



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

**CLEBERSON RIBEIRO DE JESUZ**

**ANÁLISE HIDRO-PEDOLÓGICA COM MULTISENsoRES EMBARCADOS  
EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS PARA VERTENTES DO  
CERRADO MATO-GROSSENSE**

GOIÂNIA - GO  
2019



**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO 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 nº 9610/98, 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.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      Dissertação      Tese

**2. Identificação da Tese ou Dissertação:**

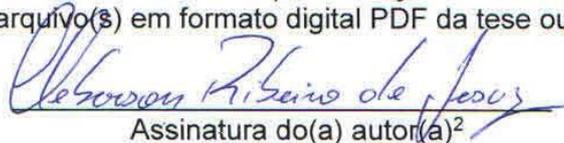
Nome completo do autor: Cleberson Ribeiro de Jesus

Título do trabalho: ANÁLISE HIDRO-PEDOLÓGICA COM MULTISENORES EMBARCADOS EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS PARA VERTENTES DO CERRADO MATO-GROSSENSE.

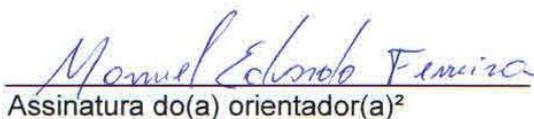
**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  SIM      NÃO<sup>1</sup>

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

  
Assinatura do(a) autor(a)<sup>2</sup>

Ciente e de acordo:

  
Assinatura do(a) orientador(a)<sup>2</sup>

Data: 23 / 04 / 2019

<sup>1</sup> Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. A extensão deste prazo suscita justificativa junto à coordenação do curso. Os dados do documento não serão disponibilizados 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.

<sup>2</sup> A assinatura deve ser escaneada.

**CLEBERSON RIBEIRO DE JESUZ**

**ANÁLISE HIDRO-PEDOLÓGICA COM MULTISENORES EMBARCADOS  
EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS PARA VERTENTES DO  
CERRADO MATO-GROSSENSE**

Tese apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Socioambientais, da Universidade Federal de Goiás, como requisito para a obtenção do título de Doutor em Geografia. Área de concentração: Análise Ambiental e Tratamento da Informação Geográfica.

**Orientador:** Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira.

**Co-orientador:** Prof. Dr. Peter Zeilhofer

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

Ribeiro de Jesus, Cleberson  
ANÁLISE HIDRO-PEDOLÓGICA COM MULTISENORES  
EMBARCADOS EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS  
PARA VERTENTES DO CERRADO MATO-GROSSENSE  
[manuscrito] / Cleberson Ribeiro de Jesus. - 2019.  
223, f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira; co-orientador Dr. Peter Zeilhofer.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Estudos Socioambientais (Iesa), Programa de Pós-Graduação em Geografia, Goiânia, 2019.

Bibliografia.

Inclui siglas, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.

1. Análise sistêmica. 2. Sensoriamento Remoto. 3. Multisensores. 4. Cerrado. I. Eduardo Ferreira, Manuel, orient. II. Título.

CDU 911



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
INSTITUTO DE ESTUDOS SOCIOAMBIENTAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: NATUREZA E PRODUÇÃO DO ESPAÇO

**ATA DA SESSÃO PÚBLICA DE JULGAMENTO DA DEFESA DE TESE DE DOUTORADO DE  
CLEBERSON RIBEIRO DE JESUZ**

Aos 29 dias do mês de março do ano de dois mil e dezenove (2019), a partir das 14h, no Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás, teve lugar a sessão de julgamento da Tese de Doutorado de **CLEBERSON RIBEIRO DE JESUZ** intitulada: "ANÁLISE HIDRO-PEDOLÓGICA COM MULTISENsoRES EMBARCADOS EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS PARA VERTENTES DO CERRADO MATOGROSSENSE". A Banca Examinadora foi composta, conforme portaria n.º 029/2019 da Diretoria do IESA, pelos seguintes Professores Doutores: **Manuel Eduardo Ferreira** (Orientador), **Cláudia Valéria de Lima** (Membro Titular Interno), **Maximiliano Bayer** (Membro Titular Interno), **Ivaniza de Lourdes Lazzarotto Cabral** (Membro Titular Externo) e **Alaerson Maia Geraldine** (Membro Titular Externo). Os examinadores arguíram na ordem citada, tendo o candidato respondido satisfatoriamente. Às 17:05 horas a Banca Examinadora passou a julgamento, em sessão secreta, tendo o candidato obtido os seguintes resultados:

**Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira (Presidente) – Ass.** Manuel Eduardo Ferreira

Aprovado (X) Reprovado ( )

**Profa. Dra. Cláudia Valéria de Lima – Ass.** Cláudia Valéria de Lima

Aprovado (X) Reprovado ( )

**Prof. Dr. Maximiliano Bayer – Ass.** Maximiliano Bayer

Aprovado (X) Reprovado ( )

**Profa. Dra. Ivaniza de Lourdes Lazzarotto Cabral – Ass.** Ivaniza de Lourdes Cabral

Aprovado (X) Reprovado ( )

**Prof. Dr. Alaerson Maia Geraldine – Ass.** Alaerson Maia Geraldine

Aprovado (X) Reprovado ( )

**Resultado final:** Aprovado (X) Reprovado ( )

**Houve alteração no Título?** Sim ( ) Não (X)

Em caso afirmativo, especifique o novo título: \_\_\_\_\_

Outras observações: \_\_\_\_\_

Reaberta a Sessão Pública, a presidência da Banca Examinadora proclamou o resultado e encerrou a sessão, da qual foi lavrada a presente ata, que segue assinada pelos membros da Banca e pela Secretária do Programa de Pós-Graduação em Geografia.

Secretaria..... Luana de Castro

**Luana de Castro Amorim**  
Assistente em Administração  
Instituto de Estudos Sócio Ambientais  
Matrícula: 2357313



Programa de Pós-Graduação em Geografia - PPGeo  
Rua: Jacarandá, Qd. D, Campus Samambaia. IESA, Sala A-07, CEP 74.690-900 Goiânia-GO), Brasil.  
Fone: (62) 3521-1184 ramal 202/203/204 - <http://posgeo.iesa.ufg.br/>

## AGRADECIMENTOS

Iniciar os agradecimentos de um trabalho tão árduo e importante é uma tarefa complexa e cautelosa, pois não se deseja de modo algum esquecer daqueles que, por diversos motivos, estiveram presentes nessa jornada acadêmica.

Assim, meus primeiros e dedicados agradecimentos vão para a minha família, onde minha esposa e amor da minha vida, Ingrid, passando pela mesma situação estressante de um doutorado, permaneceu ao meu lado, lutando, argumentando e ajudando em tudo que foi possível, e neste percurso fomos agraciados com uma sementinha do amor puro, nossa filha, Sara, amor incondicional e eterno...

Aos meus pais, Maria Colombo (mulher guerreira, de fibra e de amor incondicional) e João Ribeiro, à minha segunda mãe e sogra, Ana Rita (mulher aguerrida e amorosa), ao meu avô e minhas vovós, que nesse caminho passaram por momentos turbulentos, mas superaram as lutas, Gabriel, Antônia e Joilce (Coca). E, não menos importante, agradeço aos meus sobrinhos (Gustavo, Ana, Davi, Teo e meu afilhado Kadu, assim como Maria Heloisa que está a caminho), irmãos (Matheus e **Elizeu – in memoriam –, retirado de nossas vidas de forma brutal, vítima da doença social que se espalha em nosso mundo tão hipócrita**), cunhadas (Marrie, Luana e Pamela) e meus concunhados (Marcel, e meu compadre, Hernandez).

Agradeço muito a nossa família goiana, que em tantas oportunidades esteve ao nosso lado, Ju, Paulo, Barbára e Leonardo, meu muito obrigado por permitirem minha vivência em sua família, que agora é nossa.

Agradeço aos meus grandes amigos e profissionais de luta, Ugeda, Silvinha Cantóia, Francisco de Assis, Ivaniza Cabral, Rogério Junqueira e Gabriel Veloso, pela ajuda incondicional e amizade inesquecível em todos os momentos deste trabalho, e da vida em geral no PPGEIO.

Como agradecimento especial, devido a todo empenho, sofrimento, horas de trabalho intensas, e muita discussão em campo, laboratório e no dia a dia, dedico aos meus amigos, Roberto Vianconi Nunes e Robson Pereira.

Agradeço ao Cristiano Martinotto, Oscar Iván De Oro Aguado, João Córtez, João Vitor, Leomar Rufino, Gilson Lima, Marcel Medina e Pedro Alencar, profissionais de qualidade e eficiência, onde sem eles não haveria essa pesquisa, pois em muitos momentos foram decisivos ao avanço e finalização deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, o prof. Manuel Eduardo Ferreira, pela sua paciência e confiança depositada a mim e ao trabalho, que mesmo com a distância física, fez de tudo para podermos finalizar essa pesquisa com rigor e coesão. De fato, se mostrou um grande ser humano ético, profissional e humano.

Assim, em tempo, agradeço ao meu co-orientador, Peter Zeilhofer, pelo apoio e a ajuda indispensável em minha formação como pesquisador, sendo acima de tudo exemplo de lisura profissional, e grande amigo ao longo desses anos.

Agradeço muito ao professor Fernando Ximenes de Tavares Salomão, pessoa muito sábia, e de uma ajuda inesquecível, apoiando e construindo discussões de riqueza ímpar.

Agradeço aos professores Maximiliano Bayer e Cláudia Valéria de Lima, por apresentarem na qualificação grandes contribuições e bons debates, e aceitarem o desafio de ver o andamento e discussões na defesa dessa tese. Assim como, os professores Ivaniza de Lourdes Lazzarotto Cabrale Alaerson Maia Garbeline, por comporem a banca de defesa, propiciando um momento ímpar de arguição e comentários extremamente pertinentes ao crescimento da ciência.

Agradeço aos Srs. Jeferson, Jon Tobiano e Rubens Fernandes, proprietários das fazendas onde fora realizado essa pesquisa, que nos apoiaram e auxiliaram no possível; meus sinceros agradecimentos.

Agradeço aos colegas e geógrafos Jepherson Sales, Emerson (Perds), Aparecida de Fátima (Cidinha), Rodrigo Takata, Fernando Silva, Carolinne Durks, Keliton Santos, Leandro Parrága, pessoas que trabalharam arduamente em muitas etapas dessa pesquisa, onde sem elas não teria alcançado sua conclusão.

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), agência do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (MCTIC), e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, da Universidade Federal de Goiás – PPGeo/IESA/UFG, assim como ao Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LAPIG, pelo apoio com bolsa de pesquisa (no primeiro ano) e todo o suporte à realização da pesquisa, até a sua finalização.

Agradeço ao Departamento de Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso, pela minha liberação e apoio prestado na etapa de finalização da pesquisa.

Agradeço ao Laboratório GEOTEC, vinculado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – Campus Cuiabá Cel. Octayde Jorge da Silva,

que sempre apoiou, via pesquisadores e estudantes associados, o uso e emprego de seus equipamentos, com expertise técnica para execução desta pesquisa.

Agradeço ao **L.A.M.U.T.A.** (Laboratório Multi-Usuário em Técnicas Analíticas), em nome do Prof. Rogério Junqueira Prado, que gentilmente forneceu as análises químicas dos materiais colhidos em campo, e provocou reflexões tão necessárias a concretização da pesquisa.

Por fim, e não menos importante, agradeço a toda sociedade brasileira, diretamente responsável pela construção dessa pesquisa, ao ser o esteio de todos os investimentos e estrutura da base pública utilizada; espero ter cumprido meu objetivo por vocês.

## TRAJETÓRIA ACADÊMICA E PROFISSIONAL

O começo de toda vida cidadã e profissional é iniciada nos ensinamentos de casa, onde minha mãe, analfabeta, e meu pai, com ensino fundamental incompleto (antiga 5ª série), me proporcionaram as melhores oportunidades que podiam na conjuntura do momento, o que não foi pouco... Isso inclui, obviamente, todo o esforço para garantir alimento e abrigo, e me acompanhar no desenvolvimento das séries que se sucediam.

Minha vida de “escola” começa com a profa. Terezinha, em meu prezinho 2, na escola estadual Dep. Gonçalo Botelho de Campos, onde por sinal concluí todo meu ensino fundamental, onde também fui apresentado aos mais diversos professores e profissionais, os quais inspiraram meus devaneios. No primeiro ano do ensino médio, fui transferido para a escola estadual Profª. Elmaz Gattas Monteiro, e no ano seguinte, já no segundo ano do ensino médio, para a escola Profª. Adalgisa de Barros. Por meio de um processo seletivo para alunos de baixa renda, ingressei no terceiro ano do ensino médio no Colégio Salesiano São Gonçalo, e assim concluí meus anos iniciais de formação.

Cabe ressaltar que, o mais valioso dessa trajetória inicial foi o ensino público e gratuito, que para um ser carente de recursos financeiros, como sempre fui, foi um privilégio ter alcançado meu ensino superior.

Nos anos entre 2007 e 2010, cursei Geografia Plena no Departamento de Geografia, da Universidade Federal de Mato Grosso, campus Cuiabá, alcançando o título de licenciado em Geografia; e, em 2011, finalizei o curso de Bacharelado em Geografia, com a monografia “*O solo como um dos fatores base no desempenho de assentamentos rurais: estudo de caso do assentamento rural Terra Forte em Campo Verde – MT*”. Nesse período de graduação, entre os anos de 2009 e 2010, fui bolsista PIBIC, orientado pela Profª. Dra. Ivaniza de Lourdes Lazzarotto Cabral.

Ainda em 2011, comecei a atuar na rede de ensino privada e pública, ministrando aulas nas escolas do município de Cuiabá, e fazendo parte do quadro de docentes do Cuiabá-VEST, iniciativa da prefeitura municipal, para disponibilização de cursinhos pré-vestibular gratuito. Essas experiências foram transformadoras e marcantes na minha carreira, pois delas derivam a angústia de ser professor interino, do medo da formação de mentes críticas, e tantas outras situações.

No ano seguinte, em 2012, continuei a trabalhar na rede pública de ensino do estado de Mato Grosso, como professor interino; no fim deste mesmo ano, realizei processo seletivo para o Curso de Mestrado em Geografia, do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFMT, sendo meu ingresso no primeiro semestre de 2013, onde, sob orientação da Prof<sup>a</sup>. Dra. Ivaniza de Lourdes Lazzarotto Cabral, finalizei minha dissertação de mestrado, no mês de novembro de 2014, com o título “*Estudo geomorfológico e a análise dos processos de erosão mecânica na bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral – MT*”; ainda no começo do ano de 2014, ingressei via processo seletivo no quadro de professores substitutos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, campus Cuiabá/Bela Vista.

No ano de 2015 ingressei, via processo seletivo, no Doutorado em Geografia, do Programa de Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás, sob orientação do Prof. Dr. Manuel Eduardo Ferreira, sendo contemplado com uma bolsa de doutoramento do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por um período de 07 meses, quando saiu minha convocação para o concurso do quadro efetivo de docentes da Universidade Federal de Mato Grosso, como lotação no Departamento de Geografia, campus Cuiabá.

No período de 2015 a 2018, ingressei em projetos de pesquisa com abordagens amplas e de fortalecimento da ciência, entre os quais se destacam “*Veículo aerotransportado não-tripulado multi-rotor e sensoriamento remoto multi-sensorial para monitoramento de doenças e desequilíbrios nutricionais na cultura de algodão em Mato Grosso*”, coordenado pelo prof. Me. Roberto Nunes Vianconi Souto – IFMT, “*Simulação baseada em processos da qualidade de água no sistema Planalto-Pantanal, subsidiada por rede de monitoramento multifuncional de alta resolução temporal*”, coordenado pelo prof. Dr. Peter Zeilhofer – UFMT, e “*A Morfodinâmica no Planalto e Chapada dos Guimarães: Uma análise para estabelecer os locais de ocorrência dos Neossolos Quartzarênicos e dos Processos de Arenização*”, coordenado pela profa. Dra. Ivaniza de Lourdes Lazzarotto Cabral.

Finalmente, em 2019, defendo a minha tese de doutorado, intitulada “**ANÁLISE HIDRO-PEDOLÓGICA COM MULTISENORES EMBARCADOS EM AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS PARA VERTENTES DO**

***CERRADO MATO-GROSSENSE***”, sob orientação do Prof. Dr Manuel Eduardo Ferreira, e co-orientação do Prof. Dr. Peter Zeilhofer, significando um grande avanço em minha formação acadêmico-profissional.

## RESUMO

Os processos hidro-pedológicos e geomorfológicos atuam fortemente nas relações ambientais, em diversas paisagens e escalas espaciais. Assim, na escala de vertentes, suas ações são ainda mais destacadas, possibilitando análises densas e com amplas possibilidades de abordagens pela ciência. Tal amplitude de abordagens nessa relação sistêmica entre relevo, solo e água deve-se ao emprego de recentes técnicas e métodos somados ao levantamento de informações *in situ*, com destaque ao sensoriamento remoto, especialmente àquele realizado por Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPA. A presente pesquisa objetivou analisar o emprego de multisensores embarcados em RPA na espacialização de características hidro-pedológicas em escala de vertentes para áreas do Cerrado. Mais especificamente, buscou-se avaliar as características geomorfológicas, hídricas e pedológicas de vertentes em áreas com vegetação nativa, agricultura e pastagem, a partir de um desenho experimental exclusivo, empregando-se diferentes tipos de RPA (asa-fixa e multi-rotor) na produção de material cartográfico das determinantes morfométricas. Outro interesse foi o de examinar os dados obtidos com diferentes sensores (multiespectral e termal), para, então, se diagnosticar os padrões hidro-pedológicos dessas vertentes. A metodologia foi dividida em três pilares. O primeiro consistiu num levantamento denso sobre o estado da arte desses ambientes no Cerrado, associado com atividades em gabinete (planejamento para as etapas posteriores). No segundo momento, foram realizadas atividades de campo, com escolha de pontos amostrais, coletas de dados *in situ*, sobrevoos com os RPA embarcados com respectivos sensores, em dois estágios: no mês de março de 2018, para o ciclo hidrológico de maior pluviosidade, e em setembro de 2018, para o ciclo de menor pluviosidade. A terceira fase metodológica consistiu nas análises dos dados em laboratório, concentrando-se nas análises hidro-pedológicas dos materiais coletados em campo. Como resultado dessa articulação metodológica e resposta aos objetivos, têm-se um desenho experimental das vertentes estudadas em escala de ultra-detalle (centimétrica) por meio de voos com RPA e processamentos das imagens geradas; tal levantamento possibilitou a compreensão da geomorfologia presente na área de estudo, viabilizando o entendimento do colo topográfico e das áreas de surgência da laterita, material controlador da dinâmica hídrica das vertentes. As amostras de solos apontam que a maioria da granulometria encontrada é de areias, sendo em maior quantidade a de textura média, fator que corrobora para maior presença da sílica. Outro elemento químico predominante é a alumina, relacionada aos siltes dispostos na vertente. A leitura desses dados permitiu afirmar que a dinâmica de infiltração da água na vertente com pecuária é maior e mais controlada pela surgência da laterita de terço inferior. Enquanto isso, na vertente com agricultura, a dinâmica de infiltração é menor, mais estável e homogênea no transcorrer do perfil. Os valores de umidade coletados apresentam boa dispersão para as vertentes, com diferenças mais acentuadas para a que apresenta o uso pecuário, o qual relaciona-se ao depósito de laterita. Os dados produzidos pelos levantamentos com os sensores imageadores multiespectral e termal apresentam grande avanço na obtenção de parâmetros biofísicos e hidro-pedológicos de vertentes no Cerrado, com a possibilidade de correlação desses valores por meio de índices espectrais – NDVI/NDWI, que permitiram compreender o comportamento dessas dinâmicas no transcorrer das vertentes, e que, estatisticamente, se comprovam ser eficientes na predição dessas grandezas. Os dados termais correlacionam-se diretamente com a dispersão do teor de umidade na superfície, sendo de maior importância na avaliação da dispersão de água no terreno (coleta de umidade gravimétrica), atuando como preditor de teores de umidade (indo além dos pontos amostrados), apontando

grande eficiência na análise e validação dos dados *in situ*. Dessa forma, os objetivos propostos foram respondidos, com a validação das hipóteses propostas, apontando para uma nova forma de análise hidro-pedológica para vertentes, em especial para áreas no Cerrado Mato-grossense.

**Palavras-chave:** Análise sistêmica, Sensoriamento Remoto, Multisensores, Cerrado

## ABSTRACT

The hydro-pedological and geomorphological processes act in the same environmental conditions, in diverse landscapes and spatial scales. Thus, in the scale of strands, its actions are even more outstanding, allowing to expand and expand the possibilities of planning by science. Such an amplitude is a systemic relationship between relief, soil and water, due to the use of advanced techniques and methods added to the in situ information collection, with special emphasis on remote sensing, especially for the realization of Remotely Piloted Aircraft - RPA. A research present aimed at the use of multisensors embedded in RPA in the spatialization of hydro-pedological characteristics in slope scale for the areas of the Cerrado biome. More loans were sought as geomorphological, water and pedological duties in areas with native vegetation, agriculture and pasture, from an original experimental design, using different types of RPA (fixed-wing and multi-rotor) in the production of cartographic material of the morphometric determinants. Another interest was the examination of data of the type with different sensors (multispectral and thermal), to then diagnose the hydro-pedological patterns of the slopes. The metadata was divided into three pillars. The first consisted of leveduating densus in the state of the Cerrado, associated with activities in posterior (mapping to aspos later); Without a deadline in field activities, with the choice of sampling points, data collection in situ, overflying the RPAs embarked with the sensors, in two stages: in March 2018, for the hydrological cycle of greater rainfall, and in September 2018, for the cycle of lower rainfall. The initial phase of the methodology consisted of analyzing the data in the laboratory, concentrating on the hydro-pedological data analysis of the materials collected in the field. As a result of the methodological articulation and the search for the objectives, they have been shown as experimental results of the strands studied in ultra-detail scale (centimetric) by means of flight with RPAs and processed images; This study is the treatment of the top of study and the areas of emergence to later, the physical control of the hydrology of slopes. Larger number of blood samples, being larger in the analysis of the mean, are more important for the presence of the chemical element of silica. Another predominant chemical element is an alumina, associated with the ready-made silts on the slope. The earlier date was more important and controlled by the afternoon water surgery. Meanwhile, in the field of agriculture, the infiltration dynamics is smaller, more stable and homogeneous in the transverse of the profile. The values of humidity should be in good dispersion for the slopes, with the most pronounced differences for what is the pecury, which relates to the laterite deposit. The data were the surveys with multispectral and thermal imagers of great advancement in the series of biophysical and hydro-pedological parameters of unconcerned vertigo, with the possibility of distancing from the means of spectral indices - NDVI / NDWI, that allowed from the performance of the performance of greatness. The data are directly correlated with the dispersion of water content on the surface, acting as a predictor of moisture content (going beyond the points sampled), high speed report and validation of the data in situ. Thus, the proposed objectives were answered, with the validation of the proposed hypotheses, directed to a new form of hydro-pedological analysis for slopes, especially for the areas in the Cerrado of Mato Grosso.

**Key words:** Systemic analysis, Remote sensing, Multisensors, Brazilian Cerrado

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Representação esquemática de uma situação geral de medição termográfica.....	56
<b>Figura 2:</b> Detalhamento da faixa do espectro eletromagnético do infravermelho termal.....	57
<b>Figura 3:</b> Classificação dos sistemas sensores quanto à categoria, tipo de produto e fonte de radiação.....	58
<b>Figura 4:</b> Localização das vertentes analisadas, e a disposição das trincheiras em Campo Verde – MT.....	66
<b>Figura 5:</b> Distribuição da litoestratigrafia nas vertentes analisadas.....	67
<b>Figura 6:</b> Distribuição espacial do uso e ocupação da terra da área analisada.	72
<b>Figura 7:</b> a) RPA Swinglet CAM; b) RPA Phantom 4; c) RPA Matrice 600 Pro; e d) Ebee Plus RTK.....	74
<b>Figura 8:</b> Mosaico dos 10 planos de voos com recobrimento de imagens geradas das vertentes analisadas e o Modelo Digital de Superfície – MDS de 10 cm, criado através dos processamentos das imagens do Swinglet CAM.....	75
<b>Figura 9:</b> Número de fotos sobrepostas obtidas pelo Phantom para as vertentes analisadas.....	76
<b>Figura 10:</b> Dados técnicos da FLIR® Systems para o Sensor Termográfico Flir T420.....	77
<b>Figura 11:</b> Esquema tridimensional e plano da posição das 21 imagens termais preparadas para o sensor FLIR T420.....	77
<b>Figura 12:</b> Esquema da distribuição métrica dos pontos de controle em solo, para o levantamento GNSS nas imagens do sensor FLIR T420.....	78
<b>Figura 13:</b> Modelo da distribuição dos centros das imagens do sensor Flir T420 para o perfil entre as vertentes analisadas.....	79
<b>Figura 14:</b> Plano de voo no software eMotion 3, com desenho das linhas de voo com o eBee Plus RTK e sensor multiespectral Sequoia.....	80
<b>Figura 15:</b> Acoplagem do sensor MicaSense RedEdge-M no Matrice 600 PRO.....	81
<b>Figura 16:</b> Triângulo de Ferret para classificação textural de solos.....	86
<b>Figura 17:</b> Instalação dos alvos pintados no solo na área de agricultura mecanizada, para o georreferenciamento por GNSS.....	87
<b>Figura 18:</b> Representação gráfica dos alvos pré-sinalizados no terreno.....	90
<b>Figura 19:</b> Base do GNSS instalada próxima a sede da fazenda Bonansa I.....	91
<b>Figura 20:</b> Visualização da distribuição espacial dos 10 planos de voos elaborados para recobrimento das nascentes analisadas.....	91
<b>Figura 21:</b> Coleta de coordenadas georreferenciadas dos alvos pintados no	

solo, em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b).....	92
<b>Figura 22</b> :Sobrevoos das vertentes na área de estudo com o RPA Swinglet CAM, em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b)....	93
<b>Figura 23</b> : Trabalho de campo para escolha do desenho experimental e determinação dos pré-processos de análise físico-hídricas, em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b).....	94
<b>Figura 24</b> : Trabalho de campo em 01 de outubro de 2016, com sobrevoo do desenho experimental com oRPA Phantom 4.....	95
<b>Figura 25</b> : Instalação e monitoramento da infiltração do solo por anéis de infiltração concêntricos na pecuária extensiva.....	96
<b>Figura 26</b> : Instalação e monitoramento da infiltração do solo por anéis de infiltração concêntricos em agricultura mecanizada.....	96
<b>Figura 27</b> : Abertura das trincheiras na área de pecuária, com a utilização de uma retroescavadeira.....	97
<b>Figura 28</b> : Coletas de amostras indeformadas nos perfis selecionados nas trincheiras, por meio do trado de amostras indeformadas na área da pecuária extensiva.....	97
<b>Figura 29</b> : Abertura das trincheiras na área de agricultura mecanizada, com auxílio de uma retroescavadeira.....	98
<b>Figura 30</b> : Amostragens e coletas dos solos a cada 100 metros com tradagens em profundidades estabelecidas em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b).....	99
<b>Figura 31</b> : Visualização da Estação Meteorológica Davis Vantage Pro2 Sem Fio – 6152 nas imediações da Fazenda Bonanza.....	100
<b>Figura 32</b> : Marcação dos pontos de controle na linha de voo do Matrice 600 Pro para recobrimento do sensor termal Flir-T420.....	101
<b>Figura 33</b> : Visualização dos pontos de controle nas vertentes analisadas, com destaque a locação da base do levantamento geodésico.....	102
<b>Figura 34</b> : Amostragem das coletas de umidade gravimétrica com utilização do trado de amostras indeformadas, e leitura da temperatura próxima aos alvos com termômetro digital.....	103
<b>Figura 35</b> : Recolocação dos pontos de controle (A- agricultura mecanizada, e B – pecuária extensiva), no trabalho de campo de 15 de setembro de 2018..	103
<b>Figura 36</b> : Análises granulométricas realizadas no Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial – LAPEGEOF/UNEMAT/Cáceres.....	105
<b>Figura 37</b> : Preparação e secagem das amostras no Laboratório de Geografia Física – LAGEF, da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/Cuiabá.	106
<b>Figura 38</b> : Processo de pulverização e homogeneização das amostras no moinho de panela e cilindros de carbeto de tungstênio AMEF.....	106
<b>Figura 39</b> : Pastilhas prensadas a 5 t e numeradas para amostragem de EDX	

e XRD.....	107
<b>Figura 40:</b> Equipamento Shimadzu EDX -700HS.....	107
<b>Figura 41:</b> Equipamento Shimadzu modelo XRD-6000, equipado com tubo de cobre e monocromador de grafite, em geometria de Bragg-Brentan.....	108
<b>Figura 42:</b> Pesagem das cápsulas de amostras para medições de umidade gravimétrica no Laboratório de Solos do IFMT/Cuiabá.....	109
<b>Figura 43:</b> Preparação para secagem das amostras de umidade gravimétrica, no LAGEF/UFMT.....	109
<b>Figura 44:</b> Desenho experimental: vertentes com agricultura mecanizada e pecuária extensiva, com MDS de 10 cm, a partir da mosaicagem de 10 planos de voos.....	110
<b>Figura 45:</b> Modelo Digital do Terreno com 10 cm de resolução espacial.....	111
<b>Figura 46:</b> Modelo de estudo específico (transecto), obtido com sobrevoo do Phantom 4, com 5cm de resolução espacial, com destaque para o mosaico ortorretificado e o modelo digital de superfície.....	112
<b>Figura 47:</b> Modelo Digital do Terreno, com destaque para a formação pedo-geomorfológica do colo topográfico.....	113
<b>Figura 48:</b> Perfil longitudinal, destacando a área de depressão, denominada de colo topográfico.....	114
<b>Figura 49:</b> Vista aérea do colo topográfico e o do divisor de águas no trajeto da estrada.....	115
<b>Figura 50:</b> Visualização do perfil de lateritas no terço médio inferior da vertente da área de pecuária extensiva.....	115
<b>Figura 51:</b> Visualização aérea da borda do depósito de laterita no terço inferior da vertente com pecuária extensiva.....	116
<b>Figura 52:</b> Espacialização bidimensional das vertentes analisadas, como destaque ao divisor d'água do desenho experimental, as trincheiras em área de pecuária extensiva (TR1, TR2 e TR3) e agricultura mecanizada (TR4, TR5 e TR6), assim como os pontos de controle de tradagens.....	117
<b>Figura 53:</b> Visualização das trincheiras na área de pecuária extensiva, e sua distribuição vertical dos horizontes, com profundidades e nomenclaturas.....	119
<b>Figura 54:</b> Exemplificação dos grânulos encontrados na TR3 – pecuária extensiva.....	119
<b>Figura 55:</b> Esquematisação do processo de organização estrutural da laterita no terço inferior da vertente com pecuária extensiva.....	120
<b>Figura 56:</b> Visualização das trincheiras na área de agricultura mecanizada, e sua distribuição vertical dos horizontes, com profundidades e nomenclaturas.....	121
<b>Figura 57:</b> Visualização da subsolagem realizada na vertente com agricultura mecanizada, com destaque a desestruturação da camada de solo superficial.....	122

<b>Figura 58:</b> Visualização dos grânulos e seixos distribuídos nas trincheiras da vertente com agricultura mecanizada.....	123
<b>Figura 59:</b> Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos de apoio, na área de pecuária extensiva.....	124
<b>Figura 60:</b> Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos de apoio, na área de agricultura mecanizada.....	124
<b>Figura 61:</b> Visualização da dispersão granulométrica das areias nos pontos de controle das vertentes analisadas.....	126
<b>Figura 62:</b> Visualização das correlações entre as areias finas com a grossa e média nos pontos de apoio das vertentes analisadas.....	127
<b>Figura 63:</b> Comparativo da granulometria dos pontos de apoio no perfil das vertentes analisadas, com destaque ao divisor de águas das vertentes.....	130
<b>Figura 64:</b> Distribuição da granulometria completa das trincheiras pedológicas nas vertentes com agricultura mecanizada e pecuária extensiva...	134
<b>Figura 65:</b> Distribuição dos componentes Sílica, Alumina e Ferro nos pontos de controle, com separação das duas vertentes.....	137
<b>Figura 66:</b> Correlação entre as taxas de Sílica e Alumina de todas as amostras coletadas.....	139
<b>Figura 67:</b> Correlação entre as taxas de Alumina e Óxido de Ferro de todas as amostras coletadas.....	139
<b>Figura 68:</b> Correlação entre as taxas de Sílica e Óxido de Ferro de todas as amostras coletadas.....	140
<b>Figura 69:</b> Estimativa de densidade Kernel para a $\text{SiO}_3$ , $\text{AlO}_3$ e $\text{FeO}_3$ de todas as amostras de analisadas. ....	141
<b>Figura 70:</b> Pontos de controle com distribuição dos seus dados granulométricos e químicos.....	143
<b>Figura 71:</b> Trincheiras com a distribuição dos seus dados granulométricos e químicos.....	145
<b>Figura 72:</b> Difrátograma dos pontos de controle com profundidade de 0-20cm: <b>A)</b> pecuária e <b>B</b> – agricultura.....	147
<b>Figura 73:</b> Difrátograma dos pontos de controle com profundidade de 0-20cm: <b>A)</b> pecuária e <b>B</b> – agricultura.....	148
<b>Figura 74:</b> Difrátograma dos pontos de controle com profundidade de 0-20cm: <b>A)</b> pecuária e <b>B</b> – agricultura.....	149
<b>Figura 75:</b> Difrátograma das trincheiras – TR1/TR4: <b>A)</b> pecuária e <b>B</b> – agricultura.....	150
<b>Figura 76:</b> Difrátograma das trincheiras – TR2/TR5: <b>A)</b> pecuária e <b>B</b> – agricultura.....	151
<b>Figura 77:</b> Difrátograma das trincheiras – TR3/TR6: <b>A)</b> pecuária e <b>B</b> –	

agricultura.....	152
<b>Figura 78:</b> Gráficos da Infiltração Acumulada Média nas áreas de pastagem (A; B; C) e nas de agricultura mecanizada (D; E; F), por meio da sistematização dos dados colhidos pelos anéis de infiltração concêntricos, apresentando os valores de correlação entre infiltração (cm) e o tempo (min).	156
<b>Figura 79:</b> Distribuição da umidade do solo no perfil das vertentes analisadas para os dois períodos de coleta.....	160
<b>Figura 80:</b> Visualização das coletas comparativas de umidade no terço inferior da vertente com pecuária.....	161
<b>Figura 81:</b> Comportamento da umidade do solo comparando períodos de coleta distintos.....	162
<b>Figura 82:</b> Espacialização das 4 (quatro) faixas espectrais do sensor Sequoia-Parrot para o perfil analisado no mês de Março de 2018 com valores em micrômetro.....	165
<b>Figura 83:</b> Espacialização das 5 faixas espectrais do sensor MicaSense RedEdge-M para o perfil analisado no mês de Setembro de 2018, com valores em micrômetro.....	165
<b>Figura 84:</b> Valores do NDVI dos voos de Março e Setembro de 2018.....	173
<b>Figura 85:</b> Visualização da densidade e vigor vegetativo da vertente com pecuária.....	174
<b>Figura 86:</b> Visualização da situação de plantio (fase fenológica de 35cm) e solo exposto da vertente com agricultura.....	174
<b>Figura 87:</b> Visualização da cobertura do solo na data do imageamento com RPA de setembro/2018.....	175
<b>Figura 88:</b> Valores do NDWI dos voos de Março e Setembro de 2018.....	176
<b>Figura 89:</b> Vista em primeiro plano e aérea dos pontos: a) pastagem com alta cobertura de biomassa; b) área com palhada e maior exposição do solo e, c; perfil lateral a estrada pavimentada.....	177
<b>Figura 90:</b> Vista em primeiro plano e aérea dos pontos: a) pastagem com baixa cobertura de biomassa; b) área com algodão em processo de dessecação e, c; área com plantação de milho em crescimento.....	178
<b>Figura 91:</b> Disposição das imagens termais nas vertentes estudados no período de março e setembro de 2018.....	182
<b>Figura 92:</b> Visualização dos dados termais do voo de março para seis imagens no perfil das vertentes analisadas.....	185
<b>Figura 93:</b> Visualização dos dados termais do voo de setembro para seis imagens no perfil das vertentes analisadas.....	186
<b>Figura 94:</b> Visualização dos perfis de 10 metros norte-sul (N-S) e leste-oeste (E-W) para quatro conjuntos de imagens termais no voo de março de 2018.....	191
<b>Figura 95:</b> Visualização dos perfis de 10 metros norte-sul (N-S) e leste-oeste (E-W) para quatro conjuntos de imagens termais no voo de setembro	

de 2018.....	192
<b>Figura 96:</b> Exemplificação do triângulo universal para os dados de temperatura radiante e valores do NDVI no voo de setembro para a vertente com agricultura.....	195
<b>Figura 97:</b> Exemplificação do triângulo universal para os dados de temperatura radiante e valores do NDVI no voo de setembro para a vertente com pecuária.....	196

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Principais faixas do espectro eletromagnético.....	47
<b>Tabela 2:</b> Possíveis intervalos espectrais utilizáveis em sensores remotos.....	48
<b>Tabela 3:</b> Uso e manejo encontrado na Fazenda Deputado, Campo Verde – MT.....	72
<b>Tabela 4:</b> Uso e manejo encontrado na Fazenda Bonansa I, Campo Verde – MT.....	72
<b>Tabela 5:</b> Textura dos solos da área de agricultura mecanizada.....	128
<b>Tabela 6:</b> Textura dos solos da área de pecuária extensiva.....	128
<b>Tabela 7:</b> Distribuição granulométrica, textural e de uso e ocupação dos pontos de coletadas das trincheiras pedológicas nas vertentes analisadas.....	132
<b>Tabela 8:</b> Distribuição do teor dos elementos químicos nas vertentes analisadas (P – pastagem e PA – agricultura).....	136
<b>Tabela 9:</b> Distribuição do teor dos elementos químicos por trincheiras das vertentes analisadas (TR1/TR3 – pastagem e, TR4/TR6 – agricultura).....	138
<b>Tabela 10:</b> Equações linearizadas do Método Kostiacov para dados de infiltração acumulada na área de estudo.....	158
<b>Tabela 11:</b> Principais variáveis das Regressões Lineares para os anéis de infiltração.....	158
<b>Tabela 12:</b> Demonstrativo da densidade do solo e do tipo granulométrico predominante para os pontos de coleta nas vertentes com pecuária e agricultura.....	163
<b>Tabela 13:</b> Características das faixas espectrais dos sensores utilizados nos aerolevantamentos com RPAS.....	164
<b>Tabela 14:</b> Valores máximos de refletância dos sensores Sequoia-Parrot e MicaSense RedEdge-M, em suas faixas espectrais de atuação.....	166
<b>Tabela 15:</b> Correlação linear entre os dados de umidade gravimétrica, granulometria básica e média de 03 pixels por faixal espectral para o campos.....	168
<b>Tabela 16:</b> Regressão linear da variável dependente de umidade do solo com as variáveis: granulométrica, química e de média das faixas espectrais.....	170
<b>Tabela 17:</b> Teste de distribuição da normalidade dos dados da umidade gravimétrica e médias do NDVI para 3, 5 e 7 pixels das vertentes estudadas.....	179
<b>Tabela 18:</b> Teste de distribuição da normalidade dos dados de umidade gravimétrica e médias do NDWI para 3, 5 e 7 pixels das vertentes estudadas.....	180
<b>Tabela 19:</b> Teste Kruskal-Wallis para valores das medianas dos pixels do NDVI e NDWI para os campos em março e setembro, nas vertentes analisadas.....	180
<b>Tabela 20:</b> Teste Dunn's post hoc para valores da estatística z dos valores médios de pixels do índice NDVI para os campos em março e setembro nas vertentes analisadas.....	181
<b>Tabela 21:</b> Teste Dunn's post hoc para valores da estatística z dos valores médios de	

pixels do índice NDWI para os campos em março e setembro, nas vertentes analisadas.....	181
<b>Tabela 22:</b> Dados das imagens termais utilizadas nas vertentes analisadas.....	183
<b>Tabela 23:</b> Teste de distribuição da normalidade dos dados de umidade gravimétrica e médias da temperatura radiante termal para 3, 5 e 7 pixels das vertentes estudadas...	188
<b>Tabela 24:</b> Teste Kruskal-Wallis para valores das medianas dos pixels termais, referentes ao campo realizado em março/2018, nas vertentes analisadas.....	189
<b>Tabela 25:</b> Teste ANOVA ON-WAY para valores das médias dos pixels termais do campo realizado em março das vertentes analisadas.....	189
<b>Tabela 26:</b> Teste Dunn's post hoc para valores da estatística z dos valores médios de pixels termais para o campo de março nas vertentes analisadas.....	190
<b>Tabela 27:</b> Teste Tukey post hoc para valores da estatística dos valores médios de pixels termais para o campo de setembro nas vertentes analisadas.....	190

## LISTA DE SIGLAS

<b>3D</b> – Terceira Dimensão	<b>GEF</b> – Fundo Mundial para o Meio Ambiente	Imagens e Geoprocessamento
<b>AIC</b> – Circular de Informações Aeronáuticas	<b>GNSS</b> – Global Navigation Satellite System	<b>LASE</b> – Low Altitude, Short-Endurance
<b>ANAC</b> – Agência Nacional de Aviação Civil	<b>GSD</b> - Ground Sample Distance	<b>MALE</b> – Medium Altitude, Long Endurance
<b>APPs</b> – Áreas de Preservação Permanente	<b>HALE</b> – High Altitude, Long Endurance	<b>MARS</b> – Monitoring Agriculture with Remote Sensing
<b>ASTM</b> – American Society for Testing and Materials	<b>HRU</b> – Unidades de Respostas Hidrológicas	<b>MAV ou NAV</b> – Micro ou Nano Air Vehicles
<b>CAA</b> – Autoridade de Aviação Civil	<b>IBAMA</b> - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	<b>MDE</b> – Modelo Digital de Elevação
<b>CDB</b> – Conservação da Diversidade Biológica	<b>IBGE</b> – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística	<b>MDS</b> – Modelo Digital de Superfície
<b>DAN</b> – Norma Aeronáutica chilena/argentina	<b>ICAO</b> – Organização Internacional da Aviação Civil	<b>MDT</b> – Modelo Digital do Terreno
<b>DECEA</b> – Departamento de Controle do Espaço Aéreo	<b>IESA</b> – Instituto de Estudos Socioambientais	<b>MEIS-II</b> – Multi-detector Electro-optical Imaging Scanner
<b>DICA ou DIH</b> – Conjunto de normas que visa proteger pessoas que não participam ou que deixaram, por algum motivo, de participar do combate	<b>INMET</b> – Instituto Nacional de Meteorologia	<b>MMA</b> – Ministério do Meio Ambiente
<b>DOD</b> – Departamento de Defesa dos EUA	<b>LAGEF</b> – Laboratório de Geografia Física	<b>MT</b> – Mato Grosso
<b>EDX</b> – Dispersão em Energia	<b>LALE</b> – Low Altitude, Long Endurance	<b>NDVI</b> – Normalized Difference Vegetation Index
<b>EMBRAPA</b> – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária	<b>LAMUTA</b> – Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas	<b>NDWI</b> – Normalized Difference Water Index
<b>FUNBIO</b> – Banco Mundial e Fundo Brasileiro para a Biodiversidade	<b>LAPEGEOF</b> – Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial	<b>NIR</b> – Infravermelho Próximo
	<b>LAPIG</b> – Laboratório de Processamento de	<b>PPP</b> – Posicionamento por Ponto Preciso
		<b>PROBIO</b> – Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira
		<b>REM</b> – Radiação Eletromagnética

**RGB** – Red, Green e Blue

**RL** – Regressão Logística

**RPA** – Remotely Piloted Aircraft

**SAVI** – Soil-Adjusted Vegetation Index

**SEPLAN/MT** – Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral de Mato Grosso

**SIAD Cerrado** – Sistema Integrado de Alertas de Desmatamento para o Cerrado

**SIG** – Sistemas de Informação Geográfica

**SR** – Sensoriamento Remoto

**SRTM** – Shuttle Radar Topography Mission

**sUAS** – Small Unmanned aircraft systems

**SWAT** – Soil and Water Assessment Tool

**TIR** – Termográficas do Infravermelho

**TR** – Simbologia para designar as tradagens.

**UAS** – Unmanned Aerial System

**UAV** – Unmanned Aerial Vehicle

**UCAV** – Unmanned Combat Aerial Vehicle

**UFG** – Universidade Federal de Goiás

**UFMT** – Universidade Federal de Mato Grosso

**VANT** – Veículo Aéreo Não-Tripulados

**VTOL** – Vertical Take-Off and Landing

**WWF** – World Wide Fund for Nature

**XRD** – Difração de Raios X

## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>27</b>
1.1 Questões científicas.....	32
1.1.2 Hipóteses.....	32
1.2 Objetivos.....	32
1.2.1 Objetivo Geral.....	32
1.2.2 Objetivos Específicos.....	33
<b>2. EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO.....</b>	<b>34</b>
2.1 A ciência geográfica e a apropriação da paisagem.....	34
2.2 A vertente como categoria de análise das dinâmicas terrestres.....	37
2.3 Solo e água: estrutura, relação e distribuição espacial em vertentes.....	41
2.4 Sensoriamento Remoto: instrumentação, modelos e aplicações.....	46
2.5 Aeronaves remotamente pilotadas (RPA): conceitos e aplicações.....	49
2.6 Aplicações do sensoriamento remoto termal e multiespectral em RPA.....	54
2.7 Abordagem do sensoriamento remoto na umidade do solo.....	61
<b>3. ASPECTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>65</b>
3.1 Área de estudo e suas características.....	65
3.2 Atividades de planejamento: elaboração, análise e processamentos.....	73
3.3 Atividades de campo.....	88
3.4 Atividades de laboratório.....	104
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>110</b>
4.1 A construção do modelo de estudo científico da pesquisa.....	110
4.2 Avaliação dos parâmetros físico-hídricos e antrópicos do solo.....	112
4.3 Interpretação das condicionantes químicas: da estrutura ao material disperso nas vertentes.....	135
4.4 Avaliação dos padrões hidro-pedológicos e sua relação com os dados multisensoriais: multiespectral e termal.....	154
4.4.1 Valores de infiltração e umidade dos solos para as vertentes.....	154
4.4.2 Dados multiespectrais e a relação hidro-pedológica nas vertentes.....	163
4.4.3 Temperatura radiante termal na análise hidro-pedológica das vertentes.....	181
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>199</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>204</b>

## APRESENTAÇÃO

A presente tese está estruturada em cinco partes, de modo a compreender a dinamicidade dos estudos hidro-pedológicos para vertentes em áreas do Cerrado, utilizando o sensoriamento remoto embarcado em Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) com emprego de multisensores: termal e multiespectral.

Na primeira parte, tem-se a introdução, com o principal tema e abordagens construídas na pesquisa, somando-se à problemática elencada e à justificativa, as quais norteiam as discussões, assim como, as questões-chave de ordem científica para propor as três hipóteses desta tese, finalizando com o objetivo geral e seus respectivos objetivos específicos.

Na sequência, buscou-se construir um aporte teórico-metodológico da pesquisa, evidenciando sete pontos essenciais: o entendimento da **Geografia e paisagem como ciência**, partindo para **compreensão de escala, com foco na vertente**, e o **emprego do Sensoriamento Remoto, com foco maior nas Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA)**, seguindo como **emprego de multisensores** nesse esteio, especialmente os **multiespectrais e termográficos**, com finalização na **compreensão dessas tecnologias no estudo da umidade do solo**.

Na terceira parte, voltada aos aspectos metodológicos, são abordadas a apresentação da área de estudo e suas principais características descritivas, e, posteriormente, as técnicas e metodologias utilizadas para compor esta pesquisa, entrelaçando as atividades de gabinete, campo e laboratório.

No quarto momento, são apresentados e discutidos os resultados, que começam com o recorte científico da área, passando pela compreensão física, química e hídrica das vertentes estudadas, utilizando-se de análises comparativas, descritivas e emprego de estatística para validação dos dados. Esse é finalizado com o uso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) e os multisensores na avaliação dos dados hidro-pedológicos para as vertentes.

No quinto e último momento, têm-se as considerações finais, com algumas perspectivas das técnicas desenvolvidas e das análises apresentadas, incluindo algumas lacunas a serem abordadas em trabalhos futuros, de forma a avançar nas discussões propostas nesta tese.

## 1. INTRODUÇÃO

A apropriação das paisagens naturais para o uso urbano e agrícola alcançou, no período entre 1800 e 2000, taxas nunca antes vistas, com um aumento populacional humano de mais de 700% (ALVES, 2015), decorrentes das interações propiciadas pela qualificação e quantificação dos avanços de tecnologia e ciência (MORIN, 2005).

É notável que o ritmo de subversão da natureza vem alastrando fenômenos de desequilíbrio entre os ambientes (DREW, 1986) e, conseqüentemente, afetando a vida humana de forma direta e/ou indiretamente (ROSS, 1995). Os desastres naturais/ambientais, propagação de vetores de doenças, desequilíbrios na temperatura e pluviosidade local e regional, escassez hídrica, perda de solos férteis, entre outras conseqüências, são as principais vivências desse desequilíbrio nos dias atuais (MOREL, 2004; TUNDISI, 2008; LAMBIN et al., 2013).

A natureza catalisada para exploração socioeconômica promove atritos entre suas amplas camadas biofísicas, sendo que na relação relevo-solo-água são mais visíveis as alterações antrópicas. Em especial, porque nesse sistema assentam-se praticamente todas as estruturas humanas, de edificações a ciclos biogeoquímicos (GALLARDO, 1998). Para a compreensão destas interfaces, são utilizadas diversas abordagens que, em sua grande maioria, priorizam um elemento em detrimento dos demais, não apresentando uma análise integralizada (MOURA FUJIMOTO, 2001).

Essa característica dissociativa da ciência moderna explica-se pela importância dada a cada elemento no contínuo do tempo histórico. Na percepção da limitação de tais abordagens, surgem, atualmente, discussões que visam o entendimento sistêmico e a integralização entre esses elementos ambientais (QUEIROZ NETO, 2002).

Recentes publicações salientam a característica contínua das escalas espaciais nos processos geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos, e formulam dois aspectos principais a serem abordados: i) como a arquitetura dos solos controla em diversas escalas de análise o particionamento dos elementos dos fluxos hidrológicos e suas funções biogeoquímicas e ecológicas em paisagens heterogêneas; e ii) como a hidrologia das paisagens (e os transportes associados de energia e materiais) influencia a gênese dos solos e sua variabilidade no tempo e espaço (MA et al., 2017).

Nesse contexto, focaliza-se na compreensão das funções dos solos como interlocutores das relações sinérgicas entre os elementos que constituem a camada da

pedosfera (*Earth's Critical Zone*) em suas características pedogênicas e em função de distintos fatores ambientais e impactos antropogênicos (LIN et al., 2015). De modo que um maior conhecimento da gênese dos solos permite compreender a importância dos processos biogeoquímicos responsáveis pela pedogênese, sobretudo aos relacionados à “circulação lateral das soluções” (QUEIROZ NETO, 2002, p. 78).

Apesar de a natureza contínua da escala nos processos hidro-pedológicos (MA et al., 2017), estabeleceu-se uma hierarquia espacial implícita para sistematizar os estudos baseados em observações e trabalhos de campo (GUERRA, 1994; SANTOS et al., 2015). Nessa sistematização, a vertente (*hillslope*) caracteriza-se como escala apropriada em análises sistêmicas, sendo ela a segunda menor unidade de trabalho nos estudos pedológicos (CRISTOFOLETTI, 1980), conduzidos comumente pela análise de um conjunto de pedons ao longo de uma catena (MARTINS e ROSALEN, 2014).

Nesse sentido, a vertente também consiste em uma escala fundamental em estudos hidrológicos, seguindo como a segunda escala mais detalhada após a escala pontual (*plot scale*) (WILSON et al., 2018; MOLINA et al., 2019). Como mostram Bachmair e Weiler (2014), variações de parâmetros medidos em escala pontual (*i.e.* flutuação no nível do lençol freático) não refletem necessariamente na mesma intensidade em parâmetros medidos na escala de vertente (*i.e.* fluxo subsuperficial), enfatizando, assim, a necessidade de aprofundar estudos que detalham a influência da escala na parametrização dos processos hidrológicos.

No contexto geomorfológico, Queiroz Neto (2010, p. 2) aponta que “a vertente é uma forma geomorfológica essencial que interfere diretamente na pedogênese, condicionando a circulação e ação da água”. Portanto, quando se pensa nas interações da água nos sistemas naturais, é importante conhecer, delimitar e avaliar os componentes físicos do ambiente, compreendendo como esses influem diretamente ou indiretamente nos processos da relação água-solo-formas (DANIELS e NELSON, 1987).

O processo de entrada da água no sistema natural se dá basicamente pela incidência direta de material aquoso na superfície do solo, sendo iniciada a infiltração, que, por sua vez, interage com o sistema, transformando-o, alterando-o e servindo de solução para outros processos (KLEIN, 2012; PRUSKI et al., 2004; CECILIO et al., 2013). Assim, Chaves e Guerra (2006, p. 69) defendem que a água é “o componente

mais importante da maioria dos sistemas biológicos”, já que esta não serve apenas como meio de vivências e relações dos organismos, mas também como “um reagente, um solvente e um fluido hidráulico”.

Desse modo, entre os parâmetros mais importantes da ação da água no solo, está a capacidade do mesmo em retê-la e mantê-la no sistema, o que condiciona a denominação de umidade dos solos (MEDINA, 1972; GUERRA, 2010). Sua compreensão é cada vez mais importante como ferramenta para os estudos da dinamicidade da água no ambiente terrestre, pois a umidade é responsável pela manutenção do abastecimento do aquífero subsuperficial, por meio dos processos de infiltração e percolação, regulando também o sistema de escoamento lateral e superficial (LAKSHMI, 2013; AHMAD et al., 2011).

No caso do Brasil, os processos de expansão e colonização, pulsantes nas últimas décadas do séc. XX e início do séc. XXI, foram sustentados pela ocupação do sistema biogeográfico do Cerrado (CHAVEIRO e BARREIRAS, 2010). Isso foi proporcionado por dois fatores principais: (1) as características físico-bióticas do Cerrado, favoráveis à produção agrícola, (2) somadas aos grandes investimentos governamentais para atrair a sua ocupação.

Para tanto, várias tecnologias foram fomentadas, as quais permitiram a instalação de um sistema voltado ao cultivo de *commodities*, como soja, milho, algodão e cana-de-açúcar, carnes bovino-suínas e aves, como também produtos com vocação nacional, como o eucalipto (CASTILHO, 2007; SILVA et al., 2013).

O Cerrado estende-se por cerca de 2.040.000 km<sup>2</sup> no território brasileiro e consiste em um *hotspot* de biodiversidade global (MYERS et al., 2000). Há cerca de 50 anos, sofre com a acelerada e constante ocupação, seguida da supressão da vegetação nativa por desmatamento, com uma redução de 46% de sua área original até 2013 (BRASIL, 2015).

Essas transformações das paisagens afetam as funções e serviços ecológicos do Cerrado em todos seus aspectos, perturbando o equilíbrio sinérgico existente nesse sistema biogeográfico (SANO et al., 2010), com perda de *habitat* (CARVALHO et al., 2009), alterações hidrológicas, perda de solo, assoreamento, modificações do ciclo de carbono, *etc* (DINIZ-FILHO et al., 2009; TEODORO, 2014; MARANHÃO et al., 2017).

Em vista disso, a compreensão de um recorte no Cerrado em suas relações estabelecidas entre relevo-solo-água, suprimido até aqui em prol do avanço da produção mecanizada de monoculturas (incluindo as pastagens plantadas), é essencial para avaliações mais precisas e abrangentes de contextos regionais (GOEDERT, 1985; MÁXIMO et al., 1999; KLINK e MACHADO, 2005).

Com ênfase nos sistemas geomorfológico-pedológico-hidrológico do Cerrado, Hunke et al. (2015) enumeram uma série de alterações ocasionadas pelo desmatamento e o consecutivo uso agrícola, entre elas, modificações das características físicas e biogeoquímicas dos solos, aumento de processos erosivos e perda de solo, alterações do escoamento e outros elementos do ciclo hidrológico e a deterioração da qualidade de água. Salientam, ainda, que as características nutricionais reduzidas dos solos do Cerrado, em especial, devido à sua condicionante distroférica, levam à inclusão de técnicas agrícolas forçadas para aumentar a produção de biomassa, que promovem, assim, problemas ambientais relacionados à acumulação de nutrientes e contaminação por pesticidas nos solos e recursos hídricos.

Esses efeitos da ocupação e o manejo agrícola manifestam-se especificamente na escala das vertentes, devido à sua característica integradora das relações hidro-pedológicas e geomorfológicas, por constituir simultaneamente em sua estrutura os processos, atuando em paralelo entre as rochas-mãe e os solos advindos das alterações dessas (QUEIROZ NETO, 2011).

Diante da escassez de estudos sobre a degradação de solo e água, e o funcionamento dos processos eco-hidrológicos no Cerrado (HUNKE et al., 2014), torna-se necessário compreender formas de se elucidar o conhecimento do sistema geomorfológico-pedológico-hidrológico de vertentes nessa região biogeográfica, e o grau das suas alterações em função das atividades agropecuárias exercidas (HUNG et al., 2018).

Entre as diversas técnicas, está o Sensoriamento Remoto, utilizado há pelo menos quatro décadas em estudos ambientais de amplo espectro, principalmente aqueles baseados em plataformas orbitais. Na última década, emerge um novo ramo da disciplina, o qual se beneficia do desenvolvimento das Aeronaves Remotamente Pilotadas (Remotely Piloted Aircraft – RPA) (GONZALEZ-DUGO et al., 2013; MAROTTA et al., 2015; ANAC, 2017). O avanço das plataformas aéreas não tripuladas, embarcadas com múltiplos sensores remotos, tem propiciado um aumento

considerável da escala cartográfica desses mapeamentos, antes realizados com levantamentos/medições localizados (*in situ*), com aeronaves tripuladas (de elevado custo) e com mapeamentos de baixo detalhe espacial por meio de satélites.

O uso de sensores multiespectrais e termais nessas plataformas, com baixa altitude de voo, garantem resolução espacial centimétrica com mínimas interferências atmosféricas, permitindo levantamentos topográficos e temáticos mais flexíveis e rápidos, e com maior precisão planimétrica e altimétrica na elaboração de produtos cartográficos (COLOMINA e MOLINA, 2014; DIAS e ROSA, 2015).

Assim, o uso de RPA em análises das relações relevo-solo-água é promissor, devido ao ganho de escala espacial e temporal (JUNIOR et al., 2011) e a possibilidade do uso de sensores múltiplos, de acordo com as demandas de pesquisa (ACEVO-HERRERA et al., 2010; KELCEY e LUCIEER, 2012; GARCIA-RUIZ et al., 2013).

Os RPA vêm sendo empregados também em levantamentos da vegetação, em áreas com fisionomia savânica, arbustiva e arbórea, bem como em pastagens cultivadas e/ou com plantios de árvores (TOMCZAK et al., 2012). Contudo, esses empregos constituem-se, ainda, em estudos preliminares, priorizando os elementos ambientais e não propriamente o tipo de cobertura do solo (RUDOWICZ-NAWROCKA et al., 2014).

Nessa perspectiva, os avanços advindos do emprego dessas plataformas e multisensores são, em sua grande maioria, ganhos na compreensão dos próprios elementos da vegetação (nativa ou antrópica), por meio de índices espectrais que buscam compreender suas diagnoses (degradação) e eficiência estrutural (vigor, produtividade, recuperação, pragas, etc.) (BRITO et al., 2015; LINHARES, 2016).

Na esteira dessas informações, nota-se que a maioria dos trabalhos priorizam análises de características ambientais específicas e isoladas, tais como a cobertura vegetal (SHAFIAN et al., 2018), umidade de solo (HASSAN-ESFAHANI et al., 2015) ou erosão de solos (D'OLEIRE-OLTMANN et al., 2012), utilizando abordagens específicas.

Vivoni et al. (2014) apresentam uma primeira visão mais holística da aplicabilidade de RPA em estudos eco-hidrológicos, salientando a sua grande potencialidade para estudos de alta resolução (>1m). Os autores expõem em detalhe a determinação conjuntiva de atributos do relevo e de características da vegetação para subsidiar um estudo da interação entre superfície e subsolo.

Nessa visão, propõe-se para esta pesquisa uma abordagem combinada de técnicas de campo para caracterização física e mineralógica, e o uso de imagens das bandas do visível, multiespectral e termal, adquiridas por sistemas RPA multirotores, para compreender e mapear aspectos do sistema relevo-solo-água, em escala de vertentes, para um recorte no Cerrado mato-grossense, avaliando-se metodologias inicialmente testadas e validadas em outras regiões do globo (HASSLER et al., 2011; SCHIESARI et al., 2013). Tal pesquisa pode contribuir na parametrização hidrológica, pedológica e geomorfológica no Cerrado brasileiro.

### **1.1 Questões científicas**

Na reflexão da problemática elencada, a pesquisa orienta-se pelos seguintes questionamentos investigativos:

- a) O uso conjuntivo de dados hidro-pedológicos adquiridos *in situ* e imageamentos multisensoriais com RPA subsidiam o entendimento dos processos geomorfológicos-pedológicos-hidrológicos em escala de vertentes?
- b) É possível estimar os níveis de umidade de solo sob usos típicos do Cerrado (pastagem e plantio) a partir de sensores multisensoriais operados por RPA?
- c) Imagens centimétricas geradas por RPA/sensores ópticos -multiespectral e termal - proporcionam quais ganhos na avaliação de dados hidro-pedológicos?

#### **1.1.2 Hipóteses**

Esses delineadores estão centrados na construção das seguintes hipóteses:

**H1)** Dada sua capacidade de imageamento, os levantamentos realizados por Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) permitem uma leitura sinóptica das vertentes no Cerrado, possibilitando um levantamento aprofundado dos processos hidrológicos e pedológicos, ao permitir o mapeamento dos mesmos em altíssima resolução espacial;

**H2)** Considerando que a temperatura superficial está relacionada diretamente com a disponibilidade de água no solo e com as características físico-químicas da vertente, o sensor termográfico a bordo de um RPA apresenta maior sensibilidade às variâncias dos valores hidro-pedológicos do que a pesquisa *in situ*.

### **1.2 Objetivos**

#### **1.2.1 Objetivo geral**

Avaliar a viabilidade do emprego de multisensores a bordo de Aeronaves Remotamente Pilotadas – RPA para determinar a espacialização das características hidro-pedológicas, em escala de vertente, para áreas do Cerrado mato-grossense.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- a) Estabelecer um desenho experimental adequado para levantamentos com RPA em áreas de vertentes, visando geração de material cartográfico das determinantes morfométricas;
- b) Analisar as características geomorfológicas-hídricas-pedológicas das vertentes estudadas, a partir de levantamentos tradicionais e por RPA;
- c) Avaliar os dados obtidos por meio dos multisensores para diagnosticar os padrões hidro-pedológicos das vertentes, em especial a umidade do solo.

## 2. EMBASAMENTO TEÓRICO-METODOLÓGICO

### 2.1 A ciência geográfica e a apropriação da paisagem

A ciência, ao se estruturar verticalmente em disciplinas, provocou uma ruptura no conhecimento filosófico, ao ponto de ser possível a perda de identidades ligadas à gênese do conhecimento, e, como consequência, geraram-se diversas dúvidas, que se orientaram na análise dos métodos em busca da compreensão sobre a eficiência das discussões propostas nessa ciência, agora fragmentada (VILARINHO NETO, 2002; SOUZA, 2009; MORAES, 1994).

Com a Geografia não foi diferente. Desde sua estruturação como ciência, no último quartel do séc. XIX, até as discussões referentes ao seu estágio atual de modernidade ou pós-modernidade, ainda busca-se a superação de sua principal lacuna, a questão de um método único que a caracterize como uma ciência unitária (VESENTINI, 2008; CASTRO e SALOMÃO, 2000; GOMES, 2011).

Nessa perspectiva, tem-se a apropriação do conceito de paisagem no desenvolvimento epistemológico da Geografia, uma vez que sua concepção remete diretamente à dialética de amadurecimento científico perpassado por ela. Por conseguinte, o conceito de paisagem ficou mais atrelado aos estudos da geografia da natureza, onde foi (é) aplicado de forma complexa e abrangente, no âmbito de suas análises (SILVA e GALEANO, 2004; ROSS, 2006).

O conceito de paisagem surgiu na Geografia, com maior entonação, na segunda metade do século XIX, com os geógrafos físicos alemães, os quais empregavam o termo *Landschaft*. E, a partir do século XX, o termo passa a ser utilizado de forma corriqueira entre os mesmos para designar aspectos concretos da realidade geográfica, isto é, torna-se um conceito de uso referente aos mosaicos das feições naturais visíveis (CASSETI, 2005).

Tem-se que a compreensão do conceito de paisagem perpassa por correntes filosóficas e concepções teórico-metodológicas diversificadas no bojo geográfico, conferindo-a uma característica multifacetada, capaz de promover um amplo debate sobre sua apropriação pela ciência geográfica, por meio de seus exponenciais debatedores, contemporâneos ou não (SUERTEGARAY, 2005; SCHAIER, 2003; TUAN, 1980; SANTOS, 1999; SUERTEGARAY e NUNES, 2011; CORRÊA, 2001; EMÍDIO, 2006).

Nas concepções de Maximiano (2004, p. 90), a paisagem está em uma escala espaço-temporal dinâmica das relações antrópicas e naturais, em um determinado espaço. Espaço este determinado pelo grau de abordagem dada por um observador, o qual verá a paisagem fragmentada, mas não dissociada entre si. Entendendo que “a Paisagem não é o mesmo que espaço geográfico, mas pode ser compreendida como uma manifestação deste [...]”, ela “[...] poderia ser entendida como uma medida multidimensional de compreensão de um lugar”.

Nesta crescente apropriação social do meio, as representações do espaço, e, especificamente, da paisagem, ganham maior peso, preferencialmente no escopo da relação de submissão da natureza em detrimento do avanço socioeconômico (humano) nas formas de processos e impactos desse conflito. Diante desse panorama, as formas de sistematização em cartas de compartimentações ambientais ou carta de paisagens se evidenciam como o caminho a ser percorrido pelo plantel de estudiosos dessa relação (CAVALCANTI, 2014). De modo a ampliar as discussões do planejamento, organização e sistematização do território, Silva e Mateo Rodriguez (2014) apresentam uma interação complexa das relações estabelecidas no campo da paisagem, pois, como afirmam,

[...] um instrumento técnico-metodológico de eficaz apoio à institucionalização do planejamento ambiental consiste no zoneamento ambiental. A partir de uma análise integrada, adequada por escalas apropriadas às dimensões territoriais diferenciadas, é possível se identificar unidades ambientais/paisagísticas, por meio de técnicas cartográficas e de sensoriamento remoto (SILVA e MATEO RODRIGUEZ, 2014, p. 7).

Para corroborar com a discussão proposta pelos autores, Cavalcanti e Corrêa (2014, p. 134) exprimem suas ponderações acerca de uma geoecologia, que, para eles, pode ser também entendida como sinônimo de uma ecologia de paisagens, ecogeografia, geografia ecológica, ciência da paisagem, estudo de geossistemas, que, epistemologicamente, se concentram em três enfoques conceituais: estrutural, funcional e evolutivo. Se na geografia a paisagem entoa sua maior complexidade e amplitude, são nos estudos que a entendem por partes mais estruturais, de representação estrutural da construção social do meio, que ela se efetiva como escopo de análise mais completa dessa realidade. Como afirma Silva (2008 p. 165), a “paisagem é para a Geografia um instrumento que possibilita uma primeira análise do espaço geográfico e, ao observá-la, percebem-se algumas relações estabelecidas ao longo do tempo”.

Nesse contexto, Cavalcanti (2014, p. 17) relata que as “paisagens são entidades geoecológicas, no sentido de que constituem um objeto com dimensões definidas na superfície terrestre e possuem ritmo e desenvolvimento dependentes das leis da Física”. Isto é, todos os complexos processos intra/extraterrestres (dinâmica estrutural, geológica, relação superfície-atmosfera, energia solar, trocas gasosas, etc.) podem e são efetivos nas mudanças ocorridas no espaço geográfico. De modo consequencial, a inserção social nesse espaço, por meio de suas ações culturais, políticas e econômicas, alteram-no, formando paisagens plausíveis de estratificação, representação e compreensão, que, por meio de sua representação, fornecem elementos admissíveis de uma cartografização (CASTANHO et al., 2011; VALENCIO, 2010).

Assim, o Cerrado brasileiro apresenta em sua apropriação características básicas dessa formação social da paisagem aqui trabalhada, onde sua supressão foi provocada pelas políticas do Estado, de modo inicial, na Era Vargas (anos 1930), onde ganhou maior importância e preocupação por questões de domínio fronteiro, efetivando-se no período do Governo Militar (anos 1960 e 1980) para concretização e solidificação dessa população de origem camponesa produtiva (cultural européia), nas áreas “recém” exploradas (economicamente) do interior brasileiro, e extremamente importantes para a soberania territorial nacional (MOYSÉS, 2007; MOYSÉS e SILVA, 2008).

As situações criadas por essa dinâmica supressiva e econômica de transformação do Cerrado em áreas economicamente ativas fez (e faz) com que territórios e culturas fossem (sejam) dizimados no mesmo ritmo que suas matas são suprimidas pelo agronegócio. Como já expunham Chaveiro e Barreiras (2010),

[...] integrar essas perspectivas supõe compreender que não basta identificar as suas características físicas ou naturais, como os tipos de seus solos, as formas de seu relevo, a sua potência hídrica, as suas fitofisionomias etc. Além das identificações e classificações torna-se salutar averiguar o modo como esse ambiente heterogêneo é apropriado, usado e impactado por um tipo de modelo econômico. Cabe, também, verificar quais são os atores que se beneficiam do uso do Cerrado. Da mesma maneira, é necessário compreender as estratégias de uso, o papel da logística espacial ou da infraestrutura, suas diferenciações regionais etc. como componentes importantes para elucidar conflitos, contradições e problemas ambientais decorrentes do processo de ocupação atual (p. 16).

No esteio em que os autores abordam essa problemática, compreende-se que o Cerrado é muito mais que um conceito ainda não estabelecido unanimemente de Bioma ou Domínio morfoclimático, mas, sim, de um sistema biogeográfico (BARBOSA,

2002), onde as relações devem ser compreendidas por uma visão do material e imaterial que o forjou (PELÁ e MENDONÇA, 2010), e das políticas governamentais (internas, e muito mais externas) que o “fizeram” ser o novo “El Dourado” da corrida por “produção de alimento” (aqui não entendido como a ideia de estoque de alimentos), e da venda do Cerrado como marca, estabilidade, natureza e pureza (SILVA, 2009).

O fator preponderante na apropriação do Cerrado nos processos espaço-temporais é primordialmente economicista, onde os empecilhos naturais foram (e são) superados com o incremento de investimentos econômico-financeiros, que possibilitaram transformações de ordem genética e estrutural das características básicas dos elementos solo, vegetação, micro-clima e disponibilidade hídrica do Cerrado (SIQUEIRA et al., 2010). Como afirmado em Silva (2009, p. 27), a “[...] tortuosidade e o xeromorfismo são de origem genética e não ambiental. [...] resultado de um longo processo de adaptação (genética), inclusive a fatores como o fogo, um componente ambiental sempre presente na história de constituição do Cerrado”.

## **2.2 A vertente como categoria de análise das dinâmicas terrestres**

A dinâmica superficial do globo terrestre pode ser compreendida por diversas categorias de análise no contexto geográfico, mas, é por meio do estudo da vertente que essa ganha sua maior atribuição, a possibilidade de analisar a interação social e ambiental, em seus diversos cenários. Pois, como afirma Casseti (1991, p. 54), onde nos diz que o “elemento dominante do relevo é constituído pela vertente [...]. É, portanto, na vertente que se materializam as relações das forças produtivas, ou seja, onde ficam impregnadas as transformações que compõem a paisagem”.

Jatobá e Lins (2003, p. 85) trazem a incorporação das vertentes para a essência do conhecimento geomorfológico, ao afirmarem que “as vertentes são as formas de relevo dominantes nas áreas emersas”. Corroborando, Cristofolletti (1980, p. 26) aponta que

[...] o estudo concernente às vertentes representa um dos mais importantes setores da pesquisa geomorfológica, englobando a análise de processos e formas. Esse setor é complexo, pois envolve a ação de vários processos responsáveis tanto pela formação como pela remoção de material detrítico. Embora o escoamento pluvial possua importância dominante, estender sua denominação ao conjunto seria simples força de expressão. Considerando a dificuldade de se encontrar uma denominação geral satisfatória, preferimos conservar a de *vertentes*, denotando sob essa rubrica os processos morfogenéticos e as

formas, sendo que essas são representativas dos sistemas morfogênicos e não de processos particulares.

Como se observa, a vertente em uma compreensão como categoria de análise geográfica apresenta uma gama de proposições, já que essa se situa no cerne das discussões dos estudos socioambientais (CASSETI, 1991).

A vertente ganha seu espaço nas discussões das relações sociedade-natureza, junto com a verticalização da ciência em disciplinas, especialmente na Geografia, palco de inúmeros trabalhos debatendo esse caminho. Âmbito onde a perspectiva que mais expressa o caminho que se pensa em dialogar, baseia-se na fisiologia da paisagem (AB' SABER, 1969; CASSETI, 2005).

Por essa perspectiva, as ações sociais tornam-se grande fonte de alterações na paisagem, a ponto de modificá-las, transformá-las e dizimá-las, denotando muitos cuidados nas linhas de abordagem. Pois, como afirma Gonçalves Junior (2014, p. 124), a fisiologia da paisagem, ao “incorporar a apropriação do relevo pelo homem, conduz a possibilidade de se compreender as transformações substanciais da paisagem [...]”.

Cassetti (2005, p. 5) aborda que a fisiologia da paisagem é um de três momentos da abordagem metodológica proposta por Ab'Saber (1969), onde essa tem

[...] por objetivo compreender a ação dos processos morfodinâmicos atuais, inserindo-se na análise o homem como sujeito modificador. A presença humana normalmente tem respondido pela aceleração dos processos morfogênicos, como as formações denominadas de tectogênicas, abreviando a atividade evolutiva do modelado. Mesmo a ação indireta do homem, ao eliminar a interface representada pela cobertura vegetal, altera de forma substancial as relações entre as forças de ação (processos morfogênicos ou morfodinâmicos) e de reação da formação superficial, gerando desequilíbrios morfológicos ou impactos geoambientais como os movimentos de massa, boçorocamento, assoreamento, dentre outros, chegando a resultados catastróficos, a exemplo dos deslizamentos em áreas topograficamente movimentada.

Assim, é possível notar que a construção da relação sociedade-natureza pela perspectiva da fisiologia da paisagem busca expor conflitos, mas também as soluções mediadoras e mitigadoras da supressão ambiental. Isto é, faz-se necessário avaliar o conceito de bio-resistásico, debatido por Erhart nos anos 1950. Basicamente, esse conceito debruça-se através da delimitação de estágios morfopedogenênicos distintos em associação com as condições climáticas.

Onde, segundo Cassetti (1991, p. 58),

[...] procura demonstrar, através de sua teoria bio-resistática que em condições de biostasia, portanto, quando a vertente encontra-se revestida de cobertura vegetal (propriedade geocológica), em meio ácido, como nas regiões intertropicais, a infiltração responde pela alteração dos silicatos de alumina (feldspatos), originando a caulinita, que juntamente com o quartzo, existente na grande maioria das rochas, integra a estrutura física dos solos. Os hidróxidos de ferro e alumina, solubilizados em tal ambiente, ficam retidos e são incorporados ao solo (fase residual), enquanto os elementos alcalinos ou alcalino-terrosos (potássio, sódio, cálcio e magnésio), bem como o silício, são transportados pela água escoada (fase migratória), originando-se os depósitos de rochas organógenas.

Dessa forma, para a biostasia, a atividade geomorfogenética inexistente, ou muito incipiente, existindo um equilíbrio pleno, entre potencial ecológico e exploração biológica.

Entretanto, a resistasia, de acordo com Casseti (1991),

[...] é identificada pela retirada dos elementos que a biostasia compunham a fase residual (elementos minerais + hidróxidos de ferro e alumina), o que determina a turbidez das águas de superfície (cursos d'água), que tem como principal indicador o ferro. Tal fase passa a ser individualizada a partir do momento e que a cobertura vegetal desaparece, o que pode resultar de alterações climáticas, na escala de tempo geológico, ou por derivações processadas pelo homem, na escala de tempo histórica. Portanto, na resistasia, a geomorfogênese domina a dinâmica da paisagem, com repercussão no potencial geocológico (desequilíbrio climático) (p. 58).

O modo de abordagem proposto pelo autor avalia que a vertente está ligada a ações dinâmicas, vinculadas a fenômenos morfogenéticos, onde, modelados horizontalizados, não apresentariam essa dinamicidade. Dessa forma, áreas propícias, seriam de fato o palco da relação vertente-solos, pois, como afirma Queiroz Neto (2011, p. 21),

As relações entre pedologia e geomorfologia devem ser estabelecidas através do estudo das relações entre seus objetos: solo (cobertura pedológica) e vertente, tornando possível a interpretação correta das influências da pedogênese e da morfogênese na elaboração dos relevos.

Cristofolletti (1980, p. 27) contribui para essa discussão, apontando que

[...] Os processos morfogenéticos são os responsáveis pela esculturação das formas de relevo, representando a ação da dinâmica externa sobre as vertentes. Esses processos não agem separadamente, mas em conjunto, no qual a composição qualitativa e a intensidade dos fatores respectivos são diferentes. Esses conjuntos de fatores responsáveis pela

elaboração têm desenvolvimento diferente e a sua eficácia é igualmente variada, conforme o meio no qual agem.

Assim, Queiroz Neto(2011, p. 23) insere que

[...] não há antagonismo entre pedogênese e morfogênese, os dois processos atuam conjuntamente no estabelecimento do modelado. A constatação da continuidade dos horizontes, mesmo com transformações, do topo à base das colinas, mas mantendo o paralelismo com a forma da vertente, indica o desencadeamento, não necessariamente atual, de processos solidários e simultâneos que prosseguem até agora, o que envolve também a ideia de convergência e de manutenção da funcionalidade.

Essa percepção é corroborada por Casseti (2005, pag. 25 e 26), quando essevalida a fisiologia da paisagem como cerne das interações na superfície, expondo que

[...] a fisiologia da paisagem diz respeito ao momento atual e até sub-atual do quadro evolutivo do relevo, considerando os processos morfodinâmicos, como o significado das ocorrências pluviométricas nas áreas intertropicais, ou processos específicos nos diferentes domínios morfoclimáticos do globo, bem como as transformações produzidas na paisagem pela intervenção antrópica. A apropriação do relevo, como suporte ou recurso, origina transformações que começam com a subtração da cobertura vegetal, expondo o solo aos impactos pluvioerosivos. A partir de então ocorrem alterações nas relações processuais, como as mudanças no jogo das componentes – de perpendicular, correspondente à infiltração, à paralela, relacionada ao escoamento superficial ou fluxo por terra.

Dessa forma, Werlang et al. (2016, p.1295) validam essa perspectiva como:

[...] as vertentes, juntamente com os interflúvios e os talwegues, são reconhecidas sendo as componentes fundamentais das unidades de relevo. Por relevo entende-se como a diversidade de formas da superfície da crosta terrestre. Ao se considerar que o relevo terrestre evolui surgem questões de como e de que maneira se processa o desenvolvimento das formas, quais as condições iniciais e até que fase se processa a evolução. Nesse raciocínio, torna-se, portanto, evidente a importância do conhecimento relativo à morfogênese de vertentes a partir do controle do exercido pela cobertura pedológica.

O que denota, portanto, de modo geral, uma complexidade de duas faces nos estudos dessa natureza, em uma a complexidade, na outra a necessidade de mais clareza nas relações estabelecidas.

Essa perspectiva traz à luz a complexidade das discussões envoltas no conhecimento do espaço e de sua dinâmica de ocupação/transformação pelo ser social,

que, outrora, usava das condicionantes ambientais como fonte recursal, e, hoje, necessita da mesma como parte de sua existência como ser vivente.

### **2.3 Solo e água: estrutura, relação e distribuição espacial em vertentes**

Os diversos fenômenos terrestres vêm cada vez mais apresentando estudos integrados, em escalas inter e multidisciplinares, a fim de se estabelecer relações e compreensões de sua dinamicidade e sensibilidade às ações sociais (TORRADO et al., 2005). Desse modo, os autores expõem que, “quanto mais atributos e fenômenos ocorrentes na pedosfera forem enfocados, melhor será o entendimento da origem, evolução, constituição, propriedades, qualidades e distribuição espacial dos solos” (Op. cit, p. 192).

Como a camada delgada de vida da Terra, o solo se integra no sistema terrestre de forma correlacionada com outros sistemas (RUELLAN, 1988; AMARAL, 1984), especialmente os endógenos (material de origem e ações de temperatura e pressão) e os exógenos (hidrosfera e ações sociais) (CHAVES e GUERRA, 2006; BAIZE et al., 1990; SIMONSON, 1959; OLIVEIRA, 2008), sendo um importante agente de equilíbrio planetário. Visto que é dele que os seres sociais retiram sua fonte de alimentos, bem como a base de suas construções e moradias (AMARAL, 1984).

Para avaliar a dinâmica dos solos, seja ela de formação (incluindo material de origem e morfometria) ou espacial - ligada às dinâmicas climáticas (superfície-atmosfera), sempre há pontos obscuros e pouco aprofundados nessa visão ampla do sistema, especialmente porque os estudos que abordam os solos pecam na abordagem escalar. Pensando nessa problemática, Daniels e Nelson (1987) comentam que

[...] devemos abandonar a ideia de que os solos são entidades independentes ocorrendo em pontos específicos e considerar que todas as partes da paisagem estão inter-relacionadas. Cada uma dessas partes é afetada e afeta partes adjacentes, especialmente aquelas de uma vertente em direção a um gradiente hidráulico. É necessário um melhor entendimento das relações ambientais solo-planta, incluindo as bases físicas da variabilidade dos solos bem como as mudanças temporais nas condições existentes em uma determinada paisagem. Uma vez entendidos os processos que conduzem à variabilidade dos solos, e seu efeito na produtividade, nós estaremos numa melhor posição para prever as condições do solo e sua produtividade em um dado conjunto de condições ambientais (p. 280).

De fato, os problemas dos estudos dispostos sobre os solos tendem a caracterizá-los espacialmente na relação material de origem e fatores pedogenéticos, muitas vezes motivados pela necessidade da compreensão da capacidade de produção agrícola, e, em outros casos, como parte do processo de avaliação das relações dispostas nos fenômenos naturais (TORRADO et al., 2005).

Para essa relação, torna-se necessário compreender e caracterizar a melhor conjuntura de definição do que é solo e como se estabelece a relação entre os entes que o utilizam. Nesse esteio, analisam-se as idéias de Chaves e Guerra (2006, p. 09), onde, para o Agricultor, “o solo é o meio natural onde se desenvolvem as plantas”, mas, para o Engenheiro de Minas, “o solo é o detrito que cobre as rochas e minerais a serem explorados, devendo, portanto, ser eliminado” e, em contrapartida, para o Engenheiro Agrícola e o Agrônomo, “o solo é um laboratório biológico”.

De forma a corroborar com os autores, Lepsch (2010, p. 19) nos diz que o solo para o Engenheiro Civil é “parte da matéria-prima para construções de aterros, estradas, barragens e açudes”. Os químicos o vêem como “uma porção de material sólido a ser analisada em todos os seus constituintes elementares”, o físico entende-o “como uma massa de variações de temperatura e conteúdo de água” e os ecólogos “como uma porção do ambiente condicionado por organismos vivos e que, por sua vez, também influencia esses organismos”.

Essas visões são apenas uma pequena parte do amplo espectro de trabalhos que os solos permitem, já que esse apresenta uma maior utilização em muitas outras faixas sociais, e, conseqüentemente, de usuários que o têm direta ou indiretamente no seu escopo de trabalho, e, assim, o compreendem de outras maneiras em grau de importância e uso (LEPSCH, 2011; MEURER, 2010; PRADO, 2001; QUEIROZ NETO, 2000; OLIVEIRA et al., 1992).

Sua determinação é amplamente abordada por diversos estudiosos, o que possibilita diferentes entendimentos sobre suas características e comportamentos. Para Curi et. al. (1993), o solo é a coleção de corpos naturais na superfície da Terra, constituído de "matéria mineral e/ou orgânica inconsolidada na superfície da Terra, que serve como meio natural para o crescimento e desenvolvimento de plantas terrestres".

Esse contínuo na paisagem, denominado por alguns pedólogos de cobertura pedológica (BAIZE et al., 1990), apresenta uma quantidade enorme de volumes que se

diferenciam entre si por sua organização, constituição e comportamentos. Sendo resultante da ação combinada dos fatores de formação: clima, relevo, material de origem, tempo, organismos (JENNY, 1941). E resultante dos processos pedogenéticos: adição, perda, transportes seletivos, transformações (SIMONSON, 1959), representado por um contínuo na paisagem, interrompido apenas por afloramentos rochosos, águas espessas e geleiras (OLIVEIRA, 2008).

A definição de solo usada por nós segue o entendimento da EMBRAPA (2006, p. 31), onde o solo é

[...] uma coleção de corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos que ocupam a maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, contém matéria viva e podem ser vegetados na natureza onde ocorrem e, eventualmente, terem sido modificados por interferências antrópicas.

No contexto até o momento analisado, as reflexões estão calcadas na estruturação e delimitação dos solos, mas, para todos esses processos envolvidos, a água é de extrema importância, pois a mesma começa a se evidenciar já na própria origem dos solos, pelo simples fato de ser um dos agentes mais ativos e presentes nos processos de decomposição e transporte dos seus materiais de origem (rochas e minerais) (MEDINA, 1972).

Conforme Fonseca (2010, p. 166-167), talvez a “[...] consequência mais importante do intemperismo químico é que ele permite o desenvolvimento de solos”, e a “[...] água é o fator mais importante do intemperismo químico”, pois, de modo geral, o intemperismo é a resposta dos materiais terrestres às mudanças de ambientes. A autora contribui, ainda, ao apontar que a água pura não é reativa, entretanto,

[...] uma pequena soma de material dissolvido é geralmente tudo que é necessário para ativá-la. Oxigênio dissolvido na água oxidará alguns materiais. Dióxido de Carbono ( $\text{CO}_2$ ) dissolvido em água forma ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Este ácido ioniza-se para formar íons de hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) e bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) (FONSECA, 2010, p. 167).

As ponderações de Suguio (2006, p. 119) vêm a reafirmar essa lógica, expondo que os íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sódio ( $\text{Na}^+$ ), potássio ( $\text{K}^+$ ) e silício ( $\text{Si}^{2+}$ ) são, em “[...] grande parte, oriundos do intemperismo químico de solos e rochas”. Dessa maneira, se tornam mais compreensíveis a diversidade de solos em ambientes onde a complexidade hídrica é diversificada e atuante em situações complexas.

A percepção que se tem é de que a dinâmica da água no solo é um processo constante, controlando as ações dos elementos químicos, alterando as características elementares dos solos, acarretando mudanças nos sistemas nutricionais e no controle hidráulico (PINHEIRO et al., 2009; GONÇALVES et al., 1999; ROSSATO et al., 2004).

Guerra (1994, p.26) afirma que a “água é o agente mais necessário na transformação dos sedimentos, pois, penetrando o solo e as rochas, têm papel eficaz na evolução das rochas em toda a zona superficial”. Assim, compreender as dinâmicas desse fator na constituinte ambiental é fundamental para estabelecer os parâmetros de equilíbrio do sistema, e suas conseqüentes perturbações (quando se tem) (SANTOS et al., 2011).

O começo do processo da água no solo está na relação direta entre fatores climáticos (especificamente a pluviosidade), o tempo, textura do solo, vegetação e topografia, e sua capacidade em absorvê-la (SANTOS et al., 2011), que, conforme Brandão et al. (2006, p. 13), se denomina de infiltração, o que, de acordo com os autores, seria “o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo”. Nesse panorama, Santos et al. (2011, p. 671) afirmam que

[...] a umidade do solo é importante para o crescimento das plantas, estando altamente relacionada com as características temporais e de intensidade dos eventos pluviométricos. A precipitação efetiva depende, assim, da intensidade da chuva, da taxa na qual a água é removida do solo através do escoamento superficial, percolação profunda ou drenagem e a evaporação da superfície do solo.

De acordo com Medina (1972, p. 46), a propriedade do solo em atrair e reter água em forma líquida ou gasosa (vapor d’água) é dinamizada por uma série de fatores complexos, os quais podem ser representados pela Equação 1.

$$P_t = P_c + P_o + P_a \quad (\text{Eq.1})$$

Onde:

P<sub>t</sub>: potencial total de água no solo;

P<sub>c</sub>: potencial capilar;

P<sub>o</sub>: potencial osmótico;

P<sub>a</sub>: potencial de adsorção.

A autora afirma que o grau de importância de cada um desses fatores está diretamente ligado ao estado de umidade do solo, sendo que, um solo seco ao ar terá maior potencial total de água no solo relacionado ao potencial de adsorção; entretanto, um solo saturado terá seu potencial total de água relacionado ao fator capilar (MEDINA, 1972).

Dessa forma, Bruno (2004) relata que a umidade do solo

[...] pode se apresentar na forma de água gravitacional percolando por entre os espaços porosos, ou como água capilar retida nos pequenos poros, ou como água higroscópica adsorvida na matriz do solo, ou ainda, como vapor d'água. Dentre essas formas, a água capilar é a de maior relevância para os processos de evapotranspiração por estar diretamente disponível à vegetação (p. 48).

A umidade volumétrica do solo é definida em relação ao volume de solo pela Equação 2

$$\theta = \frac{V_w}{V_T} \quad (\text{Eq.2})$$

Ou, em relação à massa de solo seco (umidade do solo) (Equação 3).

$$w = \frac{m_w}{m_s} \quad (\text{Eq.3})$$

Onde:  $\theta$  é a umidade volumétrica,  $V_w$  é o volume de água contido no solo,  $V_T$  é o volume total do solo,  $m_w$  é a massa de água contida no solo e  $m_s$  é a massa de solo seco.

A Equação 2 é a mais utilizada, já que dispõe informação direta sobre a proporção de poros preenchidos por água (KUTÍLEK e NIELSEN, 1994). O preenchimento relativo dos poros pela água é descrito pela umidade relativa do solo ou pelo grau de saturação ( $\theta_R$ ) (Equação 4).

$$\theta_R = \frac{\theta}{\phi} \quad (\text{Eq.4})$$

Onde:  $\theta$  é dado pelo conteúdo de umidade efetiva do solo ( $\theta_1 \leq \theta \leq \theta_s$ ) (Equação 5),

$$\theta_E = \frac{\theta - \theta_r}{\phi - \theta_r} \quad (\text{Eq.5})$$

Onde:  $\theta_r$  é o conteúdo de umidade residual do solo (quando  $\theta$  corresponde apenas a água higroscópica). No campo, quando a umidade do solo na saturação permanece abaixo da porosidade ( $<\theta S_s$ ), devido ao aprisionamento de ar,  $\phi$  em Eq. 5 é usualmente trocado por  $\theta \phi$ .

A necessidade de compreender os parâmetros que se correlacionam entre o solo e água os torna, entre os diversos fenômenos terrestres, um dos mais importantes, considerando-se o grau de necessidade da sociedade quanto às suas aplicações na vida diária, sejam na estruturação de moradias e uso do solo/terra, quanto do comportamento e uso da água em praticamente todas as atividades que desenvolvemos.

#### **2.4 Sensoriamento Remoto: instrumentação, modelos e aplicações**

O desenvolvimento do Sensoriamento Remoto (SR) já está bem delineado nos diversos estudos sobre suas funcionalidades e aplicabilidades (NOVO, 1992; CÂMARA, 1996; CÂMARA e MEDEIROS, 1998; FLORENZANO, 2011; MENESES e ALMEIDA, 2012). E seu grau de importância estende-se por diversos e complexos tipos de estudos que o utilizam como meio de compreensão dos fenômenos terrestres, de cunho ambiental e/ou social (MARTIN, 2008; GIARDINO, 2011; SOLER et al., 2011; IRONS, 2012; ROTTA et al., 2012).

Por essa amplitude de aplicações, o Sensoriamento Remoto apresenta diversas definições, que, em muitos casos, são amplas e imprecisas, e, em outros, são muito restritivas. Consideramos, em Novo (1992, p. 2), uma das mais robustas para esse estudo. A autora o define assim:

[...] sensoriamento remoto consiste na utilização conjunta de modernos instrumentos (sensores), equipamentos para processamento e transmissão de dados e plataformas (aéreas ou espaciais) para carregar tais instrumentos e equipamentos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes da Terra, em suas mais diversas manifestações.

Para complementar a definição de Novo (1992), usamos os aportes fornecidos por Moraes (2002, p.1), que apresenta a seguinte contribuição:

[...] o SR pode ser entendido como um conjunto de atividades que permite a obtenção de informações dos objetos que compõem a superfície terrestre sem a necessidade de contato direto com os mesmos. Estas atividades envolvem a detecção, aquisição e análise (interpretação e extração de informações) da

energia eletromagnética emitida ou refletida pelos objetos terrestres e registradas por sensores remotos. A energia eletromagnética utilizada na obtenção dos dados por sensoriamento remoto é também denominada de radiação eletromagnética.

Observa-se que o SR está ligado, nos conceitos das autoras, pela necessidade direta de obtenção de parâmetros advindos da radiação eletromagnética – REM, proveniente do objeto analisado (medição radiométrica). A REM pode ser compreendida de forma sucinta pela relação de dualidade do comportamento da sua natureza entre onda e energia (modelos ondulatório e corpuscular) (MENESES e ALMEIDA, 2012).

Para estudos mais específicos, compreender o espectro eletromagnético das regiões espectrais da REM torna-se essencial, pois são nesses comprimentos de ondas que o homem assimila as relações dos parâmetros e suas alterações no espaço geográfico. Os comprimentos de ondas, que são intervalos da onda com base nos mecanismos físicos geradores da energia eletromagnética e nos mecanismos físicos de sua detecção (MENESES e ALMEIDA, 2012; MORAES, 2002), são partes fundamentais dos estudos que envolvam o SR, pois, é a partir deles que definimos qual faixa do comprimento de onda será utilizada para determinado estudo aplicado.

Dessa maneira, tem-se um amplo campo de estudos e aplicações a serem realizados. Essa compreensão favorece o entendimento de que certo objeto irá reagir de uma forma pré-reconhecida, dividindo a sua resposta radiométrica. Na Tabela 1, são expressas as faixas espectrais, mas aplicadas em SR, e que são de maior aceitação nos trabalhos desenvolvidos por diversos ramos de pesquisas.

**Tabela 1:** Principais faixas do espectro eletromagnético.

<b>INTERVALO ESPECTRAL</b>	<b>COMPRIMENTO DE ONDA</b>
Raios cósmicos	0,01 A°
Raios gama	0,01 – 0,1 A°
Raios X	0,1 – 10 A°
Ultravioleta	100nm – 0,38µm
<b><u>Visível</u></b>	<b><u>0,38 – 0,76 µm</u></b>
<b><u>Infravermelho próximo</u></b>	<b><u>0,76 – 1,2 µm</u></b>
<b><u>Infravermelho de ondas curtas</u></b>	<b><u>1,2 – 3,0 µm</u></b>
<b><u>Infravermelho médio</u></b>	<b><u>3,0 – 5,0 µm</u></b>
<b><u>Infravermelho termal</u></b>	<b><u>5,0 µm – 1 mm</u></b>
<b><u>Micro-ondas</u></b>	<b><u>1 mm – 100 cm</u></b>
Rádio	1 m – 10 km
Áudio	10 – 100 km

Corrente alternada > 100 km

$$A^\circ = 10^{-10} \text{ m}; \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}; \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

**Fonte:** MENESES e ALMEIDA (2012).

Observa-se que, na tabela supracitada, algumas faixas estão destacadas (negrito/sublimadas), pois são consideradas as mais usadas em estudos de SR. Outro fator importante é que, devido às interferências atmosféricas, apenas alguns intervalos do espectro eletromagnético são aproveitáveis nos sensores instalados em plataformas aéreas e orbitais, conforme a Tabela 2.

**Tabela 2:** Possíveis intervalos espectrais utilizáveis em sensores remotos.

0,45 – 0,76 $\mu\text{m}$ visível	0,76 – 1,2 $\mu\text{m}$ infravermelho próximo	1,2 – 3,0 $\mu\text{m}$ infravermelho de ondas curtas	3,0 – 5,0 $\mu\text{m}$ infravermelho médio	5,0 $\mu\text{m}$ – 1 mm infravermelho termal	1mm– 100 cm micro-ondas
Toda faixa	0,76 – 0,91 1,00 – 1,12	1,19 – 1,34 1,55 – 1,75 2,05 – 2,40	3,5 – 4,2 4,5 – 5,0	8,0 – 9,2 10,2 – 12,5	3,0 – 100

**Fonte:** MENESES e ALMEIDA (2012).

Nesse ponto, tem-se o SR como uma das ferramentas mais completas e complexas em operação, na atualidade, a subsidiar uma gama de trabalhos e aplicações no campo científico ambiental e das relações sociais. Desse modo, apresentam-se alguns exemplos práticos desse meio, no tocante ao amplo campo de trabalho que é proporcionado pelo seu uso.

O SR é usado constantemente nos estudos relacionados aos solos, erosões e uso e manejo da terra, pois apresenta ferramentas importantes e dinâmicas de relações entre os atributos analisados e coletados *in situ* (WWF, 2009, 2011; SCHMUGGE, 2002; LATRUBESSE et al., 1998; JESUZ et al., 2013; BOEGH et al., 2004; SANO et al., 1993; REATTO et al., 2004).

Nesse esteio, Laabs et al.(2000) analisam os processos de lixiviação e degradação de pesticidas usados na agricultura para culturas de milho e soja, em um Latossolo Vermelho, no Cerrado mato-grossense, usando ferramentas do SR. Os autores expõem a dinamicidade do uso de pesticidas nas regiões das cabeceiras, o Pantanal Setentrional, com uma grande concentração de metolachlor, atrazina, simazina, em profundidades de até 15cm, mesmo em áreas onde o processo de depuração e lixiviação foram intensos, o que segundo, esses mesmos autores, eleva o grau de poluição e contaminação das águas dos aquíferos semiconfinados e confinados.

O notório emprego do sensoriamento remoto, nos mais diversos estudos realizados atualmente, é fruto dos avanços tecnológicos e conceituais do entendimento da dinâmica de fatores diversos (terrestres e espaciais), além de que há uma grande gama de aplicações que são possíveis via SR.

Nesse ponto, Florenzano (2011) nos traz algumas dessas áreas possíveis de correlação, apontando o uso de imagens de satélites na previsão do tempo, detecção e monitoramento de focos de incêndio e áreas de queimadas, desmatamentos, erosão e escorregamento de encostas, inundações. Como as imagens de satélite possibilitam uma visão sinóptica e multitemporal, essas são empregadas em estudos que envolvam atividades de reconhecimento de equilíbrio e desequilíbrio vegetal diversificado, de estruturas minerais, do modelado do terreno terrestre e aquático, das características de ambientes rurais e urbanos e nas atividades didático-pedagógicas.

Com a dinamicidade do sensoriamento remoto, este já se apresenta como uma das ferramentas mais significativas de estudos disposta em nossa realidade, pois suas possibilidades ganham cada vez mais espaço, ao ritmo do conhecimento mais aprofundado das relações entre fenômenos diversos e obtenção de parâmetros confiáveis.

## **2.5 Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA): conceitos e aplicações**

O uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) permeia desde a Primeira Guerra Mundial, com forte avanço tecnológico nas décadas seguintes, ainda por uma constante estritamente militar (ALVES JUNIOR, 2015; LONGHITANO, 2010).

Sua dissimilação de uso cível só veio a ganhar espaço nas últimas décadas do séc. XX, especialmente após os anos de 1970, sendo atualmente um dos principais ramos de tecnologia aeroespacial explorado em todos os continentes do planeta (ALMEIDA, 2010; DIAS e ROSSA, 2015).

Nesse panorama, Colomina e Molina (2014) afirmam que alguns grupos de pesquisas já vislumbravam o potencial de mapeamentos por plataformas não tripuladas, ainda que sofressem muita falta de entusiasmo de grande parte do corpo de pesquisadores mundiais. Entretanto, os autores apontam que algumas empresas de tecnologias já se posicionaram na vanguarda dessa nova possibilidade de empregabilidade de plataformas para uso civil e de pesquisas, especialmente no Japão, Austrália e Reino Unido.

AsRPAs são conhecidas sob vários nomes e siglas diferentes, como *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *unmanned aerial system* (UAS), *aerial robot* ou simplesmente *Drones* (alusão ao barulho dos motores que lembra o zumbido de zangões), dessa forma VANT e DRONE são os termos mais populares. O termo VANT foi adotado pelo Departamento de Defesa dos EUA (DOD) e pela Autoridade de Aviação Civil (CAA) do Reino Unido (COLOMINA e MOLINA, 2014).

A fim de apresentar um conceito balizador da compreensão dessa tecnologia, é necessário buscar definições amplas e diversas, pois, no escopo de sua larga produção, há significativos detalhes que alteram suas finalidades e prováveis usos.

Dessa maneira, a partir da Circular de Informações Aeronáuticas (AIC) nº 21/10, de 23 de setembro de 2010, do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), Alves Junior (2015) traz a definição de VANT como sendo os veículos aéreos projetados para operar sem piloto a bordo, que possuam uma carga útil embarcada e que não sejam utilizados para fins recreativos.

Bem como Longhitano (2010), utilizando como base o relatório do Departamento de Defesa dos EUA (DOD), define os VANT como

[...] veículos aéreos que não carregam operador humano, utilizam forças aerodinâmicas para se elevar, podem voar autonomamente ou ser pilotados remotamente, podem ser descartáveis ou recuperáveis e podem transportar cargas bélicas ou não bélicas. Excluem-se desta definição, veículos balísticos e semi-balísticos como mísseis de cruzeiro, e projéteis (DOD, 2003 apud LONGHITANO, 2010).

Dias e Rossa (2015), fazendo uso do Glossário das Forças Armadas, MD 35-G-01 (BRASIL, 2007), usam a definição de VANT como sendo

[...] Veículo aéreo, sem operador a bordo, com asas fixas ou rotativas, que dispõe de propulsão própria, podendo ser pilotado remotamente ou dotado de um sistema autônomo de navegação. É empregado em ações de ataque ou reconhecimento, sendo recuperável ou não [...].

Almeida (2010, p. 214) corrobora na discussão, conceituando os VANT como

[...] uma plataforma de baixo custo operacional operada por intermédio de um controle remoto em terra ou que segue um plano de voo pré-estipulado antes de seu lançamento, capaz de executar diversas tarefas, tais como monitoramento, reconhecimento tático, vigilância, mapeamento e ataque entre outras, dependendo dos equipamentos instalados.

Atualmente, no Brasil, se discute a adoção (oficial) do termo RPA (*Remotely Piloted Aircraft*), que se aplica a qualquer veículo aéreo não tripulado, sendo definido como um termo subcategórico e específico de VANT. Esse termo foi adotado pela

Organização Internacional da Aviação Civil (ICAO), na ICAO Circular 328, onde RPA é compreendido como

[...] aircraft piloted by a licensed “remote pilot” situated at a “remote pilot station” located external to the aircraft (i.e. ground, ship, another aircraft, space) who monitors the aircraft at all times and can respond to instructions issued by ATC, communicates via voice or data link as appropriate to the airspace or operation, and has direct responsibility for the safe conduct of the aircraft throughout its flight. An RPA may possess various types of auto-pilot technology but at any time the remote pilot can intervene in the management of the flight. This equates to the ability of the pilot of a manned aircraft being flown by its auto flight system to take prompt control of the aircraft [...] (ICAO, 2011, p. 7).

Para a ANAC (2012, p.4), RPA é

[...] a aeronave pilotada por um piloto remoto situado em uma estação de pilotagem remota localizada externamente à aeronave (por exemplo, em uma estação de solo, em um navio, em outra aeronave, no espaço). O piloto monitora a aeronave o tempo todo e possui responsabilidade direta pela operação segura da aeronave durante todo o voo. Caso determinado pela autoridade competente, em função da classe de espaço aéreo e/ou do tipo de operação, o piloto deve estar apto a comunicar via voz ou enlace de dados com o controle de tráfego aéreo e atender suas instruções. A atuação do *Piloto em Comando da RPA* é essencial para a operação segura da aeronave conforme ela interage com outras aeronaves e com o sistema de gerenciamento de tráfego aéreo (**grifo nosso**).

A avaliação que se faz desse escopo apresentado até o momento expõe a complexa sistemática que envolve os VANT na questão de uma definição abrangente e aceitável por todos os usuários (civis e militares), assim como de legislação que legalize e operacionalize suas aplicações.

Na América Latina, somente o Chile e a Argentina, até a data dessa pesquisa, apresentaram uma legislação aprovada para regulamentação do uso de VANT em seu território, por meio da Norma Aeronáutica (DAN) 151, de 02 de abril de 2015, e a Resolução 527, de 15 de Julho de 2015, respectivamente. Enquanto, no Brasil, discussão e legalização, via normatização, ainda está em processo de construção, sendo que o projeto era até meados de 2014, e agora prevê sua conclusão para 2018 (ALVES JUNIOR, 2015).

As questões mais importantes envolvendo essas duas normativas, chilena e argentina, referem-se à criação de mecanismos de controle da compra e uso de VANT, assim como estabelece diretrizes de quem e como usar, normas de segurança e restrições de locais para essa prática.

Outro fator importante na compreensão dos VANT relaciona-se ao seu tamanho e alcance de suas funções. Nesse esteio, Watts et al. (2012) contribuem ao elencar como se comportam os VANT para esses segmentos:

- MAV ou NAV (*Micro ou Nano Air Vehicles*): são aparelhos de pequeno porte com alcance máximo de 330 m de altitude e tempo de voo entre 5 e 30 minutos.
- VTOL (*Vertical Take-Off and Landing*): não necessitam de pista de decolagem ou aterrissagem, mas gastam muita energia para manter posição estável em altitude. Normalmente possuem tamanho pequeno em relação a uma aeronave tripulada e são usados predominantemente em baixas altitudes.
- LASE (*Low Altitude, Short-Endurance*) ou sUAS (*smallunmanned aircraft systems*): são VANT de asa, com envergadura menor que 3 m que podem ser lançados de catapultas ou manualmente. Pesam tipicamente entre 2 e 5kg. Esse baixo peso limita sua capacidade de voo a 1-2 h e o alcance a poucos quilômetros da estação base.
- LALE (*Low Altitude, Long Endurance*): tipicamente maiores que os LASE, em relação a estes, podem carregar vários quilogramas a alguns quilômetros de distância, por períodos estendidos.
- MALE (*Medium Altitude, Long Endurance*): são tipicamente muito maiores que as classes de VANT de baixa altitude, operando em raios de centenas de quilômetros a altitudes de até 9.000 m.
- HALE (*High Altitude, Long Endurance*): são os maiores e mais complexos, maiores que muitas aeronaves de uso-geral tripuladas. Podem voar a altitudes de 20.000 m e cumprir missões a milhares de quilômetros de distância. Alguns HALE voaram por mais de 30 h, quebrando recordes de altitude e duração de voo.

Como se observa, as características conceituais, regulamentárias e de estrutura condicionam os VANT a serem mecanismos extremamente importantes numa gama de trabalhos, projetos e usos diversos. E suas aplicações em pesquisas estão sendo cada vez mais praticadas, e em diversas especificidades.

Com aplicações diversificadas e pulverizadas, os VANT ganham extrema importância em estudos que envolvam baixa aplicação de recurso financeiro e rápidas respostas espectrais e temporais.

Nesse panorama, Quin (2014) avalia mudanças em ambientes urbanos, utilizando imagens tomadas com VANT, em escala temporal diversificada, e por aplicação de método hierárquico baseado em objetos, verificando possíveis mudanças/alterações na superfície analisada. Enquanto Hugenholtz et al. (2013) aplicam técnicas de levantamentos fotogramétricos com VANT para produzir mapeamentos geomorfológico e de superfície.

Ainda no campo das análises ambientais, têm-se grandes usos dos VANT, para determinar a microtopografia e seu papel na quantificação do escoamento superficial (OUÉDRAOGO et al., 2014), também usado para mapear deslizamentos de forma mais rápida e com uma resolução espacial de alta qualidade (NIETHAMMER et al., 2012; NIKOLAKOPOULOS et al., 2015).

Vários autores vêm empregando essa tecnologia na obtenção de modelo do terreno de alta resolução para avaliação de canais fluviais e planícies de inundação (FLENER et al., 2013), no uso de fotogrametria de alta resolução com imagens hiperespectrais para obter dados de refletância de árvores, a fim de determinar perturbações em seu ciclo de vida (NÄSI et al., 2015), e em levantamentos multiespectrais 3D de florestas temperadas de folhas caducifólias, em diferentes níveis de altitude (DANDOIS et al., 2015). Já Lucieer et al. (2013) aplicaram o VANT na obtenção de dados da microtopografia de musgos na Antártida oriental. No emprego de ações de mitigação a desastres ambientais e sociais, devido à sua velocidade de ação e baixo custo de implantação (YAHYANEJAD e RINNER, 2015), na obtenção de nuvens de pontos 3D para avaliar estrutura e fachadas de edifícios pós-desastres (VETRIVEL et al., 2015).

Seu emprego foi experimentado também por Albuquerque et al.(2014), para servir como nós móveis de uma rede tolerante a atrasos e desconexões (DTN), servindo de apoio às comunicações, em caso de desastres, onde há falhas de comunicação entre os fronts de atuação. Themistocleous et al. (2015) utilizaram o VANT associado a imagens de alta resolução para criar levantamentos da herança cultural da Igreja Asinou, no Chipre, onde, a partir desse banco de imagens, foram realizadas construções 3D da mesma, e impressas em uma impressora 3D.

Outros estudos sobre VANT o aplicam como forma de melhorar e atualizar registros de ataques e precisões com sistemas de uso militar/bélico, com o objetivo de mitigar erros e danos a civis (ZHANG e KARIM, 2004; QI et al., 2000). Pois, como afirmam Dias e Rossa (2015), o uso de VANT para eventos militares, a fim de minimizar o emprego de combatentes em campo, pode provocar ações diretas ao DICA ou DIH (conjunto de normas que visa proteger pessoas que não participam ou que deixaram, por algum motivo, de participar do combate). Assim, os autores pontuam que

[...] os drones, VANT de combate, ouUCAV (Unmanned Combat Aerial Vehicle) para os *estadunidenses*, são novos meios de guerra utilizados na complexidade dos cenários de conflitos futuros, onde a incerteza paira como a melhor

perspectiva do que irá ocorrer. O amplo espectro das ações introduz no combate novas necessidades, em tecnologias, meios e métodos de combate. Não há como voltar no tempo. As evoluções das armas e da própria estratégia impõem que cada ator se prepare para combater em frentes diversificadas. Nesse contexto é que surgem esses novos meios de combate, os VANT armados, cuja forma de emprego coloca à prova os princípios do DICA. De fato, não questiona esses princípios propriamente ditos, mas exige novas maneiras de interpretá-los, a fim de lhes ratificar à validade, diante da, cada vez maior, amplitude de suas possibilidades de emprego. As discussões não podem definir o sim ou o não a seu uso. No entanto, talvez possam disciplinar o mesmo, a fim de que, no limite da barbárie, se possa exigir o mínimo de civilidade (**grifo nosso**) (DIAS e ROSSA, 2015, p. 198).

O que se observa na construção da tomada das RPAs nos estudos mais diversificados possíveis é que a eficiência desses equipamentos, aliada à alta tecnologia de sensores, softwares e outros componentes, viabilizem sua permanência como ferramenta indispensável nos estudos que envolvam o emprego de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento, fotogrametria, análises da paisagem, entre outras.

## **2.6 Aplicações do sensoriamento remoto termal e multiespectral com RPA**

As técnicas empregadas em sensores de capacidade termal e multiespectral estão avançando consideravelmente nas últimas décadas, em decorrência do maior emprego de tecnologias e materiais com maior eficiência. Assim, somados ao avanço do SR, esses sensores ganham maior amplitude de trabalhos e geram cada vez mais dados em diferentes aplicações, seja no campo ambiental, social, de engenharias, bélico e outros (CERDEIRA et al., 2011).

Dessa forma, a integração dos sensores com a tecnologia de RPAs está entre as ferramentas mais eficientes nos estudos desenvolvidos para o sensoriamento remoto atual (ROIG et al., 2013; FLENER et al., 2013; SUOMALAINEN et al., 2014).

Nessa perspectiva, tem-se o sensor termal com diversas aplicações e usos, nos mais variados estudos, como estrutura básica. Esses sensores são regidos de forma mais abrangente pela condicionante de emitância do infravermelho termal, que se baseia na Teoria da Termografia. Assim, Santos (2006, p. 19) avalia que

[...] a Termografia infravermelha, tal como é conhecida hoje, com termovisores portáteis capazes de detectar e converter, em tempo real, a radiação infravermelha em imagens visíveis e com a possibilidade de medição de temperatura, só foi possível

devido a diversos estudos e descobertas, das quais algumas das mais importantes, a partir da descoberta da radiação infravermelha.

A radiação infravermelha está calcada em bases conceituais de calor, temperatura e modos de transferência do calor. Ela consiste basicamente numa lei da física, onde afirma-se que qualquer corpo com uma temperatura acima do zero absoluto (-273° C) irradia calor e emite uma fração de radiação proporcional à sua temperatura, regida pela lei de Planck (MENDONÇA, 2005).

A radiação térmica ou infravermelha, de acordo com Santos (2006), pode ser estruturada pelas leis de Planck (Eq. 6), que descreve a distribuição de energia irradiada por um corpo negro em função do comprimento de onda e da temperatura.

$$M_{\lambda} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda kT} - 1)} \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde,

$M_{\lambda}$  = radiância espectral ( $\text{W m}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$ )

$h$  = constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34} \text{ J s}$ )

$c$  = velocidade da luz ( $2,9979246 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}$ )

$k$  = constante de Boltzmann ( $1,3806 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$ )

Da mesma forma, pela lei de Stefan-Boltzmann (Eq. 7), que relaciona a energia por unidade de tempo e por unidade de área irradiada por um corpo à quarta potência de sua temperatura absoluta.

$$T_{RadBB} = \sigma T_{kin}^4 \quad (\text{Eq.7})$$

Onde,

$T_{RadBB}$  = fluxo radiante de um corpo negro ( $\text{W/m}^2$ )

$T$  = temperatura cinética absoluta

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzmann ( $5,667 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$ )

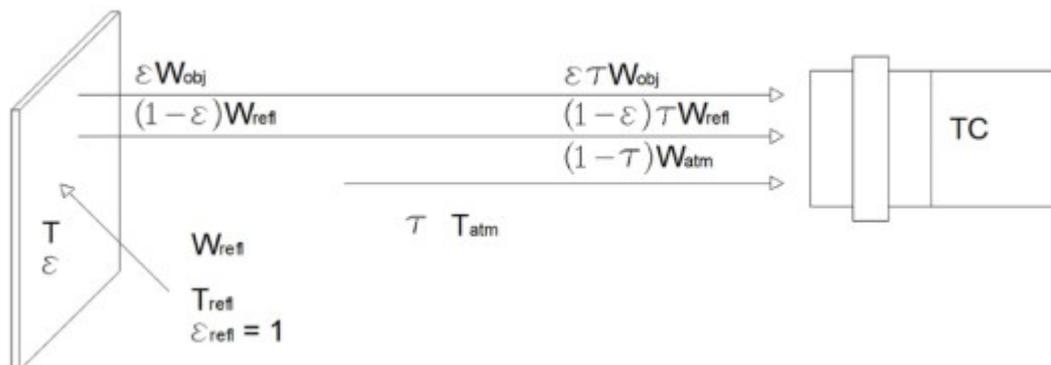
O dispositivo (sensor) usado na conversão da radiação infravermelha em imagens digitais possíveis de análises é a câmera termográfica. Conforme Altoé e

Oliveira Filho (2012, p. 57), esse processo de conversão é composto por uma sistemática, onde

[...] a radiação interceptada pela câmara não é proveniente apenas do objeto sob observação, mas também do entorno, ao ser refletida no objeto, e da atmosfera. Além de participar com parte da radiação, a atmosfera atenua o valor de radiação do objeto e do entorno que será captado pelo dispositivo [...]. Portanto, é recomendável que o operador calibre a câmara com valores de emissividade e transmitância a cada inspeção. Os manuais de câmeras termográficas geralmente trazem tabelas com valores de referência para auxiliar o operador do equipamento.

Desse modo, o processo supracitado é observado na Fig. 1, onde, por essa perspectiva, o sensor da câmera termográfica transforma a radiação capturada em pulsos elétricos, que são amplificados e convertidos em sinais digitais, os quais podem ser visualizados em sinais de imagens em tons de cinza ou em escala coroplética, de acordo com a faixa de temperatura capturada.

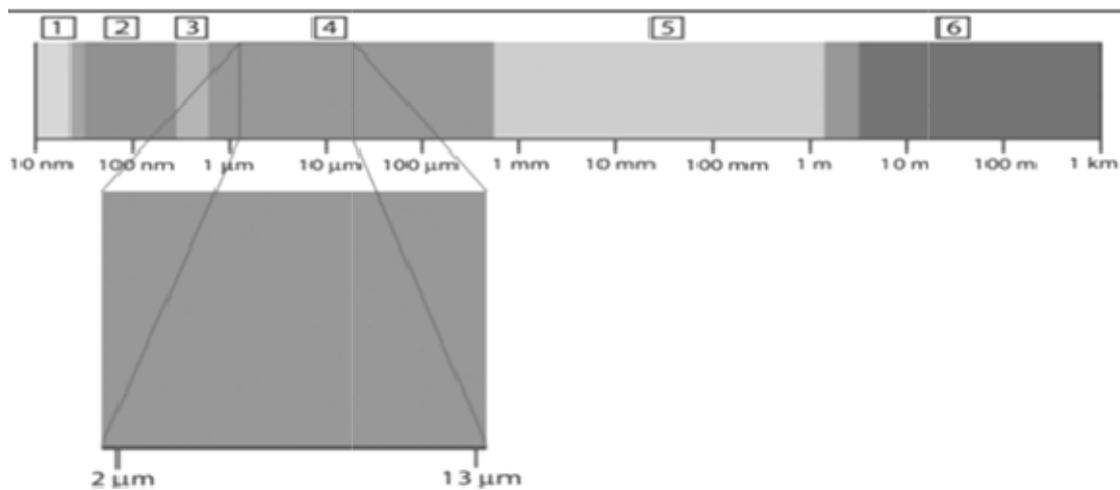
**Figura 1:** Representação esquemática de uma situação geral de medição termográfica.



Fonte: FLIR (2011).

Assim, as faixas no espectro eletromagnético (Fig. 2) de estudo da radiação infravermelha estão contidas em unidades bem delimitadas, onde a temperatura de um corpo é medida pelas ondas eletromagnéticas produzidas pelo mesmo.

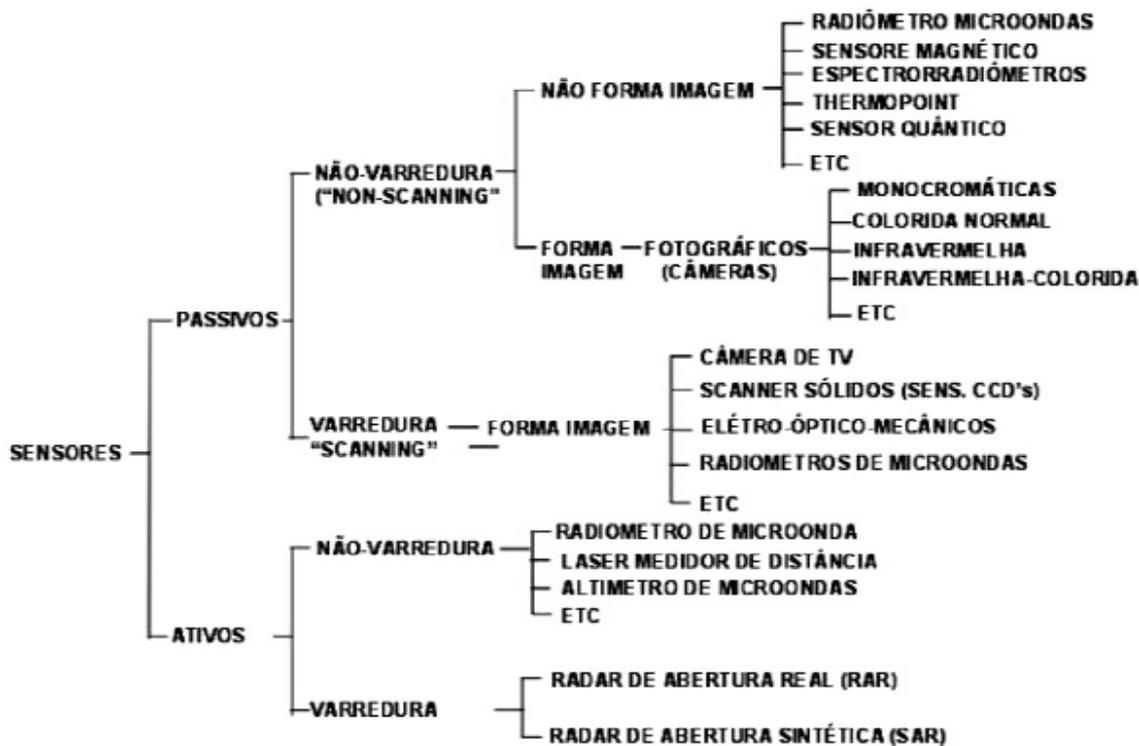
**Figura 2:** Detalhamento da faixa do espectro eletromagnético do infravermelho termal.



**Fonte:** Adaptado de Florenzano, (2011).

Outro caminho mais estudado pelo SR convencional que se encontraé aquele praticado no espectro óptico (por refletância). Este conta com uma grande gama de sensores para quantificar e qualificar determinados alvos, em decorrência das relações da superfície terrestre com a reflexão da radiação emitida pelo sol (albedo), permitindo um maior número de aplicações e possibilidades de estudos. De acordo com Florenzano (2011), esses sistemas podem ser ativos ou passivos, com diversos tipos de sensores, entre os de emitância e termais (Fig. 3).

**Figura 3:** Classificação dos sensores quanto à categoria, tipo de produto e fonte de radiação.



Fonte: MOREIRA (2001).

Os sensores orbitais mais utilizados são os das séries dos satélites LANDSAT TM 5 e 7, seguida pelo LANDSAT 8 – OLI, todos caracterizados por apresentarem sensores passivos de média resolução espacial (em sua maioria 30m), bem como nos satélites IKONOS e SPOT TM, entre outros, com média-alta resolução espacial (menor que 10 m), e nos satélites de moderada a baixa resolução espacial, como o TERRA/AQUA e o NOAA, que apresentam os sensores MODIS/CERES/ASTER e AVHRR, respectivamente.

As atividades mais ligadas a esses sensores estão voltadas à obtenção de parâmetros ecofisiológicos da vegetação, por meio de índices de vegetação compreendidos como valores obtidos por uma combinação de faixas espectrais que apresentam uma relação empírica com a quantidade, ou qualidade, da vegetação representada pelo pixel de uma imagem.

Como há uma grande quantidade de índices de vegetação, apenas os mais usados e testados serão apresentados nesta revisão. Assim, o índice da Razão Simples (*Simple Ratio*), conforme Kawashima et al. (2013), é caracterizado pela razão entre as refletâncias obtidas na faixa do infravermelho próximo e vermelho (Eq.8).

$$SR = \rho_{nir} / \rho_{red} \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde:  $\rho_{nir}$  = valores dos níveis de cinza correspondente à banda do infravermelho próximo e  $\rho_{red}$  = valores dos níveis de cinza correspondente à banda do infravermelho.

Neste grupo, também destaca-se o Índice de Vegetação da Diferença Normal – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), dado pela razão entre a diferença entre as refletâncias obtidas na faixa do infravermelho próximo e vermelho e a sua soma.

O Índice de Vegetação Ajustado para o Efeito do Solo – SAVI (*Soil-Adjusted Vegetation Index*) é outro bastante utilizado para estudo da vegetação e solo. , conforme descrito em Huete (1988). Trata-se de um índice de vegetação que inclui um termo de correlação dos efeitos da contaminação do sinal pelo fundo do dossel, principalmente o ruído originado pelo solo, isto é, adiciona-se o fator de ajuste da refletância do solo e multiplica-se a razão pelo fator (1+L). O fator L pode ser interpretado como o fator de influência do solo, segundo o qual os valores ótimos são:  $L=1$  (para densidades baixas de vegetação);  $L=0,5$  (densidades médias) e  $L=0,25$  (densidades altas) (Eq. 9).

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{nir} - \rho_{red})}{\rho_{nir} + \rho_{red} + L} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde,  $\rho_{nir}$  = valores dos níveis de cinza correspondente à banda do infravermelho próximo, e  $\rho_{red}$  = valores dos níveis de cinza correspondente à banda do infravermelho.

O Índice de Água da Diferença Normal – NDWI (*Normalized Difference Water Index*) é dado pela razão entre a diferença entre as refletâncias obtidas na faixa do verde e infravermelho próximo e a sua soma (GAO, 1996). Essa lógica incorpora os efeitos da refletância da água, encontrados nas propriedades do verde e infravermelho, apresentando como intervalo de variação dos resultados a faixa de -1 a 1.

Quanto ao uso do SR embarcado em VANT, em especial para os sensores termal e multiespectral, várias pesquisas constataam que tais plataformas são promissoras, com diversos empregos desse conjunto (SR ↔ VANT ↔ SENSORES). em muitas áreas do conhecimento.

Veraverbeke et al. (2006) utilizaram imagens termográficas do infravermelho para estimar qualidade de superfície de maçãs na Bélgica, onde avaliaram que a técnica não destrutiva apresentou grande correlação com a qualidade do fruto analisado.

Com outro foco, Hong et al. (2002) utilizaram imagens TIR, nas regiões áridas do Novo México (EUA), em diferentes condições de características pedológicas, a fim de avaliar os melhores parâmetros para detecção de minas antitanque enterradas. Assim como Lewisa et al. (2002), que realizaram estudos voltados à criação de banco de dados preditivo a minas antipessoal.

De outra perspectiva, Sabol et al. (2006) utilizaram imagens termais captadas por uma câmera FLIR TIR, em ambientes do deserto de Mojave, da Califórnia, para estimar a inércia térmica de superfícies geológicas da região, com excelente correlação e acurácia com dados de satélites e outros sensores.

De outro modo, Hellebrand et al. (2005) utilizaram técnicas com imagens infravermelhas para determinar a temperatura de plantas em laboratório, sob a ação de fungos. Enquanto Damm et al. (2010) utilizaram imagens de infravermelho passivo na Floresta Nacional Conecuh, do Alabama (EUA), para avaliar a heterogeneidade e trilhas de animais silvestres, a fim de subsidiar a escolha e manutenção de seus habitat.

A aplicação de sensores termais nos condicionantes da água é também bastante útil, conforme estudos desenvolvidos por Zarco-Tejada et al. (2012), os quais utilizaram imagens térmicas e hiperespectral para avaliar o estresse hídrico de citros em um pomar com árvores heterogêneas, demonstrando um bom índice de viabilidade do emprego desses sensores em plataformas VANT.

Em outra perspectiva, Gonzalez-Dugo et al. (2013) avaliaram a utilização de sensor termal e hiperespectral na eficiência do uso de irrigação e precisão em um pomar comercial, no sudoeste da Espanha, encontrando excelentes índices de correlação e utilização dessas técnicas com a eficiência de produção e manejo.

Lopes (2015), utilizando-se de técnicas de monitoramento com imagens RGB e NIR, por meio da câmera TetraCam, avaliou a fenologia florestal de áreas de terra firme na Floresta Amazônica, no Amazonas – Brasil, acurando dados avaliados por Brando et al. (2010). Enquanto Roig et al. (2013) utilizaram duas câmeras convencionais (RGB), sendo uma com filtro modificado para atuar no infravermelho próximo (NIR), com intuito de avaliar o emprego de técnicas de processamento de imagens multiespectrais

(visível e infravermelho próximo), obtidas por um VANT, fundamentado na sua correlação com dados de turbidez e espectroscopia de campo, similar ao que vem sendo empregado para os dados do MODIS.

Di Gennaro et al. (2012) utilizaram técnicas de sensoriamento remoto na produção do NDVI e detecção da doença de listra da folha de videira, por meio de câmeras multiespectrais, embarcadas em VANT, para obtenção de dados em produções de videiras na região da Toscana, na Itália, conseguindo dados de alta correlação entre o parâmetro NDVI e a doença.

## **2.7 Abordagem do sensoriamento remoto na umidade do solo**

A avaliação da umidade do solo gera diversos estudos, conforme discussões vistas anteriormente, contudo, é na ferramenta do sensoriamento remoto que ela ganha espacialidade e diversidade em metodologias de análise, devido, principalmente, à gama de sensores e métodos dispostos para esse fim (ZHANG e FREDERIKSEN, 2003; LOPES et al., 2011).

A umidade do solo vem sendo estudada na interface do sensoriamento remoto desde meados dos anos 1970 e 1980, especialmente por ser essa característica da natureza um dos principais fatores da água nos diversos sistemas, e, assim, necessária para avaliação de modelagem e interpretação da dinâmica água-atmosfera (SCHMUGGE, 1980; HOLMES, 1992).

Entre as ferramentas mais utilizadas na avaliação da umidade do solo, estão os sensores orbitais, ativos e passivos, amplamente empregados nas avaliações de umidade, decorrente de suas grandes coberturas de área e, também, a disponibilidade temporal, em muitos casos, devido ao custo empregado em medições *in loco*, nas áreas imageadas (AHMAD et al., 2011).

Entre os diversos sensores embarcados em satélites disponíveis, os que, de fato, podem interagir com as constantes dielétricas do solo, assim, fornecendo valores de umidade mais confiáveis, e com melhor cobertura, são os sensores ativos de microondas, sendo mais usado o Synthetic Aperture Radar (SAR) (CHAN e KOO, 2008). Esses sensores apresentam grande interatividade com a superfície terrestre, fornecendo, dessa forma, subsídios concretos das relações entre umidade e a resposta espectral captada pelo sensor.

Assim, diversos trabalhos vêm empregando os SAR em suas análises, permitindo uma vasta gama de abordagem e produção, em inúmeros ambientes terrestres. Maximo et al. (1999) utilizaram de dados do SAR a bordo do JERS-1 (“Japanese Earth Resources Satellite”) e dois modelos empíricos para o cálculo do teor de água no solo, utilizando modelos preditivos de umidade do solo, baseados em dados de radar de abertura sintética (SAR). Enquanto Moran et al. (2002) aplicaram imagens SAR e imagens multiespectral na avaliação de relação entre esses dois métodos para gerenciar avaliações em uma fazenda, constatando qual melhor função/aplicação para os dois sensores, e como implementá-los com o outro.

Rossato (2010) avalia a aplicação de dados microondas na obtenção da umidade para toda a plataforma sul-americana, demonstrando uma alta correlação e aplicabilidade de dados SAR, em áreas tão vastas. Kurosu et al. (1997) utilizam das imagens SAR, em uma área do Japão, para identificar e classificar campos de arroz, devido à precisão dos dados de radar na interface com áreas alagadas e com alta umidade.

Entretanto, como nos alertam Verhoest et al. (2008, p. 4815), os SAR apresentam alguns limitantes, sendo o principal a rugosidade do terreno, onde

[...] due to the coherent measurement process of SAR instruments, the superposition of waves reflected by scatterers at the earth's surfaces leads to a grain-like appearance of SAR images ("speckle") and a high sensitivity of the measurements to the geometric arrangement of the scatterers. As a result, SAR measurements are very sensitive to soil roughness, which in agricultural fields is affected by the characteristics of tillage. Consequently, the parameterization of surface roughness and its spatial variability can pose major problems for soil moisture retrieval. As such, accurate soil moisture retrieval with single-frequency, single incidence angle, single-pass SAR imagery is not possible without a priori soil roughness information. Furthermore, if the soil is vegetated, additional information is needed with respect to the vegetation parameters (such as fresh biomass, canopy structure, ...) in order to retrieve soil moisture.

A umidade do solo é avaliada de forma intensa por sensores orbitais passivos, que não detêm suas próprias fontes de energia, mas que apresentam grande disponibilidade de sensores e imageadores em diversas órbitas. E, dessa forma, são aplicados em grandes parcelas do globo terrestre, e em várias frentes de atuação.

Bayarjargal et al. (2006), fazendo uso das imagens do sistema NOAA-AVHRR, avaliaram índices de seca para o deserto da Mongólia, encontrando padrões de

correlação entre os dados satelitários e os observados em campo. Silva et al. (1998) debatem acerca da disponibilidade hídrica por meio de algoritmos e SR para o estado de Goiás.

Wang et al. (2006) investigaram a viabilidade de mapear a umidade do solo da zona radicular, usando o NDVI, derivado do MODIS, via abordagem estatística, em três locais (Novo México, Arizona e Texas) selecionados da Rede de Análise Climática do Solo (SCAN). Enquanto Somoza (2011) avalia a destreza do Modelo Acoplado Oceano-Atmosfera (MCGOA) do CPTEC em prever a variabilidade interanual da pluviometria sobre a bacia do Rio São Francisco, durante os verões (dezembro - fevereiro) de 1997-2007, e o impacto dessa e da evapotranspiração potencial na estimativa da umidade do solo na área de estudo, usando o Modelo de Balanço Hídrico (MBH) operacional do CPTEC.

Guedes et al. (2013) discutem a variabilidade do estoque total de água continental, derivada de estimativas de balanço de água e dados de satélite, em combinação com dados hidro-meteorológicos, para a ocorrência de cheias e vazantes extremas na bacia Amazônica.

Nos últimos anos, o incremento de sensores suborbitais, especialmente os embarcados em Veículos Aéreos Não Tripulados, estão ganhando grande empenho de pesquisadores na obtenção, avaliação e mensuração da umidade no solo. Entre os muitos métodos empregados dessas novas tecnologias, o ganho é decorrente da evolução de sensores mais precisos (em questão geométrica e radiométrica) e sua velocidade de processamento (com softwares livres e de código abertos, assim como hardwares mais velozes e de maior capacidade de processamento) (COLOMINA e MOLINA, 2014).

As muitas aplicações dos Vant em relação à umidade do solo são fundamentais para a compreensão e ganho de conhecimento sobre essa característica tão ímpar da natureza. Assim, Hassan-Esfahani et al. (2015) utilizaram-se de sensores embarcados em uma plataforma AggieAir™ para avaliar, a partir de um modelo de Redes Neurais Artificiais, a melhora nas imagens produzidas, a fim de validar dados de umidade dos solos.

Dessa forma, os sensores embarcados nos VANTs são fundamentais para elucidar e novas metodologias de análise, onde a velocidade de aquisição de dados a

preços mais acessíveis, assim como o aumento na quantidade de sensores mais poderosos em tecnologia e capacidade de armazenamento, favorecem seu uso mais participativo em SR.

A grande quantidade de trabalhos onde os sensores multiespectrais e de bandas do termal são avaliados junto a plataformas de Vant vem crescendo nos últimos anos (BERNI et al., 2009; CHAO et al., 2010; SHENG et al. 2010; ANTONUCCI et al., 2011; JENSEN et al., 2012; LUO et al., 2013; RAZA et al., 2014; MAES et al., 2017), o que, de modo geral, favorece a abrangência de trabalhos/métodos de análise da umidade do solo para muitas aplicações e fins diversificados.

### **3. ASPECTOS METODOLÓGICOS**

Neste capítulo, serão abordados temas que foram essenciais na construção da pesquisa, perfazendo a delimitação do recorte geográfico estudado (duas vertentes no Cerrado mato-grossense), buscando expor seus principais agentes do meio físico-bióticos.

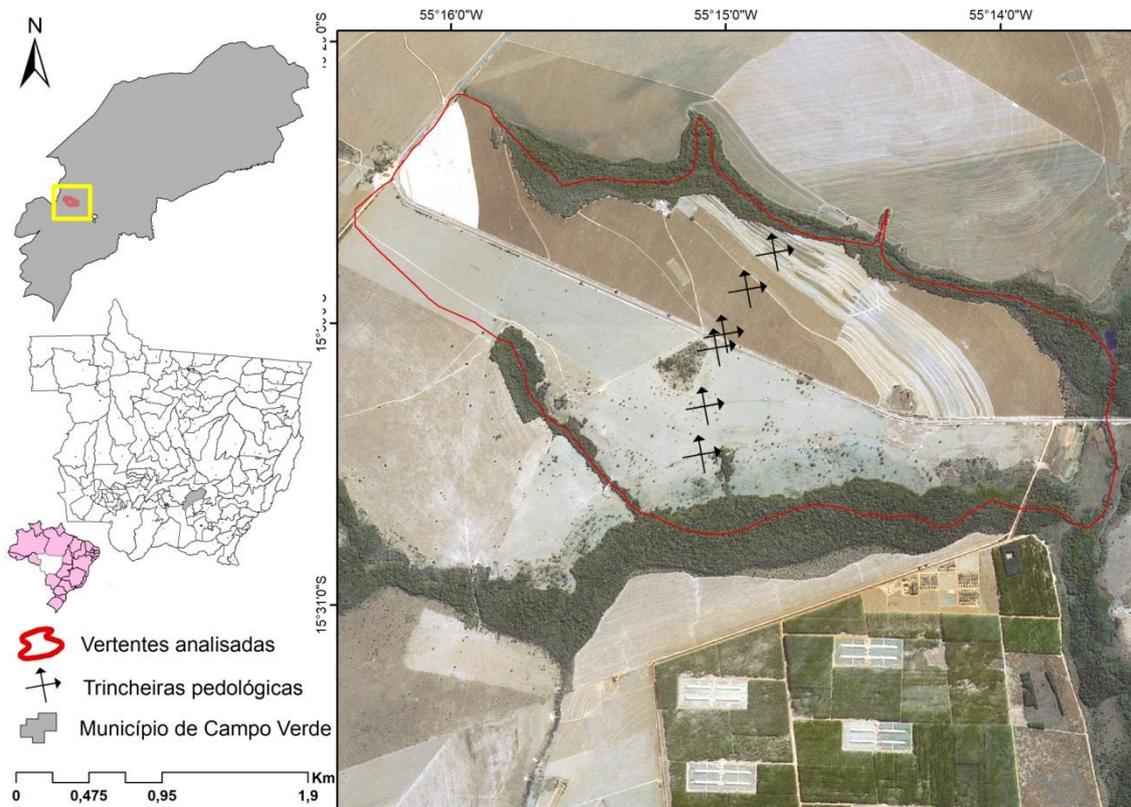
No segundo momento, são trabalhadas as fases operacionais e técnicas utilizadas na construção dos resultados, isto é, das atividades de gabinete, campo e laboratório, extremamente necessárias no estudo da paisagem.

#### **3.1 Área de estudo e suas características**

Para viabilizar a complexidade das informações levantadas e discutidas, delimitou-se o recorte espacial de duas vertentes situadas na região sudeste do estado de Mato Grosso, na proximidade das nascentes do rio das Mortes, no município de Campo Verde. Os critérios de escolha foram as condições de uso da terra diferenciadas e padrões ambientais homogêneos, especialmente o solo, relevo e base geológica, assim como a disponibilidade pluviométrica, acesso liberado às propriedades e logística facilitada pela distância entre as vertentes e locais de apoio aos trabalhos de campo.

As vertentes analisadas representam a parte central de um recorte espacial entre cursos d'água que somam 7,86 km<sup>2</sup>, distribuídos pelas Fazendas Deputado (ao sul), com sistema de uso e manejo de pecuária extensiva, e Bonansa I (ao norte), com agricultura mecanizada com sistema soja/algodão, sendo esses dois últimos nos moldes safrinha, localizadas entre as coordenadas geográficas 15°28'30" S – 15°31'44" S / 55°16'12" W – 55°13'33" W (Fig. 4).

**Figura 4:** Localização das vertentes analisadas, e a disposição das trincheiras – Campo Verde – MT.

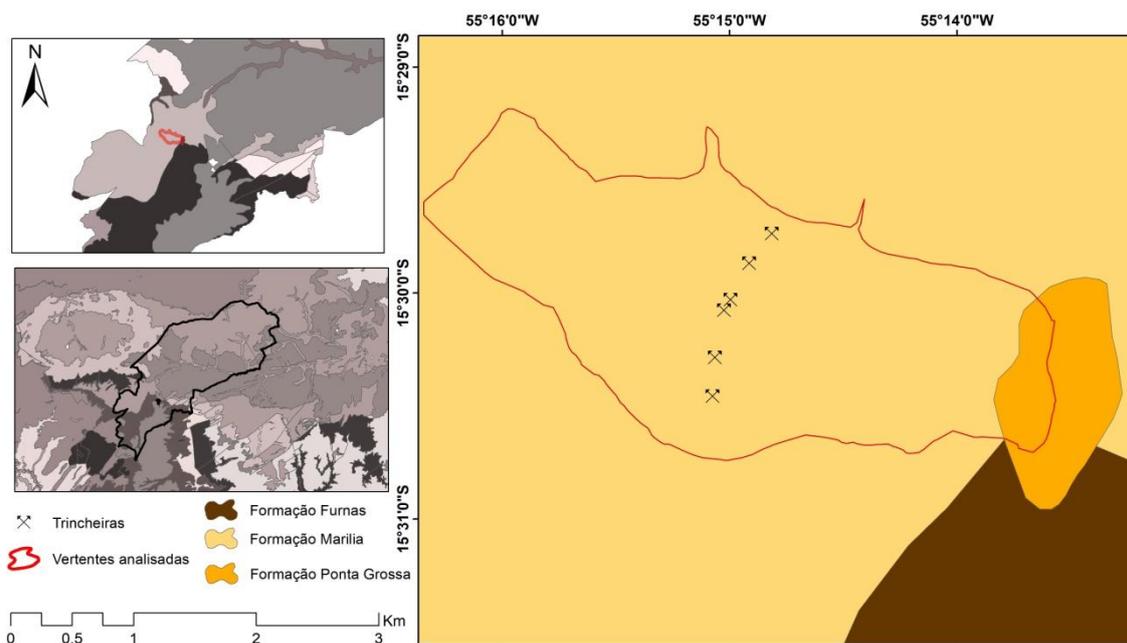


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na área de estudo, as formações geológicas estão ligadas diretamente a macro unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, primordialmente em sua borda setentrional (ROSS et al., 2005). Cabral (2004) afirma que essa morfoestrutura apresenta uma distribuição espacial de aproximadamente 1.560.000 km<sup>2</sup>, constituindo territórios dos estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Goiás, São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, e países do cone sul, como Uruguai, Argentina, Paraguai e a Bolívia.

As vertentes analisadas estão situadas nas litoestratigrafias das Formações Marília e Ponta Grossa, e contato com a Formação Furnas (Fig. 5).

**Figura 5:** Distribuição da litoestratigrafia nas vertentes analisadas.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O que se observa é a predominância da Formação Marília nas vertentes (mais de 90%), sendo constituída basicamente por arenitos grossos e conglomeráticos, cimentados por calcita, e correspondentes à parte superior do Grupo Bauru (TAVARES et al., 2012). Conferindo às rochas teores de matriz variável e raras camadas descontínuas de lamitos vermelhos e calcários (SILVA et al., 2005).

Assim, conforme Fernandes (1992, p. 30), essa Formação

[...] compreende depósitos arenosos imaturos, texturalmente, com teor variável de matriz, seleção pobre e grãos angulosos, mineralogicamente ricos em feldspatos e minerais pesados instáveis. Apresenta ainda, níveis conglomeráticos, com frequente cimentação e concreções carbonáticas

Ross (2016) debate como se estrutura a morfogênese da Chapada dos Guimarães, expondo que essa é

[...] uma herança morfológica da fase em que houve o fecho de sedimentação do Grupo Bauru, no Cretáceo. Os processos esculturais/desnudacionais que ocorreram nessa região se deram simultaneamente aos arqueamentos/soerguimentos do chamado “Arco de São Vicente”, ao longo do Cenozóico, e os materiais argilosos e concrecionários que recobrem a superfície no nível dos 850/900m, definidos como Latossolos Vermelhos, são produtos da pedogênese e não obrigatoriamente de novos depósitos detrítico-lateríticos do Terciário-Quaternário (p. 33).

Thomé Filho (2004), em sua compilação conjunta com diversos especialistas, apresenta uma caracterização do comportamento da Formação Furnas e Ponta Grossa, do recorte analisado, onde a

[...] Formação Furnas, da base para o topo é representada por arenitos conglomeráticos que gradam para arenitos puros, de cor branca a amarelada, localmente arroxeados, com estratificações cruzadas do tipo *hummocky* que por sua vez passam a arenitos com estratificações cruzadas por ondas. Em geral apresentam granulação média a grossa com grãos de quartzo subangulosos a subarredondados, friáveis, imaturos e feldspáticos na base (p. 40).

Enquanto a Formação Ponta Grossa é

[...] litologicamente representada por siltitos e arenitos finos que quando inalterados são de tonalidade creme passando a avermelhadas e arroxeadas quando alterados [...]. [...] no siltito são comuns conchas fósseis de brachiópodos (THOMÉ FILHO, 2004, p. 40).

Ross (2014) expõe que os arenitos das formações estão ligados à morfogênese atuante na morfoescultura da Chapada dos Guimarães, onde a

[...] Chapada é contornada por escarpas abruptas de altitudes muito variadas, onde afloram as rochas sedimentares do Devoniano das Formações Furnas e Ponta Grossa. Essas rochas estão representadas por arenitos finos a muito finos e subordinadamente por argilitos, folhelhos e carbonatos, tendo suas origens relacionadas à fase marinha dos depósitos sedimentares da Bacia do Paraná (p. 184).

As constituições da morfoestrutura da Bacia Sedimentar do Paraná, no estado de Mato Grosso, conforme trabalhos de Brasil (1982a), são descritas através de suas morfoesculturas com a unidade geomorfológica do Planalto dos Guimarães, em sua porção noroeste, dividida nas subunidades: Chapada dos Guimarães, Planalto do Casca e Planalto dos Alcantilados.

Todavia, Brasil (1982c) a mapeou como uma unidade geomorfológica dos Planaltos e Chapadas da Bacia Sedimentar do Paraná, subdividida em dois compartimentos: Planalto Setentrional da Bacia do Paraná e Planalto dos Guimarães/Alcantilados. Enquanto que Brasil (1982b) a compartimentou nas unidades geomorfológicas: Planalto do Taquari-Itiquira (borda oeste) e Planalto dos Guimarães

(borda leste). Em suma, as abordagens expostas apresentam correlações entre si, diferenciadas apenas pela escala de detalhes adotada.

Assim, as vertentes analisadas estão inseridas na morfoescultura da Chapada dos Guimarães, que, segundo Brasil (1982a, p. 211), corresponde a uma

[...] extensa área de relevo aplanado com cotas que vão desde os 600 até 800m. Constitui uma única e contínua superfície, mas comporta variações topográficas consideráveis. Nas nascentes do rio das Mortes, em trechos das extremidades norte e noroeste da chapada, as cotas atingem 800m. Já na faixa sul do rio das Mortes, ao longo da BR 070, a altimetria varia entre 650-720m.

Corroborando com a discussão, Ross (1997) nos fala que essa parcela do espaço com as vertentes analisadas apresenta o processo de dissecação das formas do modelado do terreno, com presença de topos tabulares. Contemplando essa afirmativa, Mato Grosso (2000, p. 26) discute que

[...] este sistema corresponde ao conjunto de formas aplanadas e que ocupam posição de cimeira dentro do conjunto regional do relevo. São identificadas a partir de sua ampla área de ocorrência, apresentando baixas declividades e baixa densidade de drenagem. Nas imagens de satélite foram identificadas, à partir de uma padronagem homogênea de formas, com baixa rugosidade. Outra característica marcante deste sistema é a sua relação com o material superficial, composto por uma cobertura argilosa muito espessa, que apresenta crostas ferruginosas em sua base.

Dessa forma, Ross (2014, p. 195) afirma que a Chapada dos Guimarães

[...] é produto da combinação de processos geotectônicos desencadeados (movimentação crustal em razão da abertura do Atlântico, orogenia Andina e soerguimentos generalizados da plataforma sul- americana a partir do Jura-Cretáceo, estendendo-se por todo o Cenozóico), somados aos arqueamentos dômicos ao longo dos grandes alinhamentos estruturais, como o que ocorre ao longo da faixa de dobramentos Paraguai-Araguaia (Arco de São Vicente).

Conforme Brasil (1982a), a predominância dos solos que caracterizam a superfície da Chapada dos Guimarães é da classe dos Latossolos, incluindo os Vermelhos, Vermelho-Amarelos e Amarelos. Entretanto, nas áreas mais dissecadas e nas secções inferiores dos vales, podem ocorrer solos das classes dos Neossolos Flúvicos, assim como Gleissolos.

Os Latossolos são constituídos por material mineral, apresentando horizonte B latossólico, imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte A. No caso dos Latossolos Amarelos, estes ocorrem em ambientes mal drenados, sendo muito profundos e uniformes em características de cor, textura e estrutura em profundidade (EMBRAPA, 2006; IBGE, 2015).

A classe dos Neossolos é desolos pouco evoluídos, constituídos por material mineral, ou por material orgânico, com menos de 20cm de espessura, não apresentando qualquer tipo de horizonte B diagnóstico. Conforme a Embrapa (2006, p. 182),

[...] os Neossolos Quartzarêncios não apresentam contato lítico dentro de 50 cm de profundidade, com sequência de horizontes A-C, porém apresentando textura areia franca em todos os horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico; são essencialmente quartzosos, tendo nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo).

Especificamente, os Neossolos Flúvicos, para a Embrapa (2006, p. 183),

[...] são solos derivados de sedimentos aluviais e que apresentam caráter flúvico. Horizonte glei, ou horizontes de coloração pálida, variegada ou com mosqueados abundantes ou comuns de redução, se ocorrerem abaixo do horizonte A, devem estar a profundidades superiores a 150 cm.

Enquanto os Gleissolos, conforme a Embrapa (2006, p. 147), são

[...] solos constituídos por material mineral com horizonte glei iniciando-se dentro dos primeiros 150cm da superfície, imediatamente abaixo do horizonte A ou E, ou de horizonte hístico com espessura insuficiente para definir a classe dos Organossolos, não apresentando horizonte vértico ou horizonte B textural com mudança textural abrupta acima ou coincidente com horizonte glei, tampouco qualquer outro tipo de horizonte B diagnóstico acima do horizonte glei, ou textura exclusivamente areia ou areia franca em todos os horizontes até a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico. Horizonte plíntico se presente deve estar à profundidade superior a 200 cm da superfície do solo.

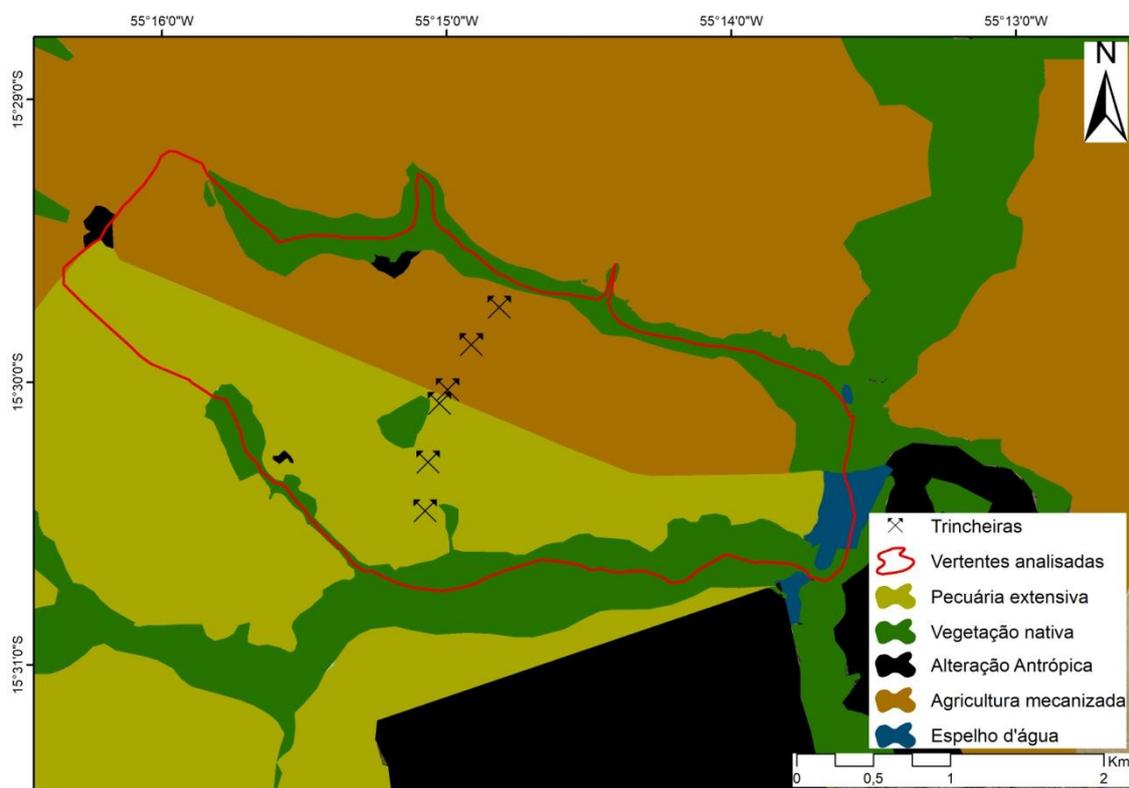
Dessa forma, Seplan (2007) corrobora, dizendo que

[...] são solos minerais hidromórficos, com horizontes glei abaixo do horizonte superficial (A ou H com menos de 40 cm) e cores de redução (normalmente cinzentas ou azuladas) em

decorrência da presença de ferro em sua forma reduzida (Fe<sup>+2</sup>). São mal ou muito mal drenados, encharcados, ocorrendo em áreas baixas, com textura variável de média a muito argilosa, argila de atividade baixa, saturação de bases normalmente baixas, por vezes, álicos e menos frequentemente com alta saturação de bases. Invariavelmente se desenvolvem a partir de sedimentos do Quaternário Recente, geralmente aluvionares. Têm erodibilidade variável em razão de fatores como, textura, discontinuidades litológicas, etc. Por se tratarem de solos hidromórficos, têm ocorrência preferencial em locais permanentemente alagados, como é o caso das planícies de inundação dos rios

Outro fator importante das vertentes pesquisadas está sob a égide da variabilidade climática. Segundo Tarifa (2011), a região onde as vertentes se encontram apresenta o Clima Tropical Continental Alternadamente Úmido e Seco das Chapadas, Planaltos e Depressões de Mato Grosso, sob a subunidade climática de Mesotérmico dos Topos de Cimeira dos Chapadões, com pluviosidades médias entre 1880-2100mm/ano, tendo os meses de outubro a maio como os mais chuvosos.

A área de estudo situa-se numa das regiões de maior supressão do sistema biogeográfico do Cerrado brasileiro, apresentando apenas remanescente nas Áreas de Preservação Permanente – APPs e nas Reservas Legais das propriedades que servem ao agronegócio (WWF, 2014), conforme Figura 6.

**Figura 6:** Distribuição espacial do uso e ocupação da terra da área analisada.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Como forma de compreender o processo de supressão e realidade posta, buscou-se junto aos proprietários a construção dos processos de substituição da mata nativa pelo sistema agropecuário vigente, conforme exposto nas Tabelas 3 e 4.

**Tabela 3:** Uso e manejo encontrado na Fazenda Deputado, Campo Verde – MT.

Identificação/Us	Período	Culturas e Manejo Geral
<b>Pecuária extensiva</b>	1970/1975	Retirada da vegetação nativa.
	1975/2016	Pastagem de brizantã, 1,5 t ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico a cada 3 anos.

**Fonte:** Relato dos proprietários.

**Tabela 4:** Uso e manejo encontrado na Fazenda Bonansa I, Campo Verde – MT.

Identificação/Us	Período	Culturas e Manejo Geral
<b>Agricultura: soja/milho/algodão</b>	1970/1975	Retirada da vegetação nativa.
	1975/1990	Pastagem de brizantã, 1,5 t ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico a cada 3 anos.
	1990/1992	Retirada da pastagem, seguida pela plantação de soja convencional.

1992/2004	Replântio de pastagem de brizantã, 1,5 t ha <sup>-1</sup> de calcário dolomítico a cada 3 anos.
2004/2009	Retirada da pastagem, seguida pela plantação de soja, com rotatividade do milho safrinha em sistema convencional.
2009/2016	Implementação do algodão safrinha no sistema de Soja/Milho.

**Fonte:** Relato dos proprietários.

Como é possível observar, a dinâmica de supressão e realocação das vertentes para outros sistemas de uso apresentam-se estabilizados desde meados da década de 1970, onde as características da natureza foram alteradas e estruturadas para produção em larga escala de bovinos ou monoculturas (soja, milho e algodão).

### 3.2 Atividades de planejamento: elaboração, análise e processamento

O início desta fase está ligado à construção e sistematização dos materiais bibliográficos que subsidiaram o capítulo de embasamento teórico-metodológico e resultados/discussões.

Em outro momento, calcou-se na busca e refinamento de dados secundários dos bancos de dados espaciais, sobretudo os de cunho físico-bióticos. Nesse ponto, foram criadas as sistematizações da localização da área de estudo, com o delineamento das bacias de primeira ordem, utilizando-se das bases hidrográficas e de limites político-administrativos disponibilizados pela Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral de Mato Grosso – SEPLAN/MT – 2007, que, sobrepostos aos dados matriciais do Modelo Digital de Elevação– MDE (proveniente do SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission* de 30 m/pixel), possibilitaram a criação do recorte espacial pretenso.

Nesse mesmo esteio, e com essa base de dados espaciais, foram discutidos os parâmetros geológicos, geomorfológicos, climáticos e de solos da área, somados à base de dados do WWF (WWF BRASIL, 2014), em parceria com o SOS Amazônia e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), analisando-se os aspectos de uso e manejo da terra.

A atividade de gabinete subsidia diretamente a construção das etapas de trabalhos de campo, organizadas para a realização de sobrevoos com os VANTs. Nesta fase, foram usados os modelos asa-fixa Swinglet CAM, da empresa SenseFly, os multi-rotóres Phantom 4 (quadricóptero), da empresa DJI, Hexacóptero Matrice 600 PRO, da empresa DJI, e o asa-fixa da Sense-Fly eBee Plus, com sistema GNSS RTK/PPK (Fig. 7).

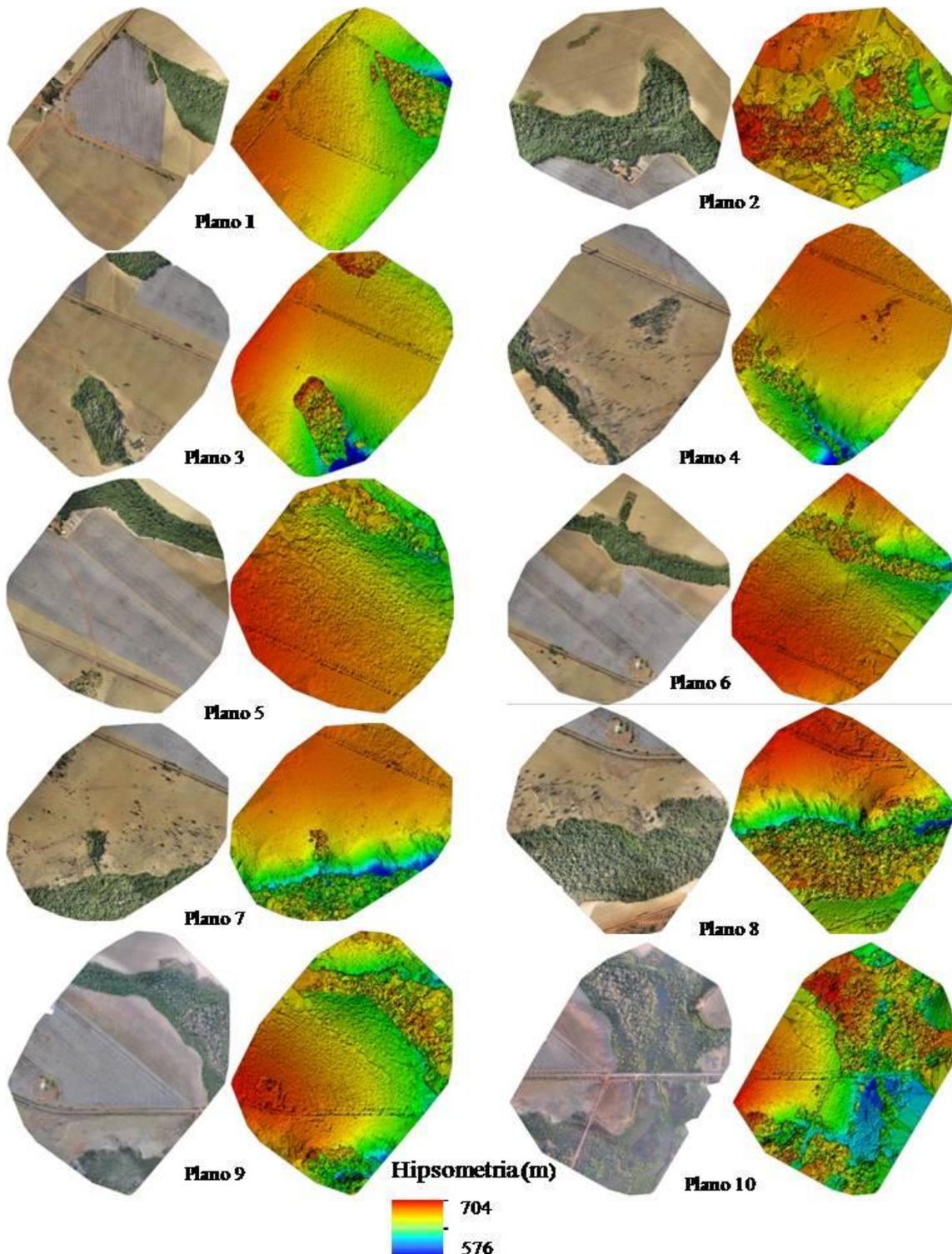
**Figura 7:** a) RPA Swinglet CAM; b) RPA Phantom 4; c) RPA Matrice 600 Pro; e d) eBee Plus RTK/PPK.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O uso dos equipamentos supracitados possibilitou a execução de voos para a produção dos materiais necessários à caracterização da área de estudo, incluindo também os testes com os equipamentos. A partir do sobrevoos com o RPA Swinglet CAM, o produto gerado foi um Modelo Digital de Superfície – MDS, de 10 cm, com recobrimento lateral de 40%, e longitudinal de 60%, a uma altura de 331 m (Fig. 8), gerando um total de 633 imagens. Utilizando-se, para tanto, de processamentos e técnicas de mosaicagem e ortorretificação (ALVES JUNIOR et al., 2015).

**Figura 8:** Mosaico dos 10 planos de voos com recobrimento de imagens geradas das vertentes e o Modelo Digital de Superfície – MDS, de 10 cm, criado através dos processamentos das imagens do Swinglet CAM.

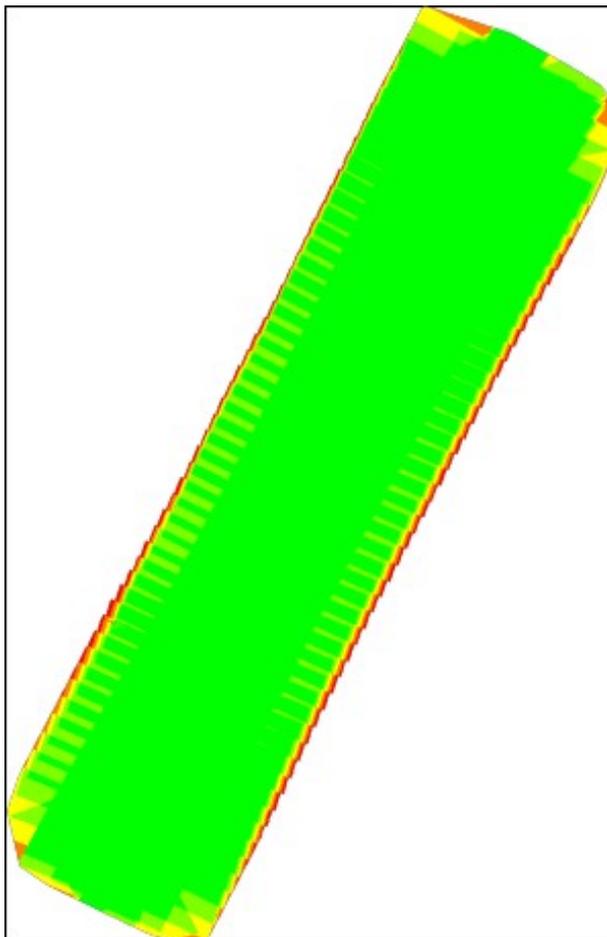


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O emprego do RPA Phantom 4 foi voltado para criar um MDS de 5 cm da faixa do desenho experimental, com experimentos de campo para detecção de umidade do

solo. Correspondente a um perfil de solos de dimensões biofísicas correlatas, o RPA voou a 100 m de altura, com recobrimento lateral de 70% e longitudinal de 70%, obtendo-se 202 imagens que, ao passar por processamentos e técnicas supracitadas, geraram um MDS de 5cm (Fig. 9).

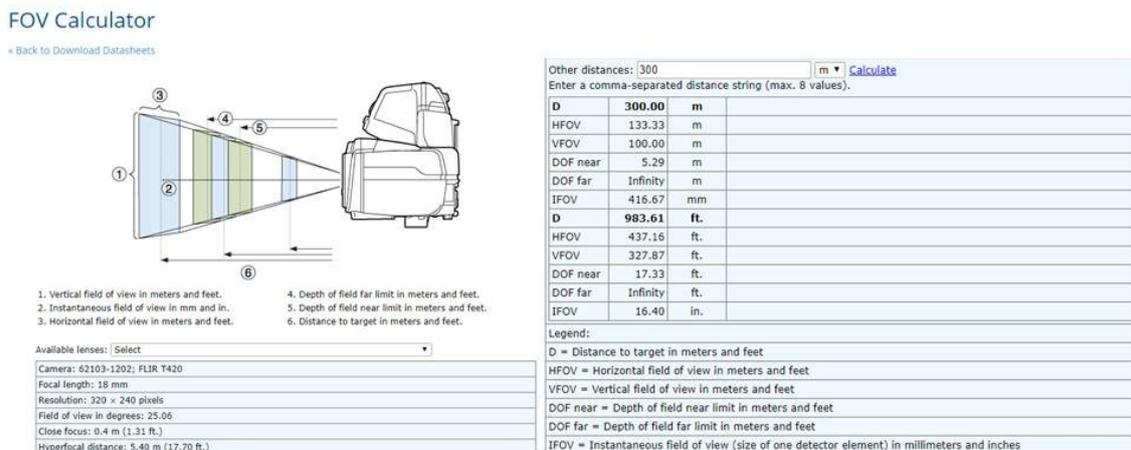
**Figura 9:** Número de fotos sobrepostas obtidas pelo Phantom para as vertentes analisadas.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

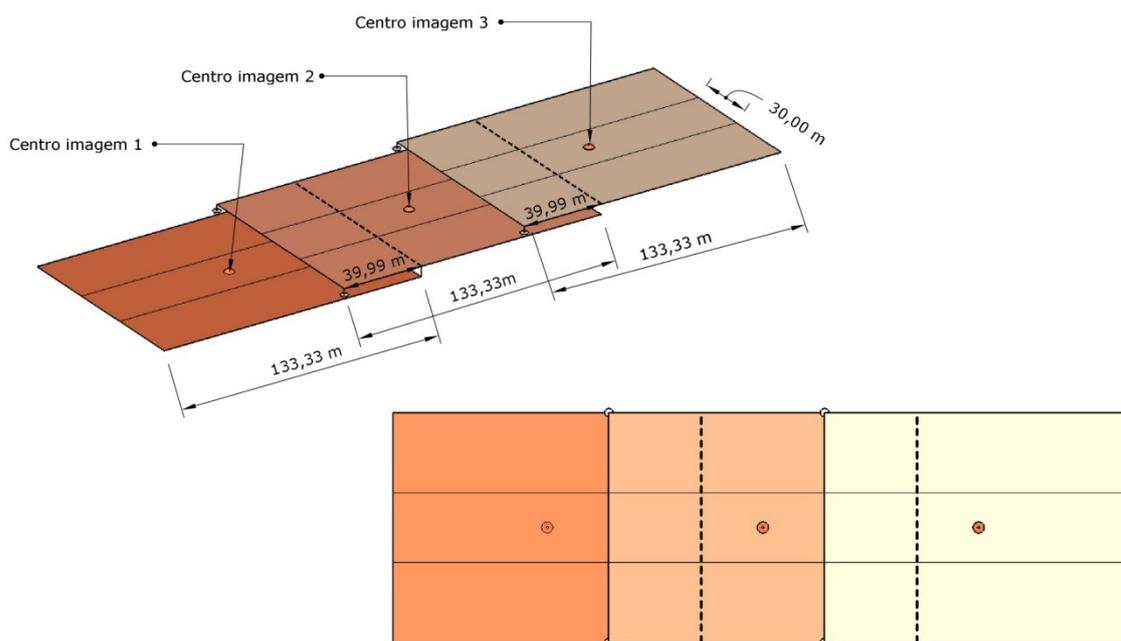
Os voos com o DJI Matrice 600 PRO foram associados ao sensor termográfico Flir T420, sendo estruturado para ser realizado a 300 metros de altura, gerando um pixel de 41,66 cm, com uma imagem de 133,33 metros longitudinal e 100 metros latitudinal (Fig. 10), apresentando uma sobreposição de 30% entre as fotos (~ 40 m long.) (Fig. 11).

**Figura 10:** Dados técnicos da FLIR® Systems para o Sensor Termográfico Flir T420.



**Fonte:** FLIR (2011)

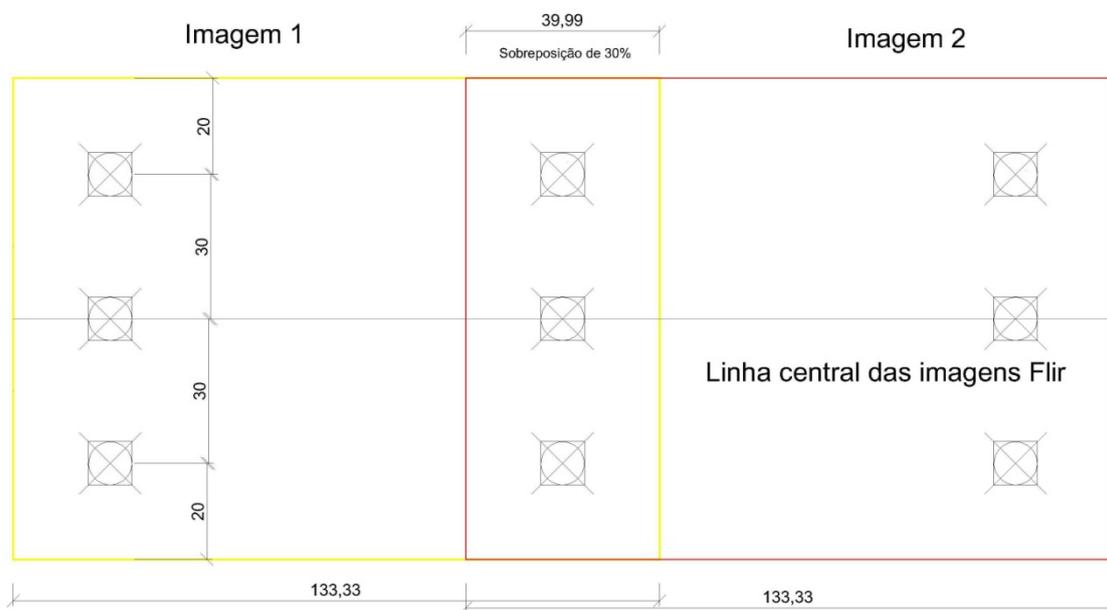
**Figura 11:** Esquema tridimensional e plano da posição em que ficaram as 21 imagens termais preparadas para o sensor FLIR T420.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Dessa maneira, foi necessária a instalação de pontos de controle em solo com formato de cruz, com manta de cobertura de alumínio espelhada de alta capacidade de retenção da emitância, com dimensões de 1,25m X 1,25m X 0,10m, espalhados simetricamente nas extensões longitudinais da imagem, e georreferenciados por meio de um par de receptores GNSS, da marca Prexiso- modelo G4/G5 (Fig. 12).

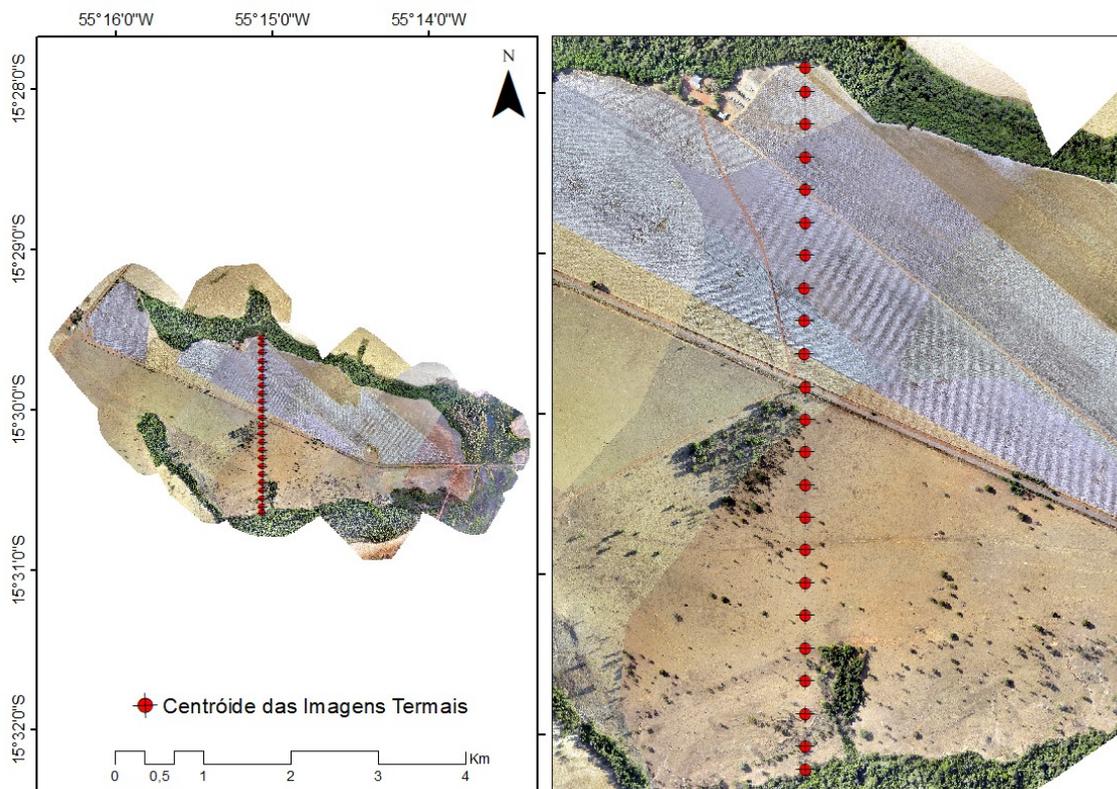
**Figura 12:** Esquema da distribuição métrica dos pontos de controle em solo, para o levantamento GNSS nas imagens do sensor FLIR T420.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A área de sobrevoo do Matrice 600 PRO, com a Flir T420, foi de cerca de 2000m, abarcando as duas vertentes, partindo da vertente com pecuária, nas coordenadas  $15^{\circ}30'37,4''$  S/  $55^{\circ}15'02,7''$  W, seguindo azimuth  $0^{\circ}$ , sentido vertente da agricultura. Foram necessárias 21 imagens para cobrir as duas vertentes (Fig. 13).

**Figura 13:** Modelo da distribuição dos centros das imagens do sensor Flir T420 para o perfil entre as vertentes analisadas.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No RPA SenseFly eBee Plus RTK/PPK foram acoplados sensores S.O.D.A. e a multiespectral Sequoia (ambas da empresa francesa Parrot), sendo o primeiro um sensor RGB de 1 polegada (com 20 megapixel), e densidade de pixels de  $2.33\mu\text{m}$ , com resolução espacial no solo (num voo a 122m de altura) de 2,9cm. Enquanto o sensor multiespectral Sequoia inclui quatro sensores de 1,2 MP, com resolução de  $1280 \times 960$  pixels, e comprimento focal de 3,98 mm, que capturam dados em quatro bandas espectrais: Near Infrared – 770-810 nm; Red Edge - 730-740 nm; Red – 640-680 nm; e Green – 530-570 nm, além de um sensor RGB de 16 MP, com resolução de  $4608 \times 3456$  pixels, permitindo que os dados analíticos e a imagem visível sejam capturados no mesmo voo, com resolução espacial para as faixas multiespectrais (a 122 m de altura) de 13 cm/pixel.

O eBee Plus RTK/PPK usa como software de planejamento de voo o eMotion 3, que, somado a um RTK posicionado na área de sobrevoo, o faz ter uma precisão nos eixos X, Y e Z de até 3cm para uma área máxima de cobertura de  $40\text{km}^2$ . Nesse contexto, para o voo designado ao perfil entre as vertentes, o voo ocorreu a 244 metros

de altura, cobrindo uma área de 189,9 ha, com cobertura lateral de 60% e longitudinal de 80%, gerando 530 fotos (Fig. 14).

**Figura 14:** Plano de voo software eMotion 3, com desenho das linhas de voo com o eBee Plus RTK e sensor multiespectral Sequoia.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na campanha de campo de setembro de 2018, foi necessária a realização de novos ajustes, especialmente na utilização de um novo sensor, o MicaSense RedEdge-M (Fig. 15), que trabalha nas faixas do Azul (475 nm), Verde (560nm), Vermelho (668nm), Vermelho Edge (717 nm) e Infravermelho Próximo (840nm) (global shutter, narrowband).

**Figura 15:** Acoplagem do sensor MicaSense RedEdge-M no DJIMatrice 600 PRO.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Através dos trabalhos de campo, foram realizados os processamentos das imagens dos levantamentos com os RPA no software Pix4d Mapper, extraíndo das imagens multiespectrais os valores de refletância por banda, e, assim, executada a sistematização dos dados por meio de dois índices: o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) e o NDWI (Normalized Difference Water Index).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é, certamente, o IV (Índice de Vegetação) mais utilizado no mundo em trabalhos científicos que envolvem aplicações ambientais, o que é evidenciado pelas inúmeras aplicações, sendo uma delas a estimativa da umidade do solo (CARLSON et al., 1994; CARLSON, 2007; MA et al., 2019).

O NDVI é expresso pela razão entre a diferença da medida da refletância nos canais do infravermelho próximo e vermelho, dividido pela soma desses canais (ROUSE et al., 1974) (Equação 10).

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{NIR}} - \rho_{\text{RED}}) / (\rho_{\text{NIR}} + \rho_{\text{RED}}) \quad (\text{Eq. 10})$$

onde,  $\rho_{\text{RED}}$  e  $\rho_{\text{NIR}}$  representam, respectivamente, os valores da refletância na região do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

Os valores de NDVI para as áreas com vegetação dependem de sua arquitetura, densidade e umidade, seu range varia de -1 a 1, sendo que, para áreas de maior

vegetação, os valores úteis variam entre 0 e 1. Os maiores valores dessa variável estão associados a coberturas vegetais mais densas. A presença de nuvens e água geralmente está associada a valores negativos de NDVI. Enquanto rochas e solos expostos possuem refletância similar nas duas regiões espectrais utilizadas para o cálculo do NDVI, ocasionando, portanto, valores próximos a zero (HOLBEN, 1986).

E, nesse sentido, o índice do NDWI apresenta os valores também variando entre -1 e 1, de modo que McFeeters (1996) os definiu tendo o zero como o limiar. Portanto, o tipo de cobertura é a água se  $NDWI \geq 0$ , e não água se  $NDWI \leq 0$ . O NDWI proposto pelo autor permite: (1) maximizar a refletância típica da água usando o comprimento de onda da luz verde; (2) minimizar a baixa refletância dos corpos de água no infravermelho próximo; e (3) realçar o contraste entre a água e a superfície terrestre proporcionada pela banda infravermelha (JI et al., 2009).

O NDWI é expresso pela razão entre a diferença da medida da refletância nos canais do verde e infravermelho próximo, dividido pelasoma desses canais (Eq. 11).

$$NDWI = (\rho_{GREEN} - \rho_{NIR}) / (\rho_{GREEN} + \rho_{NIR}) \quad (Eq. 11)$$

Onde,  $\rho_{GREEN}$  e  $\rho_{NIR}$  referem-se a refletância no infravermelho próximo e no verde.

Os dados termográficos foram obtidos a partir do sensor termal Flir T420, câmera capaz de gerar imagens digitais simultâneas na faixa termal e visual, tendo a possibilidade de realizar filmagens no infravermelho, em amplitude de temperatura que varia entre  $-20\text{ C}^\circ$  e  $650\text{ C}^\circ$ .

Esse modelo possui o modo de disparo automático, que pode ser programado para tirar uma foto num intervalo mínimo de oito segundos para imagens IR, e de 14 segundos para imagens IR e visuais, com resolução espacial de  $320 \times 240$  pixels, com largura espectral entre  $7,5$  e  $13\ \mu\text{m}$ .

Os dados termais passaram por um pré-processamento das imagens, sendo feito primeiramente com o software Flir Tools+, que possibilitou a exportação da imagem em formato \*.csv (*comma separated value*), com 240 linhas x 320 colunas, criando-se uma planilha contendo informações de coordenadas e temperatura de cada pixel da imagem.

Em outro momento, usando o software ArcGis 10.3 (ESRI), importou-se a referida tabela para a criação de uma imagem com dados de temperatura, sendo ajustada

sobre uma imagem base, já georreferenciada com apoio dos pontos de controles, ou GCP (*ground control points*), para ajustar os vértices da imagem termal (isso foi devido ao fato desse sensor não possuir sistema GNSS), sendo transformado o arquivo *ASCII* (caracteres alfanuméricos) para dados matriciais (Raster).

Para o georreferenciamento das imagens termais, utilizou-se um polinômio de 2º grau (QUEIROZ, 2003), onde o número mínimo de Pontos de Controle (PC) para determinar um polinômio é dado pela Equação 12.

$$N^{\circ} \text{ PC} = (n+1).(n+2)/2 \quad (\text{Eq. 12})$$

onde, **n** é o grau de polinômios.

Com o processo de georreferenciamento realizado nas imagens, estas foram salvas no Datum SIRGAS2000 UTM, possibilitando o segundo processamento, que seria de correção dos valores de refletância para os de temperatura. Para essa etapa, foi selecionado, em cada período de voo (março/setembro), uma imagem caracterizada como central. A escolha deu-se pela posição da imagem em relação aos usos e alvos no solo, de fácil reconhecimento e expressivos para o escopo de todas as imagens.

Assim, com a escolha da imagem central, foi criado um polígono no ArcGis 10.3 (ESRI), com capacidade aproximada de abarcar 800 a 900 pixel das imagens FLIR. Esse polígono foi disposto na imagem central e na subsequente em pontos comuns às duas, logo após cada imagem ser convertida do formato .tif (raster) para um formato .shp (vetorial). Extraído os valores contidos no polígono, os mesmos foram exportados em formato .txt, e importados no software Excel, sendo postos em duas colunas paralelas para calcular a média entre eles, e os subtraindo.

Dessa maneira, o valor da média entre a imagem central e a subsequente foi utilizado para correção da temperatura da imagem subsequente, por meio da ferramenta do ArcGis 10.3 (ESRI) Raster Calculator, onde a imagem foi recalculada, subtraindo-se o valor encontrado na média, e sendo salva como um novo arquivo (raster .tif). Esse processo foi realizado em todas as imagens, visto que as imagens corrigidas foram servindo como imagem central no transcorrer do processo, para sempre haver a sobreposição dos pontos extraídos pelo polígono.

As análises estatísticas empregadas nos dados dos sensores multiespectrais e termal foram trabalhadas no software livre Past (<https://folk.uio.no/ohammer/past/>), utilizando-se como ferramentas primárias os testes de normalidade das amostras, em conformidade com o tamanho do grupo de amostras (<50). Assim, utilizou-se o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (Eq. 13), o qual sustenta-se na premissa de que, na hipótese  $H_0$ , os dados seguem uma distribuição normal, e, na hipótese  $H_1$ , os dados não seguem uma distribuição normal.

$$W = \frac{b^2}{\sum_{i=1}^n (x_{(i)} - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 13})$$

em que  $x_i$  são os valores da amostra ordenados ( $x_{(1)}$  é o menor). A constante  $b$  é determinada na Eq. 14,

$$b = \begin{cases} \sum_{i=1}^{n/2} a_{n-i+1} \times (x_{(n-i+1)} - x_{(i)}) & \text{se } n \text{ é par} \\ \sum_{i=1}^{(n+1)/2} a_{n-i+1} \times (x_{(n-i+1)} - x_{(i)}) & \text{se } n \text{ é ímpar} \end{cases} \quad (\text{Eq. 14})$$

em que  $a_{n-i+1}$  são constantes geradas pelas médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra de tamanho  $n$  de uma distribuição Normal.

Portanto, essa fase de avaliação da normalidade dos dados proporcionou a concretização de uma das três metas para a escolha dos testes estatísticos a serem empregados, onde as outras duas são: tipo de estudo e quantidade de grupos, que, no caso das amostras utilizadas no trabalho, representam um estudo observacional e amostras em quantidades inferiores a 50. Definindo, assim, um teste não-paramétrico de Kruskal-Willis (FREUND, 2000) (Eq. 15).

$$H = \left[ \frac{12}{N \cdot (N+1)} \right] \cdot \left[ \frac{\sum R_1^2}{n_1} + \frac{\sum R_2^2}{n_2} + \frac{\sum R_3^2}{n_3} \right] - 3 \cdot (N + 1) \quad (\text{Eq. 15})$$

onde,  $N$  é o número dados em todos os grupos;  $n$  é o número de sujeitos em cada grupo;  $\sum R$  é a somatória dos postos em cada grupo.

Para esse teste, a hipótese nula ( $H_0$ ) foi a de que a resposta da umidade do solo comporta-se igualmente nas dispersões dos valores de 03, 05 e 07 pixels de NDVI e NDWI. Por outro lado, a hipótese alternativa ( $H_1$ ) é a de que a resposta da umidade sofre alterações em decorrência da quantidade de pixels analisados para os referidos índices.

Como método de inferência simultânea pareada, foi usado o teste post-hoc Dunn, de modo a visualizar quais dados possuíram comportamento distinto. O teste de

Dunn baseia-se na premissa de combinação dos dados, determinação dos dados, encontrando os postos médios de grupos e promulgando, em seguida, as diferenças absolutas padronizadas dos pontos médios, onde, seja  $k =$  o número de tratamentos,  $k > 2$ ; Seja  $R_i =$  à soma das posições para o  $i$ -ésimo tratamento,  $i = 1, \dots, k$ ; (Eq. 16):

$$\text{Seja } \bar{R}_i = \frac{R_i}{n_i} \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde  $n_i =$  o número de observações para o  $i$ ésimo tratamento (Eq. 17),

$$\text{Seja } \theta = \frac{|\bar{R}_i - \bar{R}_j|}{\zeta} \quad (\text{Eq. 17})$$

Onde  $j=1, \dots, k$  e  $j \neq i$  (Eq. 18)

$$\text{Onde } \zeta = \sqrt{\left[\frac{N(N+1)}{12}\right] \times \left[\frac{1}{n_i} + \frac{1}{n_j}\right]} \quad (\text{Eq. 18})$$

Assim, instruindo a estatística H (Eq. 19)

$$\left(\frac{12}{N(N+1)} \sum_i \frac{R_i^2}{n_i}\right) - 3(N+1) \quad (\text{Eq. 19})$$

$$\text{Onde } N = \sum_i n_i$$

Declararemos, então, se a "significância" (Eq. 20):

$$\theta \geq z \quad (\text{Eq. 20})$$

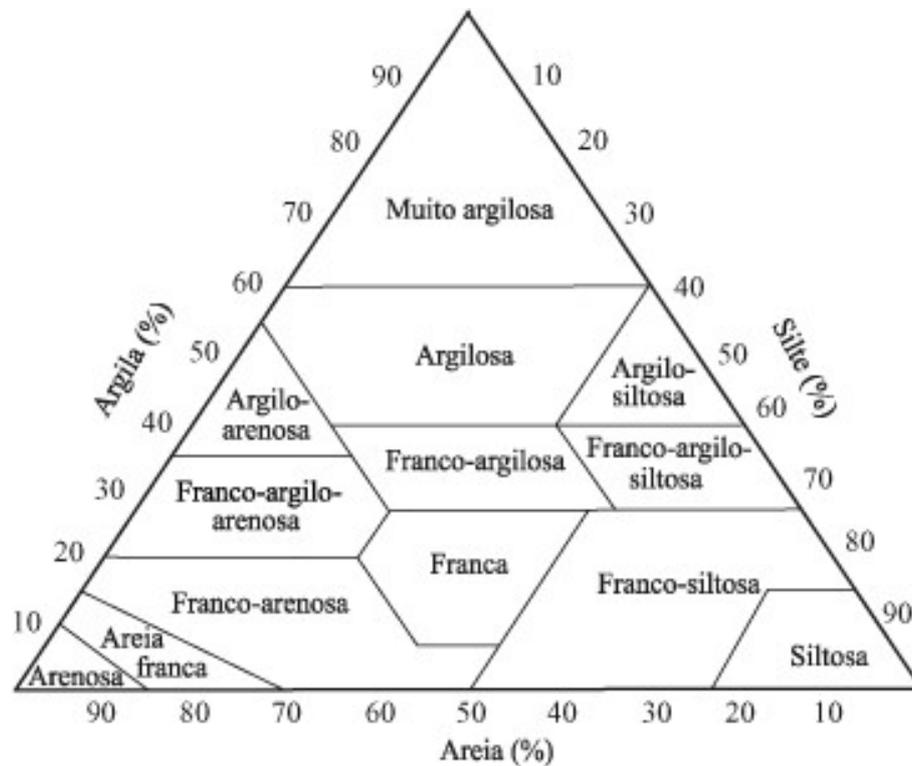
$$\text{Onde } z = Z \frac{\alpha}{k(k-1)}$$

Onde  $\alpha$  é um valor alfa da família especificado,  $0 < \alpha < 1$

No percurso proposto, as amostras que apresentaram uma distribuição normal foram tratadas via teste de Análise de Variância – ANOVA ONE-WAY, isto é, um teste que visa verificar se existem diferenças entre as médias de uma determinada variável (variável resposta) em relação a um tratamento com dois ou mais níveis categóricos (variável preditora). Etapa em que usou-se o teste de comparação múltipla de Tukey para avaliar quando os dados apresentaram diferenciações, entre as quais está essa diferença.

Outro fator importante das atividades de gabinete foi a sistematização dos dados de campo derivados das trincheiras e tradagens exploratórias, que possibilitaram aplicação de técnicas representativas para confecção de um perfil de solos, realizado no software AutoCAD, e a definição das texturas dos solos pelo método do Triângulo de Ferret (Fig. 16).

**Figura 16:** Triângulo de Ferret para classificação textural de solos.



**Fonte:** Adaptado de LEMOS e SANTOS (1996).

A construção das análises estatísticas para o cálculo da infiltração acumulada, obtida pelos anéis de infiltração concêntricos (dados não parametrizados), baseou-se na aplicação da Equação Potencial ou Modelo de Katioukov (Eq. 21), conforme ilustram Bernado et al. (2006)

$$I = K \cdot T^a \quad (\text{Eq. 21})$$

Onde:

I = Infiltração acumulada (cm);

K = Parâmetro dependente da condição de umidade inicial do solo;

T = Tempo de infiltração (min.);

$a$  = Constante dependente do solo, variando entre 0 e 1.

Os dados de entrada dessa equação são exponenciais, contudo, os coeficientes  $a$  e K necessitam estar em modo analítico para serem determinados. Assim sendo, com o

método de Regressão Linear (Eq. 22) para logaritmização dos dois lados da Equação 14, ter-se-á:

$$\log I = \log K + a \cdot \log T \quad (\text{Eq. 22})$$

Sendo que significam cabalmente uma equação de linha reta do tipo  $I=A+B \cdot X$ , em que,

$$Y = \log I$$

$$A = \log K$$

$$B = a$$

$$X = \log T$$

Dessa forma, para a regressão linear, os valores de A e B são determinados pelas seguintes expressões,

$$A = \frac{\sum X \times \sum XY - \sum X^2 \times \sum Y}{(\sum X)^2 - m \times \sum X^2}$$

$$B = \frac{\sum X \times \sum Y - m \times \sum XY}{(\sum X)^2 - m \times \sum X^2}$$

em que,  $m$  é o número de pares, dados I e T.

$$A = \log K, K = \text{antilog}A, \text{então,} \quad K = 10^A$$

$$B = a, \text{então,} \quad a = B$$

Assim, com os valores de A e B, determina-se K e  $a$ , isto é, volta-se à equação exponencial de origem, onde o valor K é o antilog A,  $ea$  é o próprio valor de B.

Os dados da Espectroscopia de Raio-X por Dispersão em Energia – EDX foram obtidas pelo Método easy – Vac – Oxide, por medidas a vácuo, em colimador de 10 mm, em tensões no tubo de 15 e 50 kV, respectivamente, para a detecção dos elementos do Sódio (Na) ao Escândio (Sc) e do Titânio (Ti) ao Urânio (U).

A técnica de Difração de Raio-X consiste na incidência da radiação em uma amostra e na detecção dos fótons difratados, em um material onde os átomos estejam

arranjados periodicamente no espaço, características das estruturas cristalinas. O fenômeno da difração de raios X ocorre nas direções de espalhamento sob condições geométricas expressas pela lei de Bragg, dada pela equação (Eq. 23):

$$n \lambda = 2d \sin \theta \quad (\text{Eq. 23})$$

Onde:

$n$  é um número inteiro (ordem de difração);

$\lambda$  é o comprimento de onda dos raios X;

$d$  é a distância interplanar;

$\theta$  é o ângulo de difração em radianos.

De acordo com Gomes (1984), a Lei de Bragg indica a relação entre as posições angulares dos feixes difratados reforçados, em termos do comprimento de onda ( $\lambda$ ) do feixe de raios X incidente e da distância interplanar dos planos cristalográficos.

Dessa forma, os difratogramas foram organizados com o auxílio do software Origin 2018 e a identificação das fases cristalinas presentes nas amostras foram feitas através de comparações com as fichas catalográficas da base de dados do Mincrust (Crystal Structure Database for Minerals). Para auxiliar na interpretação dos valores dos difratogramas, foi realizada a normalização dos valores da coluna B (2Theta).

### 3.3 Atividades de campo

Essa etapa inicia-se em março de 2016 com a escolha de áreas potencialmente representativas para discussão das hipóteses levantadas, sendo que, no dia 7 de março do corrido ano, buscou-se a autorização dos proprietários das fazendas escolhidas, permitindo-se, assim, o planejamento sistemático das leituras a serem realizadas e do cronograma de atividades, incluindo a de campo.

Para validar os processamentos realizados com o RPA Swinglet CAM, foram dispostos mais três trabalhos de campo. Em 29 de julho de 2016, realizou-se a escolha e fixação de marcos geodésicos para pós-verificação da precisão e correção dos ortomosaicos produzidos com as plataformas aéreas. Para tanto, registrou-se 27 alvos pré-sinalizados, distribuídos por toda a área (Fig. 17). Os pontos foram pintados

diretamente no solo exposto, utilizando mistura de cal de pintura (branco) e água, sendo espalhados sobre um molde de papelão e tendo no centro do alvo um piquete de madeira de 3 x 3 x 20 cm, contendo em seu centro um prego com cabeça (1,5 x 16,1 mm).

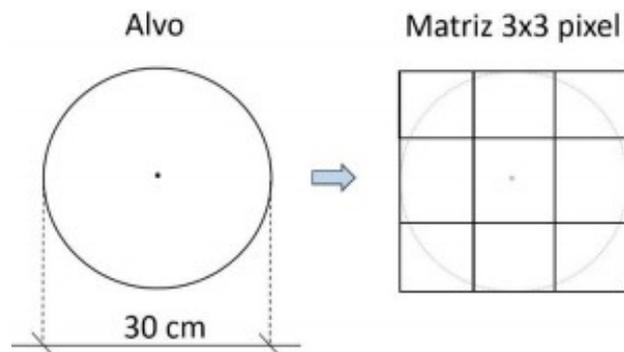
**Figura 17:** Instalação dos alvos pintados no solo na área de agricultura mecanizada para o georreferenciamento por GNSS.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O modelo de alvo pré-sinalizado foi adaptado dos modelos sugeridos por Wolf (2004) e Ministério do Exército (1984). No terreno, o alvo foi representado por uma circunferência com 30 centímetros de diâmetro, para que, na imagem, o alvo fosse representado por uma matriz de 3x3 pixel. O tamanho do alvo em solo varia de acordo com GSD (ou resolução espacial) pretendido. Isto é, com 30 cm de diâmetro, planejou-se um GSD de 10 cm, onde a soma de 3 pixels equivale a 30 cm. Isso é uma garantia de que o alvo será visualizado na imagem aérea. A Figura 18 demonstra a representação genérica de um alvo implantado no terreno.

**Figura 18:** Representação gráfica dos alvos pré-sinalizados no terreno.



**Fonte:** WOLF (2004). **Adaptado de:** Alves Junior, (2015).

O campo dos dias 31 de julho e 1º de agosto de 2016 foram para obtenção das coordenadas por meio de um par de receptores GNSS, da marca Topcon, modelo HiPer II, sendo que as coordenadas de base foram determinadas por PPP (Posicionamento por Ponto Preciso), empregando-se uma estação de monitoramento contínuo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Neste caso, o tempo de ocupação da base foi de 8 horas e 19 minutos (Fig. 19). Os pontos escolhidos apresentavam intersecções entre os planos de voos pré-estabelecidos para recobrimento de toda área (Fig. 20), sendo espalhados no perímetro e pontos estratégicos (Fig. 21).

**Figura 19:** Base do GNSS instalada próxima a sede da fazenda Bonansa I.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 20:** Visualização da distribuição espacial dos 10 planos de voos elaborados para recobrimento das vertentes analisadas



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 21:** Coleta de coordenadas georreferenciadas dos alvos pintados no solo, em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nos dias 3 e 4 de agosto de 2016, realizaram-se os sobrevoos das nascentes, com a concretização de 10 planos de voos, com o RPA Swinglet CAM (Fig. 22).

**Figura 22:** Sobrevoos das vertentes na área de estudo com o RPA Swinglet CAM, em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No campo do dia 19 de setembro de 2016, foram convidados especialistas em pedologia, geomorfologia, sensoriamento remoto e análise integrada da paisagem para acompanhar a escolha das aberturas de trincheiras e dos perfis de tradagem, e definição da área do desenho experimental (Fig. 23). Esse campo precedeu a execução em gabinete, devido ao seu caráter investigativo e primordial para a escolha do desenho experimental.

**Figura 23:** Trabalho de campo para escolha do desenho experimental e determinação dos pré-processos de análise físico-hídricas, em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Na atividade de campo, em 1º de outubro de 2016, contou-se com a presença do orientador da pesquisa, com intuito de avaliar a área experimental e realizar sobrevoo com o VANT Phantom 4, a fim de produzir um MDS de maior detalhamento – 5 cm (Fig. 24).

**Figura 24:** Trabalho de campo em 1º de outubro de 2016, com sobrevoo do desenho experimental com o RPA Phantom 4.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O campo do dia 7 de dezembro de 2016 apresentou uma grande sequência de atividades relacionadas às pré-avaliações de gabinete, entre elas a instalação e análise dos processos de infiltração e condutividade não-saturada, por meio dos anéis de infiltração, tipo concêntricos SONDATERRA®, na pastagem (Fig. 25) e agricultura mecanizada (Fig. 26). Assim como a abertura de três trincheiras na área de pecuária para demonstração e análise da sequência de perfil vertical (Fig. 27), com coleta de amostras indeformadas em cada perfil estabelecido, com um trado de amostra indeformada fabricado pela SONDATERRA®, com volume de 100cm<sup>3</sup> (Fig. 28).

No mês de setembro de 2017, foram realizados procedimentos de abertura e coleta de materiais nas trincheiras da área com agricultura mecanizada (Fig. 29), bem como tradagens para a coleta de solos em transectos de 100m, a partir do topo da vertente, em direção ao curso d'água, com amostras com 0-20cm, 20-40cm e 40-60cm de profundidade, com um trado tipo holandês, modelo de copo de 7cm, nas áreas de pastagem e agricultura mecanizada (Fig. 30).

**Figura 25:** Instalação e monitoramento da infiltração do solo por anéis de infiltração concêntricos na pecuária extensiva.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 26:** Instalação e monitoramento da infiltração do solo por anéis de infiltração concêntricos em agricultura mecanizada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 27:** Abertura das trincheiras na área de pecuária, com a utilização de uma retroescavadeira.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 28:** Coletas de amostras indeformadas nos perfis selecionados nas trincheiras, por meio do trado de amostras indeformadas na área da pecuária extensiva.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 29:** Abertura das trincheiras na área de agricultura mecanizada, com auxílio de uma retroescavadeira



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 30:** Amostragens e coletas dos solos a cada 100 metros com tradagens em profundidades estabelecidas, em área de agricultura mecanizada (a) e com pecuária extensiva (b).



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No dia 8 de novembro de 2017, foi instalada, na Fazenda Bonanza, uma Estação Meteorológica Davis Vantage Pro2 Sem Fio – 6152, com conjunto de sensores movidos a energia solar, com backup de pilha alcalina, para coleta de informações pluviométricas, temperatura e umidade do ar (Fig. 31).

**Figura 31:** Visualização da Estação Meteorológica Davis Vantage Pro2 Sem Fio – 6152, nas imediações da Fazenda Bonanza.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No dia 5 de março de 2018, foi realizado o pré-campo de preparação dos voos dos Vant eBee RTK/PPK e Matrice 600 PRO, com a instalação e demarcação dos pontos de controle para o sensor termal Flir T-420, feitos a partir de duas tiras de alumínio com dimensões de 1,20mX0,10m, objetivando apresentar três vezes o tamanho do pixel desejado pela altura do voo, assim como a coleta das coordenadas geodésicas dos pontos espalhados na linha de voo desejável (Fig. 32).

**Figura 32:** Marcação dos pontos de controle na linha de voo do Matrice 600 Pro para recobrimento do sensor termal Flir-T420



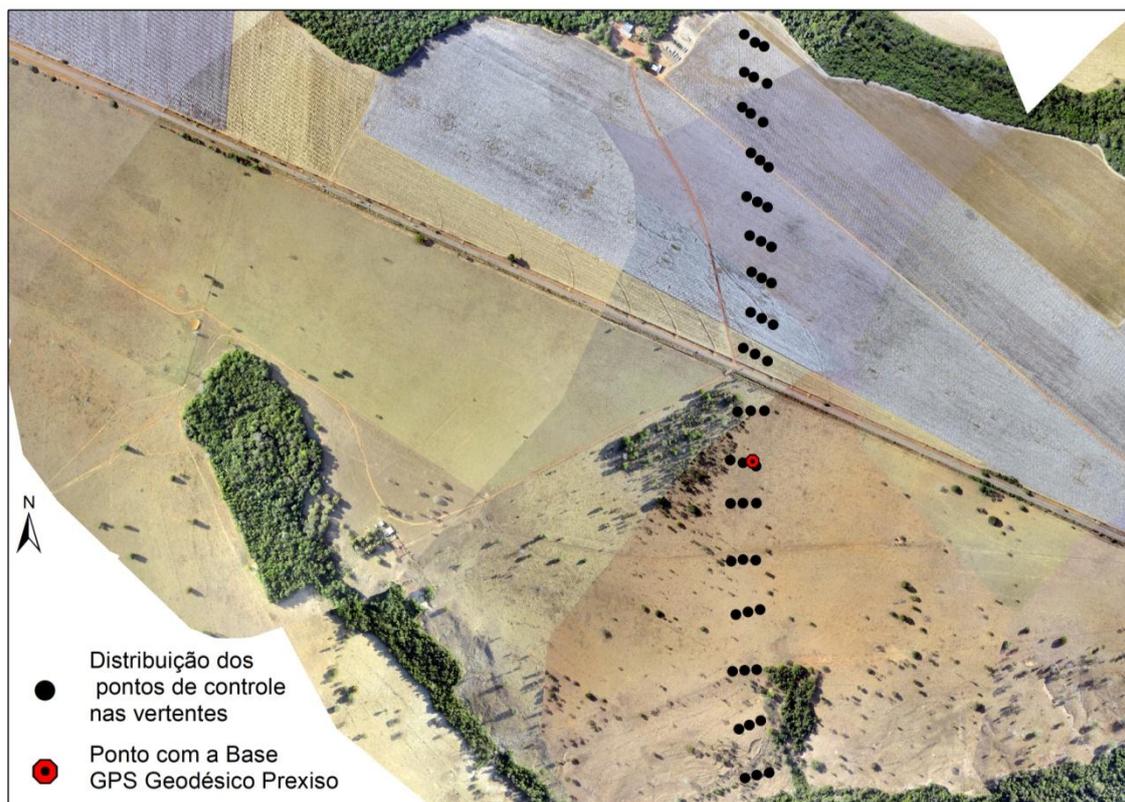
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No dia 6 de março de 2018, foi executado o primeiro campo com os RPAs eBee RTK/PPK e Matrice 600 PRO para produção dos mapeamentos termal (sensor FLIR T-420) e multiespectral (sensor Sequoia Parrot). Entretanto, devido a problemas de ordem técnica com o eBee, obteve-se apenas uma linha dos voos programados com esse instrumento, acarretando em prejuízo dos demais procedimentos técnicos esperados para o campo.

Em decorrência do problema com o eBee, o voo com o Matrice 600 Pro fora adiado para o dia 13 de março de 2018, prevalecendo a mesma dinâmica de demarcação e georreferenciamento dos pontos de controle, refeitos e coletados novamente, em decorrência das intempéries climáticas e de rotina dos animais na vertente da pecuária, e dos maquinários na vertente com agricultura.

Desse modo, a base do GNSS Geodésico Prexiso G4/G5 ficou ligada por 4h30min, e o Rover por 1 min e 30 segundos, em cada um dos 51 pontos de controle espalhados pela linha de voo (Fig. 33).

**Figura 33:** Visualização dos pontos de controle nas vertentes analisadas, com destaque à alocação da base do levantamento geodésico.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No mesmo momento em que foram levantados os pontos com o rover do GNSS Prexiso, ocorreu o voo do Matrice 600 PRO, bem como a coleta das amostras de umidade com o trado de amostras indeformadas, e o levantamento da temperatura dos alvos próximos ao ponto de controle, com um Termômetro Laser Digital Infravermelho (Fig. 34).

**Figura 34:** Amostragem das coletas de umidade gravimétrica, com utilização do trado de amostras indeformadas, e leitura da temperatura próxima aos alvos com termômetro digital.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No dia 15 de setembro de 2018, foi realizado o segundo campo de coleta de dados multisensoriais (termal e multiespectral), assim como os dados de umidade e temperaturas, apoiado com o levantamento geodésico via GNSS Geodésico Prexiso G4/G5. Sendo que o diferencial fora imbuído na utilização de um novo sensor multiespectral de melhor qualidade, a MicaSense RedEdge-M, embarcado no Matrice 600 PRO, cautela realizada em decorrência dos problemas técnicos da campanha do mês de março com o eBee. Ocorreram ainda mudanças nos pontos de controle e distribuição das coletas de umidade, que necessitaram de reajustes devido a alterações nas condições atmosféricas, destruição de marcos pela ação dos maquinários agrícolas e dos animais (Fig.35).

**Figura 35:** Recolocação dos pontos de controle (A- agricultura mecanizada, e B - pecuária extensiva), no trabalho de campo, em 15 de setembro de 2018.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

### 3.4 Atividades de laboratório

As atividades de laboratório estão calcadas nas análises físico-químicas dos solos, derivadas das coletas realizadas nas diversas campanhas de campo, ao longo da construção da pesquisa de doutoramento.

Os procedimentos de análises físicas (granulometria: areias, silte e argila) foram realizados no Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial – LAPEGEOF, da Universidade Estadual de Mato Grosso, campus Cáceres, vinculado ao curso de Geografia - Licenciatura.

Os procedimentos apresentaram a seguinte diretriz: as amostras foram secas ao ar, 20 g de cada amostra foram adicionados em béqueres, contendo solução de hidróxido de sódio (10 ml) e água destilada (100 ml). Seguindo, o conteúdo dos béqueres foi agitado com um bastão de vidro, tampado com um vidro de relógio e deixado em repouso durante uma noite. Após esse repouso, as amostras foram novamente agitadas durante cinco minutos, desta vez eletricamente. Na sequência, o material foi lavado numa peneira de 20 cm de diâmetro e malha de 0,053 (nº270), apoiada sobre um funil, que tinha logo abaixo uma proveta de 1000 ml. O silte e a argila passaram para a proveta de 1000 ml e a areia ficou retida na peneira. O fracionamento da areia grossa, média e fina seguiu o método de peneiramento (SUGUIO, 1973). A areia retida nas peneiras de 4,75mm e 2,36mm foi considerada grossa. Aquela que passou pela peneira de 2,36mm, mas retida nas peneiras de 1,18mm e 600µm foi considerada média. E, finalmente, a areia retida nas peneiras de 300µm a 75µm foi classificada como fina. Essa escala foi adaptada da ASTM (American Society for Testing and Materials) (Fig. 36).

**Figura 36:** Análises granulométricas realizadas no Laboratório de Pesquisa e Estudos em Geomorfologia Fluvial – LAPEGEOF/UNEMAT/Cáceres.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Em relação aos procedimentos das análises químicas por Espectrometria de Raios X por Dispersão em Energia (EDX) e da estrutura cristalina por Difração de Raios X (XRD), essas foram realizadas no Laboratório Multiusuário de Técnicas Analíticas – LAMUTA, da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT.

As amostras foram secas em estufa a temperatura de 105° C, por um período de 48 horas, no Laboratório de Geografia Física – LAGEF, da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT (Fig. 37), sendo, posteriormente, armazenadas em pacotes plásticos catalogados e numerados, os quais foram levados ao LAMUTA para pulverização e homogeneização por meio do moinho de panela e cilindros de carbetto de tungstênio, da marca AMEF, por um período de 87 segundos (Fig. 38).

**Figura 37:** Preparação e secagem das amostras no Laboratório de Geografia Física – LAGEF, da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT/Cuiabá.



Fonte: Elaborada pelo autor.

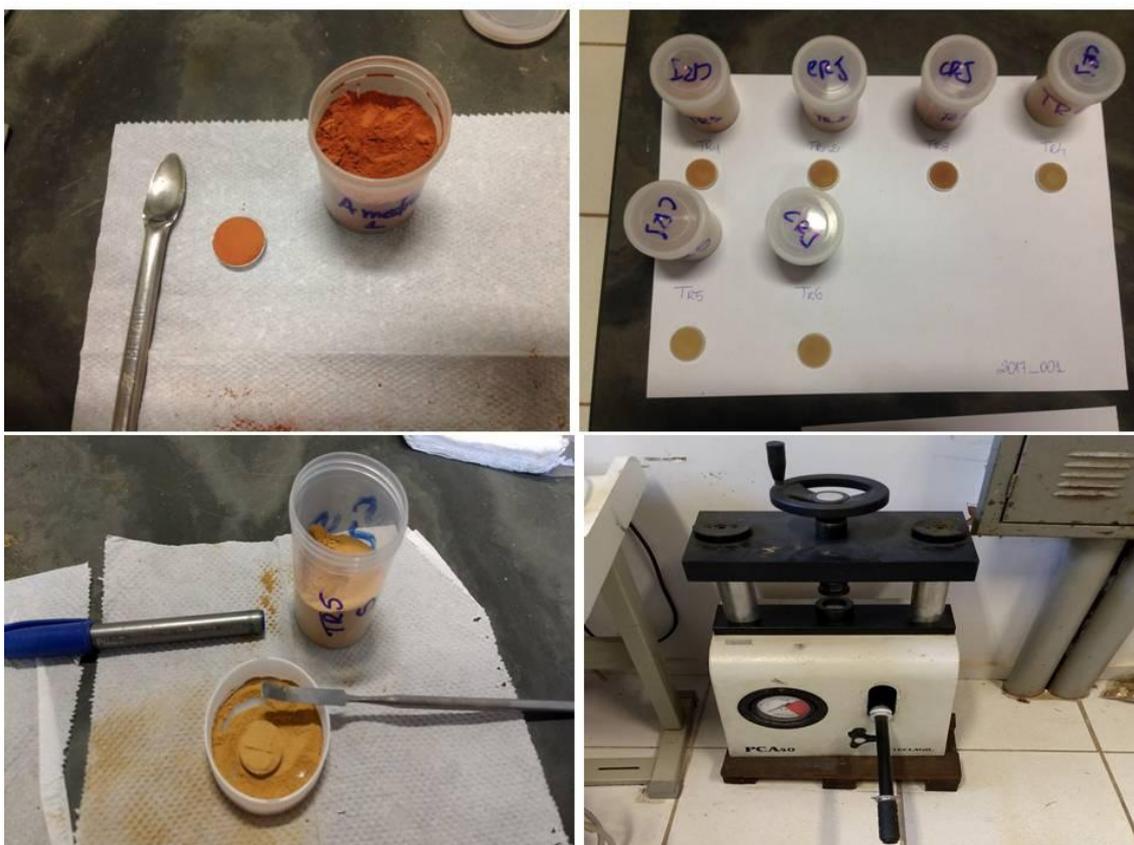
**Figura 38:** Processo de pulverização e homogeneização das amostras no moinho de panela e cilindros de carbeto de tungstênio AMEF.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Para a análise química por EDX, foram preparadas pastilhas prensadas a partir do pó pulverizado, com pressão de cinco toneladas (Fig. 39). Para as medidas, utilizou-se um equipamento Shimadzu EDX -700HS, capaz de realizar análises quantitativas por meio de padrões internos, através da rotina Qual-Quant FP© (Fig. 40).

**Figura 39:** Pastilhas prensadas a 5 t e numeradas para amostragem de EDX e XRD.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 40:** Equipamento Shimadzu EDX -700HS ,



Fonte: Elaborada pelo autor.

As análises de Difração de Raio-X – XRD para a caracterização mineralógica das amostras foram realizadas utilizando porta-amostra de preenchimento frontal, conforme o procedimento de Buhrke et al. (1998). Utilizou-se um equipamento Shimadzu modelo XRD-6000, equipado com tubo de cobre e monocromador de grafite, em geometria de Bragg-Brentano (Fig. 41). Os perfis foram adquiridos entre 5 e 80 graus, com passos de 0,02 graus, tempo de aquisição por passo de 1,20 segundos, fendas de divergência e espalhamento de 1 grau e fenda de recepção de 0,30 mm. Os erros experimentais foram determinados como sendo menores que o passo angular utilizado (0,02°), através da medida de um padrão de silício em pó.

**Figura 41:** Equipamento Shimadzu modelo XRD-6000, equipado com tubo de cobre e monocromador de grafite, em geometria de Bragg-Brentan.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

As análises para os valores da umidade gravimétrica, executadas em paralelo aos voos dos VANTs eBee RTK/PPK e Matrice 600 PRO Pro, foram coletadas seguindo a lógica do centro dos pontos de controle, onde, nos primeiros 5cm, foi retirada uma amostra de 100cm<sup>3</sup>, com trado de amostras indeformada, sendo essa cápsula coberta

com papel alumínio, etiquetada e guardada em saco plástico fechado, encontrando-se, posteriormente, guardadas em caixa térmica com temperatura resfriada.

Após, foram levadas ao Laboratório de Solos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso, campus Cuiabá, onde foram separadas, catalogadas, pesadas e reembaladas (Fig. 42), retornando ao LAGEF/UFMT para serem secas em estufa (Fig. 43) e pesadas novamente no IFMT.

**Figura 42:** Pesagem das cápsulas de amostras para medições de umidade gravimétrica, no Laboratório de Solos do IFMT/Cuiabá.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 43:** Preparação para secagem das amostras de umidade gravimétrica, no LAGEF/UFMT



Fonte: Elaborada pelo autor.

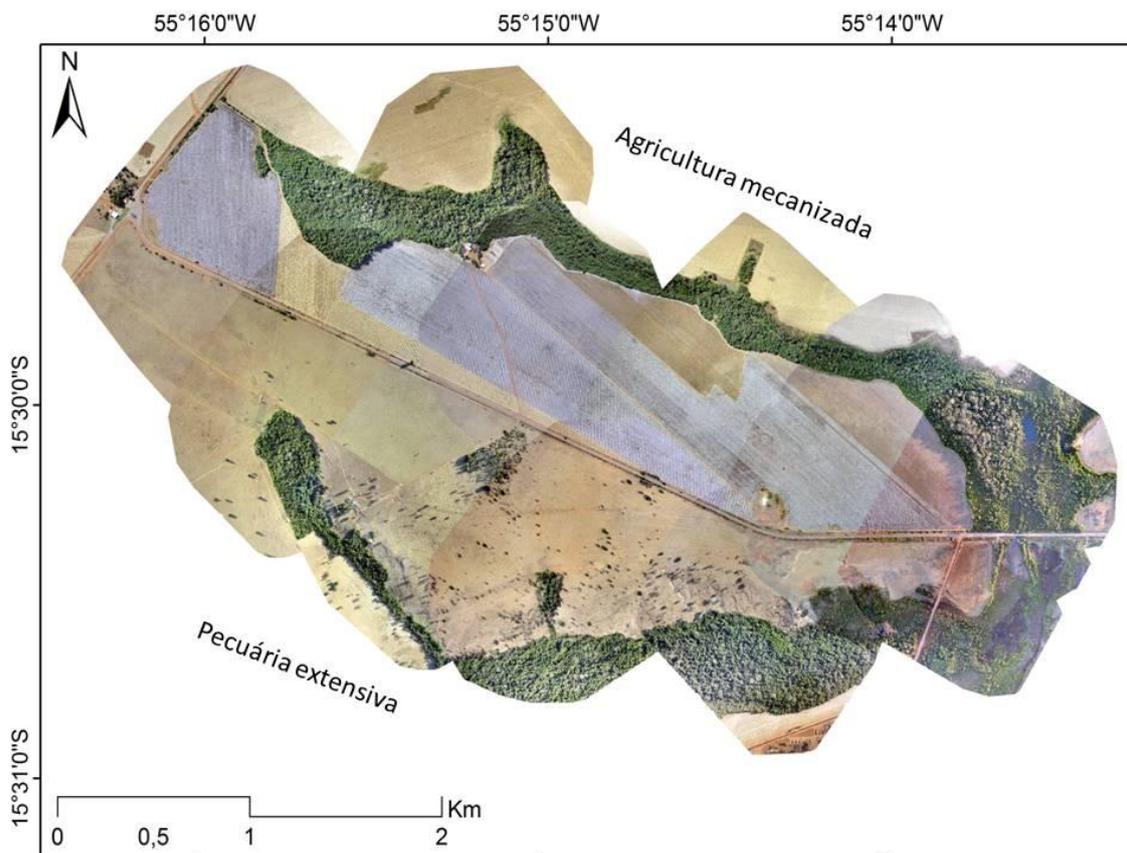
## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 A construção do modelo de estudo científico da pesquisa

As determinantes biofísicas do Cerrado mato-grossense são diversificadas e complexas. Sem uma compartimentação e redução escalar, torna-se impossível a prática de pesquisas e elucidações das diferentes problemáticas socioambientais.

Como forma de possibilitar uma análise mais criteriosa e concisa para a área de estudo desta pesquisa, foi necessário mapear com alto grau de resolução as condicionantes hipsométricas, geomorfológicas e de solos das nascentes. Para tanto, foram realizados voos sistemáticos com o RPA Swinglet CAM, o que forneceu uma resolução espacial de 10cm no terreno (GSD), aliado às técnicas de georreferenciamento (mosaicagem/ortorretificação), findando com as informações necessárias para se criar o desenho experimental da área de estudo (Fig. 44).

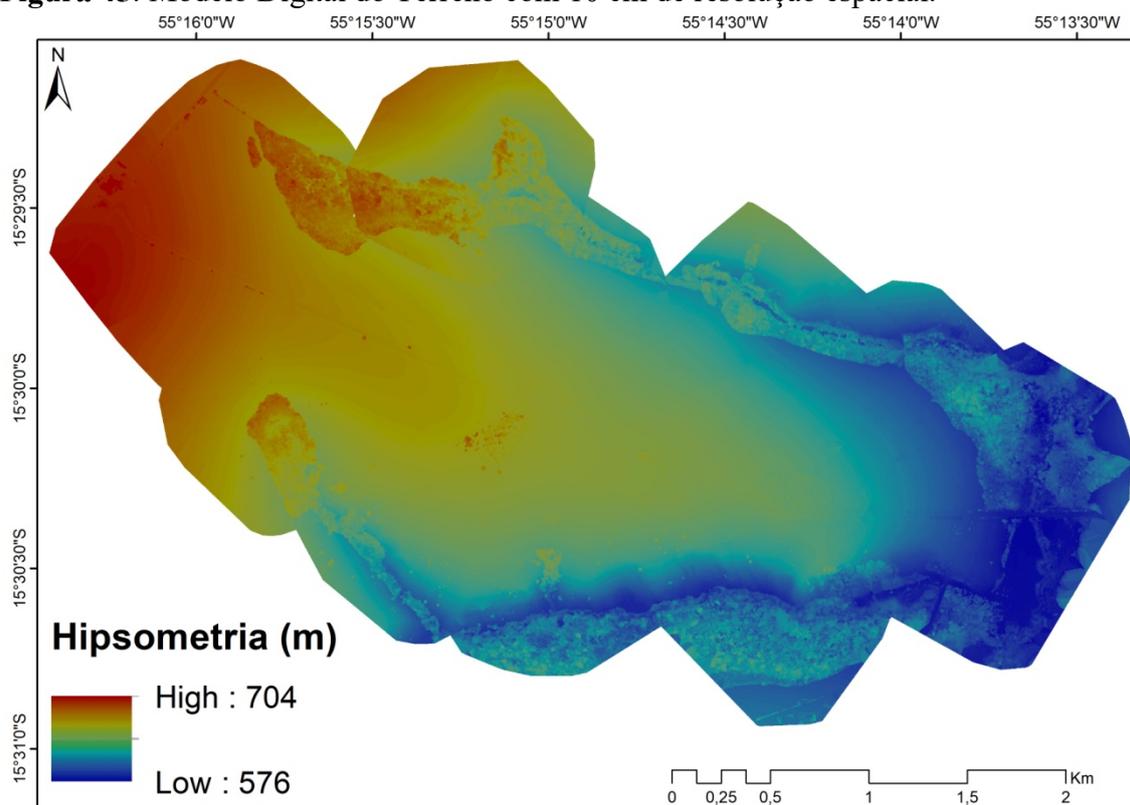
**Figura 44:** Desenho experimental: vertentes com agricultura mecanizada e pecuária extensiva, com MDS de 10 cm, a partir da mosaicagem de 10 planos de voos.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

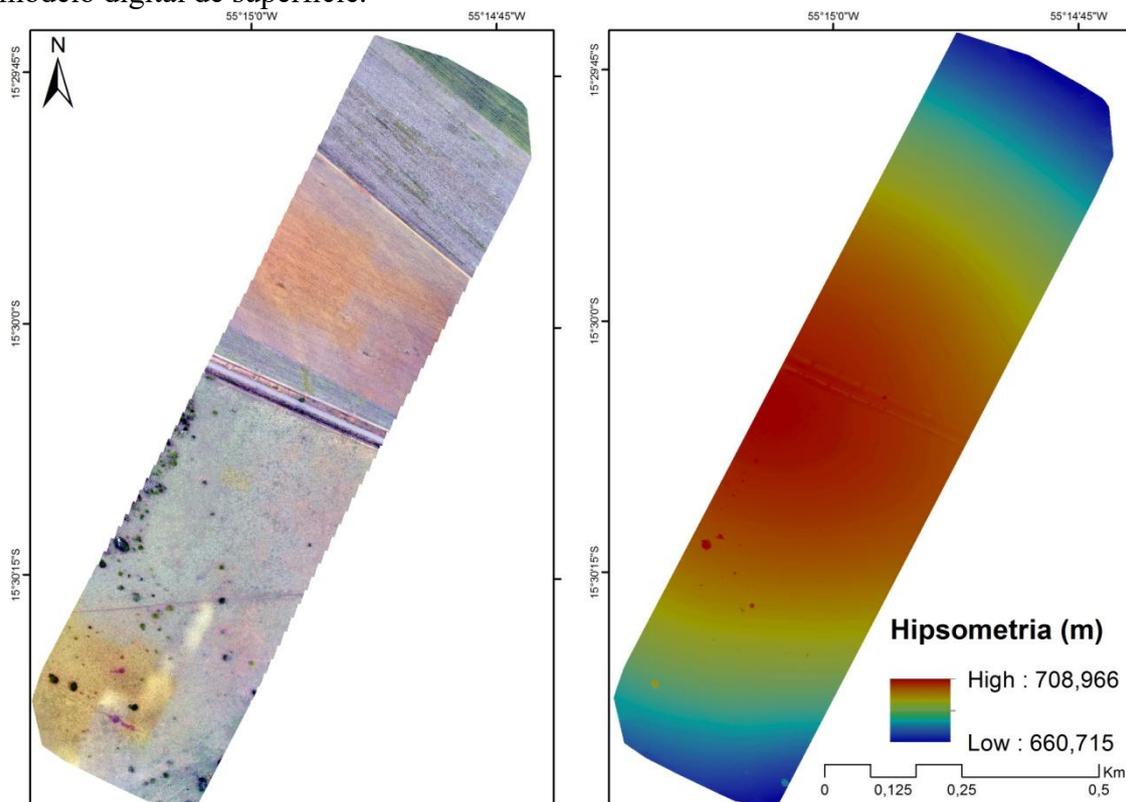
Os processamentos das imagens coletadas pelo RPA Swinglet CAM (câmera Canon s110, RGB 12 MP) possibilitaram a criação do Modelo Digital do Terreno de resolução espacial de 10 cm, sendo possível avaliar a amplitude hipsométrica da área de estudo, contida entre os valores de 576 m e 704 m (Fig. 45). Essa amplitude é característica da morfoescultura do Planalto e Chapada dos Guimarães (JESUZ, 2014; VASCONCELOS 1998; SANTOS, 2007). Outro recorte espacial foi determinado pelo RPA Phantom 4, com resolução espacial de 5 cm (Fig. 46).

**Figura 45:** Modelo Digital do Terreno com 10 cm de resolução espacial.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 46:** Modelo de estudo específico (transecto), obtido com sobrevoo do Phantom 4, com 5cm de resolução espacial, com destaque para o mosaico ortorretificado e o modelo digital de superfície.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A realização de voos com diferentes RPAs e o aumento na resolução espacial foram necessários para buscar maior confiabilidade nos dados do Modelo Digital do Terreno, que passou de 10cm para 5cm de resolução espacial, aumentando a possibilidade de detalhamento.

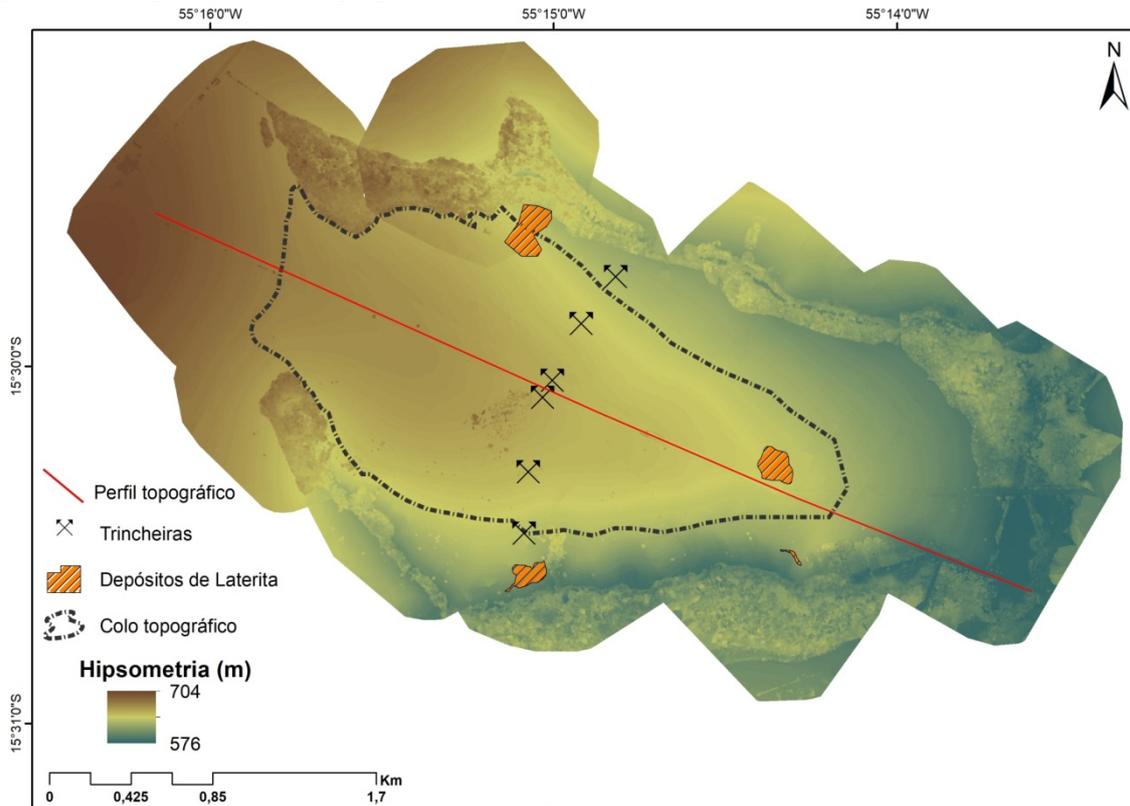
#### 4.2 Avaliação dos parâmetros físico-hídricos e antrópicos do solo

Os parâmetros dos solos encontrados na área de estudo são relacionados aos processos pedogenéticos de formação dos Latossolos, especialmente para o recorte do desenho experimental, onde se encontra em maior parte os Latossolos Amarelos e também os Neossolos Flúvicos/Gleissolos, nos fundos de vales.

O Latossolo Amarelo, possivelmente, apresenta grande vínculo de sua formação ligado aos processos pedogenéticos da evolução geomorfológica/pedológica de um colo topográfico que, conforme Guerra e Guerra (2008, p. 147), são “depressões que aparecem num divisor de águas que separa dois vales de trajetos mais ou menos

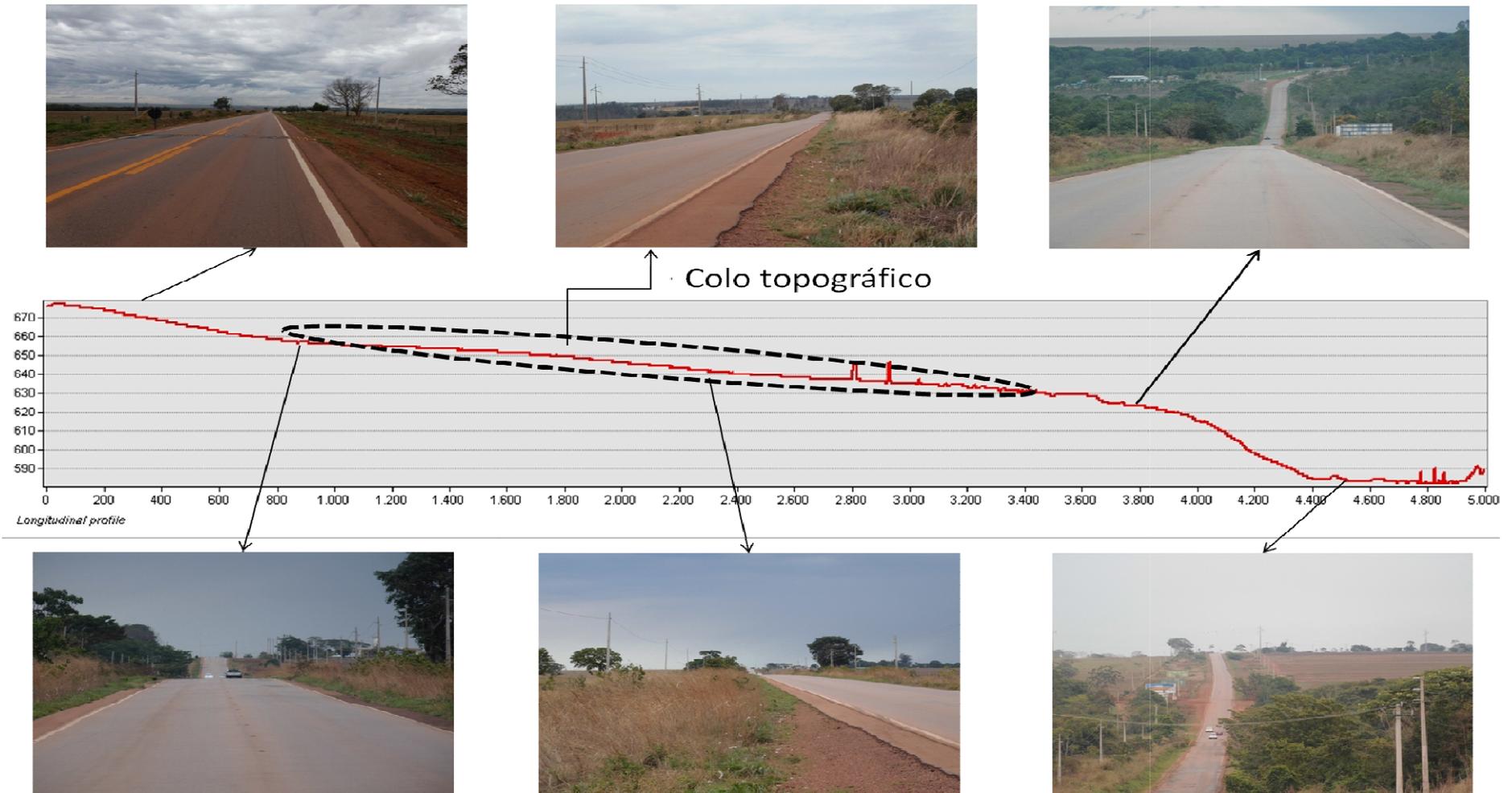
paralelos” (Figs. 47, 48 e 49). E, corroborando com esse fator, têm-se as áreas com coberturas detrítico-lateríticas (ou lateritas), em diversos pontos da vertente, mas com destaque maior para o terço médio inferior da vertente da área de pecuária extensiva (Figs. 50 e 51), onde a laterita apresenta ruptura abrupta com o modelado.

**Figura 47:** Modelo Digital do Terreno, com destaque para a formação pedo-geomorfológica do colo topográfico.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 48:** Perfil longitudinal, destacando a área de depressão, denominada de colo topográfico.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 49:** Vista aérea do colo topográfico e o do divisor de águas no trajeto da estrada.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 50:** Visualização do perfil de lateritas no terço médio inferior da vertente da área de pecuária extensiva.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 51:** Visualização aérea da borda do depósito de laterita no terço inferior da vertente com pecuária extensiva.

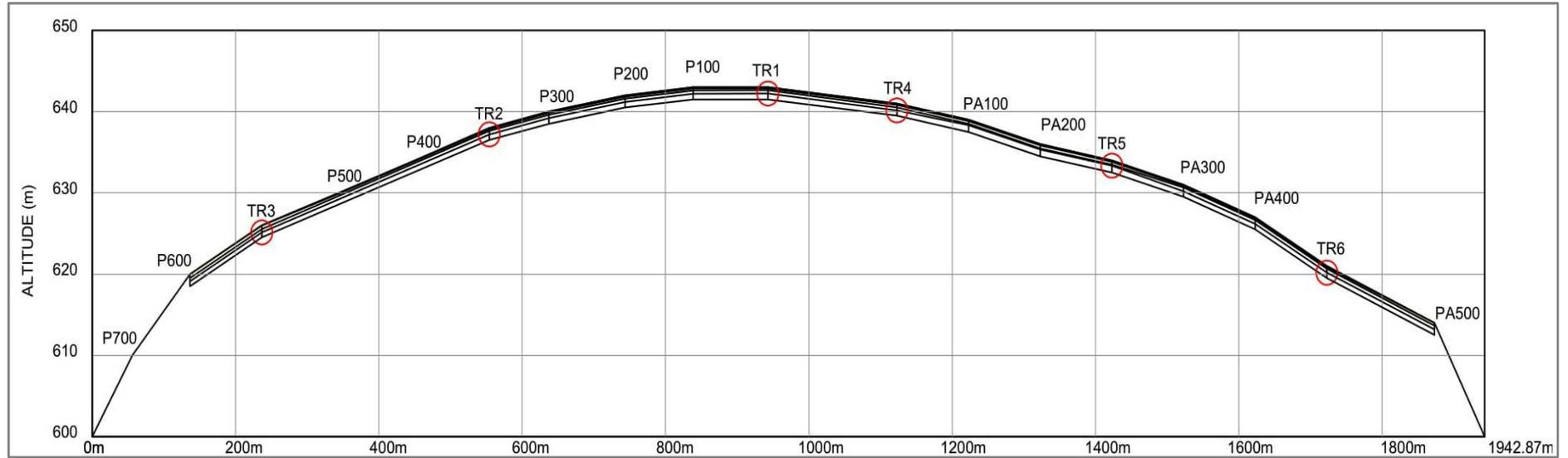


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Essa laterita funciona como base de maior resistência aos processos ligados à dinâmica da água nas vertentes, causando, de modo mais concreto, uma interferência granulométrica e morfogênica na formação do próprio solo. Assim, como parte da investigação nos procedimentos técnico-metodológicos empregados, a construção dos aportes investigativos recaem sobre a materialização da dinâmica físico-hídrica das vertentes analisadas.

E, assim, a discussão proposta tendeu-se a elucidar os parâmetros da paisagem vistos a partir das constantes físicas. Portanto, usou-se, das trincheiras pedológicas, pontos de amostragem com tradagem compostas, descrição dos perfis/horizontes e análises físico-químicas dos solos coletados (Fig. 52).

**Figura 52:** Espacialização bidimensional das vertentes analisadas, como destaque ao divisor d'água do desenho experimental, as trincheiras em área de pecuária extensiva (TR1, TR2 e TR3) e agricultura mecanizada (TR4, TR5 e TR6), assim como os pontos de controle de tradagens.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

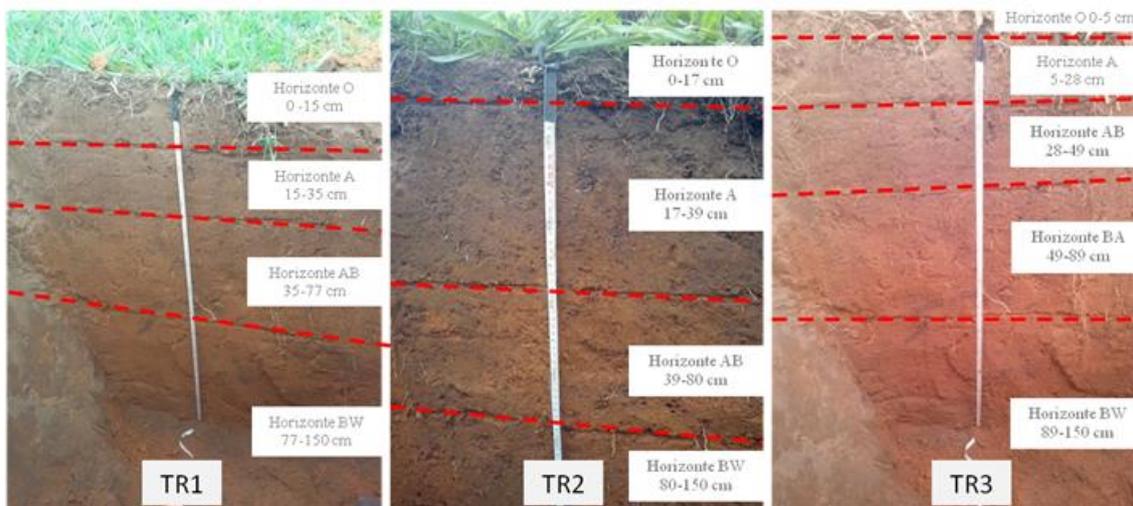
O que se observa no perfil é sua composição de base a base dos cursos d'água, apresentando duas vertentes praticamente simétricas longitudinalmente, que, somadas, estendem-se por quase 2000 m, sobrepostas pelos pontos de trincheiras (6 ao todo), e mais 12 pontos de controle de tradagens exploratórias, sendo sete em área de pecuária extensiva e cinco na agricultura mecanizada, com profundidades estabelecidas entre 0-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm.

A partir do perfil de solos, é possível notar que o terreno analisado é composto por duas vertentes de declives diferenciados, sendo a primeira entre a TR1 e a base 600 m, inclinando cerca de 4,54% (ou 5.05°), e a segunda, entre a TR4 e a base 600 m, com declive de 5% (ou 5.55°), denotando um relevo suave-ondulado, conforme classes da Embrapa (1979) e Pereira (2004).

Os comportamentos dos horizontes verticais e longitudinais, na área de pecuária extensiva, denotam um solo ainda com estruturas bem conservadas, onde a migração vertical da matéria orgânica atingiu 75 cm de profundidade, em média, e seus horizontes mantêm uma distribuição longitudinal muito regular, com exceção na trincheira TR3, que, devido à sua posição no terço inferior da vertente, apresenta o horizonte BA de característica advinda da própria formação geológica da área, Marília.

Assim, Brienza(2008,p. 13) expõe que essa formação pode apresentar “granulação grossa, níveis de conglomerado com seixos de quartzo, opala, basalto e argilito, além do caráter maciço dos bancos com a presença abundante de nódulos carbonáticos irregulares, podendo ser esparsos nos arenitos ou concentrados em níveis”. Sendo que, para essa trincheira, conta-se com a presença de grânulos e seixos (Escala de Wentworth), a partir dos 28 cm de profundidade (Figuras 53 e 54).

**Figura 53:** Visualização das trincheiras na área de pecuária extensiva e sua distribuição vertical dos horizontes, com profundidades e nomenclaturas..



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 54:** Exemplificação dos grânulos encontrados na TR3 – pecuária extensiva.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Outro ponto importante para essa trincheira é sua proximidade com a surgência do depósito de laterita mais abaixo de sua localização, um fator que pode intervir na dinâmica hidro-pedológica desse terço da vertente, já que a espacialidade horizontal de lateritas atua como barreira na percolação da água nos horizontes, criando aquíferos

subsuperficiais e superficiais, em decorrência de suas estruturas mais rígidas, o que leva a uma expulsão da água lateralmente, devido ao alívio da pressão interna (Fig. 55).

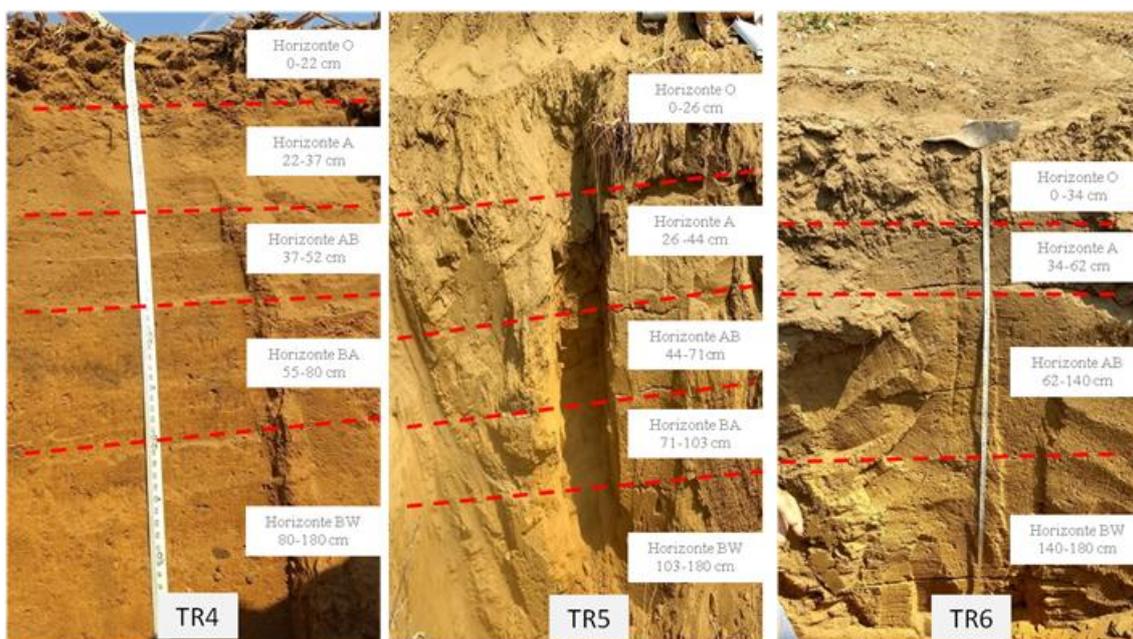
**Figura 55:** Esquemática do processo de organização estrutural da laterita no terço inferior da vertente com pecuária extensiva..



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

As trincheiras da área da agricultura mecanizada apresentam uma boa distribuição horizontal dos componentes no perfil da vertente, onde seus horizontes mantêm uma boa transição longitudinal, conservando, no geral, suas profundidades. Contudo, na TR 6, terço inferior da vertente, a disponibilidade dos horizontes apresenta uma redução, não havendo o horizonte BA, sendo nítida a passagem do AB para o BW (latossólico) (Fig. 56).

**Figura 56:** Visualização das trincheiras na área de agricultura mecanizada e sua distribuição vertical dos horizontes, com profundidades e nomenclaturas.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

As trincheiras da vertente com agricultura apresentam uma boa presença de grânulos e seixos, em quase todos os horizontes avaliados, sendo apenas não encontrados tais materiais nos horizontes O, sendo este caracterizado por intenso processo de antropização e, que, por terem sido subsolados para a troca de culturas e entrada no vazio sanitário do algodão, estavam bem desestruturados (Fig. 57).

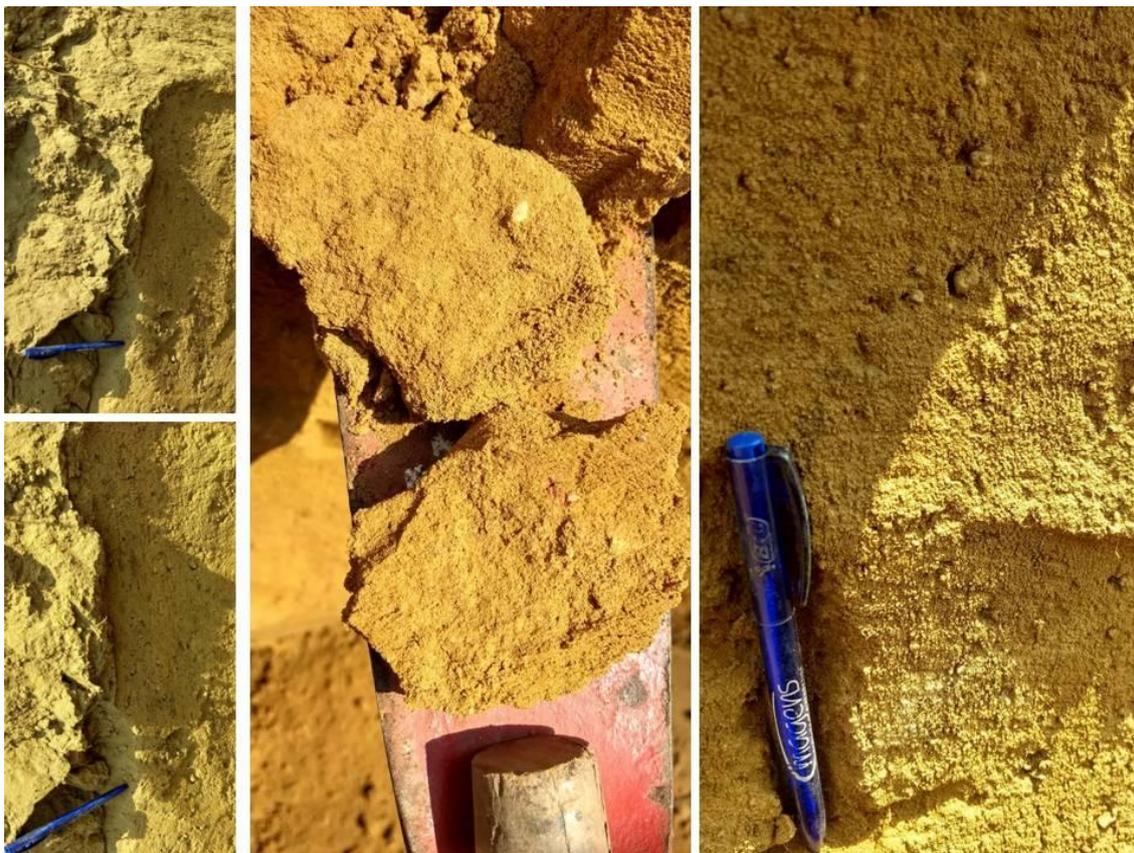
**Figura 57:** Visualização da subsolagem realizada na vertente com agricultura mecanizada, com destaque à desestruturação da camada de solo superficial.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os grânulos e seixos aparecem logo após a camada do horizonte O, permanecendo até o horizonte BW, entretanto, em tamanhos e concentração diferenciados, isto é, nos horizontes superficiais, até, em média, os 60 cm, os materiais descritos são pequenos e em maior concentração. Após essa profundidade, até, em média, 110 cm, os grânulos e seixos ficam mais espaçados entre si e aumentam sua granulometria. Além dos 110 cm, eles estão bem distribuídos no horizonte latossólico e com granulometria superior ao 0,5 cm (Fig. 58)

**Figura 58:** Visualização dos grânulos e seixos distribuídos nas trincheiras da vertente com agricultura mecanizada.

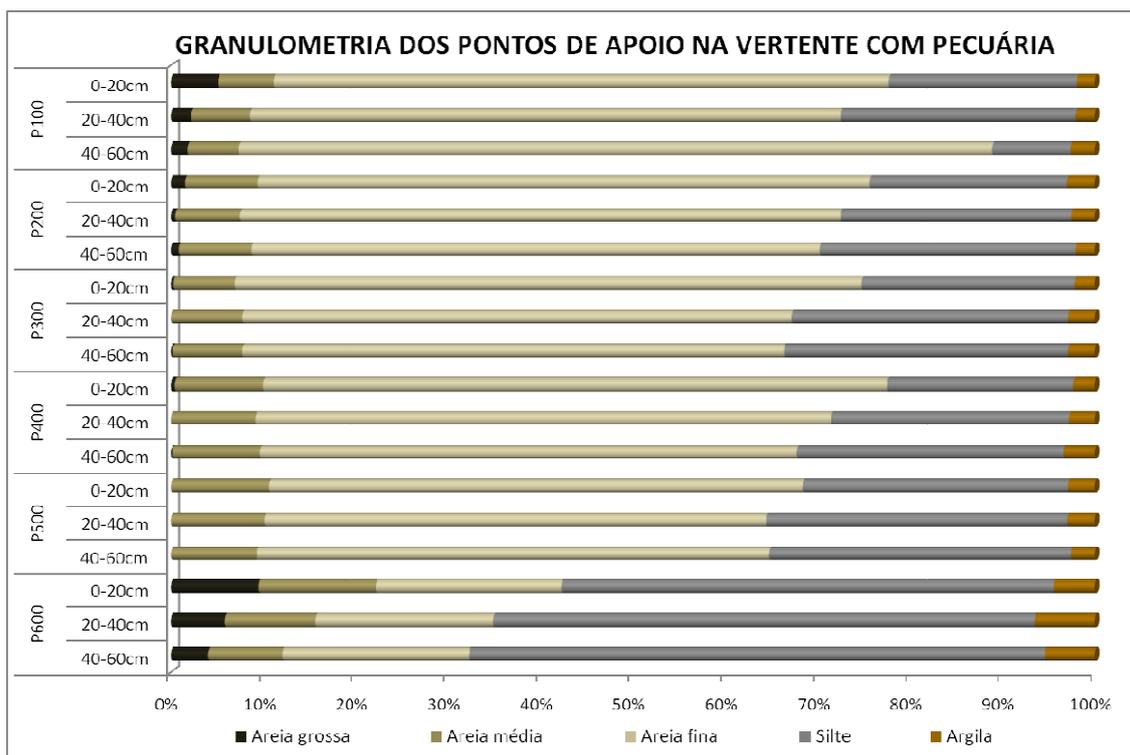


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Para compreender melhor as características morfo-pedológicas da área analisada, baseou-se nos procedimentos de análises físicas (granulometria) e químicas (EDX e XRD) das amostras dos solos, coletadas nas áreas dos pontos de tradagens (apoio) e das trincheiras, para, assim, interpretar o comportamento granulométrico e sua correlação com os componentes químicos encontrados, de forma a subsidiar o entendimento mais completo e conciso das vertentes analisadas.

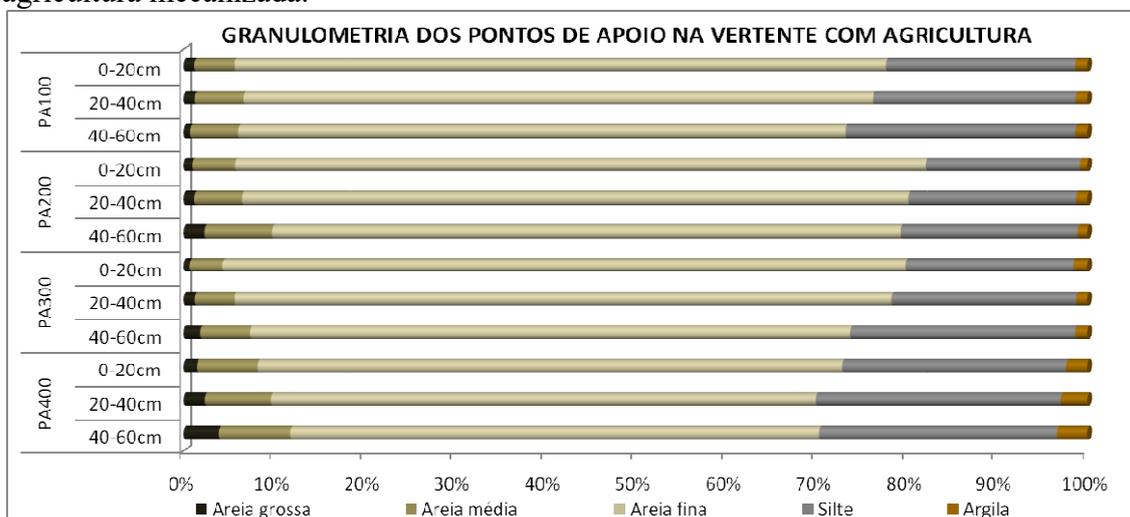
Dessa forma, as análises granulométricas dos solos, nas diferentes profundidades (0-20 cm / 20-40 cm / 40-60 cm) das áreas de pecuária extensiva (Fig. 59) e de agricultura mecanizada (Fig. 60), apontam para taxas de distribuição das areias (fina, média e grossa), silte e argilas bem diferenciadas no decorrer do deslocamento vertical e longitudinal dos horizontes.

**Figura 59:** Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos de apoio, na área de pecuária extensiva.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 60:** Gráfico da distribuição granulométrica dos pontos de apoio, na área de agricultura mecanizada.



Fonte: Elaborada pelo autor.

O que se observa, mais claramente, é que a parte de areia grossa apresenta maior representatividade e continuidade no terço superior e inferior da vertente com pecuária mecanizada, onde suas taxas apresentam uma média de 2% no topo e de 6,4% na base da vertente, denotando que as ações de movimentação e retirada de materiais de superfície e subsuperfície atuam fortemente na dinâmica de escoamento. Outro fator

importante é a massiva presença do aumento de silte no terço inferior da vertente, com média de 58% para as amostras da P600, em suas três profundidades, o que mostra uma pequena atividade química nesse ponto, onde conservou-se a estrutura esquelética do solo.

Essa relação entre a distribuição dos componentes, areia fina e silte, destaca-se apresentando taxas inversamente proporcionais no transcorrer longitudinal da vertente, validando a estrutura de um solo Latossolo Amarelo, isto é, com consistência de baixa argila, e maior percentual de componentes silte e areias, o que representa mais de 22% e 75% do total amostrado, respectivamente.

A areia grossa para essa vertente não foi contínua no perfil longitudinal, onde os pontos P300 20-40 cm, P400 20-40 cm, P500 0-20 cm e P500 40-60 cm não apresentaram presença de areias grossas. Enquanto os pontos P200 20-40 cm, P200 40-60 cm, P300 0-20 cm, P300 20-40 cm, P400 0-20 cm, P400 40-60 cm e P500 20-40 cm apresentaram teores percentuais abaixo de 1% da amostragem.

Com base nesses perfis, pode-se afirmar que, no terço médio, em direção ao canal da vertente, os processos morfo-pedogênicos foram mais atuantes, diminuindo o tamanho dos grãos de areias, ou mesmo condicionou uma mudança no material de origem formadora desses pontos.

As classes texturais da vertente com pecuária denotam exatamente essas condições no seu topo, isto é, maior presença de areia franca em um dos exemplares de areia (P100 40-60 cm), proporcional ao trecho da vertente com maior taxa de areias,, indicando que a permeabilidade no topo é bem mais alta que no terço inferior da vertente (a partir da TR3), onde as taxas de areias – finas e médias – começam a diminuir, e a areia grossa aumenta, assim como o silte se eleva.

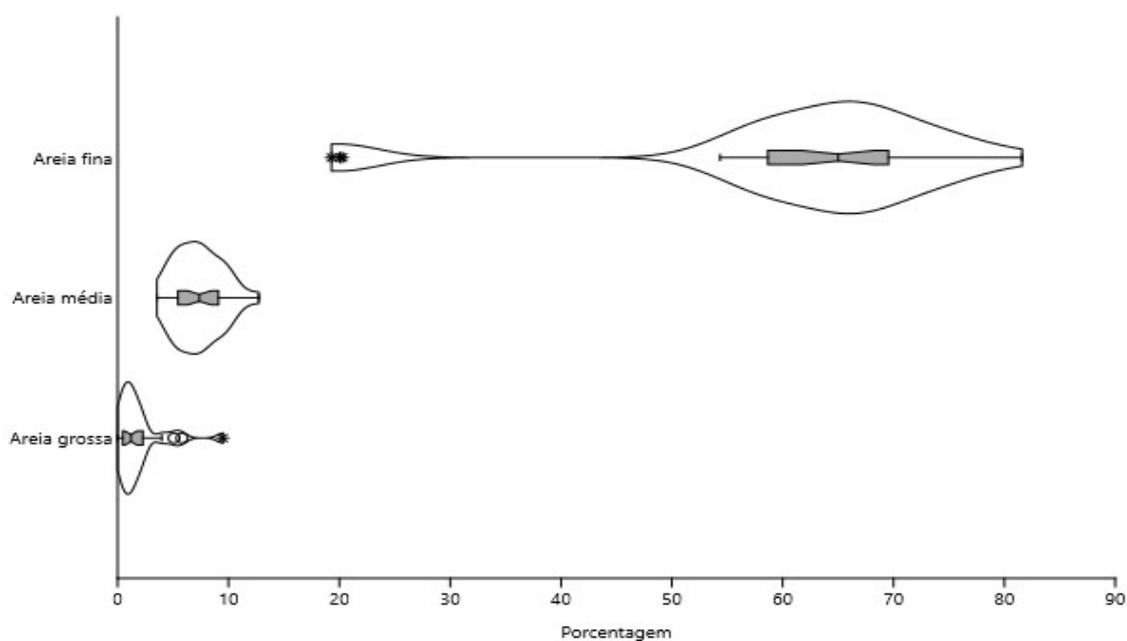
Todavia, para as amostragens da vertente com agricultura, é possível avaliar que a fração da areia grossa está presente em todos os pontos amostrados, mas sendo sua maior concentração no PA400, cerca de 45% superior à média dos demais pontos, denotando uma característica próxima a dos pontos da vertente com pecuária, onde a concentração de areias grossas é mais encontrada no terço inferior da vertente, e também em menor quantidade no terço superior.

As proporções da areia fina e silte também se encontram inversamente proporcionais, constituindo um percentual médio de 68% e 22%, respectivamente. Nas amostras totais, as areias correspondem a mais de 75% do total dos componentes granulométricos do Latossolo Amarelo analisado.

As taxas de areias grossas (~1,69%), areias médias (~5,6%) e argila (~1,59%) mantêm-se muito próximas na relação longitudinal e vertical, nos pontos amostrados, denotando que há processos de ganhos relativos ainda em atuação. Essas frações de areias médias e finas, assim como o silte, apresentam valores numa relação direta de aumento da disponibilidade, em decorrência do aprofundamento da amostragem do ponto, ou seja, suas concentrações aumentam em virtude da maior profundidade coletada.

Para a dinamicidade encontrada nas duas vertentes, e o comportamento da fração areia ser muito peculiar, é viável, e necessário, debruçar-se melhor a uma comparação mútua entre esses pontos, em suas profundidades e diferenciações longitudinais no perfil, onde nota-se que a estrutura das areias está ligada a pontos mais próximos ao topo da vertente, do que à sua base (Fig. 61).

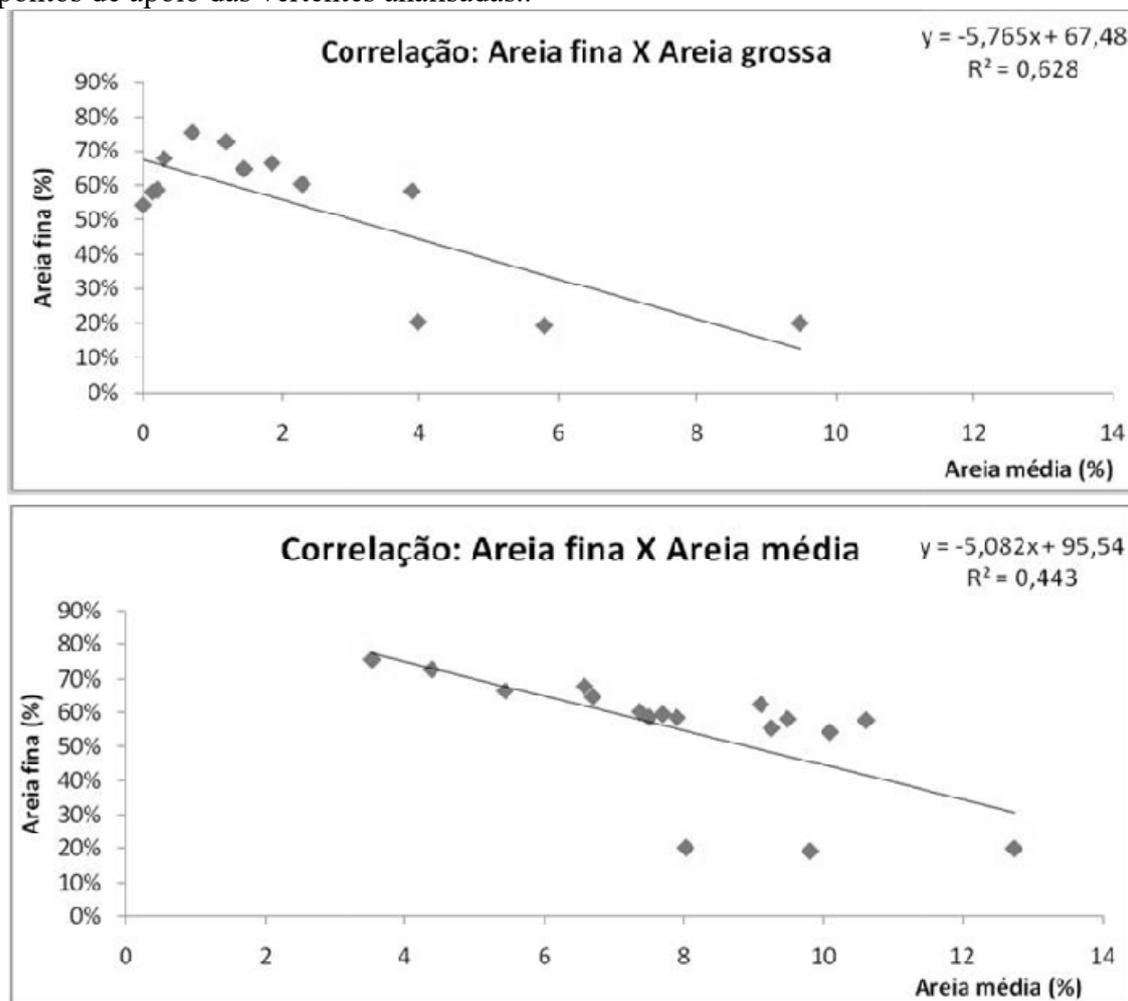
**Figura 61:** Visualização da dispersão granulométrica das areias nos pontos de controle das vertentes analisadas.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A distribuição das areias nos pontos de apoio coletados segue uma dinâmica de distribuição da granulometria, inversamente proporcional quando se analisa a areia fina em relação as areias médias e grossas, especialmente nos pontos do terço médio e inferior das vertentes, onde há uma correlação mediana entre os aumentos de tamanho dos grãos (Fig. 62).

**Figura 62:** Visualização das correlações entre as areias finas com a grossa e média nos pontos de apoio das vertentes analisadas..



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Outro ponto de comparações entre as duas vertentes, e que se revela como ponto crucial na busca dos esclarecimentos das propriedades do solo para elas, é a porção argila, que, na vertente da pecuária, apresenta uma média superior a 50% do encontrado na vertente com agricultura, demonstrando um maior grau de atividade físico-química do solo, derivado das condições pedogenéticas locais. Essa maior atividade condicionou diferenciações claras no tamanho das partículas e no seu grau de distribuição dos pontos amostrados, isto é, na textura do solo (Tabelas 5 e 6). Mostrando mais uma vez que o

setor da pecuária é o mais atingido pela hidromorfia do que o da agricultura, exceto a parte mais próxima do vale.

**Tabela 5:** Textura dos solos da área de agricultura mecanizada.

Pontos da Agricultura		Areia%	Silte%	Argila%	Classe textural
Topo	PA100: 0-20CM	77,7	21	1,3	Areia franca
	PA100: 20-40CM	76,25	22,5	1,25	Areia franca
	PA100: 40-60CM	73,24	25,47	1,27	Areia franca
Meio	PA200: 0-20CM	82,09	17,07	0,82	Areia franca
	PA200: 20-40CM	80,14	18,65	1,2	Areia franca
	PA200: 40-60CM	79,34	19,6	1	Areia franca
	PA300: 0-20CM	79,85	18,6	1,55	Areia franca
	PA300: 20-40CM	78,35	20,45	1,2	Areia franca
	PA300: 40-60CM	73,75	24,95	1,3	Areia franca
Base	PA400: 0-20CM	72,85	24,85	2,3	Areia franca
	PA400: 20-40CM	69,92	27,15	2,92	Franco arenoso
	PA400: 40-60CM	70,35	26,35	3,3	Areia franca

Fonte: Dados granulométricos.

**Tabela 6:** Textura dos solos da área de pecuária extensiva.

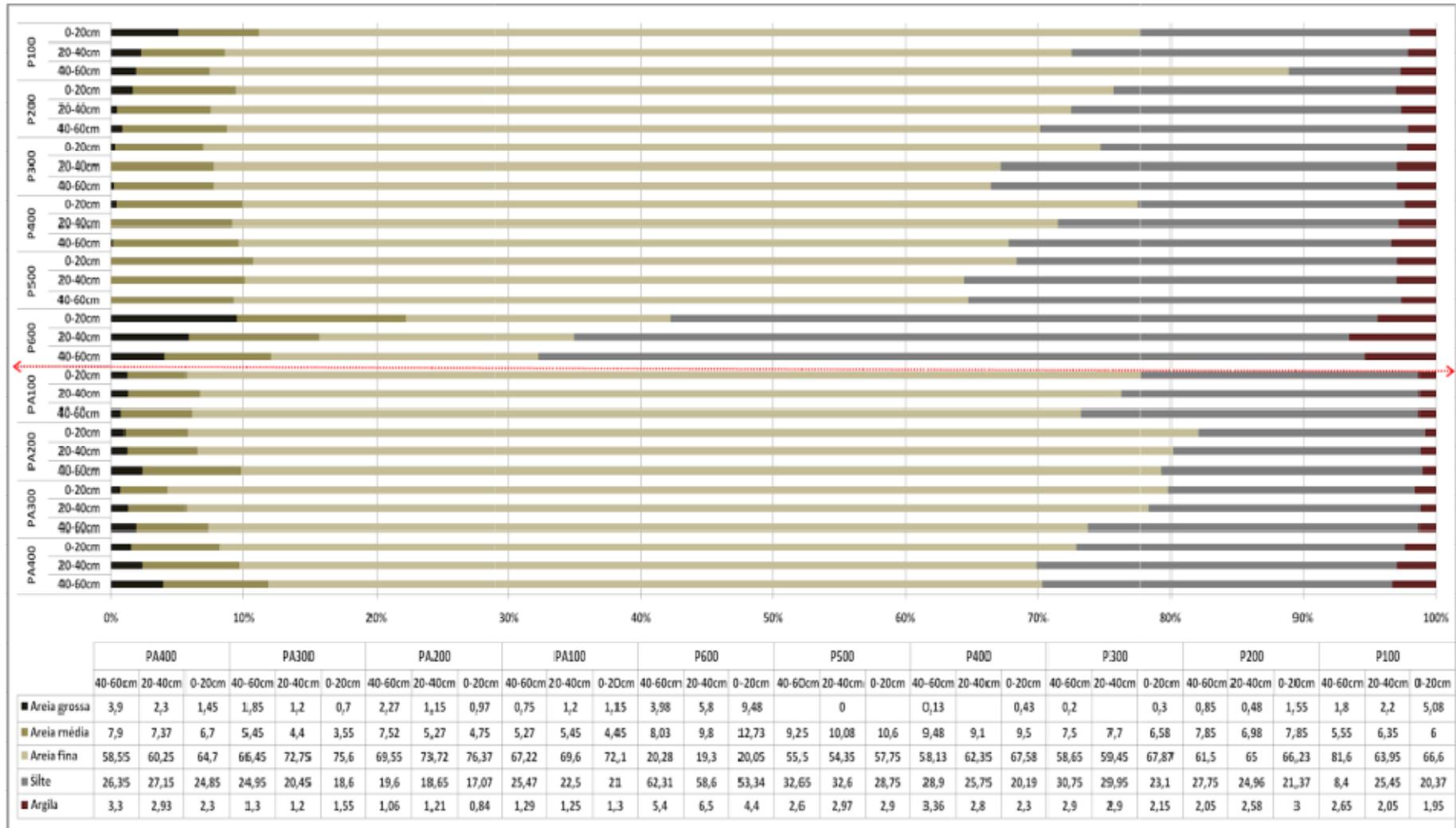
Pontos da Pecuária		Areia %	Silte%	Argila%	Classe textural
Topo	P 100: 0-20CM	77,68	20,38	1,95	Areia franca
	P100: 20-40CM	72,5	25,45	2,05	Areia franca
	P100: 40-60CM	88,95	8,4	2,65	Areia
	P200: 0-20CM	75,63	21,18	2,3	Areia franca
	P200: 20-40CM	72,46	24,95	2,38	Areia franca
	P200: 40-60CM	70,2	27,75	2,05	Areia franca
Meio	P300: 0-20CM	74,75	23,1	2,15	Areia franca
	P300: 20-40CM	67,15	29,95	2,9	Franco arenoso
	P300: 40-60CM	66,35	30,75	2,9	Franco arenoso
	P400: 0-20CM	77,51	18,18	2,3	Areia franca
	P400: 20-40CM	71,45	25,75	2,8	Areia franca
	P400: 40-60CM	66,74	28,9	3,03	Franco arenoso
	P500: 0-20CM	68,35	28,75	2,9	Franco arenoso
	P500: 20-40CM	64,43	32,6	2,98	Franco arenoso
	P500: 40-60CM	62,75	32,45	2,15	Franco arenoso
Base	P600: 0-20CM	46,26	53,65	4,58	Franco siltoso
	P600: 20-40CM	33,15	58,7	6,13	Franco siltoso
	P600: 40-60CM	32,29	62,33	5,4	Franco siltoso

Fonte: Dados granulométricos.

É possível notar que a argila apresenta maior valor à medida que se coleta mais profundo, isso demonstra que os processos físico-químicos, em especial o trabalho desenvolvido pela água, estão relacionados a camadas mais profundas, onde os

horizontes apresentam maior estruturação, guardando características mais conservadas (Fig. 63).

Figura 63: Comparativo da granulometria dos pontos de apoio no perfil das vertentes analisadas, com destaque ao divisor de águas das vertentes.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A análise granulométrica mais importante e melhor detalhada foi executada nas trincheiras pedológicas abertas nas vertentes analisadas, levando-se em conta as relações morfométricas e pedológicas. Sendo que, a delimitação dos horizontes (estratos verticais/longitudinais) de cada trincheira foi a base para a coleta das amostras, culminando em profundidades variadas, mas com certo grau de similaridade em determinados pontos, especialmente na quantidade de extratos e na mudança (com a diminuição dos extratos) em decorrência da passagem do topo para a base das vertentes.

Assim, as seis trincheiras representam um universo de 26 amostras, em profundidade que varia de 0-180 cm, com sequências de coletas decorrentes dos extratos observados e delimitados, apresentando valores granulométricos, textural em decorrência do principal uso e ocupação da terra de cada vertente (Tabela 7).

**Tabela 7:** Distribuição granulométrica, textural e de uso e ocupação dos pontos de coletadas das trincheiras pedológicas nas vertentes analisadas.

Sistema de uso e manejo	Ponto e profundidade	Areia					Silte	Argila	Classe textural
		Muito grossa (1,9mm)	Grossa (0,50mm)	Média (0,25mm)	Fina (0,106mm)	Areia fina (0,053mm)			
		g kg <sup>-1</sup>							
Pastagem	TR1 7cm	8,2	62,2	311,3	211,7	29,7	100,2	254,5	Franco-arenoso
Pastagem	TR1 20cm	10,6	63,9	282,6	199,2	33,7	93,1	264,2	Franco-arenoso
Pastagem	TR1 50cm	8,7	65,3	264,1	154,8	30	105,4	273,4	Franco-arenoso
Pastagem	TR1 120cm	9,9	62,8	241,4	177	31,9	118,2	269,5	Franco-arenoso
Pastagem	TR2 10cm	9,1	98,6	309,6	136,7	19,1	93,7	355,3	Franco-arenoso
Pastagem	TR2 26cm	12,9	88,8	304,9	116,1	17,3	106,5	341,2	Franco-arenoso
Pastagem	TR2 60cm	9,8	87,4	257,7	129,2	22,9	113,2	342,5	Franco-arenoso
Pastagem	TR2 100cm	15,9	94,1	248,9	109,2	21,9	135,4	323,4	Franco-arenoso
Pastagem	TR3 5cm	12,1	133	228,4	62,8	19,6	98,3	427,4	Franco-siltoso
Pastagem	TR3 15cm	10	103,7	196,9	61	18,3	102,6	436,2	Franco-siltoso
Pastagem	TR3 37cm	7,7	93	175,3	48,1	15,9	129,2	448,5	Franco-siltoso
Pastagem	TR3 100cm	16,99	99,07	190,48	92,74	33,87	140,6	426,2	Franco-siltoso
Soja/Algodão	TR4 10cm	23,42	78,54	299,18	249,37	31,44	109,8	208,2	Franco-arenoso
Soja/Algodão	TR4 30cm	17,39	5,25	253,08	277,78	45,26	121,5	219,8	Areia franca
Soja/Algodão	TR4 42cm	31,66	73,22	241,05	235,66	45,78	146,4	226,2	Franco-arenoso
Soja/Algodão	TR4 76cm	19,86	72,33	233,82	218,99	44,57	69,8	147,4	Franco-arenoso
Soja/Algodão	TR4 140cm	24,44	60,37	238,97	277,88	56,12	63,9	278,4	Franco-arenoso
Soja/Algodão	TR5 15cm	20,36	68,95	33,5	315,42	44,57	69,8	147,4	Areia franca
Soja/Algodão	TR5 32cm	18,25	66,05	256,19	300,34	63,3	117,4	178,3	Areia franca
Soja/Algodão	TR5 60cm	15,39	60,75	253,01	260,09	59,61	149,4	201,8	Franco-arenoso
Soja/Algodão	TR5 88cm	24,58	67,88	307,75	258,79	56,3	93,5	191,2	Areia franca
Soja/Algodão	TR5 140cm	15,99	85,14	347,14	264,11	53,32	41,3	193	Areia franca
Soja/Algodão	TR6 20cm	22,06	99,64	361,07	248,07	35,73	60,7	172,8	Areia franca
Soja/Algodão	TR6 55cm	21,94	113,57	349,88	226,11	40,45	43,1	204,9	Areia franca
Soja/Algodão	TR6 100cm	38,4	106,35	294,68	224,59	40,78	81	214,2	Areia franca
Soja/Algodão	TR6 160cm	20,48	113,59	354,36	225,69	36,41	41,7	207,7	Areia franca

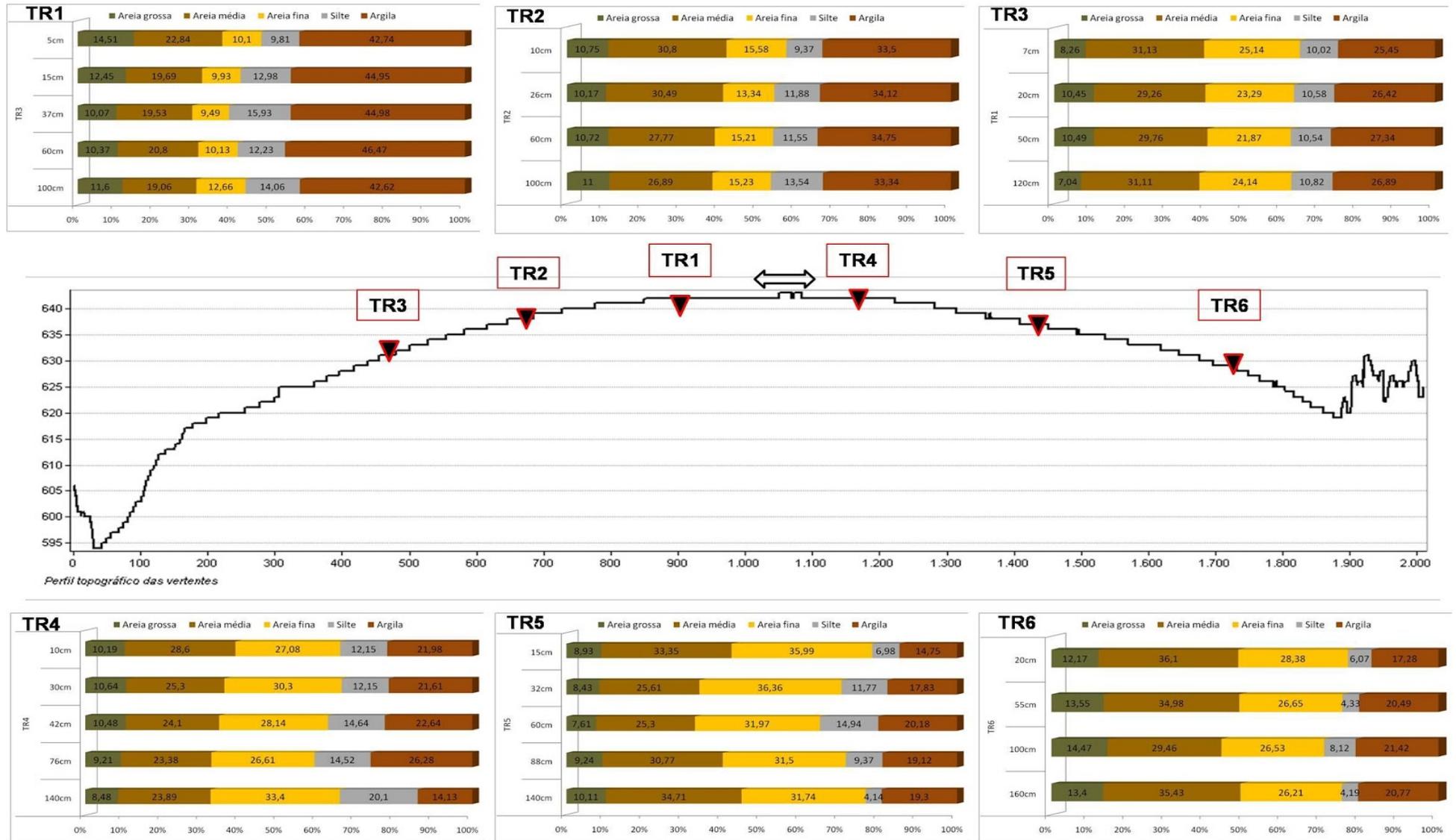
**Fonte:** Dados de campo.

As amostras coletadas nos estratos das trincheiras apresentam uma distribuição granulométrica relativamente diferente dos pontos de amostragem, em especial, devido ao maior detalhamento e rigor nas análises, já que foram determinadas as coletas nos

termos de estratificação do perfil, isto é, em cada coleta levou-se em conta o pacote do estrato com características aparentes diferenciadas.

Essa dinâmica refinada nas coletas expõe uma característica mais particular entre as vertentes com usos diferenciados, apontando que, na agricultura mecanizada, a percentagem de areia é, em média, 21% maior que na vertente com uso de pastagem. Fato esse que reflete numa relação inversa quando se observa a distribuição da argila, onde, nas trincheiras da vertente com pastagem, a média desse componente é de 35%, enquanto na vertente de agricultura é de 19%, o que representa uma percentagem maior na pecuária, em torno de 15% (Fig.64).

Figura 64: Distribuição da granulometria completa das trincheiras pedológicas nas vertentes com agricultura mecanizada e pecuária extensiva.



Fonte: Elaborada pelo autor.

A relação entre as taxas de areias e argila nos usos está mais claramente evidenciada nos terços médios inferiores das vertentes, especialmente nas TR3 (pecuária) e TR6 (agricultura), sendo que na primeira trincheira é possível notar um aumento seguido de continuidade quando se aprofunda no perfil da argila, atingindo picos de mais de 45%, enquanto na segunda trincheira (TR6) os valores da areia média e fina alcançam valores somados de mais de 50%, em detrimento da diminuição considerável das taxas de argila.

#### **4.3 Interpretação das condicionantes químicas: da estrutura ao material disperso nas vertentes**

Os dados obtidos pela aplicação do método de EDX são substanciais na compreensão do teor dos principais elementos químicos dispersos nos solos das vertentes analisadas, sendo ferramentas de base na compreensão dos processos hídrico-pedológicos provenientes de suas formações.

As análises mostram que a relação dos principais elementos do solo no transecto do perfil das vertentes, usando como base os pontos de controle, denotam uma maior concentração dos Óxidos de: Silício, Alumínio e Ferro, que juntos representam, em média, 98% do teor químico das amostras (Tab. 8). Onde a Sílica apresenta, no universo das amostras, concentração média superior de mais de 70% em relação a Alumina, e de 93% ao Ferro. Reafirmando a essência da rocha matriz de arenito.

**Tabela 8:** Distribuição do teor dos elementos químicos nas vertentes analisadas (P – pastagem e PA – agricultura).

PONTOS	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	BaO	WO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Au <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Cs <sub>2</sub> O	MnO	CaO
P600: 40-60CM	48,509	36,488	10,411	1,436						1,884			1,226		0,046	
P600: 20-40CM	47,135	37,437	10,566	1,510				0,049		1,990			1,254		0,060	
P600: 0-20CM	46,857	37,152	10,939	1,514				0,051					1,392		0,077	
P500: 40-60CM	64,422	27,853	6,526	1,038				0,045		0,115						
P500: 20-40CM	66,439	26,276	6,191	0,949				0,049		0,097						
P500: 0-20CM	68,352	24,728	5,702	0,84	0,194			0,040		0,144						
P400: 40-60CM	69,714	24,596	4,519	0,867	0,175			0,043		0,087						
P400: 20-40CM	73,922	21,014	3,766	0,803	0,279			0,057		0,111					0,048	
P400: 0-20CM	76,113	19,480	3,618	0,662				0,031		0,096						
P300: 40-60CM	67,386	25,619	5,817	0,937	0,183			0,057								
P300: 20-40CM	69,251	24,453	5,293	0,767		0,190		0,046								
P300: 0-20CM	74,200	19,795	4,904	0,708	0,230			0,042				0,045		0,074		
P200: 40-60CM	68,428	24,900	5,564	0,885	0,162			0,061								
P200: 20-40CM	72,681	21,323	5,129	0,754				0,050		0,063						
P200: 0-20CM	71,193	22,047	4,896	0,709	0,220			0,049					0,886			
P100: 40-60CM	70,332	22,606	5,741	0,743	0,216	0,186		0,054		0,122						
P100: 20-40CM	72,358	21,793	4,834	0,752	0,216			0,048								
P 100: 0-20CM	76,033	17,396	5,479	0,671	0,234			0,052		0,087		0,047				
PA100: 0-20CM	77,428	18,400	3,116	0,648	0,263			0,044								0,102
PA100: 20-40CM	78,324	17,095	3,492	0,65	0,238			0,055		0,096		0,050				
PA100: 40-60CM	78,915	16,394	3,641	0,657	0,218			0,059		0,076		0,040				
PA200: 0-20CM	82,422	13,707	2,960	0,409	0,239			0,060								0,203
PA200: 20-40CM	81,633	14,467	3,253	0,535				0,048				0,064				
PA200: 40-60CM	80,134	15,448	3,598	0,630				0,063				0,069				0,059
PA300: 0-20CM	82,674	13,115	3,255	0,524	0,246			0,041				0,052				0,092
PA300: 20-40CM	80,053	15,925	3,370	0,554				0,042		0,065						
PA300: 40-60CM	79,549	15,671	3,781	0,607	0,237			0,052		0,059		0,043				
PA400: 0-20CM	77,185	17,482	3,545	0,753				0,048		0,117		0,056	0,723		0,029	0,061
PA400: 20-40CM	74,738	20,279	4,159	0,742				0,039				0,043				
PA400: 40-60CM	73,437	21,386	4,149	0,759	0,213			0,056								

**Legenda:** SiO<sub>2</sub>: Dióxido de silício; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Óxido de alumínio; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Óxido de Ferro; TiO<sub>2</sub>: Dióxido de Titânio; SO<sub>3</sub>: Óxido Sulfúrico; BaO: Óxido de Bário; WO<sub>3</sub>: Trióxido de Tungstênio; ZrO<sub>2</sub>: Dióxido de Zircônio; Au<sub>2</sub>O: Monóxido de Ouro; K<sub>2</sub>O: Óxido de Potássio; V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: Pentóxido de Vanádio; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: Óxido de Cromo; MgO: Magnésio; Cs<sub>2</sub>O: Óxido de Césio; MnO: Manganês; CaO: Óxido de Cálcio.

**Fonte:** Análise do espectrômetro de fluorescência de raios-X.

De forma mais detalhada, os valores da tabela supracitada apresentam a dinamicidade encontrada nas vertentes, ao observar que os valores de Sílica decaem no sentido do terço inferior da vertente com pecuária, sendo nítido o aumento dos valores de Alumínio e do Ferro, reafirmando o trabalho da lateritas encontradas nessa porção. Essa relação está numa ordem média de 70% de sílica até o ponto P500, chegando a 45% no ponto P600, sendo que o Alumínio e o Ferro, nos pontos P100 a P500, apresentam concentração média de 22,9% e 5,19%, respectivamente, e, no ponto P600, apresentam uma ordem de 37% e 10%, respectivamente (Fig. 65).

**Figura 65:** Distribuição dos componentes: Sílica, Alumina e Ferro nos pontos de controle, com separação das duas vertentes.

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O comportamento dos componentes em relação à distribuição nos horizontes das duas vertentes, visualizados através das coletas nas trincheiras, indica que a relação entre a sílica, alumina e o ferro está diretamente ligada à profundidade, pois, nas camadas mais superficiais, a  $\text{SiO}_2$  apresenta valores mais elevados em todas as trincheiras, mas, ao deslocar-se para pontos mais profundos, há uma inversão dos valores, com o crescimento de  $\text{AlO}_3$  e  $\text{FeO}_3$ , numa taxa média de 12,5% (Tab. 9).

**Tabela 9:** Distribuição do teor dos elementos químicos por trincheiras das vertentes analisadas (TR1/TR3 – pastagem e TR4/TR6 – agricultura)

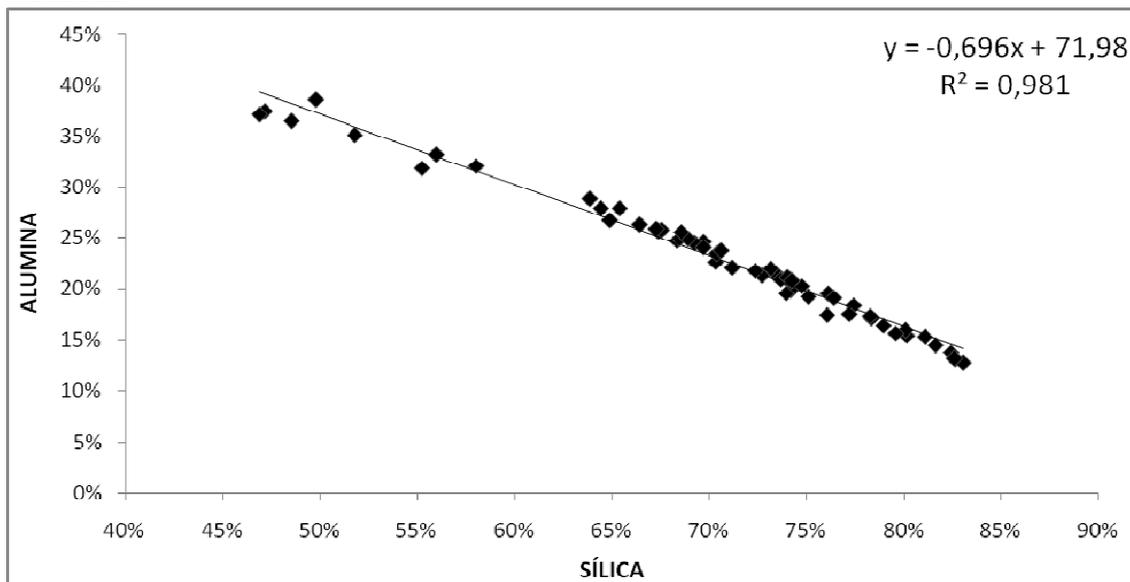
PONTO	SiO2	Al2O3	Fe2O3	TiO2	SO3	BaO	WO3	ZrO2	Au2O	K2O	V2O5	Cr2O3	MnO	CaO
TR 3: 5cm	68,928	24,910	5,110	0,800	0,189			0,042			0,022			
TR 3: 15cm	56,005	33,262	8,818	1,121	0,183	0,354				0,256				
TR 3: 37cm	51,796	35,132	11,393	1,376	0,158			0,059			0,046	0,042		
TR 3: 60cm	55,237	31,841	11,701	1,070				0,050			0,045	0,055		
TR 3: 105cm	49,787	38,601	9,981	1,429	0,119						0,043	0,041		
TR 2: 10cm	70,375	23,441	4,954	0,794	0,237		0,029	0,038		0,131				
TR 2: 26cm	58,044	32,134	8,265	1,191	0,226			0,049			0,054	0,037		
TR 2: 60cm	65,380	27,832	5,729	0,926			0,033	0,043		0,056				
TR 2: 100cm	63,866	28,820	6,100	1,029	0,185									
TR 1: 7cm	83,076	12,720	3,361	0,344	0,257	0,130	0,075	0,030	0,007					
TR 1: 20cm	82,635	13,162	3,344	0,413	0,303		0,134		0,008					
TR 1: 50cm	64,883	26,668	7,197	0,943	0,165					0,143				
TR 1: 105cm	73,923	19,554	5,469	0,736			0,099	0,056	0,012	0,121	0,029			
TR4: 10cm	75,055	19,218	4,681	0,650	0,272		0,045	0,051					0,028	
TR4: 30cm	73,663	20,950	4,347	0,788	0,226		0,034	0,053	0,007		0,031			
TR4: 42cm	69,698	24,060	5,039	0,831	0,225					0,146				
TR4: 76cm	67,545	25,737	5,338	0,919	0,193			0,061		0,178	0,029			
TR4: 100cm	67,279	25,858	5,441	0,920	0,209			0,067		0,166	0,032		0,027	
TR5: 15cm	81,105	15,266	2,796	0,512			0,050	0,049						0,221
TR5: 32cm	76,379	19,094	3,491	0,580	0,220	0,142	0,037	0,051	0,006					
TR5: 60cm	73,134	21,951	3,875	0,742	0,245			0,053						
TR5: 80cm	74,227	20,781	3,863	0,722	0,238		0,028	0,056		0,085				
TR5: 125cm	74,008	21,088	3,910	0,723	0,214			0,057						
TR6: 20cm	78,266	17,266	3,258	0,580	0,272		0,033		0,006		0,021			0,197
TR6: 55cm	74,234	20,775	3,835	0,713	0,239	0,110	0,035	0,053	0,007					
TR6: 100cm	68,552	25,577	4,587	0,913	0,252			0,058			0,026		0,034	
TR6: 160cm	70,626	23,726	4,482	0,812	0,217			0,056		0,081				

**Legenda:** SiO2: Dióxido de silício; Al2O3: Óxido de alumínio; Fe2O3: Óxido de Ferro; TiO2: Dióxido de Titânio; SO3: Óxido Sulfúrico; BaO: Óxido de Bário; WO3: Trióxido de Tungstênio; ZrO2: Dióxido de Zircônio; Au2O: Monóxido de Ouro; K2O: Óxido de Potássio; V2O5: Pentóxido de Vanádio; Cr2O3: Óxido de Cromo; MnO: Manganês; CaO: Óxido de Cálcio.

**Fonte:** Análise do espectrômetro de fluorescência de raios-X.

De forma mais completa, ao analisar as taxas de Sílica em relação a Alumina, para todas as amostras (pontos de controle e trincheiras), é notável que uma esteja dependendo da outra, isto é, o aumento da Alumina está diretamente relacionado à diminuição de Sílica nos pontos, o que apresenta uma correlação muito alta, cerca de 98%, em uma correlação negativa praticamente perfeita (Fig. 66).

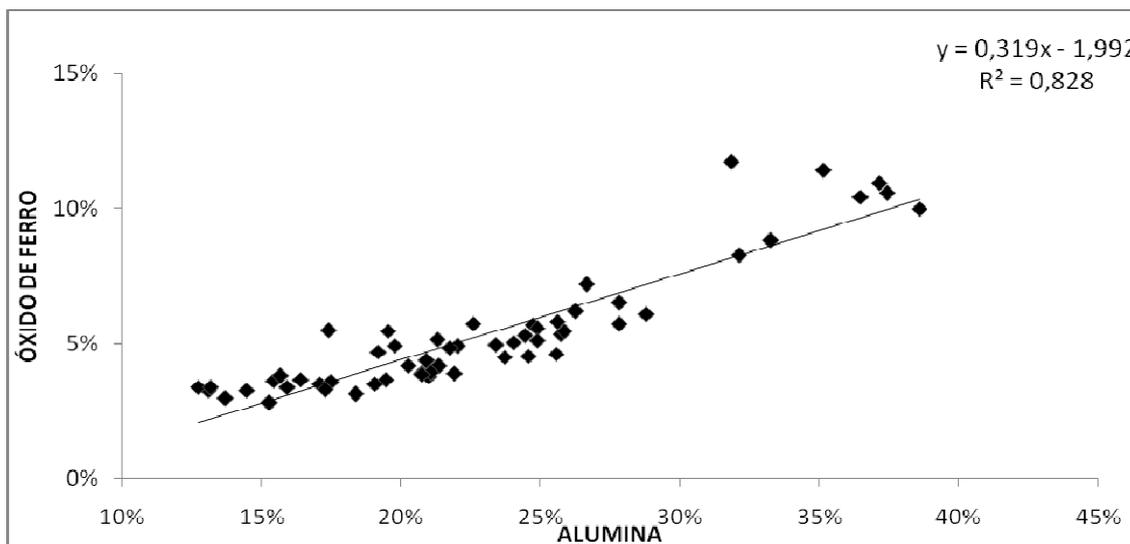
**Figura 66:** Correlação entre as taxas de Sílica e Alumina de todas as amostras coletadas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Do mesmo modo, a relação entre os valores de Óxido de Ferro e Alumina também apresenta uma forte correlação, contudo, de modo positivo (Fig. 67).

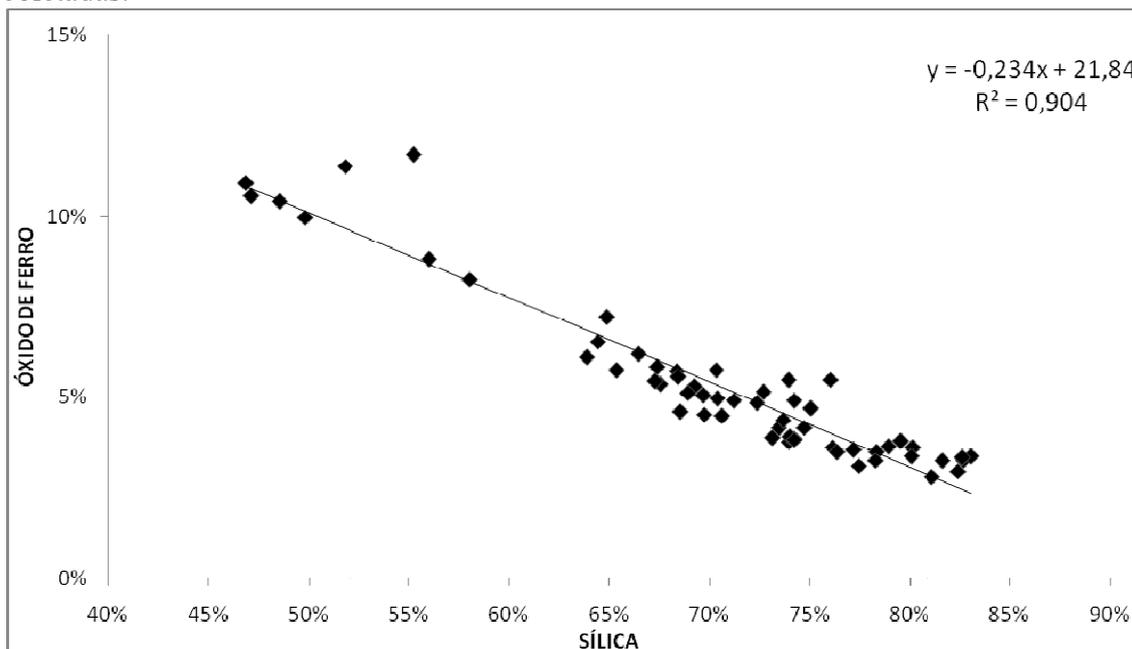
**Figura 67:** Correlação entre as taxas de Alumina e Óxido de Ferro de todas as amostras coletadas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Na análise da relação entre a Sílica e o Óxido de Ferro, é perceptível que, quanto menor a presença de Si, maior será o valor do  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (Fig. 68). Os maiores valores de Ferro estão dispostos na TR3, em suas maiores profundidades, o que, de certo modo, já era esperado, devido à proximidade com o depósito de laterita, e claramente maior possibilidade de interação dessa com o solo da trincheira.

**Figura 68:** Correlação entre as taxas de Sílica e Óxido de Ferro de todas as amostras coletadas.

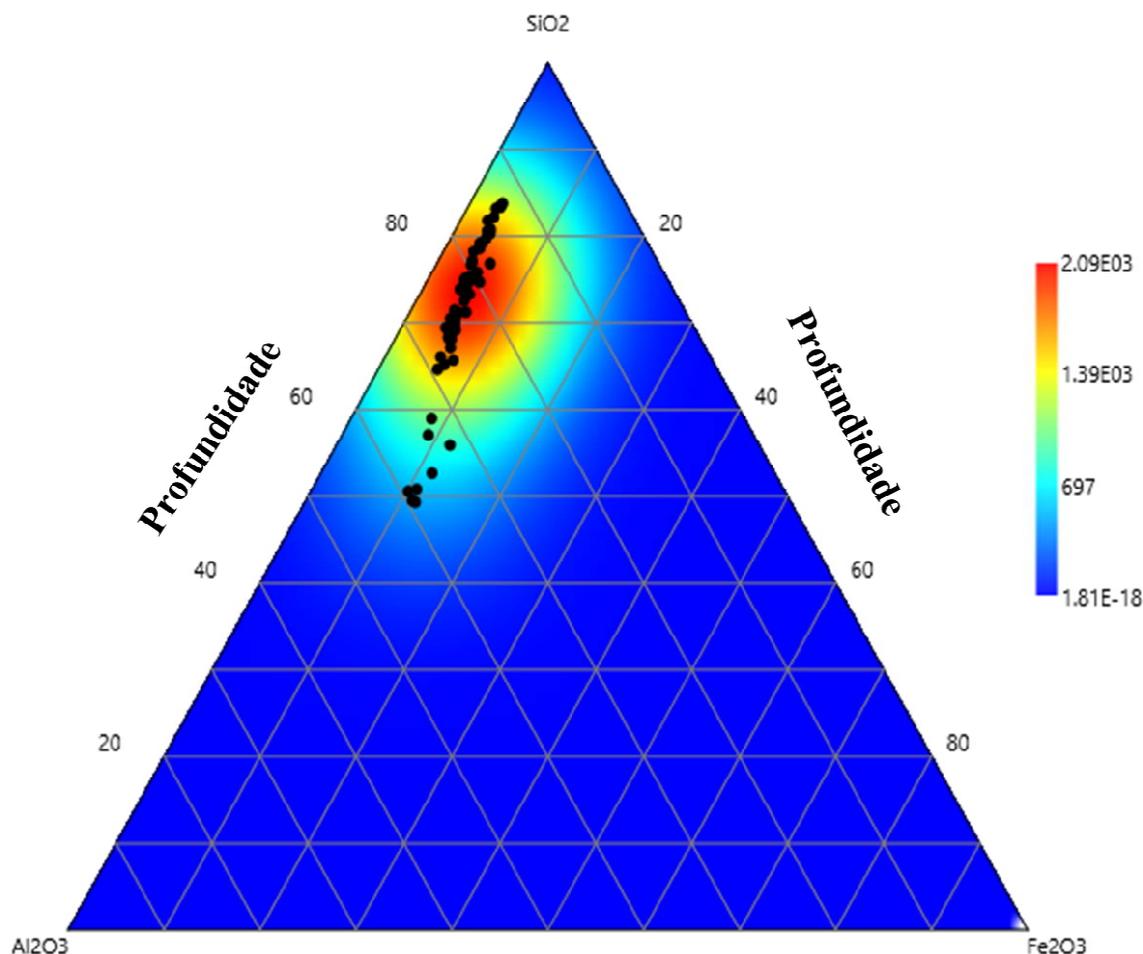


**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Assim, essas observações são claras em denotar que a Sílica é o elemento principal dessas vertentes, pois é a partir de sua concentração que derivam, positivamente ou negativamente, as relações com os outros elementos.

Dessa forma, usando da estatística de densidade probabilística de Kernel (SIMON, 2004), é possível visualizar que as linhas de intensidade de todo o universo de amostras estão concentradas na extremidade da  $\text{SiO}_2$ , mostrando maior força desse elemento em relação a equidade do centro das amostras em relação a Alumina e Ferro (Fig. 69).

**Figura 69:** Estimativa de densidade Kernel para a  $\text{SiO}_3$ ,  $\text{AlO}_3$  e  $\text{FeO}_3$  de todas as amostras de analisadas.



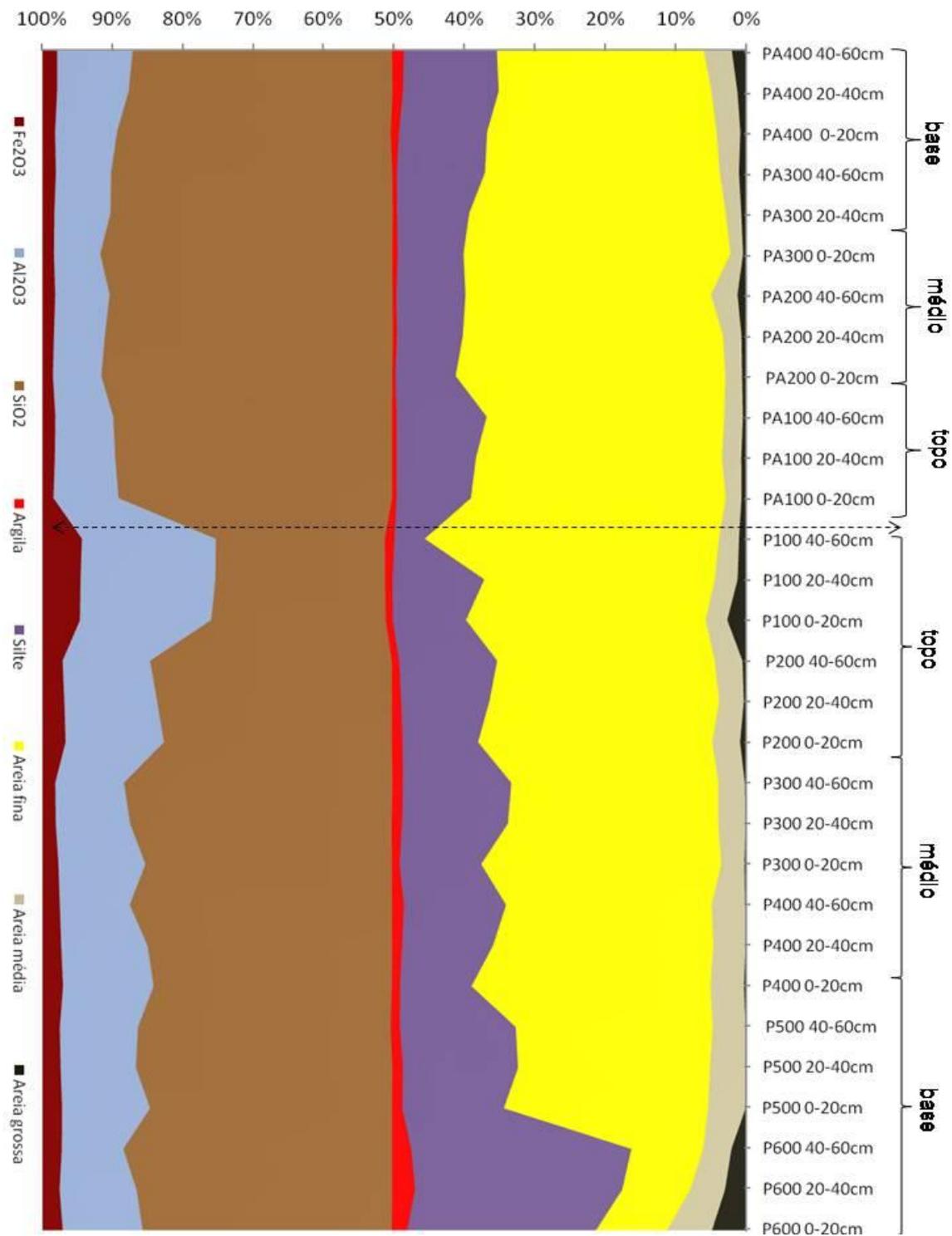
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Outro fator particular da Tabela 11 está condicionado na detecção dos elementos de Cálcio e Manganês na vertente com agricultura, em profundidades bem estabelecidas, de modo que o  $\text{CaO}$  (intervenção antrópica) está condicionado em parcelas superficiais do solo, enquanto o  $\text{MnO}$  surgiu na superfície, mas em pontos mais profundos (TR4 e TR6) com a mesma dimensão, nos 100cm.

O Titânio que se encontra nas amostras analisadas não está em sua forma metálica, mas é importante para a compreensão do processo de intemperismo atuante, devido às suas características de formação inicial, sendo *in situ* das rochas basais, ou mesmo processo secundário de formação, isso está ligado diretamente à presença de alguns minerais específicos, como o Rutilo e o Anastásio (JOFFE e PUGH, 1934; BAIN, 1976; FITZPATRICK e CHITTLEBOROUGH, 2002).

Para Latossolos, cujo fator de intemperização apresenta-se muito mais elevado que em outros solos (KER, 1994), esse fato torna-se expressamente decorrente de níveis de trocas moleculares, pois, como observa-se, os pontos superficiais possuem maiores valores de Sílica, enquanto o deslocamento para pontos mais profundos possibilita o processo inverso, com aumento dos valores de Alumínio, significando um solo mais evoluído pedogeneticamente, fator que reflete diretamente nas estruturas físico-químicas desses pontos amostrados (Fig. 70).

**Figura 70:** Pontos de controle com distribuição dos seus dados granulométricos e químicos.



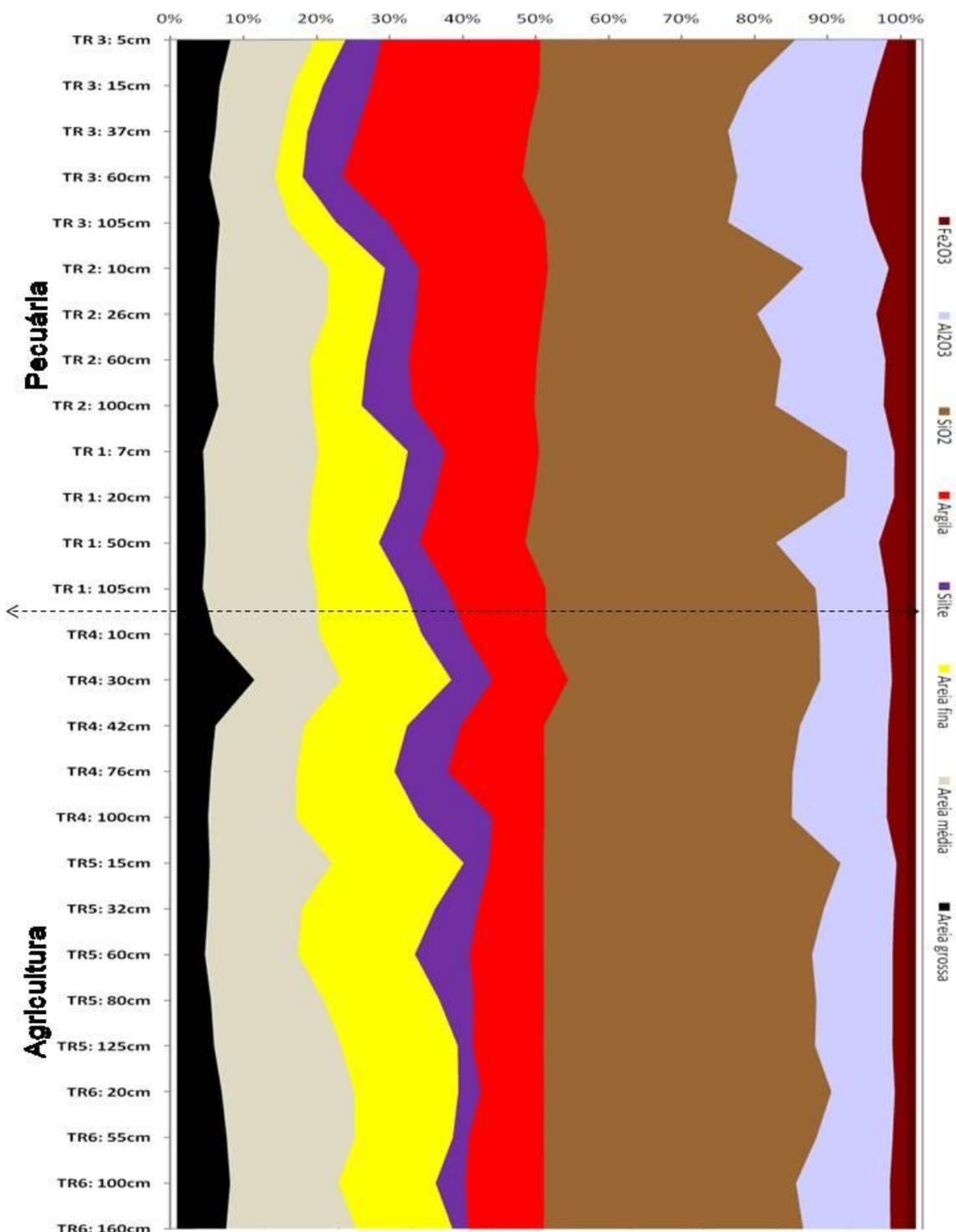
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Como se observa a presença de uma relação visível, especialmente na distribuição de silte com o elemento Sílica para os pontos na agricultura, onde as

porcentagens de concentração estão muito próximas entre essas partes, com correlação quadrada de 70%, enquanto na pecuária é de 30%.

As características dos horizontes visualizados pela abertura das trincheiras apresentam uma relação entre a parte dos componentes químicos e granulométrico muito próxima ao que fora visualizado nos pontos de controle (Fig. 71).

**Figura 71:** Trincheiras com a distribuição dos seus dados granulométricos e químicos.



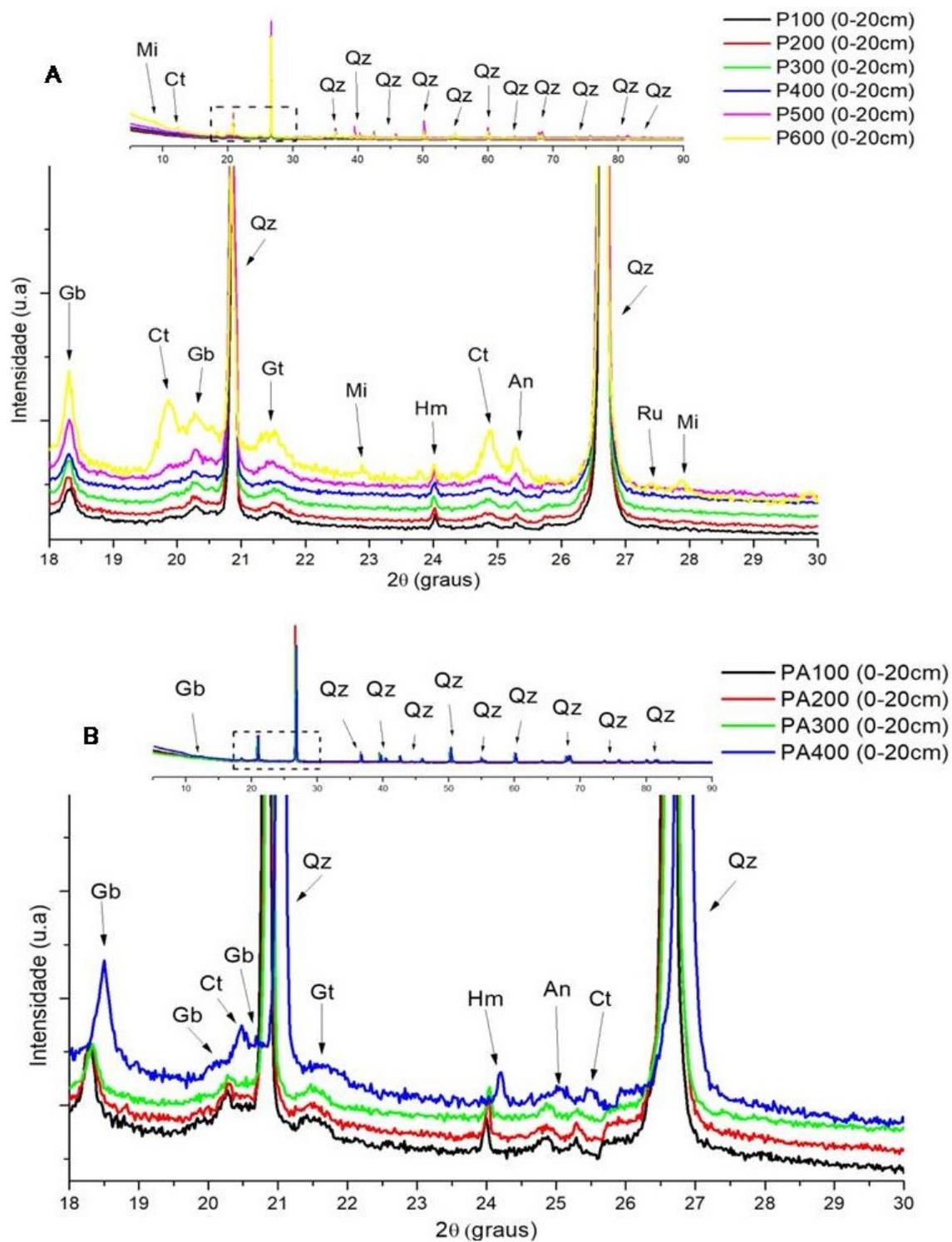
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Com base nas características dos horizontes analisados, é mais clara a relação que as areias detêm com a distribuição da Sílica nas trincheiras, onde há um crescimento da mesma, acompanhada pelo aumento desse elemento, sendo mais forte essa situação na vertente com os horizontes na pecuária.

Essas informações do EDX são fundamentais na elucidação das possíveis concentrações de cada elemento disposto nas amostras, conferindo a compreensão de qual (is), e como foi (ram), o(s) processo(s) intempérico(s) necessário(s) para a configuração da paisagem atual. Mas somente por essa técnica não é possível caracterizar de forma elucidativa muitas questões pertinentes, assim, usando em conjunto com ela os dados de XRD, somam na compreensão mais detalhada dessas características.

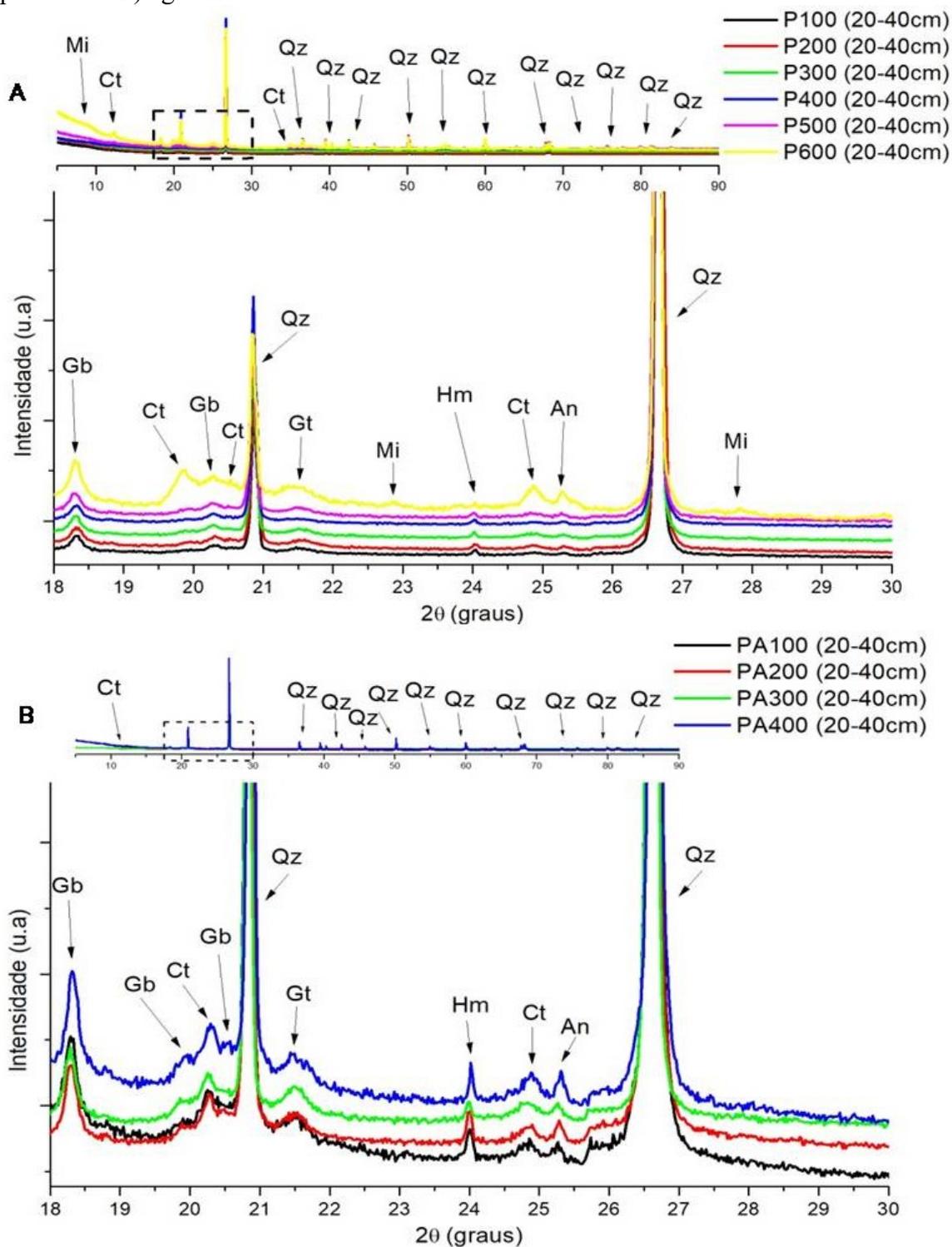
A distribuição dos minerais nos difratogramas dos pontos de controle e nas trincheiras com pecuária e agricultura demonstra presença predominantemente do mineral Quartzo, mas, temos também outros minerais, como a Caulinita, Gibsita, Goethita, Hematita, Anastásio, Rutilo, Mica e (Figs. 72, 73, 74, 75, 76, e 77).

**Figura 72:** Difratoograma dos pontos de controle com profundidade de 0-20cm: **A)** pecuária e **B)** agricultura.

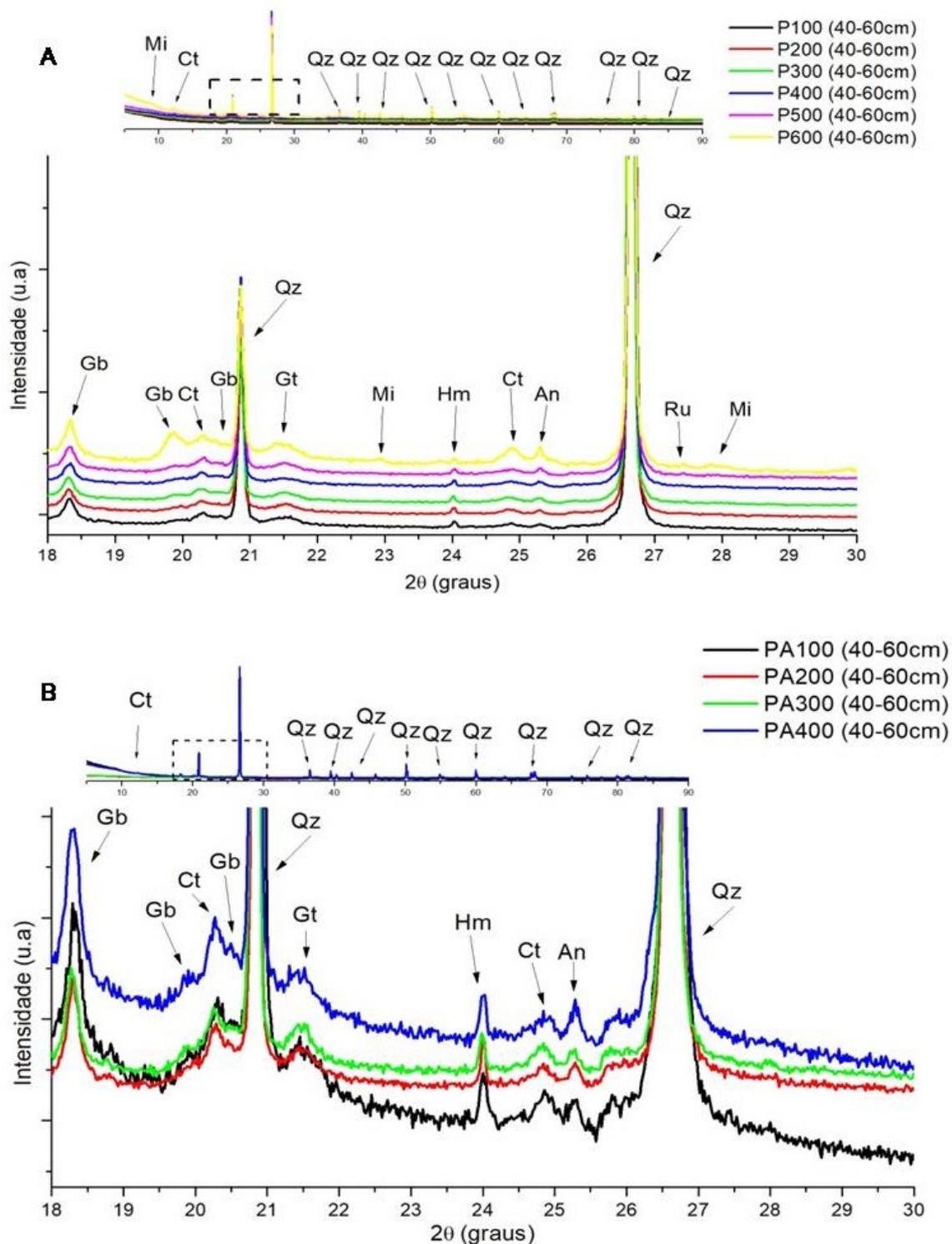


**Legenda:** Gb: gibsitita; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; An: anastásio; Ru: rutilo; Mi: mica; Qz: quartzo. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 73:** Difratoograma dos pontos de controle com profundidade de 20-40cm: **A)** pecuária e **B)** agricultura.

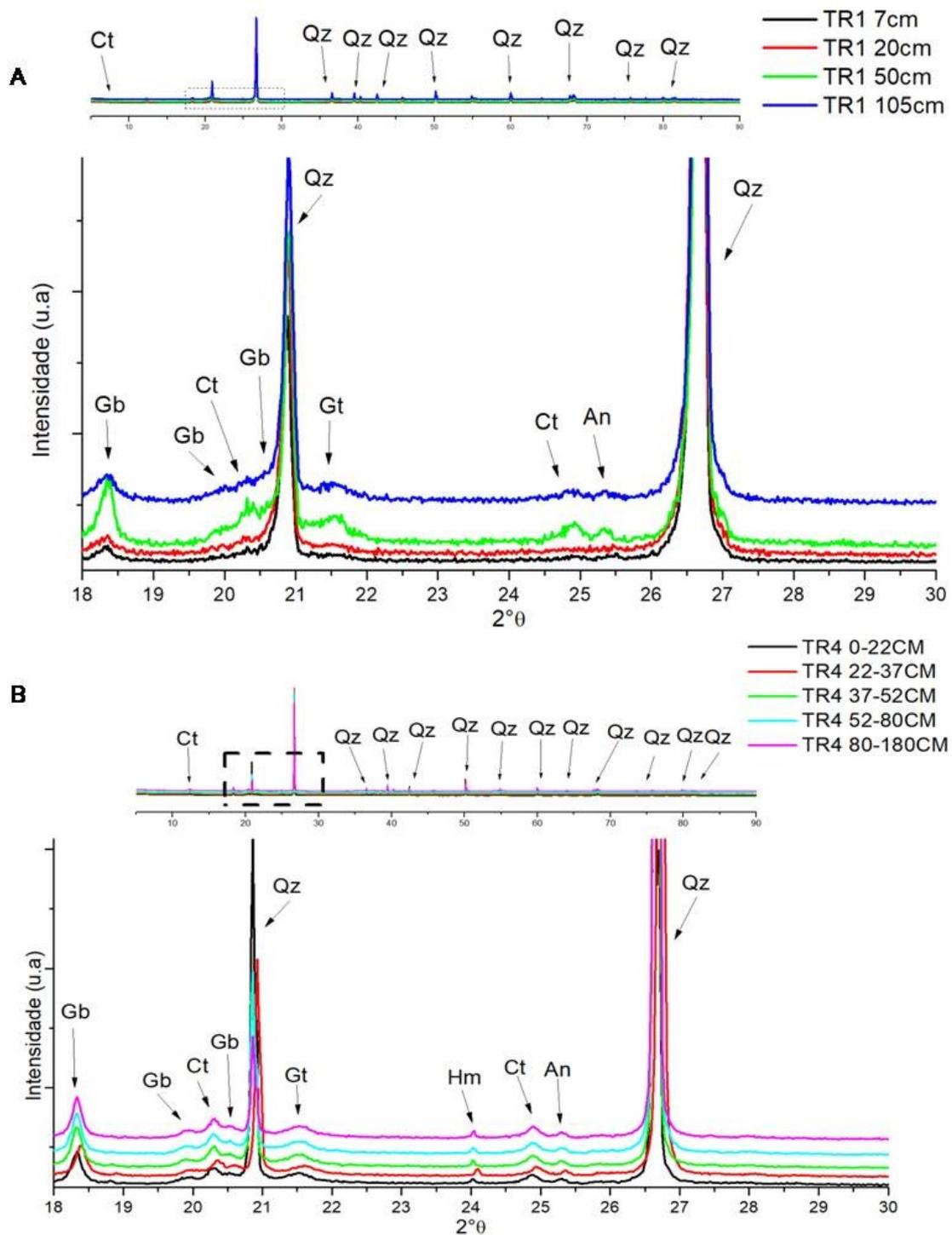


**Figura 74:** Difratograma dos pontos de controle com profundidade de 40-60cm: **A)** pecuária e **B)** agricultura.



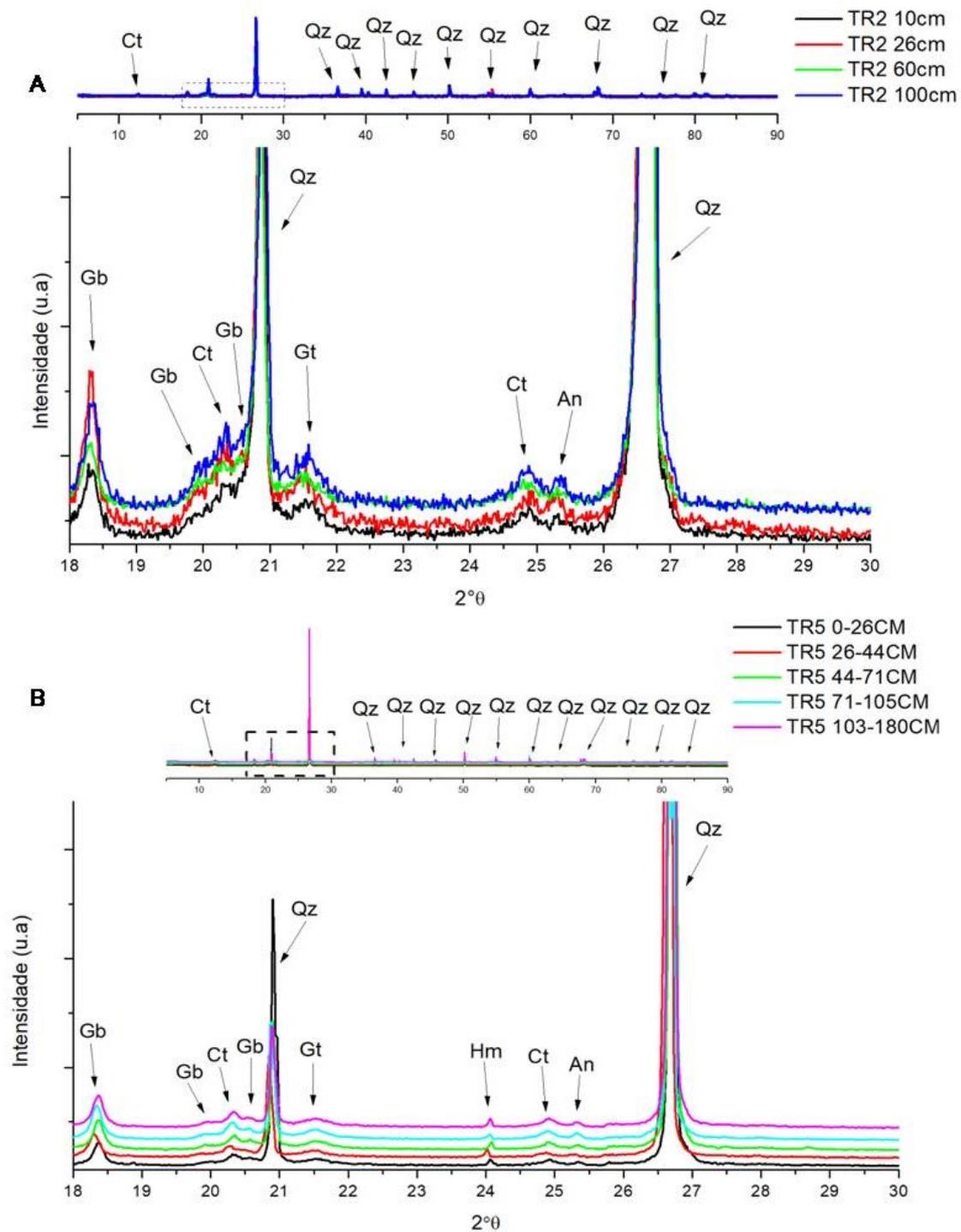
**Legenda:** Gb: gibsitita; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; An: anastásio; Ru: rutílo; Mi: mica; Qz: quartzo. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 75:** Difratoograma das trincheiras – TR1/TR4: **A)** pecuária e **B)** agricultura.



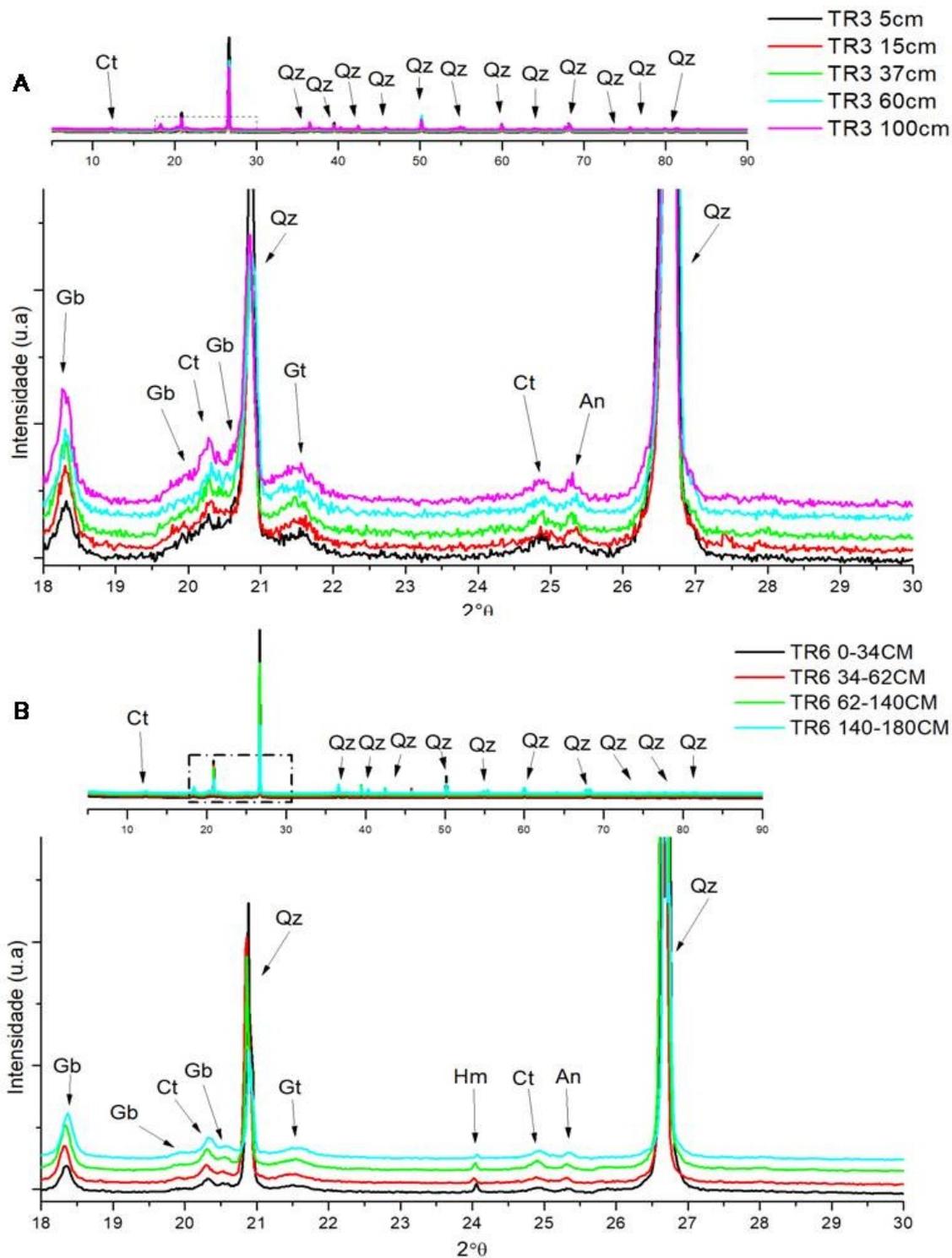
**Legenda:** Gb: gibsitita; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; An: anastásio; Ru: rutilo; Mi: mica; Qz: quartzo. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 76:** Difratoograma das trincheiras – TR2/TR5: **A)** pecuária e **B)** agricultura.



**Legenda:** Gb: gibsita; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; An: anastásio; Ru: rutilo; Mi: mica; Qz: quartzo. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Figura 77:** Difratoograma das trincheiras – TR3/TR6: **A)** pecuária e **B)** agricultura.



**Legenda:** Gb: gibsita; Ct: caulinita; Gt: goethita; Hm: hematita; An: anastásio; Ru: rutilo; Mi: mica; Qz: quartzo. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O ponto mais claro dos difratogramas apresentados é a cristalinidade dos minerais em maiores profundidade no transcorrer das vertentes, sendo possível averiguar que a

maior concentração é do Quartzo (com seus picos característicos e maior cristalinidade em  $20.862^\circ$  e  $26.714$  em  $2\theta$ ), e ocupa consideráveis partes dos difratogramas, com grandes concentrações a partir dos  $30^\circ$  em  $2\theta$ , delimitando a característica de solo arenítico às vertentes analisadas, devido à soma dos fatores granulométricos, de grande concentração de Sílica e abrangência do Quartzo nos difratogramas dos pontos de controle. Dessa forma, os dados apresentados dos demais minerais foram normalizados pelo Quartzo, isto é, os picos dos demais minerais estão relacionados com a dispersão dos de Qz.

Outro elemento bem visível é a Gibbsita, que, preliminarmente, era esperado (com picos de  $18.334^\circ$ ,  $19.834^\circ$  e  $20.516$  em  $2\theta$ ), devido à condição de grandes partes de Sílica nas amostras, o que denota para essas vertentes fortes ações dos processos intempéricos, pois a Gibbsita normalmente é formada em áreas com fraca drenagem e maior tempo de concentração de água no sistema, tendenciando a solos com processos de hidromorfismo e/ou mal drenados, como é o caso dos Latossolos Amarelos encontrados nas vertentes (KER, 1994; CASTRO et al., 2014, CORINGA e WEBER, 2008).

Essa Gibbsita possivelmente derivou da quebra do Quartzo, ou outros minerais primários ricos em Silício, que, a partir das reações de intemperismo no solo, resultaram na formação do Hidróxido de Alumínio, Gibbsita (Gb), em baixos potenciais de Sílica (COELHO e VIDAL-TORRADO, 2003; MOTA et al., 2007), ou em alto potencial de Sílica na formação de Caulinita (Ct) (MONTANARI et al., 2010; FURIAN et al., 2002; KER, 1994), outro elemento presente nos difratogramas.

A Caulinita ocupa posições de picos nos  $12.279^\circ$ ,  $20.291^\circ$  e  $24.899^\circ$  em  $2\theta$ , sendo um dos argilominerais mais encontrados nos solos brasileiros (KÄMPF et al., 2012). Sua característica de empilhamento desordenado em camadas está diretamente associada a presença do Óxido de Ferro que, para esses pontos amostrados, é baixa (vide Tabela 10). Uma de suas principais características em solos é ser muito estável fisicamente e com baixa propensão a erodibilidade, devido, principalmente, a sua menor plasticidade e retenção de água (SILVA et al., 2008), fato que vai de encontro com as propriedades encontradas para essas vertentes, denotando, assim, que esse Latossolo Amarelo não é caulinitico, e sim gibbsítico.

Na relação dos óxidos de Ferro, Hematita ( $24.043^\circ$  em  $2\theta$ ) e Goethita ( $21.556^\circ$  em  $2\theta$ ), nota-se claramente que a cristalinidade mais evidenciada é a de Hm, especialmente nas maiores profundidades, e com mais clareza na vertente da agricultura, onde os picos estão visivelmente mais cristalinos. Assim, indicando a característica amarelada do Latossolo encontrado nas vertentes, o que pode indicar um processo intempérico mais forte e estruturante (CORRÊA et al., 2008).

No caso das amostras da vertente com pecuária, é possível notar a presença do mineral Mica (picos nos  $8.853^\circ$ ,  $22.881^\circ$  e  $27.897^\circ$  em  $2\theta$ ). Originalmente as micas são derivadas de rochas ígneas, contudo, sua presença é muito encontrada em solos onde a formação base deriva de arenitos (KÄMPF et al., 2012), e, no caso específico dessa vertente, é possível que esse mineral tenha ligações com as lateritas, devido ao processo de metamorfização desse ambiente. Sua cristalinidade é maior nas camadas mais profundas dos pontos de controle (ANDRADE et al., 1997; MELO et al., 2002) (como é visto na Fig. 74), especialmente no terço inferior da vertente – P600.

Os picos de Rutilo ( $27^\circ$  em  $2\theta$ ), na vertente com pecuária, e o Anastásio ( $25^\circ$  em  $2\theta$ ), estão possivelmente ligados ao Óxido de Titânio, pois esse mineral basicamente é herdado de rochas matriz originárias, apresentando muita resistência aos processos intempéricos, devido à sua característica de mineral pesado (FITZPATRICK e CHITTLEBOROUGH, 2002). Sendo, portanto, esses dois minerais residuais muito mais ligados às frações de areia e silte dos solos (KÄMPF et al., 2012).

#### **4.4 Avaliação dos padrões hidro-pedológicos e sua relação com os dados multisensoriais: multiespectral e termal**

##### **4.4.1 Valores de infiltração e umidade dos solos para as vertentes**

As construções dos padrões geomorfológicos, pedológicos e hídricos dispostas na pesquisa apontam que as vertentes analisadas estão sob condições específicas de ações naturais e antrópicas, o que acarreta situações complexas de valores desses dados, especialmente quando se avalia a ação da água nesse meio.

Dessa forma, as informações dos componentes físico-químicos dos solos, bem como as especificidades do uso e ocupação sistematizadas, fornecem muitos elementos, que, somadas às condições específicas das vertentes analisadas, são fundamentais para

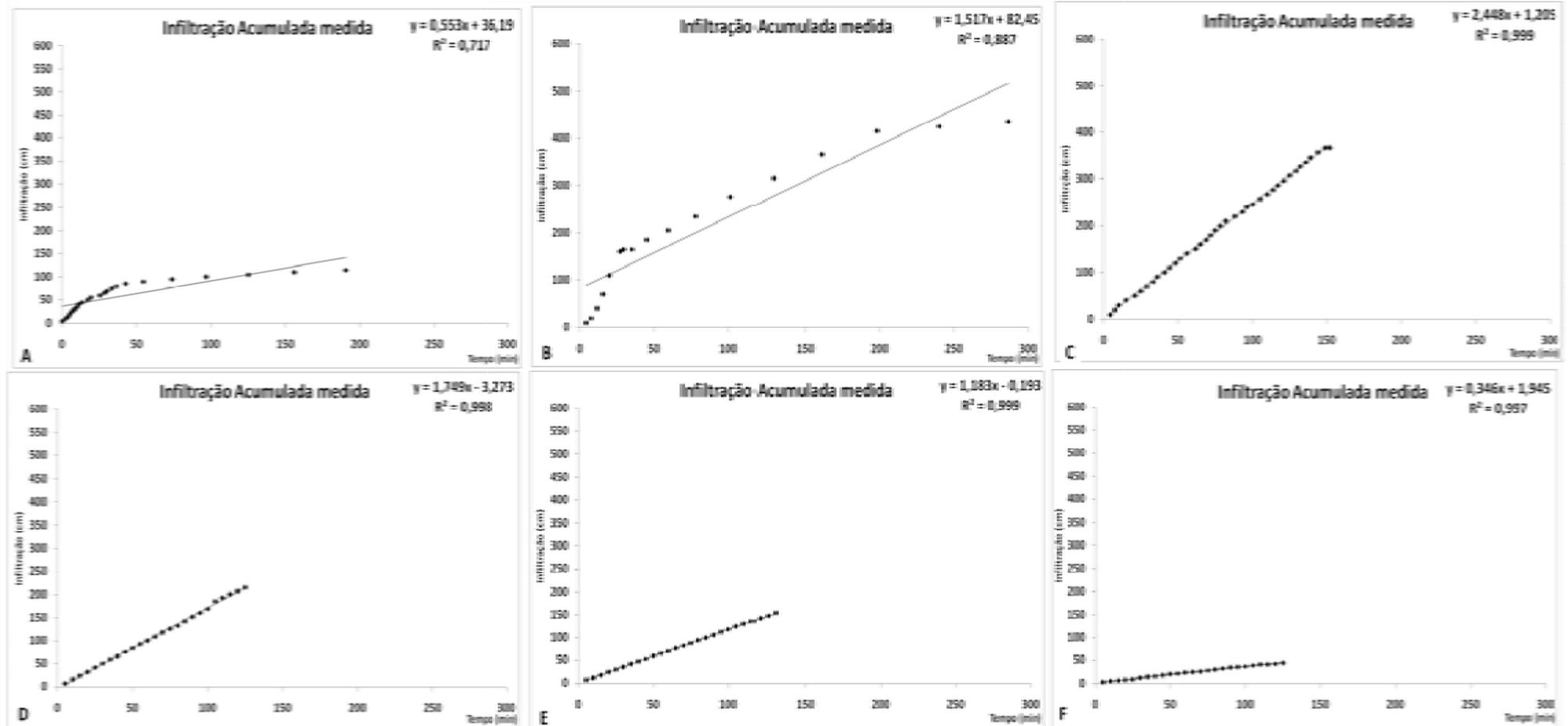
compreensão da dinâmica da água (infiltração e umidade) no solo para elas, e, assim, fornecem condições de avaliação em multiescalas pelas RPA.

Nesse sentido, é válido apontar que os declives das vertentes apresentam uma rampa clinográfica que se acentua nas proximidades dos cursos d'água, com maior ruptura na vertente com pecuária, devido ao surgimento do depósito de laterita. Bertoni e Lombardi Neto (2012) sugerem que o grau de declive apresenta relação direta com o volume e velocidade das enxurradas que nele acontecem, isto é, “quanto maior o declive, maior a velocidade de escoamento e, por conseguinte, menor o tempo para a infiltração da água no solo” (BERTONI, 1959, p. 117), o que acelera a velocidade dos processos de formação do *runoff* (GUERRA, 2010; SALOMÃO, 2010).

Portanto, as avaliações das trincheiras e da distribuição vertical dos horizontes foram fundamentais para a compreensão das relações entre os componentes físico-hídricos do solo e os pontos para instalação dos infiltrômetros. Visto que foram suas descrições que subsidiaram os melhores pontos de aporte e precisão para a análise de umidade do solo.

Para avaliar a relação declividade/infiltração, foram colhidos dados da variável infiltração pelo método de anéis concêntricos, obtendo-se, primeiramente, dados de forma exponencial, que, posteriormente, foram linearizados para apreciações analíticas, seguindo o método de Equação Potencial ou modelo de Kostiacov (Fig. 78).

**Figura 78:** Gráficos da Infiltração Acumulada Média nas áreas de pastagem (A; B; C) e nas de agricultura mecanizada (D; E; F), por meio da sistematização dos dados colhidos pelos anéis de infiltração concêntricos, apresentando os valores de correlação entre infiltração (cm) e o tempo (min).



Fonte: Elaborada pelo autor.

De acordo com o conjunto de gráficos da Figura 78, nos quadros A e B, nota-se uma tendência do crescimento dos valores muito acentuados nos primeiros 100 minutos, sendo que esses anéis de infiltração foram instalados no topo e terço médio da vertente, respectivamente. O que significa uma baixa umidade do solo nos horizontes superficiais e subsuperficiais. Enquanto o quadro C, que se localiza no terço inferior da vertente, traz uma tendência de crescimento mais progressiva e homogênea.

Nesses mesmos conjuntos de dados, os valores da infiltração em profundidades centimétricas também são diversos, especialmente nos quadros B e C, que apresentaram mais de 450 cm e 350 cm, respectivamente, enquanto o quadro A apresentou apenas 120cm. O destoante desses quadros é o gráfico B, que, por estar no terço médio, na área de finalização do colo topográfico, está com um tempo simultaneamente superior ao dos quadros A e C, em 42,8% e 54,2%, o que pode indicar uma ação da laterita, agindo horizontalmente no perfil.

Esses mesmos conjuntos de dados apresentam uma boa correlação entre a infiltração pelo tempo decorrido, como apontam as retas com os respectivos  $R^2$ , todos acima de 60% (MONTGOMERY et al., 2006). Contudo, os quadros A e B indicam um intercepto de valores em 36,19 cm e 82,45 cm para os valores previstos de zero minuto.

Os quadros D, E e F, que representam os anéis de infiltração instalados na agricultura mecanizada, estão com suas retas de crescimento mais homogêneas e igualitárias nos tempos de infiltração. Entretanto, o quadro F apresenta a menor profundidade de infiltração, chegando a ser 79,1% menor que no quadro D, e 75% que no quadro E, ambas plotadas, concomitantemente, no topo e terço médio da vertente. Outro fator que explica essa circunstância deriva de sua localização na vertente, no terço inferior da mesma, onde há maior presença de solos hidromórficos.

Os valores do  $R^2$  entre a infiltração e o tempo decorrido estão em patamares de alta relação, em torno de 93%, sendo os interceptos de, no máximo, 3,2 centímetros para valores previstos.

Os dados de infiltração exponenciais, ou seja, experimentais, quando processados pela Equação de Kostiacov ( $I = K.T^a$ ), passaram a integrar uma linearização, isto é, uma reta  $Y = bX + a$ , aplicando logaritmos nos dois lados da equação, analisando-os via Regressão Linear. Dessa forma, os dados linearizados da Infiltração Acumulada são governados pelas equações expostas na Tabela 10.

**Tabela 10:** Equações linearizadas do Método Kostiacov para dados de infiltração acumulada na área de estudo.

Localização do anel concêntrico	Equações( $I = K \cdot T^a$ )
Pecuária 1 (topo)	$I=0,028244112 * T^{1,70424504507531}$
Pecuária 2 (terço médio)	$I=0,097771612 * T^{1,22546016294832}$
Pecuária 3 (terço inferior)	$I=0,357640109 * T^{1,02362533650328}$
Agricultura 1 (topo)	$I=0,736473754 * T^{0,953716170209483}$
Agricultura 2 (terço médio)	$I=0,774727966 * T^{1,02038178761977}$
Agricultura 3 (terço inferior)	$I=1,529838755 * T^{1,16558751544592}$

Fonte: Dados coletados em campo.

Os dados da Regressão Linear adquiridos dos valores coletados em campo e linearizados estão expostos na Tabela 11, visando expor os principais padrões de infiltração deste terreno.

**Tabela 11:** Principais variáveis das Regressões Lineares para os anéis de infiltração.

Amostra	R	R <sup>2</sup>	a	b	F-Sig	P-valor	LI	LS
Pecuária 1	0,960	0,922	-1,54907	1,704245	1,46439E-12	-1,08E-07	-1,9509961	-1,147148065
Pecuária 2	0,944	0,891	-1,00979	1,22546	1,22316E-08	0,0011191	-1,5455411	-0,0474033352
Pecuária 3	0,998	0,997	-0,44655	1,023625	4,57653E-48	1,143E-23	-0,4834275	-0,4096800
Agricultura 1	0,999	0,999	-0,13284	0,953716	3,73073E-38	2,657E-12	-0,1534651	0,112220302
Agricultura 2	0,999	0,998	-0,11085	1,02038	3,21374E-36	2,461E-08	-0,13905514	-0,082650102
Agricultura 3	0,996	0,992	0,18464	1,16558	4,1793E-26	9,264E-07	0,12699441	0,24229691

**Legenda:**R: R-Múltiplo; R<sup>2</sup>: R-Quadrado;a:Interseção;b: Log (I);F-Sig:Significância da Regressão;P-valor: Nível de Significância;LI: Limite Inferior; LS:Limite Superior.  
Fonte:Regressão dos dados de campo.

Os valores da Regressão Linear, advindos dos dados linearizados, apresentam-se com valores correlacionáveis de alta precisão, em decorrência dos conjuntos de dados trabalhados, isto é, uma média 0,983 (R-Múltiplo).

Nesse esteio, os valores de maior diferenciação são os da Pecuária 2, de terço médio da vertente, onde o R-Múltiplo foi de 94%, ou seja, 6% do total dos dados não são possíveis de explicação por essa equação. Enquanto o R-Quadrado apresenta 11% de não correlação entre os pares de variáveis analisadas. Esse fator pode ser explicado pelo conjunto de três valores muito altos nos resíduos das observações de números: **1** – 0,281714133; **16** – 0,168414974; e **17** – 0,233002322.

Os valores da Pecuária 1 também estão com o R-Múltiplo e R-Quadrado abaixo da média dos dados restantes (96% e 92%). Assim como sua estatística F (237), esses fatores estão ligados a pontos no conjunto de dados com valores acima do quadro geral, distorcendo as relações de explicação do conjunto de dados e dos pares de variáveis

logaritmizadas. Contudo, o nível de significância está num patamar muito bom, na média geral.

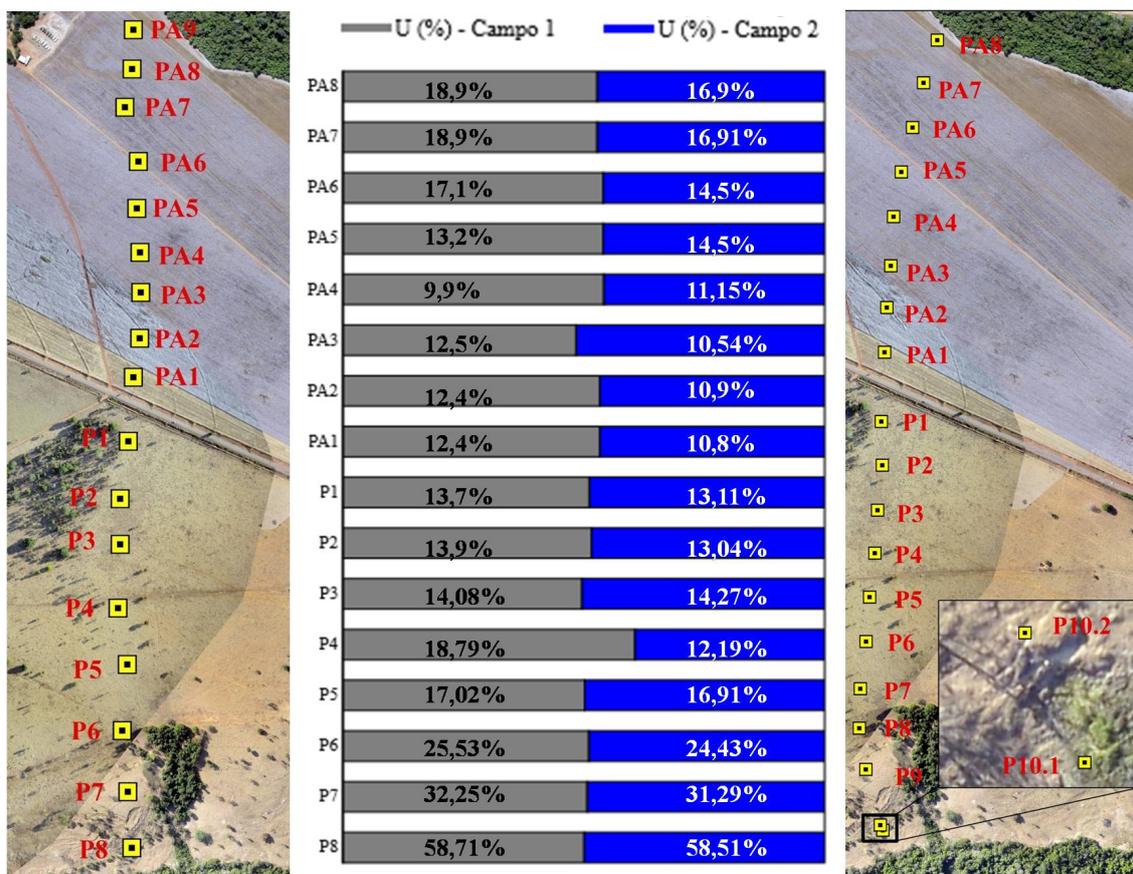
As demais amostragens das regressões apresentam-se com valores de explicação pela equação proposta, e correlação dos pares de variáveis utilizadas com alta taxa de correspondência. Seus valores de nível de significância e limites, tanto inferior quanto superior, estão na normalidade do quadro geral das amostragens analisadas.

Esses dados levantados, somados aos trabalhos de campo, viabilizam a compreensão do comportamento da umidade do solo nas vertentes. Sendo que para a coleta dessa grandeza hidro-pedológica usou-se, conforme abordado na metodologia, o método gravimétrico, em associação com os sobrevoos de RPA, realizados em março e setembro de 2018, para subsidiar as análises de relações e comportamentos da umidade no transcorrer do perfil das vertentes.

A lógica da coleta de umidade em períodos pluviométricos distintos, com incidência de volumes de água por eventos atmosféricos ambíguos, é a de apresentar como podem comportar-se as vertentes no transcorrer de períodos estressantes (entre excessos e escassez de chuvas), e como esse comportamento reflete em dados multissensoriais nas faixas do termal (730-1300nm) e multiespectral (530-880nm).

Desse modo, as coletas seguiram, em linhas gerais, pontos comuns nos dois campos, baseadas nas coletas e análises dos pontos de controle das amostragens de solos, visando abranger da melhor forma a relação existente entre a dispersão da umidade e valores físico-químicos dos solos (Fig. 79).

**Figura 79:** Distribuição da umidade do solo no perfil das vertentes analisadas para os dois períodos de coleta.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O que se observa dos dados de umidade, em relação ao comparativo do primeiro e segundo voo, é principalmente sua distribuição ao longo do perfil em que a umidade se comporta, seguindo a distribuição normal da dinâmica hídrica, com pontos de presença de umidade no terço superior do perfil, e o aumento significativo quando se desloca no sentido do terço inferior.

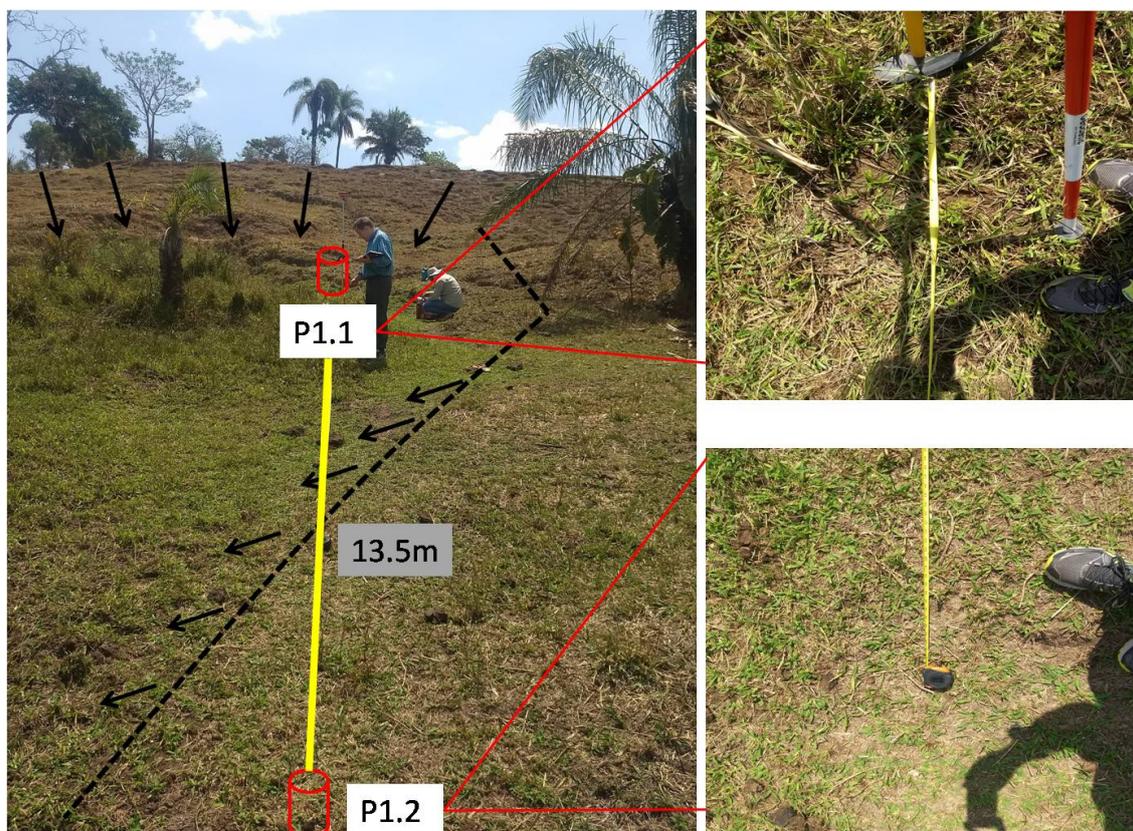
Essa condição é mais perceptível na vertente com pecuária, devido ao fator de ruptura da mesma, em decorrência do surgimento da laterita, sendo o ganho de umidade do terço superior para o inferior em média de 45%. Enquanto na vertente com agricultura essa média é de 6,3%.

Nos dados apresentados, os valores do ponto P4, no campo de setembro, estão com maior disparidade do seu correlacionado no voo de março, reafirmando que essa posição de terço médio da vertente com pecuária pode estar sendo afetada pela ação da laterita horizontalmente, o que levaria a uma diminuição da infiltração

e,consequentemente, maior velocidade de perda do teor de água nas camadas superficiais do solo.

Na coleta de umidade do período de setembro, foi realizado um sistema de validação das condições hídricas do terço inferior, abaixo do surgimento da lateria, para compreender se os valores alteram-se em decorrência da escolha do ponto de coleta (Fig.80).

**Figura 80:** Visualização das coletas comparativas de umidade no terço inferior da vertente com pecuária.



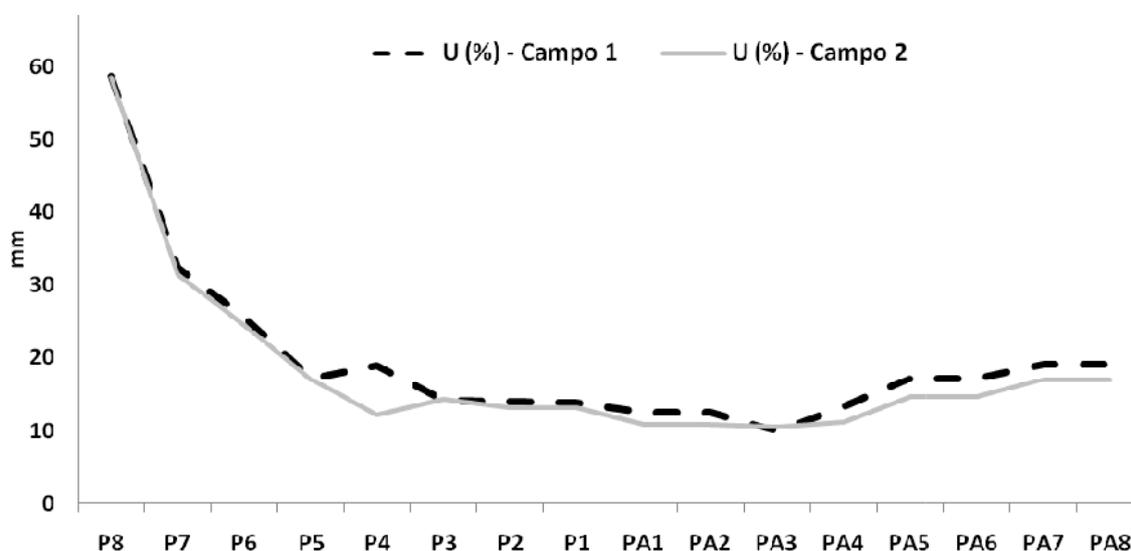
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os resultados mostram que os valores em uma distância de 13,53 metros são de 58,50% para os pontos de maior concentração do fluxo de água (P1.1) e de 31,23% para o ponto mais elevado e estável em relação ao fluxo (P1.2), isto é, em pontos que acumulam maior volume de água, em decorrência do próprio modelado do terreno, as taxas de acúmulo de água podem ser superiores a 50% de pontos de normalidade do terreno.

Os valores da umidade nos dois períodos analisados se alteraram muito pouco, uma circunstância pouco esperada devido às condições do regime hídrico dos períodos

(Fig. 81). Contudo, podem haver dois fatores que explicam essa situação, o primeiro, de maior impacto, é o desenho estrutural da couraça ferruginosa (laterita) nas vertentes analisadas, o que demonstra diretamente o controle de quantidade e velocidade do fluxo que adentra nas camadas do solo. Um segundo fator a ser considerado é a pluviosidade acumulada das últimas 36 horas antes do sobrevoo de setembro (período de maior estiagem pluviométrica), que, em decorrência de um evento climático inesperado, produziu um acúmulo de 22mm de chuvas nesse intervalo de tempo.

**Figura 81:** Comportamento da umidade do solo comparando períodos de coleta distintos.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Desse modo, a variabilidade do comportamento da água no sistema das vertentes analisadas reflete uma ligação direta com os padrões geomorfológicos e pedológicos dessas áreas, pois a distribuição dos elementos físico-químicos dos solos para esses pontos apresenta relação direta no comportamento da dispersão da água, influenciando desde o processo de infiltração, que, para áreas do topo das vertentes é mais acelerado e atinge maiores profundidades antes de saturar, e no transcorrer da verticalização chega ao terço inferior com menor velocidade, com ponto de saturação mais superficial, fator ligado à presença mais intensa de lateritas.

Assim, é possível aferir as colocações por meio da avaliação da densidade dos solos das vertentes (Tab. 12), amplamente arenosos nos terços superior e médio, e mais argiloso no terço inferior, para ambas as áreas de estudo.

**Tabela 12:** Demonstrativo da densidade do solo e do tipo granulométrico predominante para os pontos de coleta nas vertentes com pecuária e agricultura.

Pontos	Ds g/cm <sup>3</sup> Campo 1	Tipo de solo	Ds g/cm <sup>3</sup> Campo 2	Tipo de solo
P8	1,6428	arenoso	1,3429	arenoso
P7	1,5787	arenoso	1,2861	arenoso
P6	1,5904	arenoso	1,3254	arenoso
P5	1,5057	arenoso	1,4524	arenoso
P4	1,614	arenoso	1,1745	argiloso
P3	1,3977	arenoso	1,1178	argiloso
P2	1,1531	argiloso	1,0675	argiloso
P1	1,051	argiloso	0,8575	húmico
PA1	1,5452	arenoso	1,5004	arenoso
PA2	1,4121	arenoso	1,5004	arenoso
PA3	1,4433	arenoso	1,3893	arenoso
PA4	1,6158	arenoso	1,5343	arenoso
PA5	1,3625	arenoso	1,2909	arenoso
PA6	1,6464	arenoso	1,2909	arenoso
PA7	1,3954	arenoso	1,2948	arenoso
PA8	1,5703	arenoso	1,2948	arenoso

**Fonte:** Elaborado pelo autor

Portanto, as características hidro-pedológicas apresentam forte correlação para os valores encontrados nas análises realizadas pontualmente, fator positivo na busca de ampliação das avaliações em multiescalas, especialmente devido à sua coleta ser paralela aos procedimentos de voos com os multisensores instalados no RPA.

#### 4.4.2 Dados multiespectrais e a relação hidro-pedológica nas vertentes

A possibilidade de compreender a dispersão da umidade encontrada nas vertentes resume-se a pontos localizados em posições estratégicas, devido ao método de coleta (gravimétrico). Contudo, as relações de ampliação e utilização de multiescalas, por meio da comparação e relação entre esses dados *in situ* e avaliações multissensoriais por uso de RPA, são uma condição viável e exequível, especialmente quando empregasse sensores nas faixas entre 430nm-1300nm, respectivamente, faixas multiespectrais nas bandas do azul até a borda do vermelho (880nm), e na termal, com infravermelho médio (1300nm).

Os dados gerados pelo levantamento dos sensores multiespectrais Sequoia-Parrot e MicaSense RedEdge-M e termal Flir T420 apresentam relevância direta na discussão sobre as condicionantes hidro-pedológicas e geomorfológicas, como

observado na construção metodológica. Esses levantamentos foram realizados em duas situações temporais distintas, uma abrangendo o período de maior concentração pluviométrica (março/2018) e outra com menor (setembro/2018).

Dessa forma, a complexidade dos dados espectrais, derivados dos levantamentos com os sensores multiespectrais Sequoia-Parrot e MicaSense RedEdge-M, mostram uma interação da radiação eletromagnética com as diversas substâncias da superfície das vertentes, de modo distinto para cada sensor, isto é, a refletância dos alvos na dispersão do perfil em cada vertente, sendo sua distribuição condicionada às faixas espectrais de cada um dos sensores (Tab. 13).

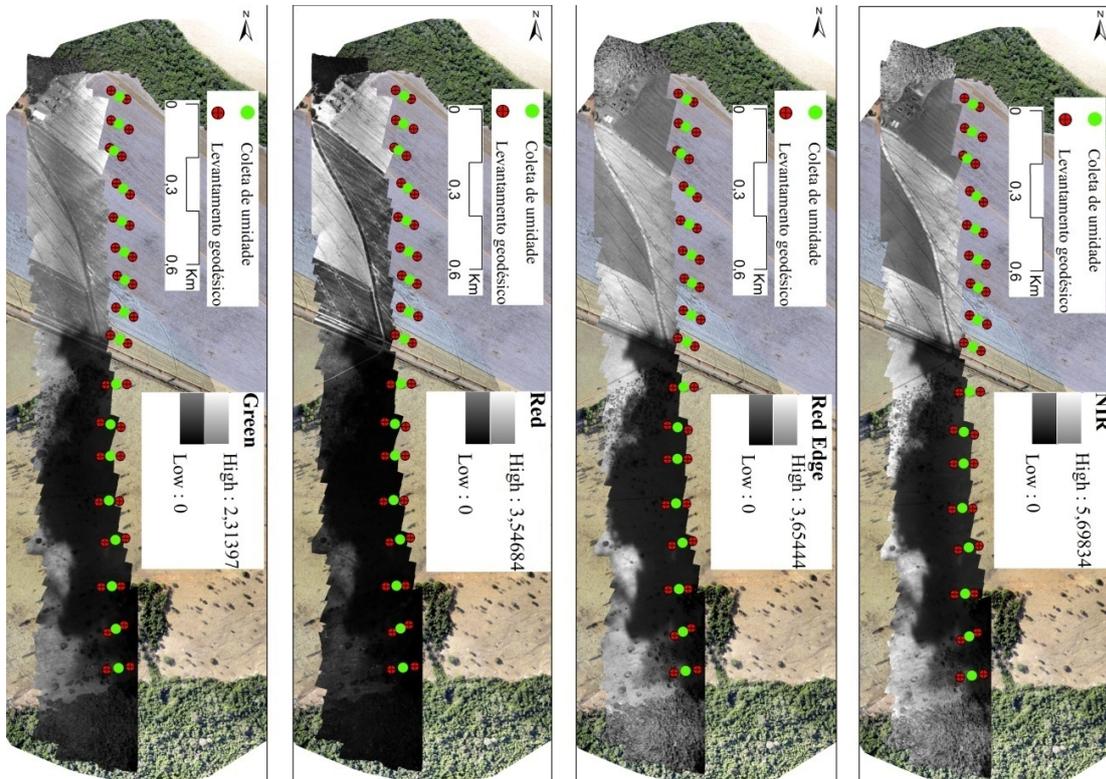
**Tabela 13:** Características das faixas espectrais dos sensores utilizados nos aerolevantamentos com RPAS.

Sensor	Faixa	$\lambda$ Inicial (nm)	$\lambda$ Final (nm)
<b>Sequoia-Parrot</b>	1 - Green	530	570
	2 - Red	640	680
	3 - Red-Edge	730	740
	4 - NIR	770	810
<b>MicaSense RedEdge-M</b>	1- Blue	475	495
	2 - Green	560	580
	3 - Red	668	678
	5 - Red-Edge	717	727
	5 - NIR	840	880

**Fonte:** <https://www.parrot.com> e <https://www.micasense.com>. Acesso em 2018.

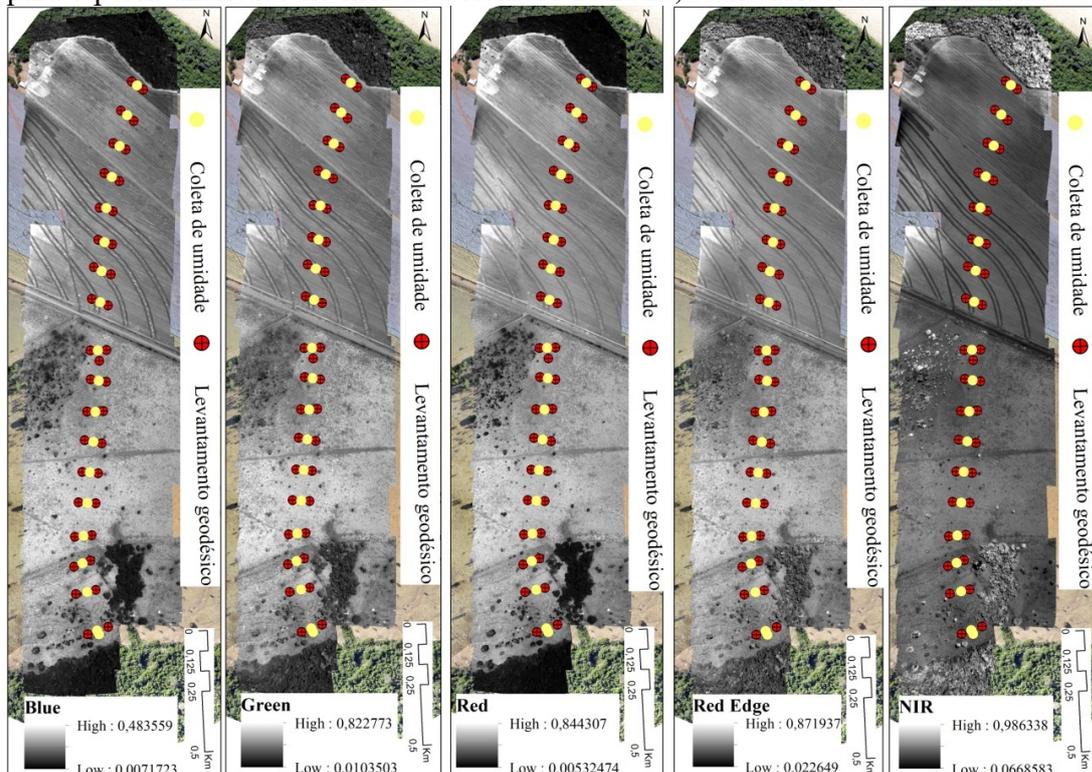
As interações de cada faixa no transcorrer do perfil são condicionadas pela distribuição de cada elemento biótico e abiótico encontrado em ambas vertentes, especialmente na resposta em decorrência da cobertura vegetal, de maior amplitude, com pastagem plantada (Fig. 82), e agricultura mecanizada com sistema de rotação algodão/milho/milheto (Fig. 83).

**Figura 82:** Espacialização das 4 (quatro) faixas espectrais do sensor Sequoia-Parrot para o perfil analisado no mês de Março de 2018, com valores em micrômetro.



Fonte: Trabalho de campo do dia 06/03/2018.

**Figura 83:** Espacialização das 5 faixas espectrais do sensor MicaSense RedEdge-M para o perfil analisado no mês de Setembro de 2018, com valores em micrômetro.



Fonte: Trabalho de campo do dia 15/09/2018.

O que pode ser observado diretamente é que o levantamento, realizado no período de março de 2018, dos dados multiespectrais sofreu problemas técnicos decorrentes do funcionamento defeituoso da plataforma eBee RTK/PPK, neste dia, gerando uma perda de 59% da cobertura dos pontos levantados em campo. Entretanto, algumas das fotos foram recuperadas e processadas, servindo como base das análises realizadas (conforme Figura 82).

Os comportamentos espectrais das faixas geradas pelos sensores expõem o que a bibliografia apresenta como melhores resultados para avaliação dos fatores ambientais, com faixas da REM, adequadas para avaliação de dados florestais, de umidade do solo e diversas outras características. Ou seja, as informações de cada faixa dos sobrevoos apresentam valores distintos entre si, e quando comparados entre datas de sobrevoos, essa diferença é mais notável, chegando a 70% a mais de refletância nos períodos de menor concentração pluviométrica (Tab. 14), convergindo com outros estudos científicos (NAUE et al., 2010; MONTEIRO et al., 2013; CRUSIOL et al., 2013).

**Tabela 14:** Valores máximos de refletância dos sensores Sequoia-Parrot e MicaSense RedEdge-M, em suas faixas espectrais de atuação.

Sensor/Faixas	Blue	Green	Red	RedEdge	NIR
Sequoia-Parrot	s/d	2,31397	3,54684	3,65444	5,69834
MicaSense RedEdge-M	0,483559	0,822773	0,844307	0,871937	0,966338

**Legenda:** s/d - sem dados, na Sequoia-Parrot a faixa do azul é inexistente. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Em diversos trabalhos, observa-se que os fatores relacionados a amostragem, via SR, da água no solo estão ligados diretamente com baixos valores da refletância, como propõem Zhu et al. (2010), ao verificarem a relação entre o aumento do teor de água no solo e diminuição de sua refletância, tendo concluído ainda que, dados espectrais da umidade do solo e sua modelagem com base em algumas de suas 16 propriedades, como textura ou cor, são capazes de prever com precisão sua umidade superficial a partir das medidas de refletância.

Tian e Philpot (2014) apontam, em seus estudos, que a presença de elementos químicos e mineralógicos formadores dos solos, em especial a Sílica/Quartzo, apresentam maiores respostas avariação espectral e à sua condição de prever

percentuais de umidade, por meio de avaliações laboratoriais de limites da capacidade de retenção, em detrimento da resposta, quando há entrada de água no sistema das amostras.

O fator das medidas espectrais obtidas em trabalhos de campo também viabiliza situações que podem interferir nos dados e, ao mesmo tempo, subsidiar uma melhor compreensão dos valores encontrados, pois, nesse caso, as condições de superfície, tal como rugosidade, presença de resíduos de cultura, e a porcentagem de cobertura vegetal, se constituem como fatores intrinsecamente interferentes nos valores dos dados (FORMAGGIO et al., 2006).

Nesse sentido, os dados observados e coletados nos trabalhos de campo estão dispostos de forma que seja possível aplicar o coeficiente de correlação (Pearson) (Tab. 15), utilizando-se, para tanto, uma média dos pixels das bandas espectrais dos sensores utilizados com RPA (Sequoia-Parrot e MicaSense RedEdge-M), com dados granulométricos e químicos da camada superficial (0-20cm) dos pontos amostrados *in situ*, nas vertentes.

**Tabela 15:** Correlação linear entre os dados de umidade gravimétrica, granulometria básica e média de 3 pixels por faixa espectral em cada atividade de campo.

<b>Campo 1 - Março</b>	<b>Umidade Volumétrica</b>	<b>Areias % (0-20 cm)</b>	<b>Silte%(0-20cm)</b>	<b>Argila%(0-20cm)</b>	<b>SIO2%(0-20cm)</b>	<b>Al2O3%(0-20cm)</b>	<b>Fe2O3%(0-20cm)</b>	<b>TIO2(0-20cm)</b>	<b>Outros (0-20cm)</b>
Areias % (0-20 cm)	-0,83700585	1							
Silte%(0-20cm)	0,851409009	-0,822557801	1						
Argila%(0-20cm)	-0,186141543	-0,120579035	-0,461188458	1					
Blue_Média_3pixel	s/d	s/d	s/d	s/d					
Green_Média_3pixel	-0,412007958	0,631985939	-0,658601721	-0,6644866					
Red_Média_3pixel	-0,649839607	0,531950682	-0,582630742	-0,529269843					
RedEdge_Média_3pixel	0,84253601	-0,655061581	0,646206626	0,624945061					
NIR_Média_3pixel	-0,162681206	0,561711742	-0,557806627	-0,60351353					
SIO2%(0-20cm)	-0,872445391	0,900622337	-0,922071477	0,204444209	1				
Al2O3%(0-20cm)	0,86012077	-0,873754447	0,906580138	-0,218689186	-0,995152477	1			
Fe2O3%(0-20cm)	0,855909845	-0,912427136	0,908989985	-0,161894207	-0,977180041	0,956085794	1		
TIO2(0-20cm)	0,873888544	-0,869385091	0,945098178	-0,287366478	-0,979860418	0,974007683	0,947075972	1	
Outros (0-20cm)	0,692122627	-0,739244062	0,780567	-0,204941088	-0,754377781	0,721618547	0,72340302	0,781235248	1
<b>Campo 2 - Setembro</b>	<b>Umidade Volumétrica</b>	<b>Areias % (0-20 cm)</b>	<b>Silte%(0-20cm)</b>	<b>Argila%(0-20cm)</b>	<b>SIO2%(0-20cm)</b>	<b>Al2O3%(0-20cm)</b>	<b>Fe2O3%(0-20cm)</b>	<b>TIO2(0-20cm)</b>	<b>Outros (0-20cm)</b>
Areias % (0-20 cm)	-0,325488767	1							
Silte%(0-20cm)	0,839643804	-0,454160593	1						
Argila%(0-20cm)	-0,170279854	0,580816829	-0,461188458	1					
Blue_Média_3pixel	-0,045336452	-0,084584115	-0,058430475	-0,014269298					
Green_Média_3pixel	-0,016662272	0,06382908	-0,039716353	0,120162253					
Red_Média_3pixel	0,14652795	0,233586842	0,000536182	0,212752332					
RedEdge_Média_3pixel	0,086757481	0,244119193	-0,077002761	0,341309609					
NIR_Média_3pixel	0,245084577	0,192922918	0,149790875	-0,229255559					
SIO2%(0-20cm)	-0,865078787	0,464724628	-0,922071477	0,204444209	1				
Al2O3%(0-20cm)	0,8510056	-0,494887834	0,906580138	-0,218689186	-0,995152477	1			
Fe2O3%(0-20cm)	0,849298471	-0,385367804	0,908989985	-0,161894207	-0,977180041	0,956085794	1		
TIO2(0-20cm)	0,864081737	-0,541928014	0,945098178	-0,287366478	-0,979860418	0,974007683	0,947075972	1	
Outros (0-20cm)	0,692884716	-0,291035143	0,780567	-0,204941088	-0,754377781	0,721618547	0,72340302	0,781235248	1

Fonte: Elaborada pelo autor.

As correlações dos dados de umidade estão intensificadas inversamente aos das areias, assim como aos da Sílica, denotando que, se há maior presença desses componentes, haverá diminuição no teor de umidade. Entretanto, o mesmo não acontece com o silte e o titâneo, que apresentam boa correlação positiva com a umidade do solo.

Outro fator visível nos dados obtidos no campo de março é a resposta alta da faixa Rededge (730–740nm) para a correlação com a umidade do solo, areia, silte e argila. Essa situação pode estar atrelada à composição dos solos das vertentes, que foram caracterizados como sendo Latossolos Amarelos, com Óxido de Ferro, característico na resposta espectral próximo aos 850nm (D'ARCO et al., 2003).

De forma a reforçar esse entendimento, Moreira (2012) aponta que os principais óxidos de Ferro, Hematita e Goethita, apresentam sua curva espectral mais proeminente nas faixas entre 530 a 700nm. Entretanto, no sobrevoo de setembro, esses valores não se sustentam, podendo ser explicado pela inexistência da base completa dos levantamentos do sensor Sequoia-Parrot, devido ao problema técnico desse RPA, levando apenas a cobertura de seis pontos, dos 17 pontos amostrados, superestimando esses dados na correlação.

Como observa-se na tabela supracitada (Tab. 15), o solo predominante nas vertentes, o LA, apresenta grande concentração de partículas grosseiras de maior diâmetro (vide Tab. 7), o que propicia duas reações: na primeira, com essas características granulométricas, aumenta-se a proporção de refletância; e, na segunda, onde a origem silicosa dos componentes é altamente transparente, também eleva-se a refletância.

Para compreender melhor os dados avaliados, deve-se empregar mais que a correlação entre ou dentre as variáveis estudadas, pois esse coeficiente não implica necessariamente uma relação de causa e efeito, e, sim, que uma está associada/relacionada à outra, em sua média, sendo assim a melhor forma de se avaliar a significância que um dado apresenta sobre o outro. Para isso, empregou-se uma avaliação da regressão linear para compreensão da variável umidade do solo, buscando-se compreender as relevâncias das outras variáveis (granulometria, média de três pixels das faixas espectrais e elementos químicos), dispersas nas duas vertentes (Tab.16).

**Tabela 16:** Regressão linear da variável dependente de umidade do solo com as variáveis granulométricas, química e média das faixas espectrais.

<b>Campo</b>	<b>Variable</b>	<b>Slope</b>	<b>Error</b>	<b>Intercept</b>	<b>Error2</b>	<b>r</b>	<b>p</b>
<b>Março</b>	Areias % (0-20 cm)	-0,32412	0,056629	29,525	1,2744	-0,83701	5,26E-05
<b>Março</b>	Silte%(0-20cm)	0,98366	0,16195	3,5145	3,6447	0,85141	2,87E-05
<b>Março</b>	Argila%(0-20cm)	-0,12719	0,17943	9,2323	4,038	-0,18614	0,49004
<b>Março</b>	Blue Média 3pixel	0	0	0	0	0	1
<b>Março</b>	Green Média 3pixel	0,004269	0,0019345	-0,0083122	0,043536	0,508	0,044535
<b>Março</b>	Red Média 3pixel	0,001582	0,0009201	0,0022078	0,020706	0,41761	0,10751
<b>Março</b>	RedEdge Média 3pixel	0,011341	0,003815	-0,057148	0,085855	0,62205	0,010084
<b>Março</b>	NIR Média 3pixel	0,023819	0,0099363	-0,069961	0,22361	0,53946	0,031034
<b>Março</b>	SIO2%(0-20cm)	-0,81315	0,12174	89,093	2,7397	-0,87245	1,04E-05
<b>Março</b>	Al2O3%(0-20cm)	0,53017	0,084031	9,9021	1,8911	0,86012	1,93E-05
<b>Março</b>	Fe2O3%(0-20cm)	0,18409	0,029725	1,2537	0,66896	0,85591	2,34E-05
<b>Março</b>	TIO2(0-20cm)	0,02419	0,0035964	0,26934	0,080937	0,87389	9,68E-06
<b>Março</b>	Outros (0-20cm)	0,025249	0,0070372	0,176	0,15837	0,69212	0,002969
<b>Setembro</b>	Areias % (0-20 cm)	-0,48529	0,37677	36,576	8,126	-0,32549	0,21863
<b>Setembro</b>	Silte%(0-20cm)	0,95604	0,16528	5,2035	3,5647	0,83964	4,73E-05
<b>Setembro</b>	Argila%(0-20cm)	-0,11467	0,17735	8,8518	3,8249	-0,17028	0,52837
<b>Setembro</b>	Blue Média 3pixel	-6,39E-05	0,0003761	0,13877	0,008111	-0,04534	0,86759
<b>Setembro</b>	Green Média 3pixel	-3,04E-05	0,0004869	0,20032	0,0105	-0,01666	0,95116
<b>Setembro</b>	Red Média 3pixel	0,000218	0,0003928	0,25696	0,008472	0,14653	0,58816
<b>Setembro</b>	RedEdge Média 3pixel	0,000129	0,0003972	0,2917	0,008567	0,086757	0,74936
<b>Setembro</b>	NIR Média 3pixel	0,000795	0,0008407	0,34757	0,018132	0,24508	0,36026
<b>Setembro</b>	SIO2%(0-20cm)	-0,79463	0,12315	87,775	2,656	-0,86508	1,52E-05
<b>Setembro</b>	Al2O3%(0-20cm)	0,51697	0,085262	10,782	1,8389	0,85101	2,92E-05
<b>Setembro</b>	Fe2O3%(0-20cm)	0,18002	0,029907	1,5498	0,645	0,8493	3,15E-05
<b>Setembro</b>	TIO2(0-20cm)	0,023573	0,00367	0,30975	0,079152	0,86408	1,59E-05
<b>Setembro</b>	Outros (0-20cm)	0,024911	0,0069284	0,21263	0,14943	0,69288	0,002924

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

O comportamento dos dados na regressão linear, tendo a umidade como dependente, denota boa relação com os dados de Areia, Silte, Sílica, Alumina, Ferro e Titâneo, fator esperado devido às características hidro-pedológicas já discutidas anteriormente, ressaltando apenas um valor de R-múltiplo muito baixo para a argila, com média de 0,17, isto é, mais de 80% da umidade não pode ser respondida pela presença da argila dispersa nas vertentes para os dois sobrevoos.

As análises dos dados das faixas espectrais revelam que os valores no sobrevoos de março apresentam dependência entre as faixas espectrais e a dispersão da umidade do solo para as vertentes, com uma média próxima a 50% para a maioria das faixas. Significando, assim, que metade da correlação pode ser explicada por essas variáveis, e os outros 50% encaixam-se nos resíduos decorrentes de fatores ambientais externos.

Essa informação indica que os valores obtidos com o sobrevoos de março estão superestimados, tendo como causas prováveis a própria configuração do sensor usado, a situação natural das vertentes no dia/período de voo e a condição de problemas técnicos do RPA, o que provocou redução na cobertura e uma avaliação densa por imageamento das áreas.

No entanto, os valores da probabilidade dos dados (P-valor) para o sobrevoos de setembro/2018 são expressivos, mantendo-se dentro dos 5% de confiabilidade testada. Apesar disso, a mesma condição não é encontrada para o sobrevoos de março/2018, que apresentou valores inconsistentes, podendo ser explicados pela falta de cobertura total do voo planejado, em decorrência dos problemas técnicos já informados.

A literatura especializada aponta que a faixa espectral com maior abordagem de correlação com a umidade do solo é o Infravermelho médio (1400– 1900nm) (ZHU et al., 2011; MCWHIRT, 2012). Contudo, outras abordagens apresentam boa relação com a transição do Visível e o NIR, especialmente nas faixas acima dos 700nm (CUNHA 2004; DALMOLIN et al., 2005).

As discrepâncias entre as faixas espectrais demonstram que a utilização de dados multiescalares apresenta grande campo para avaliações *in loco*, onde, por vezes, refletem mais a minúcia do trabalho com determinados dados, ou maiores avanços em outras abordagens. Como forma de avaliar de fato a robustez desses dados, é necessário testar metodologias, especialmente as que forem amplamente usadas em estudos que vizem as discussões propostas. Uma dessas metodologias é aquela referente ao uso de

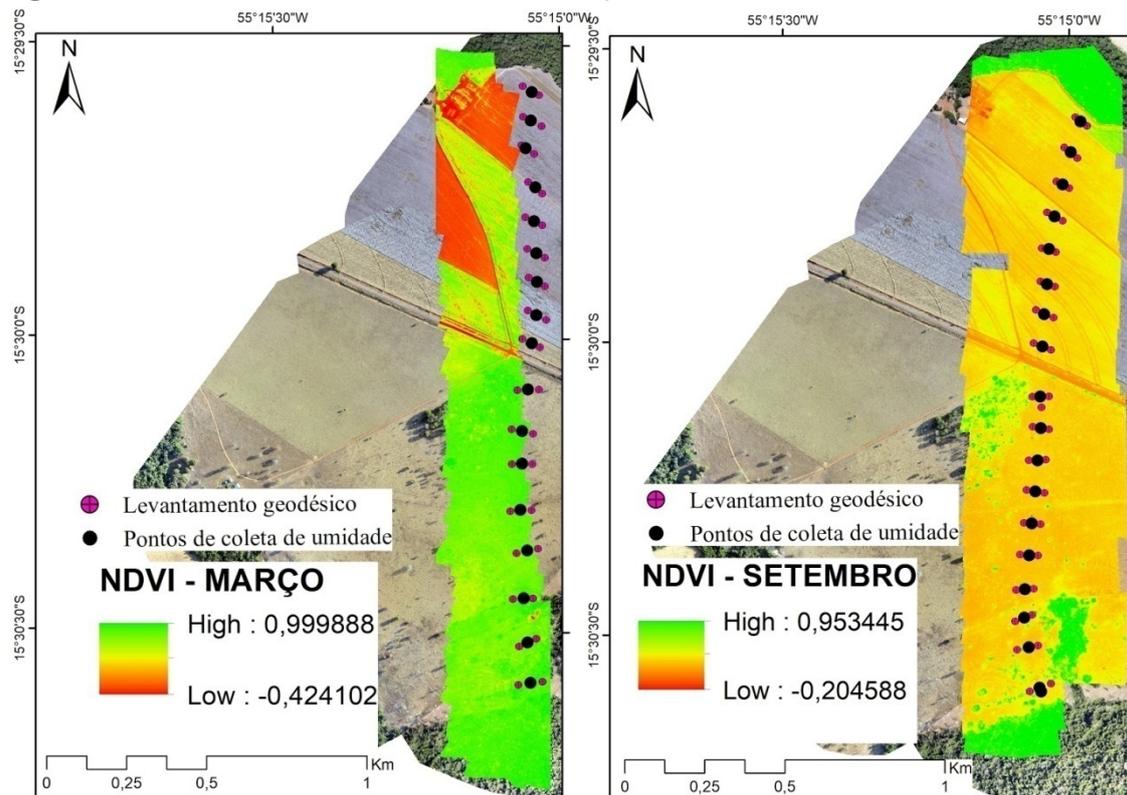
índices de vegetação – IV, que, por trabalharem com faixas espectrais pré-selecionadas, para melhores respostas dos alvos, acarretam respostas eficientes e comprovadas (GILLIES et al., 1997; CHEN et al., 2014).

Portanto, os problemas decorrentes da falta de cobertura do voo em março não ocasionaram sua completa inviabilização para a pesquisa, pois foi possível processar as imagens restantes e gerar dados que basearam a produção do índice de vegetação, NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada).

Este índice é amplamente empregado em estudos de cunho ambiental (GUILLES et al., 1997; CARLSON, 2007), sendo constituído pelo emprego de duas bandas espectrais (NIR e Red), que, em decorrência de suas propriedades físicas, facilitam a mensuração da refletância espectral quando trabalha-se com fatores de uso e cobertura do solo (ROSA, 2009). Ou seja, evidenciam o contraste da alta capacidade de absorção da radiação eletromagnética pela clorofila na banda do vermelho, com a alta refletividade pelas estruturas e componentes foliares na região espectral do NIR (TUCKER, 1979).

Desse modo, por meio dos sobrevoos realizados e da utilização das faixas espectrais dos sensores Sequoia-Parrot e da MicaSense RedEdge – M, foi possível construir o NDVI para os dois períodos de voos, Março e Setembro de 2018 (Fig. 84). Inicialmente, o que se visualiza são grandes diferenças perceptíveis pelos valores globais de cada índice, fator esperado em decorrência de duas constantes relacionáveis, período pluviométrico e vigor vegetativo/cobertura do solo.

**Figura 84:** Valores do NDVI dos voos de Março e Setembro de 2018.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os resultados dos NDVIs, para esses períodos, mostram que, em março, o NDVI apresenta valor mínimo de -0,42, e máximo de 1, com média de 0,65 e desvio padrão de 0,27. Enquanto, em setembro, o NDVI apresentou valores mínimos de -0,20, e máximo de 0,95, com média de 0,32 e desvio padrão de 0,19. Expõem, assim, as condições de ampla cobertura vegetativa para as vertentes no primeiro período, e de menor vigor vegetativo nas vertentes para o segundo período (estiagem).

Holben (1986) propõe que os valores globais de NDVI, para as áreas com vegetação, dependem de sua arquitetura, densidade e umidade, e variam entre 0,1 e 0,6. Os maiores valores dessa variável estão associados a coberturas vegetais mais densas. A presença de nuvens e água geralmente está associada a valores negativos de NDVI. Rochas e solos expostos possuem refletâncias similares nas duas regiões espectrais utilizadas para o cálculo do NDVI, ocasionando, portanto, valores próximos a zero.

No caso do Cerrado, os valores médios encontrados em inúmeros trabalhos estão entre percentuais de 0,4 e 0,7 para áreas com características de fitofisionomias de cerrado *strictosensu* (típico), campo limpo e campo sujo (BAYMA e SANO, 2015; GAMARRA et al., 2016). Enquanto a média sobe para 0,7 a 0,95 em áreas de cerradão e mata de galeria (SILVA, 2014; CÂNDIDO et al., 2015).

O comportamento do valor do NDVI, para o mês de março, com maiores taxas pluviométricas (acumulado nos cinco meses anteriores de 584mm), reflete maior incidência do vigor vegetativo da biomassa, especialmente na vertente com pecuária, com ampla presença de valores superiores a 0,5, ou seja, as coberturas das gramíneas na pastagem estavam densas (Fig. 85).

**Figura 85:** Visualização da densidade e vigor vegetativo da vertente com pecuária.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Por outro lado, na vertente com agricultura, são visíveis valores que tendem a apresentar resultados mais próximos aos de solos expostos e baixa cobertura vegetal, fator explicado pelo crescimento vegetativo do algodão plantado e de áreas com solo desnudo, em decorrência da rotação de culturas empregadas (Fig. 86).

**Figura 86:** Visualização da situação de plantio (fase fenológica de 35cm) e solo exposto da vertente com agricultura.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No mês de setembro (acumulado pluviométrico de apenas 21mm em cinco meses), o NDVI encontrado apresenta valores condizentes com as características fitológicas e hídricas do período, isto é, os valores negativos estão restritos apenas a

uma pequena parcela do imageamento, sendo, na verdade, o pátio de maquinário da fazenda, e, provavelmente, parte do telhado dos galpões daquela área. Em contrapartida, os valores mais próximos a 1 estão dispostos nas regiões de mata densa e com maior arquitetura (APPs e Reserva Legal), nas duas vertentes.

O comportamento dos valores de NDVI, no restante dos pontos das vertentes, está ligado diretamente à cobertura que essas apresentavam, com solos expostos nas vertentes e com gramíneas degradadas, e em estágio vegetativo de baixa biomassa na pecuária, enquanto, na agricultura, o algodão plantado estava dessecado e sendo colhido por etapas (Fig. 87).

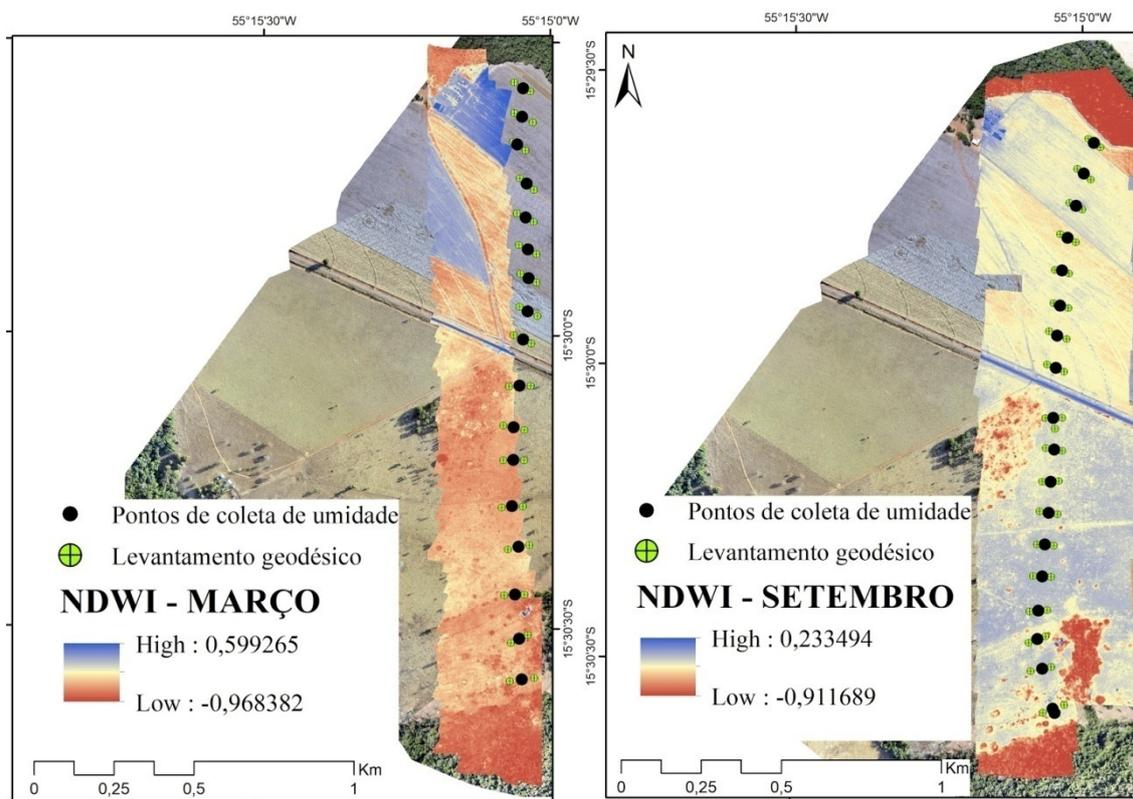
**Figura 87:** Visualização da cobertura do solo na data do imageamento com RPA, em setembro/2018.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os dados multiespectrais também foram empregados na geração de outro índice, o Normalized Difference Water Index – NDWI (Índice de Diferença Normalizada da Água), que, basicamente, é composto pela refletância decorrente da quantidade de água no meio analisado, sendo os alvos respondidos pela ação das bandas do verde e infravermelho próximo (Fig. 88). No NDWI, quanto mais baixos os valores (negativos), maior a quantidade de água armazenada no alvo imageado.

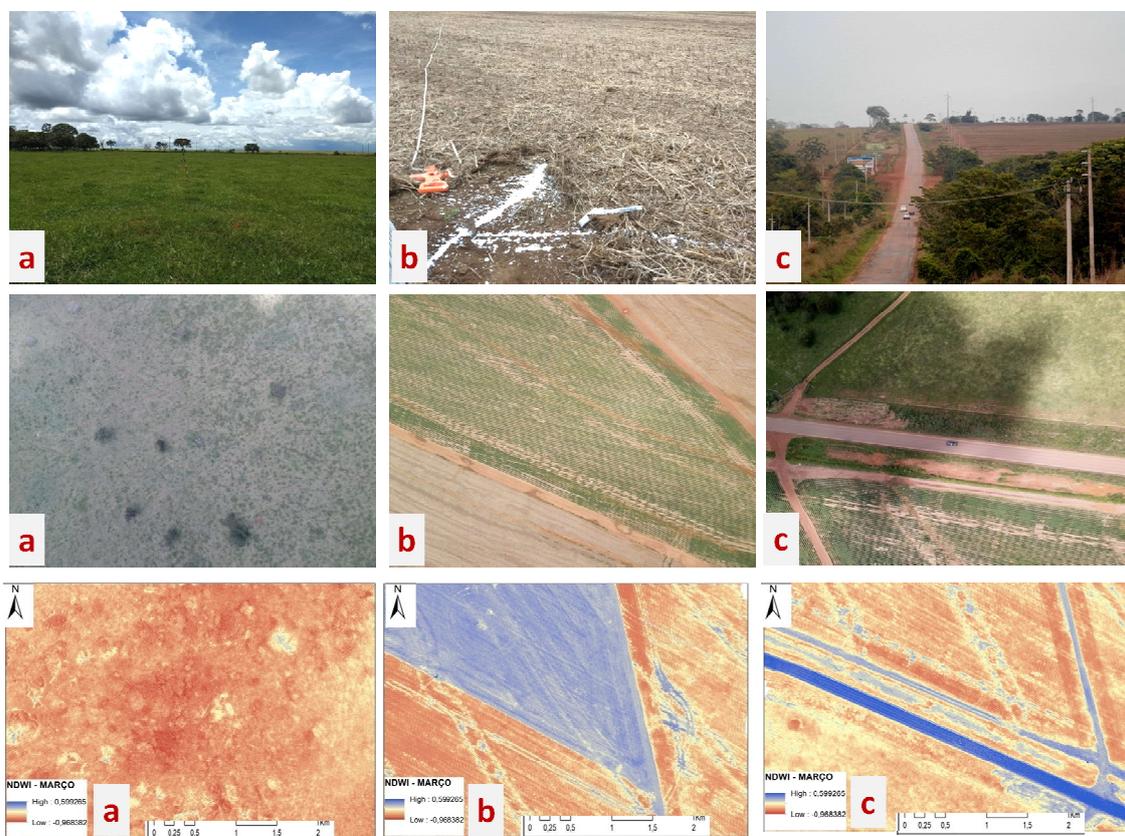
**Figura 88:** Valores de NDWI nos sobrevoos de março e setembro de 2018.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os valores do NDWI, no mês de março, indicam que a vegetação gramínea da pastagem estava com maior biomassa (vigor vegetativo elevado), apresentando dispersão nos valores de -0,1 a -0,96 (Fig. 89a). Enquanto que as áreas com valores maiores, em torno de 0 (zero), são pontos onde não havia presença de cobertura vegetal espessa (Fig. 89b), isto é, com solo exposto, e, assim, refletindo menos energia na faixa do Verde, igualmente para o recorte da estrada (Fig. 89c).

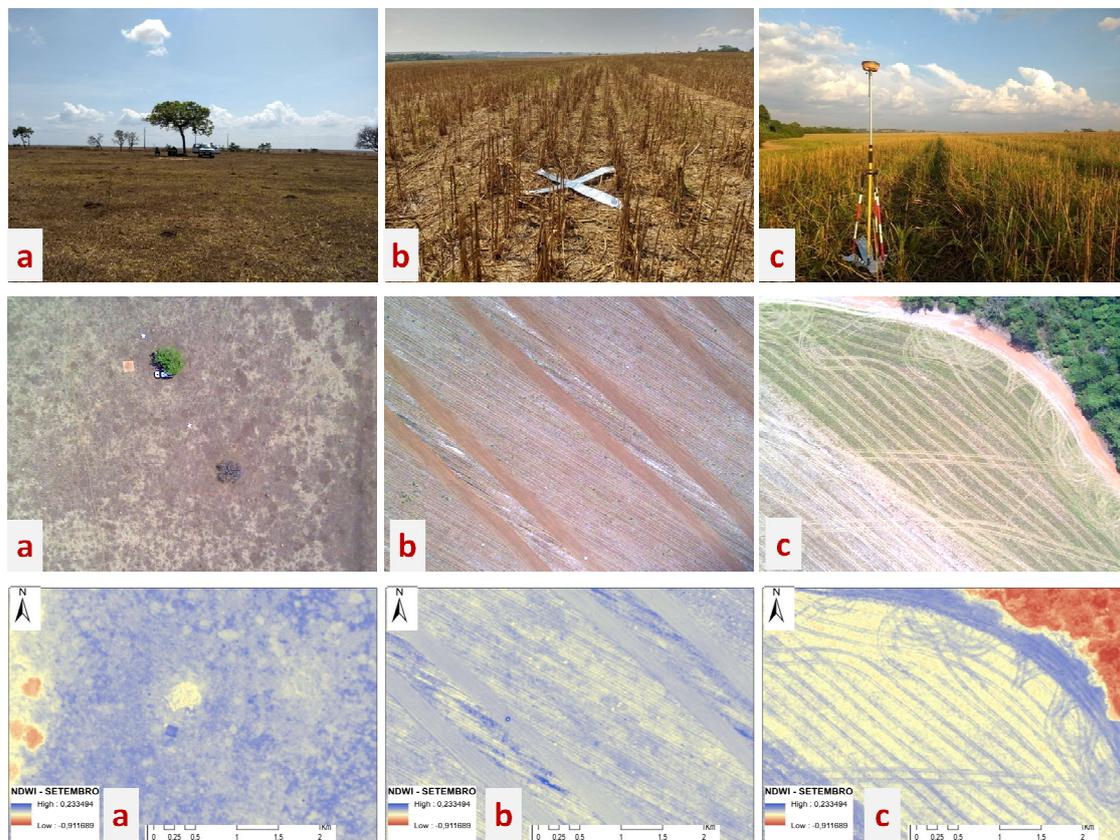
**Figura 89:** Vista em primeiro plano e perspectiva aérea para as diferentes paisagens: a) pastagem com alta cobertura de biomassa; b) área com palhada e maior exposição do solo; e c) perfil lateral de estrada pavimentada. A última faixa traz as respectivas imagens NDWI para cada paisagem



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

No mês de setembro (2018), os valores refletem-se opostos aos do primeiro sobrevoo (março de 2018), com queda de crescimento vegetativo da pastagem, drasticamente, reduzido em decorrência do período de estiagem. Assim, os valores do NDWI menores que -0,1 estão condicionados às vegetações de maior porte, como mata de galeria e as áreas de reserva legal, enquanto os valores acima de 0 (zero) apresentam distribuição nas plantações de algodão, que atingiram seu porte máximo, já em fase de colheita, enquanto na vertente com pastagem é possível localizar grandes extensões de solos expostos, condicionando os valores NDWI próximos a 0,2 (Fig. 90).

**Figura 90:** Vista em primeiro plano e perspectiva aérea para as diferentes paisagens: a) pastagem com baixa cobertura de biomassa; b) área com algodão em processo de dessecação; ec) área com plantação de milho em crescimento.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Portanto, os valores do NDWI para as datas dos sobrevoos demonstram boa correlação com a dispersão dos dados de umidade do solo. Onde, o valor mínimo para março foi de -0,97, máximo de 0,60, e média de -0,62, com desvio padrão de 0,15. Enquanto, em setembro, o mínimo foi de -0,91, máximo de 0,23, e média de -0,44, com desvio padrão de 0,11. Esses valores corroboram com a dinâmica hídrica nas vertentes e com o comportamento delas em decorrência da entrada de água no sistema, pelas chuvas.

A compreensão dos valores do NDVI e do NDWI, em decorrência da cobertura do solo, é clara e concisa, comprovando que determinados índices apresentam relação direta com os dados da superfície, onde alterações nas camadas superficiais interferem em suas respostas. Com essa premissa entendida, torna-se necessário avaliar em qual grau de amplitude é possível empregar os índices para avaliar a umidade do solo, e se o uso restringe-se somente aos pontos estáticos – os mesmos das coletas das amostras gravimétricas –, ou se é possível extrapolar essas correlações para áreas de maior

abrangência espacial, geradas pelos imageamentos com os sensores multiespectrais e termal, um dos objetivos centrais desta pesquisa.

Nesse sentido, a forma mais clara e robusta de execução dessas análises é o emprego de modelos estatísticos de validação entre as variáveis (dependentes e independentes), pois, como observado, as faixas espectrais dos sensores multiespectrais, embarcados nas Aeronaves Remotamente Pilotadas, apresentaram, em sua grande maioria, valores de pouca dependência (vide tabelas 15 e 16) em relação aos dados *in situ* (de umidade).

Para tanto, buscou-se integrar os valores dos índices de NDVI e NDWI, em extensões de 3, 5 e 7 pixels, a partir do ponto central (coleta gravimétrica de umidade), e aplicar, inicialmente, o teste da normalidade de Shapiro-Wilk (RAZALI e WAH,2011). Observando-se, assim, que os valores encontrados para o NDVI, de março e setembro, não apresentam distribuição normal (Tab. 17). Dessa forma, pode-se afirmar, com nível de significância de 5%, que as amostras não provêm de uma população normal, para os dados de março e setembro de 2018.

**Tabela 17:** Teste de distribuição da normalidade dos dados da umidade gravimétrica e médias do NDVI para 3, 5 e 7 pixels, no entorno das amostras nas vertentes estudadas.

<b>Março</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b>	<b>Média 3 pixel NDVI</b>	<b>Média 5 pixel NDVI</b>	<b>Média 7 pixel NDVI</b>
Nº. Amostra	16	16	16	16
Shapiro-Wilk	0,6563	0,6428	0,6438	0,6436
p(normal)	0,00005792	0,0000422	0,00004322	0,00004304
<b>Setembro</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b>	<b>Média 3 pixel NDVI</b>	<b>Média 5 pixel NDVI</b>	<b>Média 7 pixel NDVI</b>
Nº. Amostra	16	16	16	16
Shapiro-Wilk	0,615	0,9183	0,8791	0,8601
p(normal)	0,0000225	0,1586	0,03764	0,01922

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Para os valores de NDWI, têm-se duas condições primárias: a) os resultados para o sobrevoo de março são de uma população de amostras não paramétricas, com nível de confiança de 5%; b) no sobrevoo no mês de setembro, as amostras das extensões dos pixels apresentam um distribuição normal pelo teste de Shapiro-Wilk, com nível de significância de 5% (Tab. 18).

**Tabela 18:** Teste de distribuição da normalidade dos dados de umidade gravimétrica e médias do NDWI para 3, 5 e 7 pixels, no entorno das amostras nas vertentes estudadas.

<b>Março</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b>	<b>Média 3 pixel NDWI</b>	<b>Média 5 pixel NDWI</b>	<b>Média 7 pixel NDWI</b>
Nº. Amostra	16	16	16	16
Shapiro-Wilk	0,6563	0,6366	0,6405	0,6613
p(normal)	0,00005792	0,00003665	0,00004009	0,00006514
<b>Setembro</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b>	<b>Média 3 pixel NDWI</b>	<b>Média 5 pixel NDWI</b>	<b>Média 7 pixel NDWI</b>
Nº. Amostra	16	16	16	18
Shapiro-Wilk	0,615	0,9856	0,9779	0,9767
p(normal)	0,0000225	<u>0,9929</u>	<u>0,9444</u>	<u>0,9317</u>

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os testes de normalidade apontam que, em sua estrutura ampla, os dados dos índices avaliados não apresentam normalidade. Assim, para avaliar se as quantidades de pixels (3, 5 e 7) do NDVI e NDWI podem apresentar uma função de distribuição igual para esses três montantes, o teste estatístico de Kruskal-Willes– K-W foi utilizado, expondo, de forma clara, se a hipótese nula é aceita ou rejeitada para os dados desses índices (Tab. 19).

**Tabela 19:** Teste Kruskal-Wallis para valores das medianas dos pixels do NDVI e NDWI, para os campos em março e setembro, nas vertentes analisadas.

<b>Campo</b>	<b>Média dos pixels</b>	<b>Valor de P (p-value)</b>	<b>Graus de liberdade</b>	<b>Valor observado (H<sub>obs</sub>)</b>	<b>Valor crítico (H<sub>0,95</sub>)</b>	<b>Hipótese Nula (H<sub>0</sub>)</b>
Março	U.G X 3PX	0,0003992	3	12,52	12,54	Rejeita
	U.G X 5PX	0,0003992	3	12,52	12,54	Rejeita
	U.G X 7PX	0,0003992	3	12,52	12,54	Rejeita
Setembro	U.G X 3PX	0,0000014	3	23,27	23,28	Rejeita
	U.G X 5PX	0,0000014	3	23,27	23,28	Rejeita
	U.G X 7PX	0,0000014	3	23,27	23,28	Rejeita

**Legenda:** U.G: umidade gravimétrica; PX: pixel. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

O que se observava aplicação do teste K-W é que a hipótese de similaridade dos dados analisados, nas médias de 3, 5 e 7 pixels, dos índices de NDVI e NDWI (nos campos de março e setembro/2018), foi rejeitada, apontando que, pelo menos, duas amostras de dados apresentam valores de variabilidade discrepantes entre si.

Portanto, para avaliar essas informações da hipótese alternativa (H<sub>1</sub>), aplicou-se o teste de comparação múltipla de Dunn, para compreensão de quais são os grupos de dados responsáveis pela rejeição da H<sub>0</sub>, nos valores do NDVI (Tab. 20) e do NDWI (Tab.21).

**Tabela 20:** Teste Dunn's post hoc para valores da estatística z dos valores médios de pixels do índice NDVI, para os campos em março e setembro, nas vertentes analisadas.

<b>Campo</b>		<b>U.G (z)</b>	<b>3M PX (z)</b>	<b>5 M PX (z)</b>	<b>7 M PX (z)</b>
<b>Março</b>	U.G	-----	3,602	3,532	3,567
	3M_PX	3,602	-----	0,05799	0,02899
	5 M_PX	3,532	0,05799	-----	0,02899
	7 M_PX	3,567	0,02899	0,02899	-----
<b>Setembro</b>	U.G	-----	5,013	4,785	4,785
	3 M_PX	5,013	-----	0,2279	0,2279
	5 M_PX	4,785	0,2279	-----	0
	7 M_PX	4,785	0,2279	0	-----

**Legenda:** U.G: umidade gravimétrica; M\_PX: média dos pixels. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

**Tabela 21:** Teste Dunn's post hoc para valores da estatística z dos valores médios de pixels do índice NDWI, para os campos em março e setembro, nas vertentes analisadas.

<b>Campo</b>		<b>U.G (z)</b>	<b>3M_PX (z)</b>	<b>5 M_PX (z)</b>	<b>7 M_PX (z)</b>
<b>Março</b>	U.G	-----	4,091	3,392	3,217
	3M_PX	4,091	-----	0,5799	0,7248
	5 M_PX	3,392	0,5799	-----	0,145
	7 M_PX	3,217	0,7248	0,145	-----
<b>Setembro</b>	U.G	-----	4,757	4,852	4,975
	3 M_PX	4,757	-----	0,09495	0,2184
	5 M_PX	4,852	0,09495	-----	0,1234
	7 M_PX	4,975	0,2184	0,1234	-----

**Legenda:** U.G: umidade gravimétrica; M\_PX: média dos pixels; z – vetor da estatística de Dunn. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

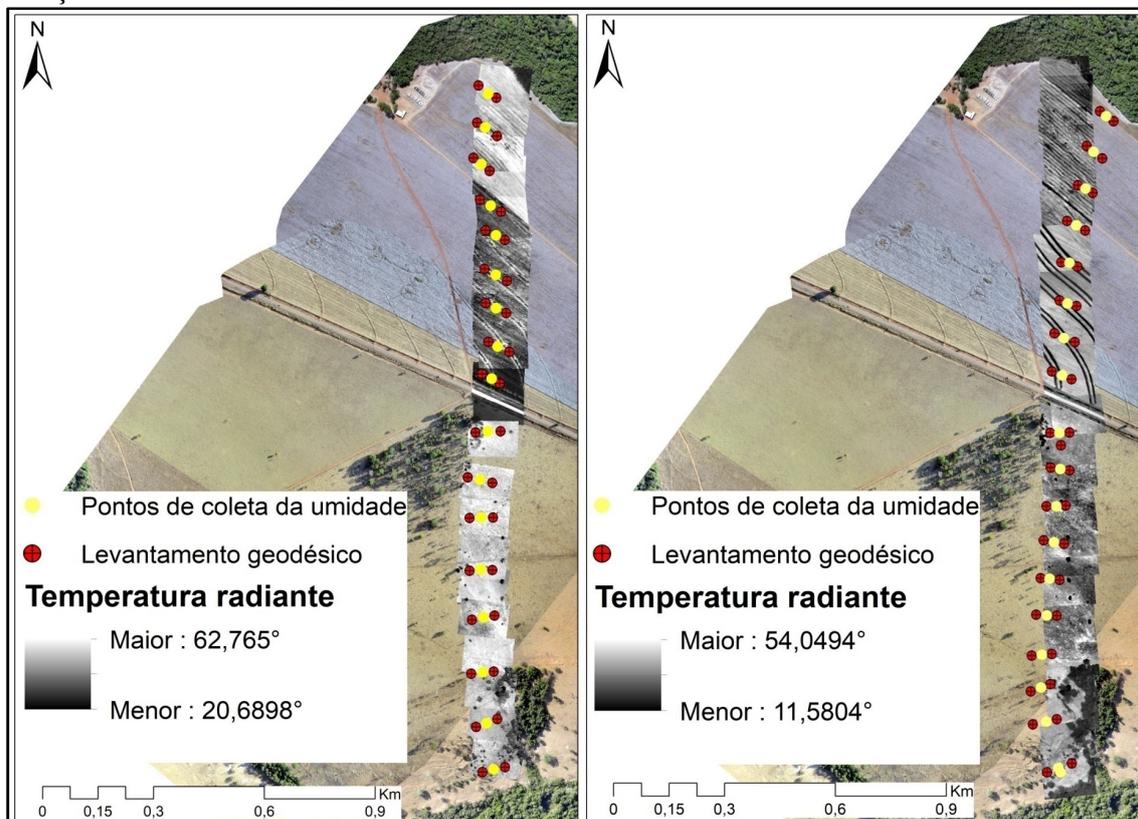
A análise dos dados apresentados pelo teste de Dunn demonstra que, em um nível de significância  $\alpha = 0.05$ , os conjuntos de valores dos índices (NDVI/NDWI), tendo a umidade do solo como amostra dependente, apresentam comportamentos distintos entre si, com diferenças de magnitude de maior força na média de 3pixels, e diminuindo quando aumenta-se os números de pixels(5 e 7) para os valores de NDVI, significando que o emprego do índice na predição dos dados de umidade aplica-se bem para o uso de valores com maior número de pixel. Essa tendência para o NDWI é menos evidente para o sobrevoo de setembro, contudo, em março, comporta-se igualmente.

#### 4.4.3 Temperatura radiante termal na análise hidro-pedológica das vertentes

Para os dados de temperatura radiante termal (câmera Flir T420), os valores extraídos estão apresentados na Figura 91. Em decorrência da dificuldade em mosaicar tais imagens, dada a ausência de sistema GNSS/georreferenciamento nesse instrumento,

tal procedimento foi realizado individualmente. Este fato, apesar de inviabilizar a sistematização das análises, não acarreta em prejuízos aos valores registrados pelo sensor, e nem à comparação com os dados de campo e mosaicos RGB.

**Figura 91:** Disposição das imagens termais nas vertentes estudadas no período de março e setembro de 2018..



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os imageamentos com o sensor Flir T420 seguiram os mesmos procedimentos descritos na metodologia, para os meses de março e setembro de 2018, com intuito de se relacionarem com dados de campo e dos imageamentos feitos com sensor multiespectral.

A observação dos valores de amplitude das imagens, para os dois períodos, evidencia grandes diferenças térmicas, em média de 42,076° e 42,469°, em março e setembro, respectivamente. Essas informações podem estar ligadas a fatores da relação sensor-alvos e com o tempo entre o primeiro imageamento e o último, para cada trajeto dentro dos voos, planejados para cada vertente.

Um fator a ser avaliado é a escala coroplética em níveis de cinza visualizados, que não representa alterações na relação refletância – alvos, mas, sim, no balanço de cor

de ajuste dos histogramas, que, para cada imagem, é feito separadamente, pois não houve mosaicação e balanço igualitário entre todas as imagens.

Para as datas de março e setembro, foram escolhidas 29 imagens para o primeiro mês e 41 para o segundo. Essa discrepância em números de imagens deve-se a fases de pré-processamentos (aumento de sobreposição vertical); eliminação de imagens com alguma interferência de fatores climatológicos; e de reajuste pós-processamento (arrastamento, sobreposição deslocada, entre outras situações).

Assim, organizou-se a Tabela 22 de forma a priorizar as imagens na ordem do terço inferior da vertente com pecuária (imagem de numeração 2624), encerrando com as imagens do terço inferior da vertente com agricultura (imagem de numeração 171), marcando a imagem de transição entre esses dois parâmetros (em negrito/italico).

**Tabela 22:** Dados das imagens termais utilizadas nas vertentes analisadas.

Voo de março						Voo de setembro					
Cod.	Ho.	T_min	T_max	T_med	Desv_P	Cod.	Ho.	T_min	T_max	T_med	Desv_P
2654	12:04:59	30,79	50,01	38,64	2,28	687	13:15:35	21,68	48,55	37,02	5,79
2648	12:04:17	28,95	50,3	39,44	2,52	683	13:15:07	25,25	48,32	38,69	4,53
2638	12:03:08	27,18	49,72	37,5	3,02	677	13:14:25	24,54	48,69	36,11	4,72
2632	12:02:24	26,92	45,73	39,08	1,33	705	13:17:41	23,17	44,85	33,72	5,16
2924	13:53:00	32,78	43,93	39,41	0,84	707	13:17:55	24,62	46,91	34,04	6,28
2914	13:51:50	30,81	43,32	38,68	1,29	413	12:43:37	26,48	49,98	40,35	5,07
2606	11:59:23	30,2	42,24	38,04	1,05	409	12:43:09	27,98	47,42	40,35	1,96
2910	13:51:36	30,52	43,53	38,06	1,05	399	12:41:59	28,15	48,06	40,02	1,70
2606	11:59:23	30,2	42,24	38,04	1,05	455	12:48:31	27,16	47,33	39,33	1,70
2594	11:57:59	32,75	62,76	39,02	1,03	387	12:40:35	26	45,26	37,12	2,36
2908	13:51:08	25,65	37,96	30,43	0,93	459	12:48:58	19,51	40,52	34,59	1,99
<b><i>2916</i></b>	<b><i>13:52:04</i></b>	<b><i>25,93</i></b>	<b><i>46,02</i></b>	<b><i>31,14</i></b>	<b><i>4,57</i></b>	373	12:38:57	23,02	44,31	36,95	2,27
2918	13:52:18	25,22	44,76	28,71	3,75	367	12:38:15	27,52	46,32	38,8	1,74
2926	13:53:14	25,01	34,7	27,1	1,09	361	12:37:33	26,58	44,69	38,9	1,51
2932	13:53:53	24,45	32,75	26,98	1,06	353	12:36:37	27,82	44,81	39,78	1,40
2936	13:54:24	23,01	31,88	26,6	1,03	347	12:35:55	28,41	45,21	39,97	1,61
2940	13:54:53	22,01	31	26,39	0,97	339	12:34:59	26,73	46,5	41,01	1,52
2944	13:55:20	23,01	30,28	25,85	0,93	335	12:34:30	26,3	50,8	41,96	2,39
2948	13:55:48	22,48	29,95	25,25	0,86	333	12:34:17	24,73	51,42	41,15	2,94
2954	13:56:30	22,41	29,39	25,15	0,86	329	12:33:49	25,24	53,91	41,33	3,54
2958	13:56:58	20,69	30,63	25,89	2,02	323	12:33:06	25,42	54,05	40,36	3,91
2968	13:58:08	22,91	31,58	28,76	1,39	<b><i>47</i></b>	<b><i>12:00:55</i></b>	<b><i>28,64</i></b>	<b><i>50,48</i></b>	<b><i>39,95</i></b>	<b><i>3,98</i></b>
2978	13:59:18	25,22	31,85	29,4	0,57	55	12:01:51	27,33	44,35	37,65	3,77
2980	13:59:32	24,62	32,02	29,65	0,59	57	12:02:05	25,87	43,14	36,84	3,77
2984	14:00:00	23,48	31,65	29,58	0,66	63	12:02:47	24,19	42,44	36,1	3,94
2988	14:00:28	23,92	32,23	29,37	1,91	73	12:03:57	21,58	41,8	34,81	4,17

2990	14:00:42	23,91	32,36	29,42	1,74	79	12:04:39	21,03	40,23	33,31	4,49
						89	12:05:35	16,87	41,17	32,14	4,08
						97	12:06:45	20,21	37,63	30,67	4,23
						103	12:07:27	18,95	37,11	30,92	3,86
						117	12:09:05	19,66	37,61	32,29	1,81
						127	12:10:15	18,17	38,69	32,12	1,94
						135	12:11:10	19,15	39,16	32,24	1,61
						141	12:11:53	24,91	37,75	31,91	1,65
						149	12:12:50	21,63	37,87	31,13	1,93
						155	12:13:31	21,36	39,87	30,66	2,00
						161	12:14:13	22,1	37,28	30,05	2,54
						163	12:14:27	16,25	36,87	29,02	2,58
						169	12:15:09	12,96	39,19	28,48	3,48
						171	12:15:23	11,58	36,97	25,18	4,45

**Legenda:** **Cod.:** Código numérico das imagens; **Ho:** hora do disparo da imagem via FLIR T420; **T\_max:** temperatura máxima da imagem; **T.min:** temperatura mínima da imagem; **T\_med:** temperatura média da imagem; e **Desv\_P:** desvio padrão da imagem.  
**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A Tabela 22 apresenta, de forma detalhada, informações relevantes para a compreensão do comportamento da temperatura radiante termal nas vertentes, nos dois períodos hidro-pluviométricos distintos, e, assim, relacionando os fatores ligados às respostas do sensor a cada estágio de cobertura com o RPA.

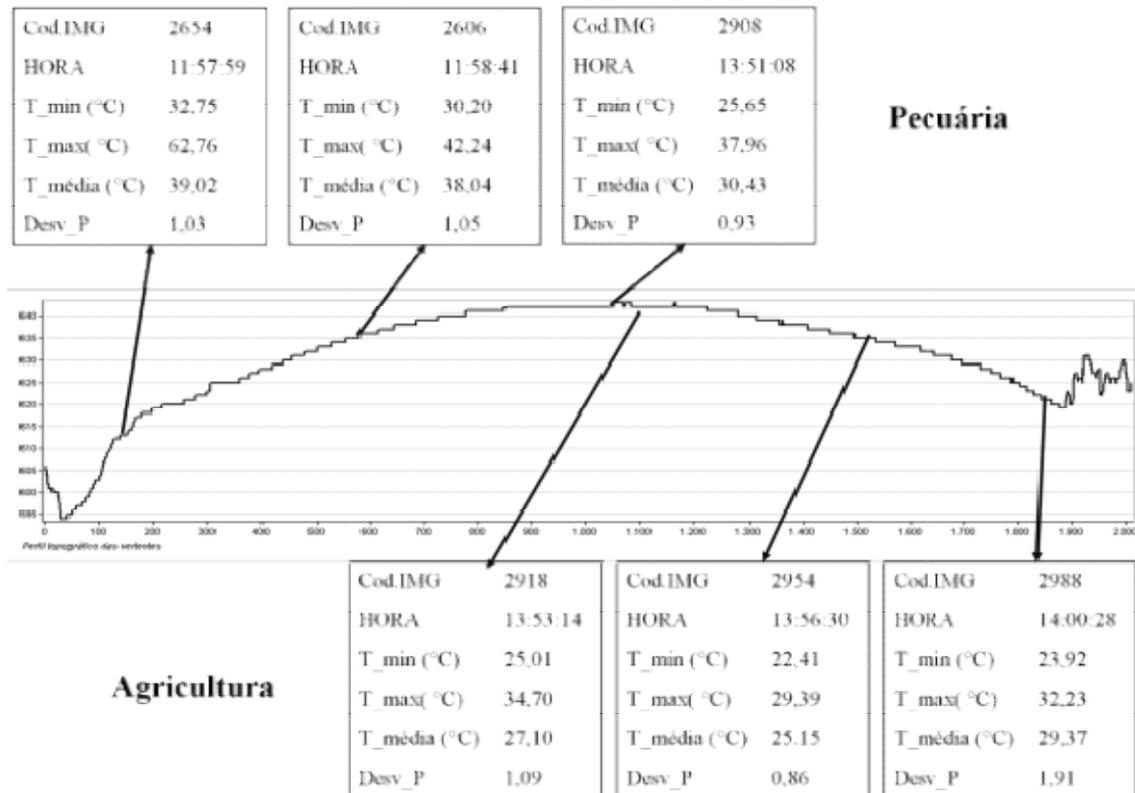
Nessas informações, destaca-se a amplitude de horas entre a primeira e a última imagem, que, em março, foi de 3h 1min e 19 segundos para completar os voos das duas vertentes, sendo que, desse tempo, foram necessários pouco mais de oito minutos para sobrevoar cada vertente, como restante gasto entre trocas de baterias, reposicionamento de pontos de controle e ajustes no equipamento para a decolagem.

Por outro lado, e já com maior aprendizado no manuseio do instrumento, essa amplitude de tempo nos voos de setembro foi drasticamente reduzida para uma hora e 17 minutos, ou seja, uma diminuição de 67% no tempo de cobertura das vertentes, contando com as mesmas diretrizes do primeiro voo, entretanto, com ajustes nos pontos de levantamento e chegada do RPA, assim como reorganização das trocas de baterias.

Outro ponto importante dos dados apresentados na Tabela 22 é a dispersão das temperaturas máximas e mínimas para os meses coletados, com grandes possibilidades de comparação, quando se avalia o traçado do perfil analisado para o voo de março (Fig. 92) e setembro (Fig. 93). Em uma primeira apreciação, é possível ponderar que o comportamento desses valores é muito disperso e pode estar relacionado às condições

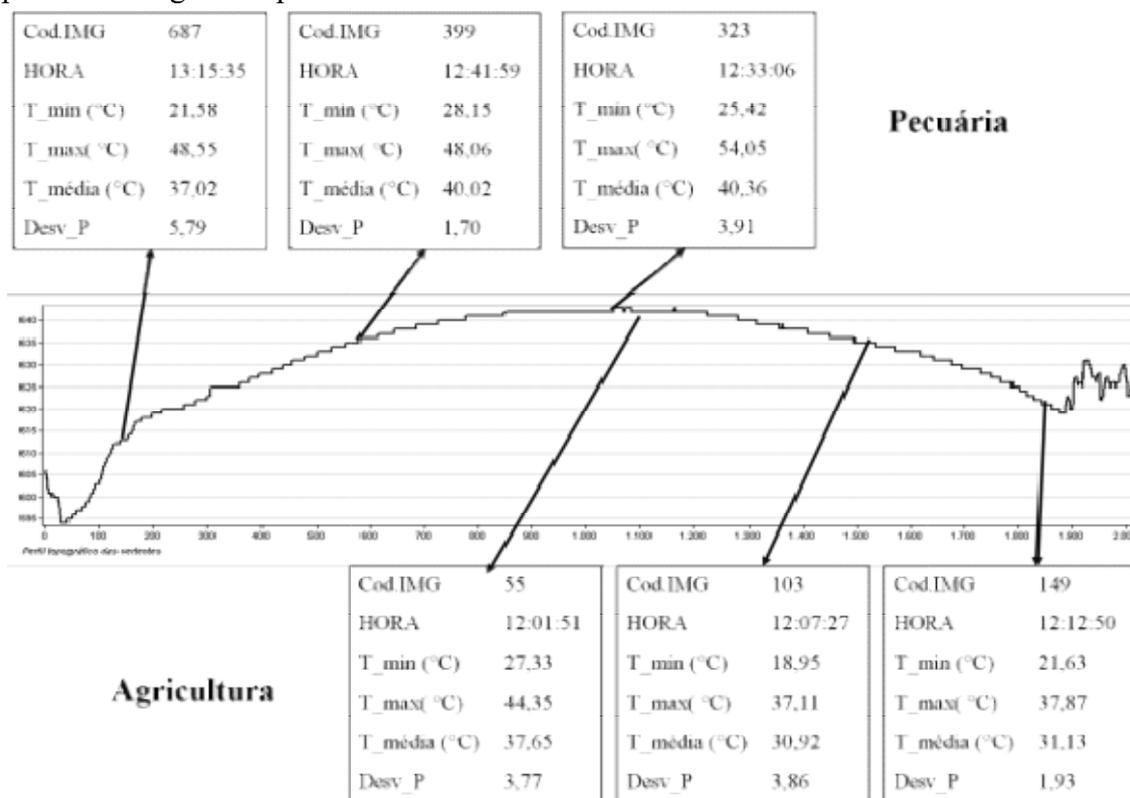
do relevo (rugosidade), uso do solo, horário da imagem e condição da planta/vegetação imageada.

**Figura 92:** Visualização dos dados termais referentes ao sobrevoo de março/2018, para seis imagens no perfil das vertentes analisadas.



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 93:** Visualização dos dados termais referentes ao sobrevoo de setembro/2018, para seis imagens no perfil das vertentes analisadas.



**Fonte:** Elaborada pelo autor.

Nos dados obtidos em março, as informações da temperatura radiante termal apresentam três situações que devem ser avaliadas para a vertente com pecuária. A primeira refere-se à discrepância de valores de temperatura máxima, que, para os três momentos, varia significativamente, sendo que o maior valor situa-se nas áreas com surgimento da laterita, um fator considerável, pois esse material, estruturalmente, concentra mais energia termodinâmica, devido às suas estruturas químicas. O segundo ponto da temperatura, no sentido do terço médio para o terço superior da vertente, com redução média de 5°C, fator ligado à mudança do horário de disparo da imagem, em cerca de uma hora e 49 minutos depois da imagem 2606. O terceiro ponto é a robustez das informações, pois, como apontam os desvios padrões das imagens, o erro é baixo.

As informações da vertente com agricultura apresentam menos discrepância dos dados, especialmente devido à situação contínua dos imageamentos, dentro do tempo médio estipulado (~8min.), onde não foram necessárias interrupções e alternância de fatores externos. O que chama mais atenção é o fato de que, no terço médio dessa vertente, os valores são menores que nas outras posições, podendo ser explicados pela

maior cobertura do solo com algodão plantado, que interage e altera o nível de temperatura radiante, em decorrência do maior volume de água na planta do que no solo exposto.

Nos dados obtidos em setembro, as maiores temperaturas estão plotadas no terço superior de ambas as vertentes, fato ligado ao menor crescimento vegetativo, conseqüente aumento de áreas expostas e elevação da temperatura da estrada (locais onde essas imagens avaliadas pegam em seu quadrante). Outro fato para essa data de voo é que suas imagens apresentam maiores desvios padrões, o que pode estar ligado a fatores da maior variabilidade dos alvos, como aumento significativo do solo exposto e amplitude de plantas em diversos estágios vegetativos, devido ao uso de secante, enquanto, na pastagem, seu vigor vegetativo é extremamente reduzido pelo período de maior estiagem.

Ao analisar os dois meses de forma a validar a mudança de temperatura em situação do deslocamento do perfil e das alterações de uso e pluviosidade das vertentes, os valores de temperatura mínima e máxima, assim como da média, alteram-se relativamente em proporcionalidade, ficando, em média, 5°C mais elevados em setembro, mês que o desvio padrão é 50% maior que em março.

Os dados termais apresentam fatores de análise estatística diferentes dos dados multiespectrais, em decorrência do mesmo ponto estático de umidade estar em alguns casos sobre mais de uma imagem termal. Significando que, para determinados pontos, há tréplicas com valores.

Seguindo com a análise dos dados multiespectrais, os valores da temperatura radiante termal foram separados em médias de 3,5 e 7 pixels para cada ponto de umidade coletado em campo, onde os dados estão sendo apresentados em dois conjuntos de avaliações, levado-se em conta as maiores abrangências das imagens usadas (Tab.23).

**Tabela 23:** Teste de distribuição da normalidade dos dados de umidade gravimétrica e médias da temperatura radiante termal para 3, 5 e 7 pixels das vertentes estudadas.

<b>Março</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b>	<b>Média 3 pixel Termal</b>	<b>Média 5 pixel Termal</b>	<b>Média 7 pixel Termal</b>
<b>1º Conjunto</b>				
Nº. Amostra	16	16	16	16
Shapiro-Wilk	0,6563	0,8546	0,8543	0,8601
p(normal)	0,00005792	0,01595	0,011579	0,01922
<b>2º conjunto</b>				
Nº. Amostra	8	8	8	8
Shapiro-Wilk	0,9058	0,8731	0,8887	0,8177
p(normal)	0,3256	0,1615	0,2275	0,04418
<b>Setembro</b>	<b>Umidade Gravimétrica</b>	<b>Média 3 pixel Termal</b>	<b>Média 5 pixel Termal</b>	<b>Média 7 pixel Termal</b>
<b>1º Conjunto</b>				
Nº. Amostra	16	12	12	12
Shapiro-Wilk	0,615	0,8798	0,8831	0,8757
p(normal)	0,0000225	0,08724	0,09613	0,07717
<b>2º conjunto</b>				
Nº. Amostra	11	11	11	11
Shapiro-Wilk	0,6474	0,8979	0,9258	0,9113
p(normal)	0,0000007392	0,174	0,3701	0,2525

**Fonte:** Elaborada pelo autor.

A distribuição dos dados termais apresenta duas situações bem definidas, No sobrevoo de março, o primeiro conjunto de dados é de não-parametrização, com valores abaixo do grau de significância de 5%. Contudo, o segundo conjunto de dados apresenta normalidade na distribuição, assim como para ambos os conjuntos do sobrevoo de setembro. Isso indica que o erro de posição do valor central de dispersão desses valores é baixo (i.e. média e desvio padrão).

Dessa forma, para avaliar estatisticamente os dados termais, serão realizados testes não-paramétricos para o conjunto de dados do sobrevoo de março, Kruskal-Willis (Tab. 24), e seu correspondente paramétrico, a Análise de Variância – ANOVA ONE-WAY (Tab. 25).

**Tabela 24:** Teste Kruskal-Wallis para valores das medianas dos pixels termais, referentes ao campo realizado em março/2018, nas vertentes analisadas.

Campo	Média dos pixels	Valor de P ( <i>p-value</i> )	Graus de liberdade	Valor observado ( $H_{obs}$ )	Valor crítico ( $H_{0,95}$ )	Hipótese Nula ( $H_0$ )
Março	Umidade X Medianas Pixel	0,0005082	2	17,69	17,7	Rejeita

**Tabela 25:** Teste ANOVA ON-WAY para valores das médias dos pixels termais, referente ao campo realizado em março/2018 nas vertentes analisadas.

Campo	Fonte de variação	Graus de liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	Estatística F	Valor P
Setembro	Tratamentos	3	2390,51	796,835	14,06	0,00000105
	Resíduos	48	2720,42	56,6755		
	Total	51	5110,93			

**Legenda:** U.G: umidade gravimétrica; PX: pixel. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

Os valores apresentados na Tabela 24 apontam para a rejeição da hipótese nula, em que os dados apresentam funções de distribuições iguais, denotando que pelo menos dois dos valores das medianas dos pixels da temperatura radiante termal diferem-se entre si. Portanto, aceita-se a hipótese alternativa.

No caso da Tabela 25, observa-se que há uma grande variação entre os dados termais, devido aos valores da soma dos quadrados totais. A soma de quadrados dos tratamentos mede a variação entre as médias dos pixels de cada ponto disperso na vertente para o sobrevoo de setembro. De modo geral, a umidade do solo explica 46,7% dos valores termais para os pixels em suas médias de 3, 5 e 7.

Outro ponto a ser analisado é que pelo menos dois conjuntos de médias são significativamente diferentes para a umidade do solo, o que é corroborado pela Estatística F, derivada da distribuição F de Fisher-Snedecor, que, no caso, seria de 3,24, onde se alcançou pela referida tabela o valor de 14,06.

A avaliação dos dados não-paramétricos e paramétricos encontrados no conjunto dos dados de março e setembro, respectivamente, é perspicaz para validar as discussões propostas, em que a hipótese nula é rejeitada, ou seja, validando-se a hipótese alternativa, em cuja há dados nos conjuntos que se diferem entre si. Contudo, apenas por meio dos testes de verificação é possível constatar onde estão essas diferenças. Assim, para o mês de março foi aplicado o teste de Dunn (Tab. 26) e para o mês de setembro o teste de Tukey (Tab. 27).

**Tabela 26:** Teste Dunn's post hoc para valores da estatística z dos valores médios de pixels termiais para o campo de março nas vertentes analisadas.

<b>Campo</b>		<b>U.G (z)</b>	<b>3M PX (z)</b>	<b>5 M PX (z)</b>	<b>7 M PX (z)</b>
<b>Março</b>	U.G	-----	0,0006955	0,0008665	0,0003641
	3M PX	0,0006955	-----	0,9516	0,8623
	5 M PX	0,0008665	0,9516	-----	0,8148
	7 M PX	0,0003641	0,8623	0,8148	-----

**Legenda:** U.G: umidade gravimétrica; M\_PX: média dos pixels.

**Tabela 27:** Teste Tukey post hoc para valores da estatística dos valores médios de pixels termiais para o campo de setembro nas vertentes analisadas.

<b>Campo</b>		<b>U.G</b>	<b>3M PX</b>	<b>5 M PX</b>	<b>7 M PX</b>
<b>Setembro</b>	U.G	-----	0,00003353	0,00003202	0,00003099
	3M PX	7,209	-----	1	1
	5 M PX	7,228	0,01797	-----	1
	7 M PX	7,242	0,03069	0,801272	-----

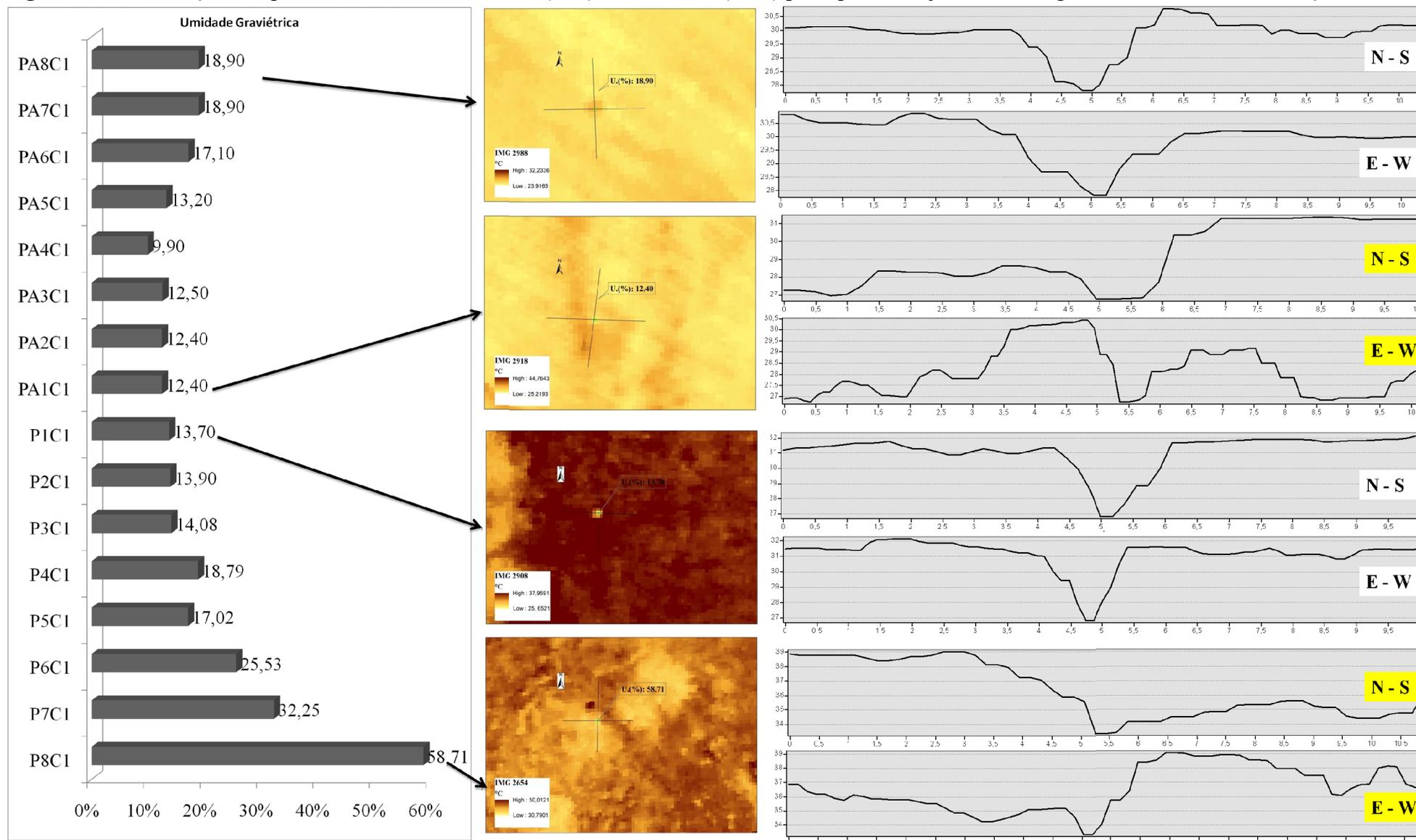
**Legenda:** U.G: umidade gravimétrica; M\_PX: média dos pixels. **Fonte:** Elaborada pelo autor.

De modo geral, o teste de validação Dunn, em março, apresenta que as medianas dos pixels termiais são diferentes para a dependente umidade, mas não se diferem entre si, em significância de 5%, quanto ao número de pixels médios 3, 5 ou 7. Em relação ao teste de Tukey, para os dados parametrizados, todas as médias de pixels sofrem alterações em relação aos valores da umidade do solo.

Dessa forma, o dado termal comporta-se diretamente relacionado às interações com os alvos dispersos na superfície (i.e. rugosidade do terreno, espessura da vegetação, fenótipo da vegetação, afloramento rochoso, solo exposto, etc.), de modo que sua relação está vinculada aos dois pontos centrais elencados por essa pesquisa: valores hidro-pedológicos (i.e. umidade do solo) e correlação com dados multiescalares dos sensores multiespectral (i.e. os índices espectrais: NDVI e NDWI).

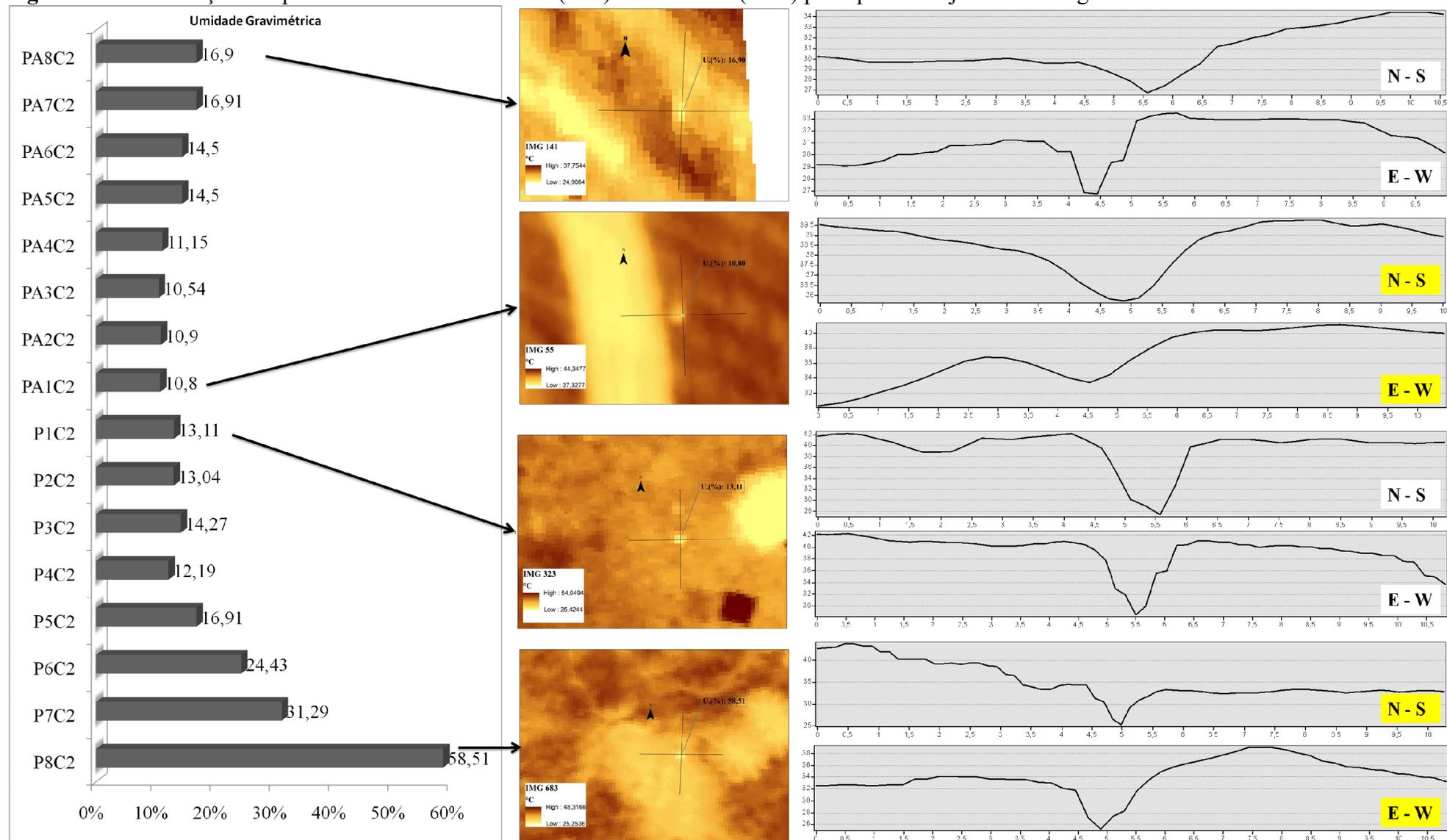
Os dados de temperatura para o perfil das vertentes nos mostram que seu comportamento pode ser relacionado à quantidade de água presente naqueles pontos (Figuras 94 e 95), onde os valores dos pixels em perfis de 10 metros, sentido Norte-Sul e Leste-Oeste, apontam diminuição da temperatura na centralidade, onde encontra-se o pixel de coleta de umidade. Mostram ainda um comportamento relativamente simétrico na dispersão lateral, denotando estabilidade entre a dispersão da temperatura de superfície no entorno do ponto coletado.

**Figura 94:** Visualização dos perfis de 10 metros norte-sul (N-S) e leste-oeste (E-W) para quatro conjuntos de imagens termais no voo de março/2018. .



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 95:** Visualização dos perfis de 10 metros norte-sul (N-S) e leste-oeste (E-W) para quatro conjuntos de imagens termais no voo de setembro/2018.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os valores baixos no pixel central dos perfis são derivados do material autoreflexivo que estava posto como ponto de controle para os levantamentos com RPA (vide metodologia na Figura 32). Por outro lado, é possível notar que o comportamento dos valores de temperatura mantém uma boa regularidade em ambos os sentidos dos perfis, possibilitando aferir que a conduta da umidade para áreas próximas ao ponto de coleta representa boa dispersão e confiabilidade.

Para avaliar os fluxos de energia na superfície da terra, considerando-se o teor de umidade do solo, foram desenvolvidos diversos métodos. Em sua maioria, esses métodos consideram duas variáveis específicas como percussoras dessa relação: índices de vegetação (IV) e a temperatura de superfície terrestre (*Land Surface Temperature - LST*). Esses métodos são amplamente testados em áreas diversificadas do globo, utilizando-se massivamente imageamentos satelitários para geração das constantes IV/LST (VERSTRAETEN et al., 2006; PETROPOULOS et al., 2009; YANG et al., 2015).

Esse pressuposto metodológico, de acordo com Carlson (2007), é denominado de método do “triângulo”, ou método do trapézio (PETROPOULOS et al., 2009). Basicamente, consiste na plotagem dos valores de um índice de vegetação, no caso o NDVI, devido à sua ampla abordagem testada em muitos trabalhos, e a temperatura de superfície decorrente dos levantamentos com o sensor Flir, em forma de um gráfico bidimensional.

Conforme Carlson (2007), o gráfico de dispersão, a partir dessas duas constantes, onde se tenha uma grande quantidade de valores de ambas as variáveis, resultará em uma figura geométrica similar a um triângulo, ou, eventualmente, a um trapézio. Sendo que as bordas desse triângulo serão agrupadas em áreas com maior densidade de vegetação, tendendo a serem mais frias, e bordas com vegetação espessa ou sem cobertura vegetal, que são consideradas bordas quentes. De forma geral, o triângulo surge porque o intervalo de temperatura de superfície diminui à medida que a densidade de vegetação (valor de NDVI) aumenta, formando uma faixa estreita de variação da temperatura de superfície sobre a vegetação densa (CARLSON, 2007).

O entendimento central do método é que, a partir de uma quantidade suficientemente grande de observações, que reflita a ampla faixa de variação de

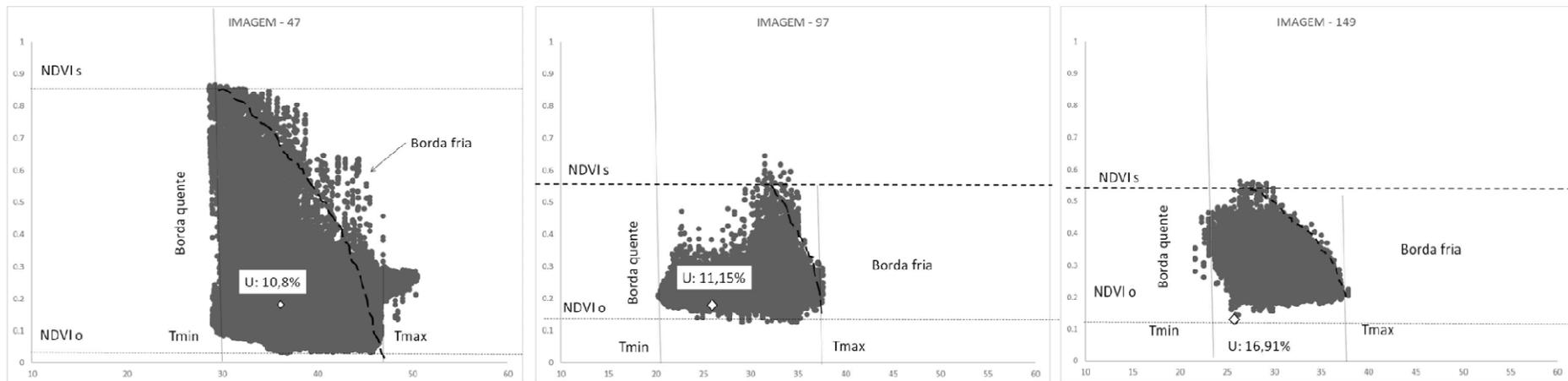
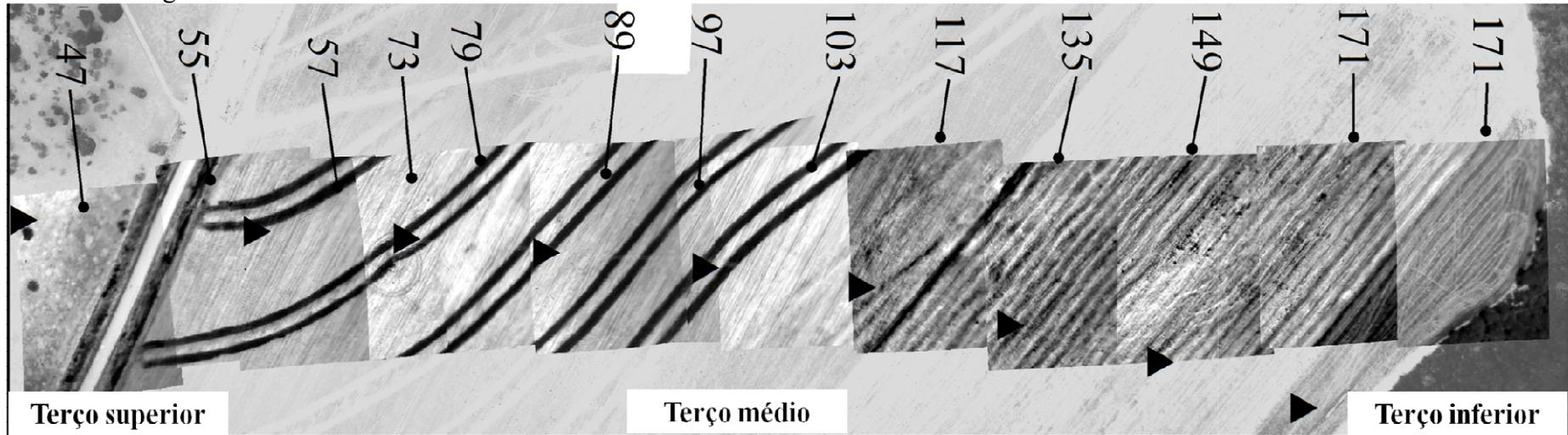
umidade da superfície do solo e da cobertura vegetal, é possível gerar fronteiras nítidas em um gráfico NDVI x LST, as quais refletem limites físicos reais, ou seja, áreas completamente secas (ou com umidade próxima à umidade residual), ou áreas mais úmidas (ou com umidade próxima à capacidade de campo) (CARLSON, 2013).

Diferentemente dos imageamentos satelitários, os quais, normalmente, necessitam de ajustes e correções, devido às condições atmosféricas que interagem e dispersam a energia eletromagnética, com os dados coletados via RPA, com emprego de sensores bastante próximos à superfície (i.e., com baixa interferência atmosférica) e com níveis de correções internas (no caso da flir, para temperatura, velocidade do vento, emissividade, etc.), o ganho da utilização desse método do triângulo é inovador para a aplicação dessa pesquisa, onde o nível de dados foi exponencialmente superior ao de uma cena de satélite (mesmo com alta resolução espacial), com respectivos índices gerados.

Como prerrogativa do método, foram avaliados somente os dados de setembro/2018, pois, como já explicado, o levantamento no mês de março sofreu com problemas com a plataforma de imageamento (com danos estruturais no equipamento eBee), com quase 60% de falha de sobreposição entre os voos multiespectrais e termal, o que inviabilizou os procedimentos de coleta de dados para comparação por meio do método do triângulo.

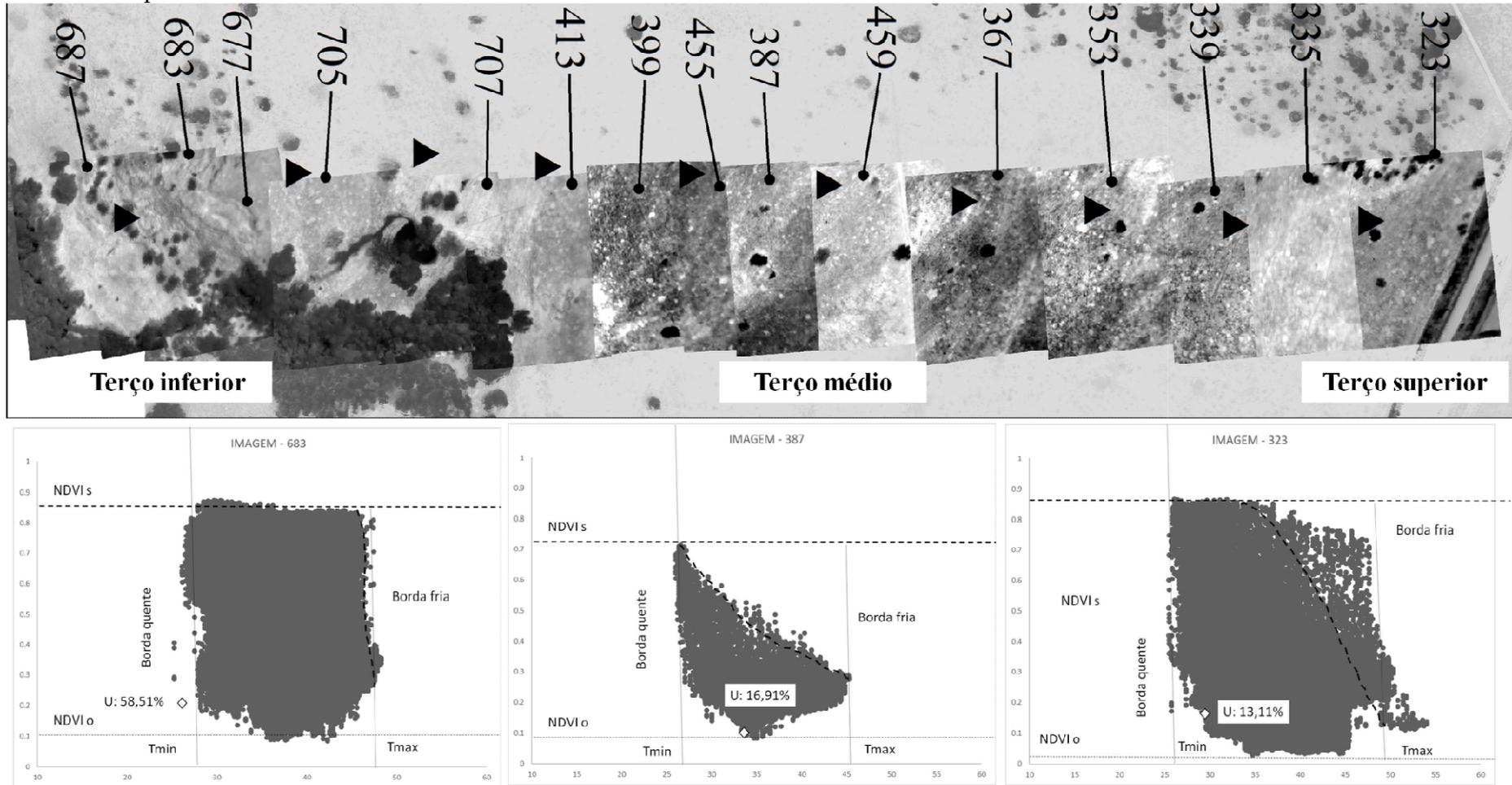
O método de avaliação do triângulo/trapézio apresenta uma possível relação com os valores da umidade coletados ao longo das vertentes, para o mês de setembro (Figs. 96 e 97), devido à sua natureza de construção, que, no caso, foi realizada a partir de pouco mais de 250 mil pixels de temperatura radiante, e o mesmo valor de NDVI, algo inédito para análises do método. Inferindo, dessa forma, uma nova possibilidade de abordagem, ao utilizar dados de grande detalhe (centimétrico) para minimizar interferências atmosféricas e potencializar a precisão de aferição.

**Figura 96:** Exemplificação do triângulo universal para os dados de temperatura radiante e valores do NDVI no voo de setembro/2018 para a vertente com agricultura..



Fonte: Elaborada pelo autor.

**Figura 97:** Exemplificação do triângulo universal para os dados de temperatura radiante e valores do NDVI no voo de setembro/2018 para a vertente com pecuária.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Os triângulos/trapézios produzidos mostram-se relativamente alterados no transcorrer das vertentes. Para a agricultura (Fig. 96), o seu formato é mais parecido com um trapézio, ao concentrar menor ação clinográfica, o que desempenha maior controle nas ações hidro-pedológicas, e, em decorrência, também, de apresentar em sua cena uma área maior com mata de reserva legal, com valores de NDVI maiores, inclinando o eixo esquerdo do trapézio. Na sequência, no deslocamento para o terço médio da vertente, vislumbra-se uma menor dispersão dos valores NDVI, e também menor amplitude de diferenças térmicas, derivado da homogeneidade dos alvos encontrados nessa imagem (plântio de algodão). Conseqüentemente, o triângulo/trapézio do terço inferior para essa vertente apresenta uma reestruturação do seu formato, com valores de NDVI e temperatura com menores amplitudes, demonstrando que a presença de solo exposto, nessas imagens, interfere diretamente na orientação da borda quente.

Os formatos dos triângulos/trapézios para a vertente com pecuária são mais heterogêneos e demonstram uma correlação direta com os alvos de cada imagem utilizada nessa configuração, onde, no terço superior, a dispersão de valores é mais concentrada em médias que mantêm a figura bem centrada e valores do NDVI praticamente atingindo toda sua escala positiva. Mas, ao se deslocar ao terço médio, diminui-se a dispersão de vegetação no solo e aumenta-se os pontos de solo exposto, com NDVI escalonado mais em pontos de baixa amplitude, o que ocasiona maior protuberância no vértice da borda quente, ficando mais aguda. Enquanto no terço inferior da vertente, o formato equivale-se a um trapézio delineado e estável, apontando uma dispersão de temperatura controlada e alto grau de correlação entre os valores de NDVI e a temperatura radiada pelos alvos. Cabe lembrar que essa imagem apresenta-se em uma área de grande cobertura vegetal e de altitudes menos elevadas, permanecendo úmida grande parte do ano.

Os dados conduzidos nos perfis das vertentes apontam para uma boa correlação entre os valores termais e a umidade coletada, pois, como observa-se, os triângulos apresentam formas mais próximas à sua estrutura geométrica, onde a temperatura equilibra-se no intervalo de 30°C – 40°C, apoiados por distribuição dos valores espectrais do NDVI acima de 0. Portanto, neste caso, ressalta-se que a temperatura da vegetação não varia no espaço, com as variações de temperatura no triângulo refletindo apenas nas superfícies com solo exposto, e, dessa forma, sua baixa condição de umidade.

Portanto, o uso conjuntivo dos sensores multiespectrais e termal RPA utilizados, apontam para grandes correlações e aumento de eficiência em avaliações multiescalares, no sentido que, a precisão centimétrica apoiada pelas técnicas de validação em campo corroboraram para melhor compreensão da dispersão da água, assim como, de maior riqueza de detalhes na elaboração dos índices de vegetação usados.

Dessa forma, o método de utilização de índices espectrais, de vegetação e valores termais se auto-equivaleram na montagem dos resultados, pois, a construção do aporte técnico, metodológico e teórico possibilitaram uma avaliação sistêmica dos componentes naturais, e assim, sua espacialização por meio do sensoriamento remoto foi de maior eficácia, em ambas forma de uso da terra, e conseqüentemente cobertura vegetacional encontrada. Demonstrando sua capacidade de ser empregada em diversas outras perspectivas de análises ambientais.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta pesquisa, destacou-se as características de vertentes no Cerrado mato-grossense, com predominância de uso antrópico com pastagem e agricultura, analisadas numa perspectiva hidro-pedológica e geossistêmica, a partir de levantamentos aéreos com RPA e multisensores.

Ao pesquisar um dos elementos de maior variação e impacto socioambiental no globo terrestre, isto é, o solo, foi importante compreender suas dinamicidades e especificidades na área de estudo, superando os limites normalmente impostos pela escala de análise, tanto pela nova tecnologia disponível para mapeamentos (RPA), quanto pelo reconhecimento detalhado de campo (*in loco*). Buscando-se, assim, o estabelecimento de uma correção dessas metodologias, com uma possível extrapolação (mais precisa e controlada) para as variáveis estudadas nesta tese.

Dessa perspectiva complexa e desafiadora, foi possível entender a influência do relevo, do solo e da cobertura vegetal sobre a umidade do solo, testando-se novas metodologias de coleta, tratamento e apresentação dos resultados.

Portanto, as vertentes da área de estudo, elecandas e mapeadas com nível detalhado de centímetros de precisão, a partir de técnicas avançadas de sensoriamento remoto, embarcado em Aeronaves Remotamente Pilotadas, expressam esse entendimento para uma área de estudo com grande representatividade em termos de constantes hidro-pedológicas e geomorfológicas, nessa morfoestrutura do estado de Mato Grosso - a Bacia Sedimentar do Paraná -, com suas peculiaridades, respondendo assim, nosso primeiro objetivo específico, um desenho experimental representativo e de alto detalhamento.

O uso da terra nas duas vertentes expressa, ao longo das últimas duas décadas, uma estrutura superficial alterada com intensidades e estágios diferentes entre pecuária e agricultura, com a supressão da vegetação nativa, o Cerrado. O que condiciona valores físico-químicos diferentes na camada superficial das vertentes, denotando um horizonte O antropizado e sem resquícios de estruturação original.

Em termos físicos, a geomorfologia das vertentes é fortemente atrelada a uma couraça ferruginosa (laterita) que controla os processos hidro-dinâmicos e, de forma indireta, os fatores pedogênicos formadores do latossolo amarelo, encontrado nessas

vertentes, a exemplo do colo topográfico e do próprio ponto de surgimento da laterita (terço inferior), na vertente com pecuária. Desse modo, não se pode afirmar que essa classe de solo é exclusivamente originária dessa formação superficial ferruginosa, devido à grande diversidade mineral e química avaliada para amostras em diferentes pontos, ao longo das vertentes.

Os comportamentos dos elementos granulométricos, químicos e minerais, dispersos nas vertentes, apontam para a afirmação litoestratigráfica predominante, Formação Marília, de presença massiva de solos de base arenítica, pouco estruturada, e com presença abundante de Sílica, ou de minerais das outras litoestratigrafias, como feldspatos.

A granulometria de maior amplitude, em todos os pontos amostrados, foi de areia, com maior porcentagem de areias médias, mostrando que os processos hidropedológicos são presentes e atuantes, quebrando a estrutura grosseira dos materiais bases, e transformando-os em partes de menor resistência à ação da água.

No tocante aos valores químicos encontrados para os pontos levantados, esses apresentam-se com grande dispersão de Sílica e Alumina, com menor fator de Óxido de Ferro e Titânio, contudo, viabilizando o entendimento da dinâmica litoestratigráfica e hidro-pedológica debatida no contexto da pesquisa, com uma variação da Sílica decaindo em sentido aos terços inferiores das vertentes.

A utilização das técnicas de coleta de campo, por meio de pontos de controle e trincheiras pedológicas, mostrou-se muito eficiente e precisa, a partir da escolha dos pontos via imageamento de alta precisão com RPA, de forma a efetivar uma padronização de maior rigor metodológico, diminuindo ações que não gerariam resultados satisfatórios.

Portanto, o emprego de coletas sistemáticas e robustamente testadas foi melhor aproveitado com a utilização de modelos de terrenos de alta precisão (em escala centimétrica), viabilizando menor erro de coleta, proporcionando resultados mais quantificáveis e validados pelas análises posteriores.

Um dos principais entendimentos da pesquisa está calcado na compreensão dos valores de campo e como esses podem ser avaliados em multiescalas e multisensores, embarcados em RPA, no caso os sensores termal e multiespectral. A relação hidro-

pedológica nas vertentes começou a ser compreendida por meio da escolha e coleta de pontos que forneceram parâmetros físico-químicos dos solos, Porém, a ação da água nesse sistema foi trabalhada por dois vieses bem claros, o primeiro pela infiltração, e o segundo, e mais necessário para a pesquisa, a umidade do solo.

Dessa forma, os valores de infiltração nas vertentes apresentaram relatividade com os dados dos componentes físico-químicos dos pontos, expondo que os valores de entrada de água no sistema é mais acelerada na vertente com pecuária, e, de forma mais progressiva e homogênia, na vertente com agricultura, fator derivado da surgência da laterita e do relevo mais plano.

A umidade coletada pelo método gravimétrico apontou diferenças nos valores entre vertentes, especialmente em seus terços inferiores, sendo que, no uso pecuário, os valores superaram em 50%, enquanto, no uso de agricultura mecanizada, em média de 18%. Apontando, assim, que a surgência da laterita modifica a hidrodinâmica local, condicionando um regime totalmente centrado em sua estrutura. E dessa forma, responde-se categoricamente outro objetivo, o de caracterização dos elementos pedológicos, geomorfológicos e hídricos..

Como forma de avaliar e responder às indagações da tese, por meio de levantamentos multiescalas e como emprego de multisensores – termal e multiespectral – embarcados nas Aeronaves Remotamente Pilotadas, foram obtidos dados com alto grau de importância e relação, comprovados estatisticamente em testes de correlações, assim como, por métodos de avaliação da relação umidade, índice espectral e temperatura de superfície.

Os dados com melhor representatividade das variações de umidade foram os gerados pelos índices de vegetação normalizada, NDVI, e o índice normalizado de água na superfície, NDWI, ambos com forte estatística de correlação e respostas quando postos à prova com os valores coletados *in situ*, em especial dados granulométricos e químicos, apontando uma variação em decorrências desses elementos nos transectos das vertentes.

Os dados termais, entre todos, foram os que melhor responderam às mudanças de valores de água na superfície, pois, esses se alteram em detrimento da alternância de porcentagem da água para as camadas mais superficiais. O uso de RPA, neste tipo de

pesquisa, apresentou-se com avanços significativos e inéditos para o estudo de vertentes no Cerrado, em especial nesta região do estado do Mato Grosso. Sendo, portanto, fundamental nas aplicações de novas metodologias de análises multiescalares. O que responde nosso terceiro objetivo, onde os dados obtidos pelos multisensores embarcados nos RPA foram capazes de auxiliar no diagnóstico dos componentes hidro-pedológico e geomorfológico, e, em alguns casos avançar na elaboração de novos dados que podem ser aplicados para essas vertentes.

Visto que, a partir das metodologias testadas e validadas em campo, foi possível estimar valores físico-químicos por meio de dados multiespectrais, gerados com diferentes tipos de plataformas aéreas e sensores, o que possibilitou responder nossa primeira hipótese, o ganho sinóptico gerado pelos mapeamentos de alta-resolução espacial, e maior agilidade temporal é real e ainda mais eficiente quando se utiliza sensores de grande capacidade espectral (melhor delineamento das faixas), e menor interferência dos fatores atmosféricos.

A segunda hipótese levantada foi refutada, em partes devido a duas condições básicas: a) os dados multisensoriais são mais eficientes somente se o aparato de campo for robusto e bem detalhado e, b) a inversão da ordem entre levantamentos com multisensores embarcados nos RPA não propiciam melhor precisão dos dados naturais encontrados em campo, ou seja, sem a ordem de levantamentos em campo primeiro, a espacialização das informações coletados pelos sensores é praticamente ineficiente, já que as dinâmicas naturais não serão consideradas pelos valores espectrais.

A pesquisa mostrou duas grandes vantagens, a primeira é que os sensores utilizados perpassam o uso de embarques em RPA e podem ser usados em aviões o que levaria a outros patamares de áreas imageadas e velocidade de processamento, apontando assim, a grande capacidade destes em relação a outros tipos de SR. E desse modo, guardando suas características técnicas de fabricas como tempo de arraste, disparo e sensibilidade aos alvos poderiam ser bem aproveitados em diversos outros estudos que necessite de aplicações em faixas espectrais que eles atuam.

O segundo ponto de relevância é o sensor termal, sua aplicação em estudos ambientais vem ganhando espaço e maiores ações nos últimos anos (informação disponível nas inúmeras bibliografias usadas nessa pesquisa), comprovando sua maior estabilidade, ganho de qualidade e calibração, assim como, de maior resolução espacial,

um dos maiores gargalos desse tipo de sensor (i.e. satelitários). Contudo, o seu emprego ainda apresenta grandes limitações, seja técnica, ou operacional, devido a diversos fatores, entre eles a capacidade de georreferenciamento das imagens, muitos dos sensores hoje apresentam os tags, formato de sobreposição via softwares de processamento especializados, entretanto, as imagens termais geradas são complexas, pois em sua maioria um leve mudança na temperatura da superfície, ação de ventos ou inclinação das folhas ou alvos, pode alterar a temperatura.

Em relação a operacionalidade a evolução no tamanho e instalação em diversas plataformas foi algo muito visível, a ponto de ter-se no mercado sensores de pequenas dimensões e grandes capacidades de captura, o usado para imagear as áreas nessa pesquisa não se encaixa nesses padrões o que gerou grandes desafios de adaptação e manuseio para extrair seu melhor.

Portanto, essas informações podem servir de base para próximos trabalhos de aplicação das condicionantes estudadas, de modo a prevenir determinados percalços técnicos, permitindo-se avançar em análises de maior amplitude escalar, em nível de satélite (*downscaling*), e/ou com o desenvolvimento de novas diretrizes com RPA (*upscaling*), que possam ser empregadas em outras regiões do Cerrado, com diferentes tipos de uso do solo.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AB'SABER, A. N. **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário**. São Paulo: Geomorfologia, nº 18, 1969.
- ACEVO-HERRERA, R.; AGUASCA, A.; BOSCH-LLUIS, X.; CAMPS, A.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, N.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, C. **Design and First Results of an UAV-Borne L-Band Radiometer for Multiple Monitoring Purposes**. Remote Sensing, 2(7), 1662-1679, 2010.
- AHMAD, A.; ZHANG, Y.; NICHOLS, S. **Review and evaluation of remote sensing methods for soil-moisture estimation**. SPIE Reviews, 028001-1 Vol. 2, 2011.
- ALBUQUERQUE, J. C.; LUCENA, S. C.; CAMPOS, C. A. V. Investigação sobre o uso de VANTs em Redes DTN para cenários de Emergência. **In: Anais do XIX Workshop de Gerência e Operação de Redes e Serviços– WGRS**. 5 a 9 de Maio de 2014, Florianópolis - SC, 2014.
- ALMEIDA, J. **Normas de Segurança para Implantação dos VANT Civis no Espaço Aéreo Brasileiro: uma nova abordagem**. Conexão SIPAER, v. 2, n. 1. 2010.
- ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D. **Termografia infravermelha aplicada à inspeção de edifícios**. Acta Tecnológica, vol. 7, Nº 1, 55–59, 2012.
- ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R.; SILVA, J. R.; FERREIRA, M. E. **Validação de ortomosaicos e modelos digitais de terreno utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT**. Revista Brasileira de Cartografia Nº 67/7: 1453-1466, 2015.
- ALVES, J. E. D. **A transição demográfica e a janela de oportunidade**. São Paulo, Instituto Fernand Braudel de Economia Mundial. Disponível em: <[https://fernandonogueiracosta.files.wordpress.com/2010/08/transicao\\_demografica.pdf](https://fernandonogueiracosta.files.wordpress.com/2010/08/transicao_demografica.pdf)>. 2008. Acesso em: Agosto de 2015.
- AMARAL, N. D. **Noções de conservação do solo**. – 2ª. ed. – São Paulo: Nobel, 1984.
- ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial RBAC-E nº 94**, Resolução nº 419, de 2 de maio de 2017.
- ANAC. AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. Instrução Suplementar - IS nº 21-002. **Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados**. Publicada em 4 de outubro de 2012.
- ANDRADE, H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; DEMATTÊ, J. L. I.; ANDRADE, F. V. **Pedogeomorfologia e micropedologia de uma sequência Latossolo - Areia Quartzosa Hidromórfica sobre rochas cristalinas do Estado do Amazonas**. Geonomos, 5(1): 55-66, 1997.
- ANTONUCCI, F.; PALLOTTINO, F.; COSTA, C.; RIMATORI, V.; GIORGI, S.; PAPETTI, P.; MENESATTI, P. **Development of a Rapid Soil Water Content Detection Technique Using Active Infrared Thermal Methods for In-Field Applications**. Sensors, 11, pp. 10114-10128, 2011.
- BACHMAIR, S.; WEILER, M. **Interactions and connectivity between runoff generation processes of different spatial scales**. Hydrological Process. 28, 1916–1930, 2014.
- BAIN, D. C. **A titanium-rich soil clay**. J. Soil Science. v. 27,n.1, p.68-70, 1976.

- BAIZE, D.; GIRARD, M. C.; BOULAIN, J.; CHEVERRY, C. L.; RUELLAN, A. Um referencial pedológico. Por quê? In: **Présentation Du Referenciel Pedologique au Congrès International de Science du Sol**. Afes, p. 45-57, 1990.
- BARBOSA, A. S.. **Andarilhos da Claridade: os primeiros habitantes do Cerrado**. Goiânia GO, UCG, Instituto Trópico Subúmido, 2002.
- BAYARJARGAL, Y.; KARNIELI, A.; BAYASGALAN, M.; KHUDULMUR, S.; GANDUSH, C.; TUCKER, C. J. **A comparative study of NOAA–AVHRR derived drought indices using change vector analysis**. Remote Sensing of Environment 105, 9–22, 2006.
- BAYMA, A. P.; SANO, E. E. **Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma Cerrado**. Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos, Curitiba, v. 21, no 4, p.797-813, out-dez, 2015.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2008.
- BERNI, J. A. J. ; ZARCO-TEJADA, P. J.; SUAREZ, L.; FERERES, E. **Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing ( Volume: 47, Issue: 3, March 2009.
- BERTONI, J. **O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. Bragantia. IAC, Campinas. V. 18(1) . p.113-140, 1959.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. – 8ª. ed. – São Paulo: Ícone, 2012.
- BOEGH, E.; THORSEN, M.; BUTTS, M. B.; HANSEN, S.; CHRISTIANSEN, J. S.; ABRAHAMSEN, P.; HASAGER, C. B.; JENSEN, N. O.; VAN DER KEUR, P.; REFSGAARD, J. C.; SCHELDE, K.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. **Incorporating remote sensing data in physically based distributed agro-hydrological modelling**. Journal of Hydrology 287:279–299, 2004.
- BRANDÃO, V. S.; CECÍLIO, R. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Infiltração da água no solo**. – 3.ed. Atual e ampliada. – Viçosa: Ed. UFV, 2006.
- BRANDO, P. M.; GOETZ, S. J.; BACCINI, A. **Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon**. PNAS, 107(33): 14685–14690, 2010.
- BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado: Projeto TerraClass Cerrado**. – Brasília: MMA, 2015.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SD. 21. Cuiabá**. Rio de Janeiro, 1982a.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE. 21. Corumbá**. Rio de Janeiro, 1982b.
- BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. PROJETO RADAMBRASIL. **Folha SE. 22. Goiás**. Rio de Janeiro, 1982c.
- BRASIL. Ministério da Defesa. **MD 35-G-01: glossário das Forças Armadas**. Brasília, DF, 2007.
- BRIENZA, A. C. **Caracterização de paleossolos da formação Marília: Serra de Echarporã – SP**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, 2008.

- BRITO, J.L.S.; FERREIRA, L.G. , SILVA, J. R.; ARANTES, A. E. Utilização de imagens aéreas de um Veículo Aéreo Não-Tripulado (VANT) para estimativa de cobertura verde das pastagens cultivadas em duas áreas experimentais no município de Uberlândia – MG. In: **Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Vol. I, João Pessoa – PB, Brasil, pp. 1360- 1367, 2015.
- BRUNO, R. D. **Variabilidade observada da umidade do solo em Floresta Tropical e Cerrado**. 181p. 2004. (Dissertação de Mestrado em Meteorologia). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, 2004.
- BUHRKE, V. E., JENKINS, R., SMITH, D. K. Preparation of specimens for x-ray fluorescence and x-ray diffraction analysis. Editora WILEY-VCH, 1998.
- CABRAL, I. L. L. **Depressões interfluviais e voçorocas articuladas à rede de drenagem: o exemplo das bacias dos rios Ibicuzinho, Areal do Paredão, Cacequi, Santa Maria e Ibicuí**. 2004. 201 fls. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, São Paulo, 2004.
- CÂMARA, G. **SPRING Integrating Remote Sensing and GIS with Object Oriented Data Modelling**. Computers & Graphics, Dordrecht, Holanda, v. 15, n.6, 13-22. 1996.
- CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento em Projetos Ambientais**. 1a. ed. São José dos Campos: INPE. v. unico. 190p, 1998.
- CÂNDIDO, A.K.A.A.; SILVA, N.M. da; BARBOSA, D.S. **Dinâmica espacial e temporal do uso das terras e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em setor de cabeceira do rio São Lourenço, Campo Verde, MT**. Revista Ra'e Ga: O Espaço Geográfico em Análise. v. 33, p. 94-119. 2015.
- CARLSON, T. **An Overview of the "Triangle Method" for estimating surface evapotranspiration and soil moisture from satellite imagery**. Sensors, v.7, p.1612-1629, 2007.
- CARLSON, T. **Triangle Models and Misconceptions**. International Journal of Remote Sensing Applications, v. 3, n 3, 2013.
- CARVALHO, F. M.V.; DE MARCO, P.; Ferreira, L. G. **The Cerrado into-pieces: Habitat fragmentation as a function of landscape use in the savannas of central Brazil**. Biological Conservation, v. 142, p. 1392-1403, 2009.
- CASSETI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**. – São Paulo: Contexto, 1991.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em abril de 2015.
- CASTANHO, R. B.; HELIODORO, L. S. F.; MARQUES, E. S. **Mesorregião geográfica triângulo mineiro/alto Paranaíba – MG/Brasil: a produção sucroalcooleira entre o período de 1995 e 2006**. Revista Geográfica de América Central Número Especial EGAL, 2011- Costa Rica II Sem. p. 1-14, 2011.
- CASTRO, P. H. M.; VENDRAME, P. R. S.; PINESE, J. P. P. **Mineralogia da fração argila de solos localizados em ilhas no alto Rio Paraná, PR/MS**. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 35, n. 2, p. 181-188, jul./dez. 2014. DOI: 10.5433/1679-0375.2014v35n2p181.
- CASTRO, S. S. SALOMÃO, F. X. T. **Compartimentação morfológica e sua aplicação: Considerações metodológicas**. Revista GEOUSP. n° 7, 2000, p. 27 - 36.

- CAVALCANTI, L. C. S.; CORRÊA, A. C. B. **Pluviosidade no Parque Nacional do Catimbau (Pernambuco): seus Condicionantes e seus Efeitos sobre a Paisagem.** Geografia (Londrina) v. 23, n. 2. p. 133 – 156, jul/dez, 2014.
- CAVALCANTI, L. C. S. **Cartografias de paisagens: fundamentos.** – São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CECILIO, R. A.; MARTINEZ, M. A.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D. **Modelo para estimativa da infiltração de água e perfil de umidade do solo.** Rev. Bras. Ciênc. Solo[online], vol.37, n.2, pp.411-421, 2013.
- CERDEIRA, F.; VÁSQUEZ, M. E.; COLLAZO, J.; GRANADA, E. **Applicability of infrared thermography to the study of the behavior of stone panels as building envelopes.** Energy and Buildings, Oxford, v. 43, p. 1 845-1 851, 2011.
- CHAN, Y. K.; KOO, V. C. **An Introduction to Synthetic Aperture Radar (SAR).** Progress In Electromagnetics Research B, Vol. 2, 27–60, 2008.
- CHAO, H. Y.; CAO, Y. C.; CHEN, Y. Q. **Autopilots for small unmanned aerial vehicles: A survey.** International Journal of Control, Automation and Systems. February, Volume 8, Issue 1, pp 36–44, 2010.
- CHAVEIRO, E. F.; BARREIRA; C. C. M. A. Cartografia de um pensamento de Cerrado. In: PELÁ, M.; CASTILHO, D. (orgs.). **Cerrados: perspectivas e olhares.** – Goiânia. Editora Vieira, 2010.
- CHAVES, L. H. G.; GUERRA, H. O. C. **Solos Agrícolas.** Campina Grande: EDUFCG, 2006.
- CHEN, T.; DE JEU, R.A.M.; LIU, Y.Y.; VAN DER WERF, G.R.; DOLMAN, A.J. **Using satellite based soil moisture to quantify the water driven variability in NDVI: A case study over mainland Australia.** Remote Sens. Environ., v.140, p.330–338, 2014.
- COELHO, M. R.; VIDAL-TORRADO, P. **Caracterização e gênese de perfis plínticos desenvolvidos de arenito do Grupo Bauru.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 27, n. 1, p. 495–507, 2003.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79–97, 2014.
- CORINGA, E. A. O.; WEBER, O. L. S. **Ponto de efeito salino nulo de latossolos da microbacia Chico Nunes, Mato Grosso.** R. Bras. Ci. Solo, 32:441-448, 2008.
- CORREA, M. M.; KER, J. C.; BARRÓN, V.; FONTES, M. P. F.; TORRENT, J.; CURI, N. **Caracterização de óxidos de ferro de solos do ambiente tabuleiros costeiros.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:1017-1031, 2008.
- CORRÊA, R. L. Carl Sauer e a Escola de Berkeley – uma apreciação. In: CORRÊA, R. L.; ROSENDAHL, Z. (Orgs.). **Matrizes da Geografia Cultural.** – Rio de Janeiro: EdUFRJ. p. 09 - 34, 2001.
- CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia.** – São Paulo: Blucher, 1980.
- CRUSIOL, L. G. T. NEIVERTH, W.; RIO, A.; SIBALDELLI, R. N. R.; FERREIRA, L. C.; CARVALHO, J. F. C.; NEPOMUCENO, A. L.; NEUMAIER, N.; FARIAS, J. R. B. NDVI de estádios de desenvolvimento da soja BRS 284 em condições de campo. In: **Jornada Acadêmica da Embrapa Soja (8. : 2013: Londrina, PR). Resumos**

**expandidos [da] VIII Jornada Acadêmica da Embrapa Soja Londrina: Embrapa Soja, 2013. 213 p.**

CUNHA, C. A. H. **Relação entre comportamento espectral, índice de área foliar e produção de matéria seca em capim Tanzânia submetido a diferentes níveis de irrigação e doses de Nitrogênio.** 2004 (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo. - Piracicaba, 2004.

CURI, N.; LARACH, J. O. I.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. **Vocabulário de ciência do solo.** – Campinas: SBCS, 1993. 90p.

D'ARCO, E.; ALVARENGA, B. S.; MOURA, P.; TEIXEIRA, C. G. ESTUDOS DE REFLECTÂNCIA DE AMOSTRAS DE 5 TIPOS DE SOLOS BRASILEIROS, EM CONDIÇÕES DE LABORATÓRIO. In: **Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE**, p. 2327 - 2334. 2327, 2003.

D'OLEIRE-OLTMANN, S.; MARZOLFF, I.; PETER, K. D.; RIES, J. B. **Unmanned Aerial Vehicle (UAV) for Monitoring Soil Erosion in Morocco.** *Remote Sensing*, 4, 3390-3416, 2012.

DALMOLIN, R. S. D.; GONÇALVES, C. N.; KLAMT, E.; DICK, D. P. **Relação entre os constituintes do solo e seu comportamento espectral.** *Cienc. Rural* vol.35 no.2 Santa Maria Mar./Apr. 2005.

DAMM, P. E.; GRAND, JAMES B.; BARNETT, S. W. Variation in Detection Among Passive Infrared Triggered-cameras Used in Wildlife Research. In: **Proc. Annual Conference Southeast Assoc. Fish and Wildl.** Agencies 64:125–130, 2010.

DANDOIS, J. P.; OLANO, M.; ELLIS, E. C. **Optimal Altitude, Overlap, and Weather Conditions for Computer Vision UAV Estimates of Forest Structure.** *Remote Sensing*, 7, 13895-13920, 2015.

DANIELS, R. B.; NELSON, L. A. **Soil variability and productivity: future developments.** In: **FUTURE development in soil science research.** Madison, Soil Science Society of America, Golden Anniversary Publication, 279-292, 1987.

DI GENNARO, S. F.; ALBANESE, L.; BENANCHI, M.; DI MARCO, S.; GENESIO, L.; MATESE, A.; MUGNAI, L.; PRIMICERIO, J.; SURICO, G.; VACCARI, F. P.. Anuav-based remote sensing approach for the detection of spatial distribution and development of a grapevine trunk disease. In: **Conference: 8th International Workshop on Grapevine Trunk Diseases**, Valencia, Spain, 2012.

DIAS, H. G.; ROSSA, A. A. **Considerações Sobre o Emprego de Veículos Aéreos não Tripulados (Vant) Armados à Luz do Direito Internacional dos Conflitos Armados.** Coleção Meira Mattos, Rio de Janeiro, v. 9, n. 34, p. 189-200, jan./abr. 2015.

DINIZ-FILHO, J. A. F.; BINI, L. M.; OLIVEIRA, G.; BARRETO, B. S.; SILVA, M. M. F. P.; TERRIBLE, L. C.; RANGEL, T. F. L. V. B.; PINTO, M. P.; SOUSA, N. P. R.; VIEIRA, L. C. G.; MELO, A. S.; DE MARCO JÚNIOR, P.; VIEIRA, C. M.; BALMIRE, D.; BASTOS, R. P.; CARVALHO, P.; FERREIRA JR, L.G.; TELLES, M. P. C.; RODRIGUES, F. M.; SILVA, D. M.; SILVA JÚNIOR, N. J.; SOARES, T. N. **Macroecologia, biogeografia e áreas prioritárias para conservação no cerrado.** *Oecologia Brasiliensis (Impresso)*, v. 13, p. 470-497, 2009.

DOD. SECRETARY OF DEFENSE. **Unmanned Aerial Vehicles (UAV) Roadmap.** Washington, 2003. 195p.

DREW, D. **Processos interativos Homem-Meio Ambiente.** (Tradução: João Alves dos Santos. Revisão: Suely Bastos). – São Paulo: DIFEL, 1986.

- EMÍDIO, T. **Meio Ambiente & Paisagem**. Editora Senac São Paulo. São Paulo, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos - SBCS**. [Editores Técnico: SANTOS, H. G. et al.]. – 2ª. ed. – Rio de Janeiro: EMBRAPA SOLOS, 2006.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Súmula da 10ª Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro, 1979.
- FERNANDES, L. A. **A cobertura cretácea suprabasáltica no Paraná e Pontal do Paranapanema (SP): os grupos Bauru e Caiuá**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geologia Sedimentar. Universidade de São Paulo. 1992.
- FITZPATRICK, R. W.; CHITTLEBOROUGH, D. J. Titanium and Zirconium Minerals. In: DIXON, J.B.; WEED, S. B. **Soil mineralogy with environmental applications**. Madison: Soil Science Society of America, 2002.
- FLENER, C.; VAAJA, M.; JAAKKOLA, A.; KROOKS, A.; KAARTINEN, H.; KUKKO, A.; KASVI, E.; HYYPPÄ, H.; HYYPPÄ, J.; ALHO, P. **Seamless Mapping of River Channels at High Resolution Using Mobile LiDAR and UAV-Photography**. Remote Sensing, 5, 6382-6407, 2013.
- FLIR SYSTEMS. **User's manual: FLIR Exx series**. Wilsonville: FLIR Systems, pg. 206, 2011.
- FLORENZANO, T. G. **Iniciação em Sensoriamento Remoto**. -- 3. ed. ampl. e atual. – São Paulo: Oficinas de Textos, 2011.
- FONSECA, A. C. Geoquímica dos Solos. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 6ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 166 - 194, 2010.
- FORMAGGIO, A.R.; EPIPHANIO, J.C.N.; VALERIANO, M.M.; OLIVEIRA, J.B. **Comportamento espectral (450- 2.450 nm) de solos tropicais de São Paulo**. R. Bras. Ci. Solo, 20:467-474, 1996.
- FREUND, J.E. **Estatística Aplicada. Economia, Administração e Contabilidade**. Porto Alegre: Editora Bookman, 404 p., 2000.
- FURIAN, S.; BARBIÉRO, L.; BOULET, R.; CURMI, P.; GRIMALDI, M.; GRIMALDI, C. **Distribution and dynamics of gibbsite and kaolinite in an oxisol of Serra do Mar, southeastern Brazil**. Geoderma, v. 106, n.1–2, p. 83–100, 2002.
- GALLARDO, D. J. **Usos y conservación de suelos**. Geologia Ambiental. Série Ingeniería Geoambiental. Instituto Tecnológico Geominero de Espana, Madrid. 1998.
- GAMARRA, R. M.; TEIXEIRA-GAMARRA, M. C.; CARRIJO, M. G. G.; PARANHOS FILHO, A. C. **Uso do NDVI na análise da estrutura da vegetação e efetividade da proteção de unidade de conservação no cerrado**. R. Ra'e Ga, Curitiba, v.37, p. 307- 332, Ago/2016.
- GAO, B.C. **NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space**. Remote Sensing of Environment, v.58, p.257-266, 1996.
- GARCIA-RUIZ, F.; SANKARAN, S.; MAJA, J. M.; LEE, W. S.; RASMUSSEN, J.; EHSANI, R. **Comparison of two aerial imaging platforms for identification of Huanglongbing infected citrus trees**. Computers and Electronics. Agriculture v. 91 p.106–115, .2013.

- GIARDINO, M. J. **A history of NASA remote sensing contributions to archaeology.** *Journal of Archaeological Science*. 38, 2003-2009, 2011.
- GILLIES, R.; CARLSON, T.; KUSTAS, W.; HUMES, K. **A verification of the “triangle” method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature.** *Int. J. Remote Sens.*, v.18, p.3145–3166, 1997.
- GILLIES, R.; CARLSON, T.; KUSTAS, W.; HUMES, K. **A verification of the “triangle” method for obtaining surface soil water content and energy fluxes from remote measurements of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and surface radiant temperature.** *Int. J. Remote Sens.*, v.18, p.3145–3166, 1997.
- GOEDERT, W. **Solos do Cerrado: tecnologias e estratégias de manejo.** – São Paulo: Nobel; Brasília: EMBRAPA, Centro de Pesquisas Agropecuária dos Cerrados, 1985.
- GOMES, C. B. **Técnicas analíticas aplicadas a geologia.** – São Paulo, Bucher, 1984.
- GOMES, P. C. da C.. **Geografia e Modernidade.** – 10ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2011.
- GONÇALVES JUNIOR, F. A. **Paisagem e sustentabilidade urbana: o papel dos Loteamentos fechados e condomínios horizontais em Vinhedo – SP.** São Paulo: Tese (Doutorado). – Programa de Pós-Graduação em Geografia Física, FFLCH, USP, 2014.
- GONÇALVES, A. C. A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, A. P. **Estabilidade temporal da distribuição espacial da umidade do solo em área irrigada por pivô central.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23, 155-164, 1999.
- GONZALEZ-DUGO, V.; ZARCO-TEJADA, P. J.; NICOLAS, E.; NORTES, P. A.; ALARCON, J. J.; INTRIGLIOLO, D. S.; FERERES, E. **Using high resolution UAV thermal imagery to assess the variability in the water status of five fruit tree species within a commercial orchard.** *Precision Agriculture*, v. 14, n. 6, p. 660-678, 2013.
- GUEDES, A. E. D. S.; CÂNDIDO, L. A.; SANTO, A. R. S. E. **Variabilidade do estoque de água continental e sua relação com as cheias e vazantes extremas na Amazônia.** *Ambi-Agua, Taubaté*, v. 8, n. 2, p. 88-99, 2013.
- GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T. **Novo dicionário geológico-geomorfológico.** 6. ed. [Rio de Janeiro]: Bertrand Brasil, 2008.
- GUERRA, A. J. T. **Coletânea de textos geográficos.** – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1994.
- GUERRA, A. J. T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A. T. J.; SILVA, A. S.; MACHADO, R. G. (Orgs.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 6ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 17-50, 2010.
- HASSAN-ESFAHANI, L.; TORRES-RUA, A.; JENSEN, A.; MCKEE, M. **Assessment of Surface Soil Moisture Using High-Resolution Multi-Spectral Imagery and Artificial Neural Networks.** *Remote Sensing*, 2015, 7, 2627-2646; doi:10.3390/rs70302627
- HASSLER, S. K.; ZIMMERMANN, B.; BREUGEL, M.; HALL, J. S.; ELSENBEEER, H. **Recovery of saturated hydraulic conductivity under secondary succession on former pasture in the humid tropics.** *Forest Ecology and Management*, Volume 261, Issue 10, p. 1634-1642, 2011.

- HELLEBRAND, H. J.; DAMMER, K-H.; BEUCHE, H.; HERPPICH, W. B.; FLATH, K. **Infrared Imaging for Plant Protection**. AgrartechnischeForschung, 11 Heft 3, S. E 35-E 42, 2005.
- HOLBEN, B. N. **Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data**. International Journal of Remote Sensing, v. 7, n. 11, p. 1417-1434, Nov. 1986.
- HOLMES, M. G. **Monitoring vegetation in the future: radar**. Botanical Journal of the Linnean Linnean Society (1992), 108: 93-109.
- HONG, S.; BORCHERS, B.; SCHWERING, P.; VAN DEN BROEK, B. **Land mine detection in bare soils using thermal infrared sensors**. Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering 4742:43-50, July 2002.
- HUETE, A. R. **A soli-adjusted vegetation index**. Remote Sensing of Environment, v. 25, p. 295-309. 1988.
- HUGENHOLTZ, C. H.; WHITEHEAD, K.; BROWN, O. W.; BARCHYN, T. E.; MOORMAN, B. J.; LECLAIR, A.; RIDDELL, K.; HAMILTON, T. **Geomorphological mapping with a small unmanned aircraft system (sUAS): eature detection and accuracy assessment of a photogrammetrically-derived digital terrain model**. Geomorphology 194, 16–24, 2013.
- HUNG, M. N. W. B.; SAMPAIO, T. V. M.; SCHULTZ, G. B.; SIEFERT, C. A. C.; LANGE, D. R.; MARANGON, F. H. S.; SANTOS, I. **Levantamento com Veículo Aéreo Não Tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa**. Revista Ra'e Ga, Curitiba, v.43 Temático de Geotecnologias , p. 215 -231 , Fev/2018.
- HUNKE, P.; MUELLER, E. N.; SCHROEDER, B.; ZEILHOFER, P. **The Brazilian Cerrado: assessment of water and soil degradation in catchments under intensive agricultural use**. ECOHYDROLOGY, v. 8, p. 1154-1180, 2014.
- HUNKE, P.; ROLLER, R.; ZEILHOFER, P.; SCHRÖDER, B.; MUELLER, E. N. **Soil changes under different land-uses in the Cerrado of Mato Grosso, Brazil**. Geoderma Regional, 4, 31–43, 2015.
- IBGE, IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de biomas do Brasil. Escala 1:5.000.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2004. Disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/biomas2/viewer.htm>>. Acesso: Junho de 2015.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - 3. ed. - Rio de Janeiro : IBGE, 2015.
- ICAO. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. **Unmanned Aircraft Systems (UAS)**. Technical Report. International Civil Aviation Authority. ICAO Circular 328. Montral, Canada, 2011.
- IRONS, J. R.; DWYER, J. L.; BARS, J. A. **The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission**. Remote Sensing of Environment, 122, 11–21, 2012.
- JATOBÁ, L.; LINS, R. C. **Introdução à geomorfologia**. – 4 ed. revista e ampliada. Recife: Bagaço, 2003.
- JENNY, H. **Factors of soil formation**. New York: McGraw-Hill. 1941. 281p.
- JENSEN, A. M.; NEILSON, B. T.; MCKEE, M.; CHEN. Y. **Thermal remote sensing with an autonomous unmanned aerial remote sensing platform for surface stream**

- temperatures.** Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) IEEE International, pp. 5049-5052, 2012, ISSN 2153-6996, 2012.
- JESUZ, C. R. **Estudo geomorfológico e a análise dos processos de erosão mecânica na bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral – MT.** 2014, fls. 142. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2014.
- JESUZ, C. R.; ITO, J. B. B.; PETER, Z. **Erosões mecânicas na bacia hidrográfica do rio Tenente Amaral, Jaciara – MT, e suas determinantes socioambientais.** Revista Mato-Grossense de Geografia - Cuiabá - n. 16 - p. 89-105 - jan/jun 2013.
- JI, L.; ZHANG, L.; WYLIE, B. **Analysis of dynamic thresholds for the normalized difference water index.** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 75(11): 1307-1317, 2009.
- JOFFE, J. S.; PUGH, A.J. **Soil profile studies, distribution of titanium in soils with special reference to podzols.** Soil Science, v. 38, p.245-257, 1934.
- JUNIOR, A. F. C.; JUNIOR, O. A. C.; MARTINS, E. S.; SANTANA, O. A.; SOUZA, V. V.; ENCINAS, J. I. **Tratamento de ruídos e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS.** Revista Árvore, Viçosa-MG, v.35, n.3, Edição Especial, p.699-705, 2011.
- KAMPF, N.; MARQUES, J. J.; CURI, N. IV Mineralogia de solos brasileiros: principais aspectos. In: KER, J. C. CUR, N; SCHAEFER, C. E. G. R.; VIDALTORRADO, P. **Pedologia: Fundamentos.** Viçosa-mg: SBCS, 2012. p. 81-146
- KAWASHIMA, R. S.; SALIM, A.; COSTA, W. F.; SILVA, J. R.; COUTINHO FILHO, O. S.; QUINTANILHA, J. A. Classificação de imagem baseada em objeto (OBIA) utilizando índices de vegetação. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR.** Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE, 2013.
- KELCEY, J., & LUCIEER, A. **Sensor Correction of a 6-Band Multispectral Imaging Sensor for UAV Remote Sensing.** Remote Sensing, 4(5), 1462-1493, 2012.
- KER, J. C. **Latossolos do Brasil: uma revisão.** Geonomos, Belo Horizonte, v. 5, p. 17-40, 1994.
- KLEIN, V. A. **Física do Solo.** – 2 ed. – Passo Fundo: Editora Universidade de Passo Fundo, 2012.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. **A conservação do Cerrado brasileiro.** MEGADIVERSIDADE, v. 1 n° 1 Jul, p. 147 – 155, 2005.
- KUROSU, T.; FUJITA, M.; CHIBA, K. **The identification of rice fields using multi-temporal ERS-1 C band SAR data.** International Journal of Remote Sensing, vol. 18, issue 14, pp. 2953-2965, 1997.
- KUTÍLEK, M.; NIELSEN, D. R. **Soil Hydrology: textbook for students of soil science, agriculture, forestry, geocology, hydrology, geomorphology or other related disciplines.** Cremlingen-Destedt: Catena-Verlag, 1994.
- LAABS, V.; AMELUNG, W.; PINTO, A.; ALTSTAEDT, A.; ZECH, W.. **Leaching and degradation of corn and soybean pesticides in an Oxisol of the Brazilian Cerrados.** Chemosphere, 41, p. 1441-1449, 2000.
- LAKSHMI, V. **Remote Sensing of Soil Moisture.** Hindawi Publishing Corporation ISRN Soil Science Volume 2013, Article ID 424178, 33 pages <http://dx.doi.org/10.1155/2013/424178>.

- LAMBIN, E. F.; GIBBS, H. K.; FERREIRA, L., GRAU, R.; MAYAUX, P.; MEYFROIDT, P.; MORTON, D. C.; RUDEL, T. K.; GASPARRI, I.; MUNGER, J. **Estimating the world's potentially available cropland using a bottom-up approach.** *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*. 23 (5): 892-901, 2013.
- LATRUBESSE, E. M., RODRIGUES, S. C., MAMEDE, L. **Sistema de classificação e mapeamento geomorfológicos: Uma nova proposta.** *Geosul*. vol. 14 (17), 682-687. 1998.
- LEMOS, R. C.; SANTOS, R. D. **Manual de descrição e coleta de solo no campo.** 3.ed. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1996.
- LEPSCH, I. F. **Dezenove lições de pedologia.** São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LEPSCH, I. F. **Formação e Conservação dos Solos.** – 2ª. ed. – São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- LEWISA, A. M.; VERLINDEB, P.; ACHEROYB, M.; SIEBER, A. **Recent progress in the joint multisensory mine-signatures data base Project.** *Proceedings of SPIE* Vol. 4742, 922-931, 2002.
- LIN, H.; PATRICK, D.; GREEN, T.R. **Hydropedology: the last decade and the next decade.** *Soil Science Society of America*. J. 79, 357–361, 2015.
- LINHARES, M. M. A. **Uso de veículo aéreo não tripulado na determinação de índice de vegetação em área de pastagem em Nova Mutum-MT.** 2016. 121 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2016.
- LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Transportes, São Paulo, 2010.
- LOPES, A. P. **Fenologia foliar da Floresta Amazônica de Terra Firme por imagens digitais RGB.** (Dissertação de Mestrado), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus - AM. 2015.
- LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. O.; DA SILVA, F. H. B. B.; SOBRAL, MA. C. M.; DE ARAÚJO FILHO, JOSÉ C.; CANDEIAS, A. L. B. **Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação.** *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.15, n.9, p.973–980, 2011.
- LUCIEER, A.; TURNER, D.; KING, D. H.; ROBINSON, S, A. **Using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) to capture micro-topography of Antarctic moss beds.** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2013.
- LUO, B.; YANG, C.; CHANUSSOT, J.; ZHANG, L. **Crop Yield Estimation Based on Unsupervised Linear Unmixing of Multidate Hyperspectral Imagery.** *Geoscience and Remote Sensing IEEE Transactions on*, vol. 51, pp. 162-173, ISSN 0196-2892, 2013.
- MA, S.; ZHOU, Y.; GOWDA, P. H.; DONG, J.; ZHANG, G.; KAKANI, V. G.; WAGLE, P.; CHEN, LI.; FLYNN, K. C.; JIANG, W. **Application of the water-related spectral reflectance indices: A review.** *Ecological Indicators*, 98, 68-79, 2019
- MA, Y-J.; LI, X-Y.; GUO, L.; LIN, H. **Hydropedology: Interactions between pedologic and hydrologic processes across spatiotemporal scales.** *Earth-Science Reviews* 171, 181–195, 2017.

- MAES, W. H.; HUETE, A. R.; STEPPE, K. **Optimizing the Processing of UAV-Based Thermal Imagery**. *Remote Sensing*, 2017, 9, 476; doi:10.3390/rs9050476.
- MARANHÃO, D. D. C.; AGUADO, O. I. O.; PEREIRA, M. G.; ARAÚJO, A. P.; CASTRO, S. S.; FERREIRA JÚNIOR, L. G. **Analysis of Potential for Linear Erosion in the Cerrado Biome Using Morphopedology**. *REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO*, v. 41, p. 1-17, 2017.
- MAROTTA, G. S.; FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; ALMEIDA, T. de. **Avaliação geométrica de câmara de pequeno formato transportada por Veículo Aéreo Não Tripulado para uso em aerolevantamentos**. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, nº 67/3, p. 591-601, Mai/Jun/2015.
- MARTIN, R. V. **Satellite remote sensing of surface air quality**. *Atmospheric Environment*. 42, 7823–7843, 2008.
- MARTINS, F. P.; ROSOLEN, V. S. **Caracterização morfológica e física de uma catena (latossolo-gleissolo) no campo de murundu do córrego da Fortaleza, Chapada Uberlândia-Uberaba, Uberlândia-MG**. *Caminhos de Geografia Uberlândia* v. 15, n. 52, p. 186–200, Dez/2014.
- MATO GROSSO, ZONEAMENTO SÓCIO-ECONÔMICO-ECOLÓGICO: DIAGNÓSTICO SÓCIO ECONÔMICO ECOLÓGICO DO ESTADO DE MATO GROSSO E ASSISTÊNCIA TÉCNICA NA FORMULAÇÃO DA 2ª APROXIMAÇÃO. **Apresentação Geral das Memórias Técnicas - Geomorfologia. Parte 2: Sistematização das Informações Temáticas, Nível Compilatório**. Cuiabá: Relatório Técnico, 2000. 40 pp.
- MAXIMIANO, L. A. **Considerações sobre o Conceito de Paisagem**. *Revista. RA'E GA*, Curitiba: Editora UFPR, n. 8.. p. 83-91, 2004.
- MÁXIMO, O. A.; SAAD, A. M.; KUX, H. H. **Estimativa do teor de água no solo utilizando dados de radar de abertura sintética**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 23:745-752, 1999.
- MCFEETERS, S.K. **The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features**. *International Journal of Remote Sensing*, v.17, n.7, p.1425-1432, 1996.
- McWhirt, Amanda Lynne. **Visible near-infrared diffuse reflectance spectroscopy and portable X-ray fluorescence spectroscopy for rapid compost analysis**. (2012). LSU Master's Theses, - University and Agricultural and Mechanical College, Louisiana State. 3216, 2012.
- MEDINA, H. P. **Água no solo**. In: MONIZ, A. C.; MEDINA, H. P. (Orgs). **Elementos de pedologia**. São Paulo: Ed. Polígono, 1972.
- MELO, V. F.; NOVAIS, R. F.; SCHAEFER, C. E. G. R.; FONTES, M. P. F.; SINGH, B. **Mineralogia das frações areia, silte e argila de sedimentos do Grupo Barreiras no município de Aracruz, estado do Espírito Santo**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 26:29-41, 2002.
- MENDONÇA, L. V. **Termografia por infravermelhos inspeção de Betão**. *Revista Engenharia & Vida*, nº 16, p. 53-57, 2005.
- MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Orgs). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Editoras UnB-CNPq, 2012.
- MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. Ed. Editora Evangraf. 2010.

MINISTÉRIO DO EXÉRCITO. **Manual Técnico de Aerotriangulação**. T34-304, 2ª ed., 1984.

MOLINA, A.J.; LLORENS, P.; GARCIA-ESTRINGANA, P.; MORENO DE LAS HERAS, M.; CAYUELA, C.; GALLART, F.; LATRON, J. **Contributions of throughfall, forest and soil characteristics to near-surface soil water-content variability at the plot scale in a mountainous Mediterranean area**. *Science of The Total Environment*, Volume 647, p. 1421-1432, 2019.

MONTANARI, R.; MARQUES JÚNIOR, J.; CAMPOS, M.C. C.; DE SOUZA Z. M.; CAMARGO, L. A. **Caracterização mineralógica de Latossolos em diferentes feições do relevo na região de Jaboticabal, SP**. *Revista Ciência Agronômica*, v. 41, n. 2, p. 191-199, abr-jun, 2010.

MONTEIRO, P. F. C.; ANGULO FILHO, R.; XAVIER, A. C. MONTEIRO, R. O. C. **Índices de vegetação simulados de diferentes sensores na estimativa das variáveis biofísicas do feijoeiro**. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v. 48, n. 4, p. 433-441, 2013.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 3rd ed, Wiley-Interscience, 2006.

MORAES, A. C. R. **Geografia: Pequena Historia Critica**. São Paulo: Hucitec, 1994.

MORAES, E. C. **Fundamentos de Sensoriamento Remoto**. INPE: São José dos Campos, 2002.

MORAN, M. S.; HYMER, D. C.; QI, J.; KERR Y.. **Comparison of ERS-2 SAR and Landsat TM imagery for monitoring agricultural crop and soil conditions**. *Remote Sensing of Environment*, 79: 243–252, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação: Sistemas Sensores**. INPE, 2001.

MOREL, C. M.. **A pesquisa em saúde e os objetivos do milênio: desafios e oportunidades globais, soluções e políticas nacionais**. *Ciência & Saúde Coletiva*, 9(2):261-270, 2004.

MORIN, E. **Ciência com consciência**. (Tradução de Maria D. Alexandre e Maria Alice Sampaio Dória. – Ed. revista e modificada pelo autor - 8ª Ed). – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

MOTA, J.C. A.; ASSIS JÚNIOR, R. N.; FILHO, J. A.; ROMERO, R. E.; MOTA, F. O. B.; LIBARDI, P. L. **Atributos mineralógicos de três solos explorados com a cultura do melão na Chapada do Apodi – RN**. *R. Bras. Ci. Solo*, 31:445-454, 2007.

MOURA-FUJIMOTO, N. S. V. **Análise Ambiental Urbana na área metropolitana de Porto Alegre – RS: sub-bacia hidrográfica do Arroio Dilúvio**. 2001, fls. 247. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia. São Paulo: 2001.

MOYSÉS, A. **Agenda Regional - Cerrados Brasileiros: desafios e perspectivas de desenvolvimento sustentável**. In: **XV Encontro da Associação Nacional de Programas de Pós-graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional – ANPUR**. Recife – PE, 20 a 24 maio seção 23, 2007.

MOYSÉS, A.; SILVA, E. R. da. **Ocupação e urbanização dos cerrados: desafios para a sustentabilidade**. *Cadernos metrópole* 20 pp. 197-220 20 sem. 2008.

- MYERS, N., R.A.; MITTERMEIER, C.G.; MITTERMEIER, G.A.B.; FONSECA J. KENT. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, 403, 2000, 853-858.
- NÄSI, R.; HONKAVAARA, E.; LYYTIKÄINEN-SAARENMAA, P.; BLOMQVIST, M.; LITKEY, P.; HAKALA, T.; VILJANEN, N.; KANTOLA, T.; TANHUANPÄÄ, T.; HOLOPAINEN, M. **Using UAV-Based Photogrammetry and Hyperspectral Imaging for Mapping Bark Beetle Damage at Tree-Level**. *Remote Sensing*, 7, 15467-15493, 2015.
- NAUE, C. R.; MARQUES, M. W.; LIMA, N. B.; GALVÍNCIO, J. D. **Sensoriamento remoto como ferramenta aos estudos de doenças de plantas agrícolas: uma revisão**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, n. 03, p. 190–195, 2010.
- NIETHAMMER, U.; JAMES, M. R.; ROTHMUND, S.; TRAVELLETTI, J.; JOSWIG, M. **UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results**. *Engineering Geology*, 128, 2–11, 2012.
- NIKOLAKOPOULOS, K. G.; KAVOURAA, K.; DEPOUNTISA, N.; ARGYROPOULOSA, N.; KOUKOUVELASA, I.; SABATAKAKISA, N. **Active landslide monitoring using remote sensing data, GPS measurements and cameras on board UAV**. In: **Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)**, 2015.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. 2ª edição. – São Paulo: EdgrdBlücher, 1992.
- OLIVEIRA, J. B. **Pedologia Aplicada**. 3ª. ed. Piracicaba: FELAQ, 2008.
- OLIVEIRA, J. B.; JACOMINE, P. K. T.; CAMARGO, M. N. **Classes gerais de solos no Brasil: guia auxiliar para o seu reconhecimento**. Jaboticabal: FUNEP, 1992.
- OUÉDRAOGO, M. M.; DEGRÉ, A.; DEBOUCHE, C.; LISEIN, J. **The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds**. *Geomorphology* 214, 339–355, 2014.
- PELÁ, M.; MENDONÇA, M. R. **Cerrado Goiano: encruzilhada de tempos e territórios em disputa**. In: PELÁ, M.; CASTILHO, D. (orgs.). **Cerrados: perspectivas e olhares**. – Goiânia. Editora Vieira, 2010.
- PEREIRA, L. C. **Avaliação da aptidão agrícola das terras: proposta metodológica**. -Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004.
- PETROPOULOS, G.; CARLSON, T. N.; WOOSTER, M. J.; ISLAM, S. **A review of Ts/VI remote sensing based methods for the retrieval of land surface energy fluxes and soil surface moisture**. *Progress in Physical Geography*., v.33, p.224-250, 2009.
- PINHEIRO, A.; TEIXEIRA, L. P.; KAUFMANN, V. **Capacidade de infiltração de água em solos sob diferentes usos e práticas de manejo agrícola**. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 4, n. 2, p. 188-199, 2009.
- PRADO, H. **Solos do Brasil: Gênese, morfologia, classificação e levantamento**. – ed. 2º. Piracicaba- SP, 2001
- PRUSKI, F. F.; BRANDÃO, V. S.; SILVA, D. D. **Escoamento Superficial**. 2ª. ed. – Viçosa: UFV, 2004.
- QI, H.; SNYDER, W. E.; MARCHETTE, D. **Efficient approach to segment man-made targets from unmanned aerial vehicle imagery**. *Optical Engineering*, vol. 39 nº.5, 1267-1274, 2000.

- QIN, R. **An Object-Based Hierarchical Method for Change Detection Using Unmanned Aerial Vehicle Images**. *Remote Sensing*, 6, 7911-7932, 2014.
- QUEIROZ NETO, J. P. **Análise estrutural da cobertura pedológica: uma experiência de ensino e pesquisa**. *Revista do Departamento de Geografia*, 15, 77-90, 2002.
- QUEIROZ NETO, J. P. **Geomorfologia e Pedologia**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 1, nº1, 59-67, 2000.
- QUEIROZ NETO, J. P. O papel da pedogênese no modelado do relevo: busca de novos paradigmas. In: **VI Seminário Latino Americano de Geografia Física II Seminário Ibero Americano de Geografia Física**, Universidade de Coimbra, Maio de 2010.
- QUEIROZ NETO, J. P. **Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.12, n.3, p.15-24, 2011.
- QUEIROZ, C. J. **Análise de Transformações Geométricas para o Georreferenciamento de Imagens do Satélite CBERS-I**. Dissertação de Mestrado. UFRGS - CEPSSRM, 2003.
- RAZA, S. A.; SMITH, H. K.; CLARKSON, G. J. J.; TAYLOR, G.; THOMPSON, A. J.; CLARKSON, J.; RAJPOOT, N. M. **Automatic Detection of Regions in Spinach Canopies Responding to Soil Moisture Deficit Using Combined Visible and Thermal Imagery**. *PLOS ONE* 2 June 2014 | Volume 9 | Issue 6 | e97612.
- RAZALI, N. M.; WAH, Y. B. **Power comparisons of the Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Lilliefors and Anderson-Darling tests**. *Journal of Statistical Modeling and Analysis*, Malásia, V. 2, n.1, 21-33, 2011.
- REATTO, A.; MARTINS, E. S. FARIAS, M. F. R.; DA SILVA, A. V.; DE CARVALHO JR., O. A. **Mapa Pedológico digital SIG atualizado do Distrito Federal, escala 1:100.000 e uma Síntese do Texto Explicativo**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. 31 p.
- ROIG, H. L.; FERREIRA, A. M. R.; MENEZES, JUNKER, P. H. B.; MAROTTA, G. S. Uso de câmeras de baixo custo acopladas a veículos aéreos leves no estudo do aporte de sedimentos no Lago Paranoá. In: **Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR**. Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. 7.ed. Uberlândia: EDUFU, 2009. 264 p.
- ROSS, J. L. S. **Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental**. *Geografia*, Rio Claro, vol. 9, pp.65-75, 1995.
- ROSS, J. L. S. **Chapada dos Guimarães: Borda da Bacia do Paraná**. *Revista do Departamento de Geografia (USP)* v.28, p. 180-197, 2014.
- ROSS, J. L. S. **Compartimentação Geomorfológica do Estado de Mato Grosso**. In: **Diagnóstico Sócio Econômico Ecológico do Estado de Mato Grosso e Assistência Técnica na Formulação da 2ª Aproximação. Geomorfologia. Parte 1: Consolidação de Dados Secundários, Nível Compilatório**. Cuiabá: Relatório Técnico, 1997. 70 pp.
- ROSS, J. L. S. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para planejamento ambiental**. Oficina de Textos, São Paulo, 2006.
- ROSS, J. L. S. **O Relevo Brasileiro no contexto da América do Sul**. *Revista Brasileira de Geografia*. Rio de Janeiro, v. 61, n. 1, p. 21-58, jan./jun. 2016

- ROSS, J. L. S; VASCONCELOS, T. N. N; CASTRO JÚNIOR, P. R. Estrutura e formas de relevo: Compartimentação geomorfológica de Mato Grosso (unidades geomorfológicas). In: MORENO, G; HIGA, T. C, S. (Orgs.).In: **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente.** – Cuiabá: Entrelinhas, 2005.
- ROSSATO, L. **Estimativa da umidade superficial do solo a partir de sensoriamento remoto por microondas passiva sobre a América do Sul.** (Tese de Doutorado) – São José dos Campos: INPE, 2010.
- ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASELLA, J. **Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971-1990.** Revista Brasileira de Meteorologia, v.19, n.2, 113-122, 2004.
- ROTTA, L. H. S.; IMAI, N. N.; BATISTA, L. F. A.; BOSCHI, L. S.; GALO, M. L. B. T.; VELINI, E. D. **Sensoriamento remoto hidro acústico no mapeamento de macrófitas aquáticas submersas.** Planta Daninha, Viçosa-MG, v. 30, n. 2, p. 229-239, 2012.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; J.A.; SCHELL, D. W. DEERING. MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS, IN: S.C. FREDEN, E.P. MERCANTI, AND M. BECKER (Eds) **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Volume I: Technical Presentations, NASA SP-351,** NASA, Washington, D.C., pp. 309-317, 1974.
- RUDOWICZ-NAWROCKA, J.; TOMCZAK, R. J.; NOWAKOWSKI, K.; MUELLER, W.; KUJAWA, S. **Development of software for airborne photos analysis.** Proc. SPIE 9159, Sixth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2014), 915928, 2014.
- RUELLAN, A. Pedologia e Desenvolvimento: a Ciência do Solo a Serviço do Desenvolvimento In: **XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo,** Campinas, 1988.
- SABOL, D. E.; GILLESPIE, A. R.; MCDONALD, E.; DANILINA, I. Differential Thermal Inertia of Geological Surfaces. In:**II Annual Internacional Symposium of Recent Advances in Quantitative Remote Sensing.** University Of Vavencia, Torrent, Spain, Jul. 25-29, 2006.
- SALOMÃO, F. X. T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações.** 6ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 229 – 265.
- SANO, E. E.; ASSAD, E. D.; ORIOLI, A. L. Monitoramento da ocupação agrícola. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura.** Planaltina: EMBRAPA - CPAC. p.157-70, 1993.
- SANO, E. E.; ROSA, R.; BRITO, J. L. S. ; FERREIRA JUNIOR, L. G. . **Land cover mapping of the tropical savanna region in Brazil.** Environmental Monitoring and Assessment (Print), v. 166, p. 113-124, 2010.
- SANTOS, L. **Termografia infravermelha em subestações de Alta Tensão Desabrigadas.** 2006. (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia, Universidade Federal de Itajubá, 2006.
- SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo; Razão e Emoção.** 3ª ed. São Paulo: Hucitec, 1999.

SANTOS, R. D.; SANTOS, H. G.; KER, J.C.; ANJOS, L. H. C.; SHIMIZU, S. H. (Orgs.) **Manual de descrição e coleta de solo em campo**. 7. ed. re. ampl. - Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Solos, 2015.

SANTOS, T. E. M.; MONTENEGRO, A. A. A.; SILVA, D. D. **Umidade do solo no semiárido pernambucano usando-se reflectometria no domínio do tempo (TDR)**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.v.15, n.7, p.670–679, 2011.

SANTOS, V. S. **Análise ambiental integrada do componente solo como subsídio para avaliação da sustentabilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Tenente Amaral em Jaciara – Mato Grosso – Brasil**. 2007, fls. 191. Tese (Doutorado em Ciências: Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais. São Carlos, 2007.

SCHAIER, R. A. **Trajatórias do conceito de paisagem na geografia**. Revista Ra'e Ga (Espaço Geográfico em Análise), nº 7, Curitiba, UFPR, p. 79-85, 2003.

SCHIESARI, L.; WAICHMAN, A.; BROCK, T.; ADAMS, C.; GRILLITSCH, B. **Pesticide use and biodiversity conservation in the Amazonian agricultural frontier**. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 2013.

SCHMUGGE T. J.; KUSTAS W. P.; RITCHIE J. C.; JACKSON T. J.; RANGO, A. **Remote sensing in hydrology**. Adv Water Resour, 25, 1367–1385, 2002.

SCHMUGGE, T. J. **Effect of texture on microwave emission from soil**. IEEE. Trans. Geosci. Remote Sensing, GE-18, 353-361, 1980.

SEPLAN. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Projeto de Desenvolvimento Agroambiental do Estado de Mato Grosso – PRODEAGRO. **Mato Grosso: solos e paisagens**. Cuiabá – MT. 2007.

SHAFIAN, S.; RAJAN, N.; SCHNELL, R.; BAGAVATHIANNAN, M.; VALASEK, J.; SHI, Y.; OLSENHOLLER, J. **Unmanned aerial systems-based remote sensing for monitoring sorghum growth and development**. PLOS ONE 13(5): e0196605, 2018.

SHENG, H.; CHAO, H.; COOPMANS, C.; HAN, J.; MCKEE, M.; CHEN, Y. **Low-cost UAV-based thermal infrared remote sensing: Platform calibration and applications**. Mechatronics and Embedded Systems and Applications (MESA) 2010 IEEE/ASME International Conference on, pp. 38-43, 2010.

SILVA, A. A. D.; GALENO A. (Org.). **Geografia: Ciência do Complexo: Ensaio Transdisciplinares**. Porto Alegre: Sulina, 2004.

SILVA, C. E. M. **O cerrado em disputa: apropriação global e resistências locais**. – Brasília: Confea, 2009.

SILVA, E. B.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; ANJOS, A. F.; MIZIARA, F. **Análise da distribuição espaço-temporal das pastagens cultivadas no bioma Cerrado entre 1970 e 2006**. Revista IDEAS, v. 7, n. 1, p. 174-209, 2013.

SILVA, E. V.; MATEO RODRIGUEZ, J. M. **Planejamento e Zoneamento de Bacias Hidrográficas: a geoecologia das paisagens como subsídio para uma gestão integrada**. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.36, Volume Especial, p. 4-17, 2014.

SILVA, F. A. M. da.; ASSAD, E. D.; MATTOS, A.; LUIZ, A. J. B. **Variação espaço-temporal da disponibilidade hídrica climática no estado de Goiás**. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, v.33, n.5, p.605-612. maio 1998.

- SILVA, F. P. E.; KIANG, C. H.; CAETANO-CHANG, M. R. **Estratigrafia de subsuperfície do Grupo Bauru (K) no estado de São Paulo**. Revista Brasileira de Geociências, v. 35, n. 1, p. 77-88, 2005.
- SILVA, M. L. **Paisagem e Geossistema: contexto histórico e abordagem Teórico-Metodológica**. GEOAMBIENTE ON-LINE – Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG, Jataí-GO, n.11, jul-dez/2008.
- SILVA, M. L. **Paisagem e Geossistema: contexto histórico e abordagem Teórico-Metodológica**. GEOAMBIENTE ON-LINE – Revista Eletrônica do Curso de Geografia do Campus Jataí – UFG, Jataí-GO, n.11, jul-dez/2008.
- SILVA, O. F. **Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do Cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas – Goiás**. Dissertação (Mestrado Profissional). Mestrado em Tecnologias de Processos Sustentáveis – Goiânia. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2014.
- SILVA, V.; MOTTA, A. C. V.; MELO, V. F.; LIMA, V. C. **Variáveis de acidez em função da mineralogia da fração argila do solo**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 32:551-559, 2008.
- SIMON, J. S. **Density Estimation**. Statistical Science, vol. 19, No. 4, 588–597, 2004. DOI 10.1214/088342304000000297.
- SIMONSON, R. W. Modern concepts of soils. In: **Genesis. A symposium outline of a generalized theory of soil genesis**. Proc. Soil Sci. Am. 23: 152-156, 1959.
- SIQUEIRA, P. M.; STONE, L. F.; SANTOS, G. G.; CUNHA, P. C. R. Plantas de cobertura e atributos químicos do solo. In: SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. (Orgs.) **Plantas de Cobertura dos Solos do Cerrado**. – Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA Arooz e Feijão, 2010.
- SOLER, L. S.; KOK, K.; CAMARA, G.; VELDKAMP, A. **Using fuzzy cognitive maps to describe current system dynamics and develop land cover scenarios: a case study in the Brazilian Amazon**. Journal of Land Use Science, v. online, p. 1-27, 2011.
- SOMOZA, R. D. **Modelagem climática sazonal acoplada oceano-atmosfera para simulações da precipitação e umidade do solo na bacia do Rio São Francisco**. Ambi-Agua, Taubaté, v. 6, n. 3, p. 291-302, 2011.
- SOUZA, R. J. **O Sistema GTP (Geossistema-Território-Paisagem) como novo projeto geográfico para a análise da interface Sociedade-Natureza**. Revista Formação, n.16, volume 2 – p.89-106, 2009.
- SUERTEGARAY, D. M. A. **Notas sobre Epistemologia da Geografia**. Cadernos Geográficos. n°12. UFSC, 2005.
- SUERTEGARAY, D. M. A.; NUNES, J. O. R. **A natureza da Geografia Física na Geografia**. Revista Terra Livre, n°17. São Paulo. 2º Sem. p. 11 - 24, 2011.
- SUGUIO, K. **Água**. – Ribeirão Preto: Ed. Holos, 2006.
- SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia**. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 317 p.
- SUOMALAINEN, J.; ANDERS, N.; IQBAL, S.; ROERINK, G.; FRANKE, J.; WENTING, P.; HÜNNIGER, D.; BARTHOLOMEUS, H.; BECKER, R.; KOOISTRA, L. **Lightweight Hyperspectral Mapping System and Photogrammetric Processing Chain for Unmanned Aerial Vehicles**. Remote Sensing, 6, 11013-11030, 2014.

- TARIFA, J. R. **Mato Grosso: clima: análise e representação cartográfica.** (Série recursos naturais e estudos ambientais). Cuiabá, MT: Entrelinhas, 2011.
- TAVARES, C. P.; CANDEIRO, C. R. A.; SIMBRAS, F. **Levantamento da Geologia da Bacia Bauru (Cretáceo Superior) na Região Pontal do Triângulo Mineiro, Minas Gerais.** Horizonte Científico, v. 6, n. 1, 2012.
- TEODORO, D. A. A. **Biomassa, Estoque de Carbono e Nutrientes no Cerrado.** Dissertação de Mestrado. Publicação PPGEFL.DM-239/2014, Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade de Brasília-UnB, Brasília, DF, 2014.
- THEMISTOCLEOUS, K.; IOANNIDES, M.; AGAPIOU, A.; HADJIMITSIS, D. G. The Methodology Of Documenting Cultural Heritage Sites Using Photogrammetry, UAV And 3D Printing Techniques: The Case Study Of Asinou Church In Cyprus. In: **Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2015)**, 2015.
- THOMÉ FILHO, J. J. (Org.) **Sistema de Informação Geoambiental de Cuiabá, Várzea Grande e Entorno – SIG CUIABÁ.** Goiânia: CPRM, 2004. (Convênio CPRM/SICME), 2004.
- TIAN, J.; PHILPOT, W. D. Relating water absorption features to soil moisture characteristics. In: **International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)**. 3259-3262. 10.1109/IGARSS.2014.6947174, 2014.
- TOMCZAK, R. J.; RUDOWICZ-NAWROCKA, JANINA.; KUJAWA, S.; MUELLER, W. **Autonomous flying system for grasslands and fields monitoring.** Proc. SPIE 8334, Fourth International Conference on Digital Image Processing (ICDIP 2012), 83340M, 2012.
- TORRADO, P. V.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. **Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas.** Tópicos Ciências do Solo, 4145-4192, 2005.
- TUAN, Y. **Topofilia: um estudo da percepção, atitudes, valores do meio ambiente.** São Paulo: Difel, 1980.
- TUCKER, C. J. **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation.** Remote sensing of Environment, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979.
- TUNDISI, J. G. **Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções.** Estudos Avançados 22 (63), 2008.
- VALENCIO, N. (Org.). **Sociologia dos desastres – construção, interfaces e perspectivas do Brasil.** vol. II. – São Carlos: RiMA Editora, 2010.
- VASCONCELOS, T. N. N. **Interpretação morfo-pedológica da bacia do rio Tenente Amaral - Jaciara-MT: condição básica para sua caracterização ambiental.** 1998, fls.160. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Biológicas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas. Cuiabá, 1998.
- VERAVERBEKE, E. A.; VERBOVEN, P.; LAMMERTYN, J.; CRONJE, P.; DE BAERDEMAEKER, J.; NICOLAI, B. M. **Thermographic surface quality evaluation of apple.** Journal of Food Engineering, 77, 162–168, 2006.
- VERHOEST, N. E.C.; LIEVENS, H.; WAGNER, W.; ÁLVAREZ-MOZOS, J.; MORAN, M. S.; MATTIA, F. **On the Soil Roughness Parameterization Problem in**

**Soil Moisture Retrieval of Bare Surfaces from Synthetic Aperture Radar.** *Sensors* 2008, 8, 4213-4248; DOI: 10.3390/s8074213.

VERSTRAETEN, W. W.; VEROUSTRAETE, F.; van der SANDE, C. J.; GROOTAERS, I.; FEYEN, J. **Soil moisture retrieval using thermal inertia, determined with visible and thermal space borne data, validated for European forests.** *Remote Sensing of Environment*, v.101, p.299-314, 2006

VESENTINI, J. W. **Controvérsias geográficas: epistemologia e política.** *Confins* [Online], 2 | 2008, Disponível em: <<http://confins.revues.org/1162> >; DOI : 10.4000/confins.1162>. Acesso em Agosto 2015.

VETRIVEL, A.; GERKE, M.; KERLE, N.; VOSSelman, G. **Identification of damage in buildings based on gaps in 3D point clouds from very high resolution oblique airborne images.** *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 105, 61–78, 2015.

VILARINHO NETO, C. S. **Metropolização regional, formação e consolidação da rede urbana do Estado de Mato Grosso.** 2002, fls. 360. Tese (Doutorado em Ciências Sociais: Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia. São Paulo: 2002.

VIVONI, E. R.; RANGO, A.; ANDERSON, C. A.; PIERINI, N. A.; SCHREINER-MCGRAW, A. P.; SARIPALLI, S.; LALIBERTE, A. S.. **Ecohydrology with unmanned aerial vehicles.** *Ecosphere* 5(10):130, 2014.

WANG, X.; GUAN, H.; XIE, H. Estimation of root-zone soil moisture using modis-derived NDVI in semiarid and humid conditions. In: **American Society for Photogrammetry and Remote Sensing - Annual Conference of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2006: Prospecting for Geospatial Information Integration** (Vol. 3, pp. 1540-1550), 2006.

WATTS, A. C.; AMBROSIA, V. G.; HINKLEY, E.A. **Unmanned Aircraft Systems in Remote Sensing and Scientific Research: Classification and Considerations of Use.** *Remote Sensing*. 4, 1671-1692, 2012.

WERLANG, M. K.; WERLANG, A. P.; AITA, R. A.; RODRIGUES, I. **Avaliação na conformação de vertente em face das propriedades físicas da cobertura pedológica na área experimental do Departamento de Solos/Campus da Universidade Federal de Santa Maria.** *Ciência e Natura*, Santa Maria v.38 n.3, Set.- Dez. p. 1294 – 1302, 2016.

WILSON, C.; KAMPF, S. K.; WAGENBRENNER, J. W.; MACDONAL, L. H. **Rainfall thresholds for post-fire runoff and sediment delivery from plot to watershed scales.** *Forest Ecology and Management*, Volume 430, p. 346-356, 2018.

WOLF, D. **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS.** Third edition - The McGraw-Hill Companies, 2004.

WWF BRASIL. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2002 a 2008.** Iniciativa: CI – Conservação Internacional, ECOA - Ecologia e Ação, Fundación AVINA, Instituto SOS Pantanal, WWF- Brasil. Brasília, 2009.

WWF-BRASIL. **Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2008 a 2010.**

Iniciativa: CI – Conservação Internacional, ECOA - Ecologia e Ação, Fundación AVINA, Instituto SOS Pantanal, WWF- Brasil. Brasília, 2011.

**WWF-BRASIL. Monitoramento das alterações da cobertura vegetal e uso do Solo na Bacia do Alto Paraguai – Porção Brasileira – Período de Análise: 2008 a 2014.** Iniciativa: CI – Conservação Internacional, ECOA - Ecologia e Ação, Fundación AVINA, Instituto SOS Pantanal, WWF- Brasil. Brasília, 2014.

YAHYANEJAD, S.; RINNER, B. **A fast and mobile system for registration of low-altitude visual and thermal aerial images using multiple small-scale UAVs.** ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 104, 2015, 189–202.

YANG, Y., GUAN, H., LONG, D., LIU, B., QIN, G., QIN, J., AND BATELAAN, O. **Estimation of Surface Soil Moisture from Thermal Infrared Remote Sensing Using an Improved Trapezoid Method.** Remote Sensing., v.7, p.8250–8270, 2015.

ZARCO-TEJADA, P. J.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; BERNI, J. A. J. **Fluorescence, temperature and narrow-band indices acquired from a UAV platform for water stress detection using a micro-hyperspectral imager and a thermal camera.** Remote Sensing of Environment 117 322–337, 2012.

ZHANG H.; FREDERIKSEN, C. S. **Local and nonlocal impacts of soil moisture initialization on AGCM seasonal forecasts: A model sensitivity study.** Journal of Climate, 16 (13): 2117-2137 JUL 1 2003.

ZHANG, S.; KARIM, M. A. **Automatic target tracking for unmanned aerial vehicle video annotation.** Optical Engineering, vol. 43, n.8, 1867-1873, 2004.

ZHU, Y.; WEINDORF, D.C.; ZHANG, W. **Characterizing soils using a portable X-ray fluorescence spectrometer: 1. Soil Texture.** Geoderma, 167-168:167-177, 2011.

ZHU, Y; WEINDORF, D.C.; CHAKRABORTY, S.; HAGGARD, B.; JOHNSON, S.; BAKR, N. **Characterizing surface soil water with field portable diffuse reflectance spectroscopy.** Journal of Hydrology, v.391, p.133–140, 2010.