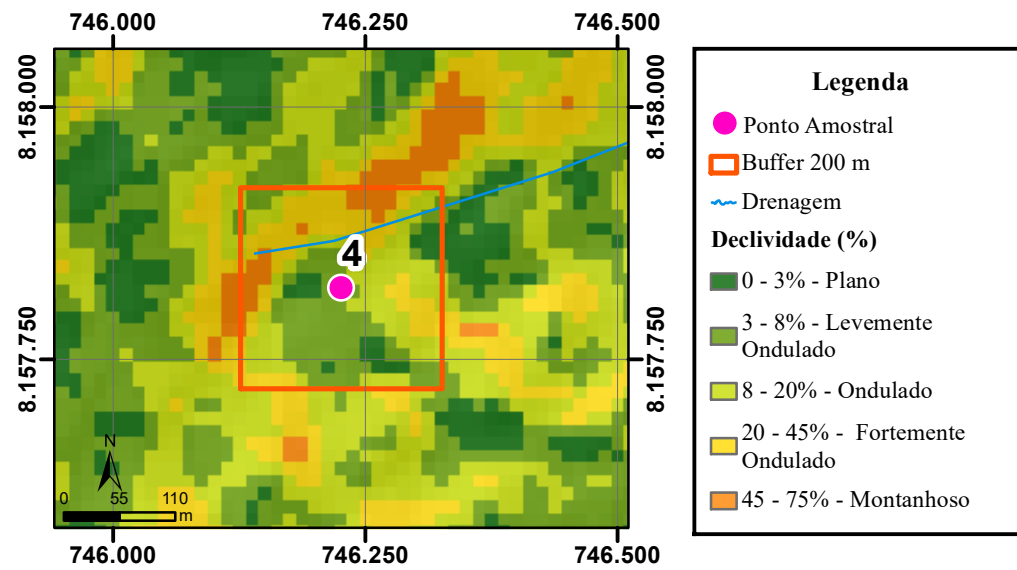
Altimetria



Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000

(c)

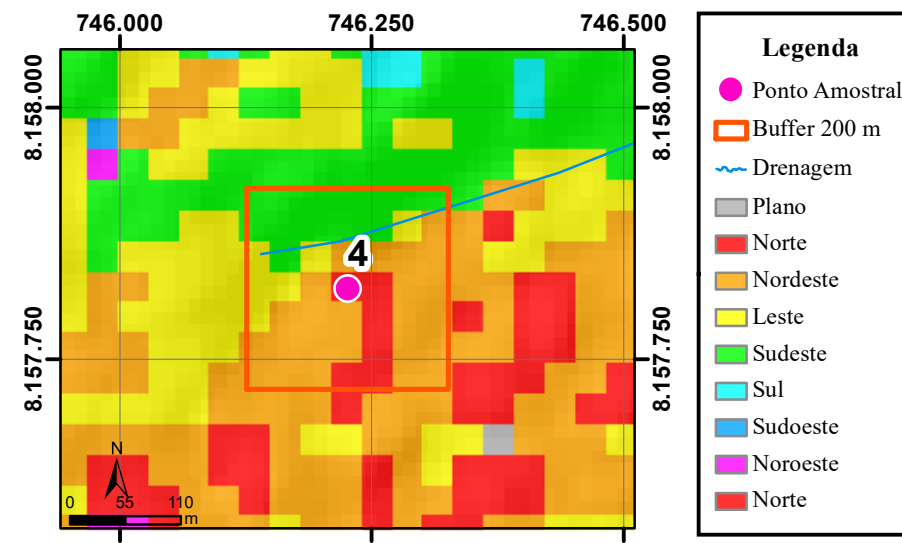
Declividade



Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000

(d)

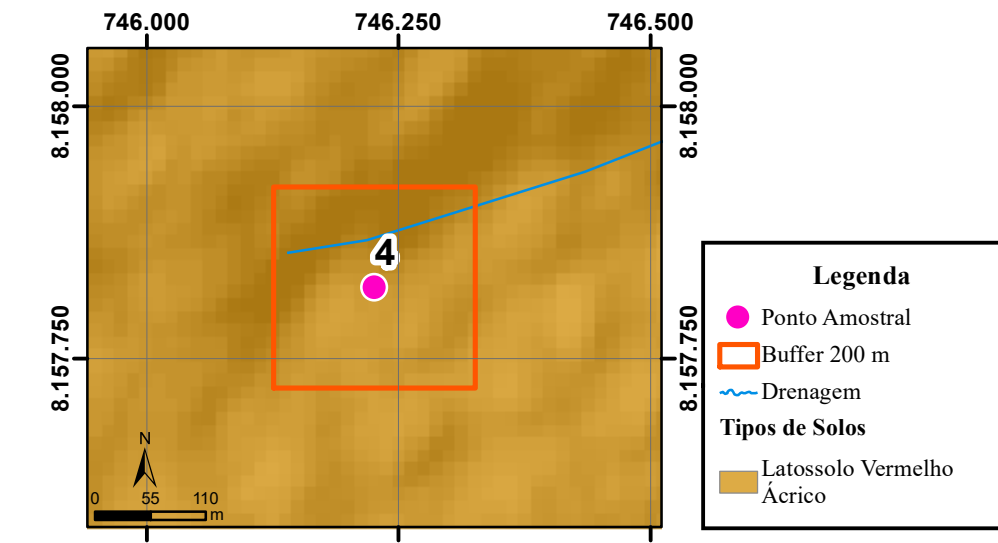
Orientação das Vertentes



Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000

(e)

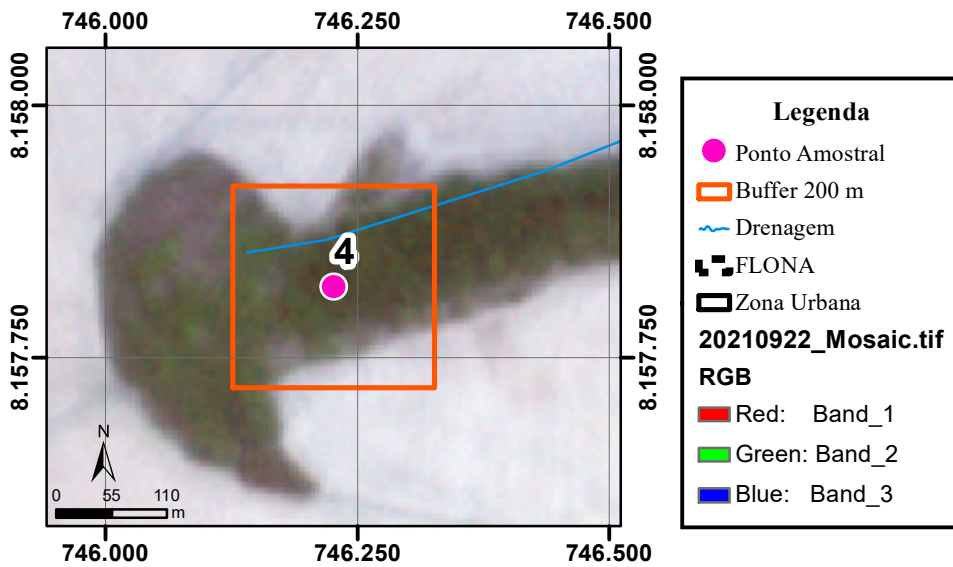
Solos



Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000

(f)

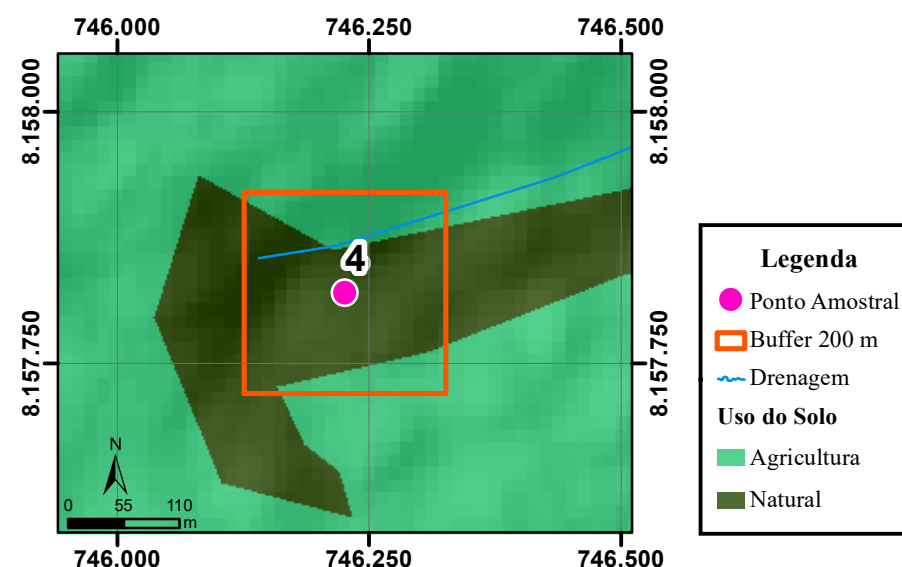
Carta Imagem



Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023).

(g)

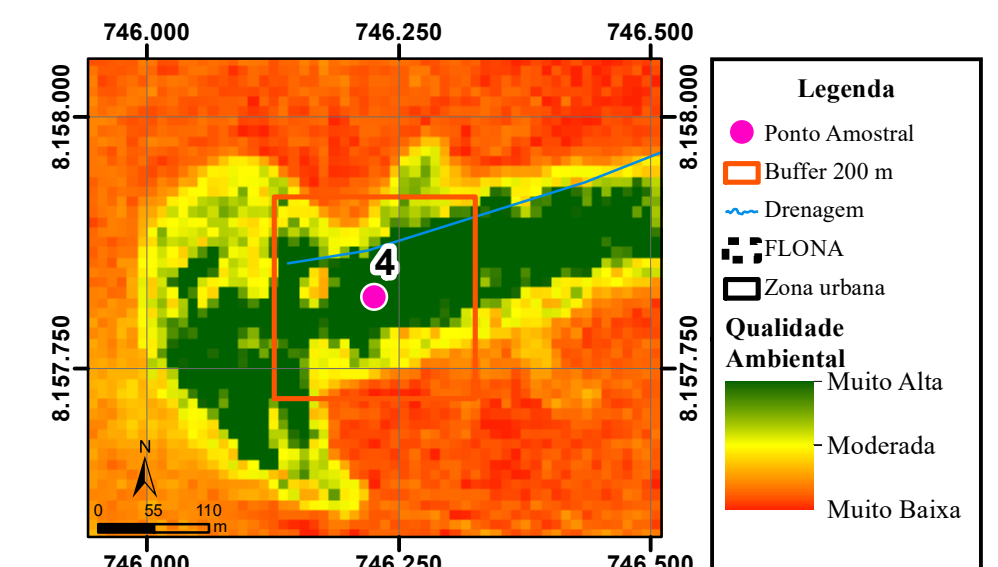
Uso do Solo



Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000

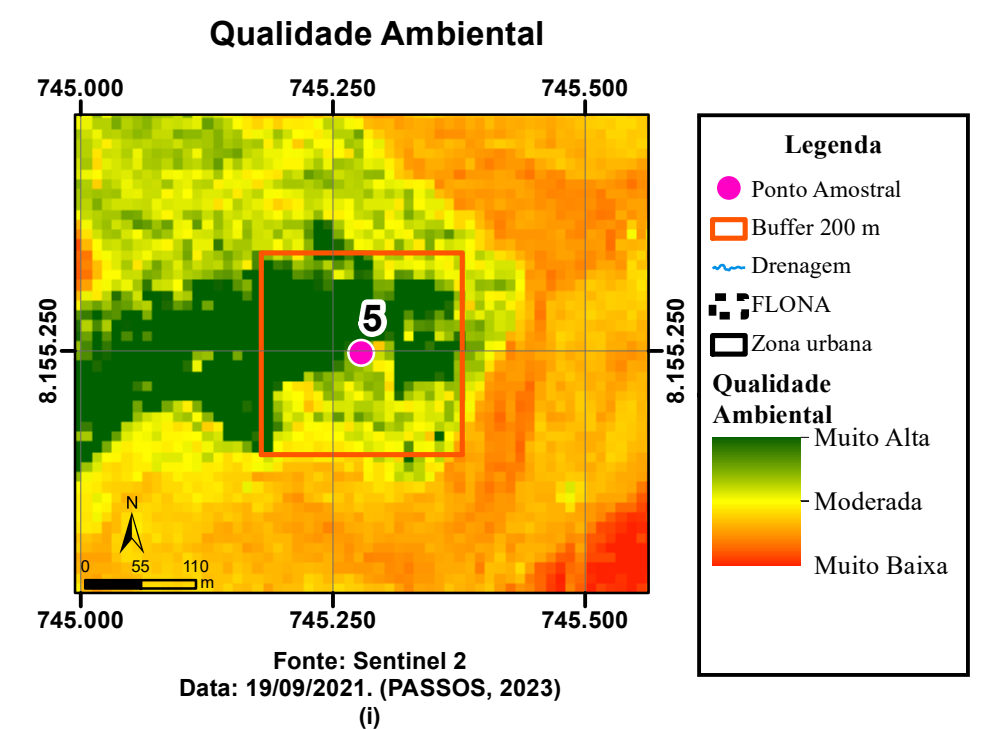
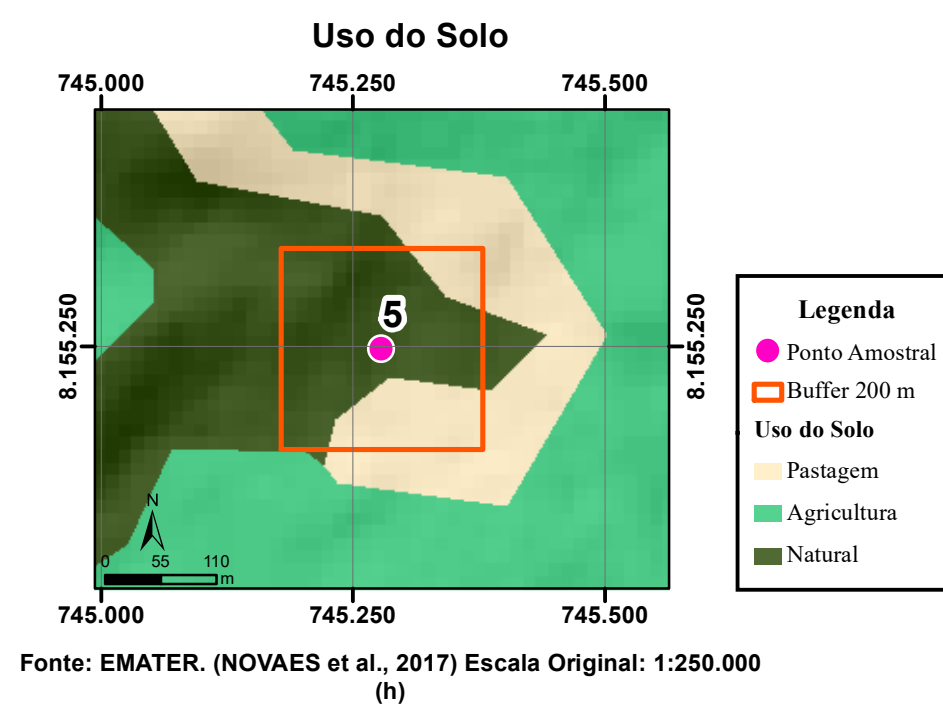
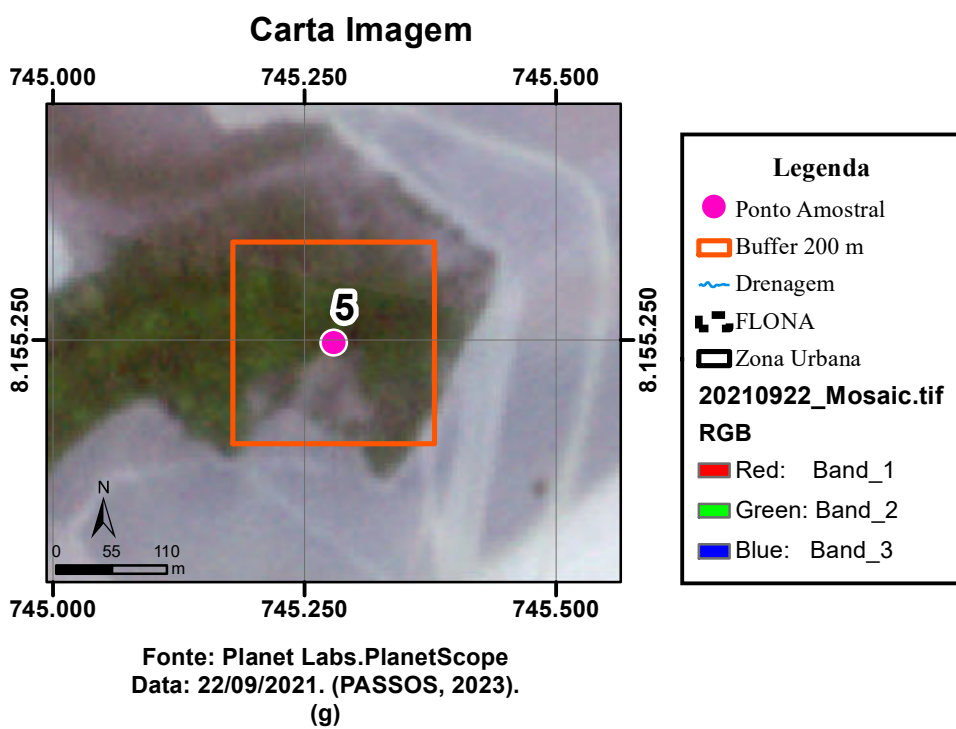
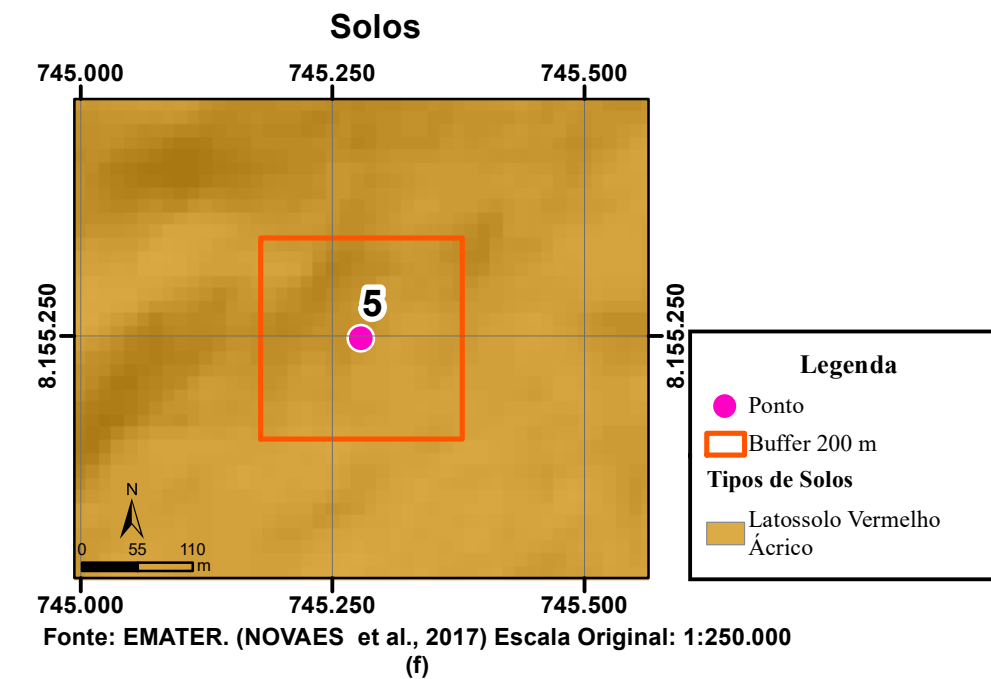
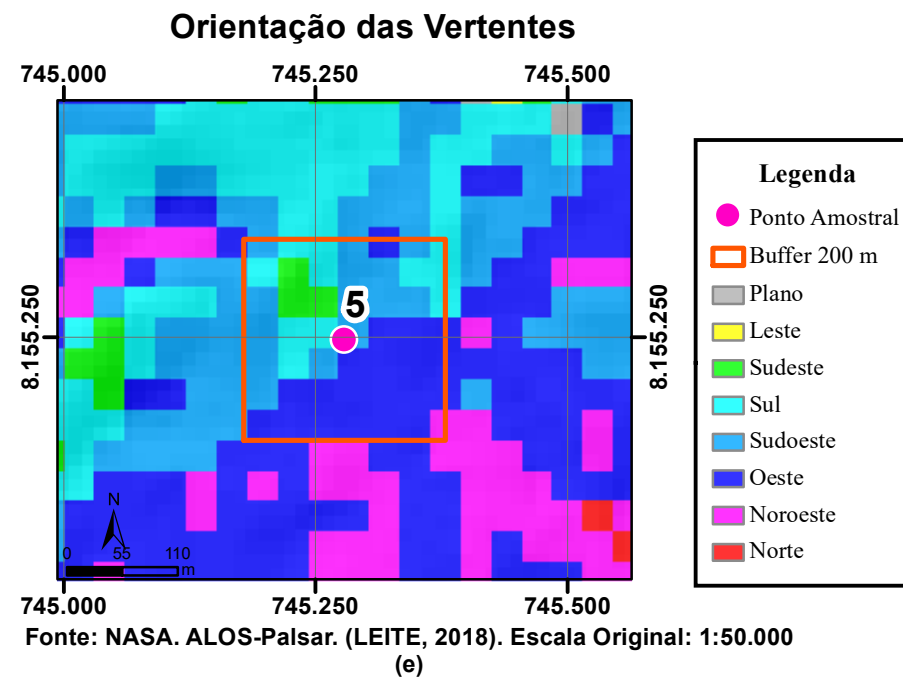
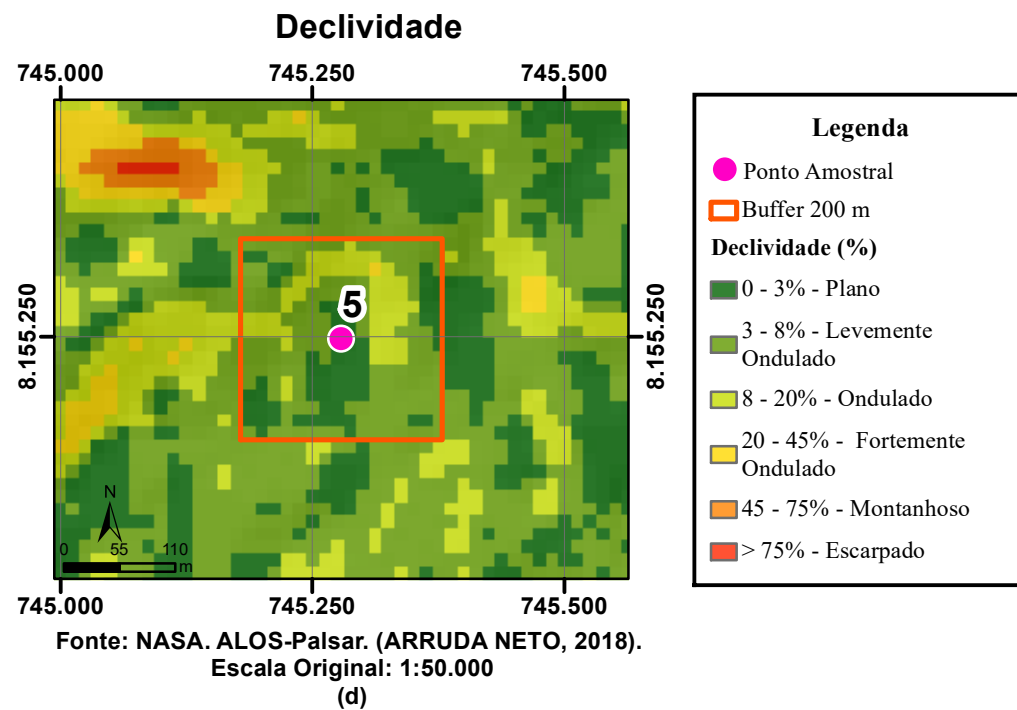
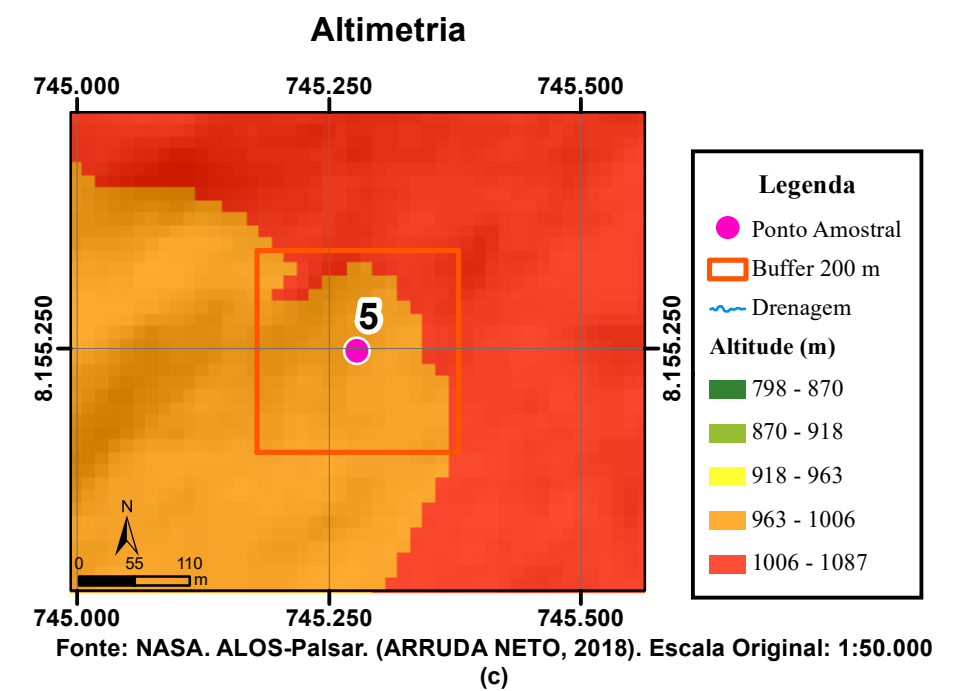
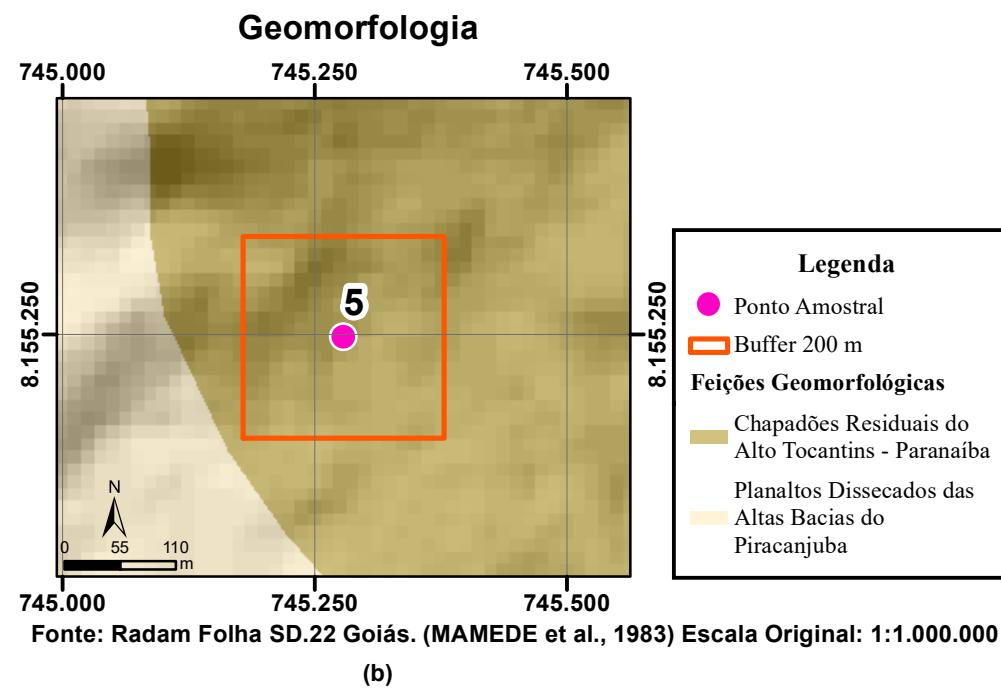
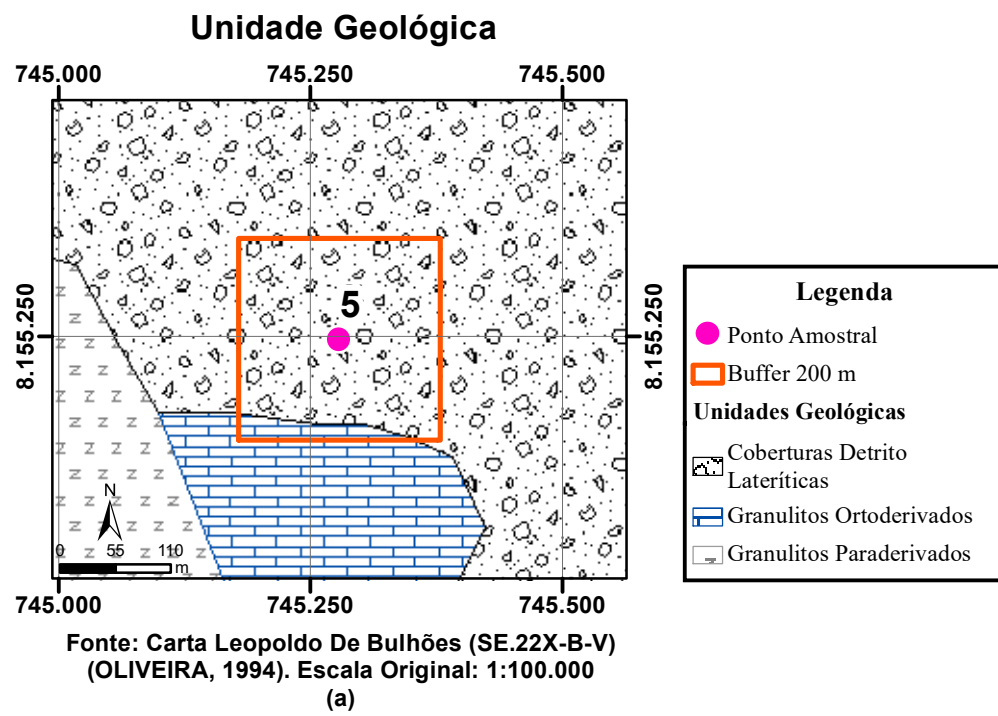
(h)

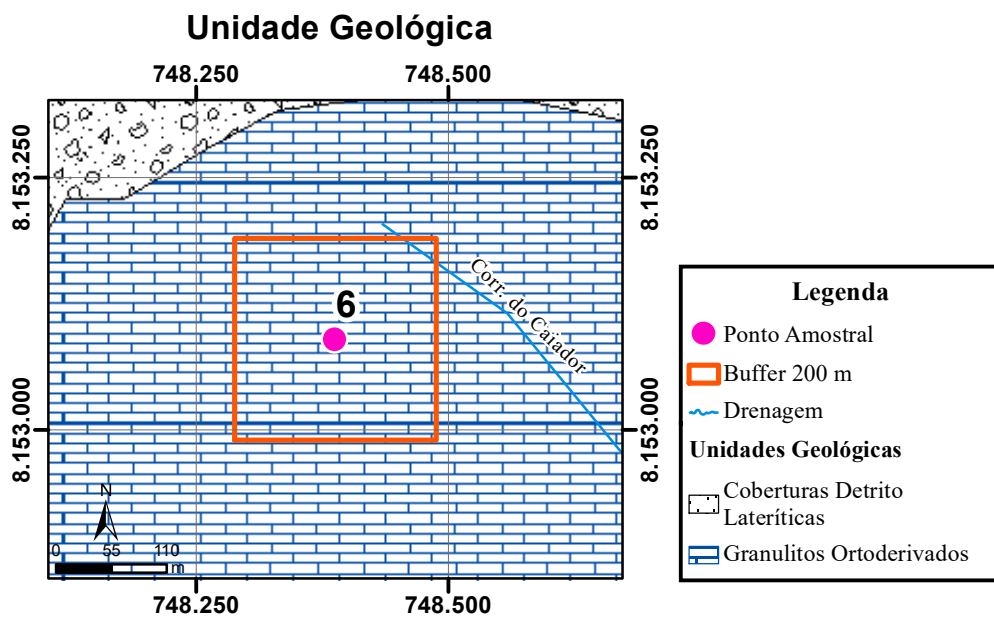
Qualidade Ambiental



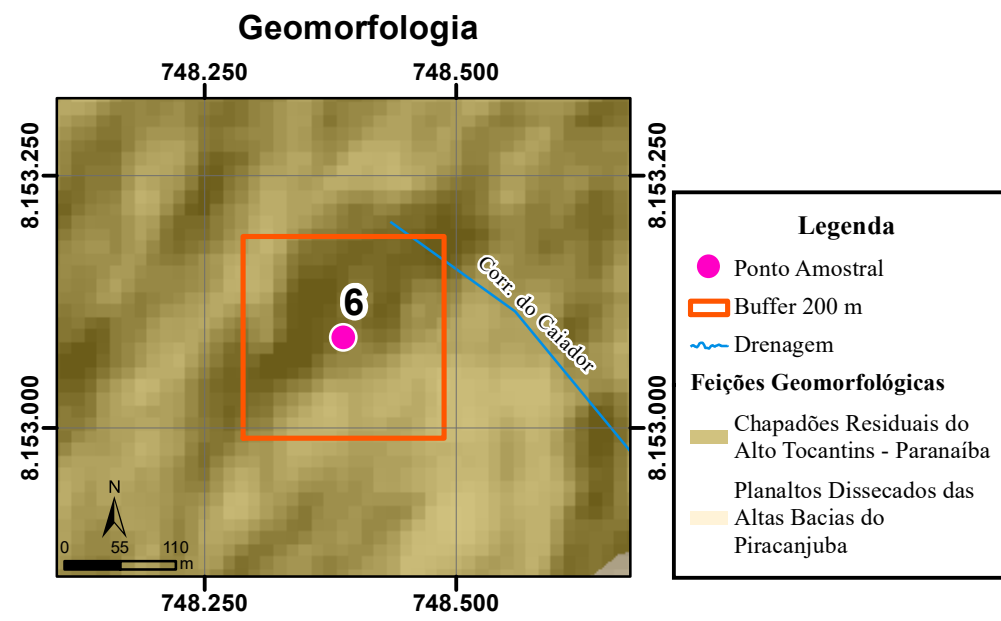
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023)

(i)

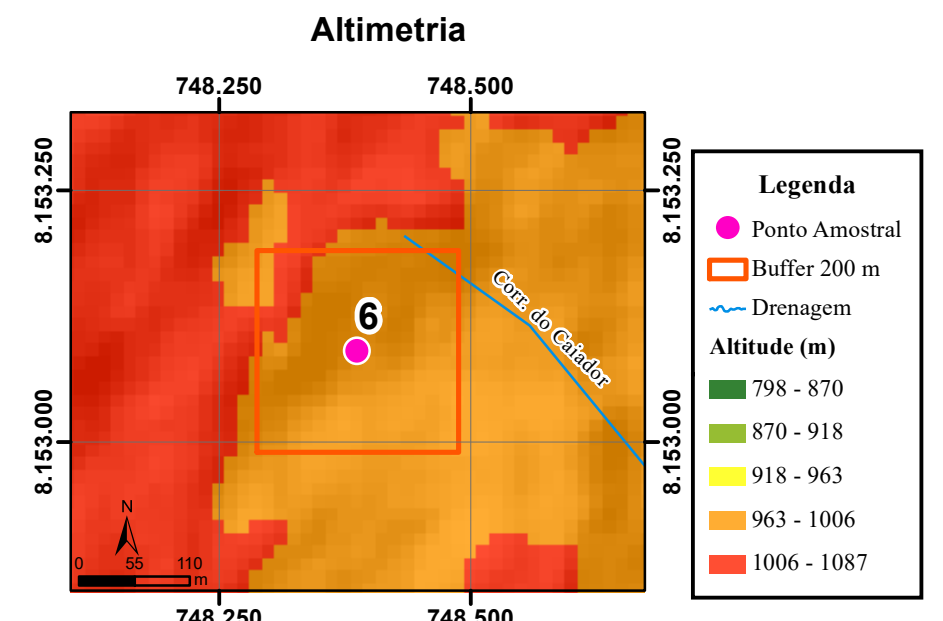




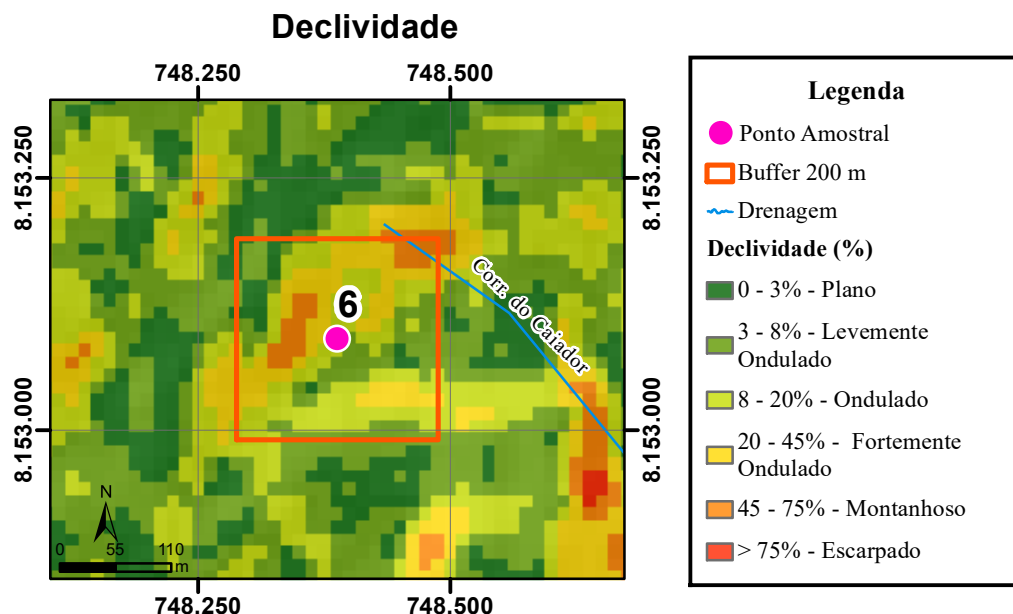
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)



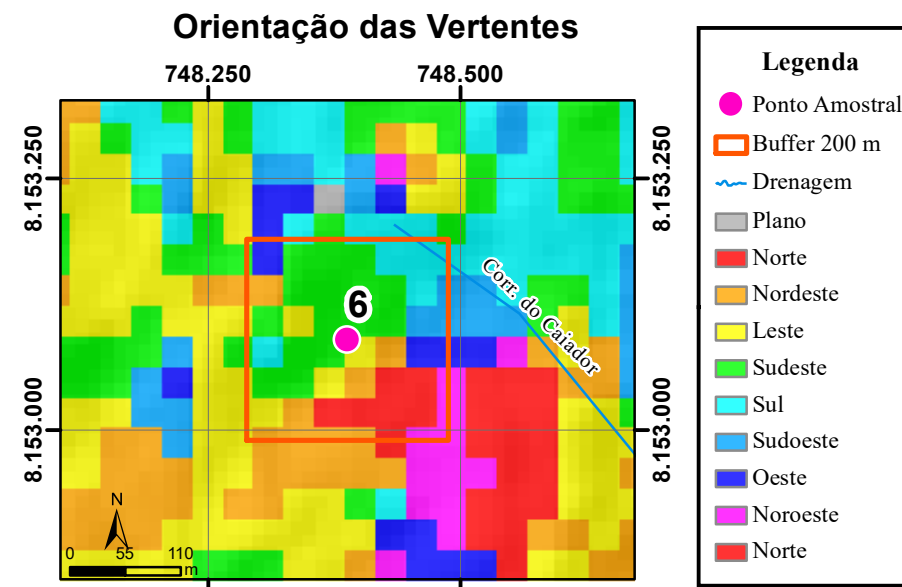
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)



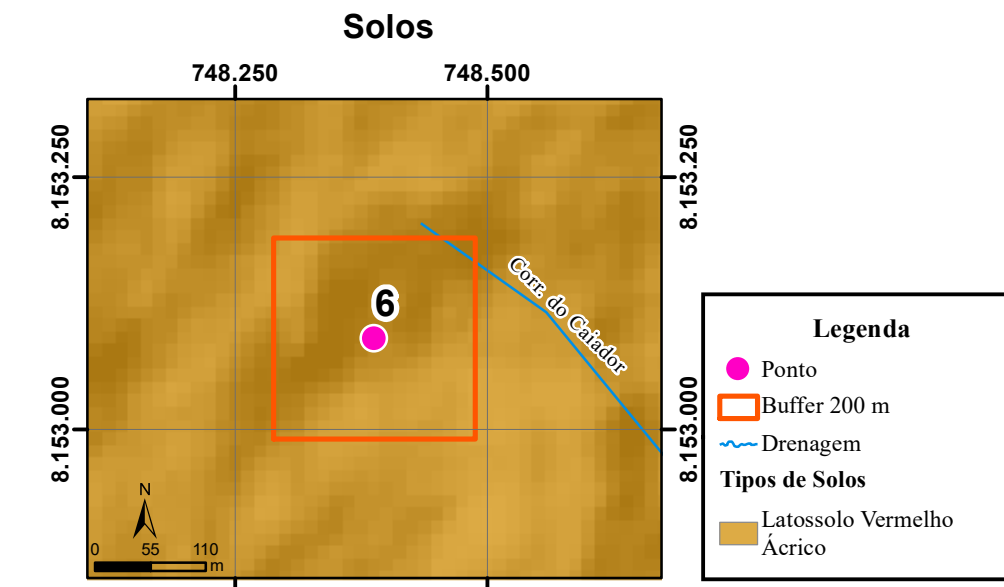
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)



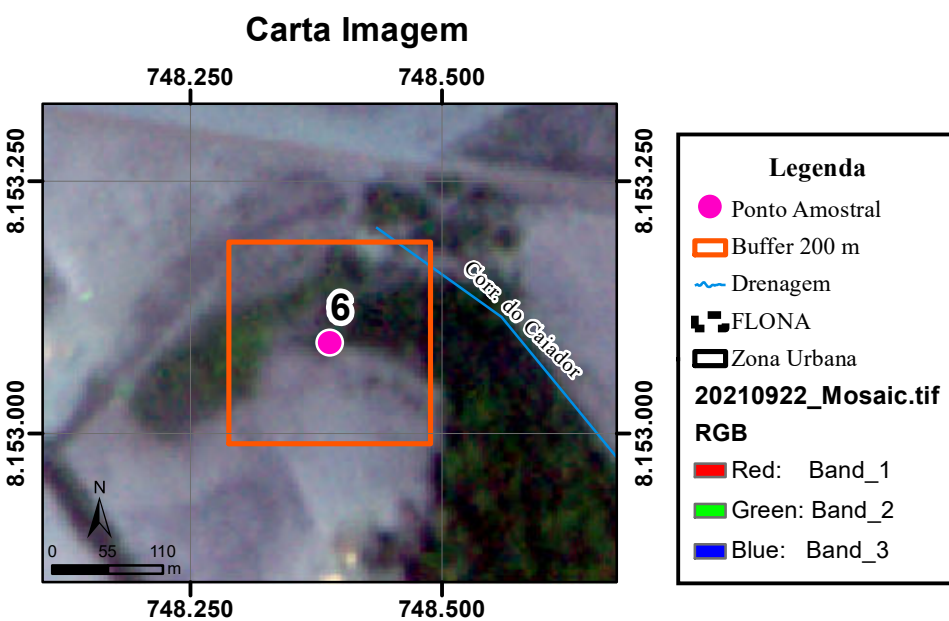
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)



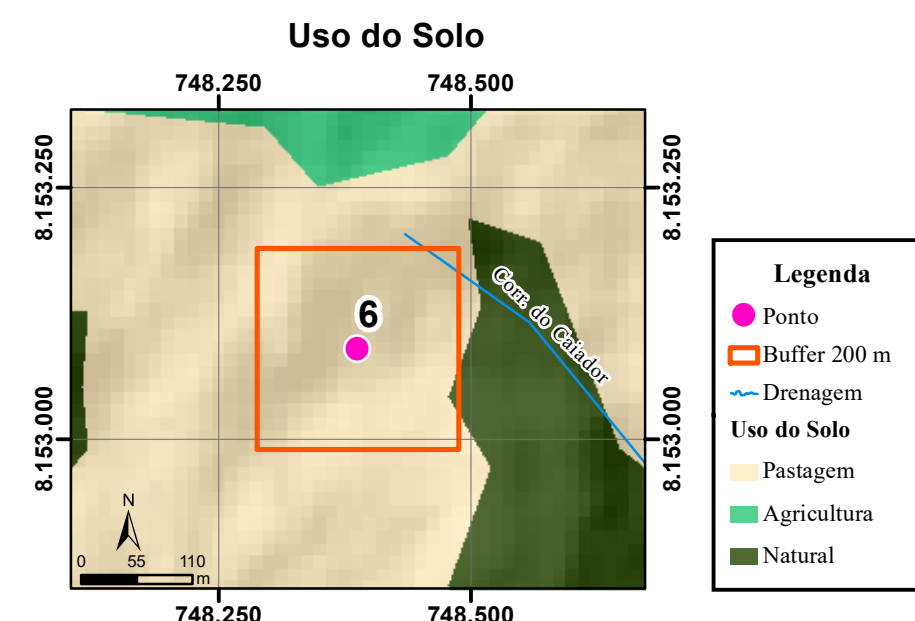
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)



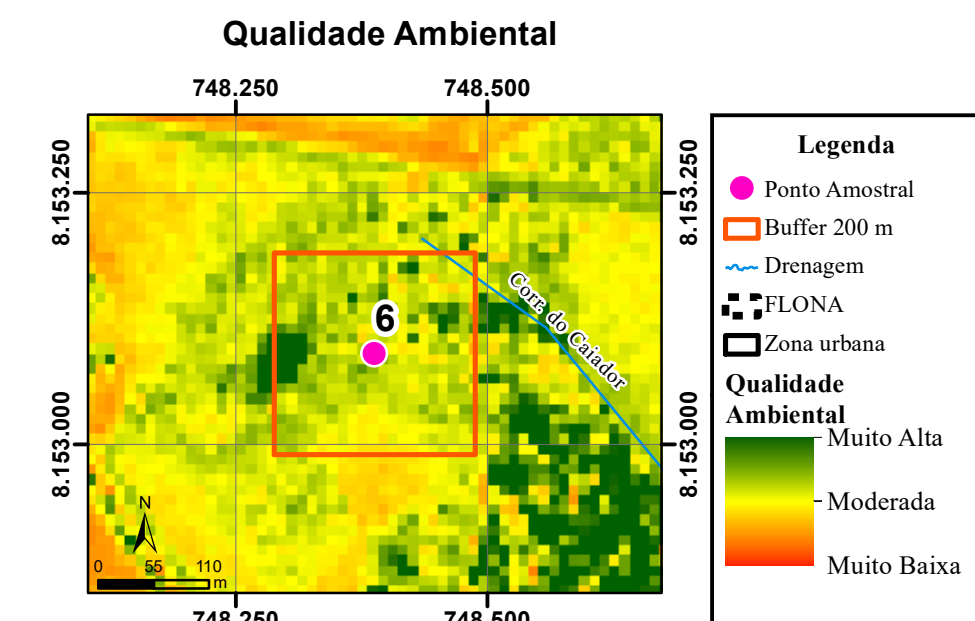
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)



Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

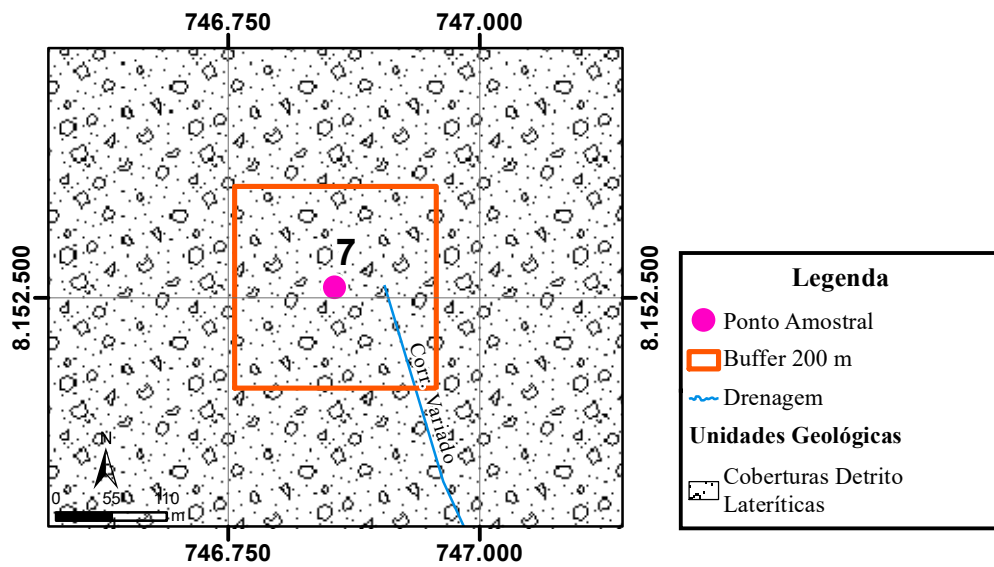


Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)



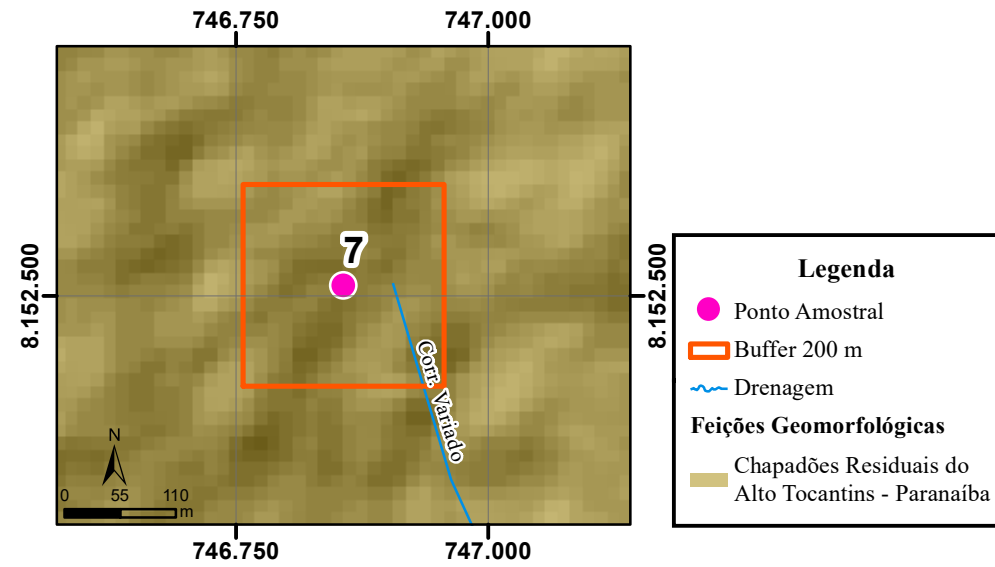
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)

Unidade Geológica



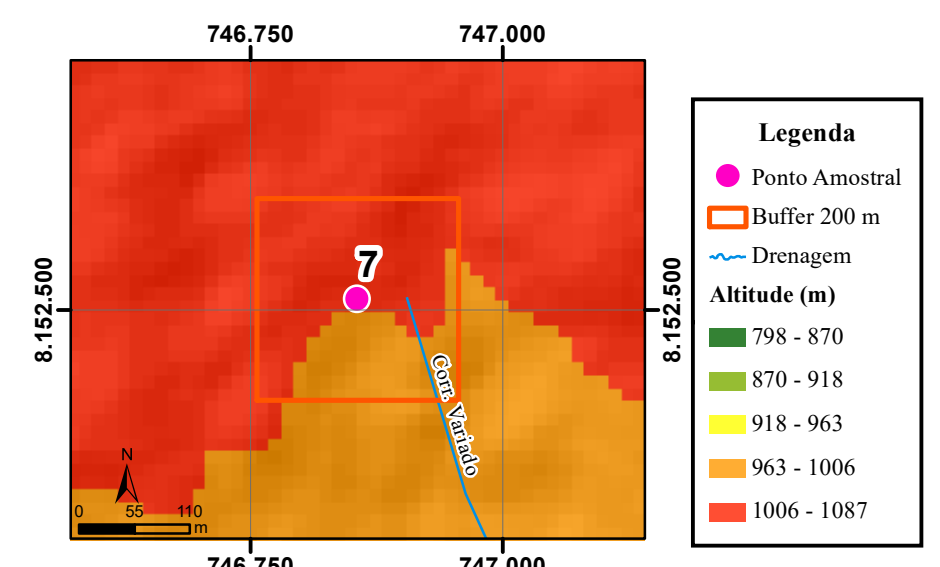
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)

Geomorfologia



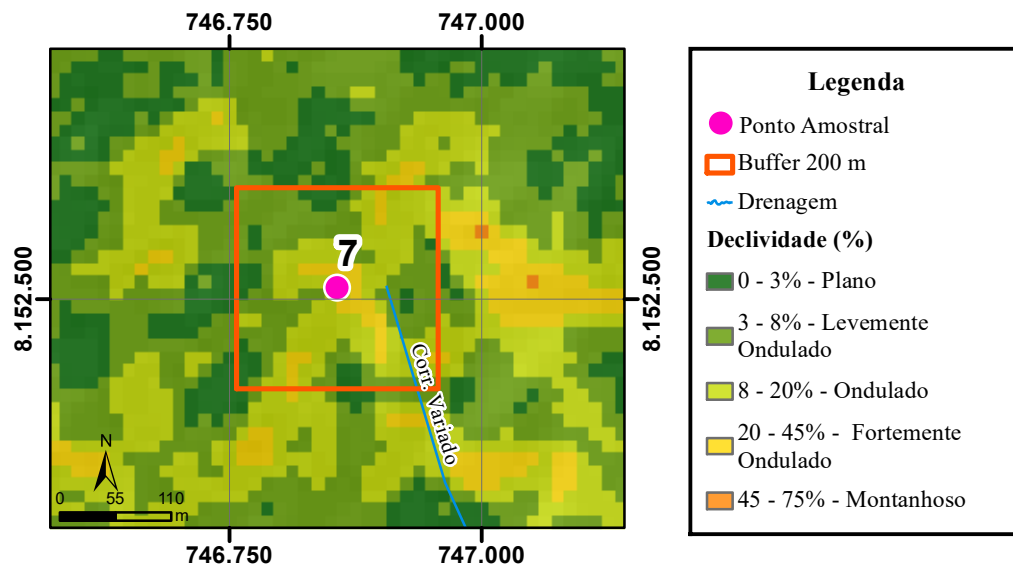
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)

Altimetria



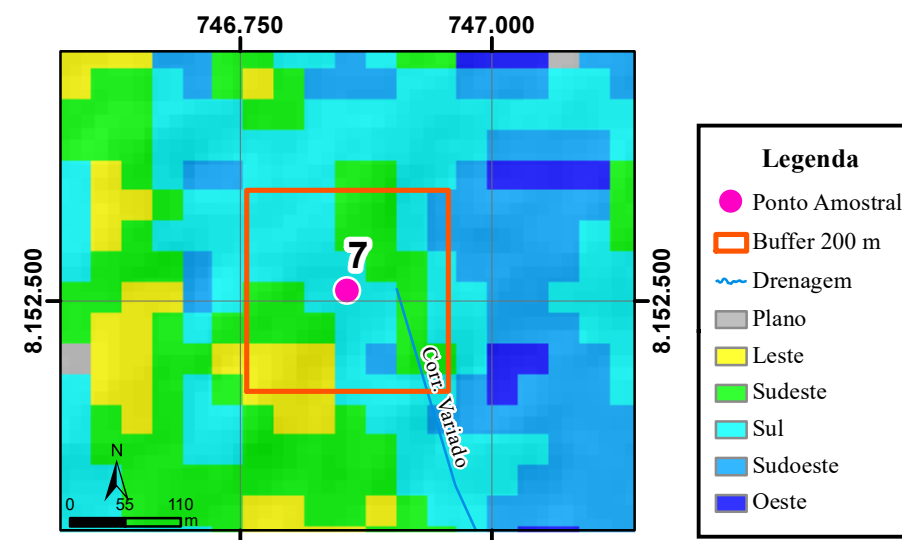
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)

Declividade



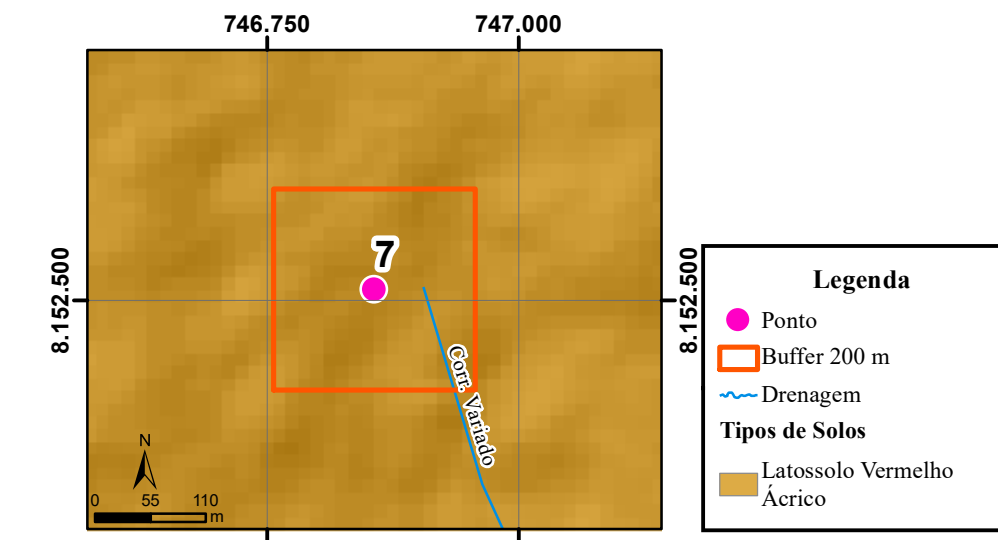
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)

Orientação das Vertentes



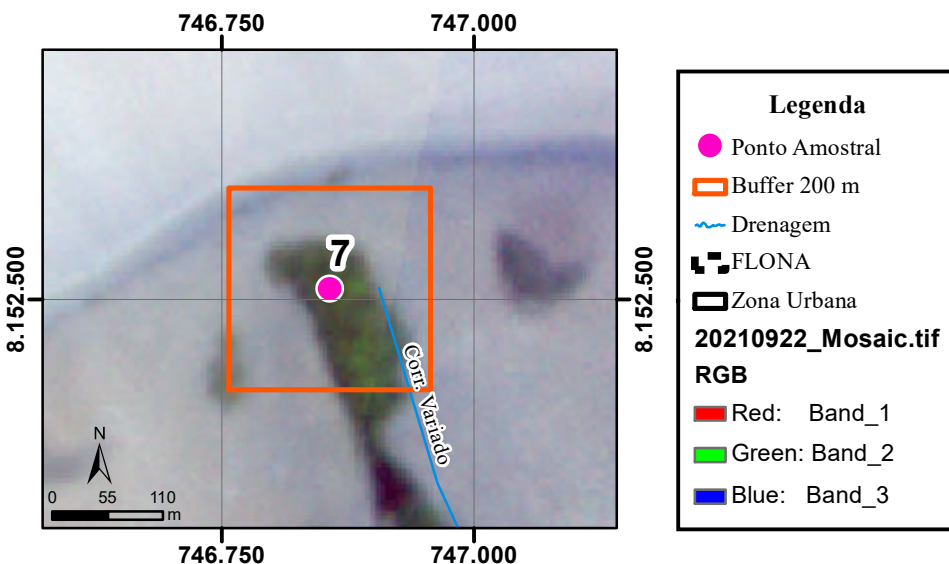
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)

Solos



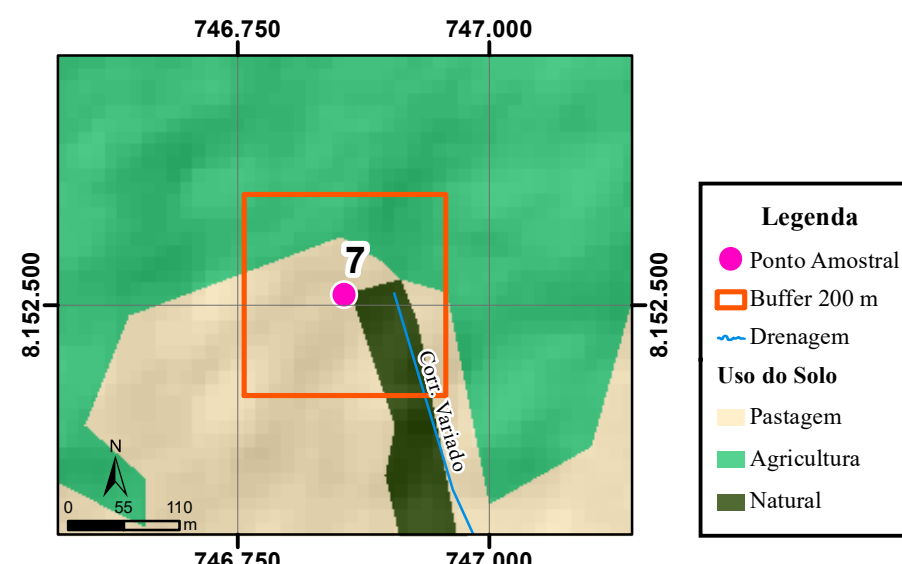
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)

Carta Imagem



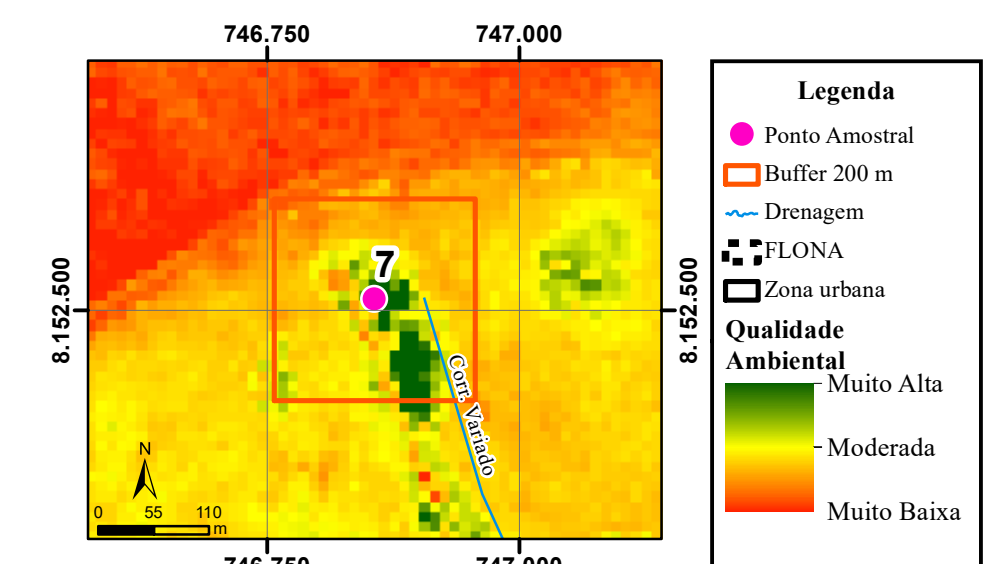
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

Uso do Solo

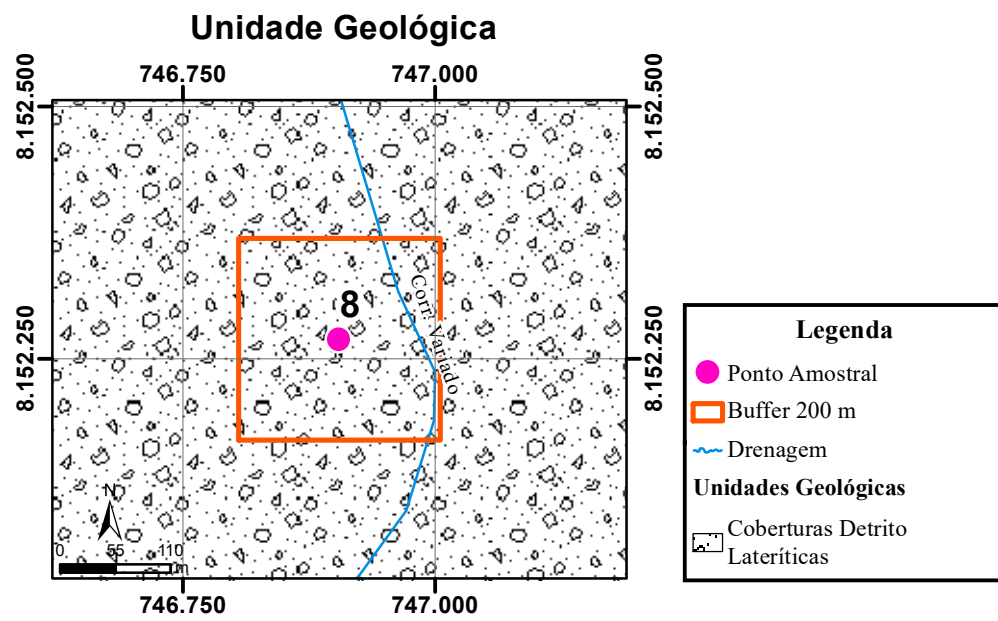


Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)

Qualidade Ambiental

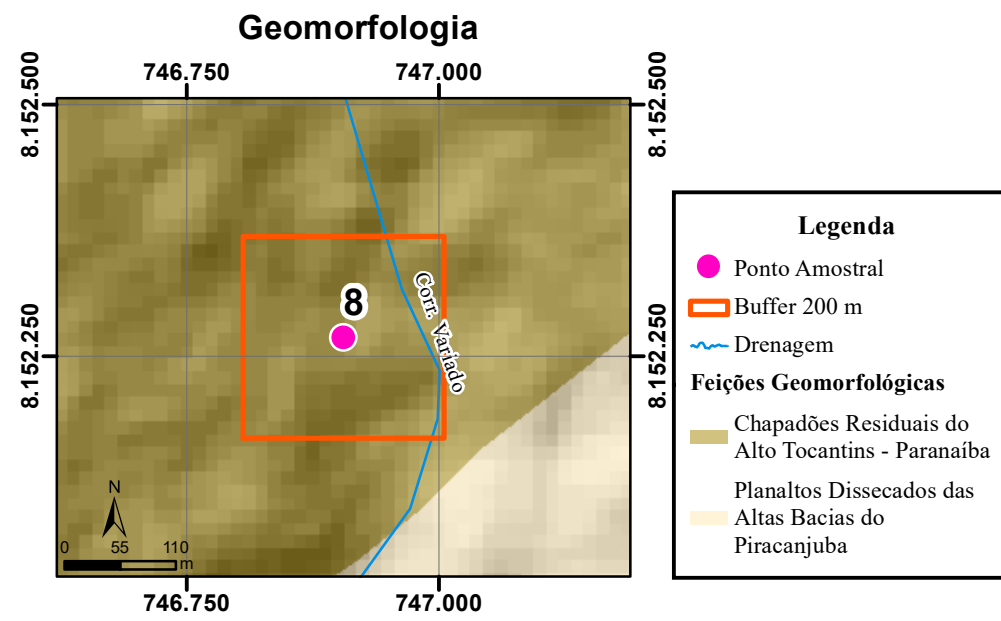


Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)



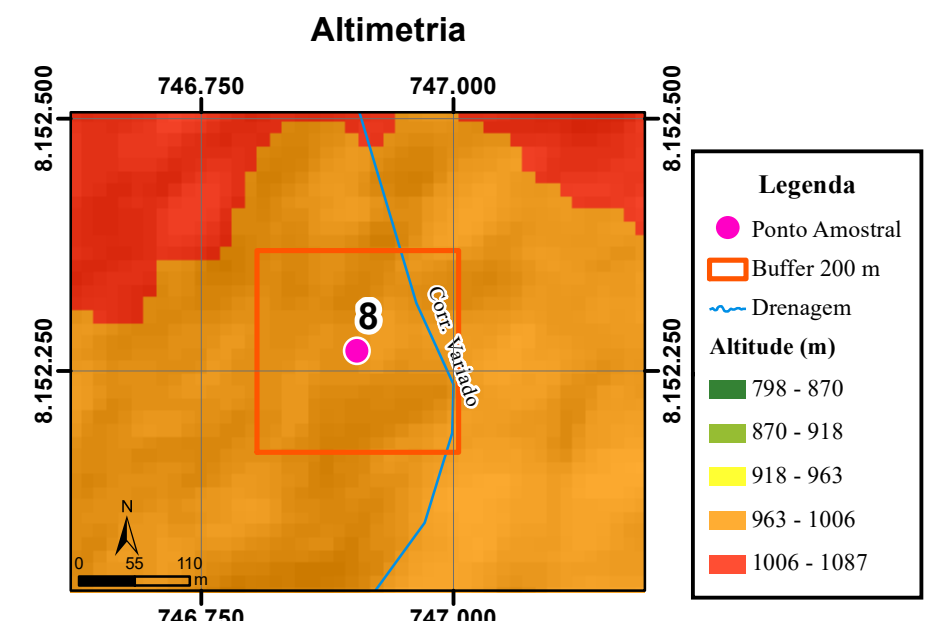
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000

(a)



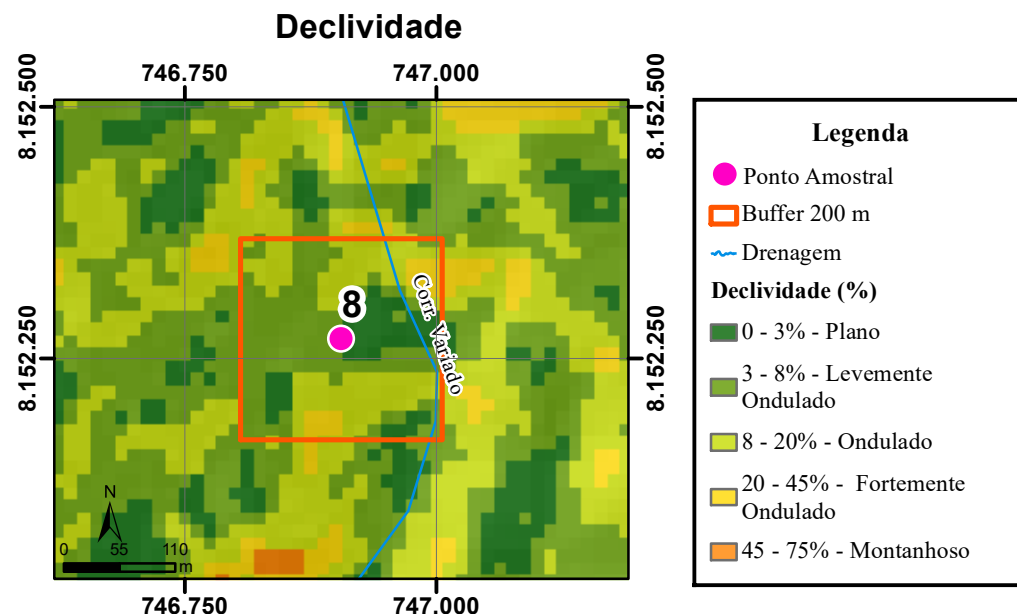
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000

(b)



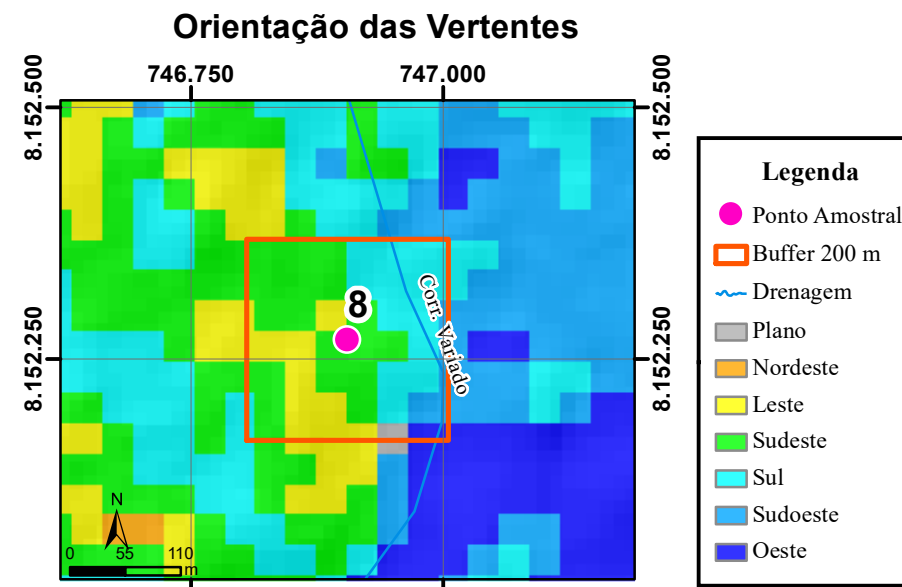
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000

(c)



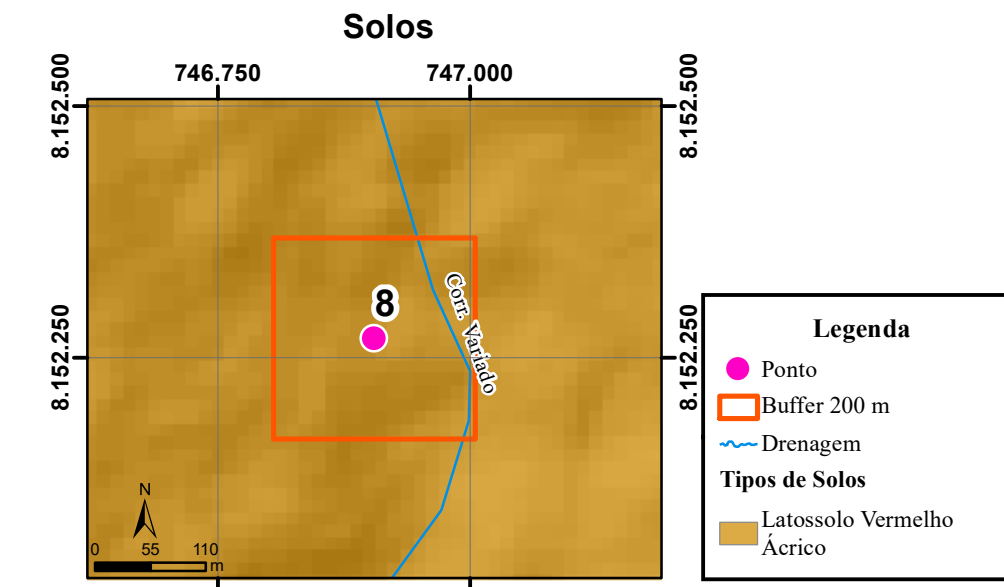
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000

(d)



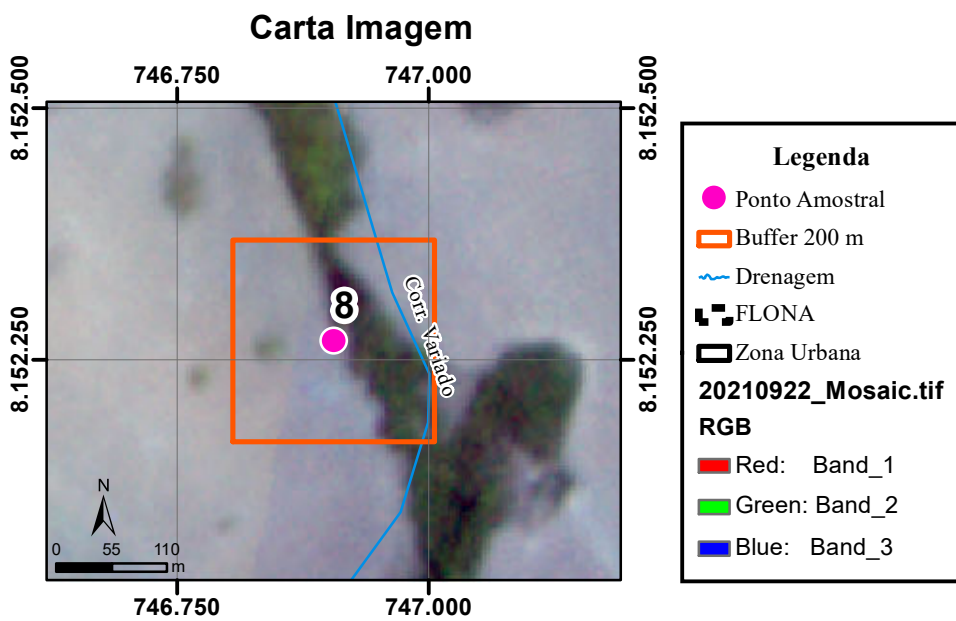
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000

(e)



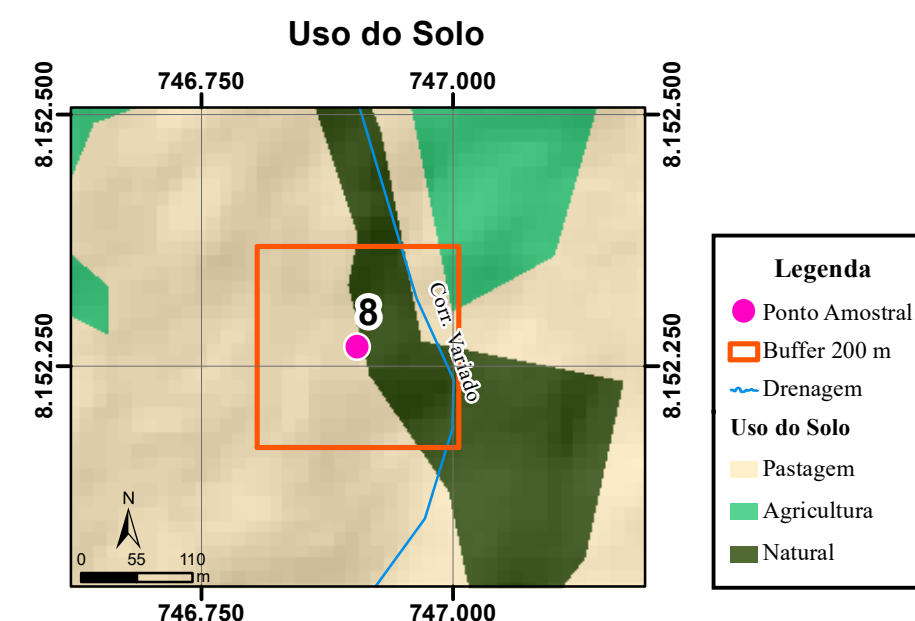
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000

(f)



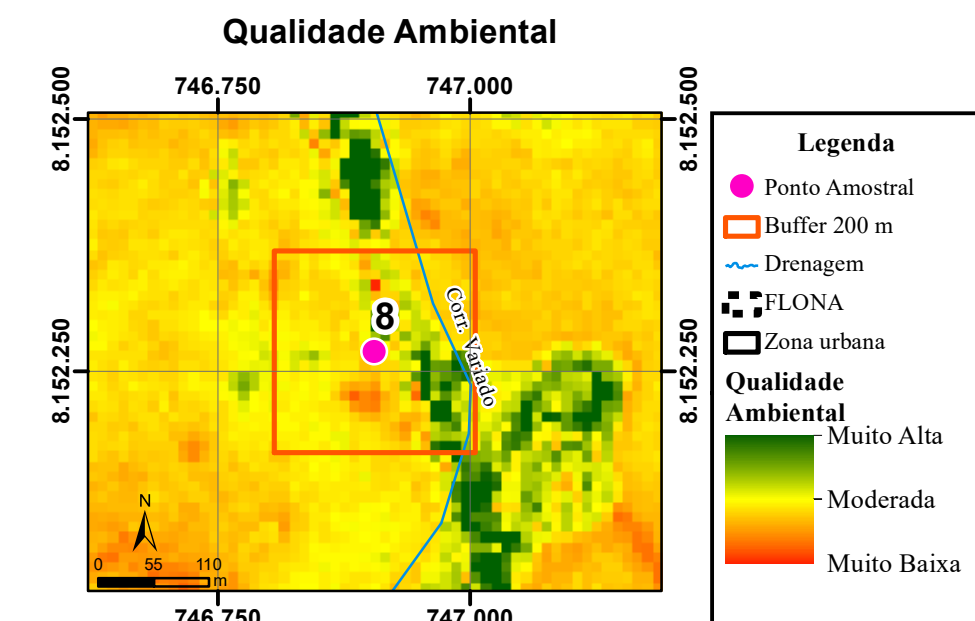
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023).

(g)



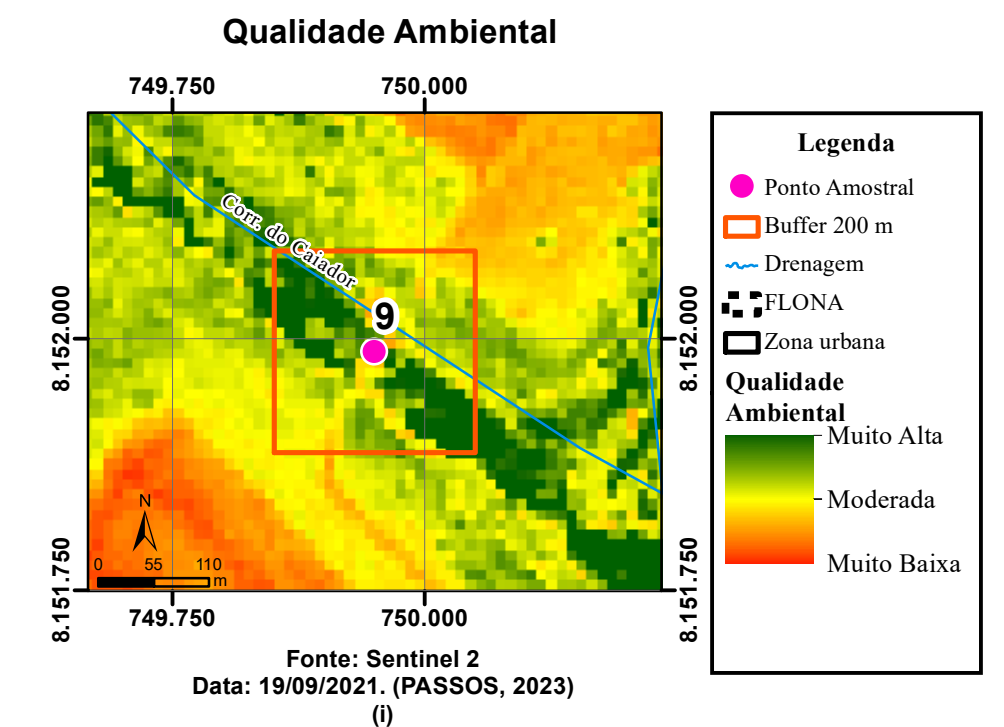
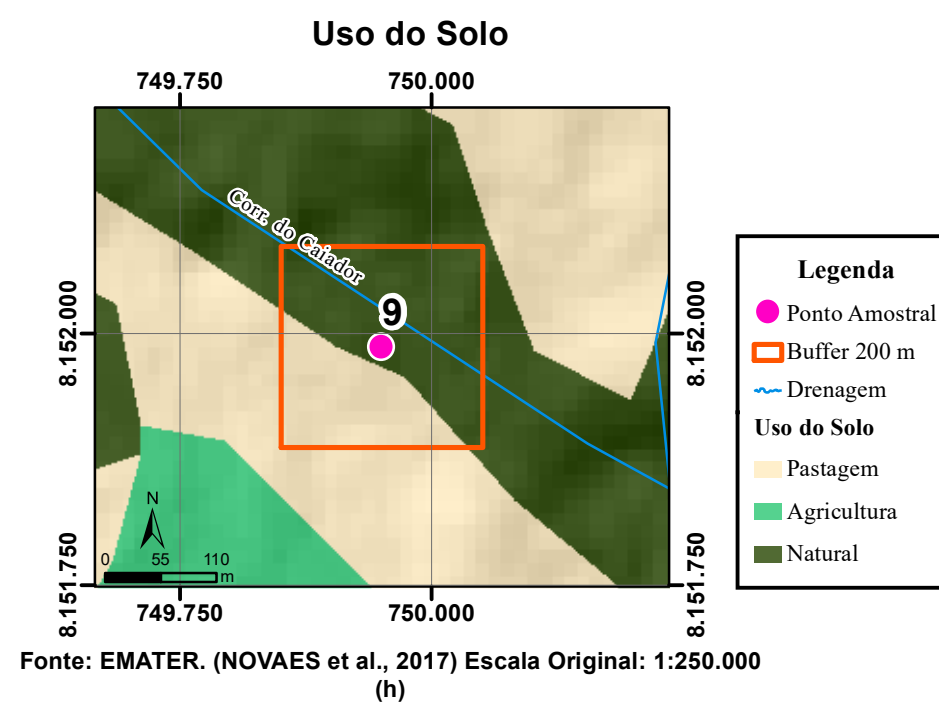
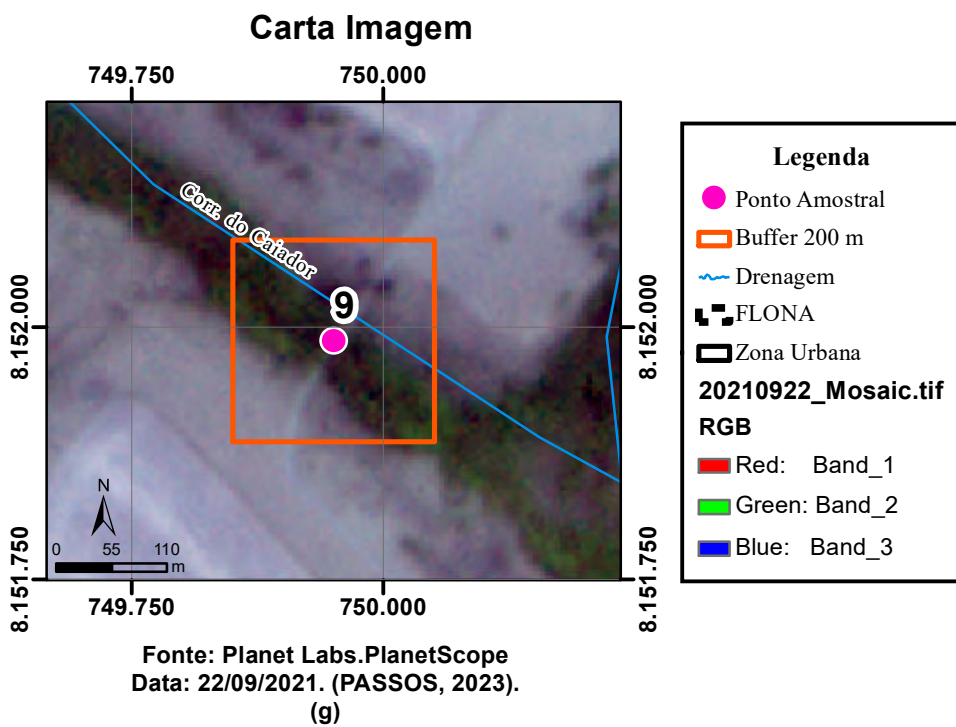
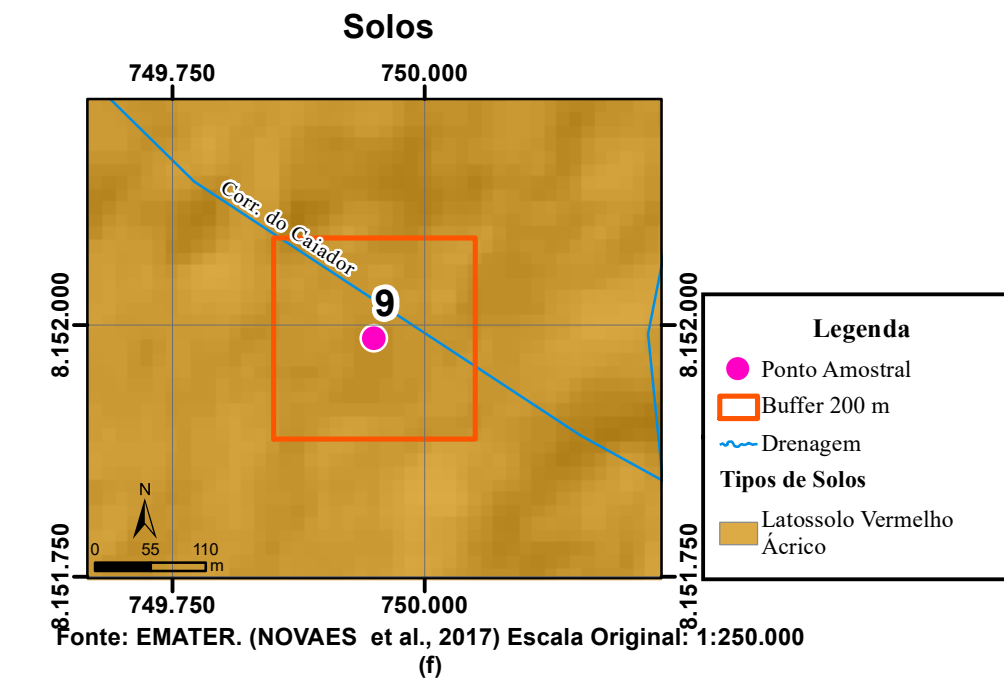
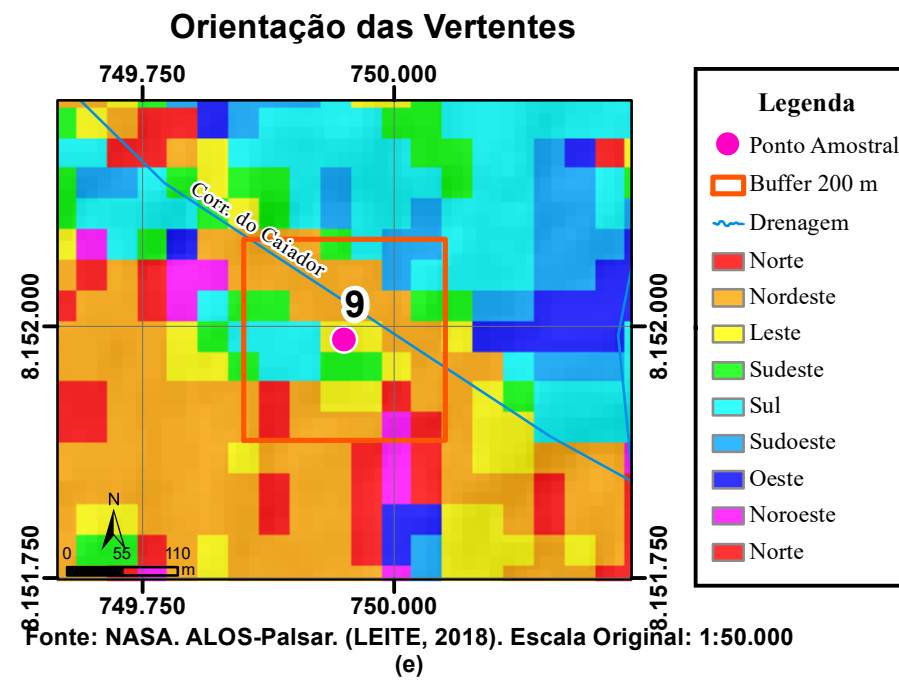
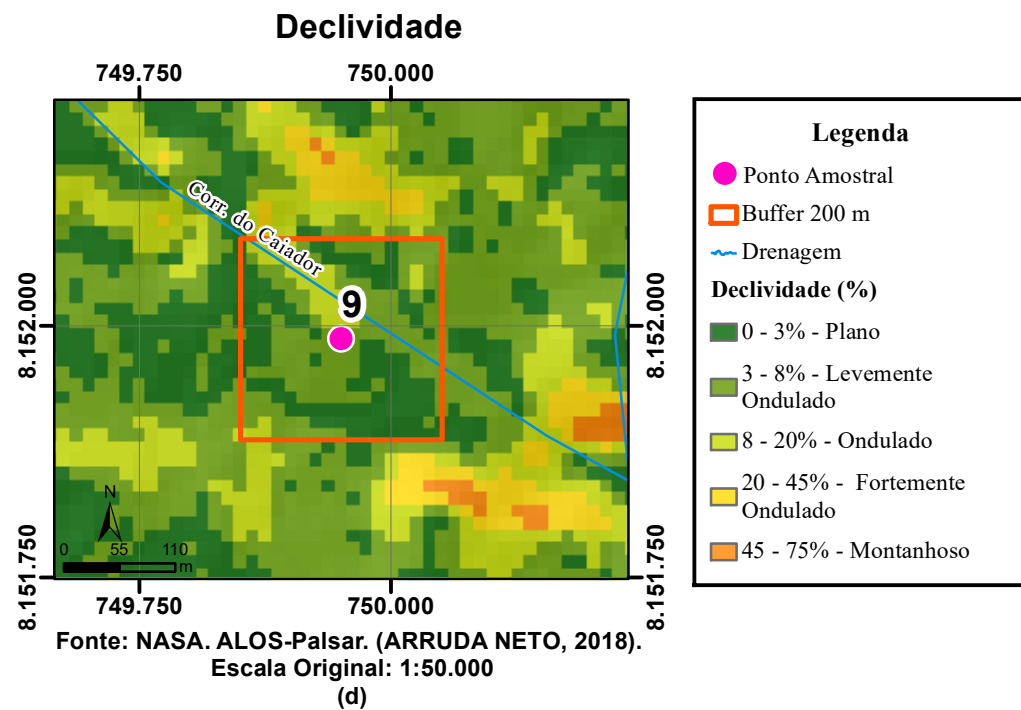
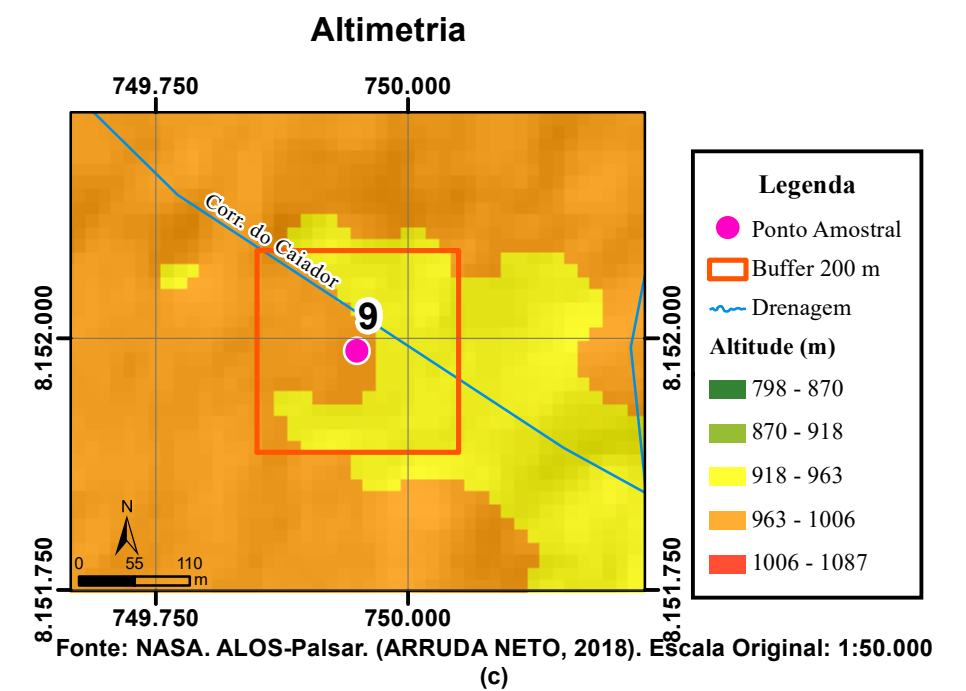
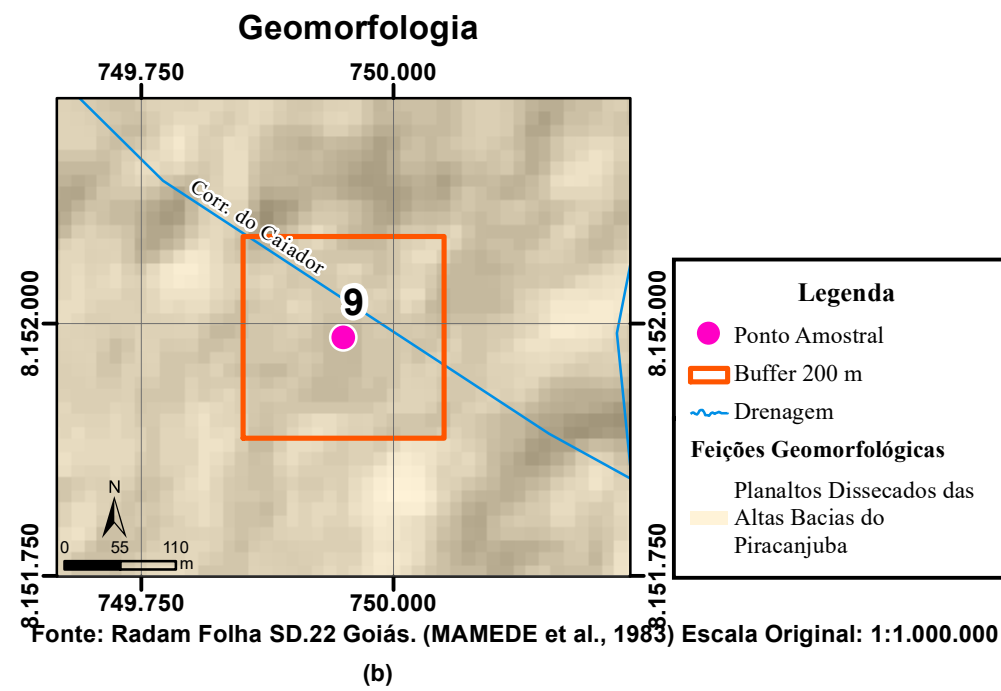
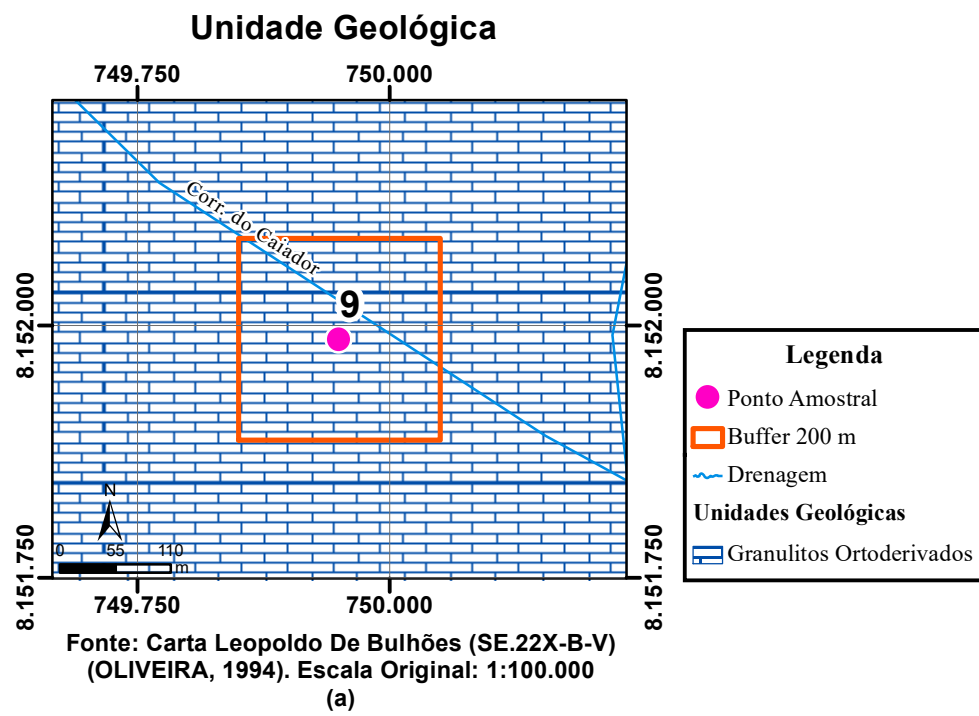
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000

(h)

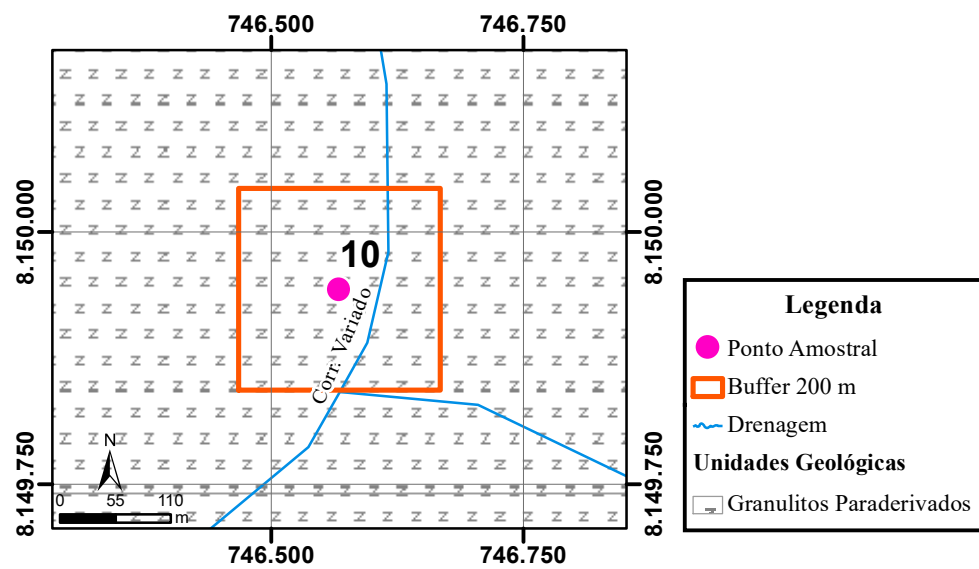


Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023)

Organizado por Joelson de Souza Passos

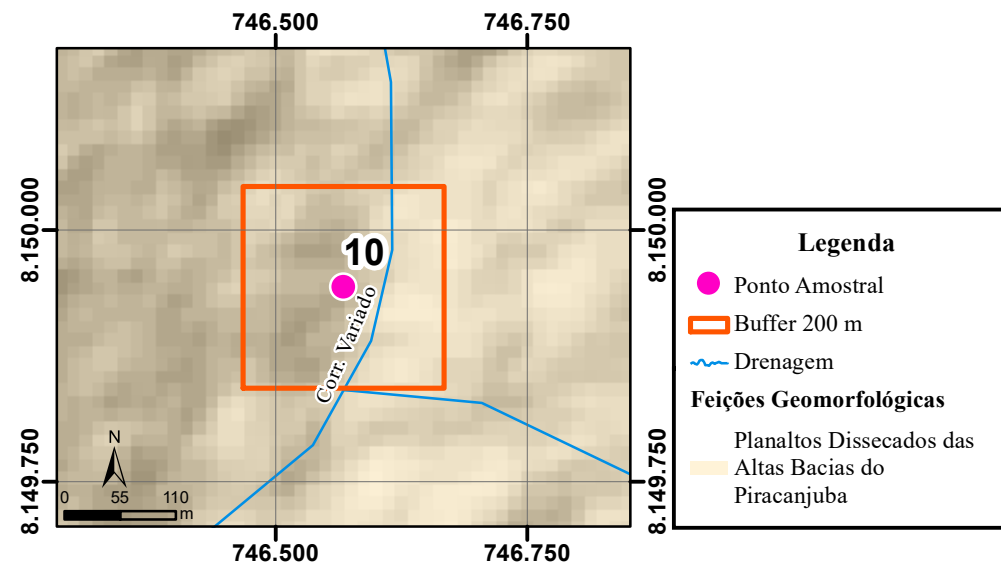


Unidade Geológica



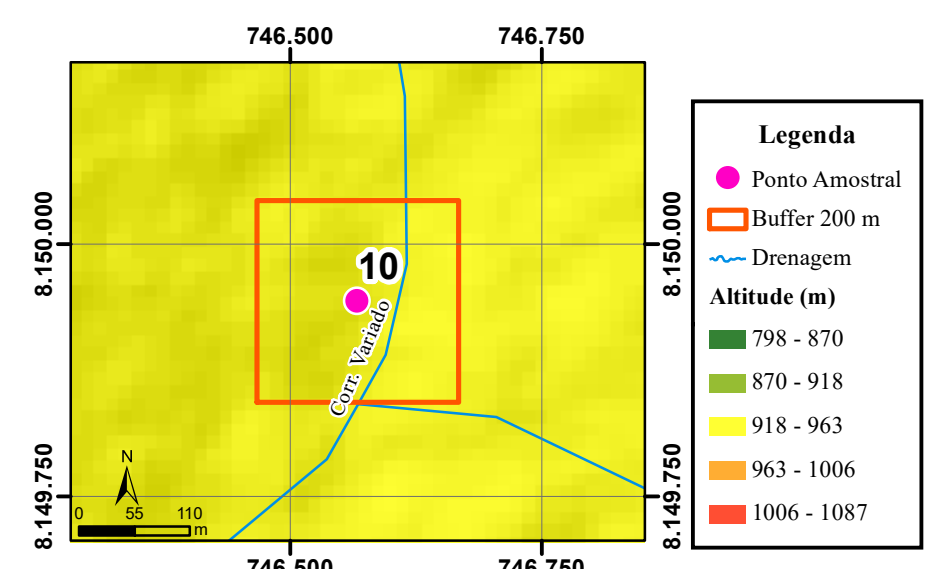
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)

Geomorfologia



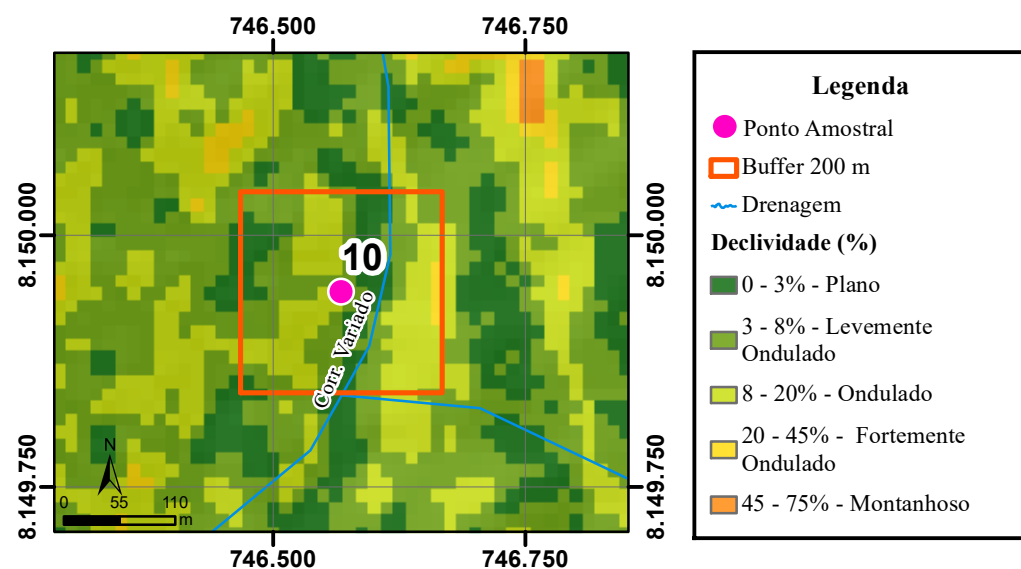
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)

Altimetria



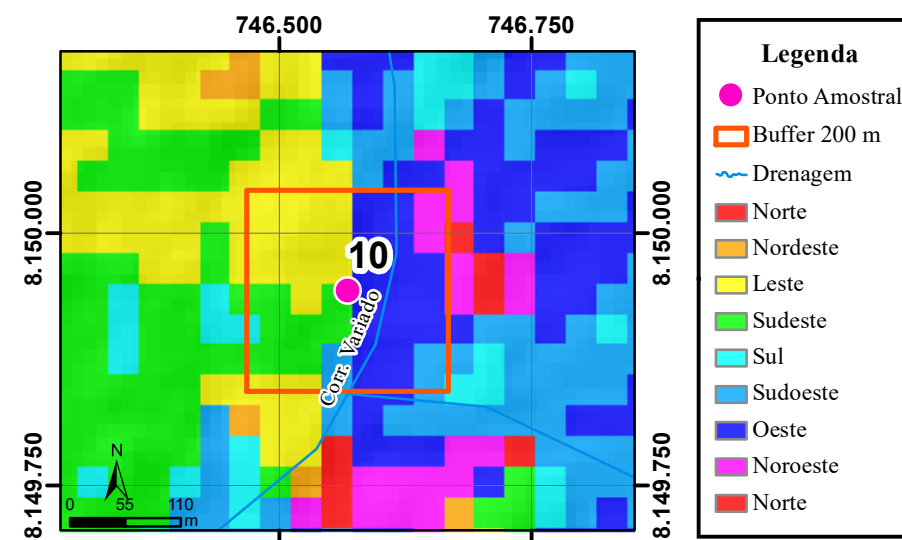
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)

Declividade



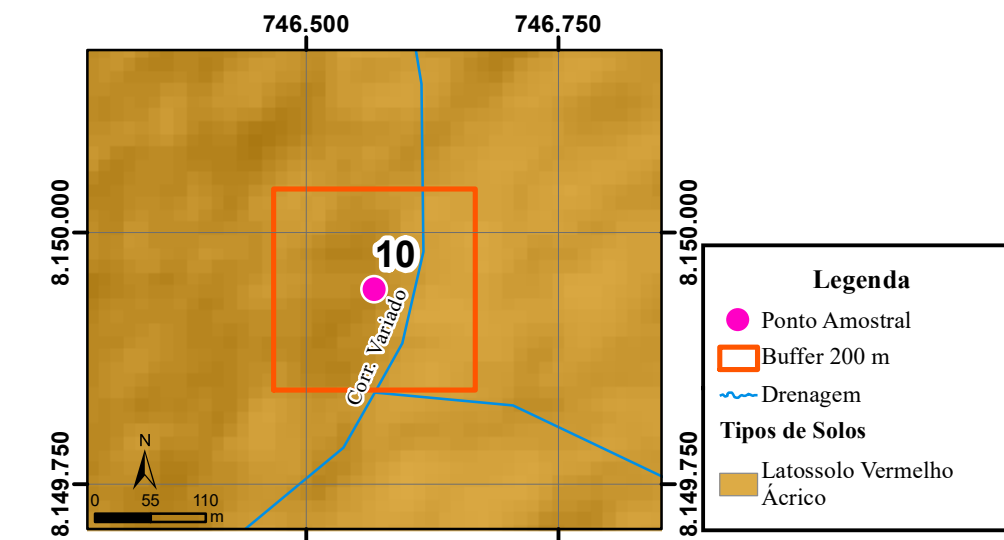
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)

Orientação das Vertentes



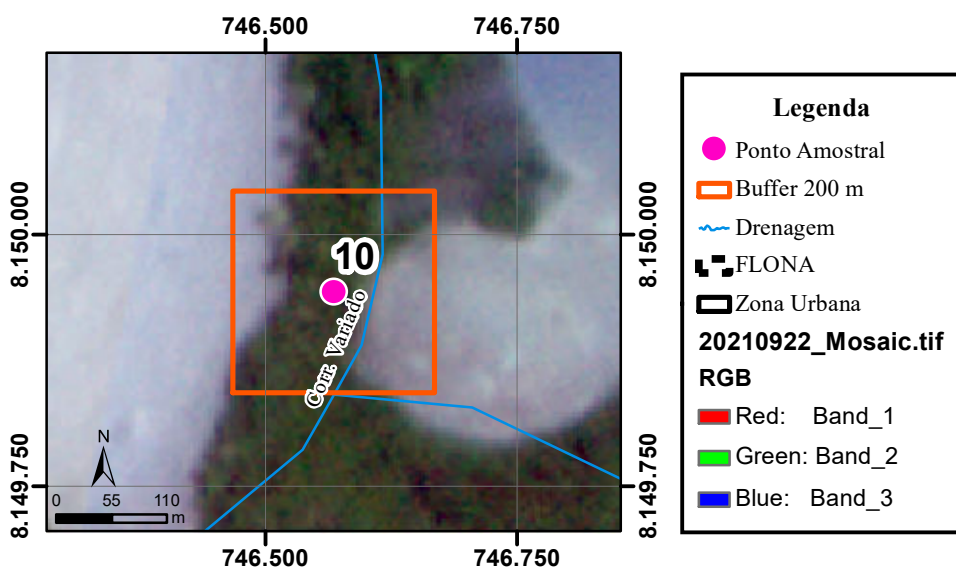
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)

Solos



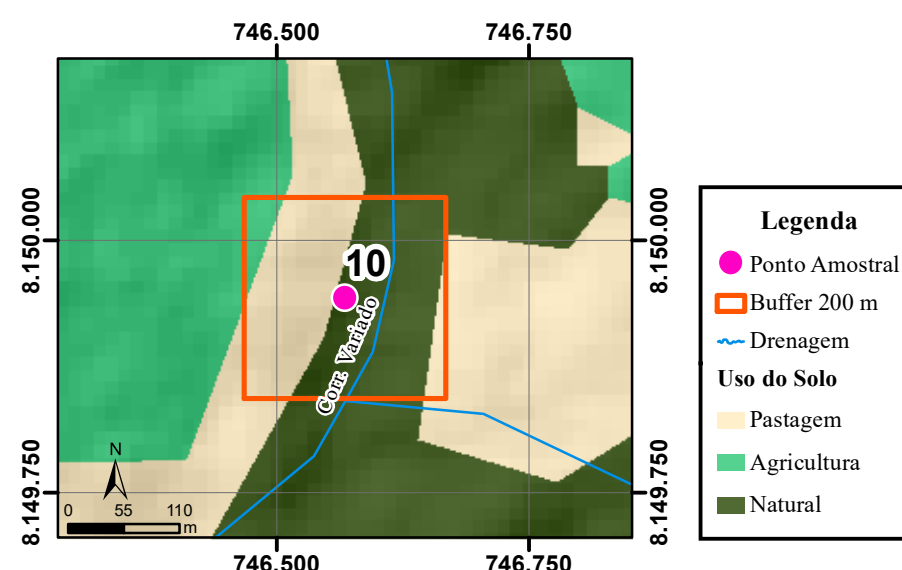
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)

Carta Imagem



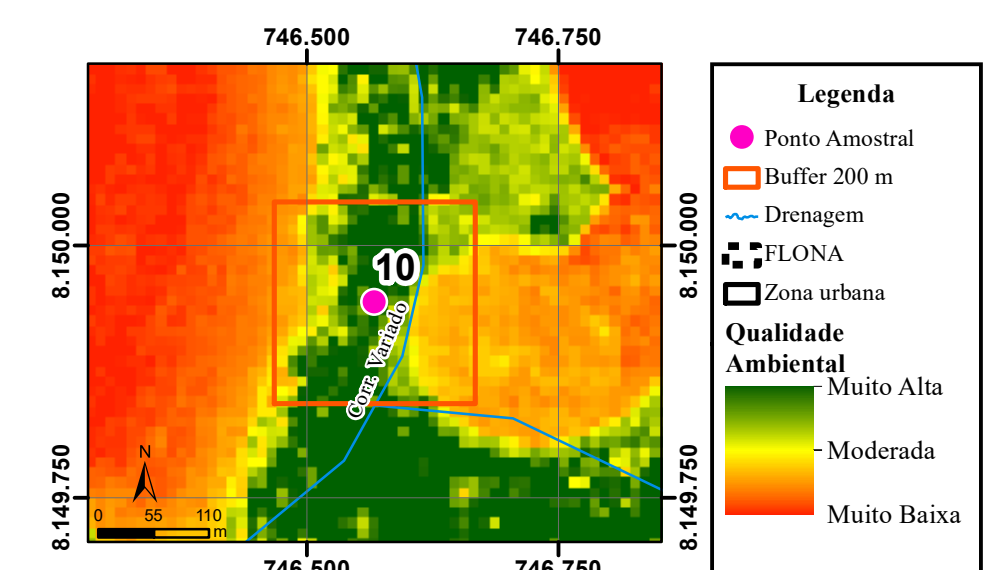
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

Uso do Solo

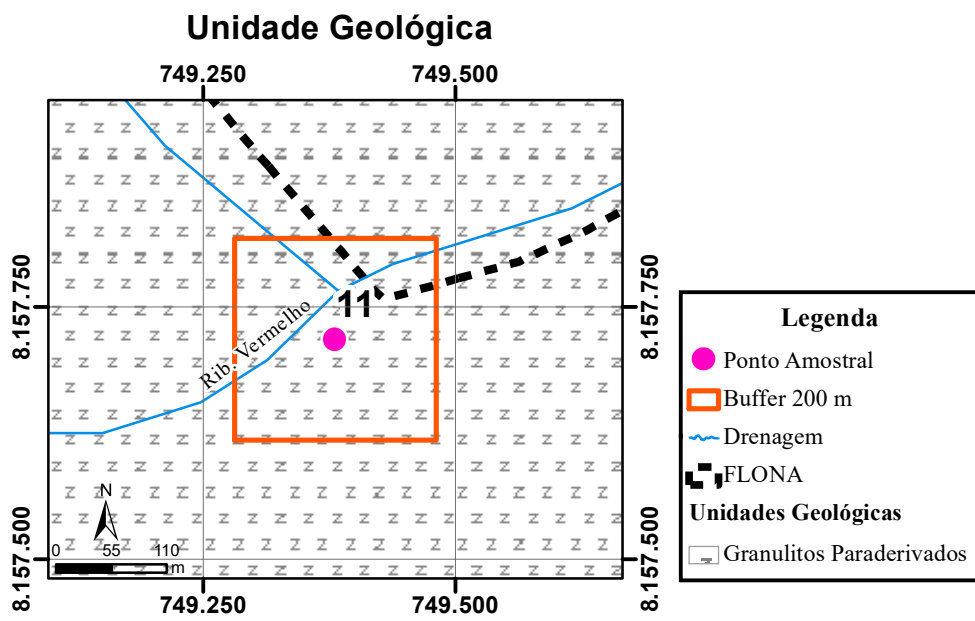


Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)

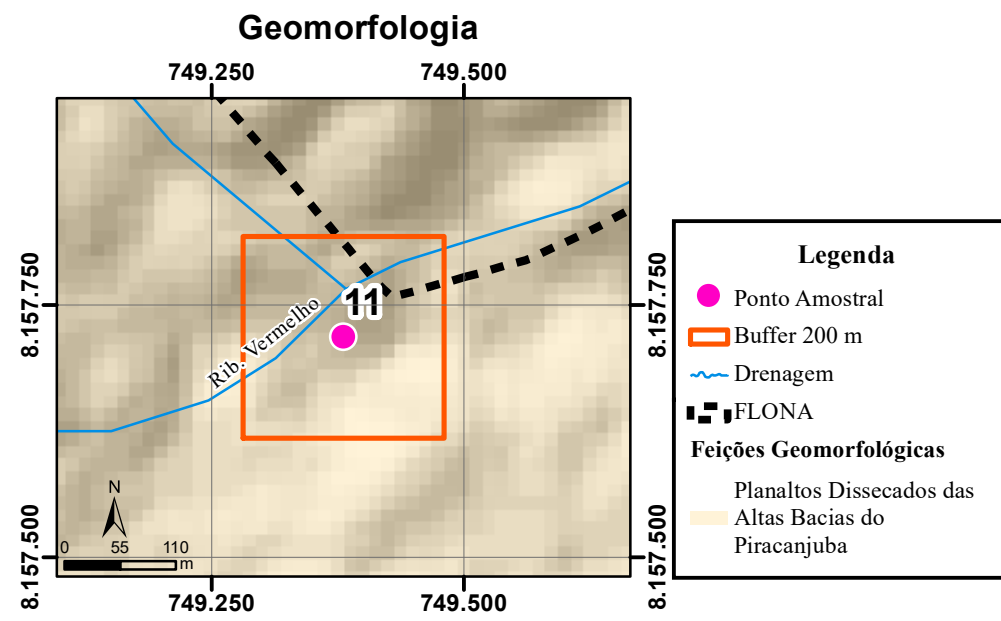
Qualidade Ambiental



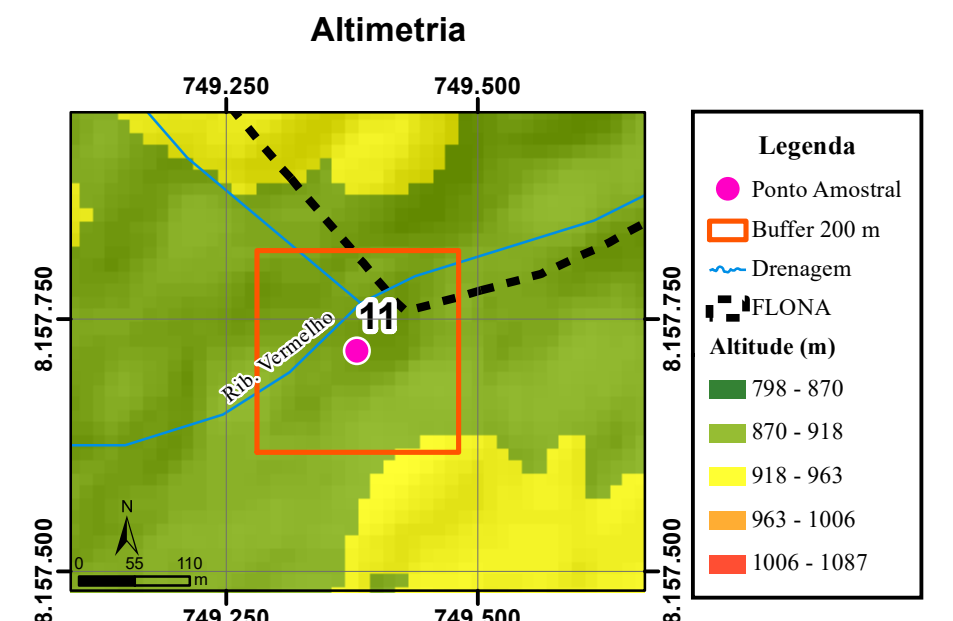
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)



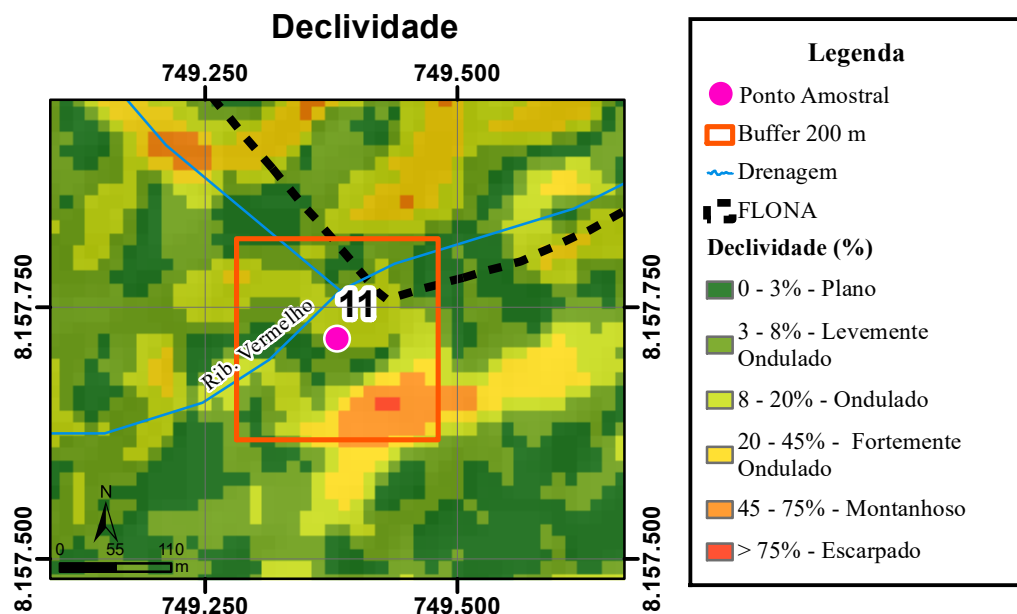
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000
(a)



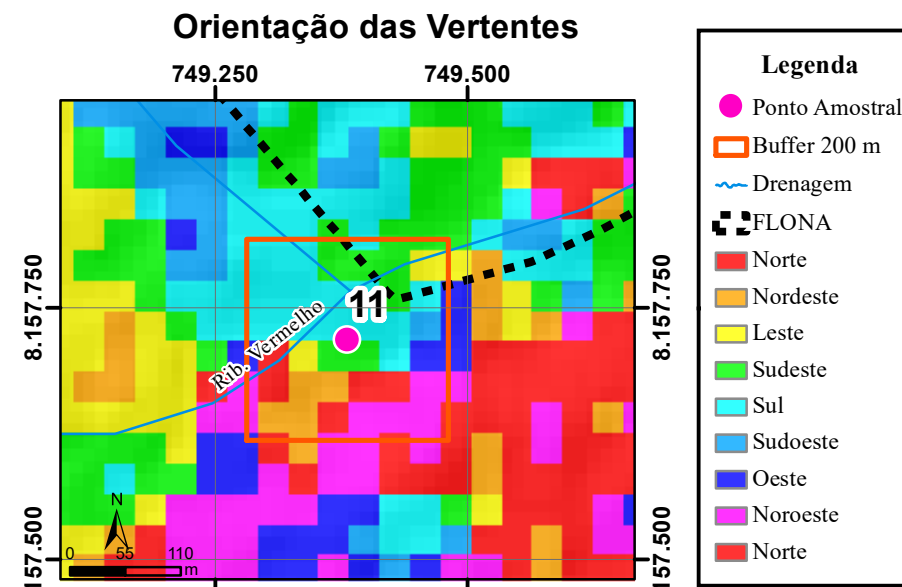
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000
(b)



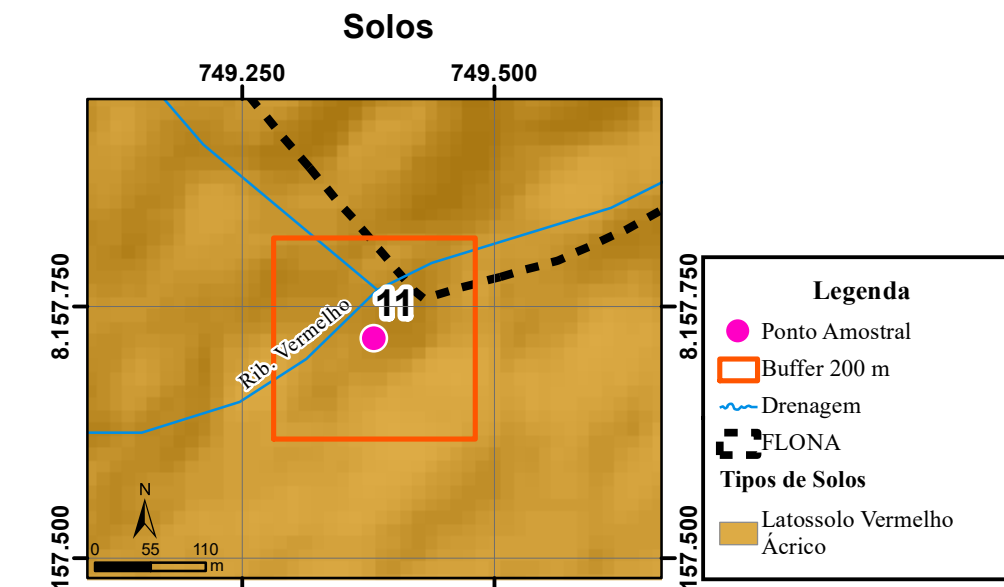
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000
(c)



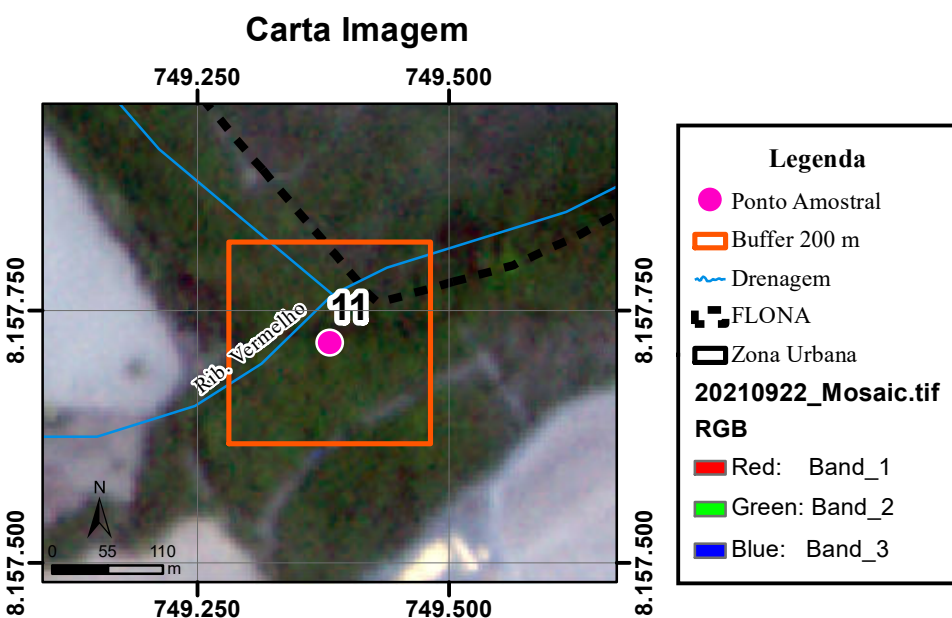
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000
(d)



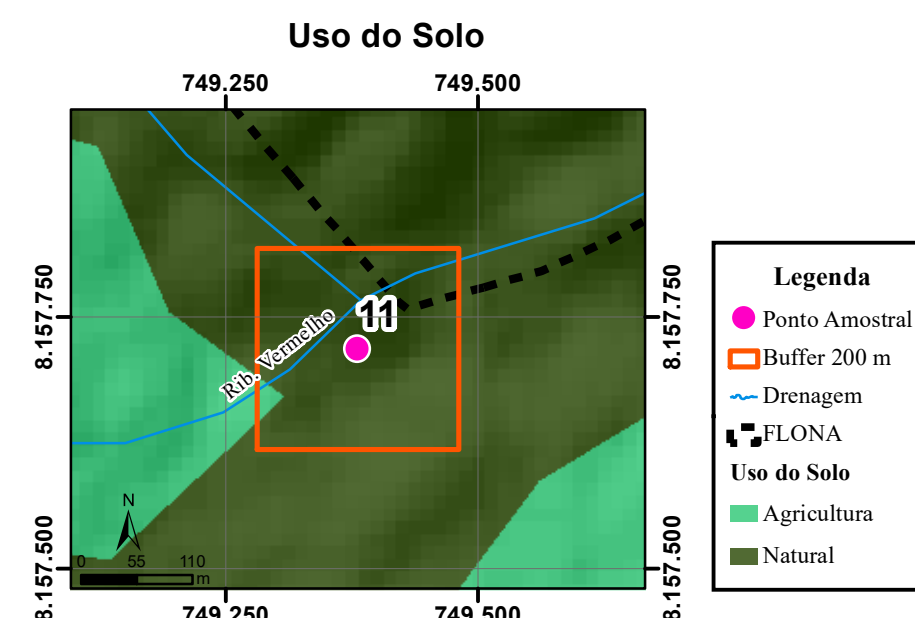
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000
(e)



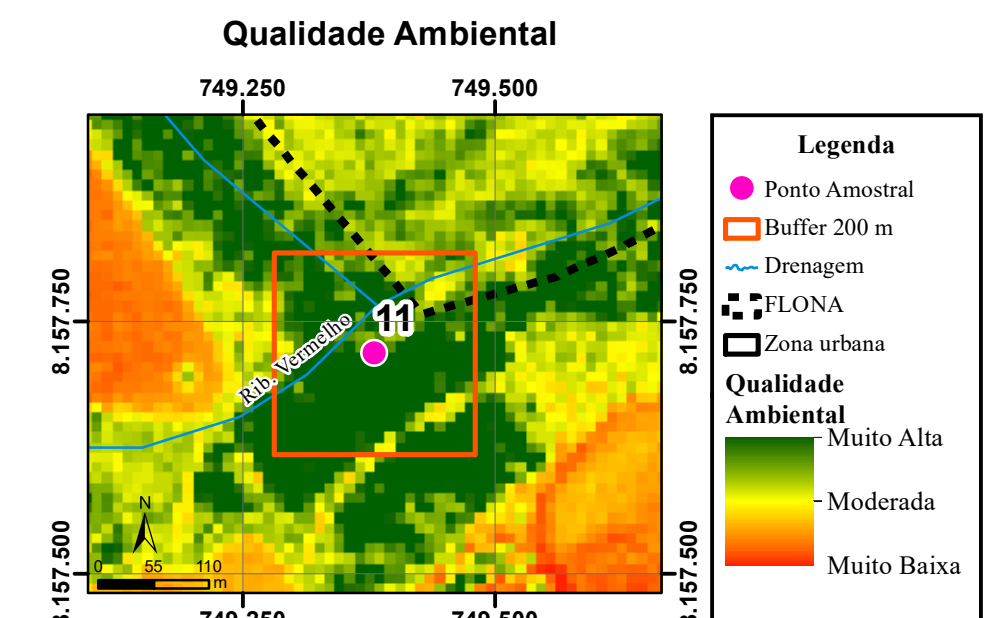
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000
(f)



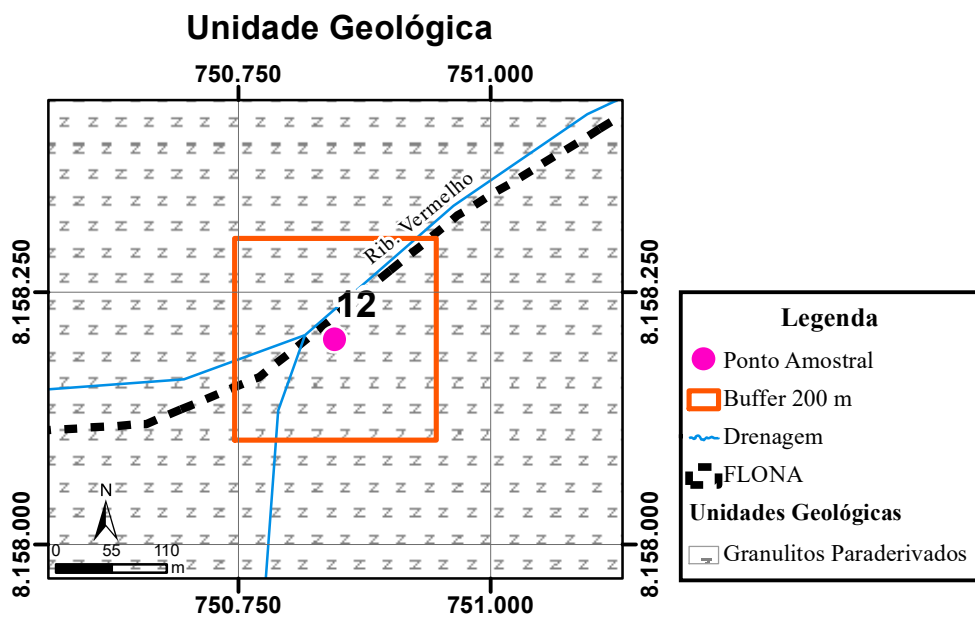
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023).
(g)



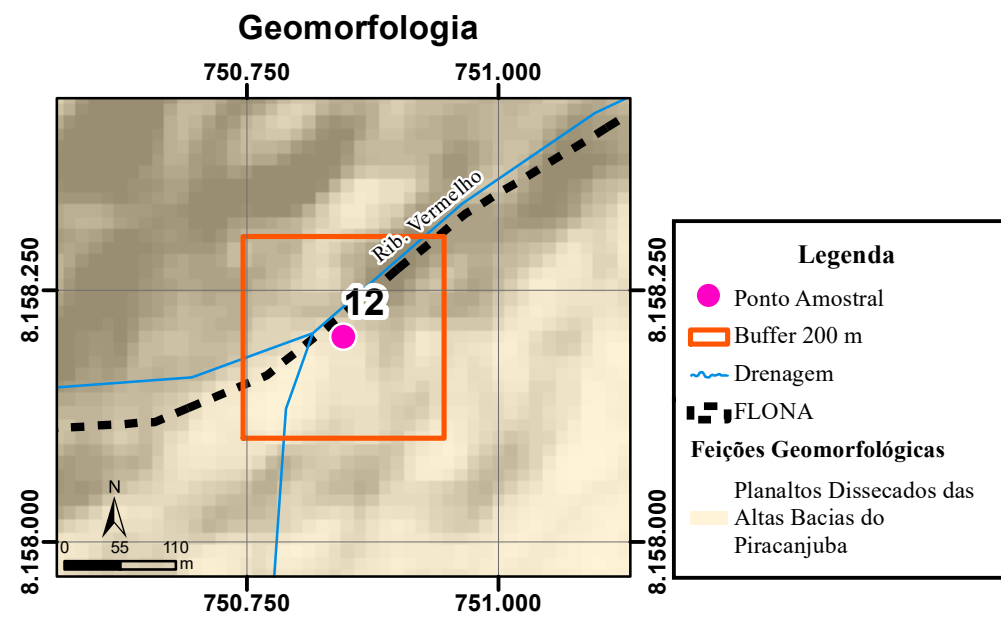
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000
(h)



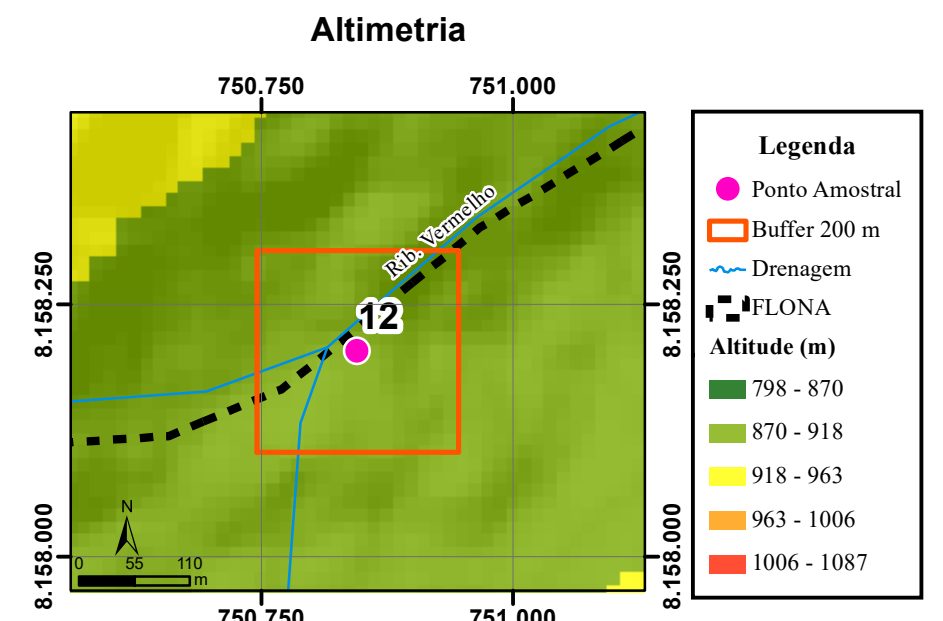
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023)
(i)



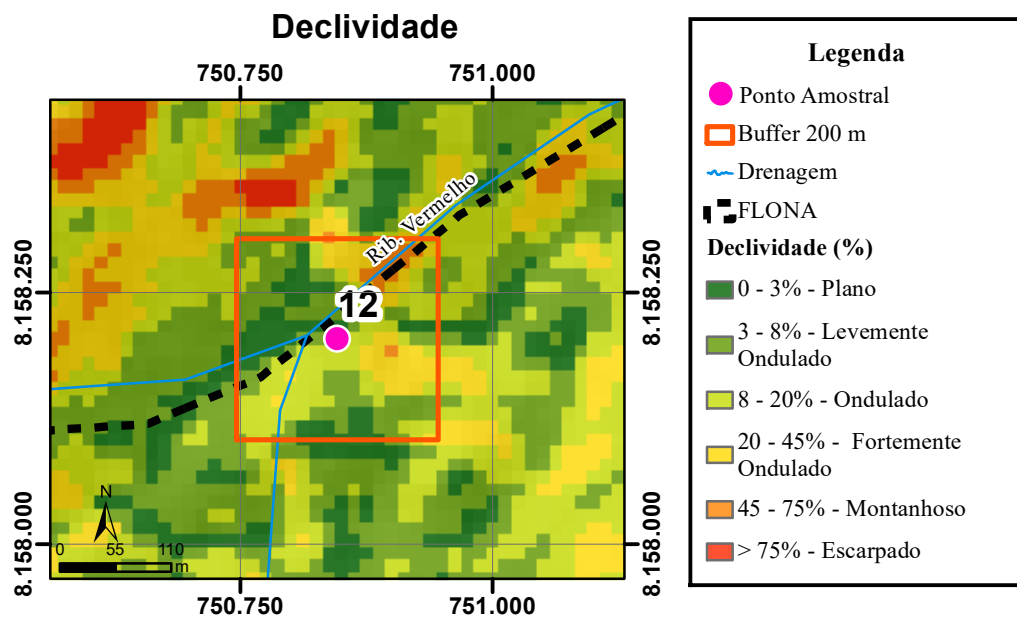
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000
(a)



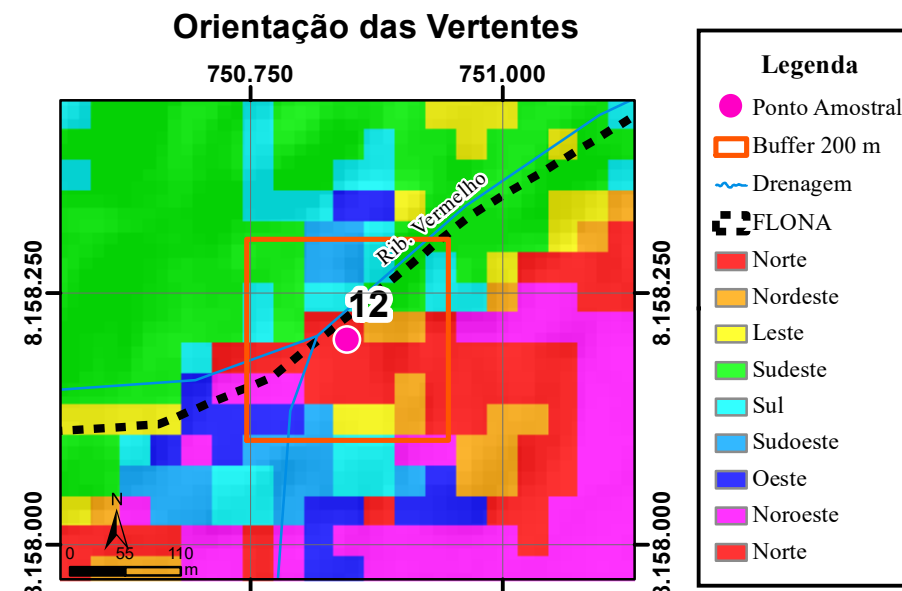
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000
(b)



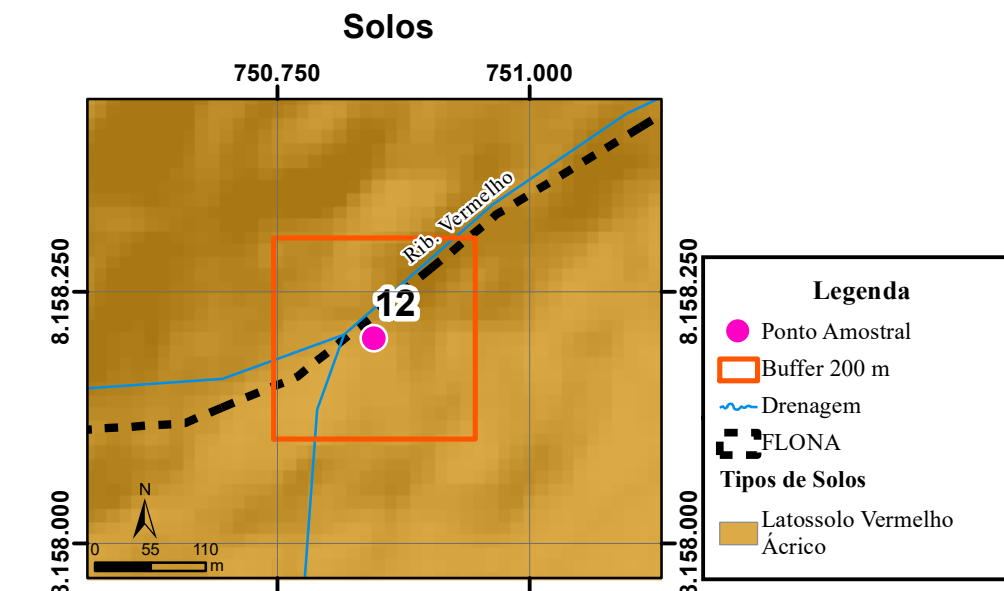
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000
(c)



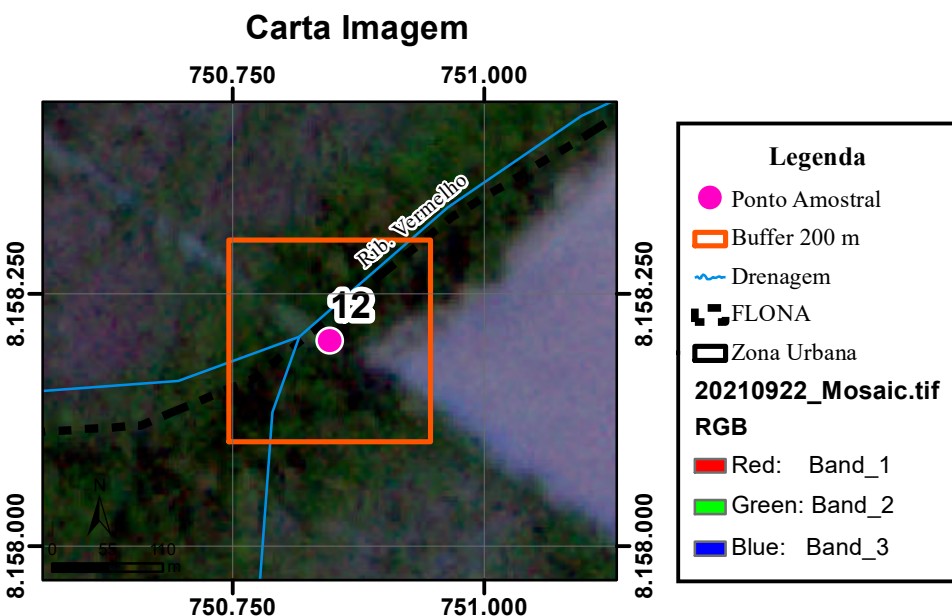
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000
(d)



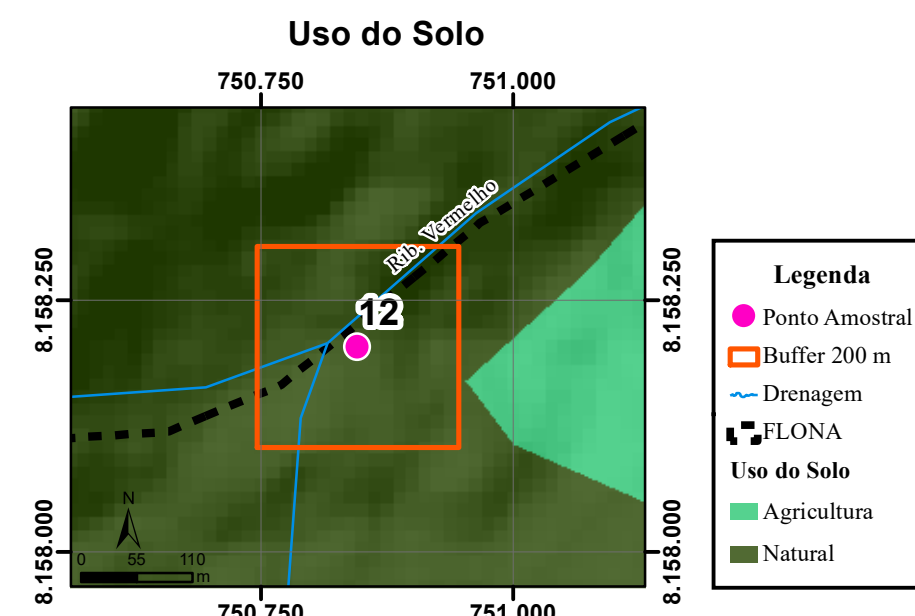
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000
(e)



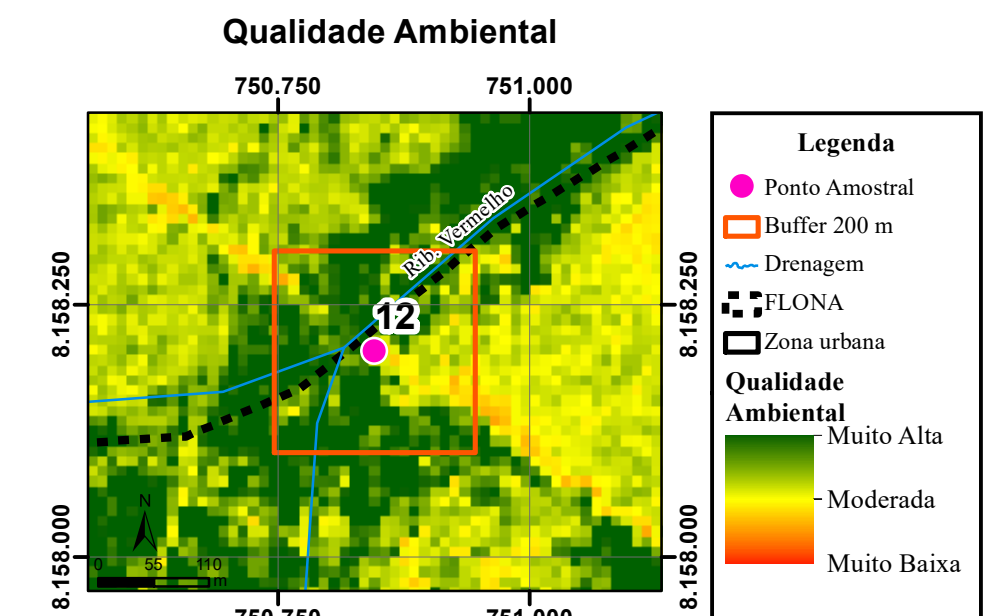
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000
(f)



Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023).
(g)

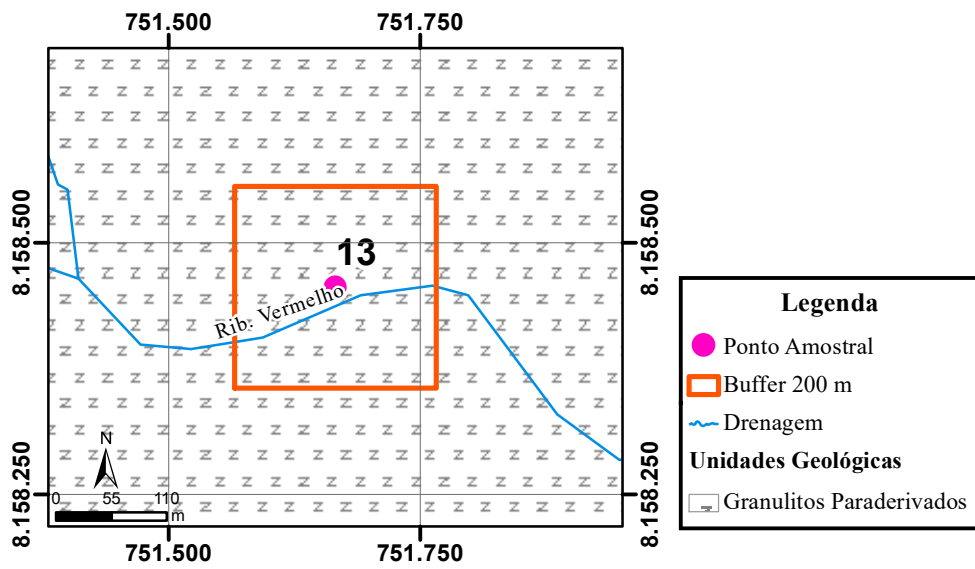


Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000
(h)



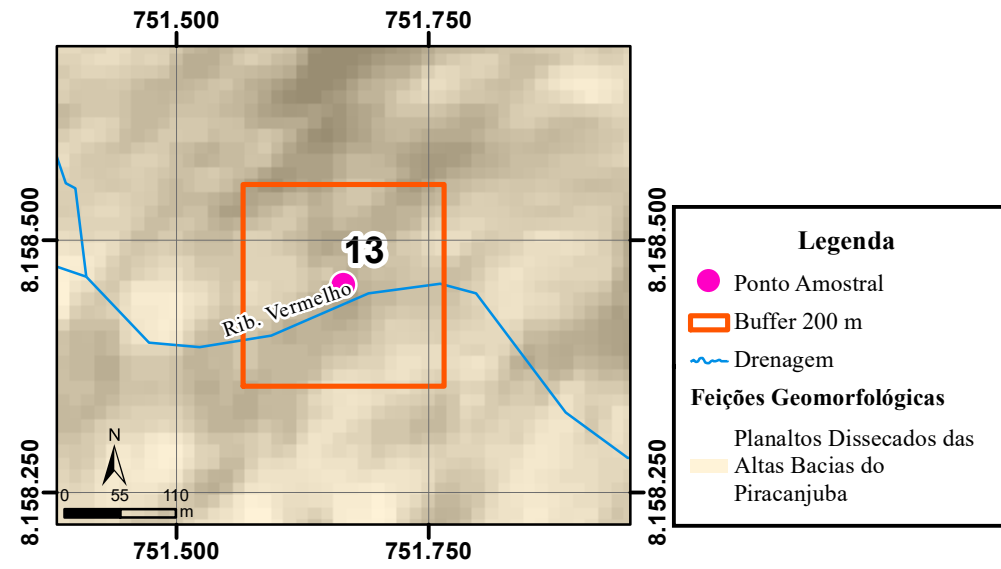
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023)
(i)

Unidade Geológica



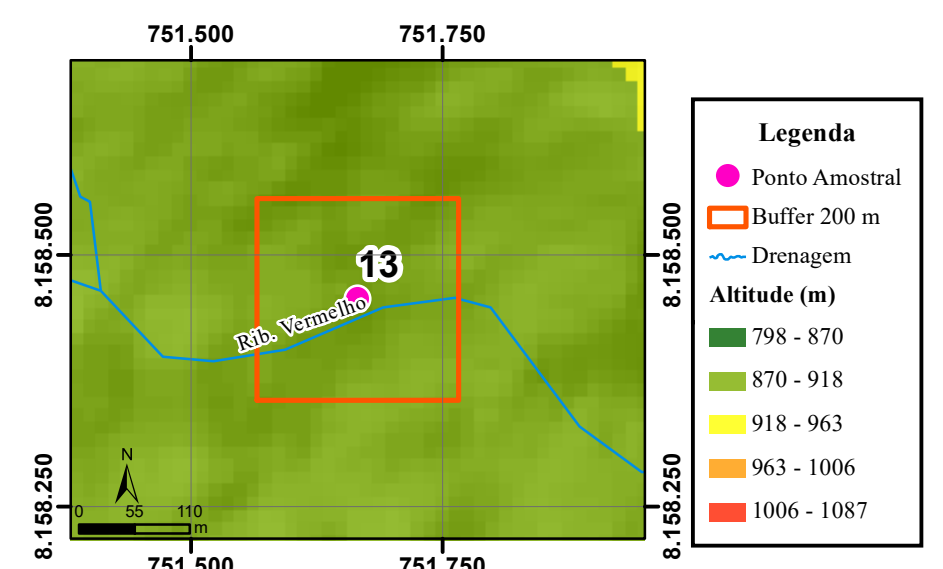
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)

Geomorfologia



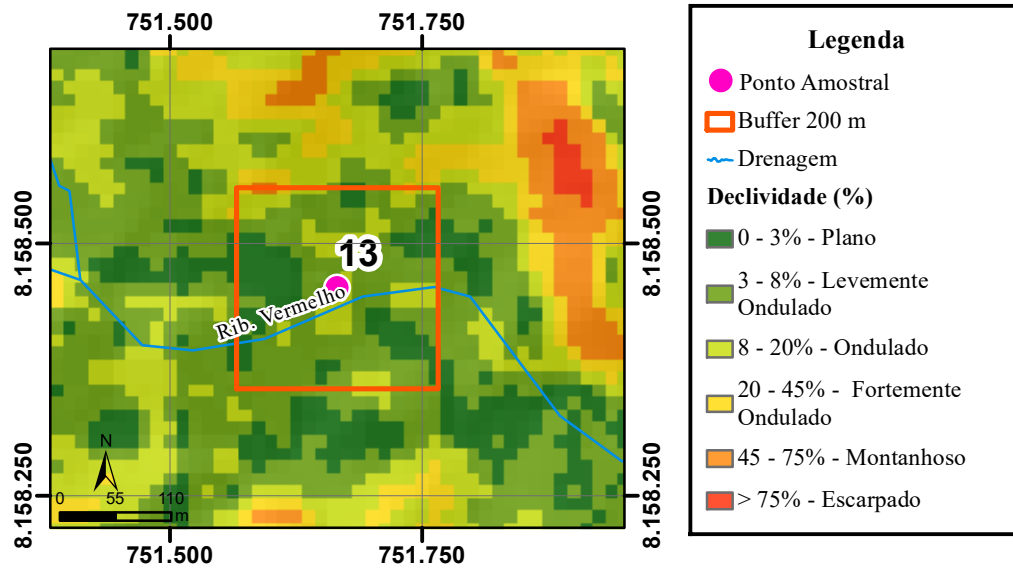
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)

Altimetria



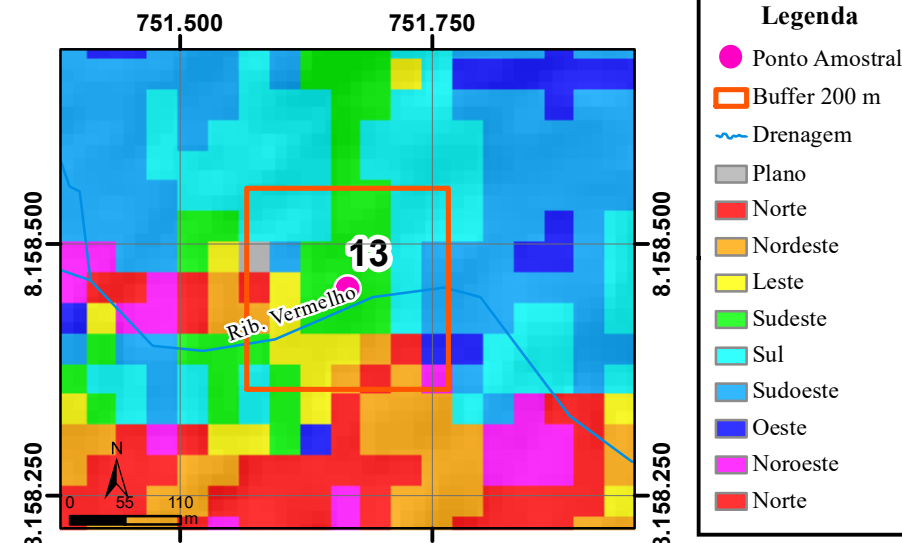
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)

Declividade



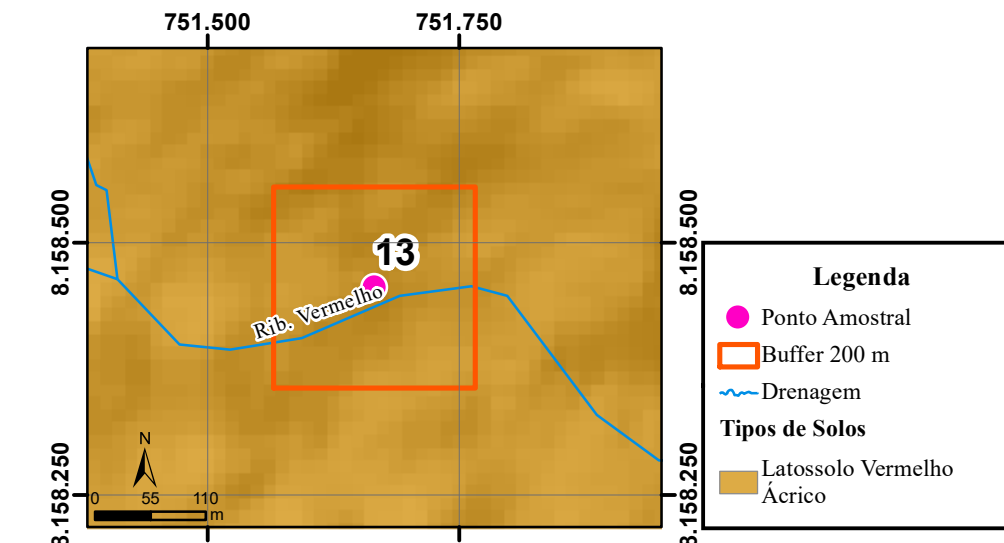
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)

Orientação das Vertentes



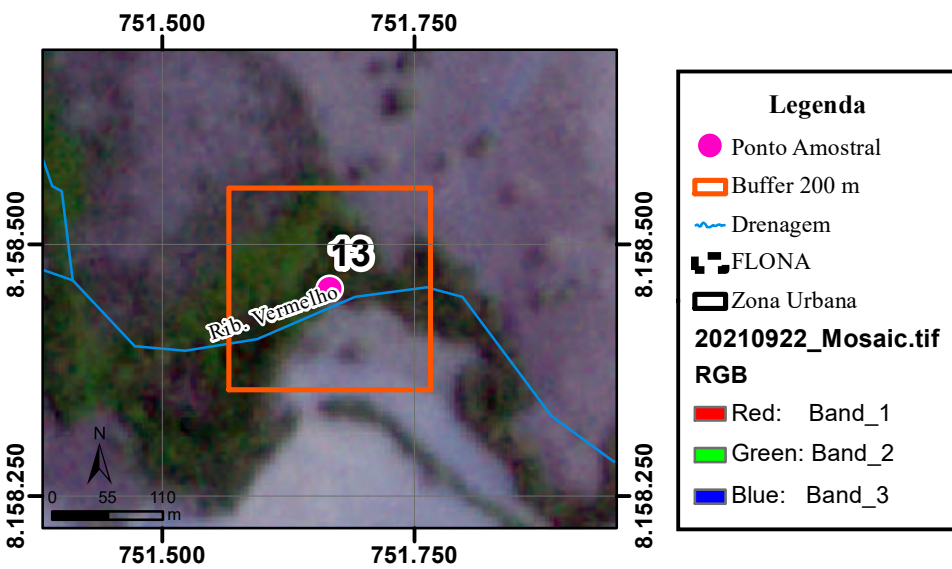
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)

Solos



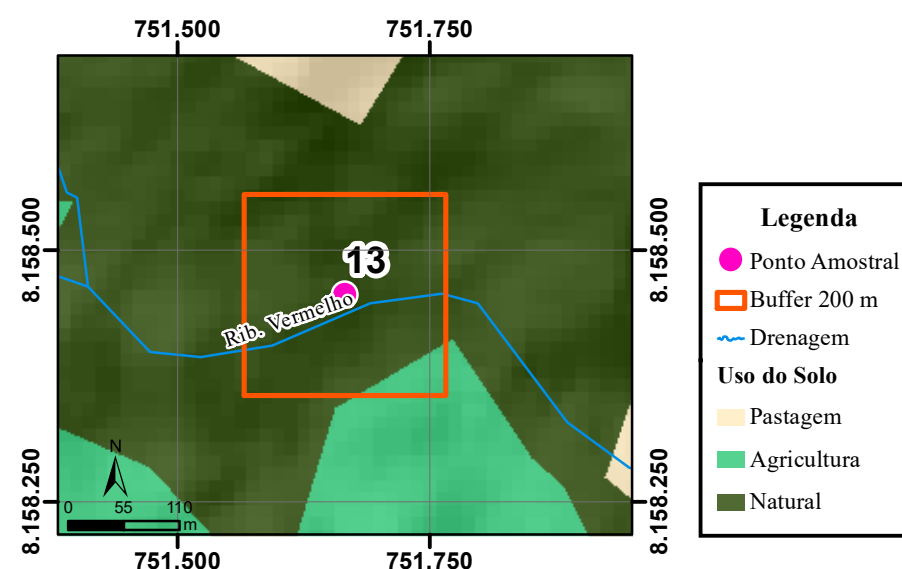
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)

Carta Imagem



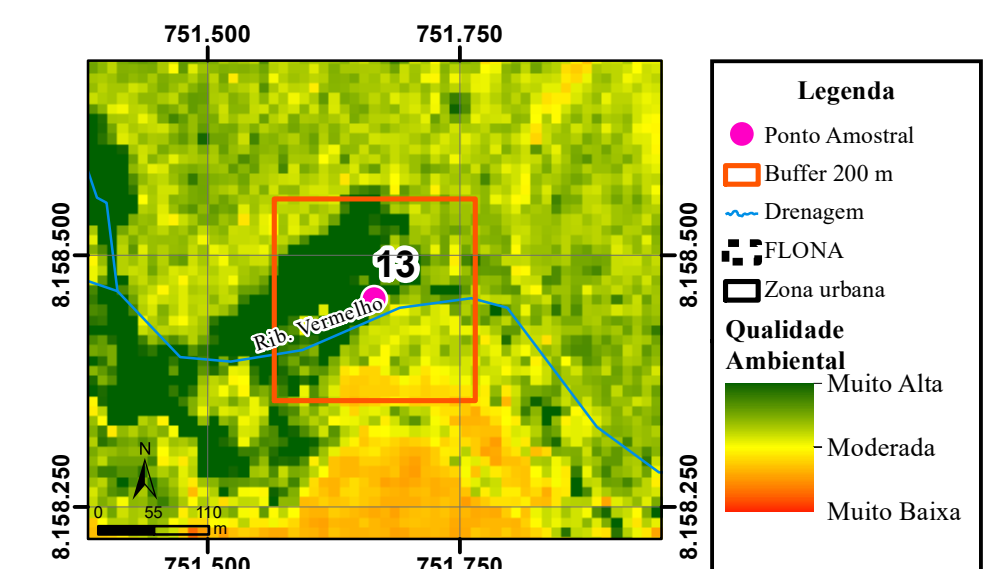
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

Uso do Solo

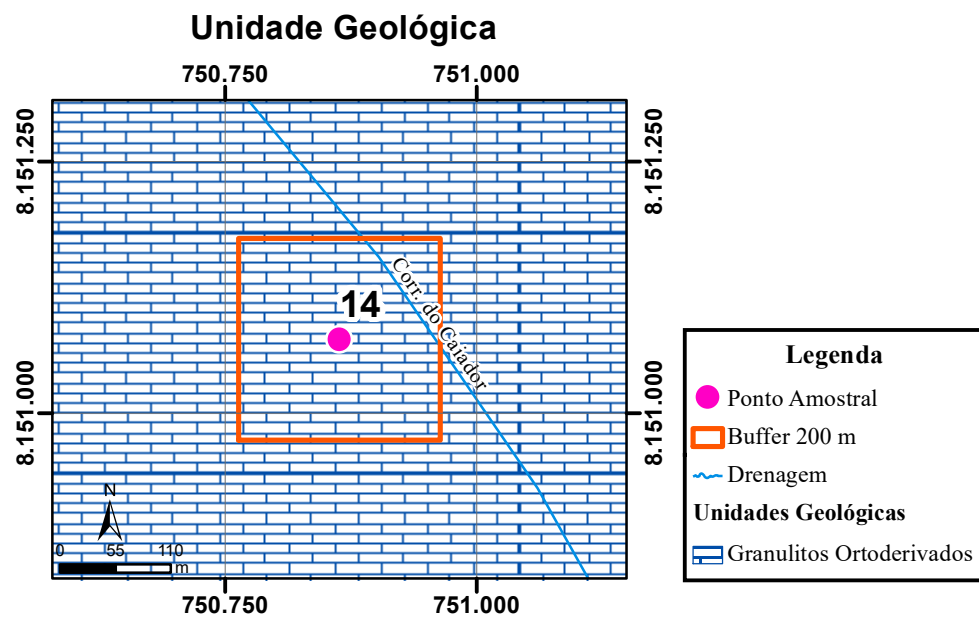


Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)

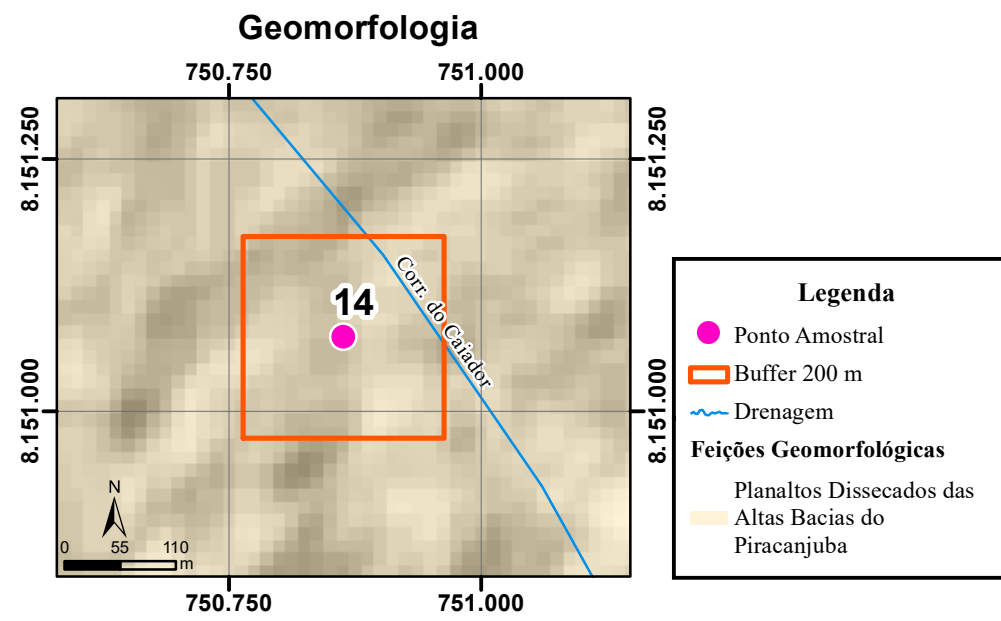
Qualidade Ambiental



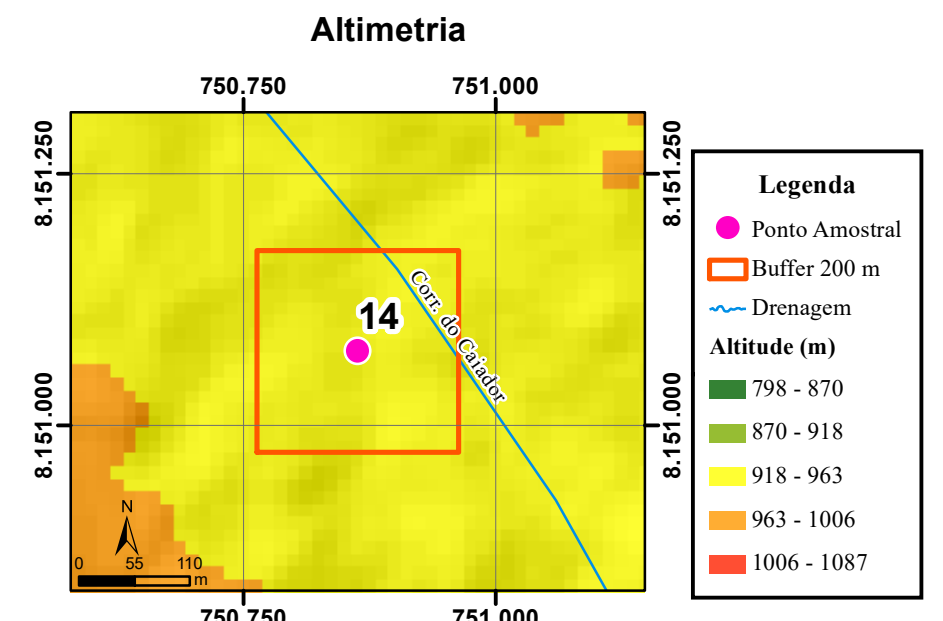
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)



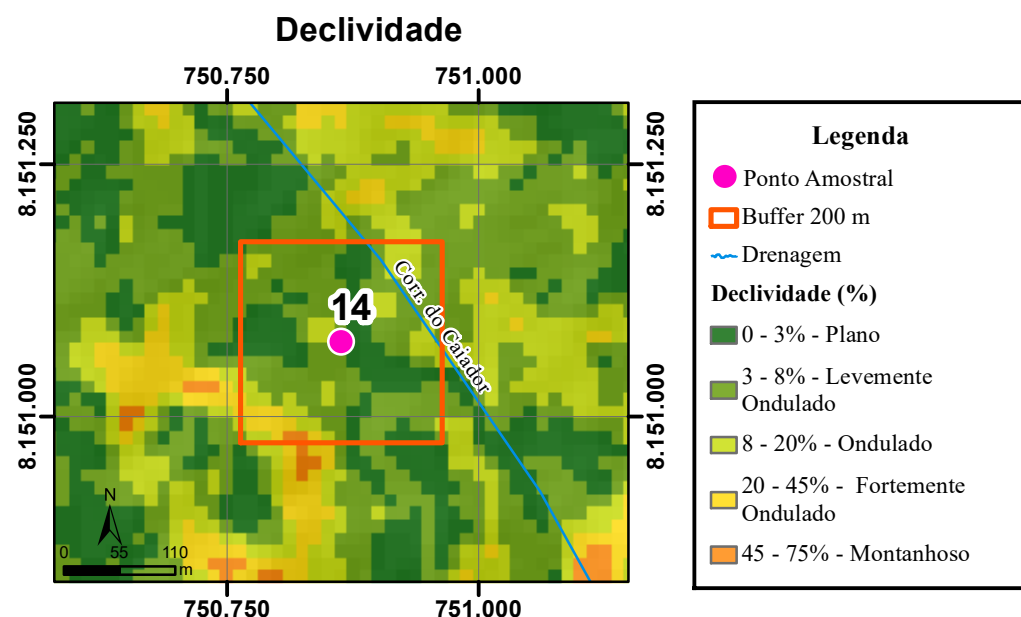
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)



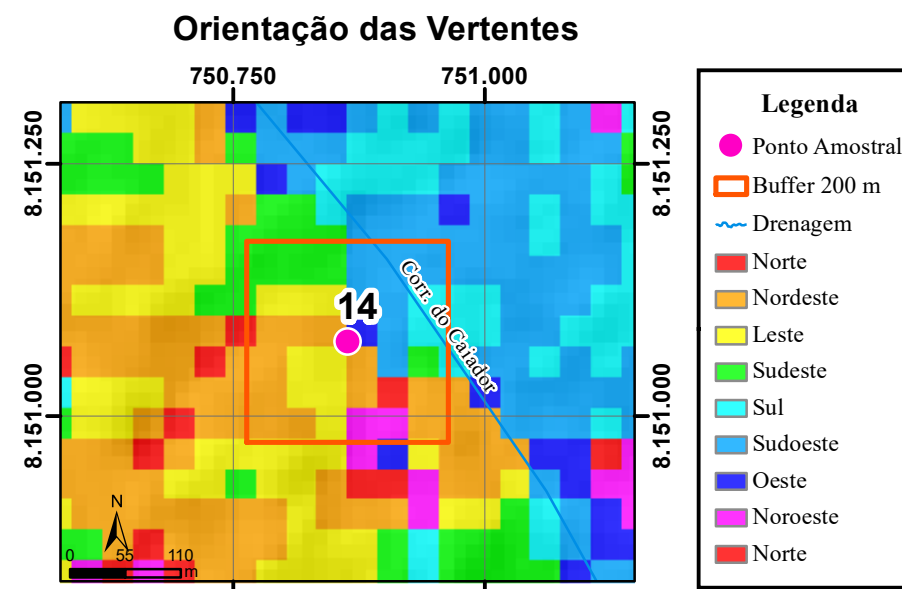
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)



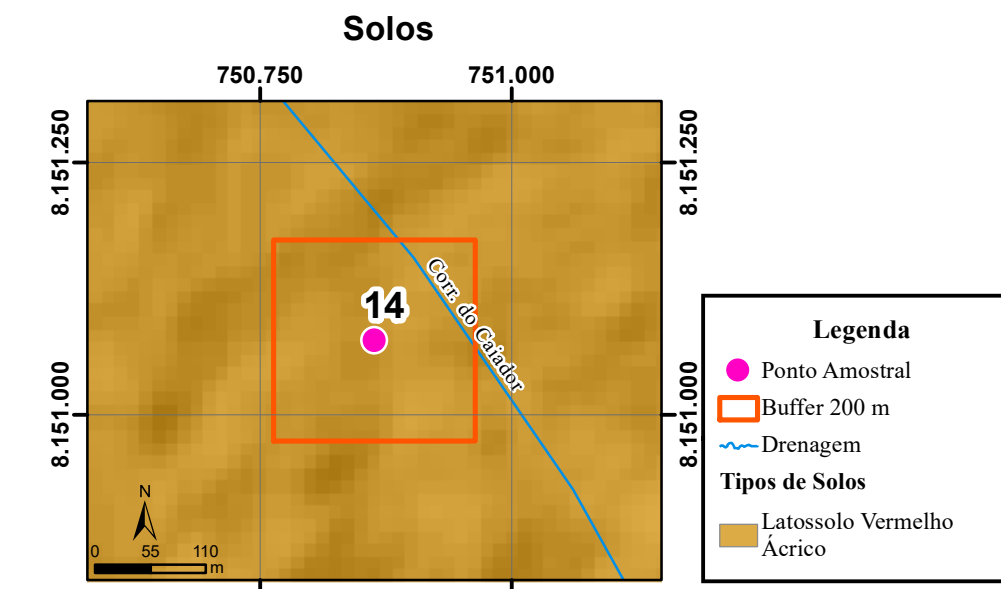
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)



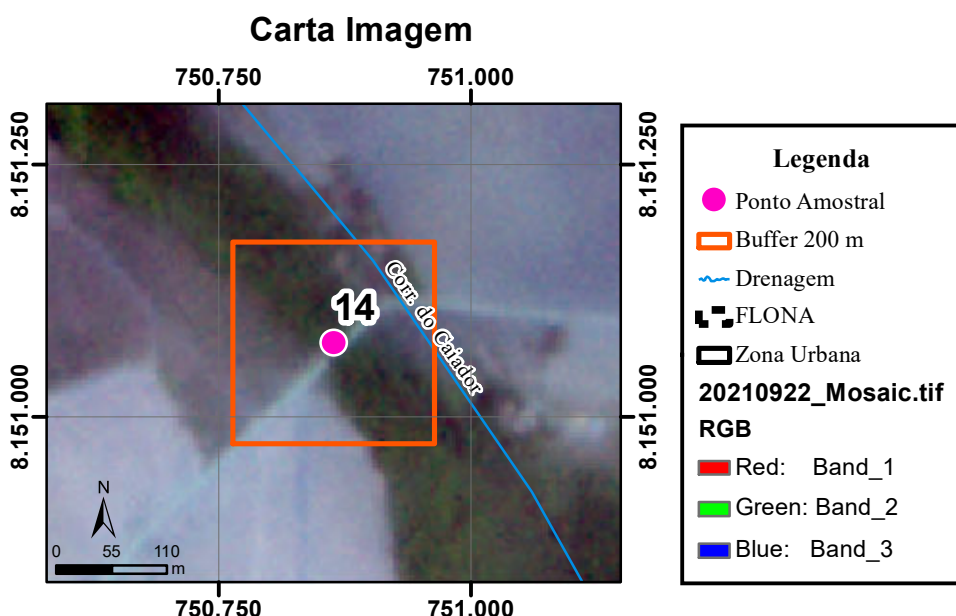
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)



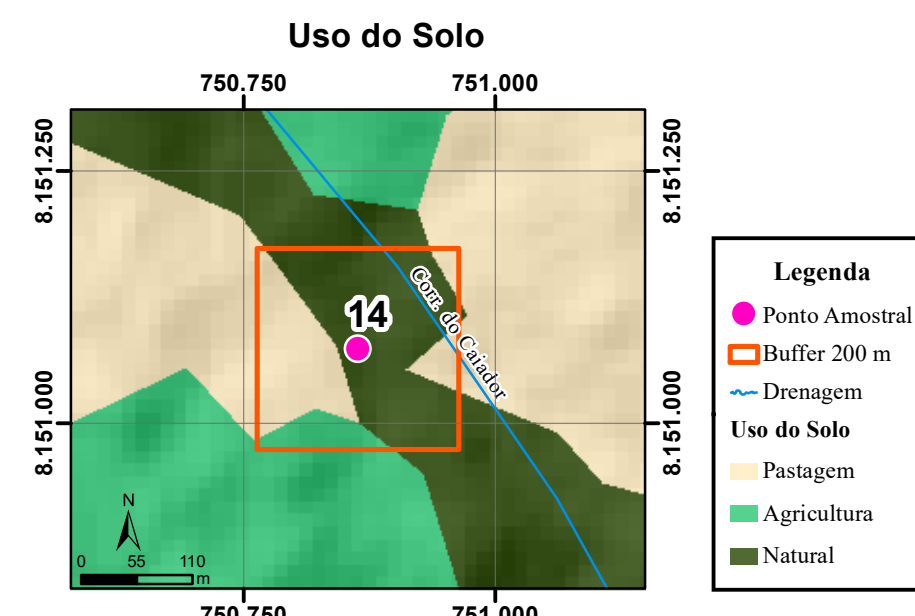
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)



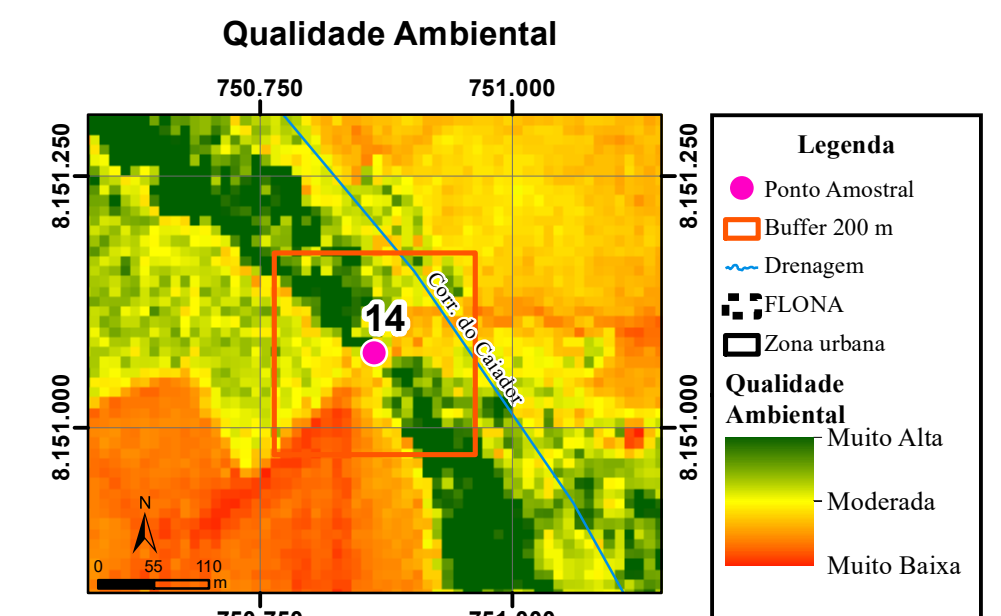
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)



Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

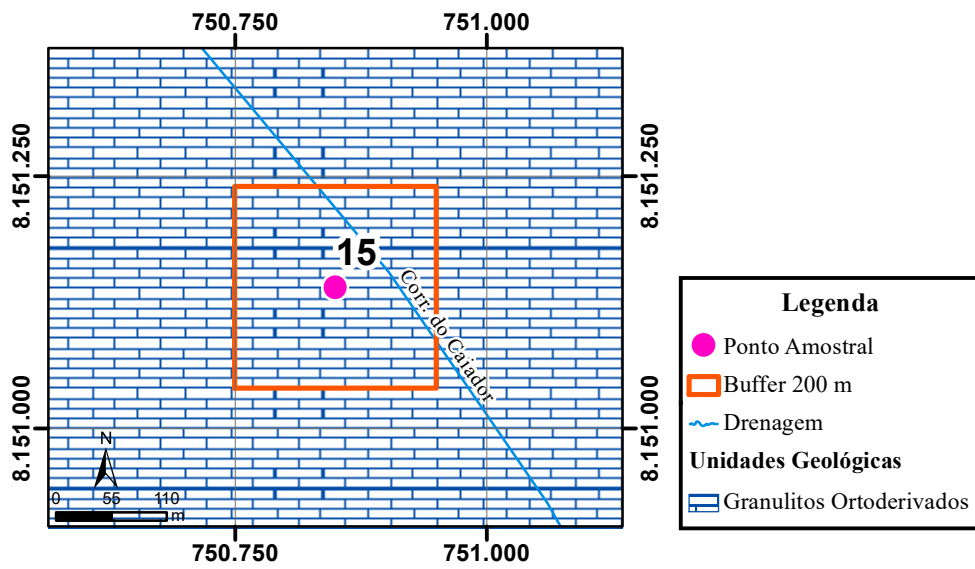


Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)



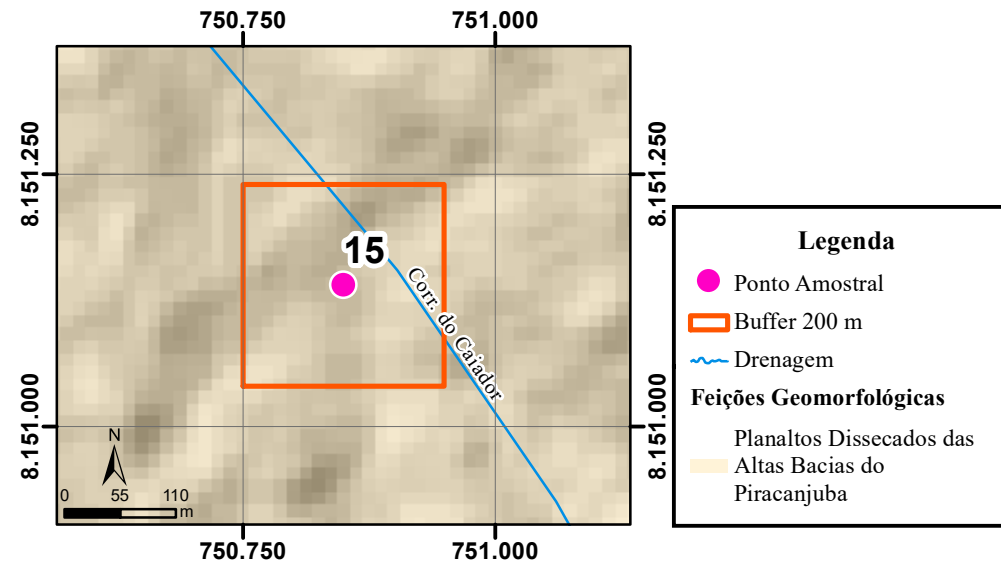
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)

Unidade Geológica



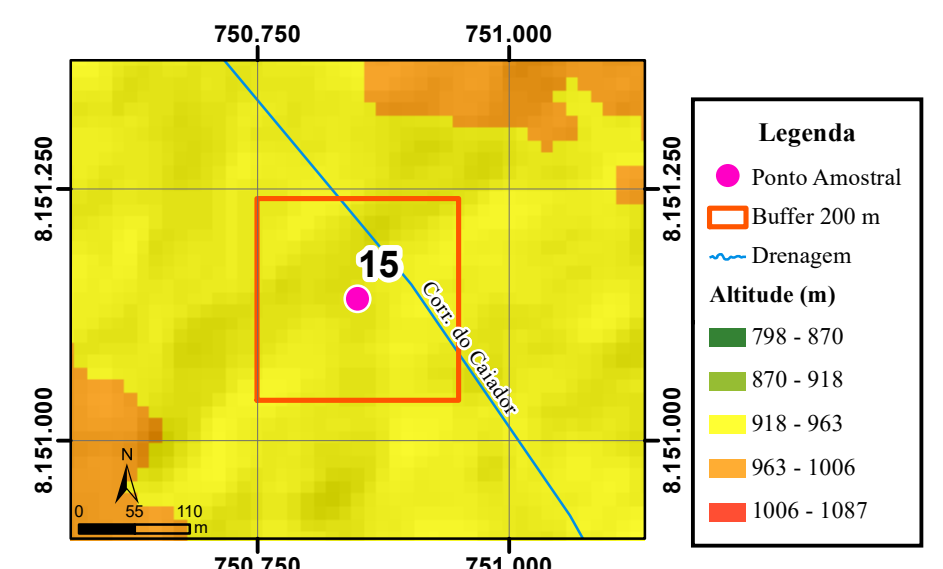
Fonte: Carta Leopoldo De Bulhões (SE.22X-B-V) (OLIVEIRA, 1994). Escala Original: 1:100.000 (a)

Geomorfologia



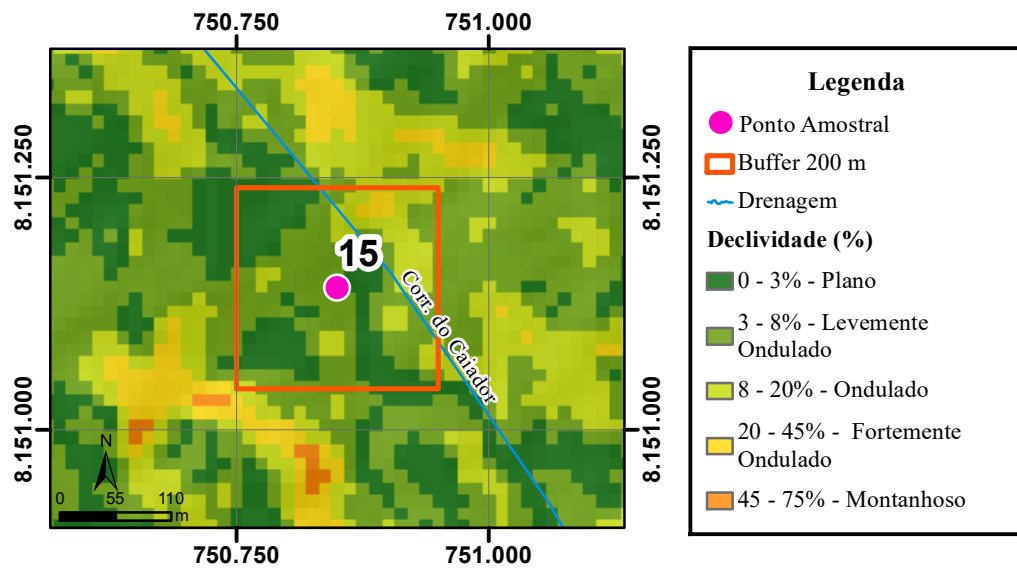
Fonte: Radam Folha SD.22 Goiás. (MAMEDE et al., 1983) Escala Original: 1:1.000.000 (b)

Altimetria



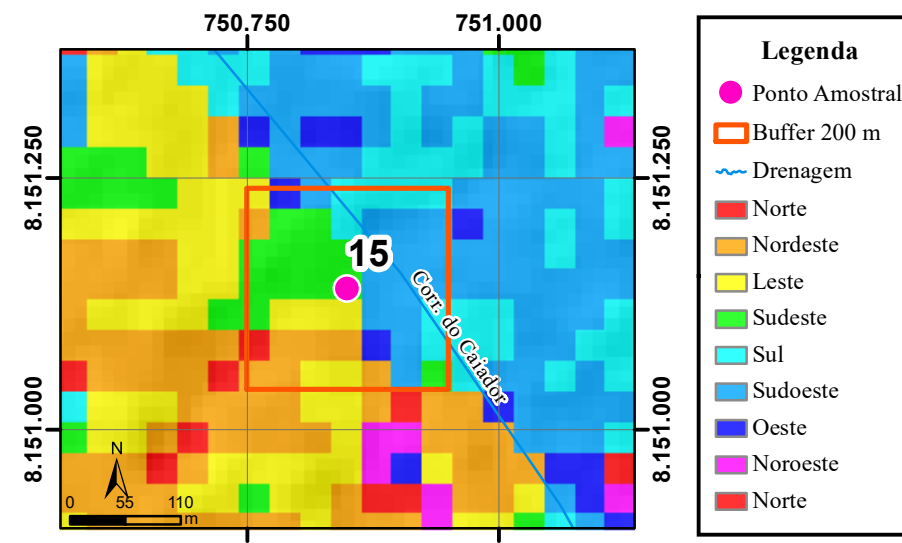
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (c)

Declividade



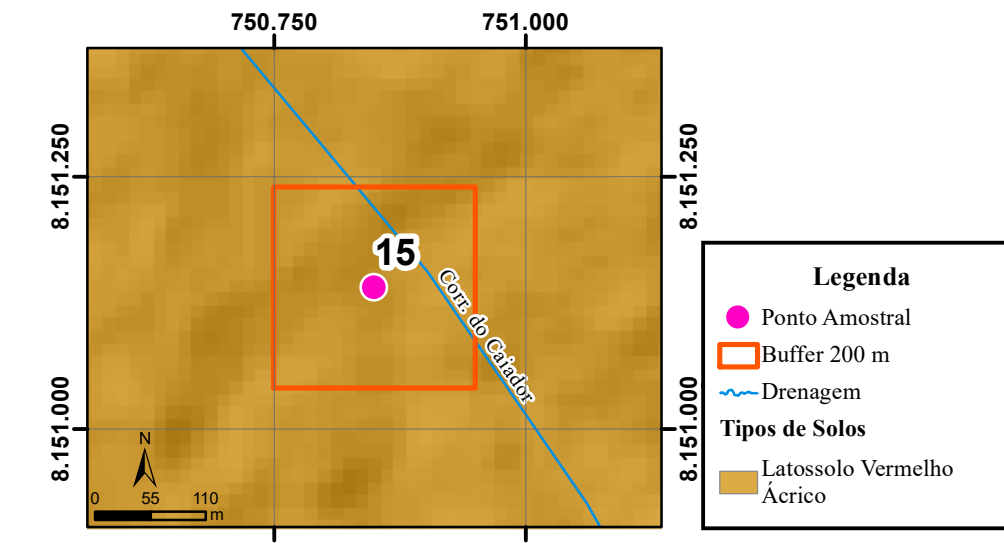
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (ARRUDA NETO, 2018). Escala Original: 1:50.000 (d)

Orientação das Vertentes



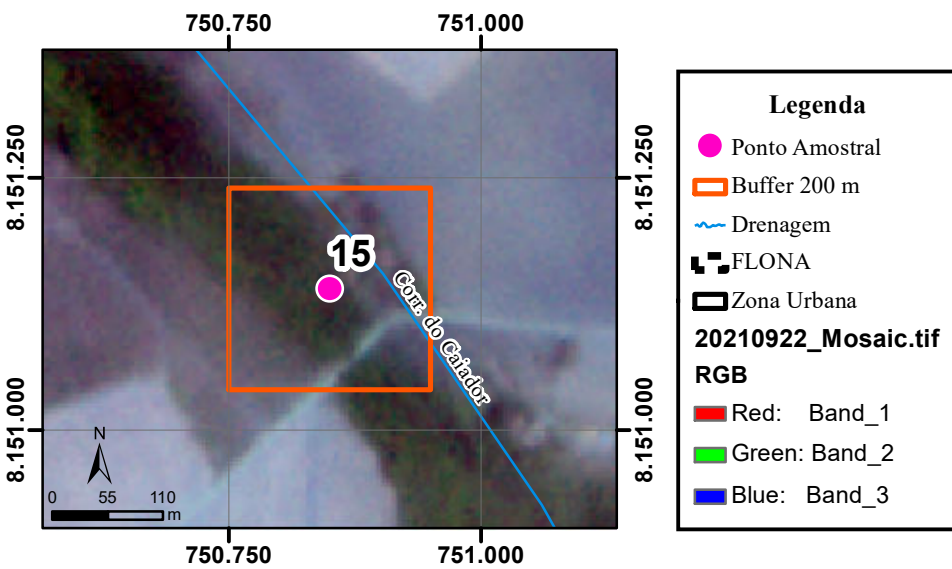
Fonte: NASA. ALOS-Palsar. (LEITE, 2018). Escala Original: 1:50.000 (e)

Solos



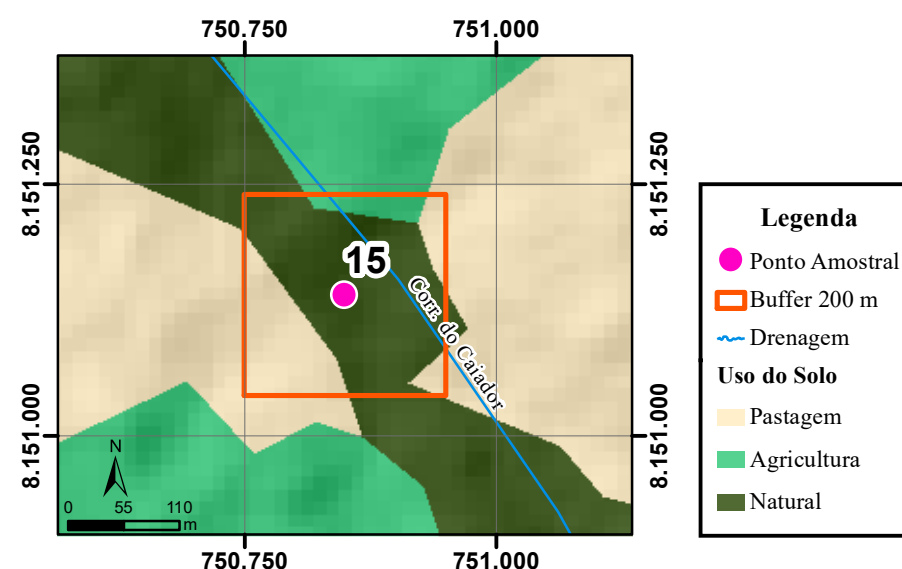
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (f)

Carta Imagem



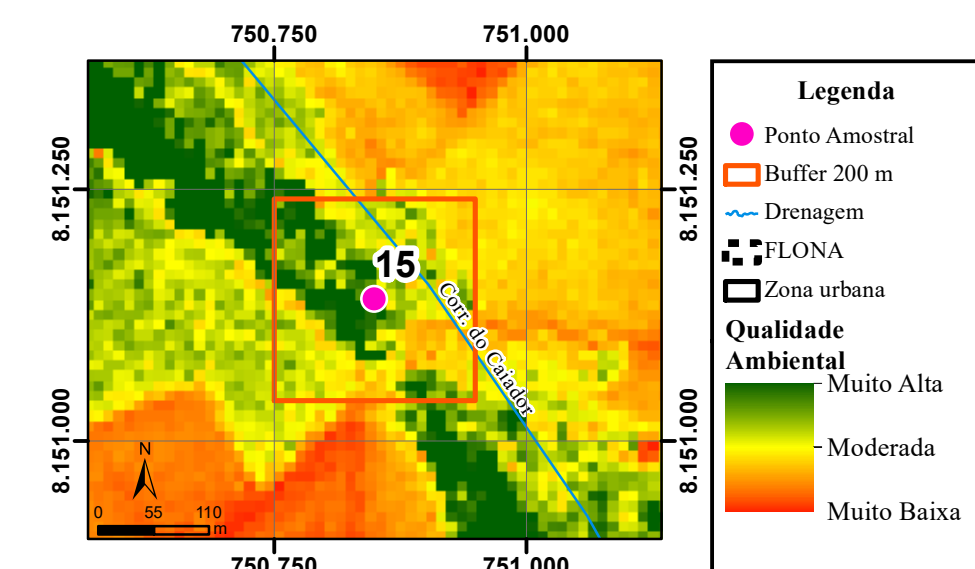
Fonte: Planet Labs.PlanetScope Data: 22/09/2021. (PASSOS, 2023). (g)

Uso do Solo



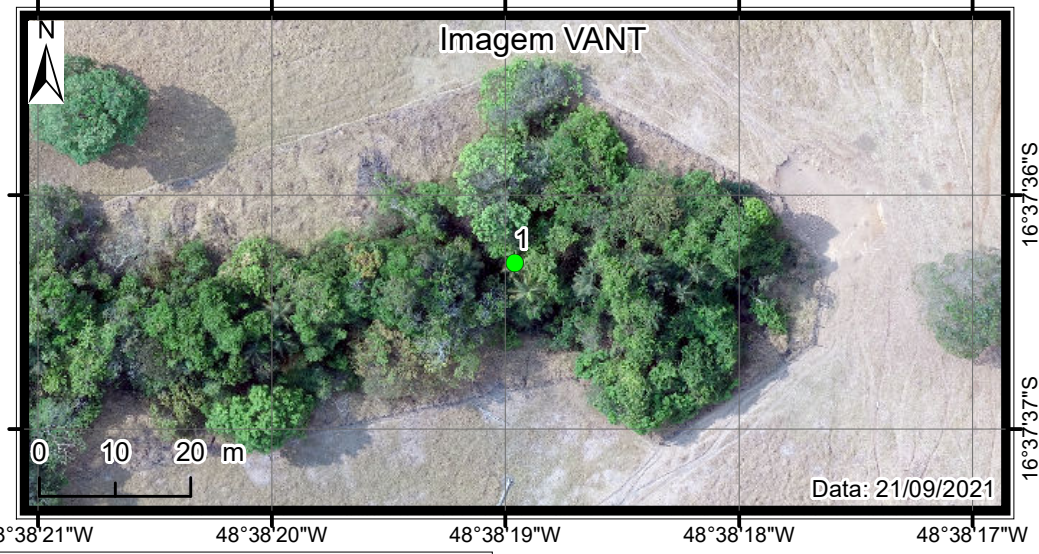
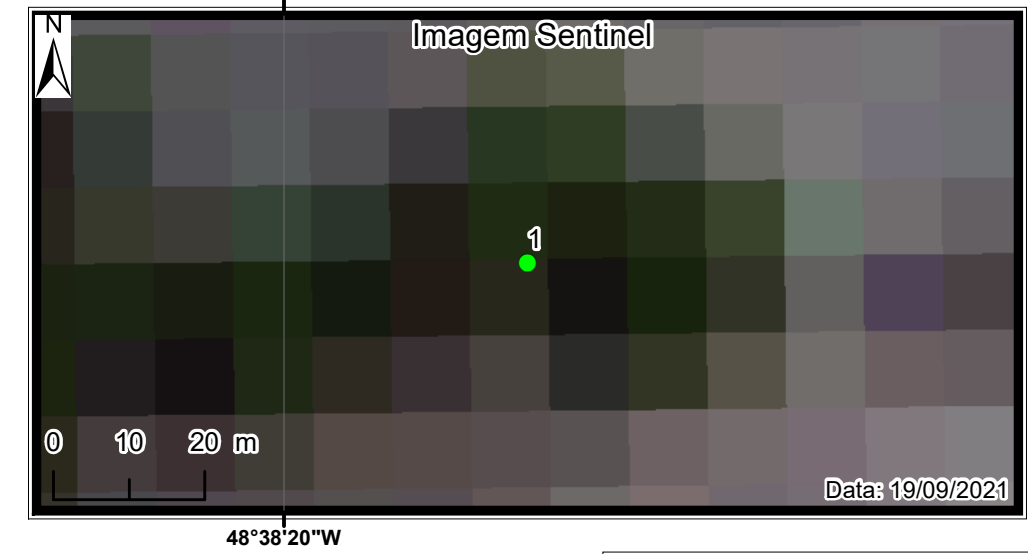
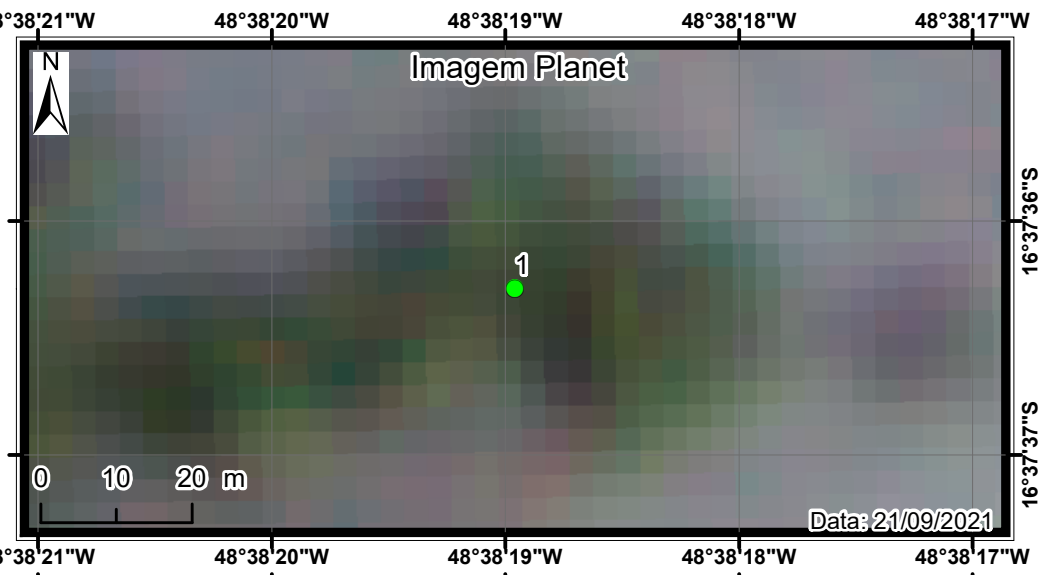
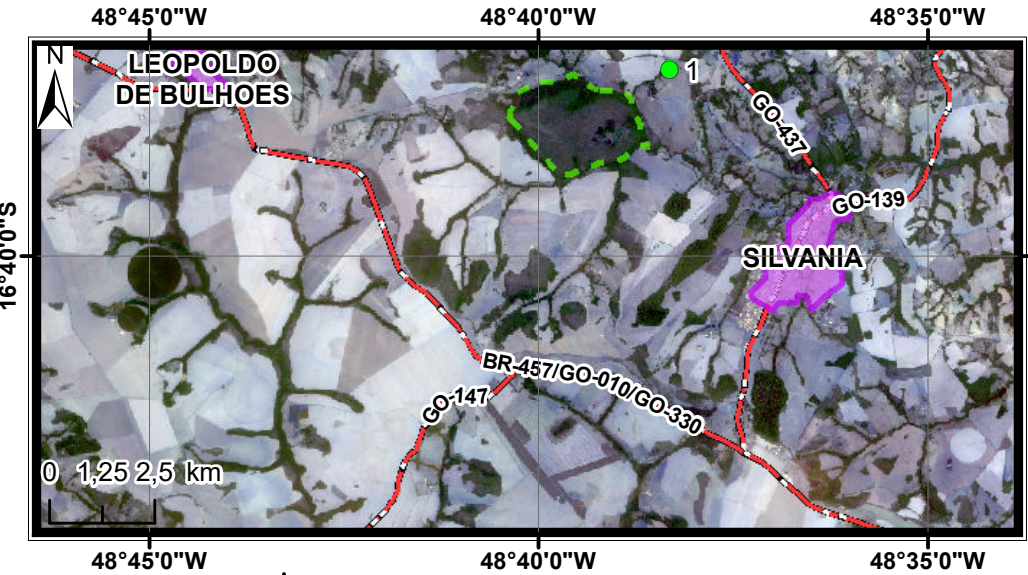
Fonte: EMATER. (NOVAES et al., 2017) Escala Original: 1:250.000 (h)

Qualidade Ambiental



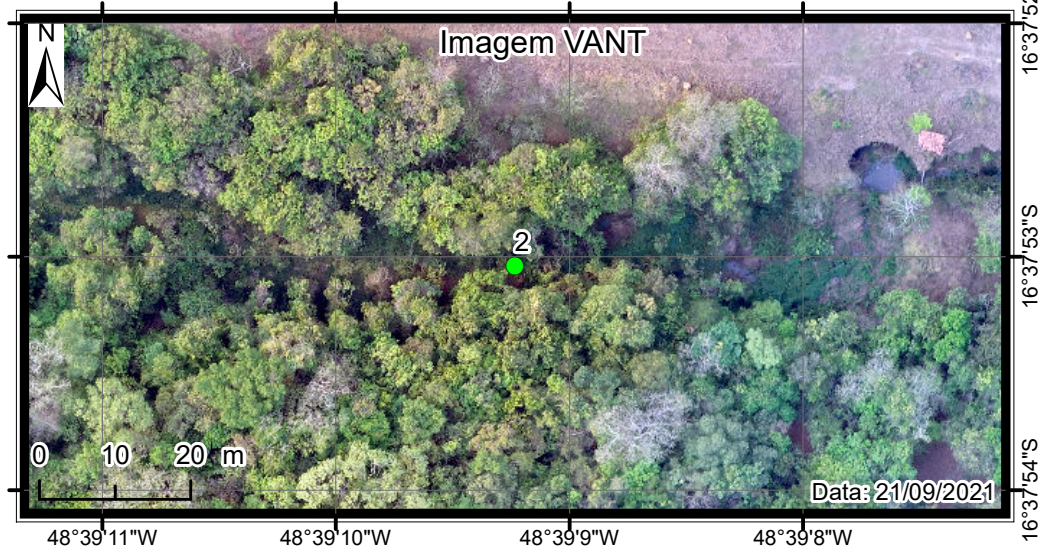
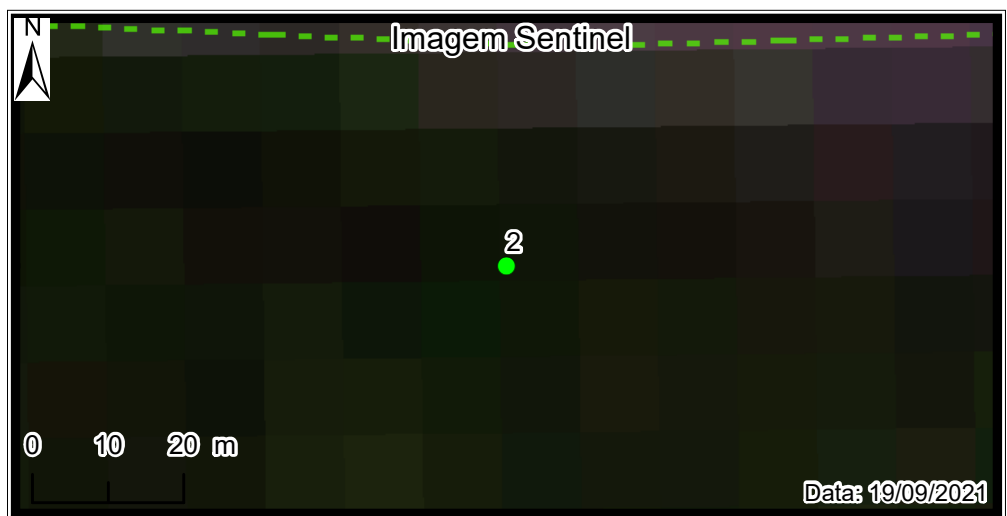
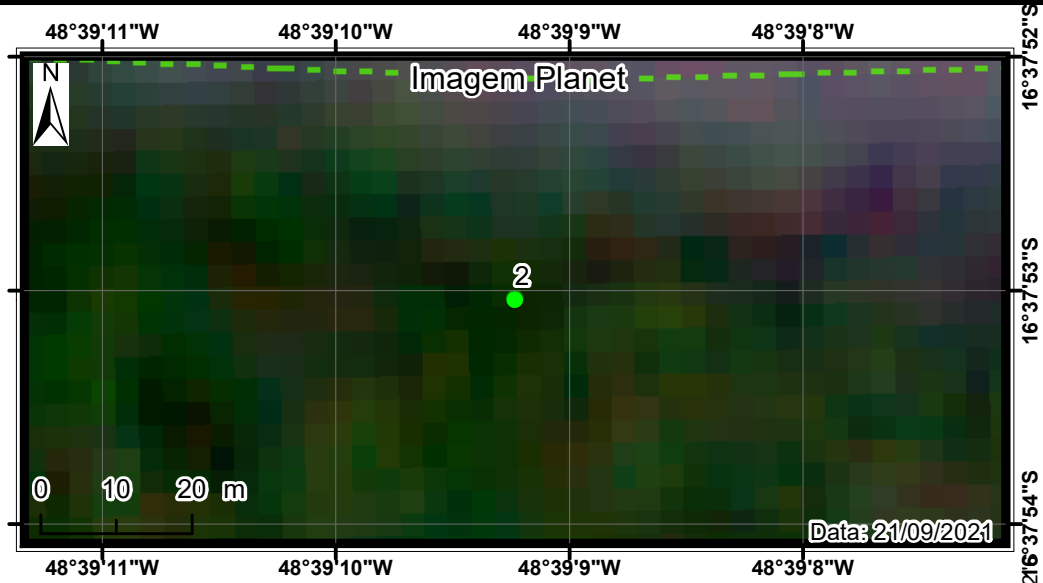
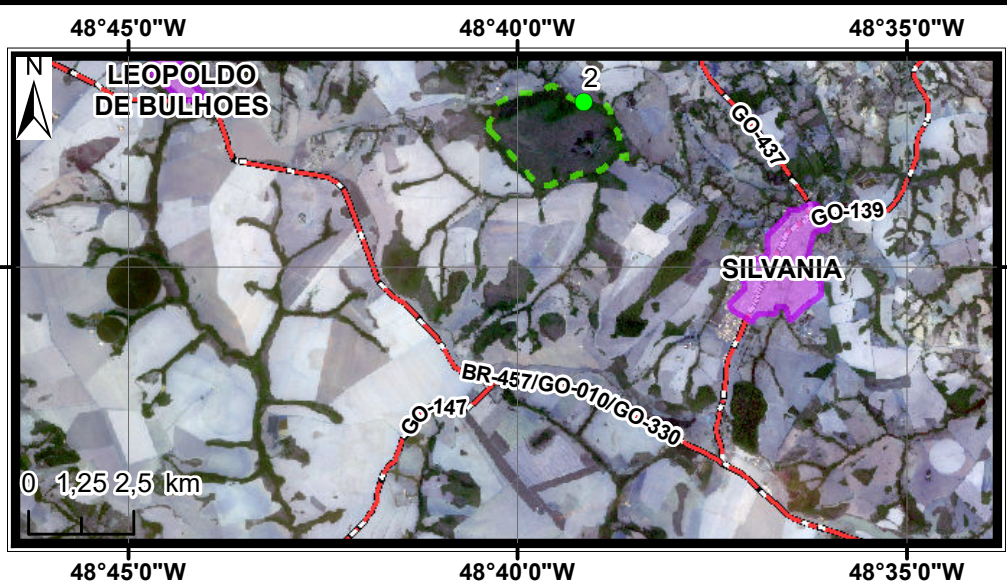
Fonte: Sentinel 2 Data: 19/09/2021. (PASSOS, 2023) (i)

APÊNDICE C: MAPAS MULTIESCALARES DOS PONTOS AMOSTRAIS



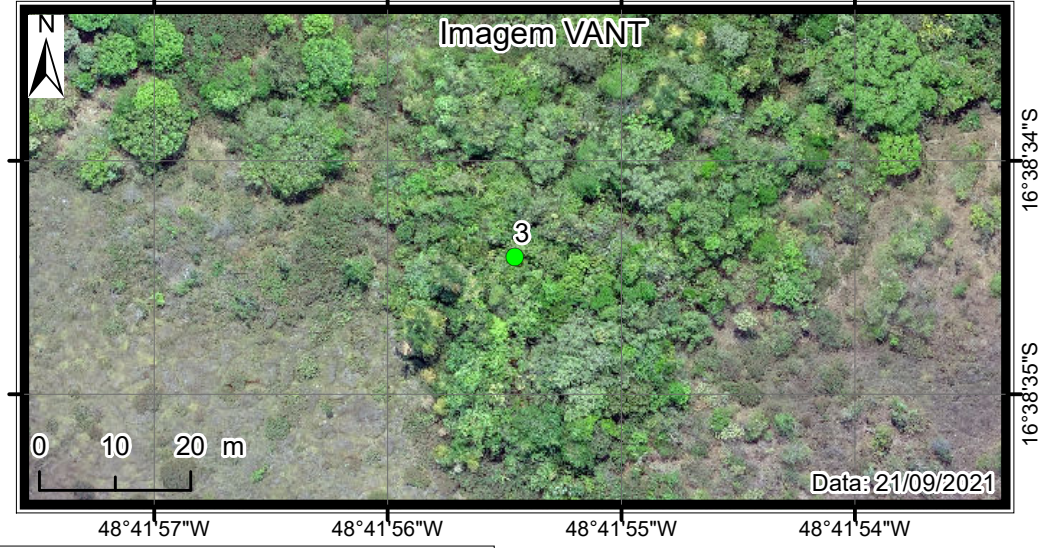
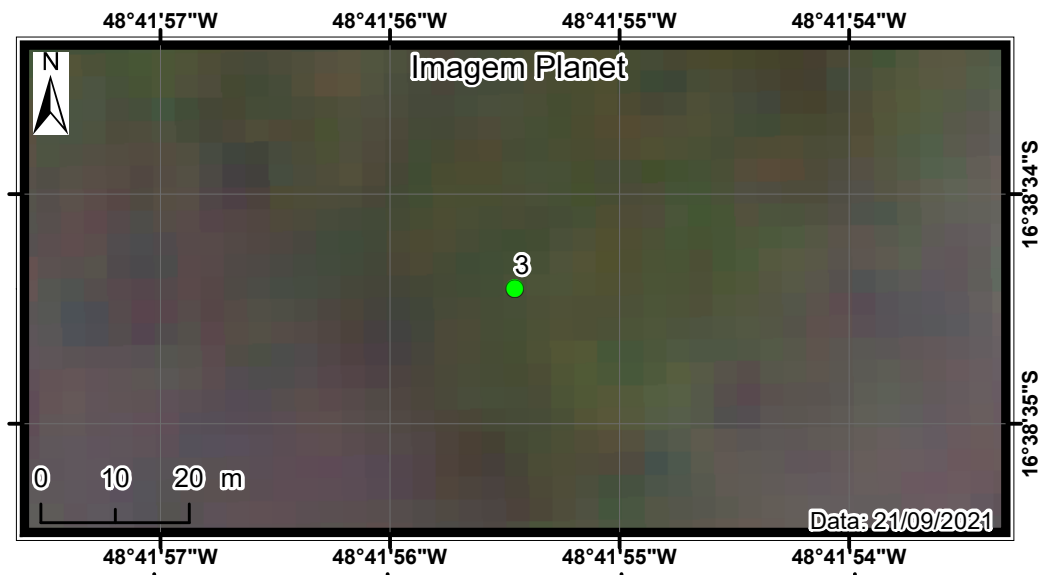
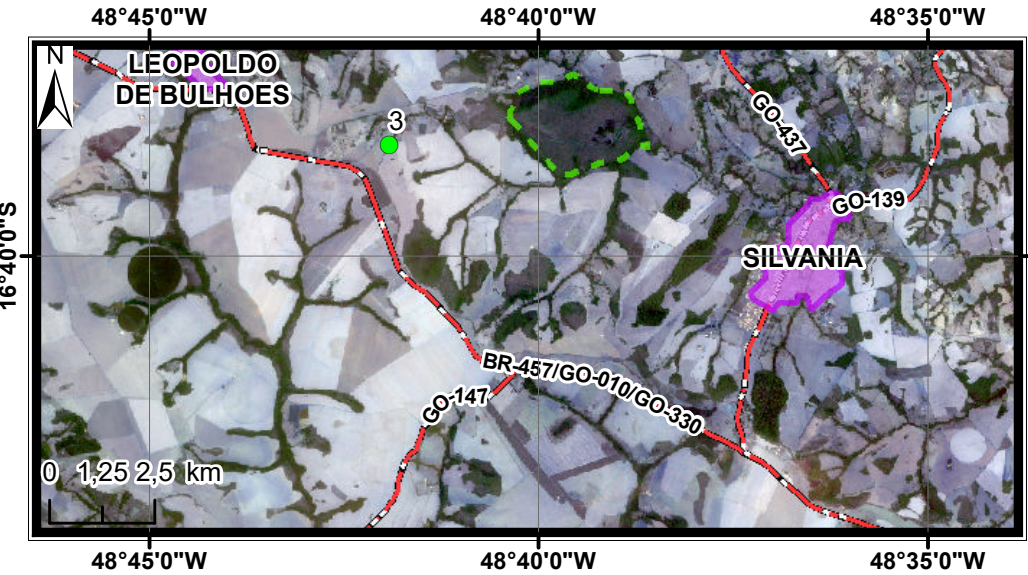
Legenda

- Pontos Amostrais
- FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia



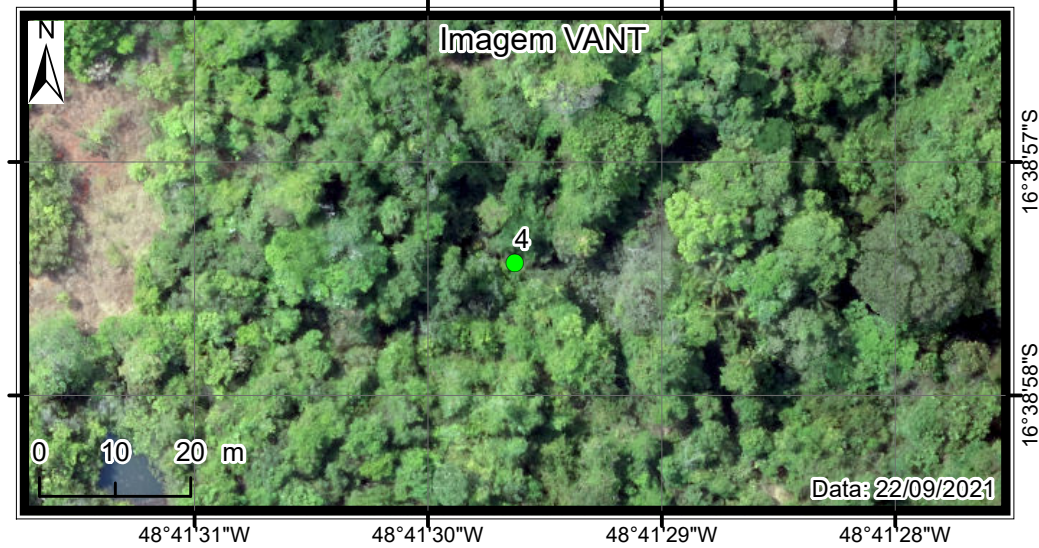
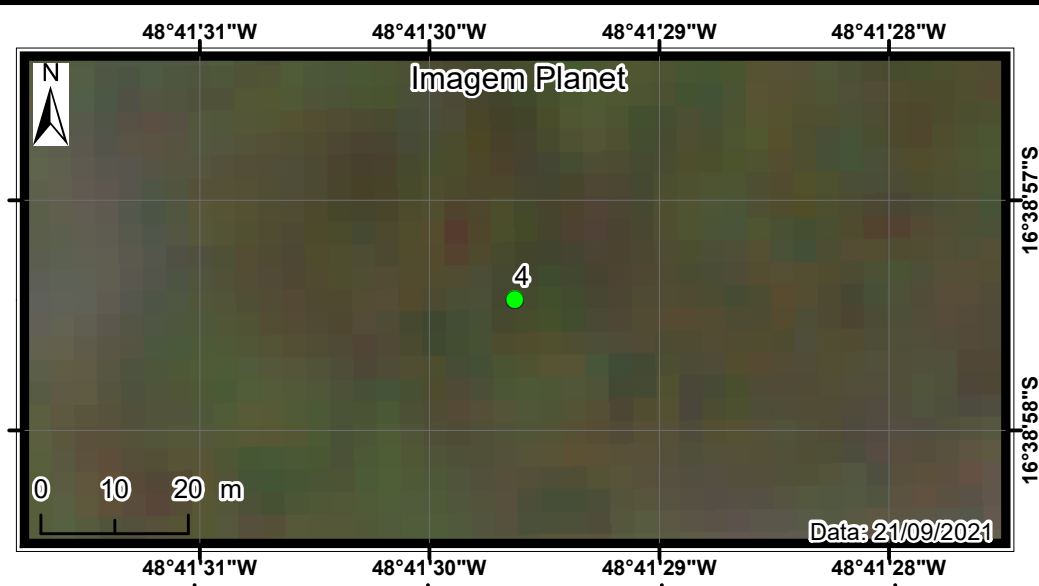
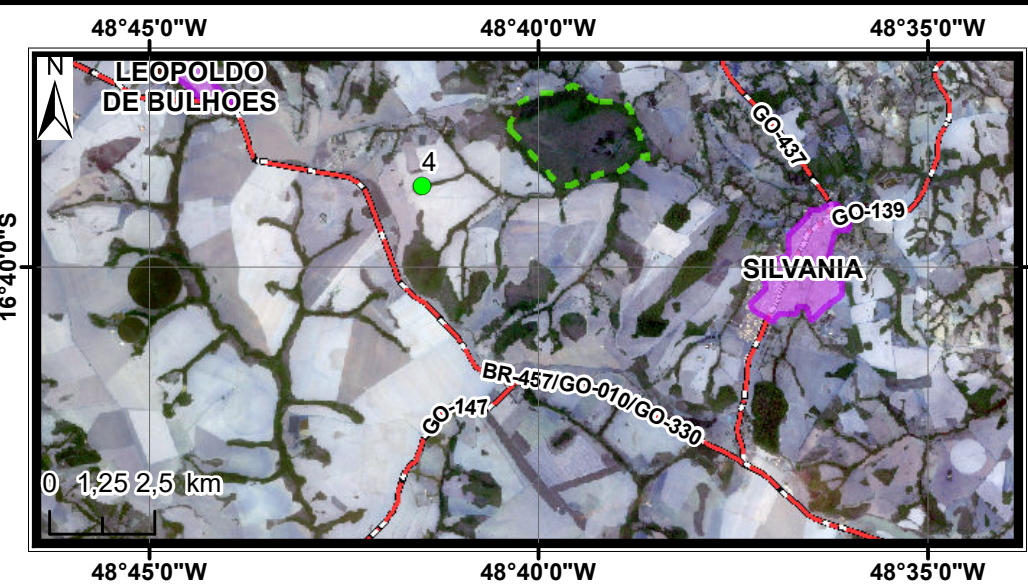
Legenda

- Pontos Amostrais
- FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia



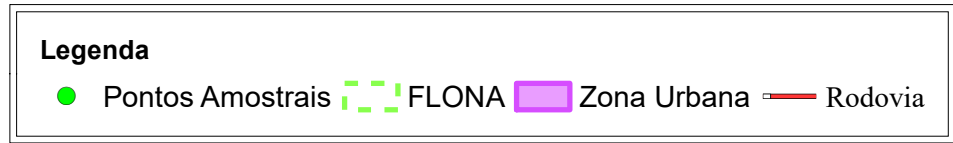
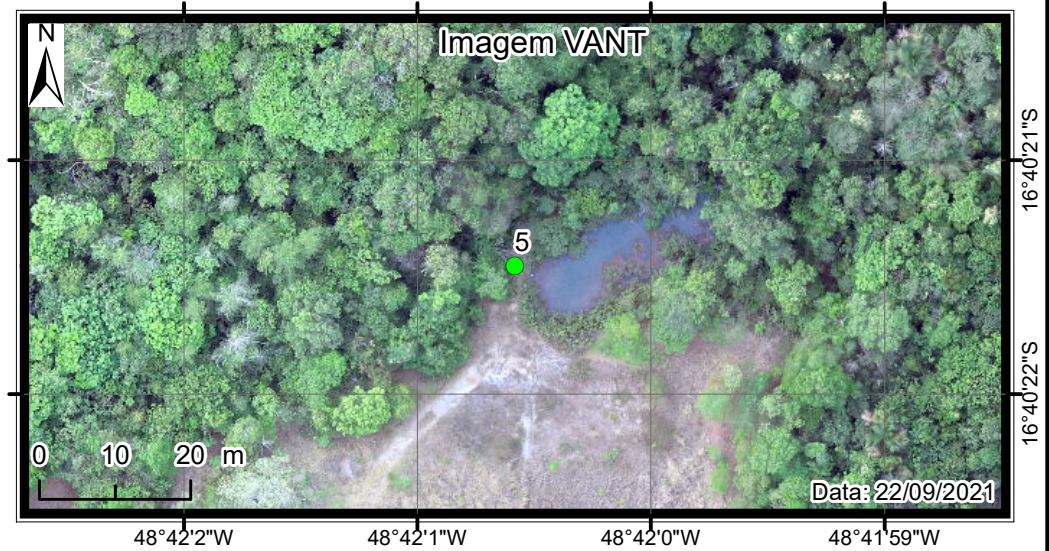
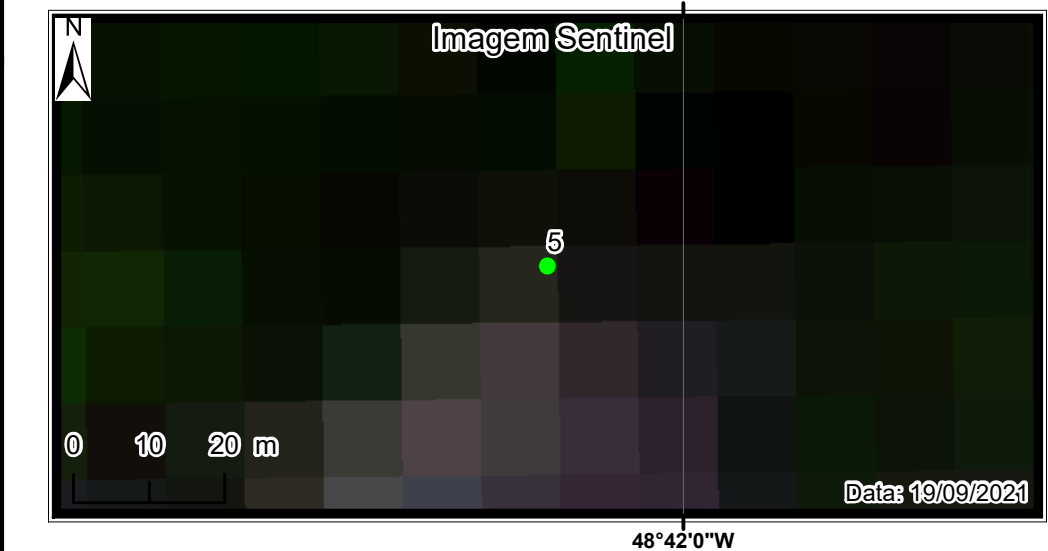
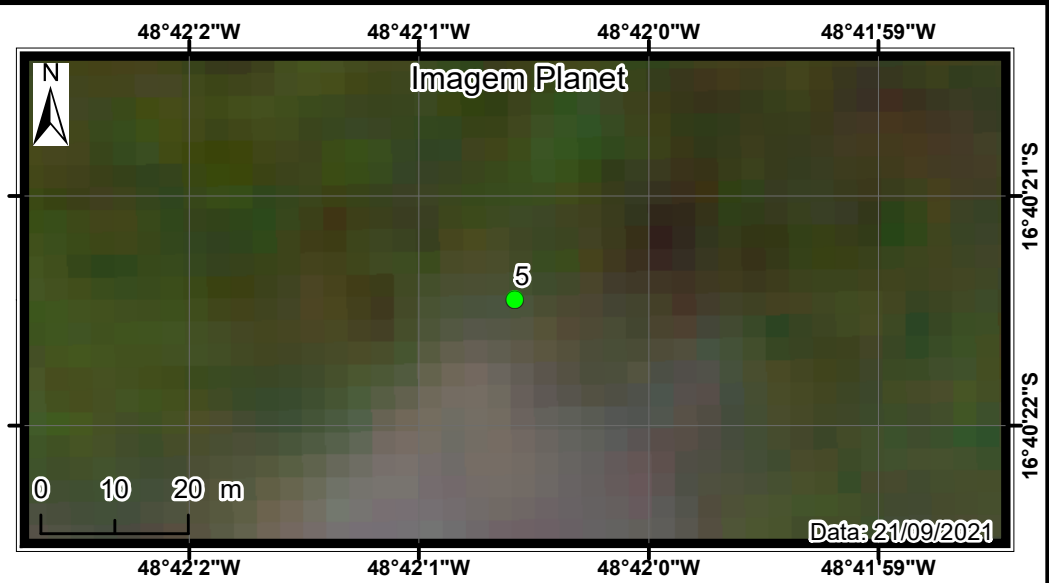
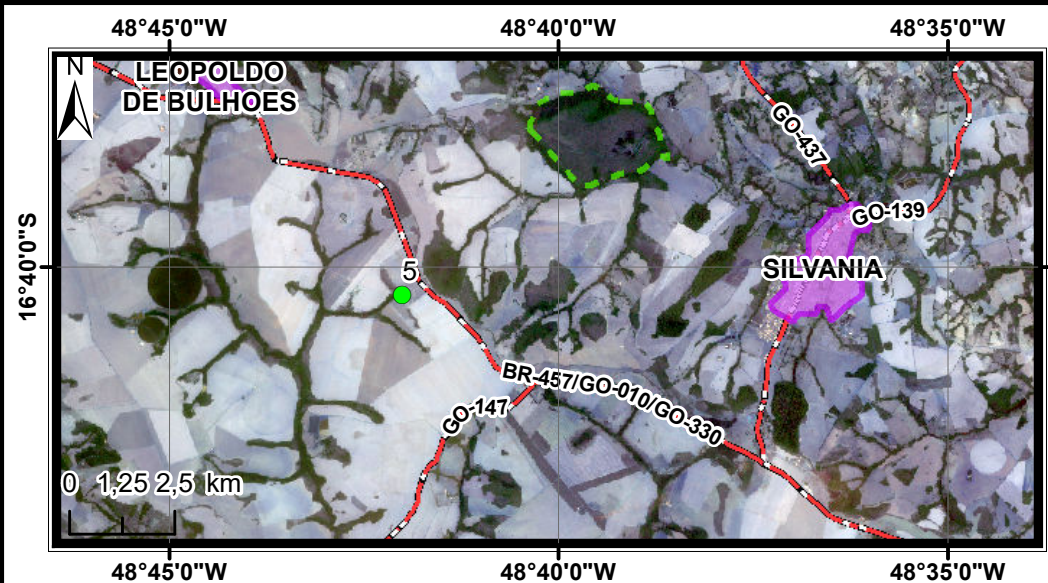
Legenda

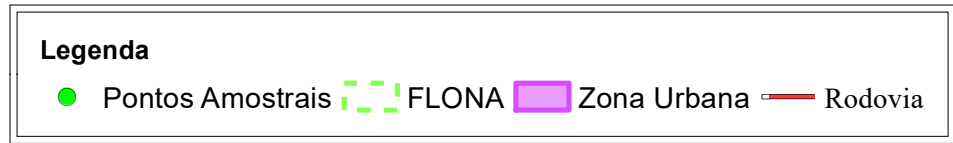
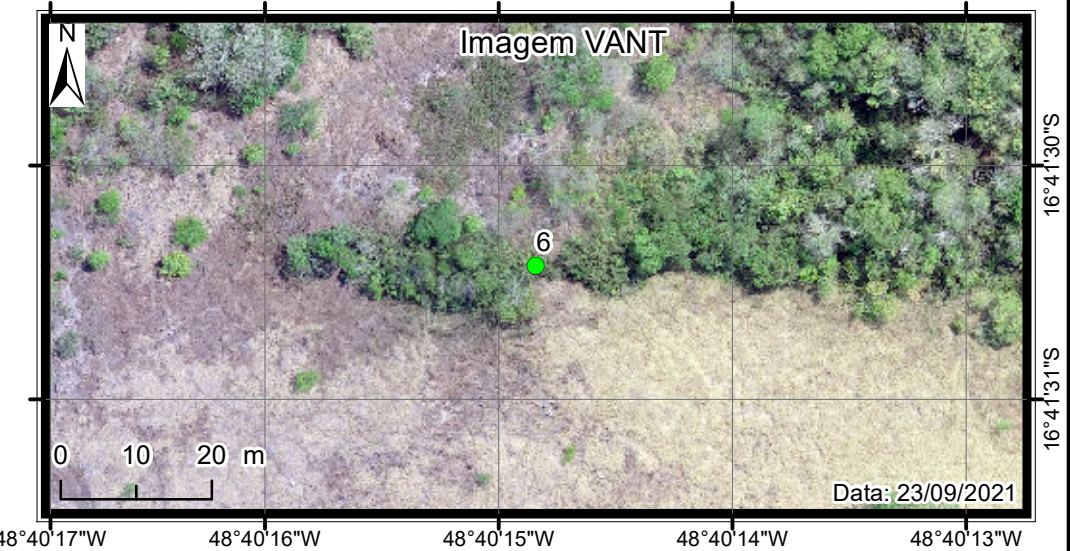
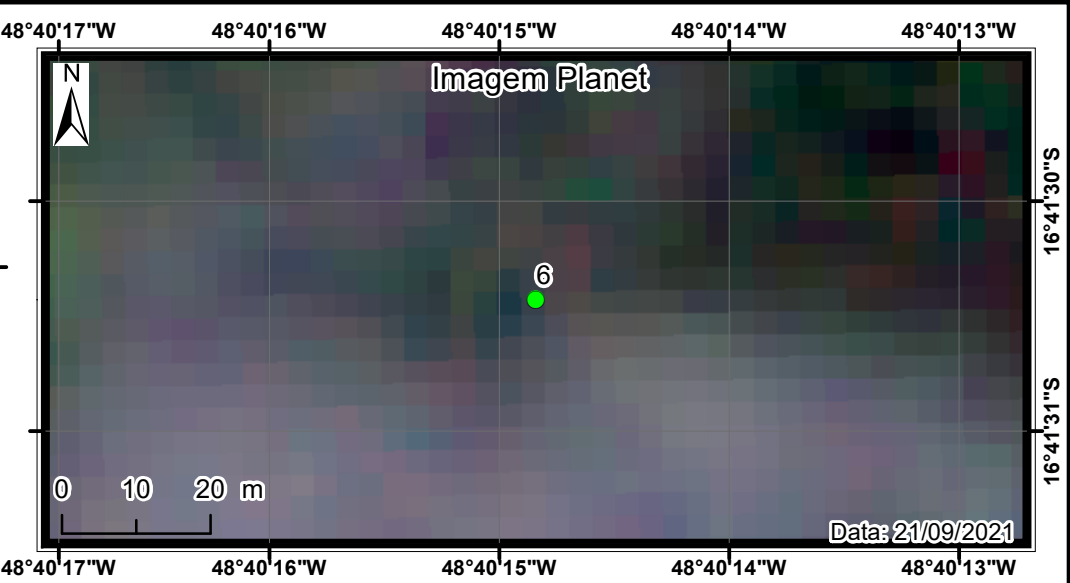
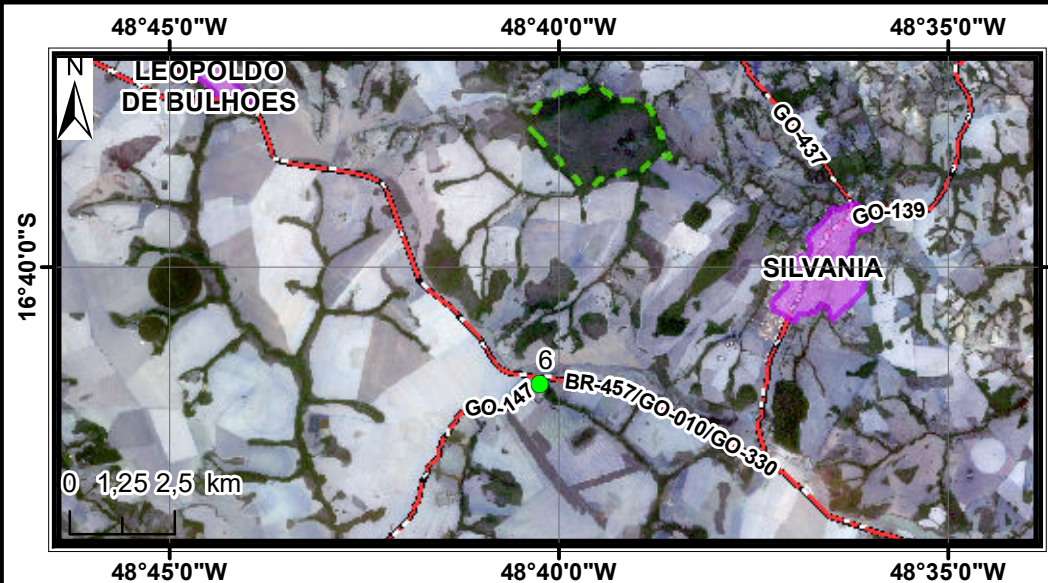
- Pontos Amostrais
- - - FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia

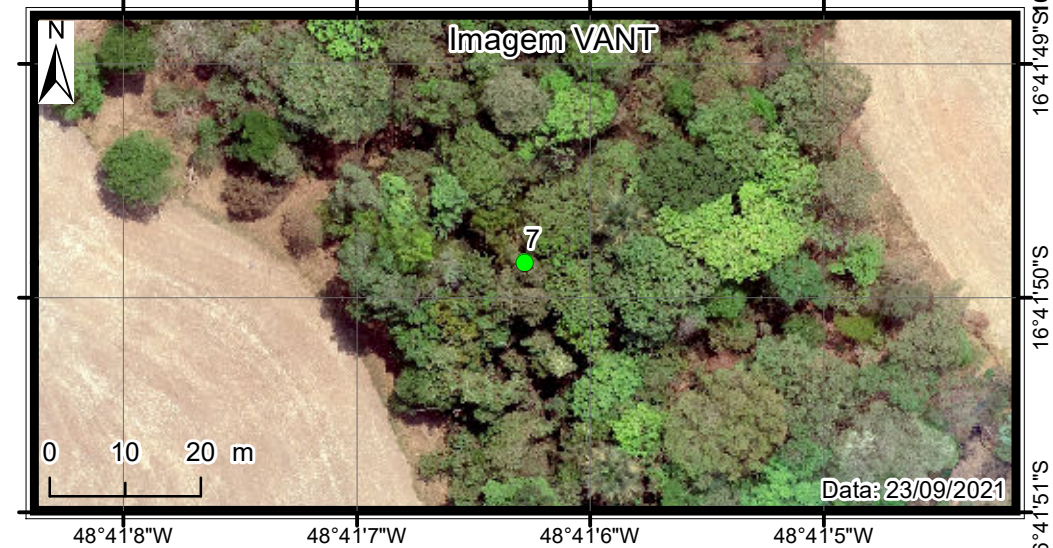
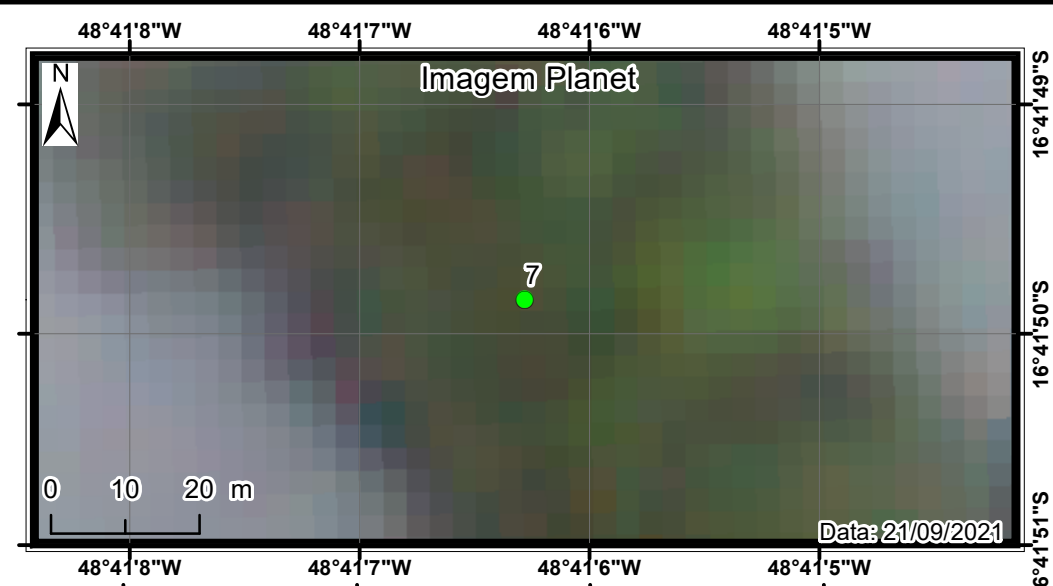
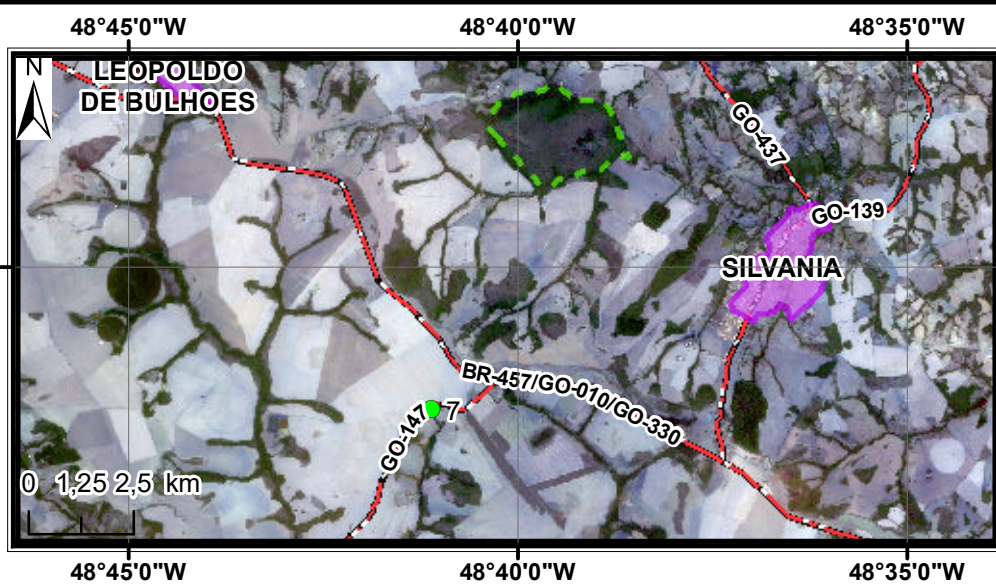


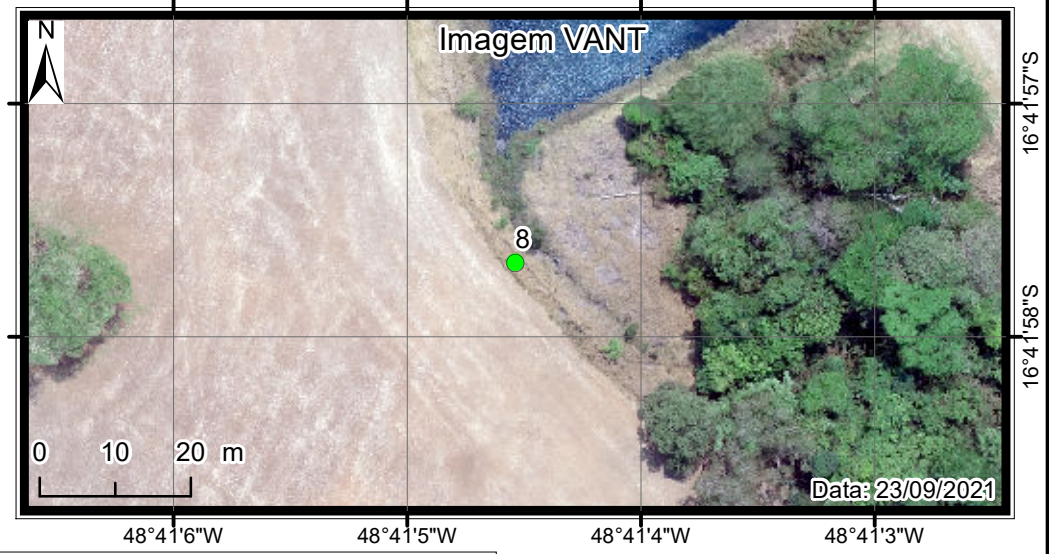
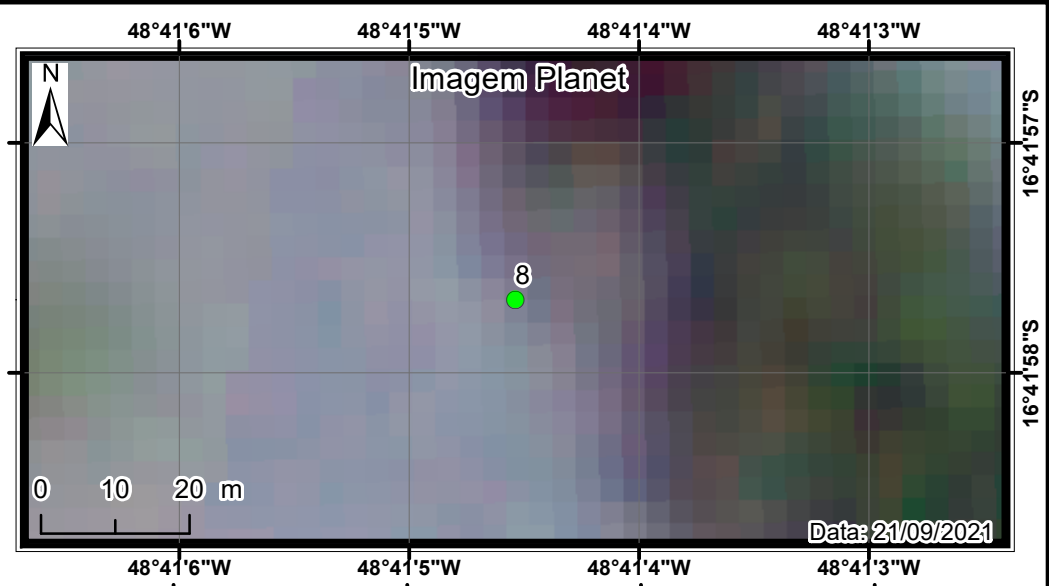
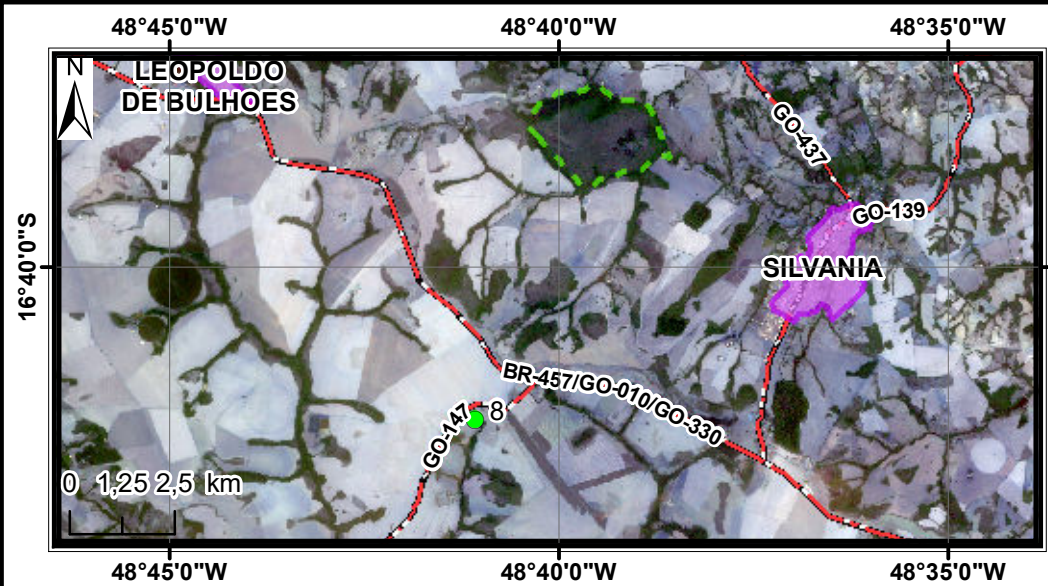
Legenda

- Pontos Amostrais
- FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia



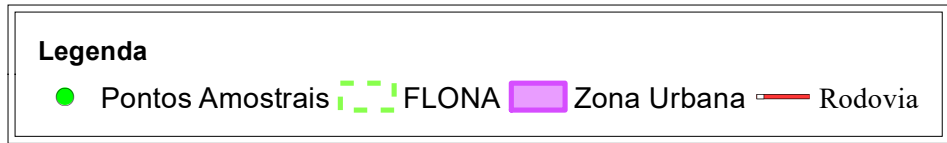
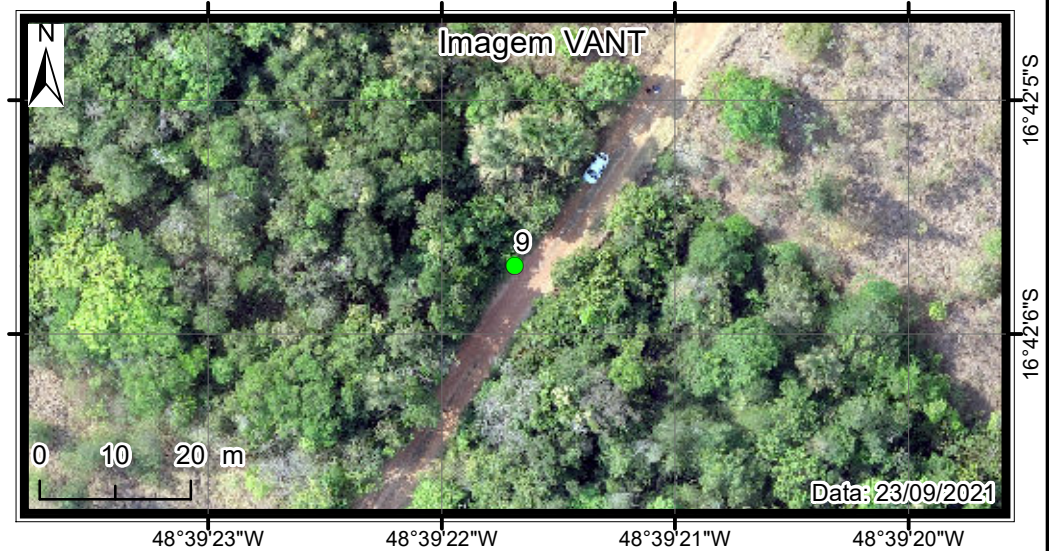
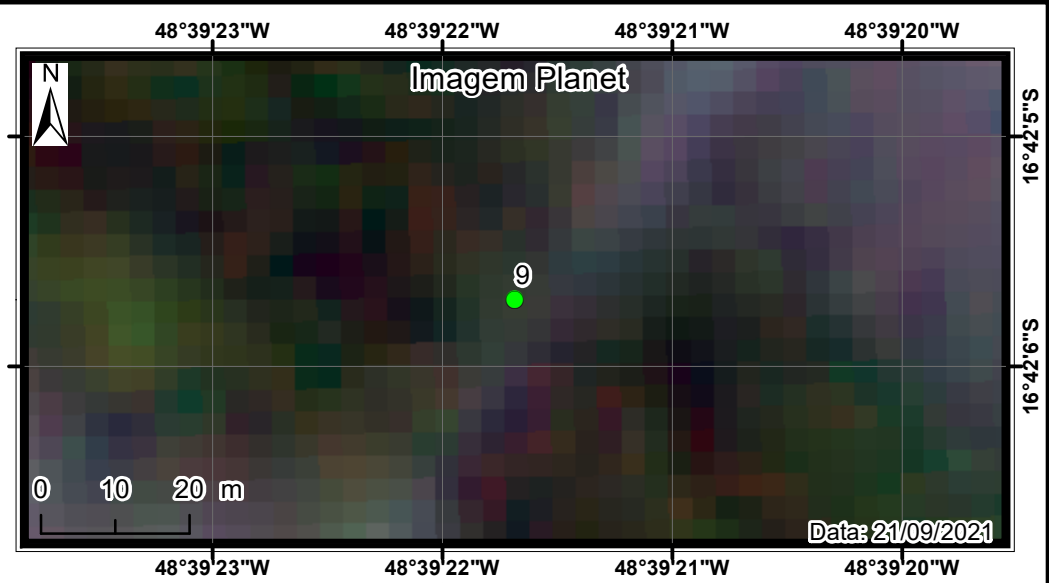
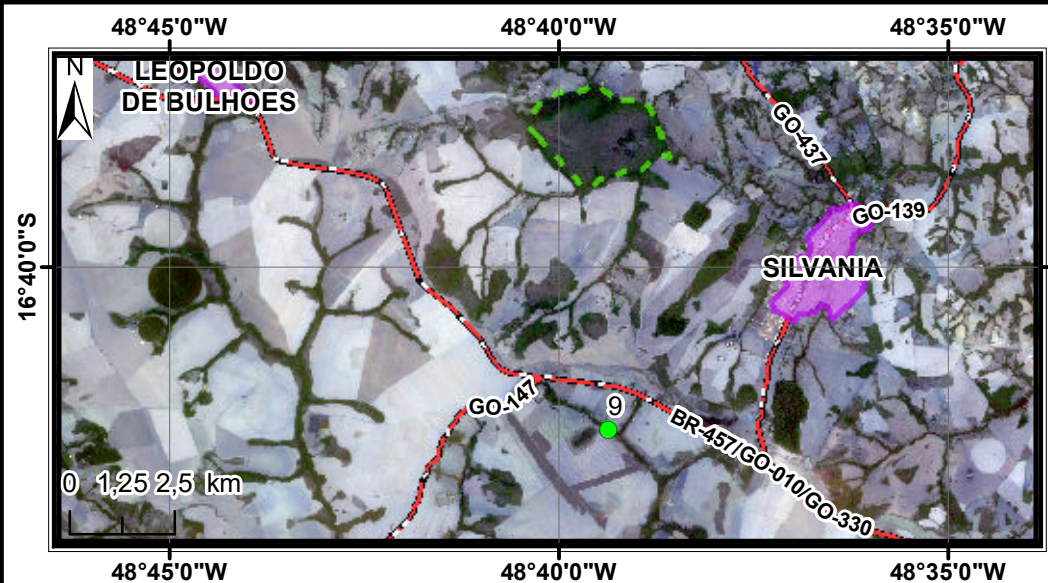


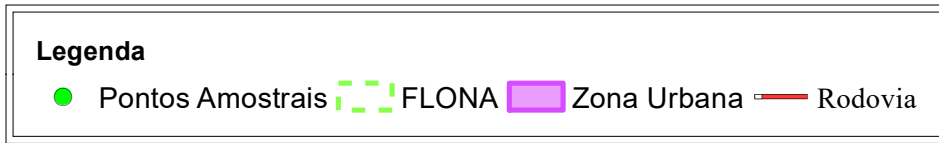
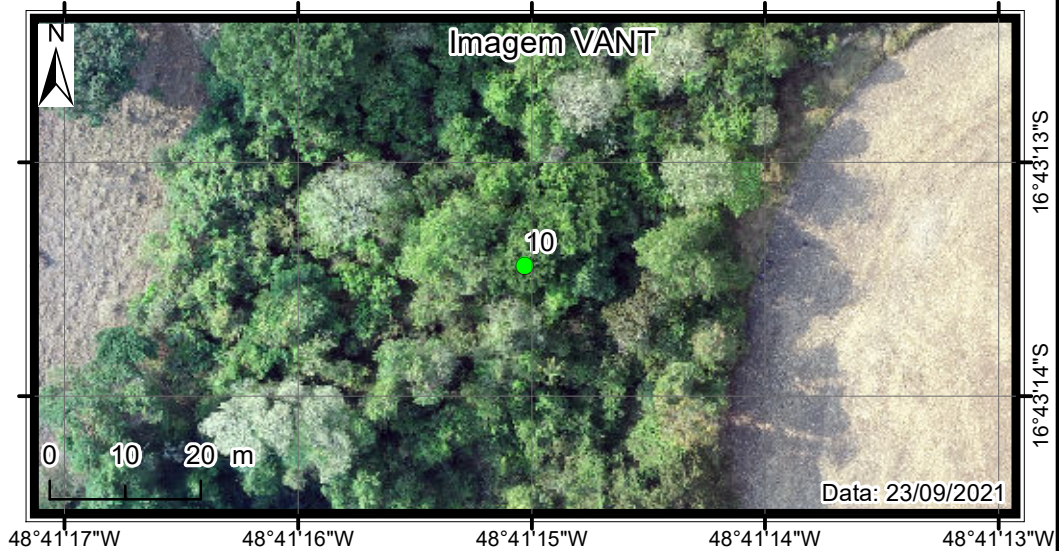
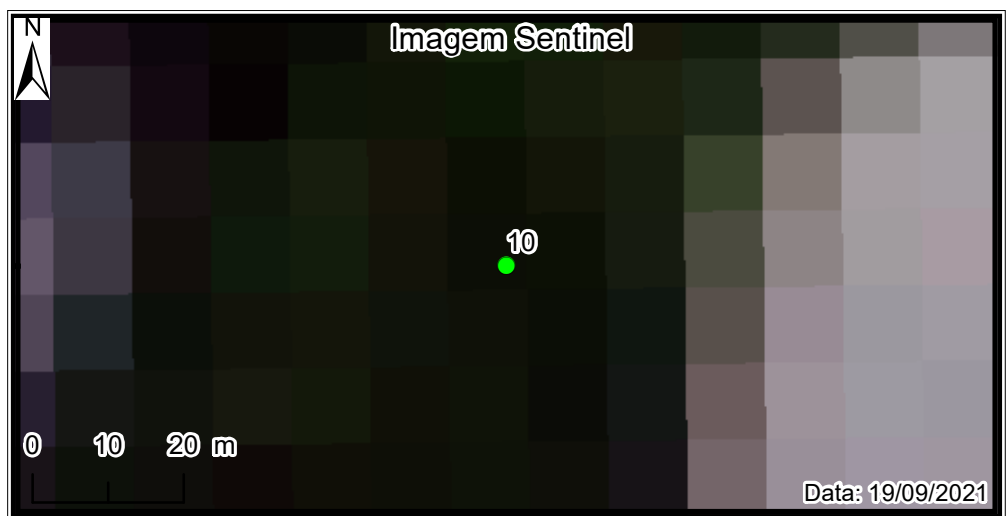
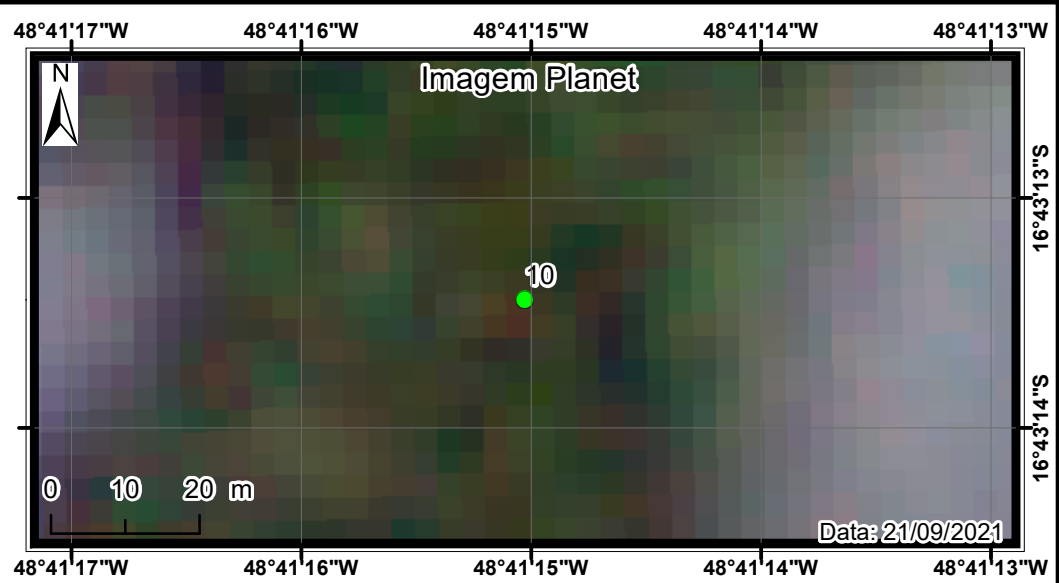
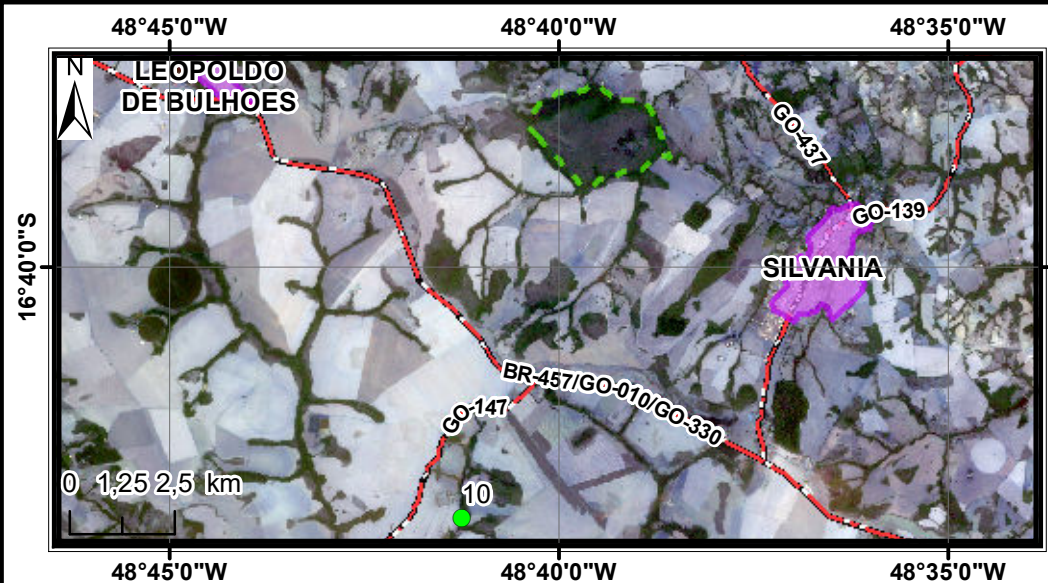


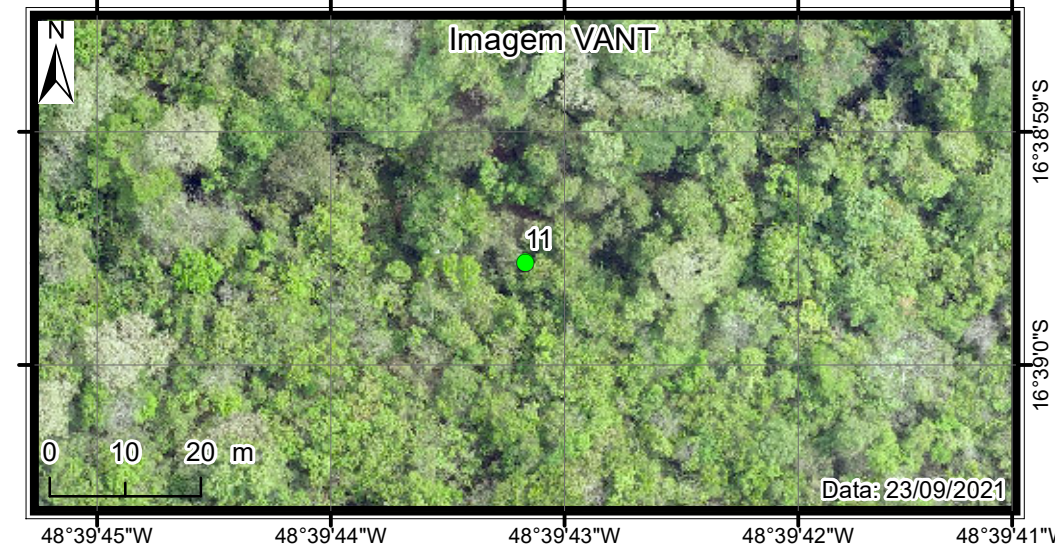
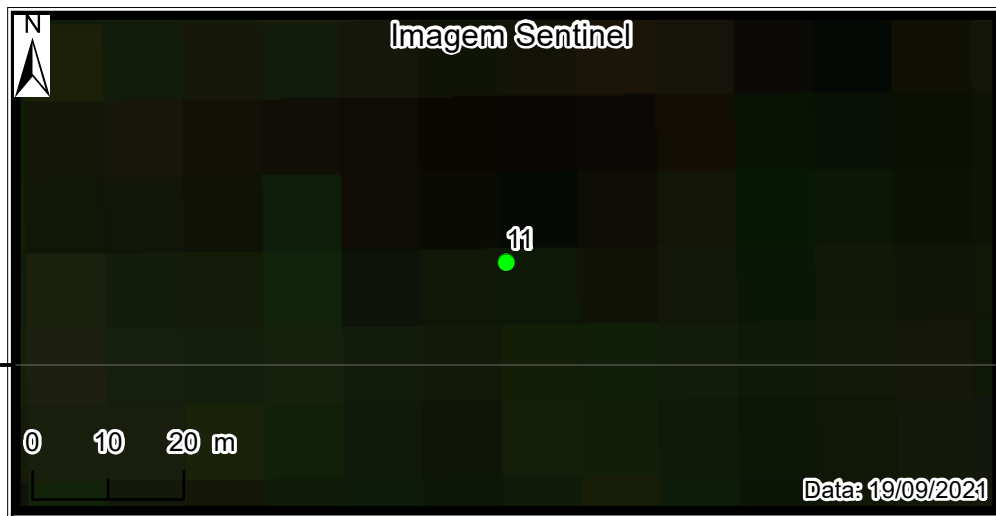
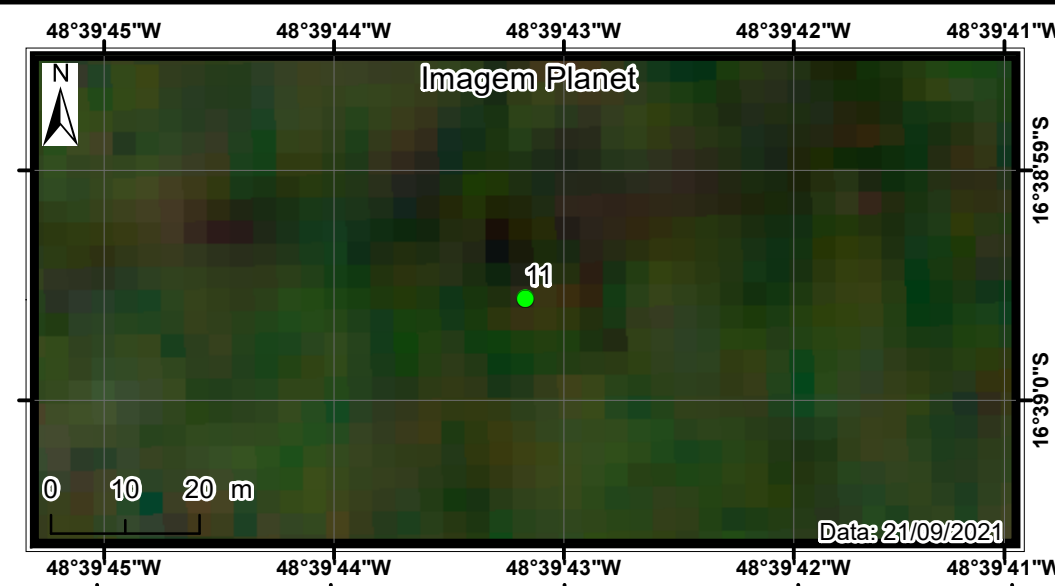
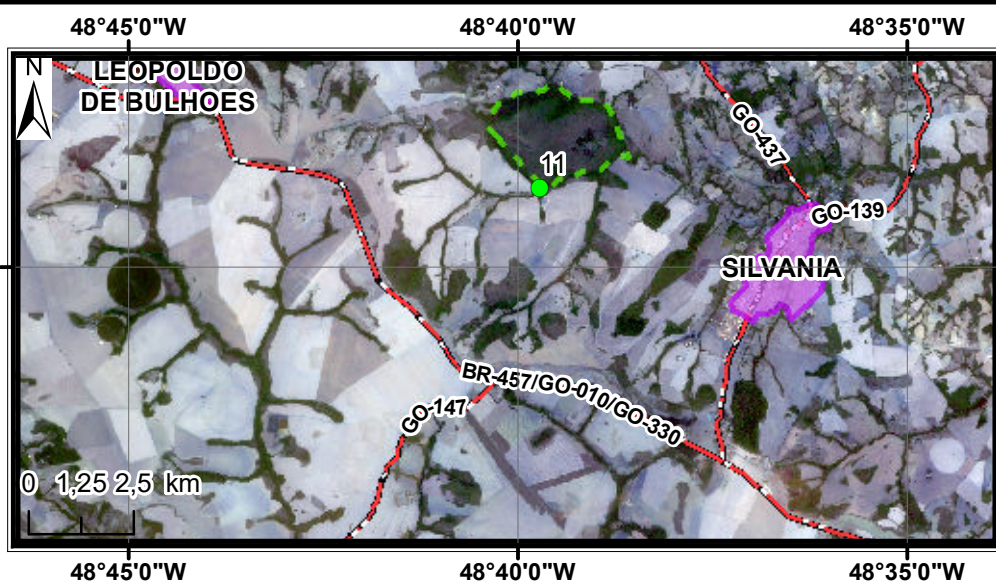


Legenda

- Pontos Amostrais
- FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia

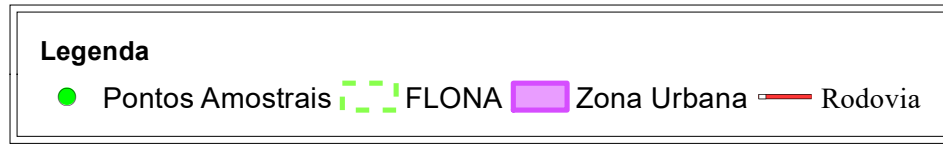
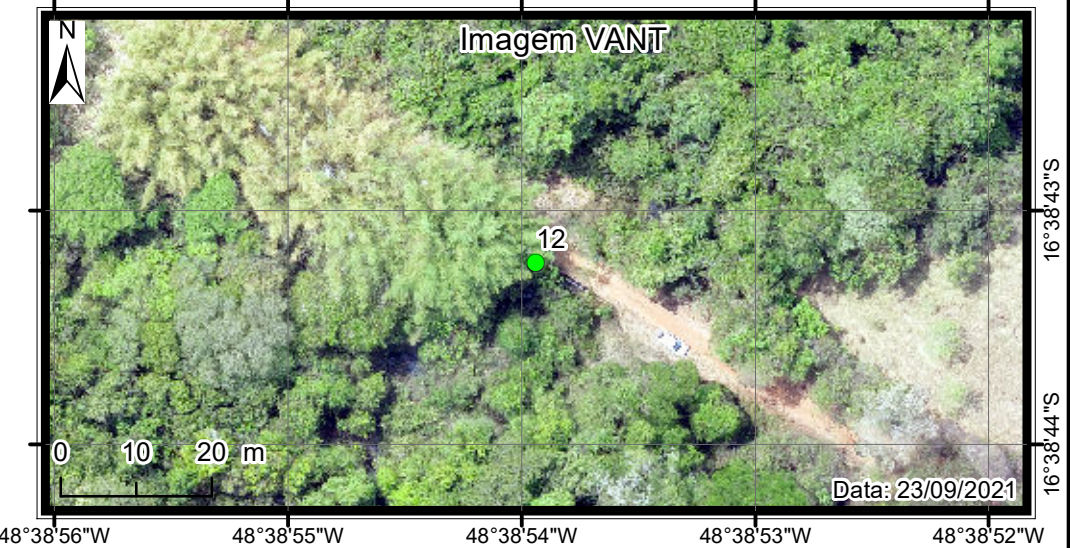
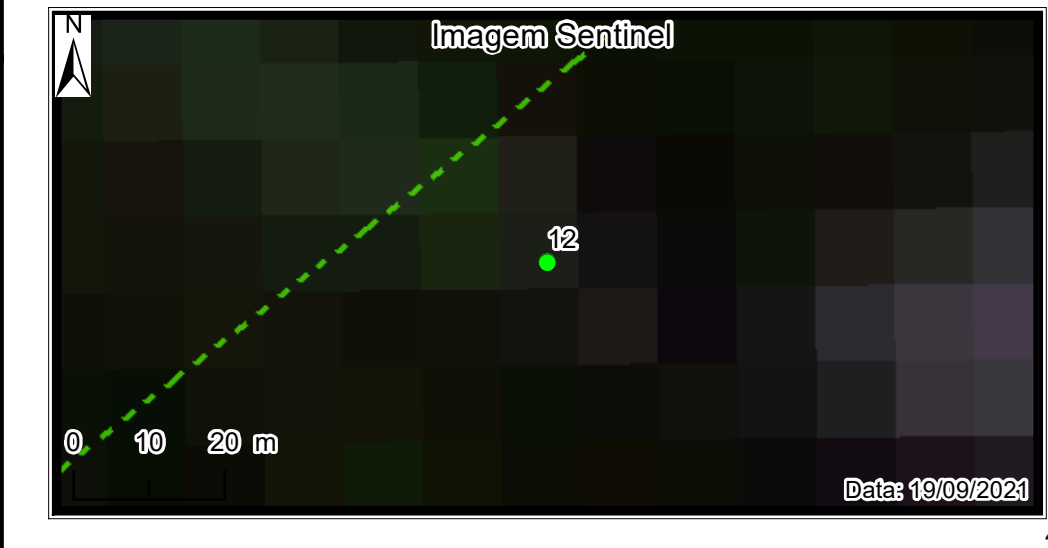
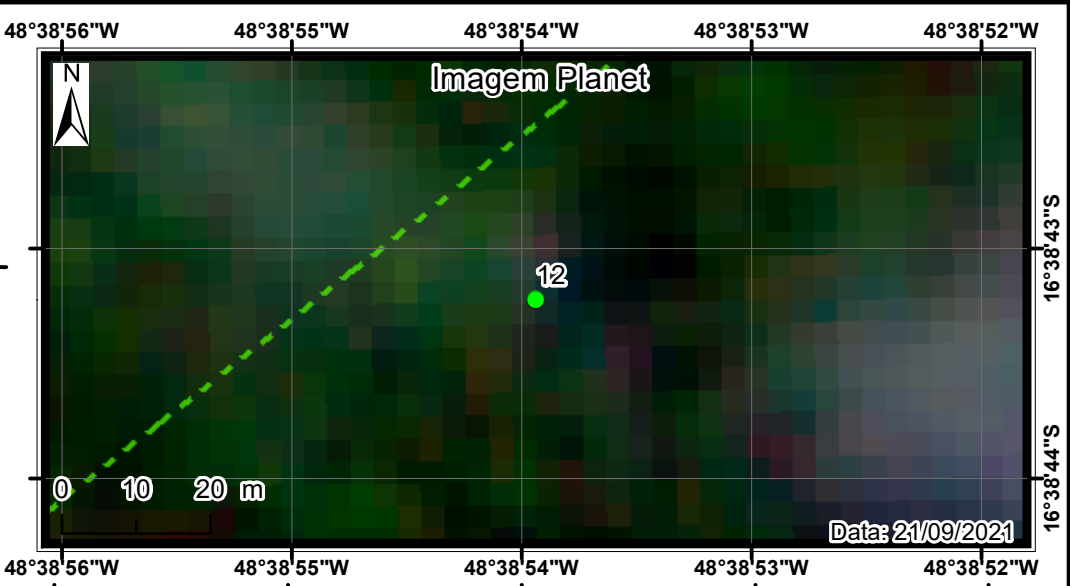
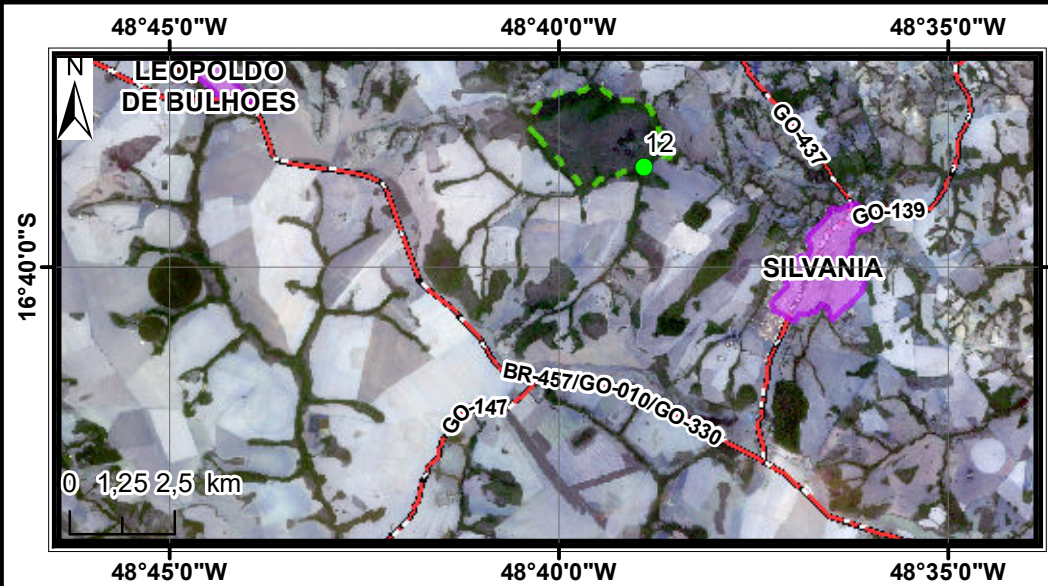


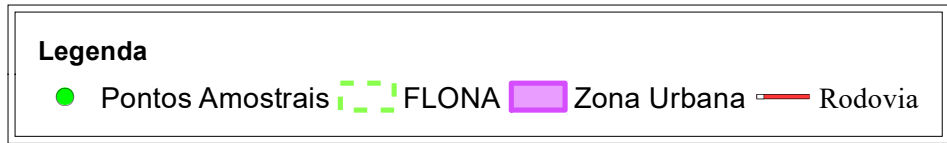
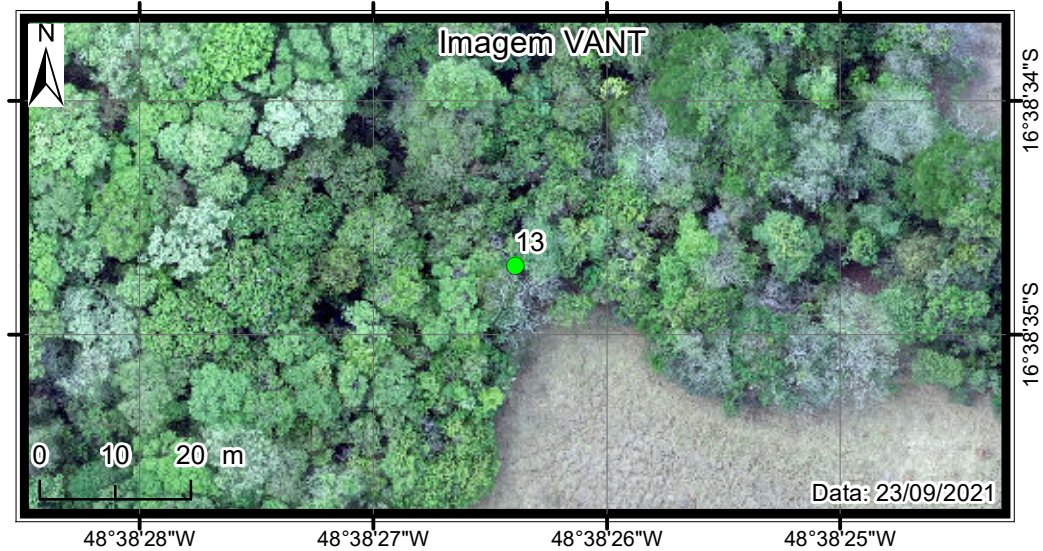
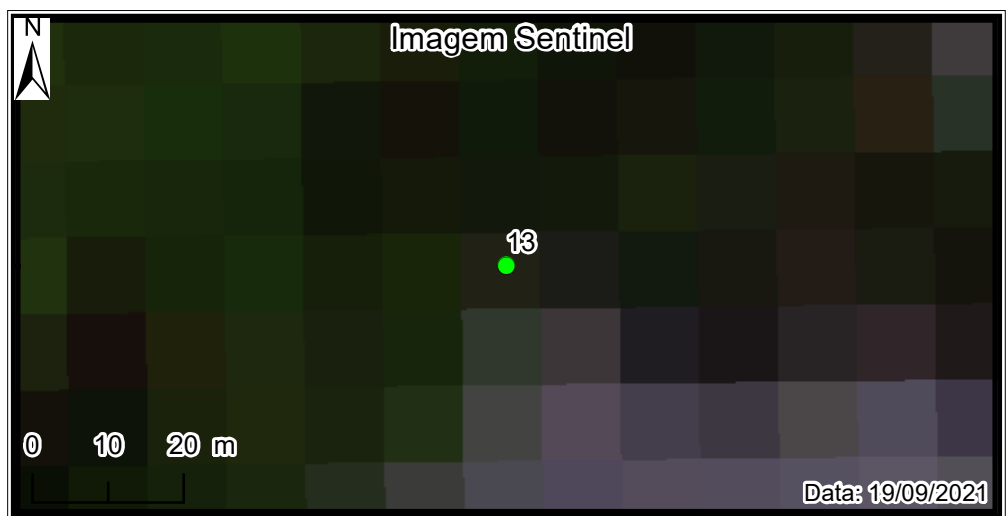
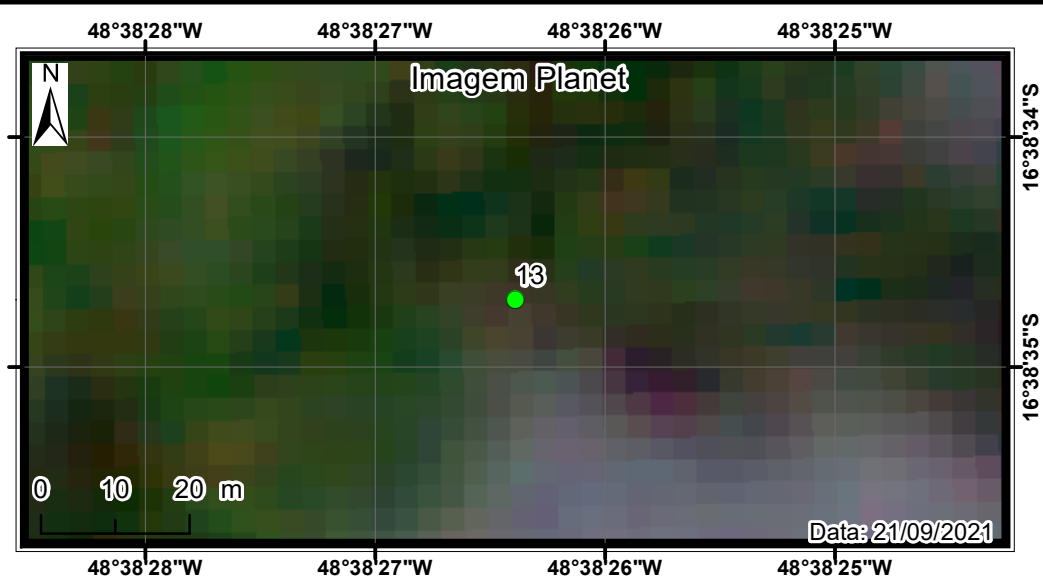
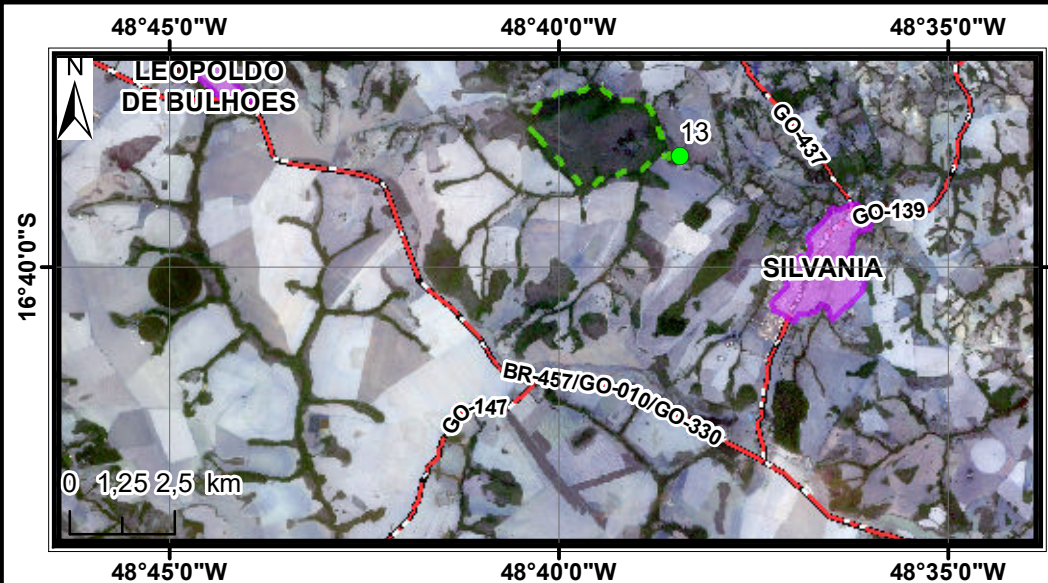


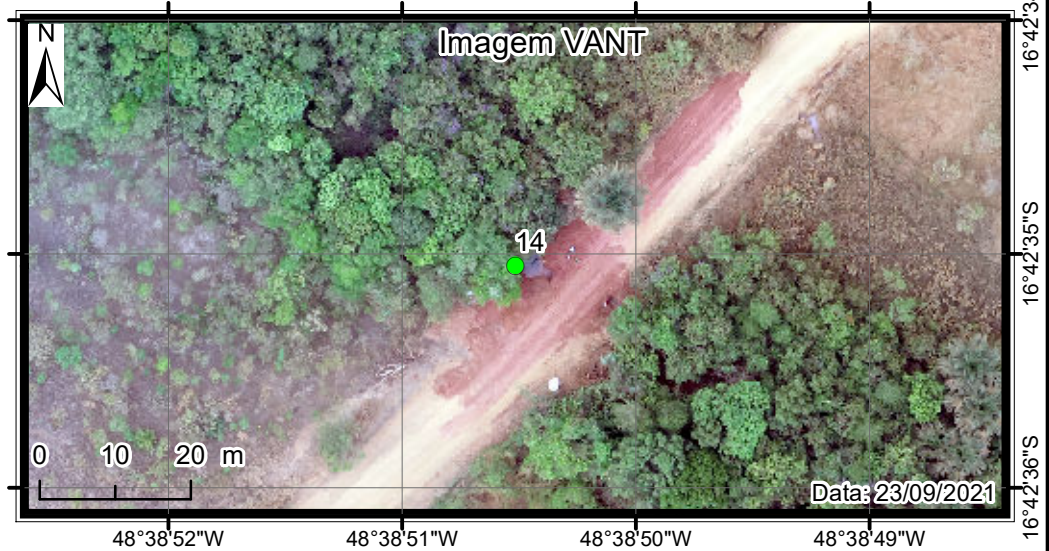
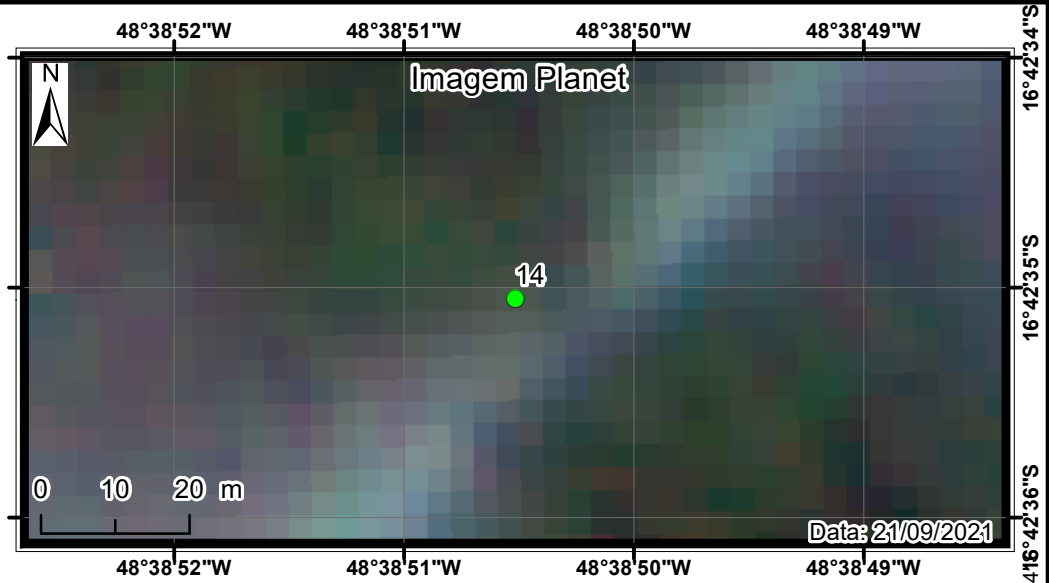
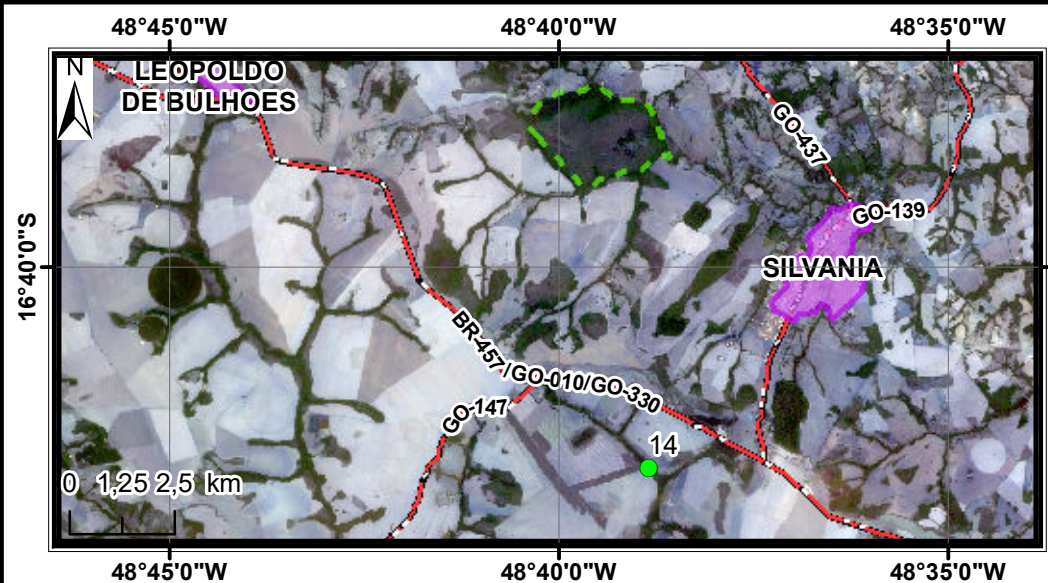


Legenda

- Pontos Amostrais
- FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia

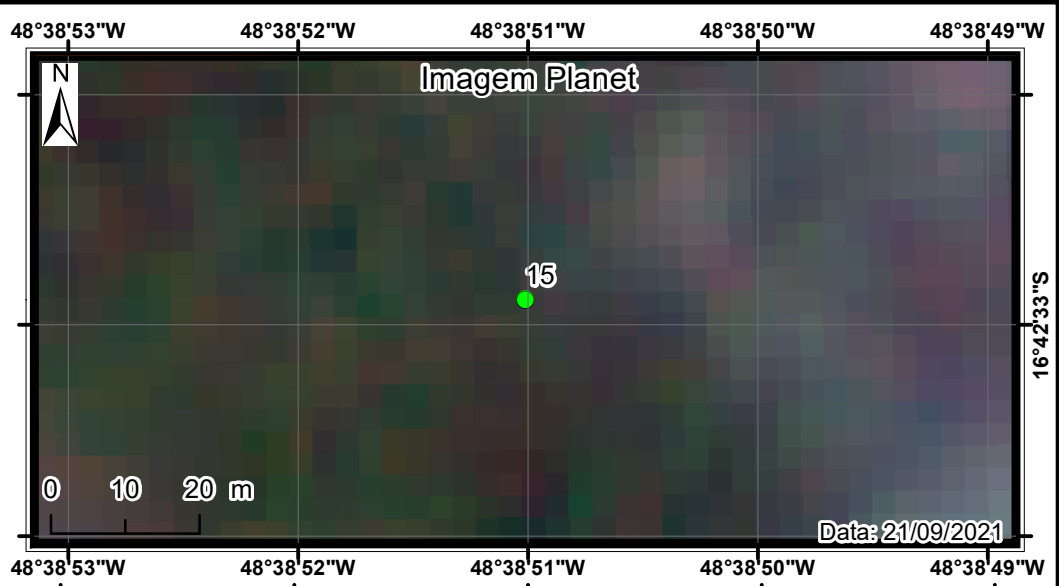
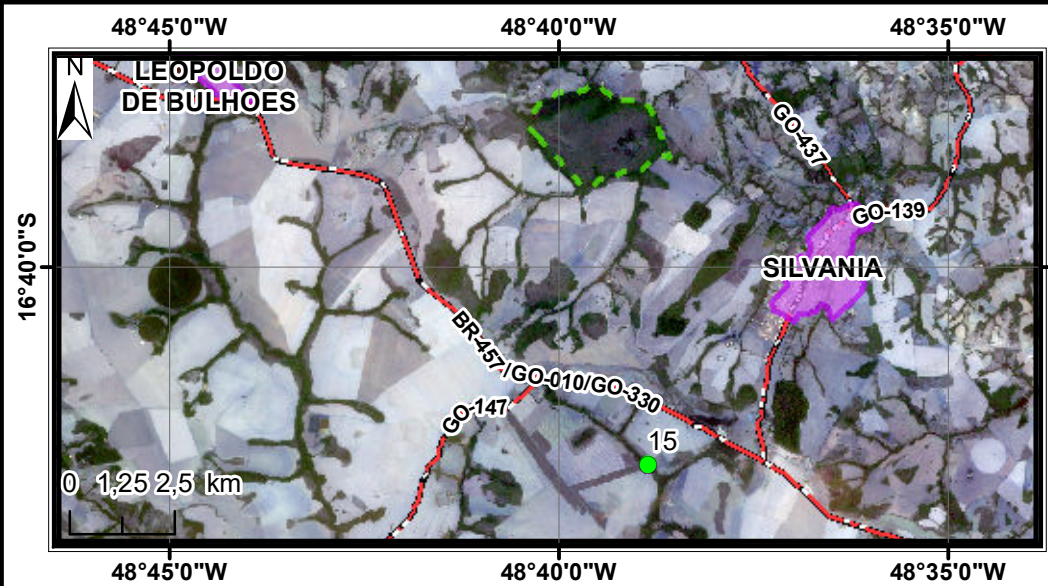






Legenda

- Pontos Amostrais
- - - FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia



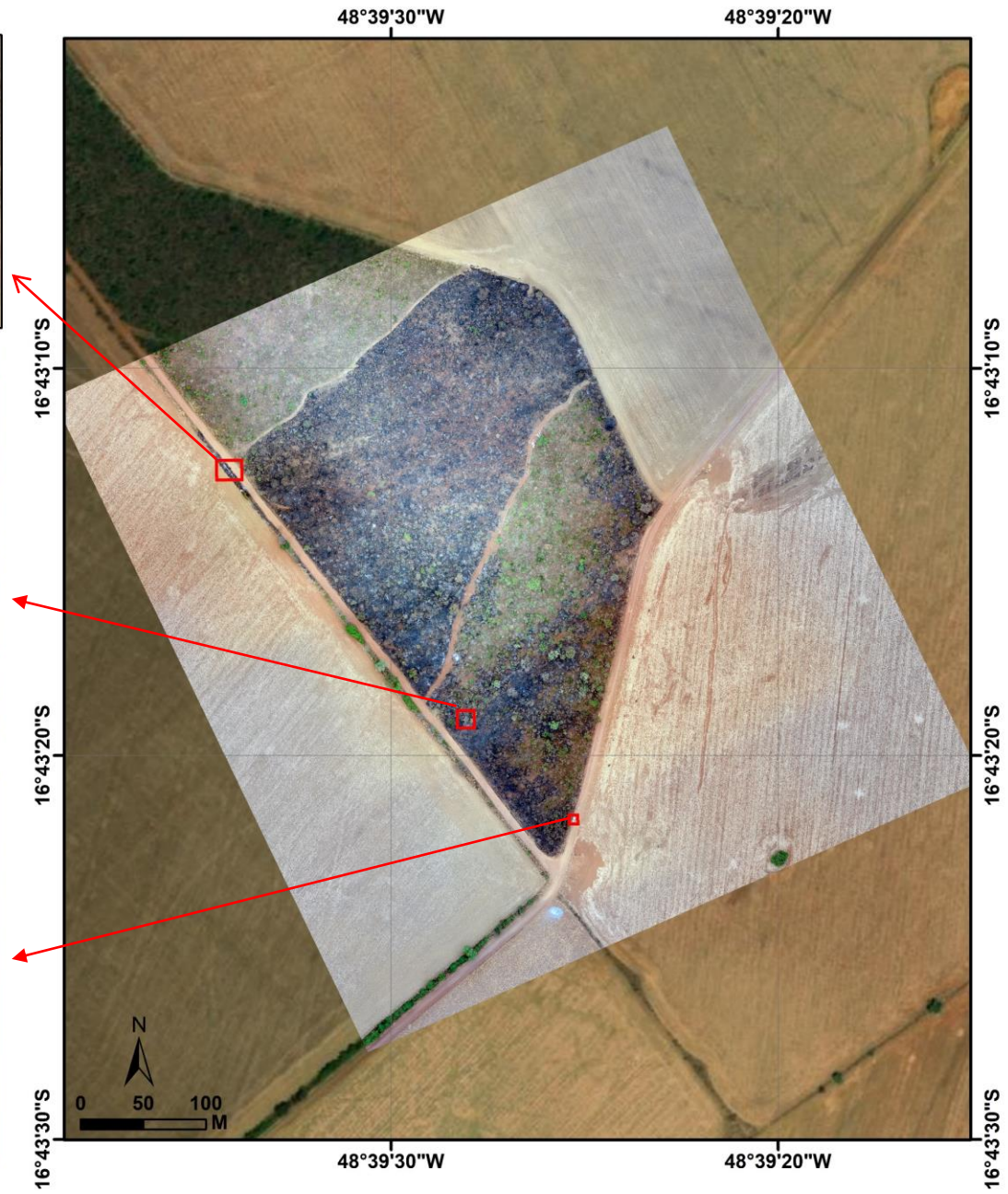
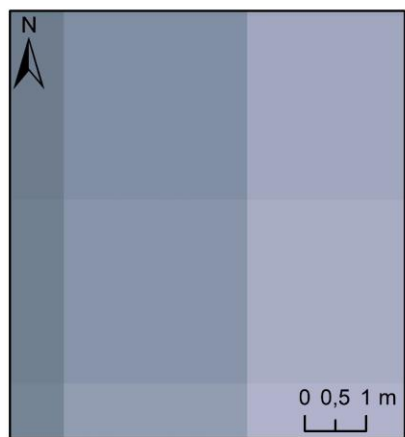
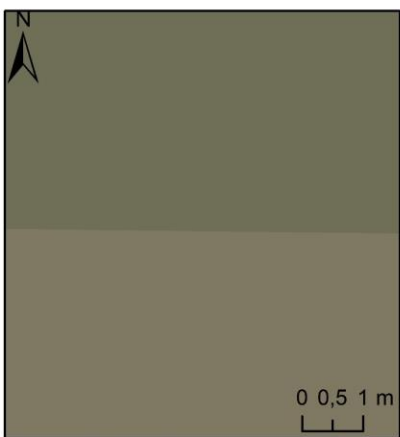
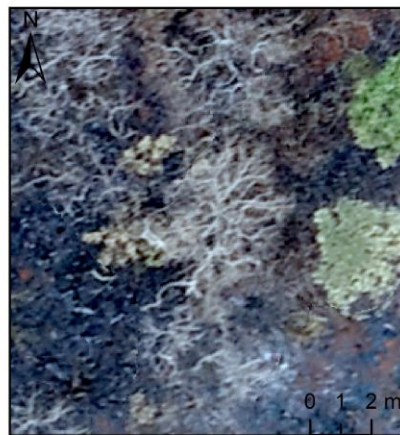
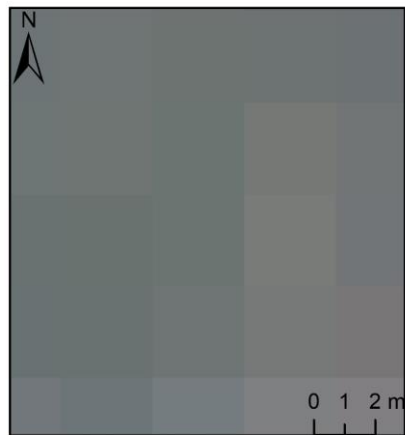
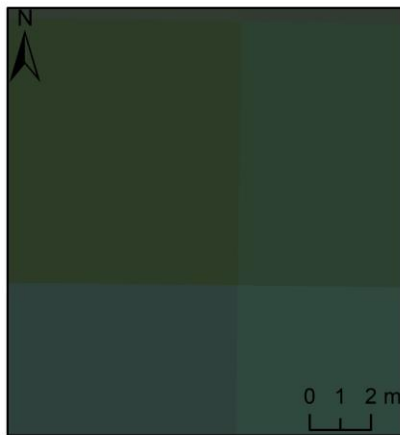
Legenda

- Pontos Amostrais
- FLONA
- Zona Urbana
- Rodovia

APÊNDICE D: OUTROS PRODUTOS



Coleta de informações em Campo com o VANT em Silvânia-GO (Imagem WorldView2 de Fundo)

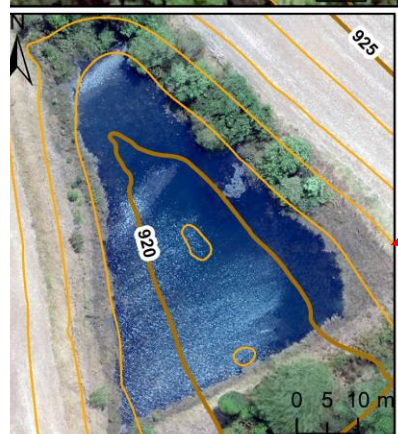
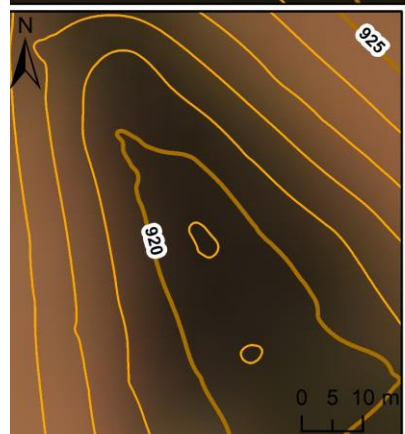
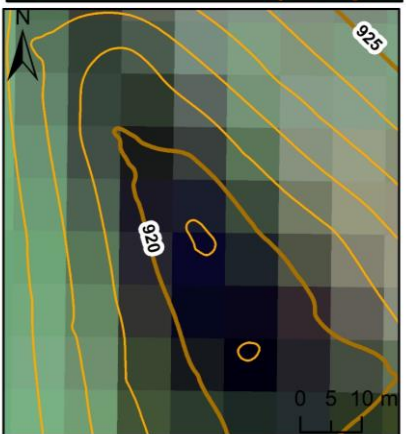
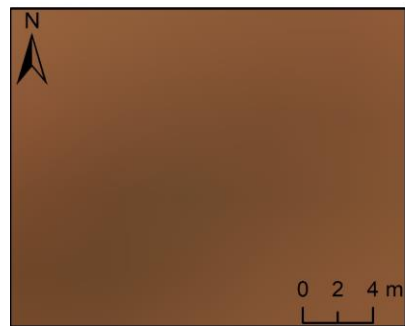
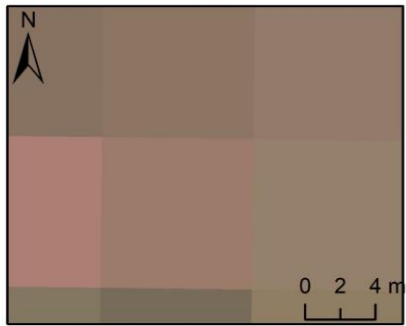


SENTINEL (10 m)

PLANET (4 m)

VANT (4,89 cm)

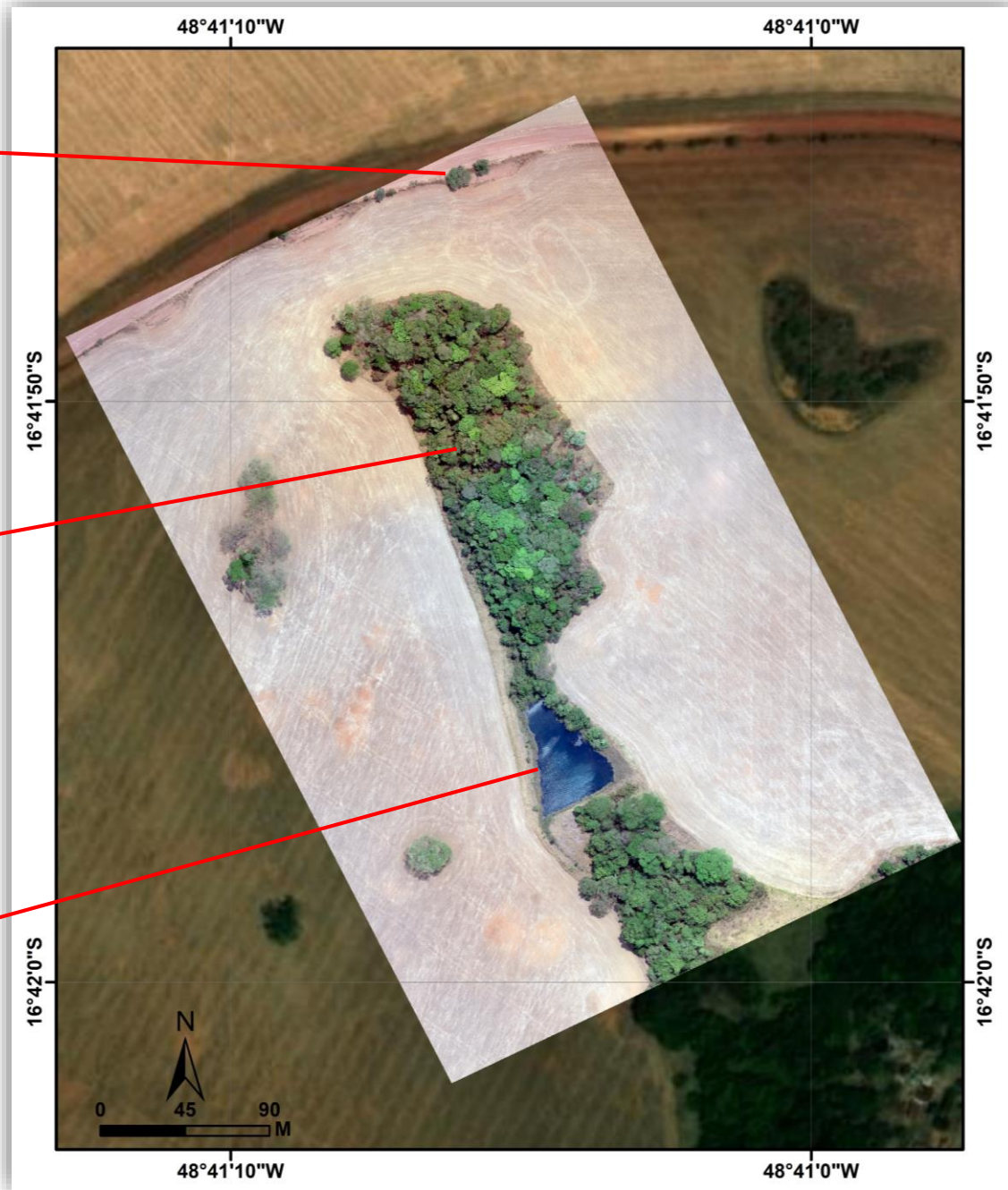
Área Queimada identificada em imagem de VANT

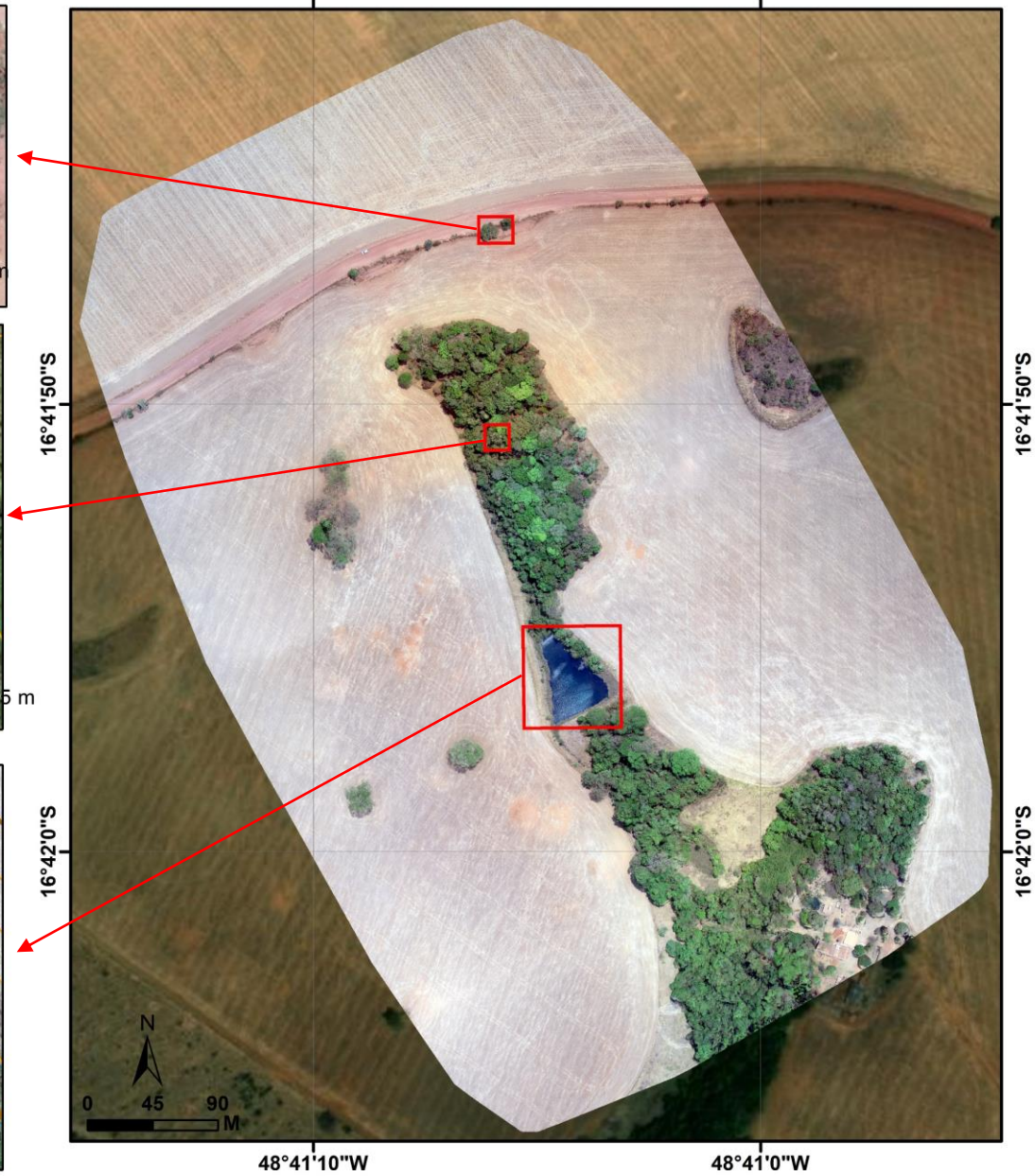
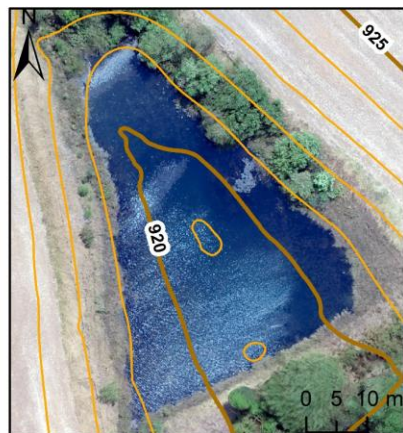
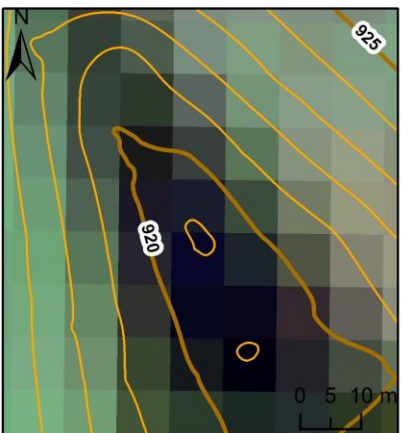
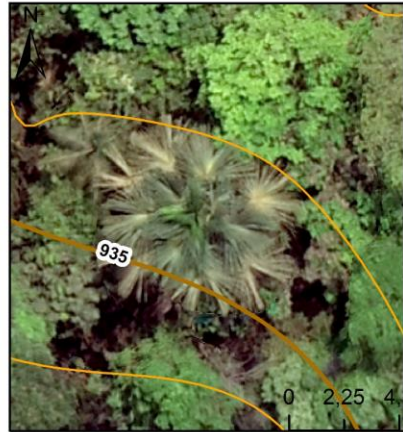
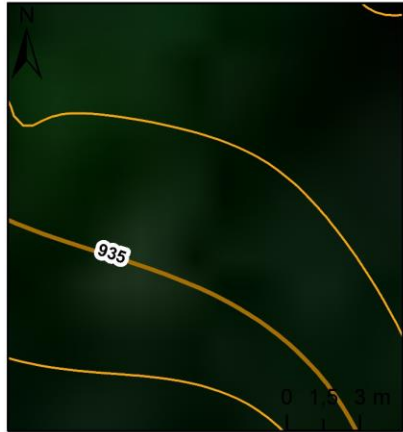
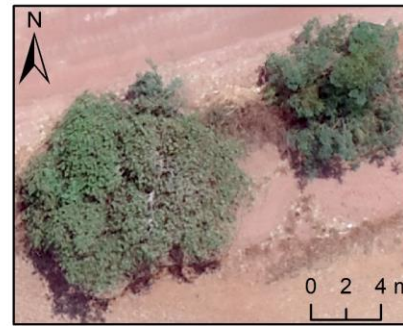
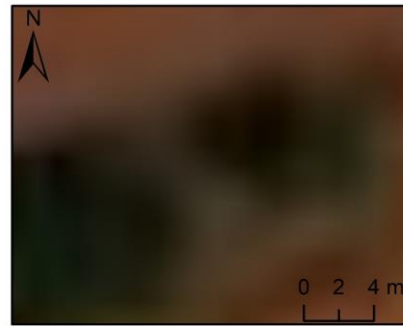
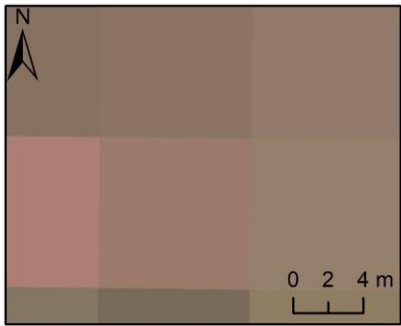


SENTINEL (10 m)

PLANET (4 m)

VANT (4,89 cm)



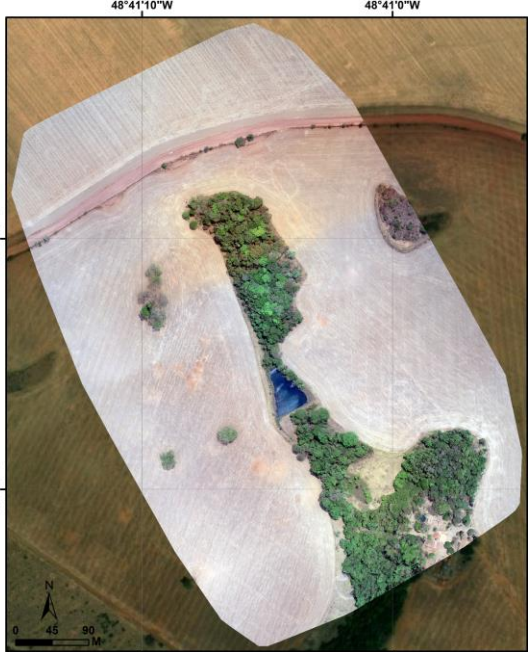


SENTINEL (10 m)

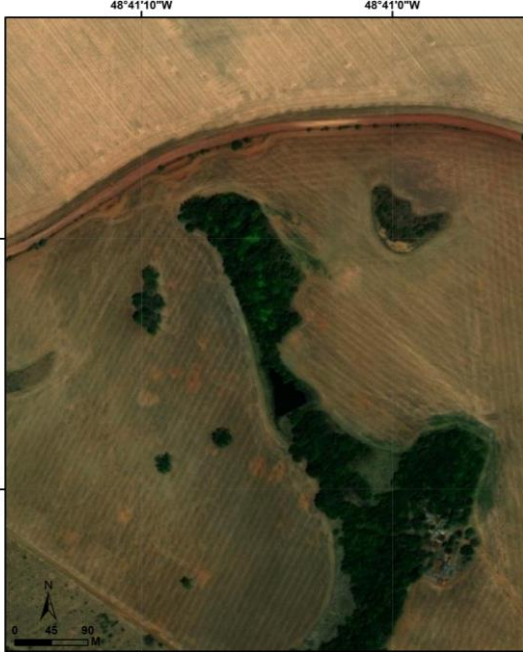
PLANET (4 m)

VANT (4,89 cm)

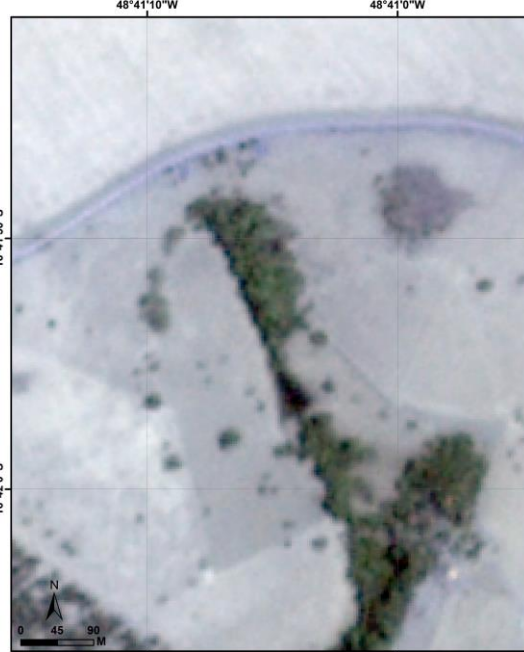
Comparação entre VANT e Satélites



VANT (4,89 cm)



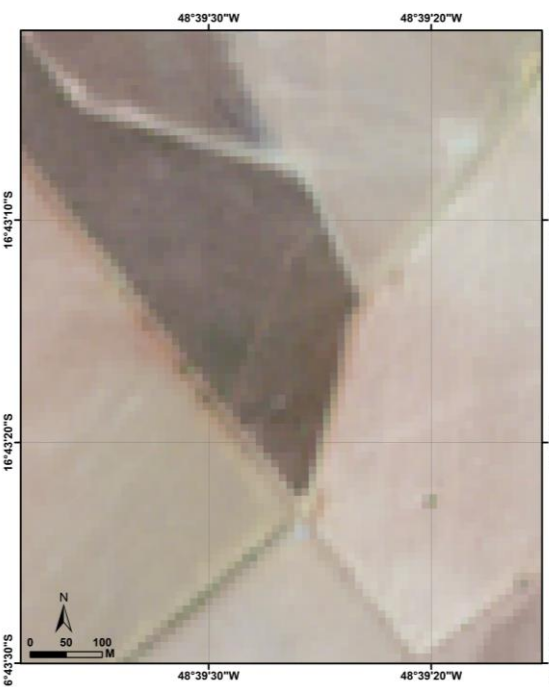
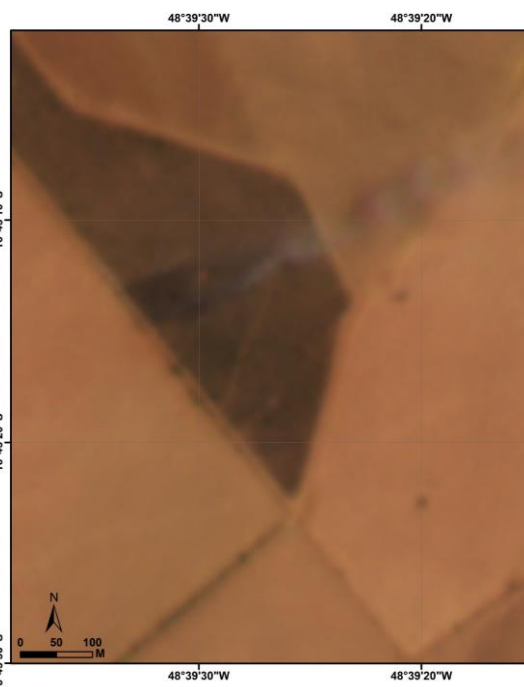
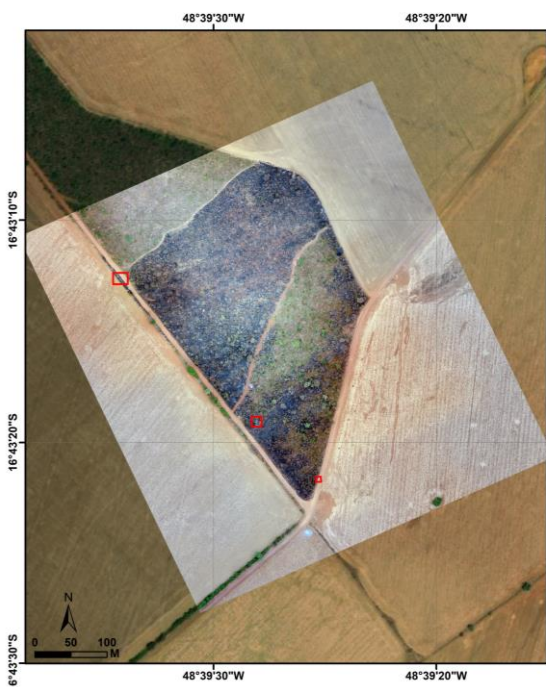
WorldView-2 (50 cm)



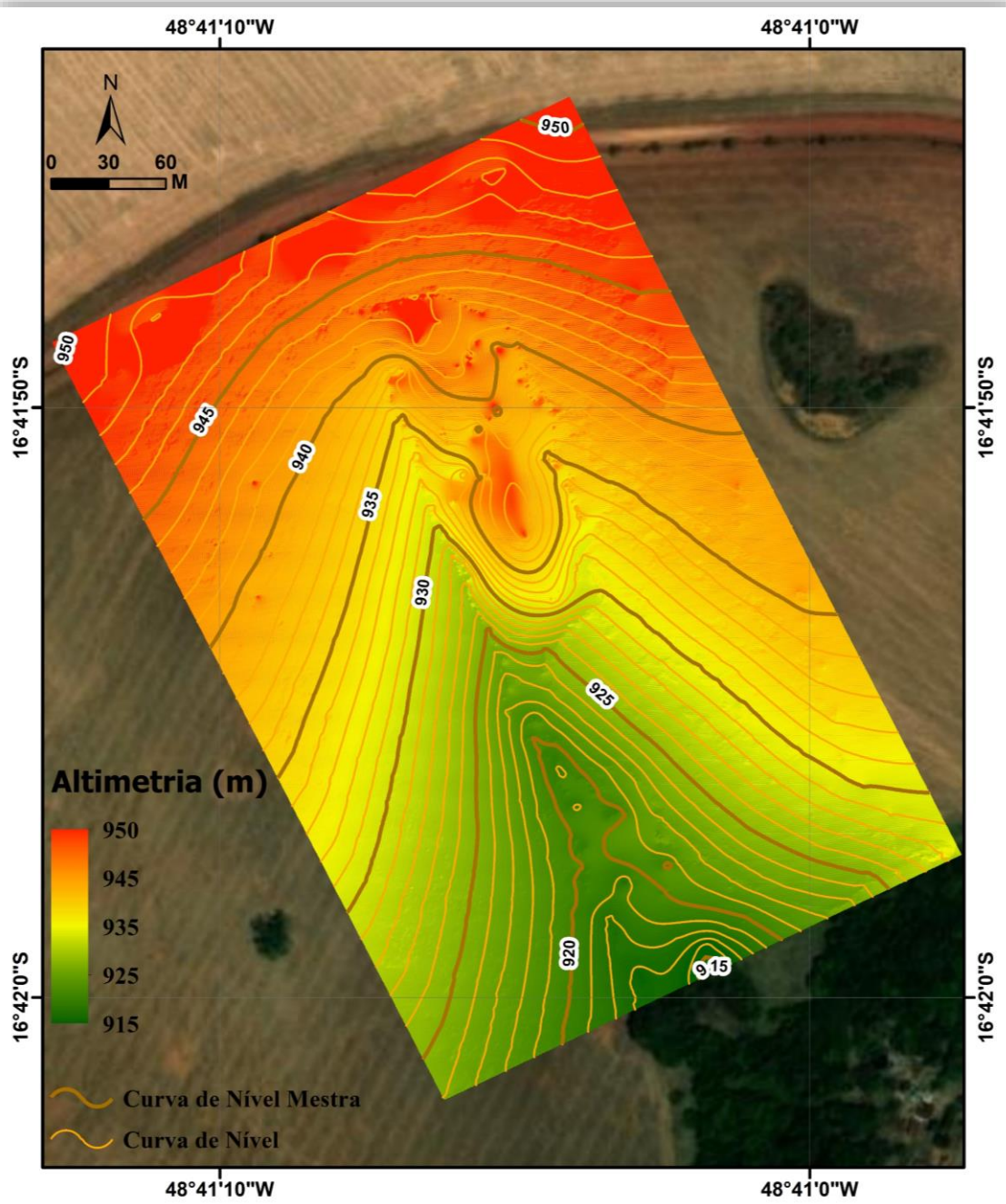
Planet (4m)



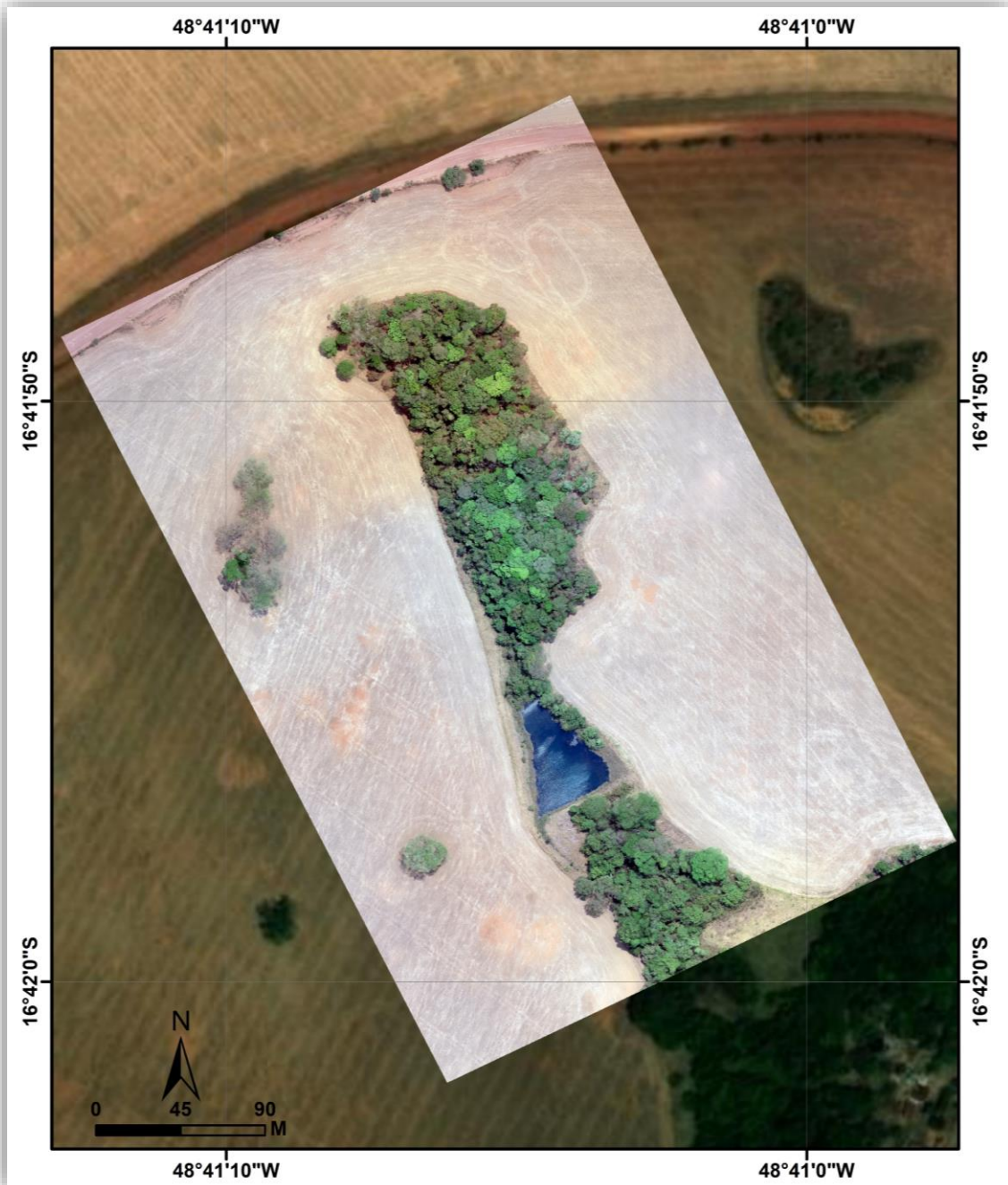
Sentinel (10m)





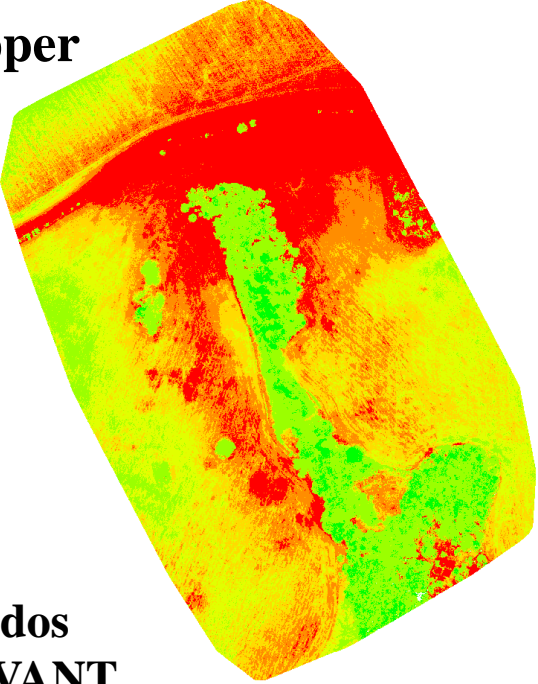


MDT

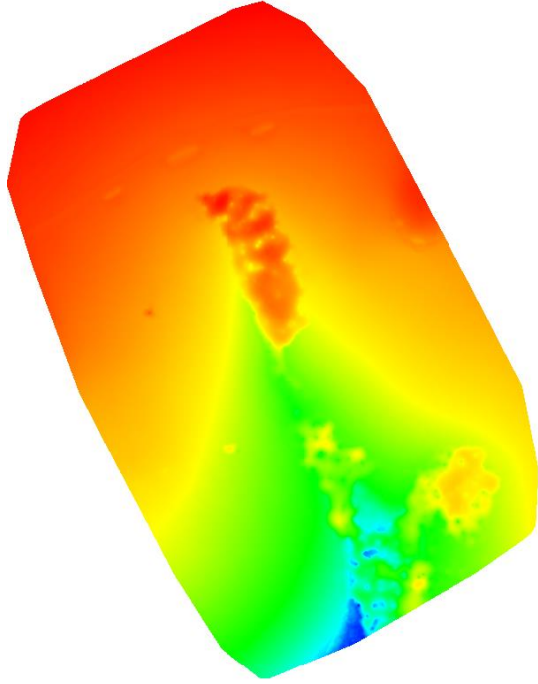


Orthomosaico

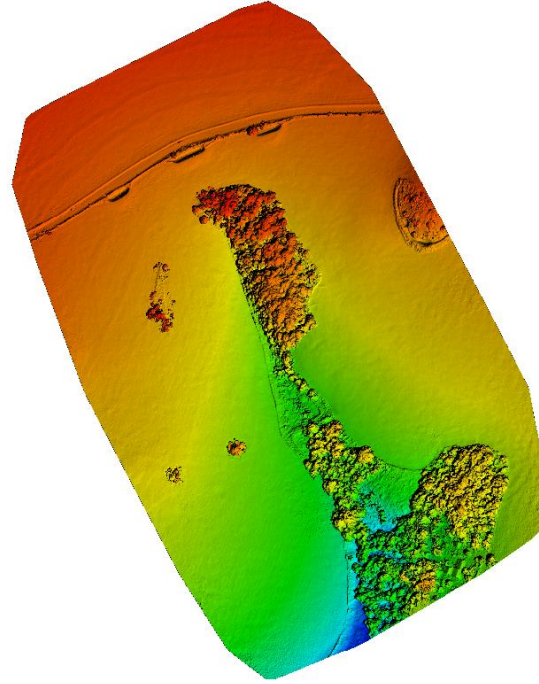
PIX4DMapper



I.V. (MPRI)



MDT



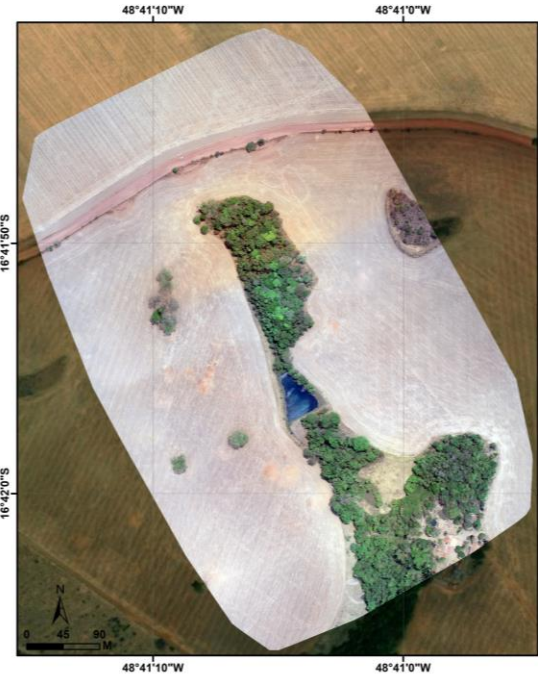
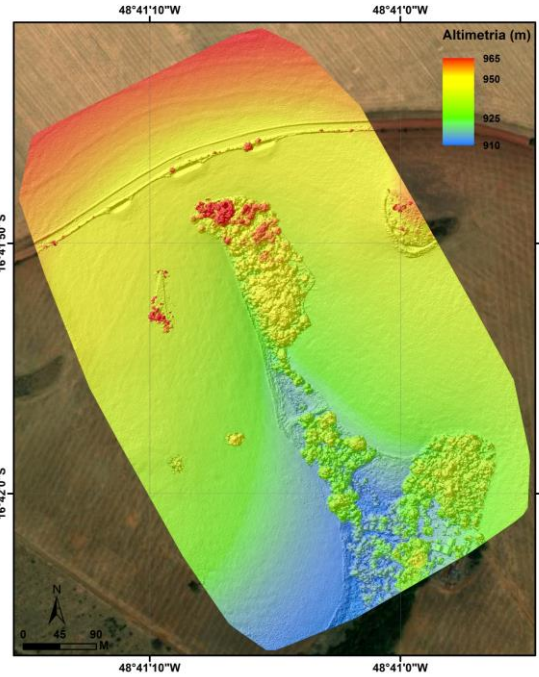
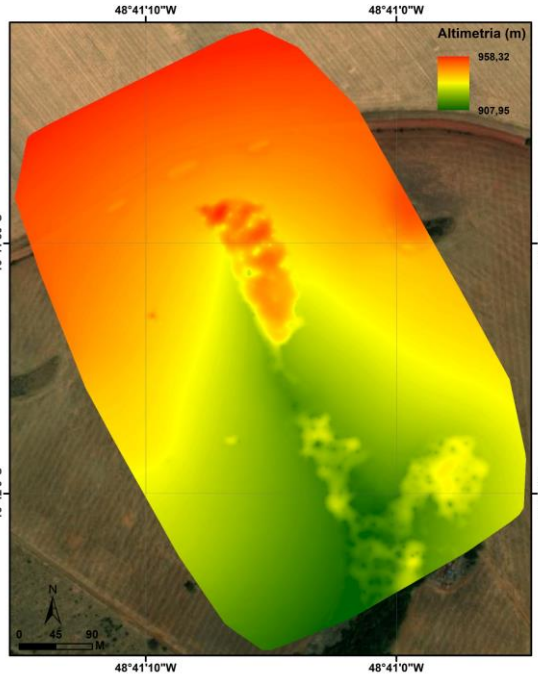
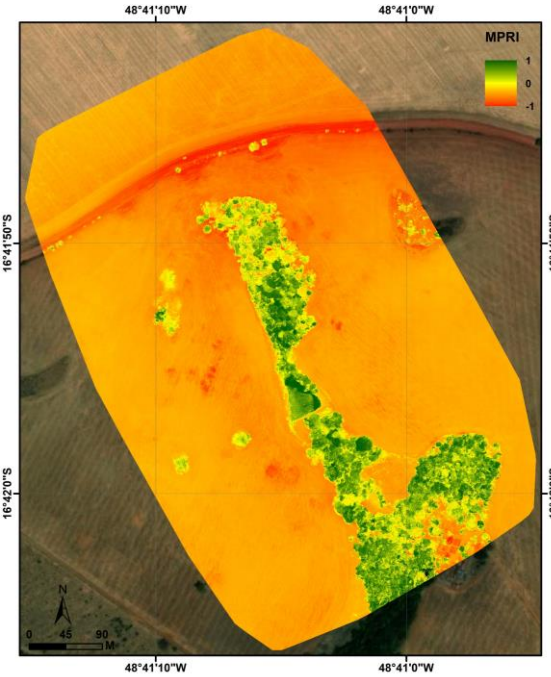
MDS

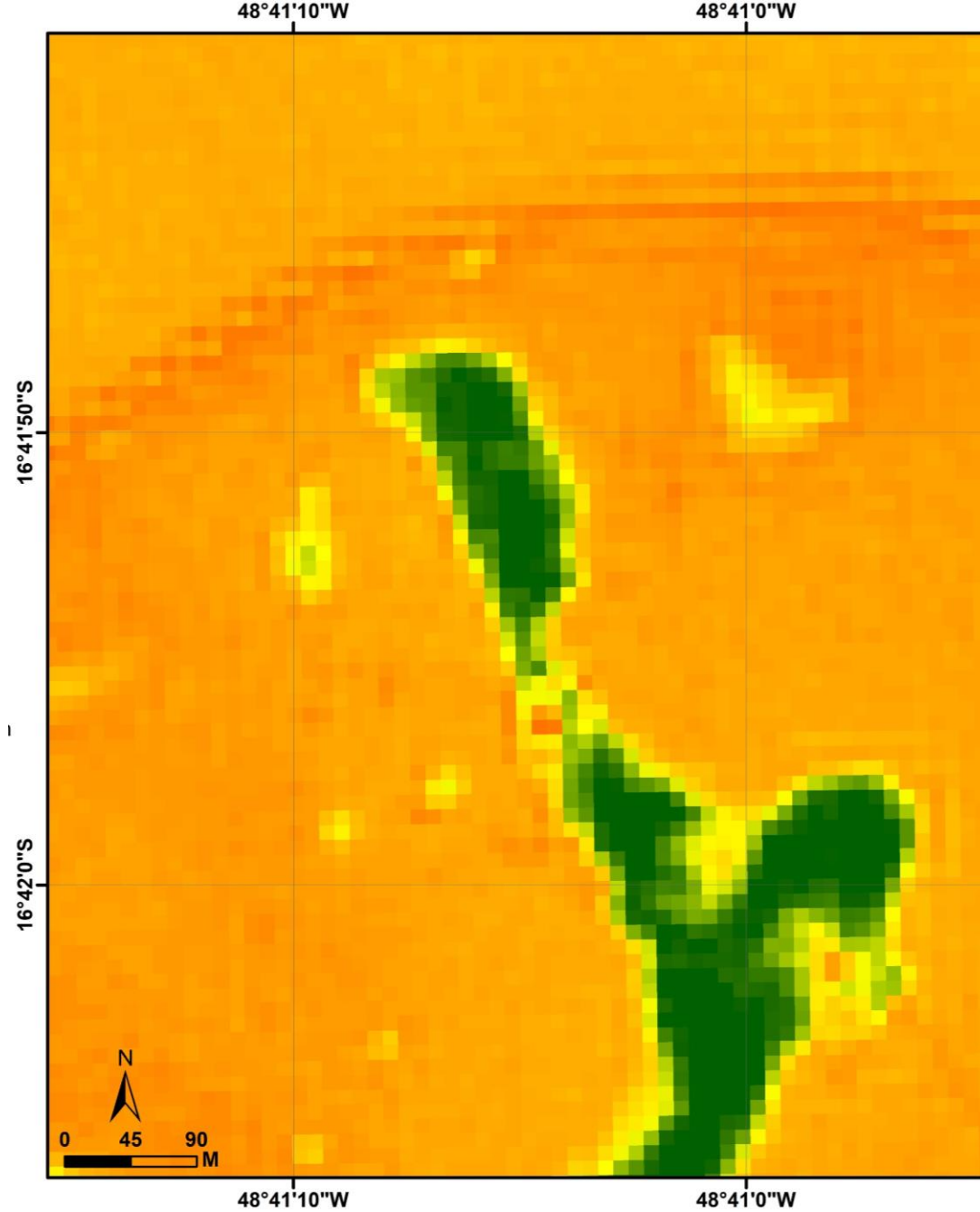


Orthomosaico

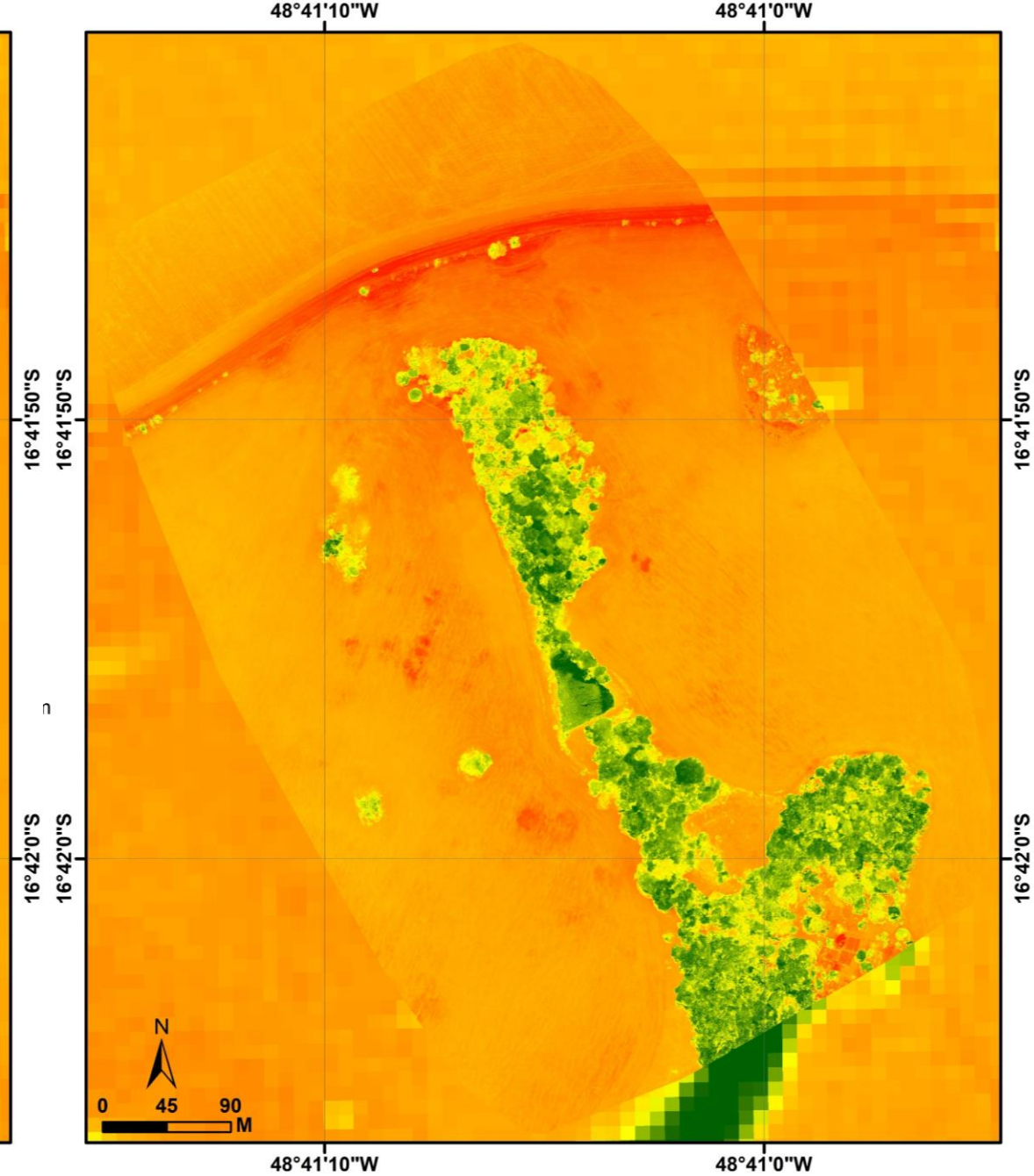
Visualização dos Produtos de VANT

Arcgis

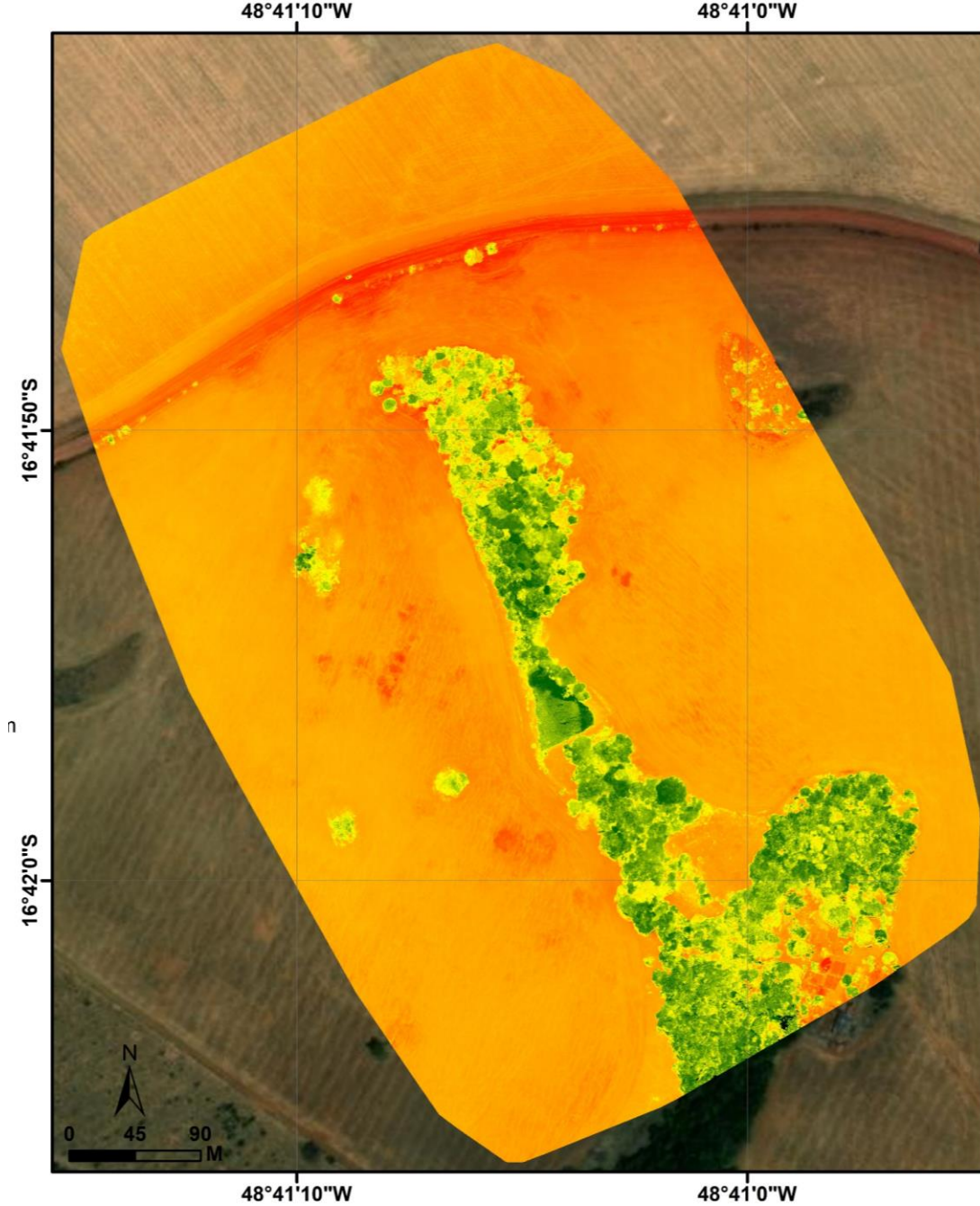




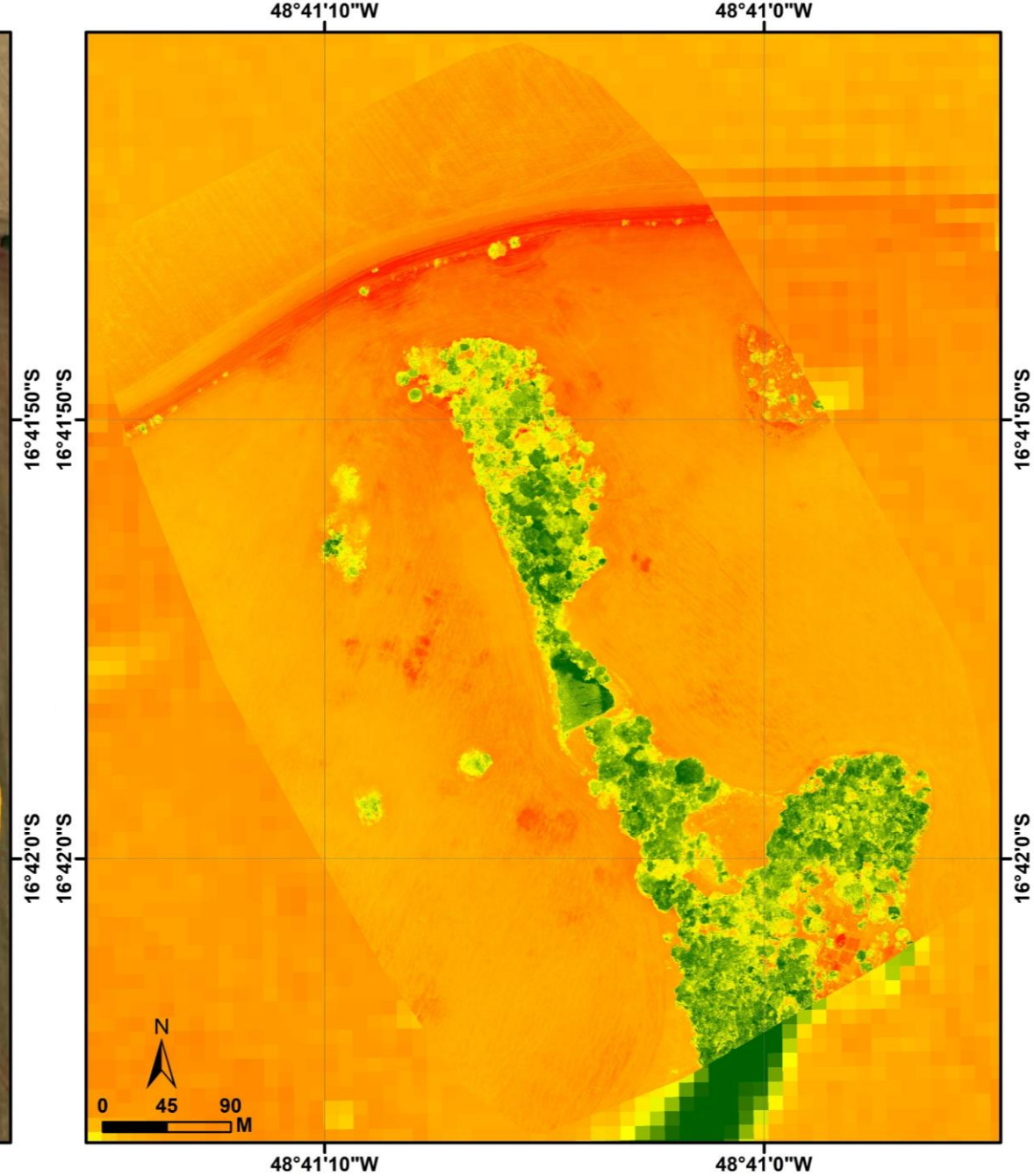
I.V. (EVI - SENTINEL)



I.V. (MPRI - VANT)



I.V. (MPRI)



I.V. (MPRI e EVI)

APÊNDICE E: FICHA DE PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA (PAR)

FICHA DE MONITORAMENTO - PROTOCOLO DE AVALIAÇÃO RÁPIDA EM BACIAS HIDROGRÁFICAS

Bacia avaliada:	Coordenada UTM:	Foto
Referência complementar:	Nº Ponto	
Data de coleta:	Hora da avaliação:	
Quando ocorreu a última chuva:		

CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MEIO FÍSICO

Litologia:	Declividade:
Geomorfologia:	Pedologia:
Bacia: () Alto curso () Médio curso () Baixo curso	

CARACTERIZAÇÃO GERAL GEOMORFOLÓGICA DO CANAL

Regime de velocidade/profundidade: () Rápido/raso () Lento/raso () Rápido/profundo () Lento/profundo

Condições de escoamento: () Ruim () Regular () Ótima () _____

Sinuosidade: () Retilíneo () Meandrante () Anastomosado () Entrelaçado

Forma do Canal: () Planície de inundação () Vale em "V" () Canal em "U"

Alteração na forma: () Represamento () Desvio () _____

Largura do canal:

CONDICÕES CATEGÓRICAS	PARÂMETROS	PONTUAÇÃO (1)		PONTUAÇÃO (2)		PONTUAÇÃO (3)	
GEOMORFOLOGIA DO CANAL	1. Deposição de sedimentos	Ruim (> 50 %) ()		Regular (< 50 %) ()		Ótimo (inexistente) ()	
	2. Pontos de estrangulamento () Dique () Terraplanagem () Assoreamento () Barragem/Aterro () Enronçamento () Canalização/Impermeabilização	Ruim (Muita alteração do curso d'Água) ()		Regular (Pouca alteração do curso d'Água) ()		Ótimo (Sem alteração do curso d'Água) ()	
	3. Estabilidades das margens () Gabião () Erosão () Escoramento () Movimento de massa () Outros	Instável ()		Intermediário ()		Estável ()	
	4. Pontos de alagamentos/inundação () Muros de contenção () Comportas () Marcas em árvores e edificações () Outros	Presença ()		Apenas Marcas ()		Não detectado ()	
	5. Cor da água	Escura ()		Clara ()		Transparente ()	
	6. Odor	Odor forte ()		Odor fraco ()		Inodor ()	
	7. Materiais flutuantes () Galhos e folhas () Lixo orgânico () Lixo inorgânico	Muito ()		Pouco ()		Sem flutuantes ()	
	8. Espumas	Muita ()		Pouco ()		Sem espuma ()	
	9. Óleos	Muito ()		Pouco ()		Sem Óleo ()	
	10. Lançamento da rede saneamento () Esgoto () Águas pluviais () Águas servidas () Efluente Industrial	Intenso ()		Intermediário ()		Não detectado ()	
USO E COBERTURA	11. Acesso ao local () Cercas () Guardas () Muros () Portões e porteiros.	Com acesso livre ()		Com acesso limitado ()		Sem acesso ()	
	12. Uso por animais no entorno (APP) () Suínos () Aves () Bovinos () Silvestres () Outros	Presença ()		Apenas Marcas ()		Não detectado ()	
	13. Uso por humanos no entorno (APP) () Chácaras () Construção residencial () Construção comercial () Construção Industrial	Presença ()		Apenas Marcas ()		Não detectado ()	
	14. Uso no canal () Irrigação () Caminhão pipa () Bombeamento () Extração de areia () Extração de argila	Intenso ()		Intermediário ()		Não detectado ()	
	15. Proteção das margens pela vegetação () Vegetação nativa () Reflorestamento () Cultivo agrícola () Pastagem () Outros	Ruim (inexistente) ()		Regular (< 50 %) ()		Ótimo (> 50 %) ()	
	16. Estado de conservação da vegetação do entorno () Vegetação nativa () Vegetação de grande porte () Vegetação exótica () Vegetação invasora	Ruim (inexistente) ()		Regular (< 50 %) ()		Ótimo (> 50 %) ()	
	17. Lixo ao redor () Lançados ao acaso () Depósito de entulhos () Restos de varrição pública () Descarte de lixo doméstico () Descarte orgânico () Outros	Muito ()		Pouco ()		Sem lixo ()	

PONTUAÇÃO TOTAL

() Entre 45 e 51 pontos () Entre 38 e 44 pontos () Entre 31 e 37 pontos () Entre 24 e 30 pontos () Abaixo de 24 pontos

A	Muito Alta	B	Alta	C	Moderada	D	Baixa	E	Muito Baixa
----------	-------------------	----------	-------------	----------	-----------------	----------	--------------	----------	--------------------

OBSERVAÇÃO:	CROQUI
-------------	--------

FOTO ANEXO 01		
----------------------	--	--

1.1	1.2	1.3
1.4	1.5	1.6
1.7	1.8	1.9
1.10	1.11	1.12