



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

PEDRO GUGLIELMI JUNIOR

**EFICIÊNCIA DE IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVES
REMOTAMENTE PILOTADAS NA QUANTIFICAÇÃO DE
TERRAÇOS AGRÍCOLAS E USO DA TERRA**

Londrina
2023

PEDRO GUGLIELMI JUNIOR

**EFICIÊNCIA DE IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVES
REMOTAMENTE PILOTADAS NA QUANTIFICAÇÃO DE
TERRAÇOS AGRÍCOLAS E USO DA TERRA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Universidade Estadual de Londrina - UEL, como
requisito para a obtenção do título de Doutor em
Geografia

Orientador: Prof. Dr. Pedro Rodolfo Siqueira
Vendrame

Londrina
2023

G942u Guglielmi Junior, Pedro.

Eficiência de imagens obtidas por aeronaves remotamente pilotadas na quantificação de terraços agrícolas e uso da terra / Pedro Guglielmi Junior.
- Londrina, 2023
132 f. : il.

Orientador: Pedro Rodolfo Siqueira Vendrame.

Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2023.

1. Veículo aéreo não tripulado - VANT - Tese. 2. Drone - Tese. 3. Sensoriamento Remoto - Tese. 4. Geoprocessamento - Tese. I. Rodolfo Siqueira Vendrame, Pedro. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Geografia. III. Título

CDU 91

PEDRO GUGLIELMI JUNIOR

**EFICIÊNCIA DE IMAGENS OBTIDAS POR AERONAVES
REMOTAMENTE PILOTADAS NA QUANTIFICAÇÃO DE TERRAÇOS
AGRÍCOLAS E USO DA TERRA**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Estadual de
Londrina - UEL, como requisito para a
obtenção do título de Doutor em Geografia

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Celligoi
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Edivaldo Lopes Thomaz
Universidade Estadual do Centro-Oeste-
UNICENTRO

Prof. Dr. Luciano Nardini Gomes
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Prof. Dr. Marcos Adami
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais -
INPE

Londrina 28, de janeiro de 2023.

RESUMO

GULIELMI JUNIOR, Pedro. **Eficiência de imagens obtidas por aeronaves remotamente pilotadas na quantificação de terraços agrícolas e uso da terra.** 2023. 131p. Trabalho de Conclusão de Curso (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Geografia -PPGEO, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2023.

A demanda por dados confiáveis obtidos de forma rápida com baixo custo têm despertado o interesse pelo uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas – ARP. A rápida evolução tecnológica das aeronaves e seus sensores têm propiciado ganhos expressivos de tempo e economia na obtenção de dados cada vez mais precisos. Concomitantemente, a quantificação da produção e a qualificação do uso do solo têm levado a uma melhor gestão na exploração do solo e do espaço rural em consonância com as demandas de conservação do meio ambiente. Este trabalho, utilizando imagens provenientes de levantamento com ARP, visou validar o uso de técnica de mapeamento e amostragem de segmentos uniformes buscando a quantificação e qualificação do terraceamento agrícola no município de Bela Vista do Paraíso no Estado do Paraná. Também buscou mensurar erros e desvios de classificação do uso do solo utilizando imagens de satélite dos principais sensores com oferta gratuita de imagens. Foram realizados 60 voos em 30 segmentos amostrais de 1x1 km, onde foram coletadas 13.740 imagens para realizar o mapeamento dos 3.000 ha do município. No total, foram mapeados 1.087 terraços que somaram 323.356 metros de extensão. Através de aplicação de técnicas de geoprocessamento, os resultados apontaram que apenas 4,7% dos terraços apresentaram uma distância vertical dentro da recomendação, enquanto que 52,6% apresentaram um espaçamento maior que o dobro da recomendação. Na aferição da classificação do uso do solo pelas imagens de satélite, em que foi considerado o mapeamento em imagem de ARP como testemunha, os resultados apontam que o sensor WFI do satélite CBERS-4, seguido pelo do sensor OLI do satélite Landsat-8 tiveram resultados mais aproximados ao mapeamento manual feito nas imagens de RPA. Sensores de maior resolução espacial tiveram um pior desempenho em comparação WFI e OLI no mapeamento de talhões uniformes de cultivo, enquanto que no mapeamento de talhões mais desuniformes os sensores com melhor resolução espacial: Pan-5, PAN-10 do satélite CBERS-4 e MSI do Sentinel-2 apresentaram um maior acerto na classificação. O ARP, unindo imagens em alta resolução e mapeamento manual obteve bons resultados, proporcionando uma precisão muito além do esperado. Aliado a técnicas de amostragem, o método empregado pode tornar-se uma opção econômica no sensoriamento de recortes espaciais extensos.

Palavras-chave: VANT; Drone; sensoriamento remoto; ARP ; aerolevantamento.

ABSTRACT

GULIELMI JUNIOR, Pedro. **Efficiency of images obtained by remotely piloted aircraft in quantifying agricultural terraces and land use**. 2023. 131p. Final Paper (Ph.D. in Geography) - Center of Exact Sciences, Graduate Program in Geography - PPGE. State University of Londrina. Londrina, 2023.

The demand for reliable data quickly obtained at low cost has aroused interest in the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA). The fast technological evolution of aircraft and their sensors has propitiated expressive time and cost savings in quickly acquiring increasingly precise data. Concurrently, the quantification of production and the qualification of land use has contributed to better land management and rural area exploration in line with environmental conservation demands. This study, using images obtained by RPA, aimed to validate the use of mapping techniques and uniform segment sampling to quantify and qualify agricultural terracing in the municipality of Bela Vista do Paraíso in the State of Paraná. It also sought to measure errors and deviations in land use classification using satellite images from the main sensors currently offering free images. Sixty flights were realized in 30 sample segments of 1x1 km, which resulted in a collection of 13,740 images to map the municipality's 3,000 ha. In total, 1,087 terraces were mapped, with a combined length of 323,356 meters. Applying geoprocessing techniques, the results showed that only 4.7% of the terraces had a vertical distance within the recommended range, while 52.6% had a spacing greater than double the recommendation. In a measuring land use classification using satellite images, considering RPA image mapping as a reference, the results indicate that the WFI sensor from the CBERS-4 satellite, followed by the OLI sensor from the Landsat-8 satellite presented results that closely aligned with the manual mapping conducted on the RPA images. Sensors with higher spatial resolution had a worse performance compared to WFI and OLI in mapping uniform cultivation plots, whereas in mapping more uneven plots, sensors with better spatial resolution such as Pan-5, PAN-10 of the CBERS-4 satellite, and MSI of Sentinel-2 presented higher classification accuracy. The RPA, combining high-resolution images and manual mapping, yielded excellent results, surpassing precision expectations. Together with sampling techniques, the employed method can become an economical option for large-scale spatial sensing.

Keywords: UAV; Drone; remote sensing; RPA; aerial survey.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa Climatológico do Município de BVP	16
Figura 2 - Mapa de relevo do Município de BVP	18
Figura 3 - Mapa de Solos	20
Figura 4 - Uso do solo em segmento vetorizado	65
Figura 5 - Detalhe de modelo digital de superfície	67
Figura 7 - Uso do solo em segmento vetorizado	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Perfil de terraço	68
Gráfico 2 - Comparativo de área mapeada entre os sensores	111
Gráfico 3 - Comparação da área intersectada entre os diferentes sensores e o mapeamento com ARP	112
Gráfico 4 - Comparativo de área intersectada e área com erro de inclusão.....	114
Gráfico 5 - <i>Box plot</i> do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada em todas as classes.	115
Gráfico 6 - Box plot do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada de lavoura temporária.....	116
Gráfico 7 - <i>Box plot</i> do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada de mata por sensor.	117
Gráfico 8 - Box plot do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada de pastagem por sensor.....	118

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de aeronaves e especificações das lentes e sensores RGB	61
Tabela 2 - Dados dos voos realizados:	62
Tabela 3 - Camadas vetorizadas.....	64
Tabela 4 - Resultado total do mapeamento do uso do solo nos 30 segmentos	66
Tabela 5 - Espaçamentos entre terraços vertical (EV) e horizontal (EH) de base larga em culturas. IAPAR, 2010	70
Tabela 6 - Área ocupada com cada classe de solo nos segmentos amostrais	71
Tabela 7 – Extensão dos terraços perante a Distância Vertical recomendada	75
Tabela 8 - Mapeamento das áreas com/sem terraços	77
Tabela 9 - Modelos de aeronaves e especificações das lentes e sensores RGB	96
Tabela 10 - Dados dos voos realizados	97
Tabela 11 - Camadas vetorizadas.....	99
Tabela 12 - Resultado do mapeamento do uso do solo	101
Tabela 13 - Dados dos sensores orbitais utilizados	102
Tabela 14 - Lista de sensores/satélites e atributos testados	105
Tabela 15 - Formulação dos índices de vegetação adotados	105
Tabela 16 - Lista por sensor dos hiper parâmetros e atributos utilizados para geração dos modelos adotados	106
Tabela 17 – Resultado e adequação das classes mapeadas	109
Tabela 18 - Resultado do mapeamento do uso do solo	110
Tabela 19 - Área mapeada por classe sensor (ha)	110
Tabela 20 - Comparação de áreas de intersecção mapeadas entre os diferentes sensores com relação ao ARP.	112
Tabela 21 - Comparativo de intersecção e erro de inclusão entre as classes.....	113

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE GRÁFICOS	16
LISTA DE TABELAS	17
SUMÁRIO	18
1 INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÃO A CIÊNCIA	10
2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	14
2.1 Clima.....	15
2.2 Relevo.....	17
2.3 Solos.....	19
2.4 Economia do setor rural de Bela Vista do Paraíso.....	21
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1 A importância do terraceamento agrícola	22
3.2 Sensoriamento Remoto	26
3.3 Classificação de imagens no mapeamento do uso do solo	29
3.4 Modelos de pesquisa por amostragem	31
3.5 Aeronaves Remotamente Pilotadas.....	32
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34
5 APÊNDICE	42
6 ARTIGO A - DIAGNÓSTICO DO USO DE TERRACEAMENTO RURAL POR IMAGENS PROVENIENTES DE AEROLEVANTAMENTO	53
7 INTRODUÇÃO	54
8 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	58
8.1 Obtenção dos segmentos amostrais	58
8.2 Planejamento e Execução dos Voos	60
8.3 Processamento das imagens coletadas	63
8.4 Mapeamento do Uso do Solo	64
8.5 Vetorização dos Terraços.....	66
9 RESULTADOS.....	74
10 DISCUSSÃO	78

11	CONCLUSÕES	80
12	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
13	ARTIGO B – TESTE DE EFICIÊNCIA DO MAPEAMENTO DO USO DO SOLO ENTRE IMAGENS DE DRONE E IMAGENS DE DIFERENTES SENSORES ORBITAIS	89
14	INTRODUÇÃO	91
15	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	94
15.1	Obtenção dos segmentos amostrais.....	94
15.2	Planejamento e Execução dos Voos	95
15.3	Processamento das imagens coletadas	98
15.4	Mapeamento do Uso do Solo	99
15.5	Características dos Sensores Orbitais.....	101
15.6	Procedimentos de Mapeamento com Imagens Orbitais	103
16	RESULTADOS.....	108
17	DISCUSSÃO	119
18	CONCLUSÕES	121
19	REFERÊNCIAS.....	123
20	ANEXOS	126

1 INTRODUÇÃO, OBJETIVOS E CONTRIBUIÇÃO A CIÊNCIA

A produção agropecuária brasileira representou no ano de 2021 uma participação estimada em 27,4% de todo o PIB brasileiro (ESALQ, 2022), já no Paraná, a produção alcançou em 2020 um volume de 128 bilhões de reais (PARANÁ, 2022). Estes dados demonstram a pujança de um setor de grande importância na economia e que requer acompanhamento constante visando direcionamentos, facilitando processos e organizando fluxos de recursos.

Tendo ciência da importância do setor para a economia do Estado, o Paraná destina preciosos recursos de seu orçamento para a pesquisa e destaca-se na divulgação de informações do meio rural entre os estados brasileiros, a Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná (SEAB) e suas entidades vinculadas: Instituto de Desenvolvimento Rural – IAPAR – EMATER (IDR), Centrais de Abastecimento do Paraná (CEASA), Agência de Defesa Agropecuária do Paraná (ADAPAR) em conjunto com a Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo (SEDEST) através de sua vinculada Instituto de Água e Terra (IAT), promovem pesquisas e desenvolvem projetos visando a conservação da biodiversidade e do solo em consonância com o desenvolvimento econômico, físico, e social no meio rural paranaense.

Diversas ações destas entidades visam conhecer, diagnosticar e planejar intervenções que possibilitem a melhor convivência das atividades humanas com a natureza. Entre estas atividades, tem aumentado nas últimas décadas a importância da conservação do solo, principal ativo econômico na geração de riqueza agrícola do Paraná. A conservação do solo, além de abranger questões relacionadas a estrutura e conservação da biodiversidade presente no solo, é um conjunto de princípios e técnicas agrícolas que visa o manejo correto das terras cultiváveis, evitando a erosão em todas suas formas. No Brasil, a erosão hídrica é considerada a mais importante, causando graves prejuízos tanto em áreas agrícolas quanto nas cidades (PEREIRA; TOSTO; ROMERO, 2019). Em geral, o fenômeno da erosão caracteriza-se pelo desprendimento e arraste de partículas de solo, decorrentes da ação das chuvas, sendo que, entre os principais impactos da erosão do solo podem ser citados:

carreamento progressivo das camadas superiores do solo; declínio da produtividade; diminuição de renda e êxodo rural, poluição e assoreamento de corpos d'água; destruição de estradas, pontes e benfeitorias (PEREIRA; TOSTO; ROMERO, 2019).

Segundo os estudos de Tosto (2010) no município de Araras-SP, culturais anuais (soja e milho) apresentaram perdas de solo de 14,5 ton/ano, enquanto que o cultivo de pastagem apresentaram índices de perda de 1,8 ton/ano. Bahia et al. (1992), estimaram para o Brasil perdas por erosão, provenientes de áreas agrícolas em 600 milhões de toneladas de terra por ano, perfazendo um custo da monta de US\$ 1,5 bilhão em função das perdas de nutrientes. Segundo Dechen et al (2015), os custos da erosão do solo associados às perdas dos principais nutrientes (P, K, Ca e Mg) para áreas com baixa cobertura do solo (cenário típico de cultivo no recorte de estudo) é de U\$71 a 107 por hectare, o que pode representar uma perda entre U\$ 162 a 277 mil por ano no município de estudo (considerando uma área agrícola de 2.288 ha).

Com o meio técnico científico em constante e rápida evolução (SANTOS, 2006), novas metodologias de diagnóstico são necessárias e passam a assumir papel preponderante na pesquisa e gestão territorial. Entre essas tecnologias, o sensoriamento remoto com imagens orbitais e o aerolevanteamento apresentaram-se como opção prática e econômica na coleta de informações do uso do solo quando comparado a métodos tradicionais de pesquisa subjetivas (ex: sensos agropecuários, consulta a informantes, cooperativas, etc.), sendo que agora diversos setores ligados ao meio rural se esmeram na obtenção de certificações de viabilidade técnica nas mais diversas aplicações dessas ferramentas.

Na obtenção de imagens por aerolevanteamento com aeronaves embarcadas, um dos maiores problemas encontrados é o alto custo de uso/aquisição de equipamentos que geralmente apresentam complexidade elevada, sendo que, aliado a isso, ainda pesam exigências de conformidades legais e conhecimentos técnicos aprofundados para a sua operação.

Buscando contornar isso, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) surgem como alternativa mais econômica e de adoção menos complicada, despertando o interesse do setor produtivo e de acompanhamento

ambiental por empresas privadas e entidades públicas.

Mesmo após mais de dez anos de evolução tecnológica, as ARPs ainda apresentam limitações de uso em áreas maiores do que 1.000 hectares, isso deve-se geralmente à baixa autonomia das aeronaves, levando a busca por alternativas de otimização de seu uso com novas técnicas. Buscando contribuir no ensaio de novas metodologias e visando aproveitar as soluções já testadas e empregadas em trabalhos de sensoriamento remoto com imagens orbitais utilizando segmentos amostrais uniformes, neste trabalho foi empregado ARP na coleta de imagens utilizando-se técnicas inspiradas principalmente na metodologia de estimativa de safra empregada nas pesquisas realizadas por Gallego (1995), Adami (2003) e Guglielmi Junior (2014). As soluções testadas visaram viabilizar a utilização de ARP tanto na coleta de informações de forma remota, otimizando o diagnóstico do terraceamento no meio rural, quanto aproveitar a alta resolução espacial das imagens para aferir o erro no mapeamento do uso do solo através de classificação de imagens orbitais, onde o mapeamento sobre imagem proveniente de ARP é abordada como testemunha.

A coleta de imagens visou elucidar duas questões primordiais:

- Se as imagens provenientes de ARP podem otimizar a detecção de problemas na adoção de terraços direcionados a conservação de solo agrícola, proporcionando a criação de diagnósticos de áreas extensas;
- Se, através do mapeamento do uso do solo utilizando imagens ARP, é possível mensurar problemas na classificação de uso do solo utilizando imagens orbitais.

Como o recorte espacial de pesquisa é extenso, como modelo foram utilizados trinta segmentos amostrais de 1x1km no município de Bela Vista do Paraíso-PR como amostras, conformação já utilizada em trabalhos de pesquisa de uso do solo (GALLEGO,1995; ADAMI, 2003; GUGLIELMI JUNIOR,2014). Nestes segmentos, foram realizados sessenta voos com ARP coletando imagens com grande resolução espacial, proporcionando o

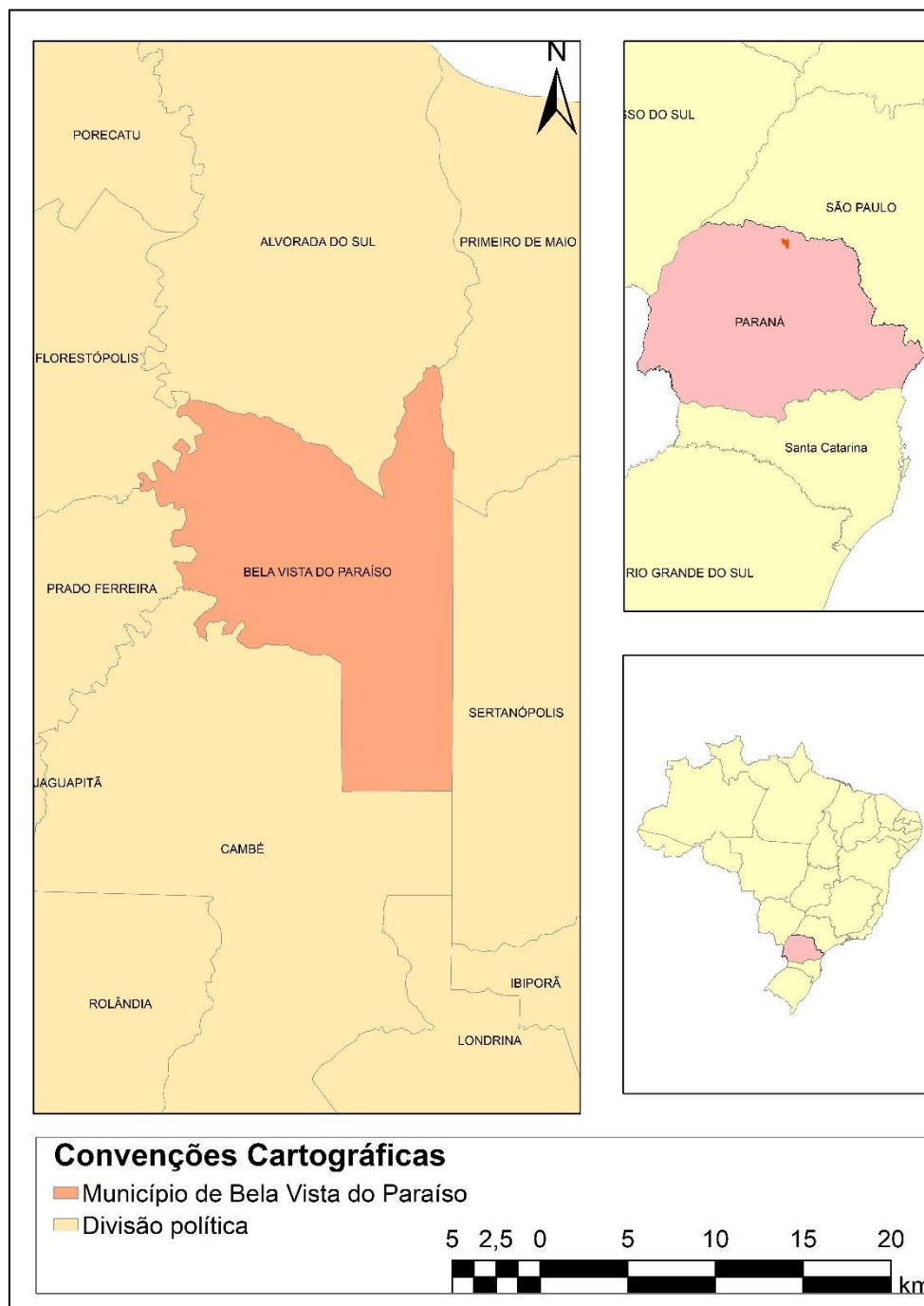
desenvolvimento de duas pesquisas distintas, de forma a aproveitar ao máximo o trabalho de captura de imagens.

A estrutura do trabalho abordará itens comuns entre as duas temáticas como caracterização de recorte espacial, materiais e meios de obtenção das informações; enquanto que o geoprocessamento, referencial teórico e análise de resultados serão descritos para cada um dos trabalhos individualmente.

2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O recorte espacial adotado para este trabalho abrange os limites políticos-administrativos do município de Bela Vista do Paraíso (BVP), cuja sede situa-se entre as coordenadas Latitude -22.997270° e Longitude -51.191358° . A localização do município pode ser observada na Figura 1:

Figura 1 - Localização da área de estudo



Fonte: Divisões políticas IBGE (2023). Elaborado pelo autor

Este município foi selecionado por estar próximo do município

de Londrina (35 km), sede dos trabalhos desta pesquisa e por apresentar uma área territorial mais adequada no seu tamanho, facilitando sua amostragem. O município de BVP apresenta área de unidade territorial divulgada pelo IBGE de 24.268,9 ha, enquanto que o município de Londrina apresenta área de unidade territorial bem maior (165.256,9 ha segundo o IBGE), o que exigiria uma amostragem maior para expandir os dados conforme o modelo estatístico adotado. A camada vetorial do município apresentou uma área de 24.249,9 ha (IBGE, 2023)., isto é, uma área inferior em 19 ha, isto provavelmente é decorrente de diferenças nas escalas no momento da vetorização do perímetro, ou na ortorectificação da imagem de base no mapeamento. A diferença entre os dois dados é menor que 0,08% da área total, o que foi considerado de baixo impacto no estudo.

2.1 CLIMA

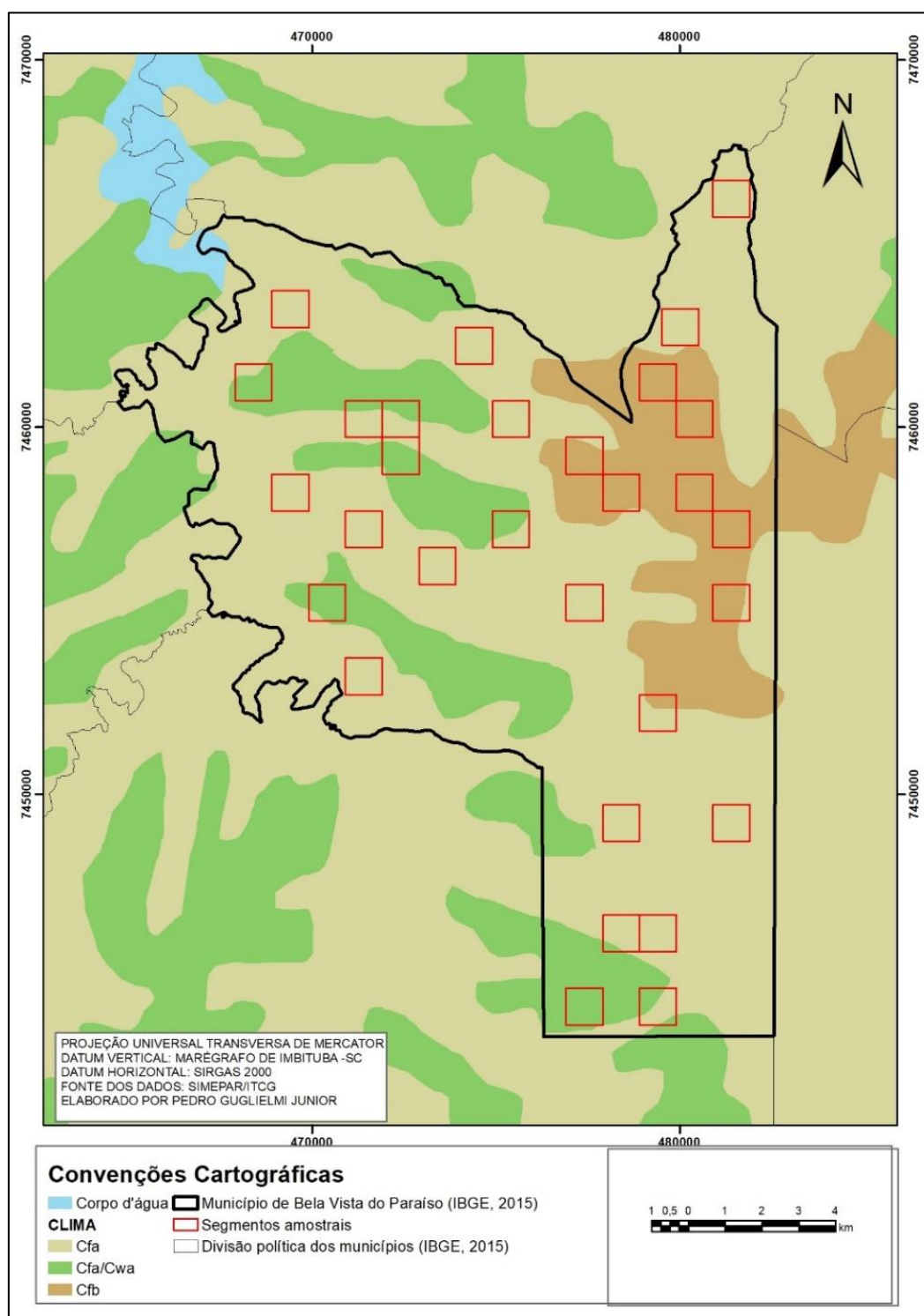
Segundo a classificação climática de Köpen (NITSCHKE, 2019), no município de BVP predomina a classe Cfa e Cfb (Figura 2), onde são apresentadas as seguintes características (MAACK, 1968):

Cfb - Clima temperado, com verão ameno. Chuvas uniformemente distribuídas, sem estação seca e a temperatura média do mês mais quente não chega a 22°C. Precipitação de 1.100 a 2.000 mm. Geadas severas e frequentes, num período médio de ocorrência de dez a 25 dias anualmente.

Cfa - Clima subtropical, com verão quente. As temperaturas são superiores a 22°C no verão e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco. Na região norte e noroeste do Paraná, o tipo climático também é designado como Cfa (h), sendo h, clima tropical original modificado pela altitude.

Cwa - Clima subtropical úmido influenciado pelas monções, a média do mês mais frio está acima de 0 °C ou -3 °C, pelo menos um mês tem temperatura média acima de 22 °C e ao menos quatro meses apresentam média acima de 10 °C. Neste clima, o verão é pelo menos dez vezes mais chuvoso do que o inverno, que é seco. Pode-se dizer também que 70% da chuva cai durante os meses mais quentes, e somente 30% cai nos meses mais frios.

Figura 2 - Mapa Climatológico do Município de BVP



Fonte: Dados IAT (2023), elaborado pelo autor

O Instituto Água e Terra - IAT, através do Sistema de Informações Hidrológicas – SIH na Estação de Monitoramento Prata (unidade de monitoramento mais próxima da área de estudo) acompanhou entre 2016 e 2018 as ocorrências de chuvas no município de Cambé, distante apenas 38 km de

BVP, onde foi aferido uma ocorrência máxima diária em 155,2 mm no dia 12 de janeiro de 2016 (PARANÁ_B).

2.2 RELEVO

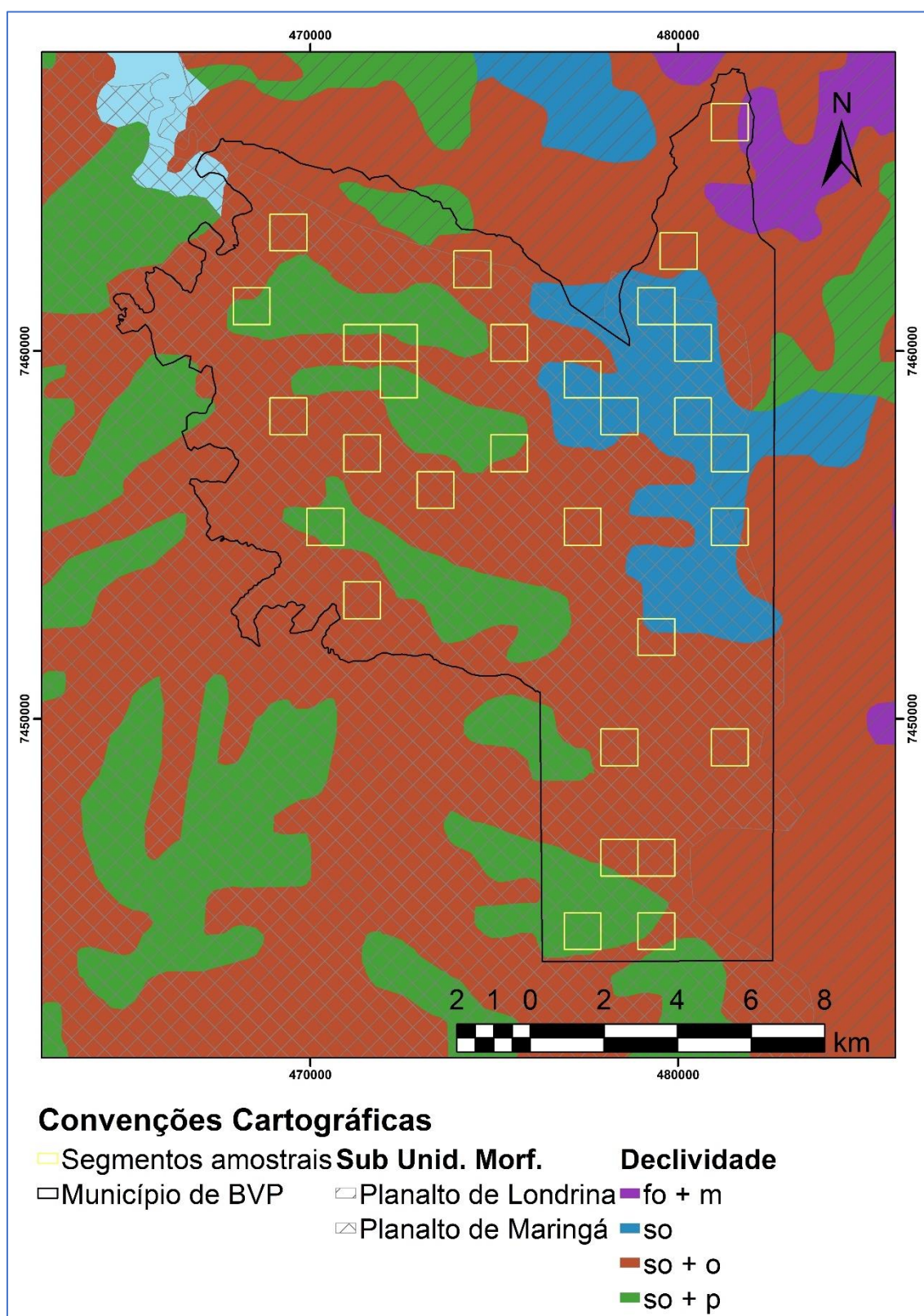
O município de BVP conforme a classificação de Ross (1985), em primeira unidade morfoestrutural pertence a Bacia Sedimentar do Paraná, em segunda unidade ao Terceiro Planalto Paranaense e em sub-unidade (SANTOS et al, 2006) assume duas classes:

- Planalto de Londrina: dissecação média, com predominância de vertentes convexas, vales em “V”, altitude mínima de 340m alcançando até 1.180m, com gradiente altimétrico de 840.
- Planalto de Maringá: dissecação baixa com predominância de vertentes convexas, vales em “V”, altitude mínima de 260 alcançando até 800m, com gradiente altimétrico de 540.

Quanto a declividade, o relevo apresentam-se predominantemente suave ondulado e ondulado conforme mapeamento divulgado pelo Serviço Geológico do Brasil (BRASIL, 2022) seguindo as classes definidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 1999).

Na área de estudo, segundo esta publicação, o recorte enquadra-se em sua maior parte na classe suave ondulado com declividade média de 2,5% à plano. Mas há também a ocorrência de áreas restritas, com declividade entre 15 e 45%, conforme pode consta na Figura 3.

Figura 3 - Mapa de relevo e declividade do Município de BVP



Fonte: Dados IAT (2023); SANTOS et al (2006). Elaborado pelo autor

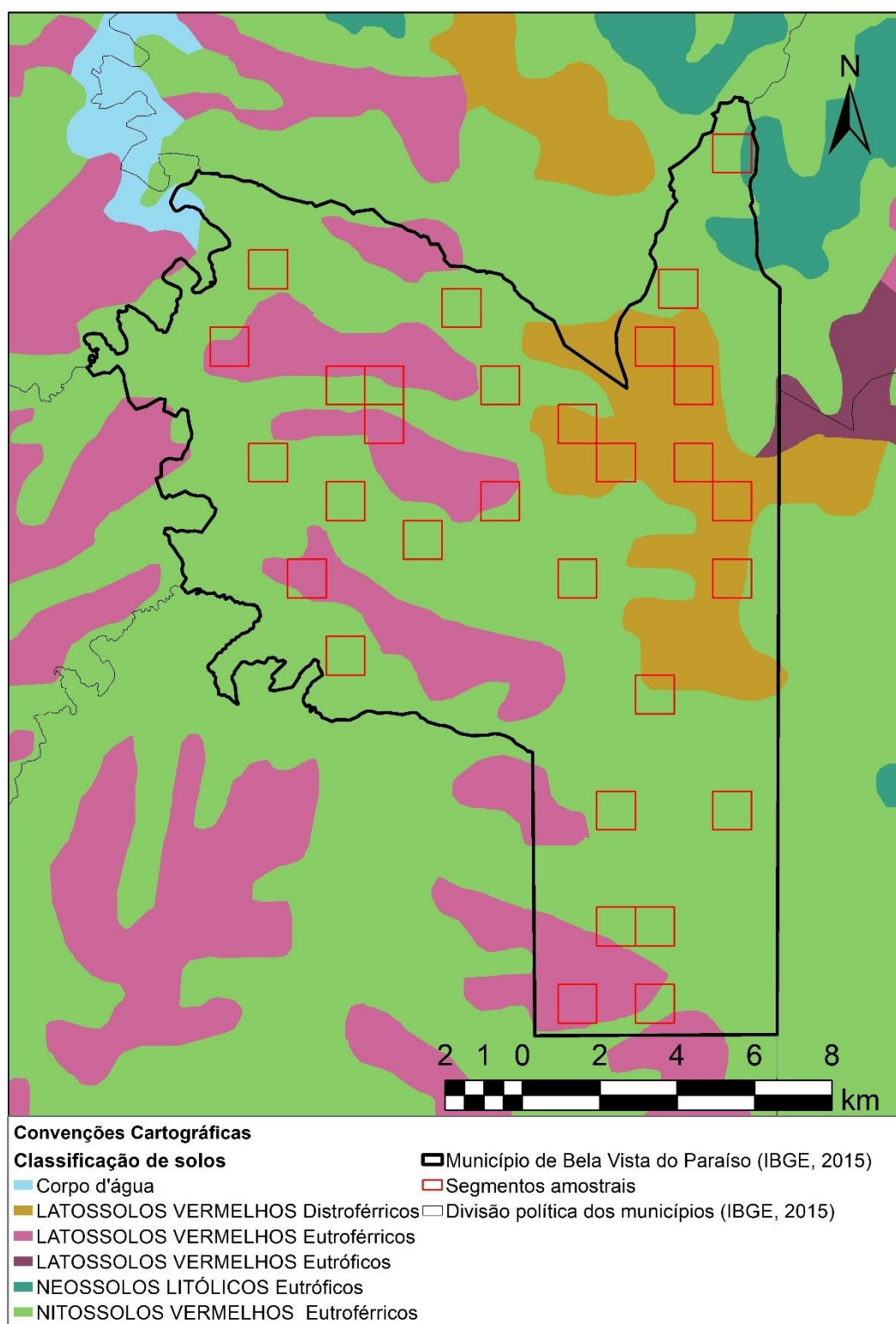
O fator relevo, segundo Campos (2012), é muito importante sobre o regime hídrico dos solos, atuando de forma significativa no volume de

água em escoamento e na formação dos solos de um modo geral. Para estes autores, o tempo de exposição dos materiais que originam o solo é influenciado pela vertente, intensidade de fluxo da água e sua direção no processo de pedogenética.

2.3 SOLOS

As características do tipo de solo podem influenciar diretamente na tolerância à perda por erosão (LOMBARDI; BERTONI, 2008), dessa forma é importante inserir a variável de “tipo de solo” ao correlacionamento de fatores influenciadores nos cálculos estruturas conservacionistas de solo. Segundo o mapeamento feito pela Embrapa (1999), o município de BVP apresenta uma grande área coberta com NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, enquanto que em menor proporção há a ocorrência de LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos, com pequena ocorrência de NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos na porção nordeste do município, conforme pode ser observado na Figura 4:

Figura 4 - Mapa de Solos



Fonte: Dados IAT (2023), elaborado pelo autor

Há que ser ressaltado que perdas de solo, de nutrientes e matéria orgânica por erosão hídrica são fortemente influenciadas pelo manejo do solo (HERNANI, KURIHARA e SILVA, 1999). No município de BVP, segundo

informações coletadas em cooperativas e empresas do setor, o manejo de solo predominante é o de “plantio direto”, com os produtores utilizando maquinário de revolvimento do solo somente quando há alguma necessidade especial. No trabalho de Hernani, Kurihara e Silva (1999), fica evidenciado que o sistema de plantio direto foi o que apresentou menores índices de perdas de nutrientes e solo pelo arrasto da água em comparação ao cultivo mínimo ou convencional. No trabalho de Tosto (2010), o fator “cobertura do solo” foi o que definiu as classes de perda de solo e nutrientes por erosão. A adoção do sistema de plantio direto visa também a manutenção de uma maior cobertura do solo, apesar de estudos recentes (DECHEN, 2015) enfatizarem que dependendo da declividade e da intensidade da chuva, a cobertura do solo pode ser levada pelo escoamento superficial, retirando assim sua proteção ao solo.

2.4 ECONOMIA DO SETOR RURAL DE BELA VISTA DO PARAÍSO

Segundo a Secretaria da Agricultura do Paraná (PARANÁ², 2022), o município de BVP teve uma produção agropecuária com valor total de R\$ 177.910.846,33 no ano de 2020, onde o cultivo de milho segunda safra apresenta destaque com uma área cultivada de 13.528 hectares, alcançando o valor de R\$62.959.582,56 (35,38% do total), enquanto que a soja, alcançou 17.000 hectares obtendo um valor total de R\$77.359.392,50 (43,48% do total). Estas duas culturas somaram 76,88 % de tudo o que foi produzido no campo do município, chegando a ocupar 70% de sua área total, evidenciando sua importância econômica.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A IMPORTÂNCIA DO TERRACEAMENTO AGRÍCOLA

Dos fatores responsáveis pelo processo erosivo, a capacidade da chuva em causar erosão é considerada como o um dos fatores mais potenciadores (MACHADO et al., 2008). Segundo Wischmeier & Smith (1978) e Almeida (2009) o efeito erosivo da chuva no solo inicia em precipitações maiores ou iguais a 10 mm ou maiores ou iguais a 6,0 mm, desde que ocorram em, no máximo 15 min e separadas entre si por um período de no mínimo 6 h com uma lâmina de chuva de 1,0 mm ou menos. Dessa forma, a erosividade é diretamente ligada a intensidade e duração da precipitação, e da massa, diâmetro e velocidade da gota de chuva (HUDSON, 1971). Para calcular a erosividade do solo pela chuva é necessário um estudo aprofundado de uma série de dados de registros de chuvas, sendo esses dados escassos e, muitas vezes, de difícil acesso (MELLO et al., 2007). Alguns autores também mencionam que outros fatores conjugados a precipitação também influenciam na fragilidade do solo, dentre estes fatores, destaca-se a classe de solo, clima, profundidade, estrutura e etc.

Entre os vários fatores que condicionam o uso do solo agrícola e agravam a degradação do solo por erosão, a declividade tem grande importância pois pode facilitar ou até limitar o uso de máquinas, aumentar a velocidade do escoamento da água, limitar a infiltração da água do solo e potencializar a energia da enxurrada, conforme argumentam Pires e Souza (2006). Zingg (1940) realizou um estudo de declive no qual levou em conta o comprimento de rampa, criando modelos para contenção da enxurrada nos solos através de terraceamento, enquanto que Musgrave (1935) concentrou esforços nos estudos do comprimento de rampa como fator potenciador da erosão do solo, enfatizando que a intensidade da chuva é um fator agravante.

A declividade do terreno também é considerada um dos principais parâmetros utilizados nas metodologias de classificação da aptidão de uso do solo no Brasil (RAMALHO FILHO; BEEK, 1995; LEPSCH et al., 1991).

Diante desses fatores, a declividade do terreno detém o maior peso na determinação do tipo, tamanho e quantidade de terraços a serem adotados. No planejamento da construção dos terraços deve-se considerar que quanto maior o declive maior é a possibilidade de haver erosão, ainda que pese sobre a declividade um custo maior ou menor na construção das estruturas, chegando inclusive a inviabilizar um projeto (BERTONI; LOMBARDI, 2008).

O diagnóstico de degradação do solo por erosão em áreas extensas geralmente esbarra na dificuldade de obtenção ou ausência de dados pluviométricos adequados por inexistência de estações meteorológicas próximas, nestes casos, é comum adotar-se um modelo mais genérico de índices de erosividade, como os recomendados por Lombardi Neto (2008) e Rufino (1994) onde os autores divulgam tabelas que direcionam a construção de terraços mesmo sem dados específicos de uma área.

O terraceamento é uma prática mecânica de conservação do solo destinada ao controle da erosão hídrica, das mais difundidas e utilizadas pelos agricultores. Londero et al (2015) conclui em seus estudos que o uso de terraceamento reduz em quase 90% o volume de escoamento superficial e reduz em quase 80% a vazão máxima, sendo que, estes dados quando aliados aos dados dos estudos de Pereira; Tosto; Romero, 2019, de Tosto (2010) e Dechen et al (2015) em que são mensuradas as perdas de nutrientes e os prejuízos ocasionados pela erosão do solo, é possível prever perdas substanciais a prática agrícola se negligenciada a sua adoção no terraço. Dessa forma, a prática de terraceamento tem comprovada eficiência no controle da erosão de terras cultivadas sendo que sua principal função é a redução das perdas de solo e água pela erosão, prevenindo a formação de sulcos e grotas, sendo mais eficiente quando usado em combinação com outras práticas, como por exemplo, plantio em contorno, cobertura morta e culturas em faixas (BERTONI; LOMBARDI, 2008).

No exterior, segundo Bertoni (1959), os estudos de espaçamento de terraços se iniciaram nos Estados Unidos por Ramser (1945), tendo utilizado de base os estudos de Nichols (1937), principalmente com referência a secção de terraços. Também é necessário citar os estudos de Hamilton (1938) que se tornou um clássico ao apresentar fórmulas de

espaçamentos em conjunto com Bennett (1939). Os estudos de conservação do solo tiveram grande avanço tanto na Europa quanto nos Estados Unidos e foi justamente este último que mais influenciou o Brasil a também preocupar-se com o solo (TELLES; GUIMARÃES; DECHEN, 2011). Segundo Bennett (1939), nos EUA até a década de 1930 os agricultores mostravam-se indiferentes a conservação do solo, mas pesquisas sob esta temática já eram incentivadas pela sociedade norte americana. A partir de 1933, segundo esse mesmo autor, iniciou-se estudos mais específicos visando medir a intensidade de erosão de solo, onde foi dada grande importância ao uso de terraços na agricultura para controlar a erosão. Bennet foi reconhecidamente um pesquisador defensor da conservação do solo nos EUA e conseguiu demonstrar que a conservação de solo era economicamente viável criando novas técnicas para manter e aumentar a produtividade do solo, concebendo o solo não somente como meio de obtenção de lucro, mas como um patrimônio com direito de uso; posteriormente recebeu o título de “Pai da Conservação do Solo” (TELLES; GUIMARÃES; DECHEN, 2011). A partir da década de 1950, Baver (1951), Klingebiel e Montgomery (KLINGEBIEL, 1958; KLINGEBIEL & MONTGOMERY, 1961) também se somaram a causa e passaram a difundir a ideia de que era necessário a criação de um “Sistema de Capacidade de Uso da Terra” onde seria investigado a localização, extensão e adequação de cada tipo de solo para diferentes usos. Em 1965, com o avanço das pesquisas em perda de solo por erosão, Wischmeier e Smith (1965) desenvolveram a “Equação Universal de Perda de Solo” (USLE), um modelo para estimar as perdas de solo causadas pela água através da erosão que foi considerado um marco no desenvolvimento de conservação do solo e da água, impulsionando a pesquisa e estimulando o controle da erosão, tornando-se um referencial no mundo (WISCHMEIER & SMITH, 1965, 1978; TELLES; GUIMARÃES; DECHEN, 2011).

A fórmula USLE que expressa a quantidade de perda de solo em unidades $\text{Mg.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ é dada pela multiplicação de coeficientes empíricos dos fatores influentes apresentados na equação (GOMEZ, 2012):

$$A=R*K*L*S*C*P$$

Onde:

R = fator erosividade da chuva

K = fator erodibilidade do solo

LS = fator topográfico

C = fator cobertura vegetal

P = fator práticas de conservação

A utilização da USLE busca estimar a quantidade total de sedimentos erodidos anualmente na bacia, compreendendo a erosão total da bacia. Modelos posteriores como a MUSLE, Kinnell e Risse(1998) e USLE-M (RENARD et al. 1997) permitem estimar a partir do fluxo superficial o sedimento que chega ao rio (GOMEZ, 2012). Nesse processo, o terraceamento é de grande importância pois freia a condução dos sedimentos ao rio.

O terraceamento agrícola é uma estrutura muito comum na paisagem rural paranaense, sua adoção teve início na década de trinta no Estado de São Paulo através do Departamento de Engenharia Mecânica da Agricultura (DEMA) e, posteriormente, a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) nos anos 1950 a 1980 ampliou sua utilização (BELLINAZZI JÚNIOR et al., 1983).

A intensificação dos estudos de conservação de solo inicialmente teve seu foco no Estado de São Paulo, no Instituto Agrônomo de Campinas onde João Quintiliano de Avellar Marques é considerado um dos pioneiros desta instituição (MARQUES; BERTONI; BARRETO,1961), já Bertoni & Lombardi Neto (2008) posteriormente destacaram-se com publicações que nortearam os trabalhos de terraceamento e são referência até os dias atuais. No Paraná, o Instituto Agrônomo do Paraná – IAPAR também desenvolveu estudos e publicou guias direcionando sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo (DERPSCH et al., 1991; SORRENSON; MONTOYA, 1989), sendo que o trabalho de Rufino (1994) direcionou a adoção de terraceamento, tendo sido adotado nos programas de microbacias e de conservação de solo na política de incentivo conservacionista do Estado. O apoio do Estado com políticas públicas além da preocupação com a conservação do solo e meio ambiente pautou-se mais em objetivos econômicos pois a má conservação de solo agrícola decorrente de processos erosivos torna-se um dos principais fatores de perda de fertilidade em áreas

produtivas (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2008)

3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

O termo “Sensoriamento Remoto”, conforme, foi usado pela primeira vez por Evelyn L. Pruit em 1960, é atualmente uma das ciências mais difundidas e estudadas no mundo. Segundo Barret & Curtis (1992), sensoriamento remoto ““(…) é a ciência de observação à distância”, já para Moraes (2010), sensoriamento remoto é a ““Utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles.”; enquanto que para Robert A. Schowengerdt é o “Processo de medição de propriedades de objetos da superfície terrestre usando dados adquiridos de aeronaves e satélites.”. Com base nesses preceitos, uma definição mais científica que se pode dar ao Sensoriamento Remoto seria:

“Sensoriamento Remoto é uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

O sensoriamento remoto tem sido muito utilizado em diversos mapeamentos por instituições públicas, agricultores e na pesquisa de modo geral (ALLEN et al., 2002). A quantificação da produção e a qualificação do uso do solo têm propiciado tomadas de decisão de grande valia ao facilitar a convergência de esforços na busca por uma melhor gestão na exploração do solo e do espaço rural em consonância com as demandas de conservação do meio ambiente que visam torna-lo cada vez mais sustentável.

Contribuindo com o cenário em rápida evolução, nas últimas décadas houve a adoção de ferramentas que ajudaram a dinamizar a pesquisa ofertando imagens abrangentes do uso do solo através de sensores orbitais nas mais diferentes configurações de resoluções espaciais e capacidades de cobertura e revisitas. Entre os sensores orbitais com oferta gratuita de dados atualmente em funcionamento, destacam-se os embarcados nos satélites CBERS-4, LANDSAT-8 e SENTINEL-2. Estes sensores, ofertam dados abrangentes do território brasileiro em uma variada gama de resoluções

espaciais, apresentando características diferentes de registro com resoluções espaciais em escala métrica. A resolução espacial restringe a obtenção de dados de objetos com tamanho menor que o menor pixel captado pelo sensor, misturando dados dentro do espectro de resolução, isto é, o detalhamento das informações de reflectância de parte dos objetos é perdido quando são misturadas as informações pelo sensor que não tem capacidade para registrar tanta informação (DEFRIES et al., 1995; FISHER, 1997; WU et al., 2002). Os sensores orbitais mais usuais não podem ofertar dados a qualquer momento, são restritos às órbitas pré-definidas e dependem de céu suficientemente limpo (sem nuvens) para o aproveitamento das imagens (LOBELL, ASNER, 2004). Apesar desses problemas, a utilização de imagens orbitais na estimativa de safra agrícola tem recebido bastante destaque nos trabalhos realizados no Brasil e também no Paraná, onde a sistemática de obtenção de dados para comparação segue o roteiro de georreferenciamento, registro, realce, filtragem e classificação (ADAMI, 2003; RICHARDS, 1986; SCHOWENGERDT, 1997; LILLESSAND E KIEFER, 1999; MATHER, 1999; MOREIRA, 2001).

As imagens coletadas pelos sensores remotos podem ser processadas através de *softwares* e *hardwares* dedicados a fim de extrair e interpolar diversas informações. Jensen (1986) denomina o processamento digital de imagens como “conjunto de procedimentos relativos à manipulação e análise de imagens por meio do computador”. O sensor registra a energia solar que foi refletida, absorvida ou transmitida por algum objeto da superfície terrestre (energia eletromagnética – REM) pois parte da energia incidida nesses corpos é absorvida e utilizada na fotossíntese (no caso das plantas), parte transmitida e outra refletida para a atmosfera sendo que a reflectância de um objeto expressa a quantidade de REM que o corpo refletiu (PONZONI, SHIMABUKURO, 2010).

A aquisição de dados pelo sensor ocorre dentro do espectro eletromagnético (VENTURIERI, 2007), que é subdividido em faixas, representando regiões que possuem características peculiares em termos de processos físicos e geradores de energia em cada faixa. A resposta refletiva dos objetos sob iluminação da REM denomina-se de resposta ou assinatura espectral. “O espaço espectral descreve a variação da reflectância de uma dada superfície em função do comprimento de onda, resultando na assinatura

espectral” (GLERIANI, 2004).

A assinatura espectral e comportamento espectral expressam ideias diferentes. Se for a energia refletida pelo objeto em uma determinada faixa espectral é assinatura espectral. Se a energia refletida que é medida de um alvo, que apresente “misturas” de radiações, nesse caso é comportamento espectral. (MOREIRA, 2010).

Há que ser considerado que podem ocorrer variações nas faixas do espectro de acordo com a classe de solo encontrada na área de interesse e este pode aliar fatores de teor de umidade do solo e de óxidos de ferro. Um solo mais úmido tem sua coloração mais escura, com isso a absorção da REM aumenta em virtude da presença da água, o que faz que a reflectância decresça na região do infravermelho próximo e no visível (MOREIRA, 2010).

Dessa forma, o sensoriamento remoto é uma medida da interação da REM com a superfície dos objetos, *“segundo o modelo ondulatório as características das imagens são explicadas tendo-se em conta a relação entre o tamanho da onda e o tamanho do objeto. Esse modo de interação é denominado de interação macroscópica”* (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

A interação macroscópica influencia diretamente no “reconhecimento” de um objeto para incluí-lo ou não em uma classe predefinida, como é explicado:

Na prática, nas imagens de sensoriamento remoto a interação macroscópica é a resposta da intensidade com que um objeto reflete a radiação eletromagnética em razão do tamanho da onda e a textura da superfície do objeto. A textura representa a rugosidade topográfica da superfície. Ela pode ser estimada pelas variações verticais de altura da superfície de um material e se mostra muito eficiente para explicar as diferenças observadas nas imagens entre as diversas formas de relevo, os tipos de dosséis da vegetação, ou da superfície lisa de um corpo d’água calmo ou com ondas revolta (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

Atualmente conta-se com sensores orbitais voltados a uma grande gama de aplicações, Para usuários que necessitam de uma observação detalhada do tamanho e das formas dos objetos, há os sensores que detectam áreas inferiores a 1 (um) metro, enquanto que, para monitoramento e acompanhamento da evolução e de mudanças da paisagem, pode-se recorrer aos sensores com alta taxa de revisita à área, diferentemente de quem necessita

identificar minerais, para estes, recomenda-se utilizar sensores com grande leque de bandas espectrais. Em todos os casos, o fator resolução espacial é de fundamental importância pois ele agrega ou desagrega informação no momento da coleta e define o tamanho da imagem coletada (taxa de cobertura). As imagens de pequena resolução espacial (maior *pixel*), por não apresentarem os detalhes dos alvos, em geral se destinam a estudos em escalas mais regionais, enquanto que as imagens com grande resolução espacial (menor *pixel*) se prestarão para estudos locais com maior detalhamento.

A identificação de um objeto ou feição na paisagem, além da resolução espacial do sensor, obedece a quatro outros diferentes fatores que determinam a resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal. (MENEZES, ALMEIDA, 2012):

- área do campo de visada do sensor;
- comprimento de onda das bandas;
- valores numéricos da medida da radiância do alvo;
- data em que a imagem foi tomada.

O sensoriamento remoto também pode incluir técnicas de aerofotogrametria e fotointerpretação, uma vez que fotografias aéreas são remotamente captadas. Menezes e Almeida (2012) são muito diretos em afirmar que o termo “sensoriamento remoto” não se restringe apenas a imagens orbitais, como segue:

“existe a errônea concepção de apenas considerar como sensoriamento remoto as imagens obtidas de satélites, visto que o termo foi criado quando a era espacial deu início. As fotografias aéreas, que por mais de um século vêm sendo usadas como uma forma de observar a Terra são, obrigatoriamente, uma classe de sensores remotos.” (MENEZES, ALMEIDA, 2012).

3.3 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS NO MAPEAMENTO DO USO DO SOLO

Quando da utilização de classificação de imagens orbitais para realizar o mapeamento do uso do solo, o pesquisador utiliza de uma série de procedimentos que são basicamente: pré-processamento, classificação e pós-processamento. As técnicas mais comumente utilizadas para a investigação do

uso do solo em sensoriamento remoto são: georreferenciamento, registro, realce, filtragem e classificação (ADAMI, 2003; RICHARDS, 1986; SCHOWENGERDT, 1997; LILLESSAND E KIEFER, 1999; MATHER, 1999; MOREIRA, 2001).

Visando melhorar a diferenciação de elementos presentes na imagem, comumente é aplicado um contraste na imagem fazendo com que seja deslocado os valores de cinza mais altos para próximo de 255, onde também se desloca os valores mais baixos de cinza para próximo de zero, criando um degradê mais espaçado das cores (ADAMI, 2003; RICHARDS, 1986; SCHOWENGERDT, 1997; LILLESSAND E KIEFER, 1999; MATHER, 1999; MOREIRA, 2001).

As imagens provenientes de sensores orbitais ou aerolevantamento geralmente recebem atribuição de uma posição (coordenada) a cada pixel apresentado na imagem sob um modelo de projeção da superfície terrestre. Esse georreferenciamento é necessário para que a informação da imagem seja localizada na superfície terrestre (LILLESSAND E KIEFER, 1999; MATHER, 1999).

Quando um determinado objeto é investigado na cena, é possível realçar o atributo espectral registrado na imagem pelos sensores do satélite que melhor evidencia a sua presença. O Atributo Espectral refere-se a um intervalo específico de comprimento de onda do espectro-eletromagnético armazenado pelo sensor (exemplo: bandas do visível e infravermelho). A resolução espectral indica a quantidade de regiões do espectro eletromagnético e o intervalo de comprimento de onda. Estas imagens denominam-se bandas espectrais e representam a energia registrada pelos detectores do sensor numa determinada região do espectro eletromagnético, segundo a resposta espectral de cada objeto (JANSEN, 1986; MULLER, 1988; RICHARDS, 1997; GONZALES e WOODS, 2000). Com isso, é possível realizar a conjugação de variadas bandas espectrais para investigar a presença e mensurar a ocupação espacial de um elemento (ou vários) na paisagem.

A classificação das imagens digitais é realizada atribuindo um valor de classe temático a cada pixel. A classificação de imagens é um processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características

comuns. Uma classe poderia ser, por exemplo, soja, um grupo de classes poderia ser áreas cultivadas (FIGUEIREDO, 2005).

Na Classificação de imagens, busca-se extrair diferenciadas classes ou temas, geralmente atribuindo categorias de uso da terra. As informações contidas em uma imagem podem ser usadas para a classificação utilizando-se um padrão espectral, espacial ou temporal. Richards (1986), Schowengerdt (1997) e Mather (1999) defendem que a classificação se baseia na relação entre o objeto alvo e as características espectrais que se apresentam na imagem. Dessa maneira, a correlação entre estes dois elementos pode ser feita através de parâmetros definidos pelo pesquisador ou diretamente por ele, subdividindo a classificação entre supervisionada ou não supervisionada.

O uso de classificadores não-supervisionados, é indicado para os casos em que o analista não possui conhecimento *a priori* da área de estudo. Hoje, este método é utilizado para eliminar a subjetividade decorrente do processo de aquisição de amostras de área (MOREIRA, 2001).

3.4 MODELOS DE PESQUISA POR AMOSTRAGEM

Tem-se observado que os levantamentos de uso do solo e da produção agropecuária brasileira aumentou sua complexidade metodológica através dos anos com o incremento de novos recursos computacionais acompanhando o movimento no meio rural como elencado por Santos (2006, 1994), sendo que, com a adoção de modelos estatísticos amostrais os agentes de gestão territorial têm buscado novas alternativas na obtenção de dados mais fidedignos com menor custo sem abrir mão de incremento na agilidade. As estimativas de áreas agrícolas tradicionais são geralmente obtidas ou por censos agropecuários, ou por levantamentos amostrais, que podem ainda ser classificados como subjetivos ou probabilísticos segundo a *Food And Agriculture Organization of the United Nations* (FAO,1996). Nos levantamentos probabilísticos é mensurado um fator de erro, estimando a precisão por meio de um coeficiente de variação que através dele é possível obter um intervalo de confiança como parâmetro que é calculado sobre a variância estimada.

Dentre os levantamentos de dados de forma objetiva, os levantamentos de safra por amostragem possibilitam pesquisar apenas uma parte da totalidade, e através de um modelo estatístico adequado é possível realizar estimativas para o restante da população (COCHRAN, 1977; GALLEGO, 1995). Nesse movimento, é importante citar a incorporação das técnicas de amostragem nas estatísticas agrícolas iniciado por Salomão Schattan no ano agrícola 1952/1953 (PINO, 2004).

O uso da classificação do uso do solo através das imagens orbitais passou a ser aprimorada com a adoção de modelos estatísticos (FAO, 1996 e 1998; RUDORFF e KRUG, 1986; MULLER et al., 1988) que também podiam utilizar segmentos amostrais uniformes, estes modelos visam principalmente a economia de tempo e redução de custos. Alguns trabalhos foram desenvolvidos utilizando segmentos de 1x1 km apresentando bons resultados (ADAMI, 2003; GALLEGO, 1995; GUGLIELMI JUNIOR, 2014).

Os segmentos podem ser definidos através de limites físicos para melhor visualização do pesquisador; por quadriláteros com vértices identificados por coordenadas, onde linhas imaginárias ligam os vértices e mantêm em constante controle a estrutura da amostragem; e por pontos sorteados na população (GUGLIELMI JUNIOR, 2014). Este método foi usado na Espanha, Grécia, República Checa, bem como em algumas regiões de Portugal, Eslovénia, Polónia, Hungria e Eslováquia (GALLEGO, 1995).

Gallego (1995) argumenta em seu trabalho que o painel amostral por segmento quadriculado evita o uso de um considerável esforço de equipamentos de apoio, reduzindo custos.

3.5 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

A incorporação de tecnologias avançadas em plataformas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) ampliaram sobremaneira o uso do sensoriamento remoto nas últimas décadas. As aeronaves e os produtos de seus sensores oferecem dados que melhoram a consciência espacial promovendo o aumento da produtividade agrícola e a eficiência dos insumos, minimizando

custos operacionais (DELAVARPOUR et al., 2021).

Com a evolução tecnológica, as imagens captadas por sensores embarcados em aeronaves tornam-se atrativas ao unirem alta resolução espacial a capacidade de registro no *momentum* da necessidade. Com a possibilidade de voo a baixa altura e com a evolução rápida dos sensores embarcados, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) também passaram a ser consideradas opções viáveis na coleta de dados espaciais. As imagens de aerolevantamentos com ARP a baixa altura possibilitam uma resolução espacial que pode alcançar poucos centímetros por pixel, propiciando um mapeamento manual muito preciso do uso do solo.

Jensen (2009) já afirmava que o uso de VANTs (sigla de Veículo Aéreo Não Tripulado) vinha sendo adotado nos estudos de sensoriamento remoto por proporcionar baixo custo de aquisição de dados de alta resolução espacial quando comparados a uma aeronave tripulada ou satélite para os mesmos fins, destacando a acurácia das imagens e acentuando que o emprego delas tinham o diferencial de possibilitarem um registro temporal mais adequado as necessidades frente a imagens orbitais. Quando comparado a utilização de aeronaves embarcadas de maior porte, Vega et al (2015) argumentam em seus estudos que as velocidades de captura de imagens menores do ARP são mais adequadas ao sensoriamento remoto pois apresentam menor arraste.

Já (CHAVES et al., 2015) defende o uso das imagens provenientes do ARP em conjunto com as imagens orbitais, argumentando que melhoraria monitoramento de safras, gestão e logística da produção; estimativa de produção; contagem de plantas; detecção de falhas de plantio; estresse hídrico; nutrição e detecção de pragas e doenças. Alguns autores defendem que o uso de imagens ARP destacam-se fornecendo dados com resoluções temporais e espaciais muito altas por operarem em baixas altitudes (DASH et al., 2017; FENG, LIU, GONG, 2015; PEÑA et al., 2013); outros autores destacam o baixo custo de aquisição de imagens e maior resolução espacial como principais vantagens de seu emprego (VEGA et al., 2015) e comentam sobre a boa flexibilidade de aquisição de imagens de sensoriamento remoto (ZHONG et al., 2018).

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem**. 2003. 185 fls. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos. 2003.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL. **Surface energy balance algorithms for land**: Advanced training and users manual, version 1.0. Idaho: Implementation, 2002. 97p.
- BAHIA, V. G., CURI, N., CARMO, D. N., & MARQUES, J. J. G. S. M. (1992). **Fundamentos de erosão do solo**: tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle. Informe Agropecuário, 16, 25-31.
- BARRETT, EC.; CURTIS, LF. **Introduction to Environmental Remote Sensing** 3 ed. School of Geographical Sciences. Vancouver. 1992. 426 p.
- BELLINAZZI, J.R. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.175 p.
- BENNETT, J. **Soil Conservation**. N. York, McGraw Hill Book Co. N. Y., 1939. 933 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo, Ícone, 2008. 355p.
- BERTONI, J. **O espaçamento dos terraços em culturas anuais, determinado em função das perdas por erosão**. Bragantia, v. 18, p. 113-140, 1959.
- BRASIL – Serviço Geológico do Brasil. **Dados Informações e Produtos**. Disponível em: < <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html> >. Acesso em 20 de junho de 2022.
- CAMPOS, M. C. C. **Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações**. Ambiência. Guarapuava (PR) v.8 n.3 p. 963 – 982, 2012.
- CHAVES, A.A et al. **Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB. 2015. Disponível em:< <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.16.00.42/doc/p1143.pdf>>. Acesso em 01 jul. 2022.

COCHRAN, W. G. **Técnicas de Amostragem**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1977. 555p.

DASH, J.P.; WATT, M.S.; PEARSE, G.D.; HEAPHY, M.; DUNGEY, H.S. **Avaliação de imagens de UAV de alta resolução para monitorar a saúde da floresta durante um surto de doença simulado**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , 131 (2017) , pp . 1 - 14 , 10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007.

DECHEN, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARAES, M.F.; MARIA, I.C. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo**. Bragantia, Campinas, v. 74, p. 224-233, 2015.

DEFRIES, R. S., Field, C. B., Fung, I., Justice, C. O., Los, S., Matson, P. A., Matthews, E., Mooney, H. A., Potter, C. S., Prentice, K., Sellers, P. J., TOWNSHEND, J. R. G., TUCKER, C. J., USTIN, S. L., & VITUOSEK, P. M. 1995. **Mapping the land-surface for global atmosphere–biosphere models—Toward continuous distributions of vegetations functional properties**. Journal of Geophysical Research—Atmospheres, 100(D10), 20867– 20882.

DELAVARPOUR, N.; KOPARAN, C.; NOWARZKI, J.; BAJWA, S.; SUN, X. **A technical study on UAV characteristics for precision agriculture applications and associated practical challenges**. Remote Sensing, v. 13, 2021.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, GTZ/IAPAR, 1991. 272p.)

EMBRAPA. **Manual de classificação dos solos**. Brasília, CNPS, 1999.

ESALQ. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=Diante%20do%20bom%20desempenho%20do,52%2C63%25%2C%20respectivamente>. Acesso em: 23 maio, 2022.

FENG, Q; LIU, J; GONG, J. **Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and Random forest classifier—A case of Yuyao, China**. Water, v. 7, n. 4, 2015, p. 1437-1455, DOI: 10.3390/w7041437.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso em 10 set. 2022.

FISHER, P. (1997). **The pixel**: A snare and a delusion. *International Journal of Remote Sensing*, 18(3), 679– 685.

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **Multiple frame agricultural surveys**: current survey based on area and list sampling methods. Roma, 1996. v. 1.

GALLEGO, F. J. **Sampling frames of square segments**. Luxembourg: Joint Research Centre, 1995. 72p.

GONZALEZ, R.C, WOODS, R. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2000.

GUGLIELMI JUNIOR, P. **Utilização De Sensoriamento Remoto No Estudo Do Uso Do Solo: Região De Londrina-PR**. 2014. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000192214>>. Acesso em 15 maio, 2022.

HAMILTON, J. Q. A. **Terracing for soil and water conservation**. Farmer Bulletin 1789 Washington, D. C., U. S. Department of Agriculture, 1938. 59 p.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. da. **Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

HUDSON, N. **Soil conservation**. Ithaca, Cornell University. 1971, 320 p.

IAT – Instituto Água e Terra. **Mapa dos Climas do Paraná, segundo a classificação de Köppen**. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Dados-e-Informacoes-Geoespaciais-Tematicos>. Acesso em 06 mar. 2023.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Malha Municipal**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em 15 fev. de 2023.

JANSEN, J. R. **Introduction digital image processing**. New Jersey: Prentice

Hall, 1986.

KLINGEBIEL, A.A. & MONTGOMERY, P.H. **Land-capability classification**. Washington, USDA, 1961. 21p. (Agriculture Handbook, 210)

KLINGEBIEL, A.A. **Soil survey interpretation**: Capability groupings. Soil. Sci. Soc. Am. J., 22:160-163, 1958.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LILLESSAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 724 p.

LONDERO, A. L. et al. **Perdas de água e sedimento em bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2015.

LOBELL, D. B; ASNER, G.P. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. Amsterdã, v. 93, p. 412 – 422, mar. 2004.

LOMBARDI N., F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terras para solos do Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28).

MAACK R. 1968. **Contribuição à história das explorações geográficas e geológicas do estado do Paraná**. In: MAACK, R. Geografia Física do Paraná. Curitiba: BADEP, UFPR, 450 p.

MACHADO, R.L; CARVALHO, D.F.; COSTA, J.R; NETO, D.H.O; MARINALDO, F.P. **ANÁLISE DA EROSIDADE DAS CHUVAS ASSOCIADA AOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA REGIÃO DE RIBEIRÃO DAS LAJES (RJ)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 5, 2008, pp. 2113-2123.

MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J. & BARRETO, G.B. **Perdas por erosão no estado de São Paulo**. Bragantia, 20:1143- 1182, 1961.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images**: Na

introduction. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

MELLO, R.C; SA, M.A.L; CURI, N.; MELLO, J.M; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. **Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais**. Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.4, p.537-545, abr. 2007.

MENESES, P. R. e ALMEIDA T. de,. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto**. Universidade de Brasília – UNB. Brasília. 2012. Disponível em <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>. Acesso em 01/06/2022.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UnB-CNPq. Brasília, 2012.

MORAES, E.M.L. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4 ed. Blucher. 2010.

MOREIRA, L. C. J. et. al. **Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL**. In: Engenharia Agrícola, Jaboticabal,v30, n06, Nov/dez2010. P.1148-1159.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MULLER, C. C.; *et al.* **Pesquisa Agropecuária do Paraná - Safr** 1986/87 (Programa de Aperfeiçoamento das Estatísticas Agropecuárias). R. Bras. Estat, v. 49, n. 191, p. 55-84, 1988.

MUSGRAVE, G. W. **Some relationships between slope length, surface-runoff, and the silt-load of surface runoff**. Trans. Amer. Geophys. Um. 16:472-478. 1935

NICHOLS, M. L. **An improved channel-type terrace for the South-east**. Washington, D. C., U.S. Department of Agriculture, Farmer Bulletin 1790. 1937. 37 p.

NITSCHKE, P. R et al. **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, Instituto Agrônômico do Paraná, 2019.

PARANÁ – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento.
Diagnóstico Agropecuário Paranaense. Disponível

em:<https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-02/radiografia_4.pdf>. Acesso em: 23 de maio, 2022.

PARANÁ₂ – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Valor Bruto da produção Paranaense**. Disponível em:<<https://www.agricultura.pr.gov.br/vbp>>. Acesso em: 10 de maio, 2022.

PARANÁ₃ – Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em 20 de junho de 2022.

PEREIRA, L. C.; TOSTO, S. G.; ROMEIRO, A. R. **Uso das terras**: perdas de solo por erosão e valoração econômica. In: SEABRA, G. (Org.). Terra: mudanças climáticas e biodiversidade. Ituiutaba: Barlavento, 2019. p. 929-943.

PINO, F. A. **Estatísticas agrícolas para o século XXI**. Agricultura em São Paulo, v.46, n.2, p.71-105, 1999.

PISSARRA, T.C.T.; RODRIGUES, F.M.; GALBIATTI, J. A. ; BORGES, M. J. **Topographic characteristics and water evaluation in watershed management**. In: IWA Specialized Conference-Sustainable sludge management: state of art, challenges and perspectives, 2006, Moscou. IWA Specialized Conference-Sustainable sludge management: state of art, challenges and perspectives. Moscou: The International Water Association (IWA), v.1. p.785- 788. 2006

POLITANO, W. **Manual do emprego de imagens aéreas na avaliação do terreno**. Jaboticabal: FUNEP, 1994. 33 p.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RAMSER, C. E. **Developments in terrace spacing**. Agric. Engng, Michigan 26: 285-289. 1945

RENARD, K.G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G.A.; MCCOOL, D.K.; YODER, D.C. **US Dep of Agriculture Handbook Predicting soil loss by water**: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Washingyon: USDA. Chap 2, v. 703, 23 p. 1997.

RICHADS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**: An Introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.

ROSS, J.L.S. **Relevo Brasileiro**: uma nova proposta de classificação. Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, 1985. nº 4, p. 25-39.

RUDORFF, B. F. T.; KRUG, T. **Sensoriamento remoto na estimativa da área plantada com feijão, milho e mamona no município de Irece-BA**. In: Simpósio LatinoAmericano de Sensoriamento Remoto, 6. Gramado. Anais... São José dos Campos: INPE, 1986. v. 1, p. 380-4.

RUFINO, R. L. Terraceamento. In: PEREIRA, L. R. (Ed.). **Manual Técnico do Programa de Manejo e conservação do Solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR/Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Paraná, v.1, 1994. p. 218-235.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4.ed. São Paulo: HUCITEC, 2006.

SANTOS, L. J. C. et al. **Mapeamento geomorfológico do Estado do Paraná**. Revista Brasileira de geomorfologia, v. 7, n. 2, 2006.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods For Image processing**. 2 ed. New York: Academic Press, 1997. 522 p.

SORRENSON, W.J. & MONTOYA, L.J. **Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná**. Londrina, IAPAR, 1989. 104p. (Boletim Técnico, 21).

TELLES TS, DECHEN SCF, GUIMARAES MF. **Institutional landmarks in Brazilian research on soil erosion**: A historical overview. Rev Bras Cienc Solo. 2013; 37:1431-40. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210113>.

TÔSTO, S. G. **Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do Município de Araras**, SP. 2010. 217 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas.

VEGA, A; RAMIREZ, F.C.; SAIZ, M.P.; ROSÚA, F.O. **Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop**. *Biosystems Engineering*, v.132, p.19-27, 2015.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**: A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook,

537)

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rock mountains**: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, USDA, 1965. 47p. (Agriculture Handbook, 282).

WU, J. G., Shen, W. J., Sun, W. Z., & Tueller, P. T. (2002). **Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics**. *Landscape Ecology*, 17(8), 761– 782.

ZHONG, Y., Giri, C., Thenkabail, P.S., Teluguntla, P., Congalton, G., R., Yadav, K., Oliphant, J., A., Xiong, J., Poehnelt, J., Smith, and, C. (2017). **NASA Making Earth System Data Records for Use in Research Environments (MEaSURES)** Global Food Security-support Analysis Data (GFSAD) Cropland Extent 2015 South America 30 m V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MEaSURES/GFSAD/GFSAD30SACE.001

ZINGG, A. W. **An analysis of degree and length of slope data as Applied to terracing**. *Agric. Engng, Michigan* 21:99-101.1940.

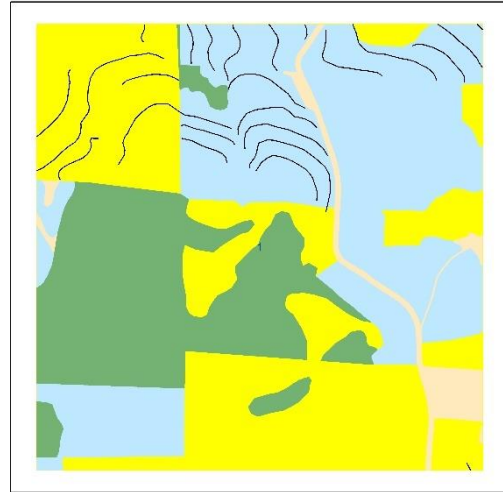
5 APÊNDICE

Ortomosaicos e mapeamento do uso do solo.

Ortom. Segmento 1



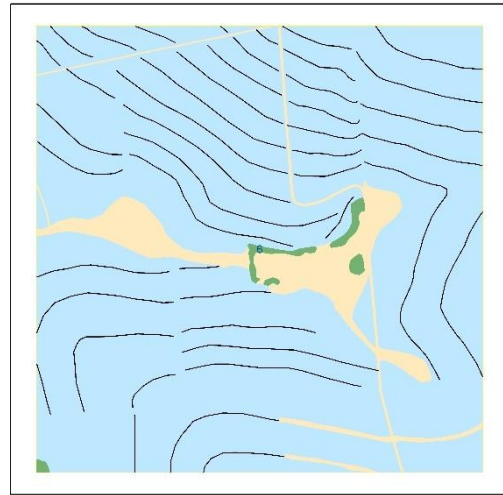
Mapeamento Segmento 1



Ortom. Segmento 6



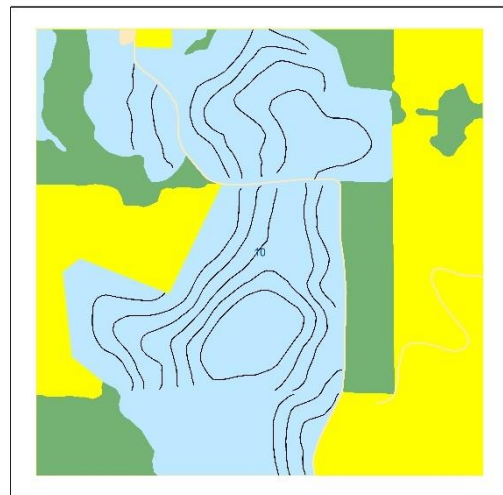
Mapeamento Segmento 6



Ortom. Segmento 10



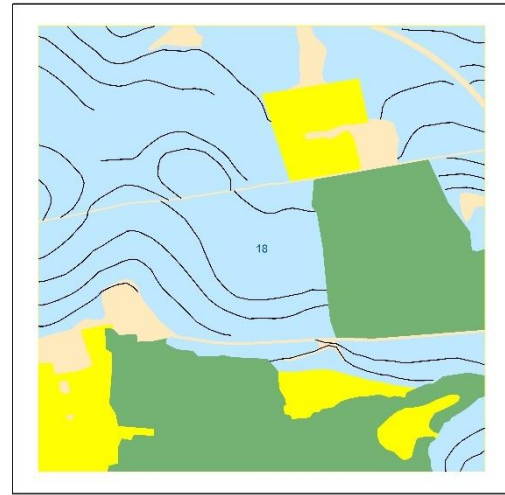
Mapeamento Segmento 10



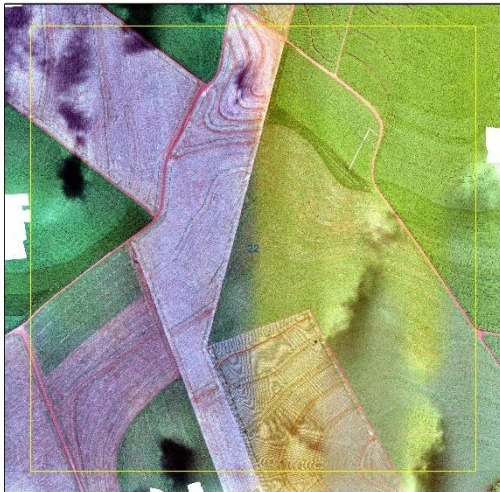
Ortom. Segmento 18



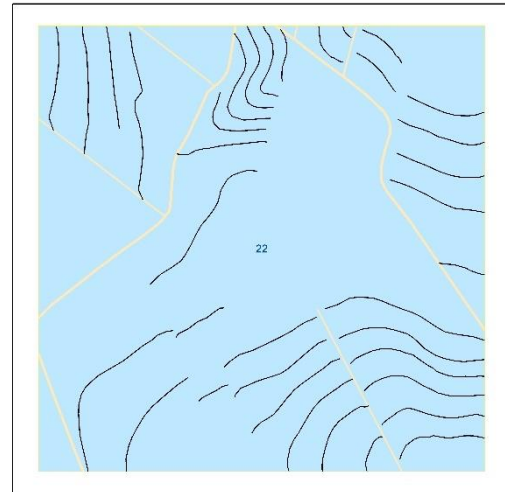
Mapeamento Segmento 18



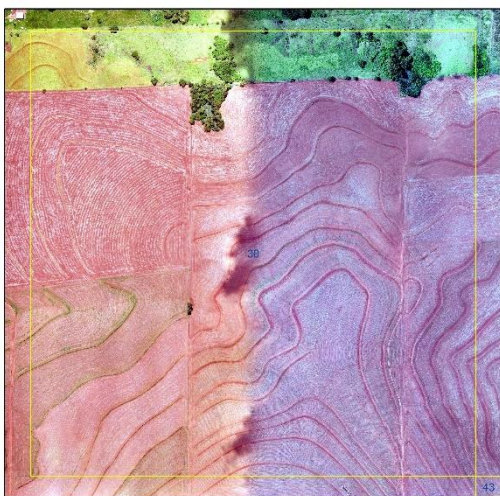
Ortom. Segmento 22



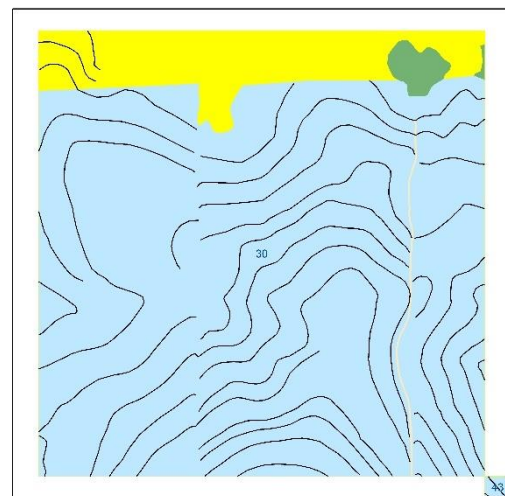
Mapeamento Segmento 22



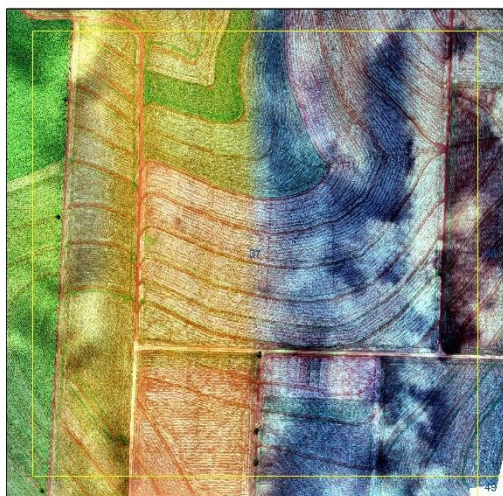
Ortom. Segmento 30



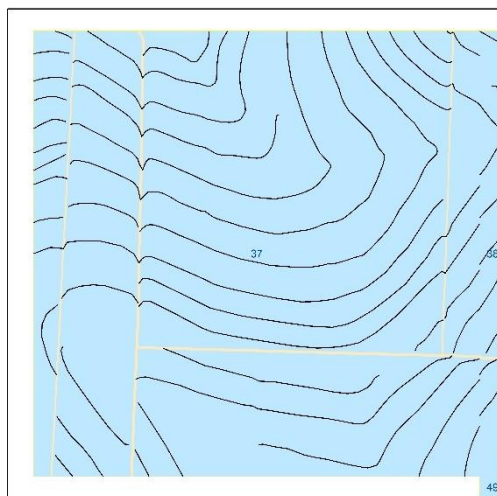
Mapeamento Segmento 30



Ortom. Segmento 37



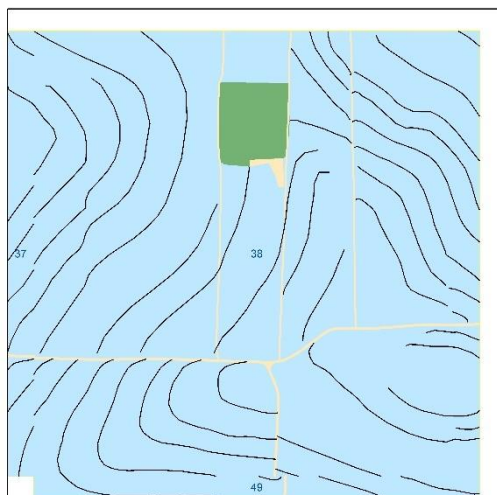
Mapeamento Segmento 37



Ortom. Segmento 38



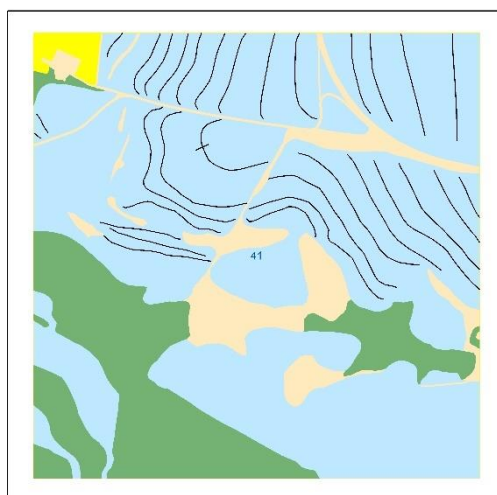
Mapeamento Segmento 38



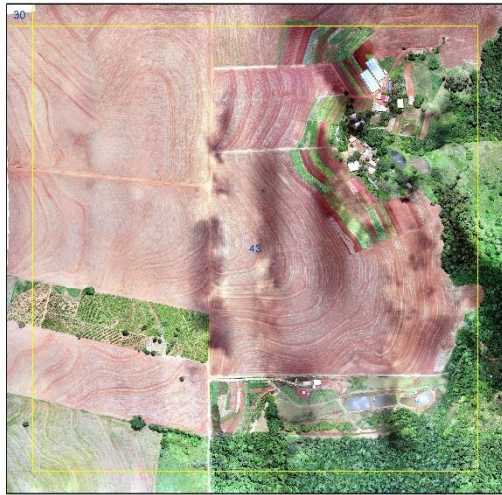
Ortom. Segmento 41



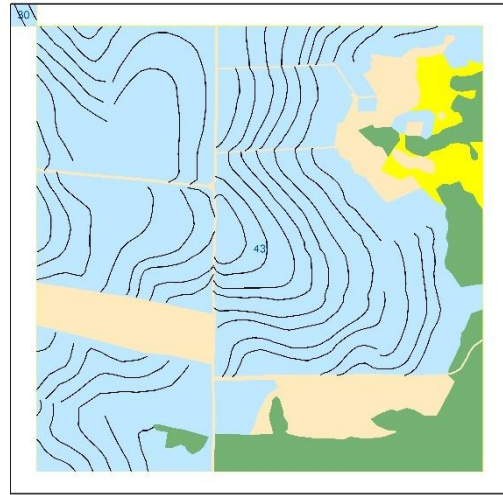
Mapeamento Segmento 41



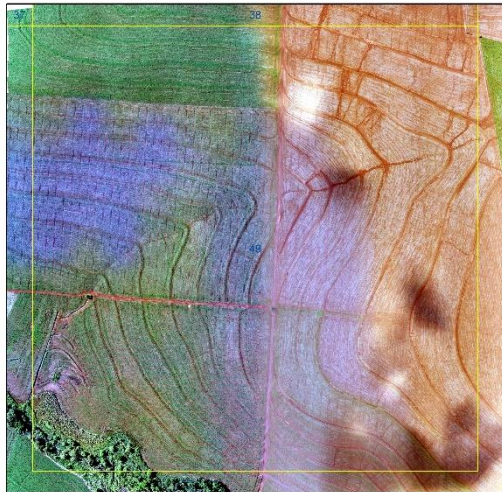
Ortom. Segmento 43



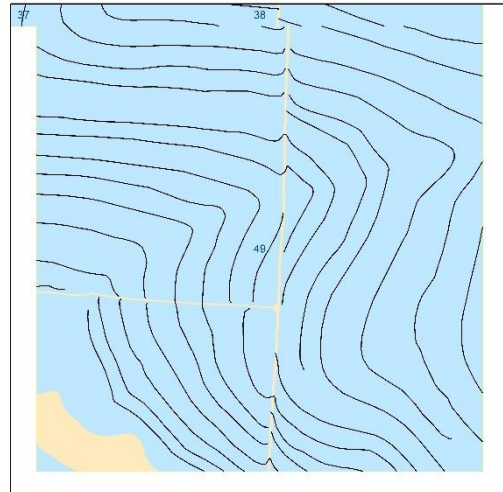
Mapeamento Segmento 43



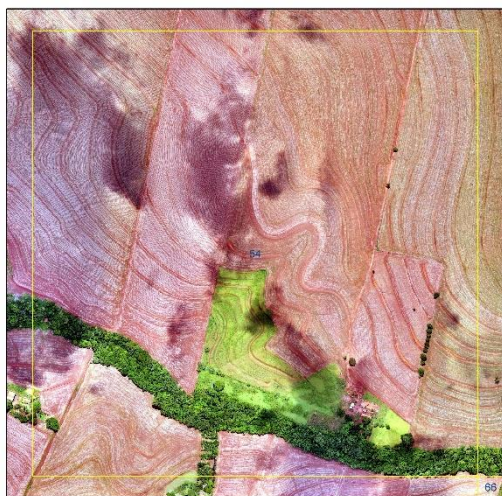
Ortom. Segmento 49



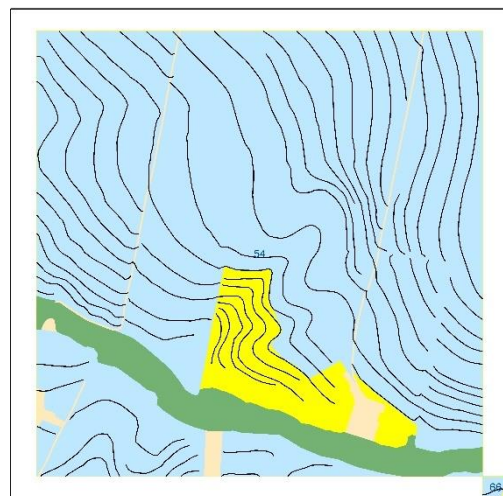
Mapeamento Segmento 49



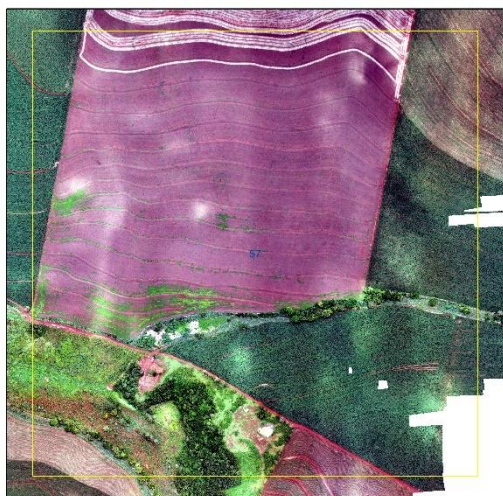
Ortom. Segmento 54



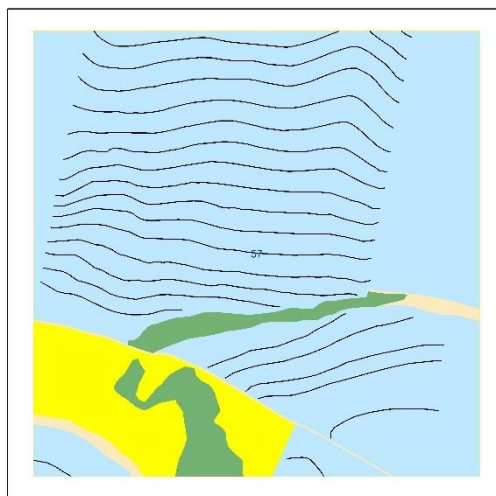
Mapeamento Segmento 54



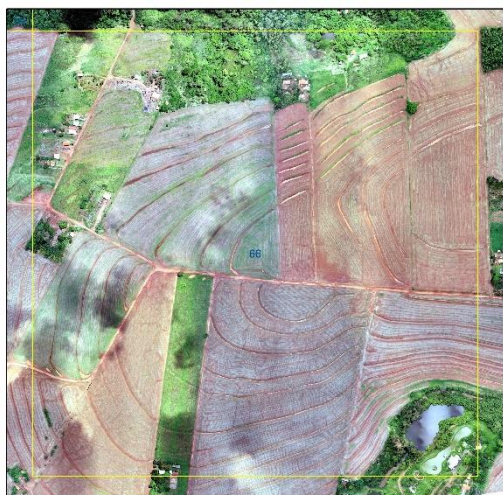
Ortom. Segmento 57



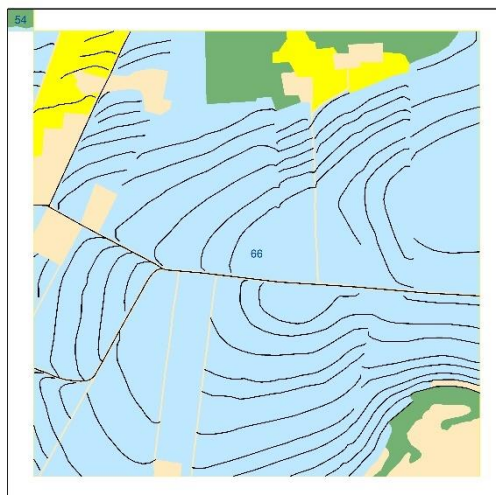
Mapeamento Segmento 57



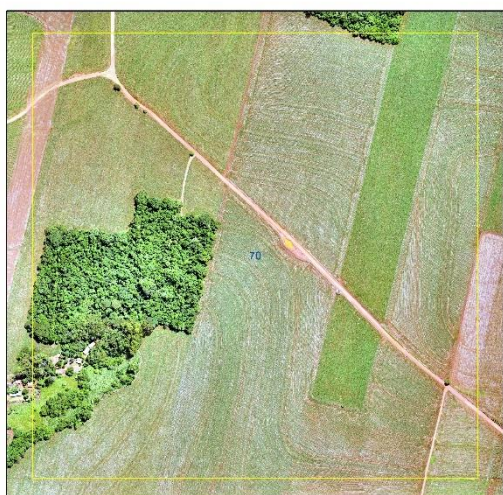
Ortom. Segmento 66



Mapeamento Segmento 66



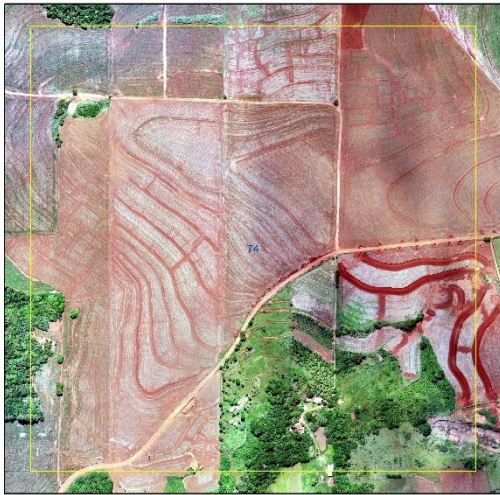
Ortom. Segmento 70



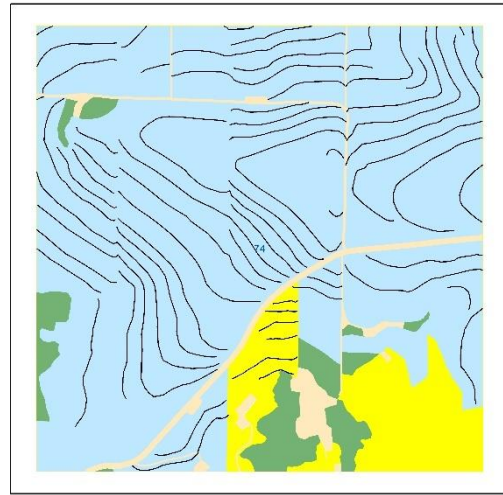
Mapeamento Segmento 70



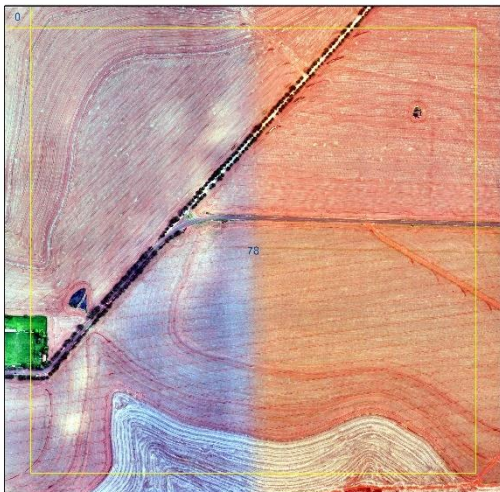
Ortom. Segmento 74



Mapeamento Segmento 74



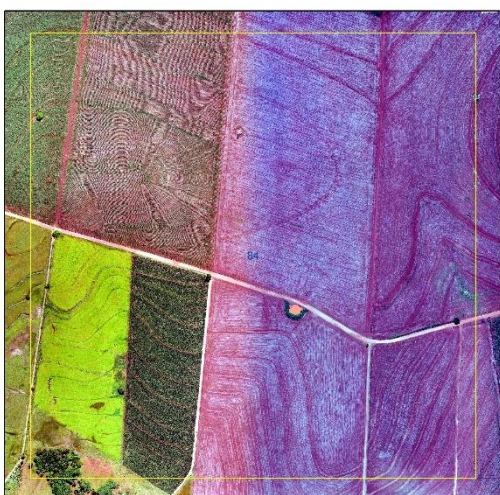
Ortom. Segmento 78



Mapeamento Segmento 78



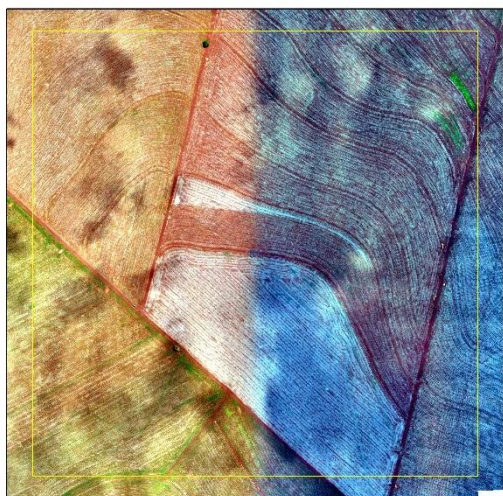
Ortom. Segmento 84



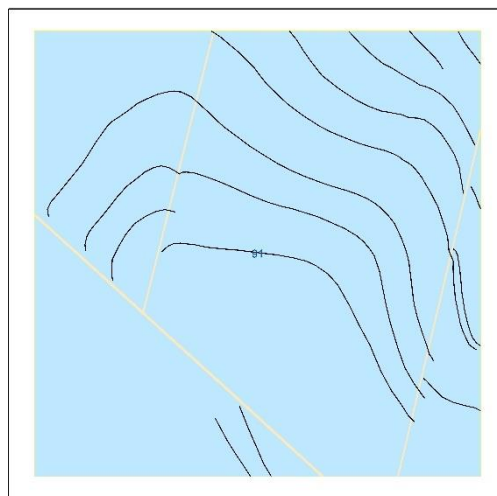
Mapeamento Segmento 84



Ortom. Segmento 91



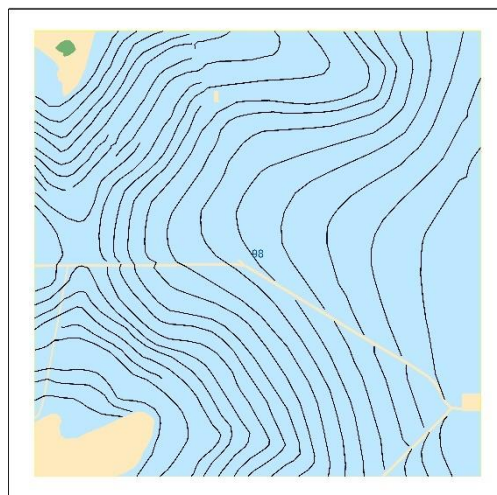
Mapeamento Segmento 91



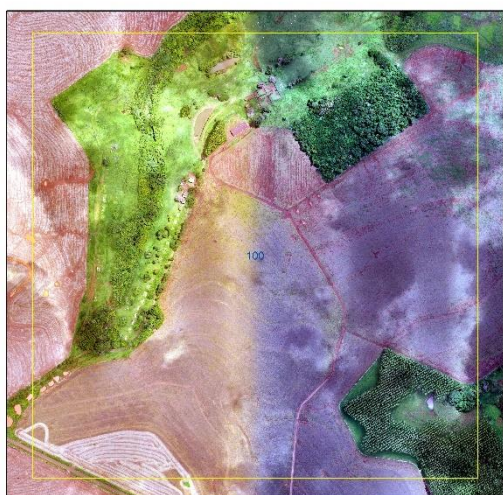
Ortom. Segmento 98



Mapeamento Segmento 98



Ortom. Segmento 100



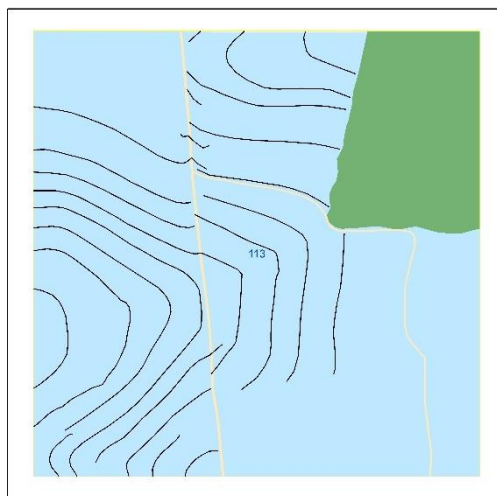
Mapeamento Segmento 100



Ortom. Segmento 113



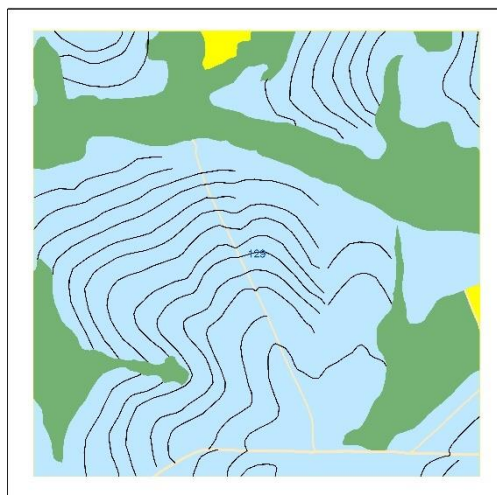
Mapeamento Segmento 113



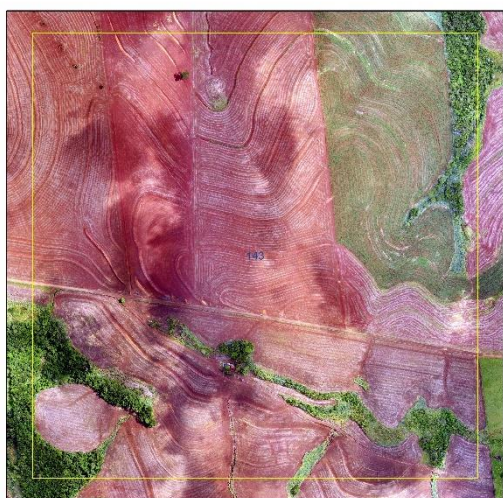
Ortom. Segmento 129



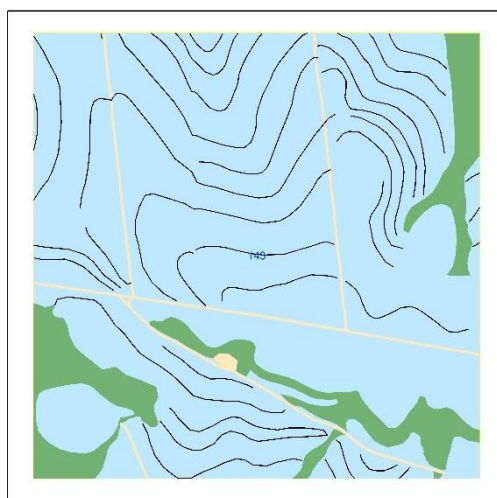
Mapeamento Segmento 129



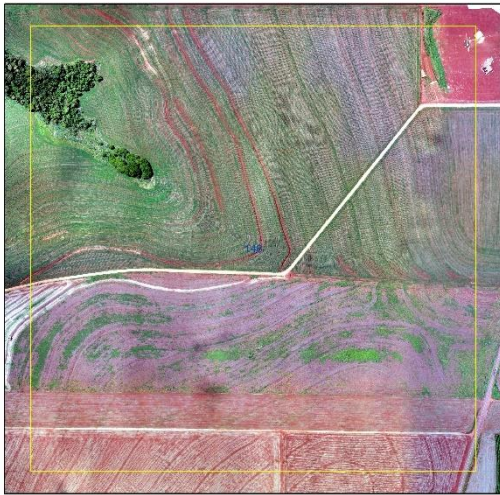
Ortom. Segmento 143



Mapeamento Segmento 143



Ortom. Segmento 146



Mapeamento Segmento 146



Ortom. Segmento 158



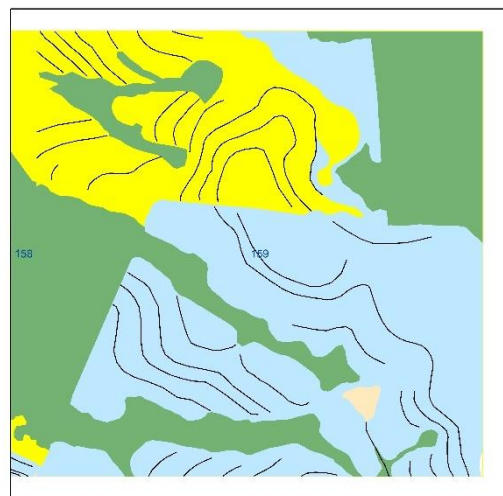
Mapeamento Segmento 158



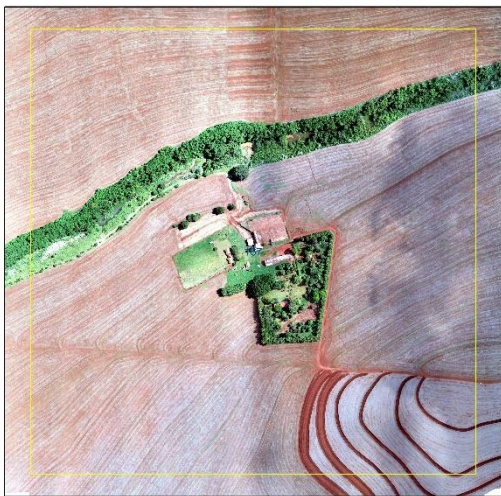
Ortom. Segmento 159



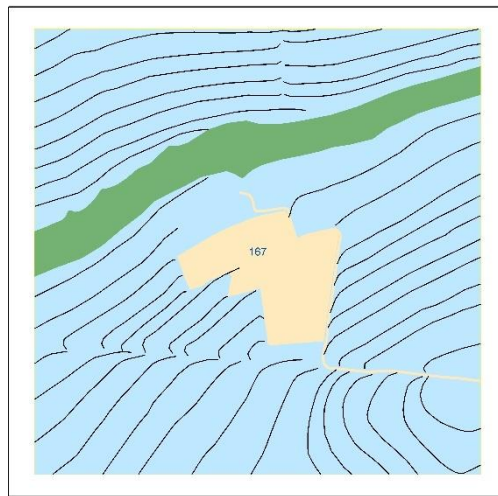
Mapeamento Segmento 159



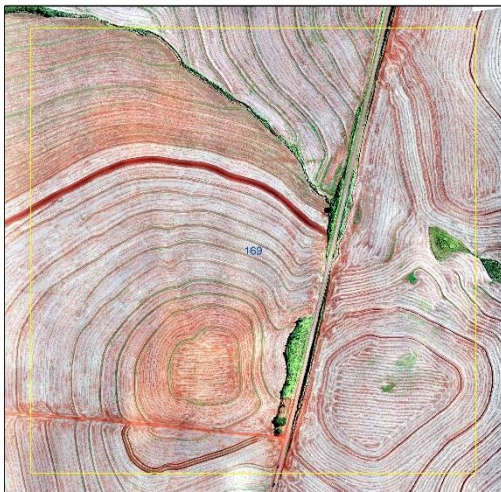
Ortom. Segmento 167



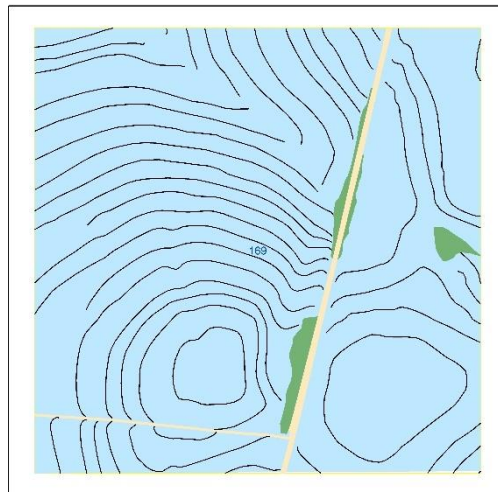
Mapeamento Segmento 167



Ortom. Segmento 169



Mapeamento Segmento 169



Segmento Georref.



Mapeamento Segmento Georref.



6 ARTIGO A - DIAGNÓSTICO DO USO DE TERRACEAMENTO RURAL POR IMAGENS PROVENIENTES DE AEROLEVANTAMENTO

RESUMO

A conservação do solo, abrange o conjunto de princípios e técnicas agrícolas que visa o manejo correto das terras cultiváveis, evitando a erosão em todas suas formas. No Brasil, a erosão hídrica é considerada a mais impactante, causando graves prejuízos tanto em áreas agrícolas quanto nas cidades. O terraceamento das áreas de exploração agrícola tornou-se ao longo do tempo um importante instrumento de contribuição com a conservação do solo e seus nutrientes. O diagnóstico de conformidade às recomendações técnicas dos terraços em áreas maiores que uma propriedade rural requer muito tempo e recursos, demandando estudos para otimização dos levantamentos de dados. Este trabalho visa qualificar metodologicamente o diagnóstico de terraceamento agrícola em áreas extensas utilizando o mapeamento das estruturas utilizando imagens provenientes de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP/Drones). Para isso, foi realizado a amostragem territorial com sessenta voos em trinta segmentos uniformes de 1x1 km no município de Bela Vista do Paraíso, no Estado do Paraná/Brasil e, através de técnicas de fotogrametria, geoprocessamento e mapeamento, foram identificados os terraços e mensurado a distância vertical entre eles para qualificá-los se atendiam ou não a recomendação técnica para a topografia que estavam inseridos. Foram mapeados 267 mil quilômetros de terraços, indicando que 85,0 % da área de cultivo com agricultura continha terraços instalados, mas que desses, somente 4,6% apresentavam-se dentro das recomendações técnicas de espaçamento vertical recomendadas. Nas áreas de pastagem, apesar da pouca representatividade na área de estudo, foi mensurada a presença de terraços em apenas 24,5% da área, sendo que somente 0,1% dos terraços estavam dentro das recomendações técnicas.

Palavras Chave: Terraço, drone. Aeronave remotamente pilotada. Erosão. Conservação de solo.

DIAGNOSIS OF RURAL TERRACING USE THROUGH AERIAL SURVEY IMAGES

ABSTRACT

Soil conservation encompasses a set of agricultural principles and techniques aimed at proper land management, preventing erosion in all its forms. In Brazil, water erosion is considered the most impactful, causing serious damages to both agricultural areas and urban areas. Terracing of agricultural areas has become an important tool over time, contributing to soil and nutrient conservation. The compliance diagnosis with terrace technical recommendations in larger areas than a single rural property requires significant time and resources, demanding studies to optimize data collection. This work aims to methodologically qualify the agricultural terracing diagnosis in extensive areas using mapping of structures through images obtained by Remotely Piloted Aircraft (RPA/Drones). To achieve this, territorial sampling was carried out with sixty flights in thirty uniform segments of 1x1 km in the municipality of Bela Vista do Paraíso, in the State of Paraná/Brazil. Through photogrammetry, geoprocessing and mapping techniques, the terraces were identified, and the vertical distance between them was measured to assess whether they met the technical recommendation for the topography they were located in. A total of 267,000 kilometers of terraces were mapped, indicating that 85.0% of the cultivated agricultural area contained installed terraces. However, only 4.6% of them complied with the recommended vertical spacing. In pasture areas, despite their low representation in the study area, terraces were measured in only 24.5% of the area, and only 0.1% of the terraces complied with the technical recommendations.

Keywords: Terrace, drone, Remotely Piloted Aircraft, erosion, soil conservation.

7 INTRODUÇÃO

A produção agropecuária brasileira representou no ano de 2021 uma participação estimada em 27,4% de todo o PIB brasileiro (ESALQ, 2022), já no Estado do Paraná, a produção alcançou em 2020 um volume de 128 bilhões de reais (PARANÁ, 2022). Estes dados demonstram a pujança de um setor de grande importância na economia e que requer acompanhamento constante.

Tendo em vista a necessidade de manter níveis competitivos de viabilidade produtiva, há grande necessidade de avaliação da conservação de solo agrícola por depreciação decorrente de processos erosivos, um dos principais fatores de perda de fertilidade do solo em áreas produtivas (BERTONI, LOMBARDI, 2008). A conservação do solo agrícola é um conjunto de práticas agrícolas que busca o manejo correto das terras cultiváveis, evitando a erosão.

Tradicionalmente, o diagnóstico dos terraços é realizado por mensurações *in loco* utilizando equipamentos ótico/eletrônicos do tipo nível, Teodolito ou Estação Total, onde são mensurados as distâncias verticais entre os terraços, área de contribuição e declividade. Esse processo é bastante lento e os equipamentos exigem uma equipe no campo, demandando recursos e tempo sendo mais utilizado em escalas menores (geralmente talhões e propriedades), inviabilizando os trabalhos em bacias hidrográficas.

A erosão hídrica é uma das principais formas de degradação dos solos agrícolas no Brasil. Trata-se de um processo de escoamento superficial pela água da enxurrada, no qual fatores como erosividade do solo a partir da água da chuva e cobertura vegetal são muito importantes, sendo que a cobertura do solo representa um fator de grande importância no controle da erosão hídrica (DECHEN, et al., 2015).

A erosão hídrica traz como consequências perda de água, terra, matéria orgânica, nutrientes e aumento dos custos gerados por isso (Pimentel et al., 1995; Telles et al., 2011; Telles et al., 2013)

Para facilitar este trabalho, optou-se por utilizar a fotointerpretação de imagens proveniente de aerolevanteamento, levando em conta que já existem diversos trabalhos utilizando a fotointerpretação como forma de avaliação de processos erosivos e monitoramento (POLITANO, 1992).

Assim, buscou-se unir a fotointerpretação, a mensuração de precisão, e a estatística de modo a facilitar o diagnóstico de regiões quanto ao uso do solo e sua conservação para facilitar a tomada de decisão de intervenção em um recorte espacial.

Entre os diversos fatores que contribuem para a degradação física e química do solo, a ocorrência de arraste de solo pelo escoamento pluvial sofre a influência direta do regime de chuvas, tipo de solo, relevo e manejo (PISSARRA et al., 2006), tornando-se muito importante a caracterização desses elementos na análise geográfica. Devido a inviabilidade de classificação e análise em extenso recorte espacial, estes elementos podem ser abordados como elementos associados ao processo erosivo, adotando coeficientes mais generalistas, que perante a homogeneidade na região não prejudica a análise.

Pela grande demanda gerada, a incorporação de tecnologias avançadas em plataformas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) ampliaram sobremaneira o uso do sensoriamento remoto nas últimas décadas. As aeronaves e os produtos de seus sensores oferecem dados que melhoram a consciência espacial promovendo o aumento da produtividade agrícola e a eficiência dos insumos empregados, minimizando custos operacionais (DELAVARPOUR et al., 2021).

Segundo dados não divulgados obtidos em consulta a Coordenadoria de Uso e Manejo do Solo Agrícola da Agência de Defesa Agropecuária do Paraná – ADAPAR, vinculada à Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento, entre os anos de 2010 a 2021 foram protocolados 610 processos de atuações referente a problemas de conservação de solo em 10.411 ha que resultaram mais de R\$ 3.125.000,00 em multas sendo que 6.989 ha foram recuperados, enquanto que 30% da área que recebeu multa e ainda não foi recuperada, estão em processo de recuperação. Vale ressaltar que estes números refletem apenas os processos protocolados, sendo que perfazendo apenas 18,5% das denúncias recebidas pela instituição pois no restante houve solução amigável entre o agente fiscalizador e o responsável pelo dano com a correção do problema. Dessa forma, é possível estimar que no período de 2010 a 2021 foram recebidas perto de 3.300 denúncias por má conservação de solo no Paraná.

Na Unidade Regional de Sanidade Agropecuária – URS de Londrina, que atende 19 municípios incluindo o Município de Bela Vista do Paraíso, no período de 2010 a 2021 foram protocolados 47 processos (7,45% do total do Estado), abrangendo 636 ha que resultaram em mais de R\$190.000,00 em multas sendo que 511 ha foram recuperados. Esses números refletem o problema da má conservação do solo no Estado e na região, sendo que a atuação de entidades públicas tem grande importância ao reverter a degradação do solo através de medidas de conscientização e fiscalização.

Levando em conta o cenário descrito, o objetivo desse trabalho foi mensurar as áreas agrícolas com/sem terraços e avaliar a adequação dos existentes às recomendações de distanciamento vertical proposta por Rufino (2014), utilizando imagens provenientes de ARP na criação de diagnóstico de área extensa. Adotou-se para este trabalho a amostragem da área territorial abrangendo os limites políticos definidos em camada vetorial fornecida em formato *shapefile* (SHP) pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE para o município de Bela Vista do Paraíso (BVP), com núcleo urbano nas coordenadas Latitude -22.997270° e Longitude -51.191358°. Este município foi selecionado por estar próximo do município de Londrina (35 km), sede dos trabalhos desta pesquisa, e por apresentar uma área territorial menor, facilitando sua amostragem.

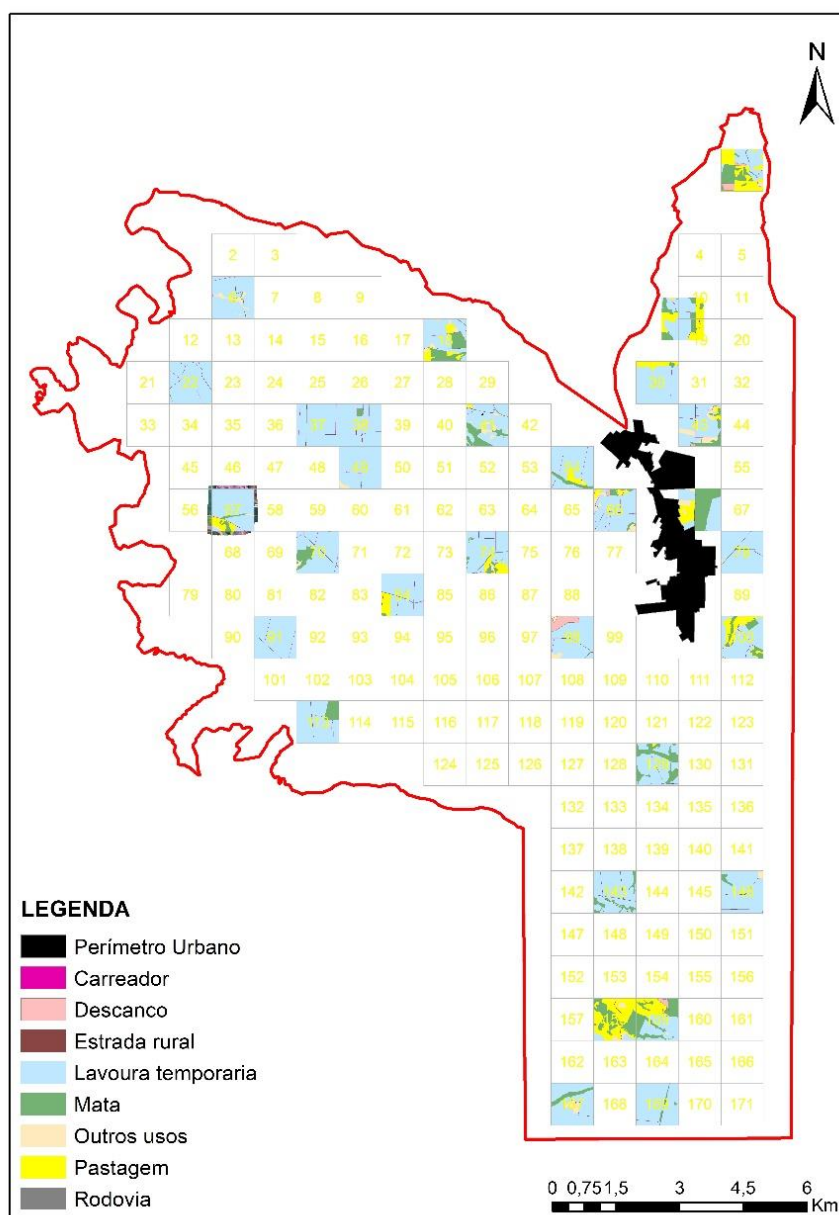
8 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

8.1 OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS AMOSTRAIS

Para uma melhor representação espacial, optou-se por adotar a metodologia de pesquisa por segmentos amostrais fechados, conforme abordado por Nealon (1984); Hendricks; Searls; Horvitz (1965). Entre os modelos já testados que poderiam ser utilizados na pesquisa, optou-se pelo método de amostragem aleatória simples devido a sua simplicidade de adoção e boa representatividade espacial. A amostragem aleatória simples é bastante precisa e apresenta todos os elementos da população com probabilidade conhecida de serem escolhidos para fazer parte da amostra. O processo consiste em selecionar uma amostra “n” a partir de uma população “N”. O modelo por expansão direta adotado utiliza somente dados coletados diretamente no campo, isto é, não necessita de um conhecimento prévio do que existe naquele espaço, reproduz para toda a população as proporções relativas encontradas nas amostras (LUIZ, 2002).

Para isso, a área territorial do município foi segmentada em quadrados de 1x1 km, conformação já utilizada em trabalhos de pesquisa de uso do solo (GALLEGO, 1995; ADAMI, 2003; GUGLIELMI JUNIOR, 2014); dessa forma, foi gerado um total de 298 segmentos, conforme pode ser observado na Figura 5:

Figura 5 - Segmentação da área do município



Fonte: autor

Utilizando o mapeamento da área urbana feito por interpretação visual no aplicativo Google Earth (vetorização de feição), foi subtraída a área urbana do município e os segmentos “não inteiros” de borda foram eliminados do projeto, otimizando o plano de voo e aumentando a autonomia nas áreas de levantamento. Depois desta etapa, restaram 170 segmentos inteiros (população “N”), tendo em vista que os segmentos não inteiros poderiam trazer menor precisão estatística ao modelo. Os segmentos somaram uma área de 17.000 ha (100 ha cada) que quando comparados a área total do município (24.249,9 ha), expressam a realidade de 70,10% da área total do município.

Como o número de amostras de uma população determina o grau de confiabilidade dos resultados (ADAMI, 2003), entre os segmentos inteiros, foram selecionados 30, número que expressa mais de 1/6 do total de segmentos inteiros. A amostra foi determinada através de sorteio, onde foram feitos diversos ensaios até que foi apresentada uma melhor representação espacial do município de BVP. Nestes segmentos, foram realizados sessenta voos com ARP, pois cada voo de 15 minutos conseguia cobrir 50 ha, coletando imagens com resolução espacial adequada.

8.2 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DOS VOOS

Definidos os segmentos amostrais, a próxima etapa de trabalho passou a ser o planejamento de voos. O aplicativo escolhido para realizar o planejamento e executar os voos foi o aplicativo DroneDeploy, este aplicativo foi escolhido devido a facilidade de em ambiente WEB importar camadas vetoriais (KML) que continham o perímetro do segmento e ser de uso gratuito na coleta de imagens. O planejamento de voo realizado em ambiente WEB era então carregado no aplicativo para *smartphone*, aparelho que foi utilizado junto a controladora de voo da aeronave para execução dos voos. No DroneDeploy também foi possível definir a altura de voo, a taxa de sobreposição e a consequente resolução espacial esperada, adequando esses fatores a autonomia das aeronaves a serem utilizadas e a necessidade de sobreposição das imagens para realizar o processo de aerofotogrametria com a ortoreificação das imagens. Com os planejamentos de voos carregados no banco de dados do aplicativo, as aeronaves devidamente registradas e piloto cadastrado conforme rege a legislação, a próxima etapa do trabalho foi elaborar as solicitações de acesso ao espaço aéreo no DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) conforme programação de campo previamente definida.

Os modelos de aeronaves utilizadas foram (Tabela 1):

Tabela 1 - Modelos de aeronaves e especificações das lentes e sensores RGB

FAB.	AERONAVE	MODELO DE CÂMERA	MODELO DE LENTE	TAMANHO DA IMAGEM	LENTE	PIXELS
DJI	Phantom 3 Pro	Sony EXMOR	FC300X	4000 x 3000	3,61 mm	12,4
DJI	Phantom 4 Pro	CMOS	FC6310	4864 x 3648	8.8 mm	20
DJI	Mavic 2 Pro	CMOS	L1D-20c	5472 x 3648	10,26 mm	20

A altitude de voo a partir do ponto de decolagem das aeronaves foi de 120 metros para todos os voos, essa altitude foi definida levando-se em conta as normativas do DECEA (2020) e a conjugação de fatores como melhor resolução espacial e autonomia de voo das aeronaves. As aeronaves tiveram uma autonomia média de 15 minutos, variando entre os modelos de aeronaves utilizadas e maior ou menor intensidade de vento. É importante salientar que nem sempre o ponto de decolagem foi o mesmo para os dois voos necessários para cobrir totalmente um segmento, pois a distância do ponto de decolagem até o segmento também influencia na autonomia de mapeamento, sendo que é importante mencionar também que nem todos os segmentos puderam ser acessados por terra, exigindo uma decolagem mais distante.

Os parâmetros gerais de voo e processamento foram:

- Datum WGS 84 / UTM zone 22S (EPSG::32722);
- Altura de 120 metros do ponto de decolagem;
- Taxa de sobreposição frontal de 75%;
- Taxa de sobreposição lateral de 65%;
- *Software* de planejamento de voo DroneDeploy;
- *Software* de processamento (fotogrametria) Agisoft Metashape;

Os voos apresentaram as seguintes mensurações constantes na

Tabela 2:

Tabela 2 - Dados dos voos realizados:

SEGMENTO	IMAGENS COLETADAS	TEMPO DE PROCESSAMENTO (horas)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (cm/pixel)	LENTE
1	502	3:45	5,89	FC300X
6	390	1:59	4,63	FC6310
10	595	5:48	5,65	FC300X e FC6310
18	495	3:33	6,8	FC300X
22	447	1:43	5,01	FC300X e FC6310
30	474	4:46	5,55	FC300X e FC6310
37	389	3:08	5,58	FC300X e FC6310
38	500	2:36	6,61	FC300X
41	403	4:17	4,46	FC6310
43	396	3:10	4,29	FC6310
49	441	3:28	5,43	FC300X e FC6310
54	486	3:06	6,28	FC300X
57	398	2:33	4,4	FC6310
66	394	3:37	4,26	FC6310
70	481	1:43	7,13	FC300X
74	489	6:30	4,52	FC6310
78	439	5:28	5,45	FC300X e FC6310
84	431	4:33	5,82	FC300X e FC6310
91	485	5:34	5,38	FC300X e FC6310
98	488	3:33	6,6	FC300X
100	446	3:51	6,18	FC300X e FC6310
113	570	2:21	6,92	FC300X
129	493	6:06	8,07	FC300X
143	490	4:14	7,71	FC300X
146	401	3:21	4,58	FC6310
158	480	2:57	6,78	FC300X
159	402	3:33	4,61	FC6310
167	403	4:06	4,36	FC6310
169	401	4:01	4,18	FC6310
Seg. Georref.	531	7:33	3,74	LiD-20c
Soma/Média	13.740	116:53	5,56	

Fonte: Autor

Para realizar o processamento das imagens, utilizou-se o *software* Agisoft Photoscan/Metashape. O tempo de processamento (fotogrametria) variou muito devido a disponibilidade e capacidade computacional da máquina sendo que a resolução espacial teve variações devido a diferentes pontos de decolagem (gerando altimetrias diferentes) para um mesmo segmento e a topografia do terreno. Quanto maior a altura da aeronave em relação ao terreno, pior era a resolução espacial pois alturas maiores obrigaram o aplicativo a adotar a pior resolução espacial para todo o

segmento.

Decolagens em pontos mais elevados do terreno possibilitavam uma taxa de cobertura maior entre as imagens nas áreas de topografia com altimetria mais baixa, mas traziam a desvantagem de piores resoluções espaciais, ocorrendo o inverso quando havia decolagem em pontos mais baixos no terreno, nesse caso, se houvesse uma diferença altimétrica muito acentuada entre o ponto de decolagem (mais baixa) também poderia ocorrer dificuldade na ortoretificação das imagens pois haveria degradação na taxa de sobreposição entre as imagens. Segmentos amostrais que tiveram diferentes pontos de decolagem e, portanto, alturas de voo também diferentes, no momento do processamento apresentaram maior dificuldade de processamento pois o *software* precisava despende mais esforço para ortoretificar as imagens para a criação de um ortomosaico único para o segmento. A manutenção de taxas de cobertura adequadas levando-se em conta os pontos de decolagem em relação a altimetria do terreno mostrou-se um fator limitante no processamento, onde ocorreram inclusive falhas de processamento de áreas em um segmento, exigindo novo levantamento, com possibilidade até de descarte do segmento do banco de dados.

8.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS COLETADAS

As 13.740 imagens coletadas nos 60 voos realizados foram processadas no *software* Agisoft Metashape de forma individual para cada segmento, utilizando as seguintes configurações:

- Sistema de Coordenadas UTM 22S - Sirgas 2000;
- Precisão no alinhamento: média
- *Key point limit*: 40.000
- *Tie point limit*: 4.000
- Nuvem de pontos densa, qualidade: média
- Para criação do modelo digital de superfície, não foi feita classificação de pontos;
- Para a criação do ortomosaico, foi utilizado o modelo

digital de superfície.

Os dados de tempo de processamento e resolução espacial podem ser observados na Tabela 2.

8.4 MAPEAMENTO DO USO DO SOLO

Depois de processadas as imagens coletadas no *software* Agisoft Metashape com a construção da nuvem esparsa e nuvem densa, foram gerados dois principais produtos, o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Ortomosaico. Sobreposto a esses produtos, utilizando o *software* ArcGis/ArcMap, foi inserida a camada de limite do segmento e a partir disso, através de interpretação visual do ortomosaico e do MDS, foram vetorizadas as feições, conforme listado na Tabela 3:

Tabela 3 - Camadas vetorizadas

CAMADA	DESCRIÇÃO
Carreador	Via de escoamento com até 4 metros de largura
Estrada rural	Via de escoamento com até 6 metros de largura
Rodovia	Via de rolamento e faixa de domínio sem exploração agropecuária
Descanso/pousio	Áreas que nitidamente apresentavam vegetação arbórea sem exploração de lavouras e pastagem, mas que denotavam exploração em anos anteriores
Lavoura temporária	Requerem novo plantio após a colheita
Mata	Massa arbórea formada ou em regeneração, também incluiu a silvicultura
Pastagem	Áreas destinadas a exploração pastoril
Outros usos	Áreas que seu uso não se enquadra nas feições anteriores
Terraços	Estruturas construídas visando evitar a erosão e ampliar as áreas de cultivo

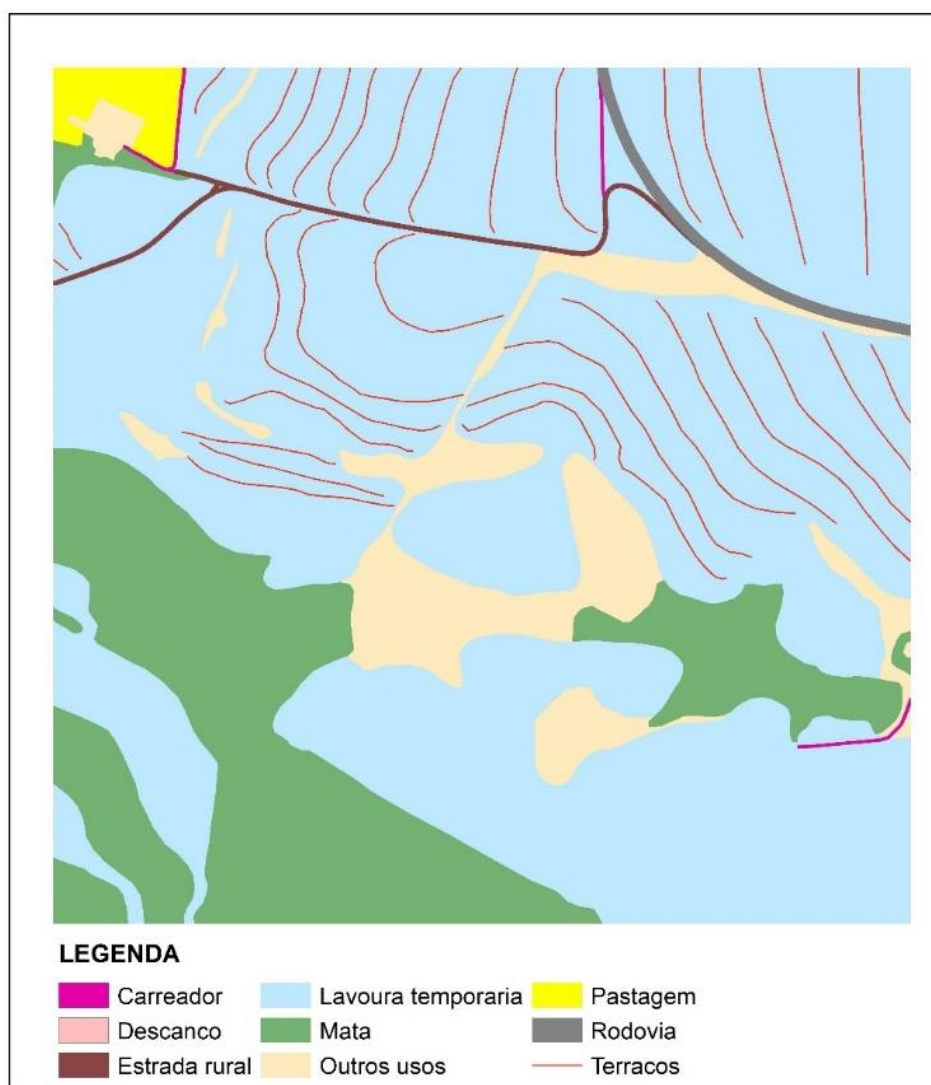
Fonte: Autor

Visando a otimização do trabalho, a feição “carreador” e “estrada rural” foram vetorizadas através de linhas e posteriormente foi criado uma

poligonal a sua volta com raio de 2 metros para os carreadores e de 3 metros para a feição estrada rural pois esta conformação é a mais usual na região. Já as rodovias, devido a extensa e pouco formal área de faixa de domínio, optou-se por mapear manualmente.

Dessa forma, os segmentos mapeados apresentaram uma aparência conforme ilustrado na Figura 6:

Figura 6 - Uso do solo em segmento vetorizado



Em ambiente do *software* de informações geográficas (SIG), após a realizações de cortes e adequações das camadas visando a perfeita combinação de perímetros entre as feições, obteve-se no banco de dados as informações de área ocupada por poligonal de classe de uso do solo, sendo necessário dissolver as informações das poligonais de forma a representar a totalidade de área ocupada de cada classe em cada segmento. Posteriormente,

necessitando obter a totalização de área ocupada de todos os segmentos amostrados, novamente foi aplicada uma ferramenta de dissolução das informações, passando a camada de uso do solo a exprimir os dados somados das classes dos segmentos amostrais. Os resultados do mapeamento do uso do solo nos segmentos amostrais podem ser observados na Tabela 4:

Tabela 4 - Resultado total do mapeamento do uso do solo nos 30 segmentos

CLASSE	ARP	
	Mapeamento Manual	Mapeamento Readequado
Descanso	27,0	2.315,2
Lavoura temporária	2.288,2	
Soma	2.315,2	
Mata	324,3	324,3
Pastagem	247,4	247,4
Rodovia	8,9	116,9
Estrada rural	18,0	
Carreador	10,9	
Outros usos	79,1	
Soma	116,9	-
TOTAL	3.003,8	3.003,8

Fonte: Aerolevantamento realizado pelo autor.

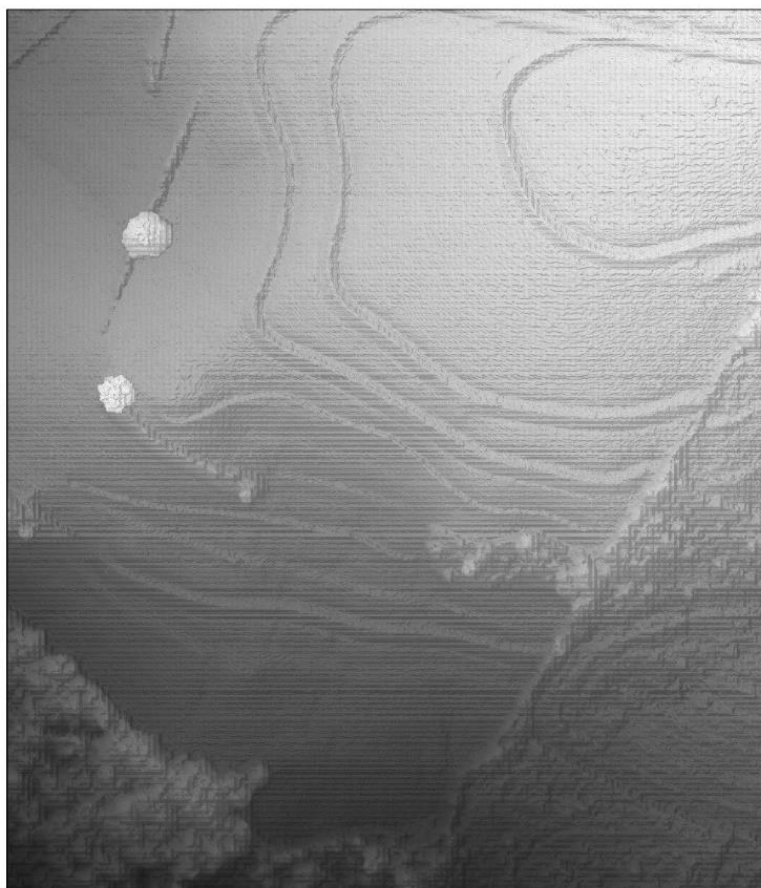
O mapeamento do uso do solo proporcionou a obtenção de uma ampla gama de informações, conforme consta no Anexo 1

8.5 VETORIZAÇÃO DOS TERRAÇOS

A vetorização dos terraços apresentou dificuldades perante a presença de culturas com um porte mais elevado nas imagens, dificultando a definição se a estrutura (terraço) estava operacional, se ela havia sido extinta, ou até mesmo negligenciada em sua manutenção. É importante mencionar que mesmo estruturas propositalmente abandonadas visando melhor operacionalização do maquinário agrícola poderiam ser observadas no modelo digital de superfície, com ou sem a presença de culturas instaladas, conforme observa-se na Figura 7, onde é possível reconhecer a presença de terraços

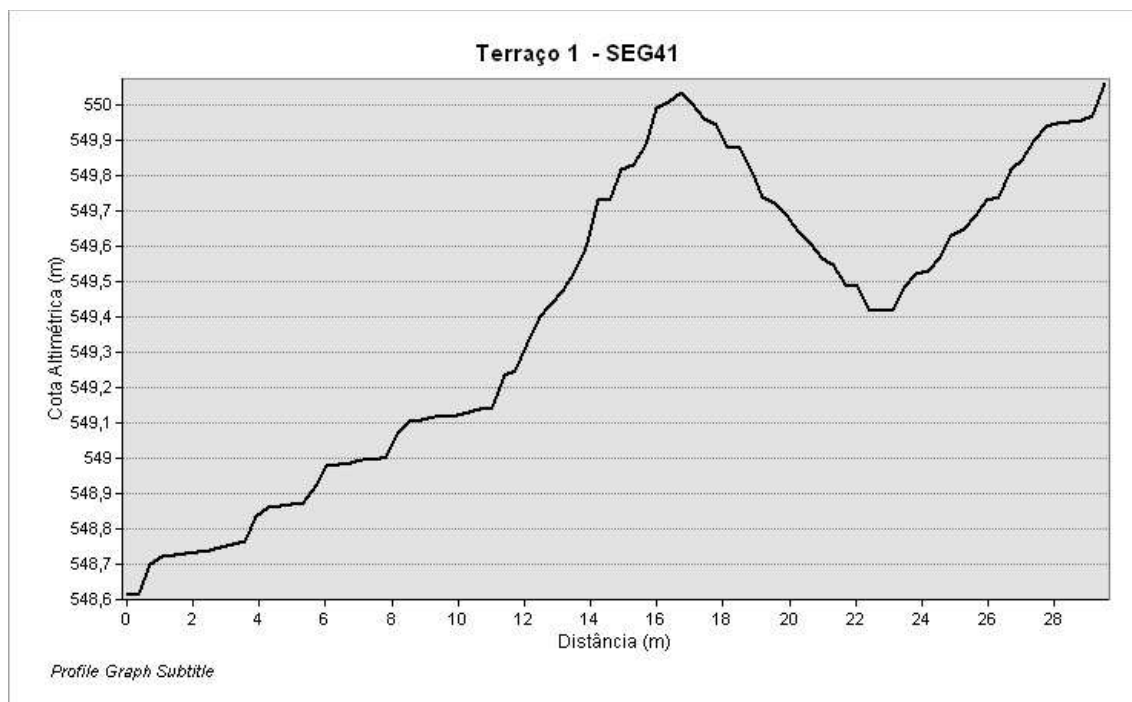
menos desgastados:

Figura 7 - Detalhe de modelo digital de superfície



Uma técnica que se mostrou proveitosa no diagnóstico dos terraços foi a criação de perfis de terreno (corte), onde foi possível averiguar a altura do camalhão e a capacidade de armazenamento da estrutura, conforme observa-se na Gráfico 1:

Gráfico 1 - Perfil de terraço



Fonte: Autor. Sentido D - E.

Depois de vetorizados os terraços, visando a averiguação de adequação dos mesmos quanto a diferença de cota altimétrica entre os terraços subsequentes, foram criados pontos nos vértices das linhas vetorizadas sobre a estrutura, esses pontos georreferenciados serviram para coletar as cotas altimétricas dos terraços sobre o modelo digital de superfície (MDS). A partir das cotas altimétricas foi possível obter a média de cota ao longo do terraço e assim realizar a subtração de cota altimétrica entre o terraço superior e o inferior na “topo sequência” do terreno obtendo a Diferença Vertical (DV).

Definido a DV entre os terraços, através de técnicas de geoprocessamento com interpolação de dados entre as camadas, foi adicionado ao banco de dados a informação da classe uso do solo ao qual o terraço estava inserido. Essa informação é importante pois é um dos fatores que influencia a fragilidade à erosão do solo, seu manejo e uso; diferentes tratamentos culturais podem apresentar diferenças significativas de degradação de sua estrutura física, biológica e química. Outro fator que influencia na propensão de erosão do solo agrícola é a topografia, sendo mais preciso, o percentual de declividade do terreno. Para obter a declividade entre os terraços, foi necessário diminuir a

resolução espacial do MDS pois o MDS gerado pelas imagens apresentava uma resolução espacial muito alta (média de 5,56 cm/pixel) conforme registrado na Tabela 2, trazendo um excesso de informação que não exprimia a média de declividade no espaço entre os terraços. O excesso de informação no MDS acaba por trazer percentuais de declividade a cada pequeno elemento no terreno, como rochas, pequenos morros e diferenças entre o solo e massas de vegetação. Buscando dirimir isso, um novo MDS foi criado especificamente para a extração da declividade média do terreno na área dos terraços, este MDS foi criado com uma resolução espacial de 10 metros/pixel mesmo nas áreas de presença de terraço, dessa forma, a média de declividade expressou a topografia do terreno.

No anexo 02 estão apresentados os detalhes do banco de dados, com informações tabuladas.

Depois de construído e alimentado o banco de dados, foi necessário definir os parâmetros para a análise qualitativa da distribuição dos terraços. Os estudos mais difundidos na definição dos espaçamentos entre terraços no Paraná foram os elaborados por Lombardi Neto (1994) e pelo IAPAR (RUFINO, 1994), sendo que no Paraná, além dos fatores como: cultura implantada, tipo e estrutura do solo e do sistema de cultivo, para o dimensionamento e construção de terraços, são requeridas as seleções dos espaçamentos verticais ($EV=DV$) e horizontais (EH). Para este estudo, devido a limitação de coleta de dados no campo em áreas extensas, foi adotado a diferença vertical como elemento de análise.

Para culturas temporárias geralmente cultivadas no recorte de estudo (soja, milho e trigo), Rufino (1994) apresenta a seguinte tabela (Tabela 5) de recomendação de espaçamento entre terraços respeitando-se o tipo de solo apresentado:

Tabela 5 - Espaçamentos entre terraços vertical (EV) e horizontal (EH) de base larga em culturas. IAPAR, 2010

Declive	Terra argilosa		Terra roxa		Terra arenosa	
	EV	EH	EV	EH	EV	EH
(%)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	0,75	54,75	0,43	43,1	0,38	37,75
2	0,82	40,95	0,64	32,2	0,56	28,2
3	1,04	34,55	0,82	27,2	0,71	23,2
4	1,22	30,6	0,96	24,1	0,84	21,1
5	1,39	27,85	1,1	21,95	0,96	19,2
6	1,55	25,8	1,22	20,3	1,07	17,8
7	1,69	24,2	1,33	19,05	1,17	16,75
8	1,83	22,85	1,44	18	1,26	15,75
9	1,96	21,75	1,54	17,15	1,35	15
10	2,08	20,8	1,64	16,4	1,43	14,35
11	2,2	20	1,73	15,7	1,52	13,8
12	2,32	19,3	1,82	15,2	1,6	13,3
13	2,42	18,6	1,9	14,6	1,69	13
14	2,53	18,05	1,99	14,2	1,74	12,45
15	2,63	17,5	2,07	13,8	1,83	12,2
16	2,74	17,1	2,15	13,45	1,89	11,8
17	2,83	16,65	2,23	13,1	1,98	11,65
18	2,92	16,25	2,3	12,8	2,02	11,2
19	3,01	15,85	2,37	12,5	2,11	11,1
20	3,11	15,55	2,45	12,25	2,14	10,7

Fonte: Rufino (2004)

Nota-se que na recomendação do IAPAR (2010) a declividade de referência é indicada somente até 20%, isto deve-se ao fato de que pela recomendação técnica, os solos desenvolvidos em declividades acima deste índice devem ser direcionados a explorações com menor fragilidade a erosão, como pastagem, culturas permanentes e silvicultura.

Segundo o mapeamento feito pela Embrapa (1999), o município de BVP apresenta uma grande área coberta com NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos, enquanto que em menor proporção há a ocorrência de LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroféricos e Distroféricos, com pequena ocorrência de NEOSSOLOS LITÓLICOS Eutróficos na porção nordeste do município.

A interpolação dos dados provenientes do Levantamento Semi Detalhado de Solos do Município de BVP feito por Gomes (2011) com o

perímetro dos segmentos amostrais chegou aos seguintes dados de área ocupada com cada classe de solo (Tabela 6):

Tabela 6 - Área ocupada com cada classe de solo nos segmentos amostrais

Classe	Descrição	Área	Equivalência
		(ha)	Classe de solo
CYve1	CAMBISSOLOS FLÚVICOS Ta Eutróficos	30,0	Argilosa
GMa	GLEISSOLOS MELÂNICOS Alumínicos	21,4	Argilosa
LVd1	LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos	159,8	Arenosa
LVd1	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	0,9	Arenosa
LVd2	LATOSSOLOS VERMELHOS Distróficos	167,8	Arenosa
LVd2	LATOSSOLO VERMELHO Distrófico típico	6,5	Arenosa
LVdf1	LATOSSOLOS VERMELHOS Distroférricos	22,7	Argilosa
LVEf1	LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos	1.252,3	Argilosa
LVEf2	LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos	153,2	Argilosa
LVEf2	LATOSSOLO VERMELHO Eutroférrico nitossólico	16,5	Argilosa
LVEf3	LATOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos	35,9	Argilosa
NVEf1	NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos	607,5	Roxa
NVEf2	NITOSSOLOS VERMELHOS Eutroférricos	417,6	Roxa
RRe1	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos	39,8	Argilosa
RRe2	NEOSSOLOS REGOLÍTICOS Eutróficos	68,1	Argilosa
Soma		1.639,9	Argilosa
Soma		335,0	Arenosa
Soma		1.025,1	Roxa

Fonte: Adaptado de Gomes (2011). *Equivalência referente a classificação de Rufino (1994)

A equivalência entre as classificações de Bertoni; Lombardi Neto (2008) e Rufino (1994), pode ser observado na Tabela 6, que proporcionou a interpolação destes dados com os dados da Tabela 5, contribuindo para a construção do banco de dados (Anexo 1 e 2).

Segundo o Boletim Técnico 71 do IAPAR (CAVIGLIONE et al., 2010), as recomendações técnicas divulgadas por Lombardi Neto (1994) e Rufino (1994) têm efeito equivalente e podem ser utilizadas para avaliar o Distanciamento Vertical - DV entre os terraços. Desta forma, buscou-se interpolar os dados do mapeamento feito por Gomes (2011) com o mapeamento dos terraços feito por este trabalho, comparando as distâncias verticais recomendadas por Rufino (1994) às mensuradas no mapeamento dos terraços, qualificando a diferença entre a recomendação e a efetivamente presentes em cinco níveis diferentes:

- I. Dentro ou acima da recomendação – DV menor que a recomendada;
- II. Próximo da recomendação – DV acima da recomendada em até 20%;
- III. Abaixo da recomendação – DV acima da recomendada, entre 21 a 80%;
- IV. Muito abaixo da recomendação – DV entre 81 a 105% acima da recomendada;
- V. Extremamente abaixo da recomendada – DV entre 106 a 205% acima que a recomendada;
- VI. Inexistente – sem a presença de terraços em declividade maior que 8%.

No nível “VI. Inexistente”, foi necessário a definição de um percentual mínimo de declividade para que não houvesse a necessidade de mapeamento adicional das áreas de topo de morro, onde a declividade geralmente é menor e demandaria maior retrabalho de recorte. Segundo relato de pesquisadores e profissionais da área, na região de Londrina, adotou-se a prática de recomendação com DV com uma margem de segurança de 20%, dessa forma, a DV entre os terraços até a recomendação (item “I”) deve representar a adequação das estruturas com uma margem de segurança, mesmo que venha a ocorrer alguma perda de precisão nos cálculos realizados de cota média do terraço ou declividade média.

É corriqueiro encontrar na região de BVP a prática de abandono de um terraço alternadamente (terraço 1 para 2), essa prática do produtor rural visa facilitar o emprego de máquinas e aumentar as áreas de cultivo, mas traz problemas sérios de capacidade de contenção do escoamento por dobrar a DV entre os terraços que forem mantidos. Em ocorrências normais de chuvas, a adoção desse modelo de supressão de terraços pode não ocasionar problemas, mas quando ocorre uma chuva mais intensa, a falta de um terraço pode proporcionar um efeito “cascata”, onde o primeiro terraço que sucumbir ao excesso de água recebida pela área de contribuição ocasiona também o colapso do terraço subsequente e assim por diante.

O objetivo de aplicar uma linha de análise com DV em até 20% maior que a recomendação (item “II”) é para avaliar se houve a intensão por parte do produtor rural em manter-se perto da recomendação técnica preconizada por Rufino (1994). Já no item “III”, a intensão é extrair problemas de

planejamento até um pouco antes de caracterizar o abandono de um terraço (1:2), enquanto que o item “IV” busca justamente caracterizar essa prática pelo produtor.

9 RESULTADOS

No total, foram mapeados 1.087 terraços que somaram 323.356 metros de extensão, sendo que em 267.076 metros havia a proteção de outro terraço em área mais elevada da topo-sequência. A partir destes terraços com possibilidade de comparação de Distância Vertical (DV) com o terraço superior é que foi possível a análise no mapeamento.

Perante a classificação adotada, o resultado do mapeamento dos terraços está apresentado na Tabela 7:

Tabela 7 – Extensão dos terraços perante a Distância Vertical recomendada

CLASSE DE USO DO SOLO	TERRAÇO (m)	%
Melhor/igual ao recomendado		
Descanso	41	0,0
Lavoura Temporária	12.399	4,6
Pastagem	207	0,1
Soma	12.647	4,7
Até 20% maior que o recomendado		
Descanso	1475	0,6
Lavoura Temporária	12.216	4,6
Pastagem	360	0,1
Soma	14.051	5,3
De 21 a 80% maior que o recomendado		
Lavoura Temporária	63.617	23,8
Pastagem	1188	0,4
Soma	64.805	24,3
De 81 a 105% maior que o recomendado		
Descanso	455	0,2
Lavoura Temporária	33.824	12,7
Pastagem	662	0,2
Soma	34.941	13,1
De 106 a 205% maior que o recomendado		
Descanso	881	0,3
Lavoura Temporária	74049	27,7
Outros usos	116	0,0
Pastagem	1661	0,6
Soma	76707	28,7
Mais que 206% maior do que o recomendado		
Descanso	280	0,1
Lavoura Temporária	61637	23,1
Pastagem	2008	0,8
Soma	63.925	23,9
Total de terraços mapeados		
Descanso	3.132	1,2
Lavoura Temporária	257.742	96,5
Outros usos	116	0,0
Pastagem	6.086	2,3
Soma	267.076	100,0

Fonte: Autor

Pelos dados apresentados, nota-se que do total de 267.076 metros de terraços mapeados com proteção de um terraço superior, a classe

“Lavoura Temporária” predomina ocupando 96,5% das estruturas mapeadas, enquanto que apenas 2,3% são atribuídos à exploração com pastagens, reforçando a vocação de cultivo agrícola do município e a importância da conservação do solo para a manutenção da produtividade do solo. Apenas 4,7% dos terraços apresentaram um DV dentro do recomendado, enquanto que 5,3% estavam com DV em até 20% maior que o recomendado. A partir do índice de 21% maior que o DV recomendado, ocorre uma progressão rápida dos terraços com fragilidade das estruturas sujeitas ao colapso e consequente erosão do solo, onde: 24,3% apresentam DV entre 21 a 80% maior que o recomendado, 13,1% apresentam DV entre 81 a 105% maior que o recomendado, 28,7% apresentam DV entre 106 a 205% maior que o recomendado enquanto que 23,9% apresentaram DV ainda maiores que 205% do recomendado. Foi aferido 140.632 metros com terraços com DV maior que o dobro da recomendação, equivalendo a 52,6% do total.

Visando estimar a adoção da prática de terraços 1 para 2, isto é, o produtor adota apenas um terraço a cada dois recomendados, foram mensurados os terraços que tinham DV entre 195% a 205% maior que o recomendado, estes terraços somaram 13.940 metros, apontando que 5,2% dos terraços muito provavelmente suportam a carga da prática de supressão de um terraço a cada dois (1:2). Destes, 95,5% ocupavam áreas com cultivo de lavoura temporária, reforçando a tese de intensão de facilitar o emprego de maquinário na lavoura.

Com apenas 4,7% dos terraços mapeados com DV dentro das recomendações técnicas, é possível afirmar que as áreas exploradas com lavouras temporárias e pastagem do município de BVP apresentam sério risco de degradação por escoamento da água das chuvas. Outros fatores devem ser considerados na concepção de susceptibilidade de erosão e arraste por perda de capacidade de infiltração no solo, mas chuvas mais intensas podem desencadear arraste em vertentes muito longas, causando degradação progressiva à produção econômica e ao meio-ambiente.

Para possibilitar analisar espacialmente as áreas com e sem terraços implantados, os dados foram tabulados na Tabela 8:

Tabela 8 - Mapeamento das áreas com/sem terraços

Classe de uso do solo	Área total (ha)	Área com terraços		Área sem terraços	
		(ha)	%	(ha)	%
Carreador	10,9			10,9	
Descanso	27,0	13,9	51,5	13,1	48,5
Estrada rural	18,0			18,0	
Lavoura temporária	2288,2	1944,3	85,0	343,9	15,0
Mata	324,3			324,3	
Outros usos	79,1			79,1	
Pastagem	247,4	60,5	24,5	186,9	75,5
Rodovia	8,9			8,9	
SOMA	3003,8	2018,7	67,2	985,1	32,8

Fonte: Autor

De acordo com os dados apresentados, é possível inferir que as áreas em descanso apresentam um índice bastante elevado de área sem terraços implantados (51,5%), enquanto que as áreas destinadas ao cultivo de lavouras temporárias apresentam estruturas de contenção em 85% da área cultivada. Esses números podem expressar que o setor produtivo demandou investimentos em estruturas de contenção de erosão, mas essas estruturas podem não estar contando com manutenção, ou mesmo estarem sendo suprimidas com o passar dos anos.

No caso das áreas ocupadas com pastagem, a situação é muito mais grave pois além de possuírem declividade média (16,2%) muito maior do que as áreas com lavouras temporárias (8,2%), conforme observa-se no Anexo 1, elas também não apresentaram terraços em 75,5% da área ocupada (Tabela 8). Apesar das áreas ocupadas com pastagem estarem menos susceptíveis ao arraste pela presença de cobertura permanente de vegetação no solo, os “caminhos” criados pelo gado e a topografia mais acidentada tornam as áreas frágeis a degradação por erosão.

10 DISCUSSÃO

Segundo os estudos de Tosto (2010) no município de Araras-SP, culturais anuais (soja e milho) apresentaram perdas de solo de 14,5 ton/ano, enquanto que o cultivo de pastagem apresentaram índices de 1,8 ton/ano. Bahia et al. (1992), estimaram para o Brasil perdas por erosão, provenientes de áreas agrícolas de 600 milhões de toneladas de terra por ano, perfazendo um custo de reposição estimado de US\$ 1,5 bilhão em função das perdas de nutrientes. Segundo Dechen et al (2015), os custos da erosão do solo associados às perdas dos principais nutrientes (P, K, Ca e Mg) para áreas com baixa cobertura do solo (cenário típico de cultivo no recorte de estudo) é de U\$71 a 107 por hectare, o que pode representar uma perda entre U\$162 a U\$277 mil por ano no município de Bela Vista do Paraíso (considerando uma área agrícola de 2.288 ha).

O Valor econômico de perda de solo é dado pela seguinte equação (PEREIRA, TOSTO, ROMERO, 2019):

$$\sum_{i=1}^n (Q_n * P_n)_n + C_{ta}$$

Onde:

Q_n = Quantidade de nutrientes necessários para reposição da fertilidade do solo;

P_n = Preço de mercado de cada fertilizante industrializado;

C_{ta} = Custo de transporte e aplicação dos fertilizantes.

Pelos dados apresentados fica evidente que há uma perda significativa de recursos aplicados a produção agropecuária pela falta ou má adequação dos terraços no município. O prejuízo, além de monetário é também no meio-ambiente, principalmente pelo arraste de sedimentos e elementos químicos aos cursos d'água, causando assoreamento e contaminação (PEREIRA, TOSTO, ROMEIRO, 2019).

Em seus estudos, Tommer et al (2005) monitorou 2 bacias hidrográficas durante 25 anos, concluindo que práticas conservacionistas diminuem o escoamento superficial, e que o sistema de plantio direto (SPD) pode reduzir as perdas de solo em até 70% em relação ao sistema convencional (SC) de plantio, mas o SPD não é considerado muito eficiente em relação a perda de água. É justamente na perda de água que ocorre o transporte de nutrientes até

o curso d'água. A água perdida carrega resíduos agroquímicos que prejudicam a qualidade do meio-ambiente, além de eutrofizar as águas, tornando uma massa de água excessivamente rica em nutrientes minerais e orgânicos provocando o crescimento desequilibrado de espécies; dessa forma, é necessário adotar medidas conservacionistas a fim de evitar a contaminação dos recursos hídricos (BURWELL et al. 1974, PFISTER, et al. 2011).

Londero (2015) conclui em seu estudo que o uso de terraceamento reduziu em quase 90% o volume de escoamento superficial e em quase 80% a vazão máxima, indicando ser uma boa prática conservacionista no controle superficial. A autora também enfatiza que em seu experimento, na bacia sem terraço e para precipitações de média e grande intensidade, o elevado volume de escoamento superficial indica um desequilíbrio hidrológico na magnitude do escoamento superficial com valores de escoamento de até 19% da água recebida no solo.

Perante a essas considerações e apontamentos, apesar de os agricultores adotarem o sistema de plantio direto em suas propriedades, é necessário a adoção de terraços para a contenção do arraste de solo e nutrientes para o corpo d'água, reduzindo prejuízos e danos ao meio-ambiente.

11 CONCLUSÕES

O mapeamento dos terraços demanda grande esforço e tempo, mas a riqueza de dados obtidos pode tornar a metodologia adotada uma importante aliada na função de diagnóstico ambiental. O terraceamento agrícola é um importante instrumento de contenção de arraste de solo e nutrientes nas áreas de cultivo por erosão hídrica e, apesar da pressão dos produtores rurais pela flexibilização de seu uso, ainda se mostra de suma importância na manutenção da fertilidade do solo e conservação ambiental rural.

A capacidade de armazenamento de água da estrutura não foi averiguada devido à grande extensão do recorte espacial, o que poderia demandar excessivo tempo de medições e análises. Também foi considerado que a manutenção do terraço iria variar muito os resultados, o que exigiria a mensuração em uma infinidade de perfis para obter-se uma média a cada estrutura, inviabilizando o trabalho. Apesar desse item ser de grande valor na análise da qualidade de retenção da estrutura, ela só pode ser realizada em recortes menores que também recebam uma atenção maior em fatores como profundidade do solo, estrutura e topo sequência.

Através deste estudo, pelos dados apresentados supõe-se a adoção por parte dos produtores rurais da prática de abandono de um terraço intercalado visando melhor trânsito de máquinas e maior aproveitamento da área de cultivo, a gravidade desta prática pode ser comprovada pelas próprias imagens capturadas, apesar de não terem sido mapeados por não serem o foco da pesquisa, diversos processos erosivos são visualmente detectados nas imagens e no Modelo Digital de Superfície.

O uso do ARP no diagnóstico do terraceamento agrícola mostrou-se viável e deve receber maior atenção de pesquisadores e agências de gestão territorial pois ainda há muito o que ser explorado nas informações presentes nas imagens e nos modelos digitais gerados através delas. O sistema de amostragem pode ser muito útil na detecção de desvios de conduta dos produtores rurais e no planejamento para atuação de agências fiscalizatórias pois estatisticamente podem representar um diagnóstico de áreas amplas.

Com a utilização de aeronaves com maior autonomia, também é

possível realizar o mapeamento de microbacias e mananciais de abastecimento inteiros, detectando problemas que possam trazer risco sanitário e de crise no fornecimento de água de qualidade à população.

12 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMI, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem**. 2003. 185 fls. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos. 2003.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL. **Surface energy balance algorithms for land**: Advanced training and user's manual, version 1.0. Idaho: Implementation, 2002. 97p.
- BAHIA, V. G., CURI, N., CARMO, D. N., & MARQUES, J. J. G. S. M. (1992). **Fundamentos de erosão do solo**: tipos, formas, mecanismos, fatores determinantes e controle. Informe Agropecuário, 16, 25-31.
- BARRETT, EC.; CURTIS, LF. **Introduction to Environmental Remote Sensing** 3 ed. School of Geographical Sciences. Vancouver. 1992. 426 p.
- BELLINAZZI, J.R. et al. **Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1983.175 p.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. 6.ed. São Paulo, Ícone, 2008. 355p.
- BURWELL, R. E. et al. Quality of Water Disharged From Two Agricultural Watersheds in Southwestern Iowa. **Water Resources Research**. Vol. 1. 0. N2, abril 1974.
- BRASIL – Serviço Geológico do Brasil. **Dados Informações e Produtos**. Disponível em: < <https://geosgb.cprm.gov.br/geosgb/downloads.html> >.Acesso em 20 de junho de 2022.
- CAMPOS, M. C. C. **Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações**. Ambiência. Guarapuava (PR) v.8 n.3 p. 963 – 982, 2012.
- CHAVES, A.A et al. **Uso de VANTs e processamento digital de imagens para a quantificação de áreas de solo e de vegetação**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB. 2015. Disponível em:< <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.16.00.42/doc/p1143.pdf>>. Acesso em 01 jul. 2022.

COCHRAN, W. G. **Técnicas de Amostragem**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1977. 555p.

DASH, J.P.; WATT, M.S.; PEARSE, G.D.; HEAPHY, M.; DUNGEY, H.S. **Avaliação de imagens de UAV de alta resolução para monitorar a saúde da floresta durante um surto de doença simulado**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing , 131 (2017) , pp . 1 - 14 , 10.1016/j.isprsjprs.2017.07.007.

DECHEN, S.C.F.; TELLES, T.S.; GUIMARAES, M.F.; MARIA, I.C. **Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo**. Bragantia, Campinas, v. 74, p. 224-233, 2015.

DEFRIES, R. S., Field, C. B., Fung, I., Justice, C. O., Los, S., Matson, P. A., Matthews, E., Mooney, H. A., Potter, C. S., Prentice, K., Sellers, P. J., TOWNSHEND, J. R. G., TUCKER, C. J., USTIN, S. L., & VITUOSEK, P. M. 1995. **Mapping the land-surface for global atmosphere–biosphere models—Toward continuous distributions of vegetations functional properties**. Journal of Geophysical Research—Atmospheres, 100(D10), 20867– 20882.

DELAVARPOUR, N.; KOPARAN, C.; NOWARZKI, J.; BAJWA, S.; SUN, X. **A technical study on UAV characteristics for precision agriculture applications and associated practical challenges**. Remote Sensing, v. 13, 2021.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N. & KÖPKE, U. **Controle da erosão no Paraná, Brasil**: Sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo. Eschborn, GTZ/IAPAR, 1991. 272p.)

EMBRAPA. **Manual de classificação dos solos**. Brasília, CNPS, 1999.

ESALQ. **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx#:~:text=Diante%20do%20bom%20desempenho%20do,52%2C63%25%2C%20respectivamente>. Acesso em: 23 maio, 2022.

FENG, Q; LIU, J; GONG, J. **Urban flood mapping based on unmanned aerial vehicle remote sensing and Random Forest classifier—A case of Yuyao, China**. Water, v. 7, n. 4, 2015, p. 1437-1455, DOI: 10.3390/w7041437.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de sensoriamento remoto**. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB. Brasília - DF, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf>. Acesso em 10 set. 2022.

FISHER, P. (1997). **The pixel**: A snare and a delusion. *International Journal of Remote Sensing*, 18(3), 679– 685.

Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **Multiple frame agricultural surveys**: current survey based on area and list sampling methods. Roma, 1996. v. 1.

GALLEGO, F. J. **Sampling frames of square segments**. Luxembourg: Joint Research Centre, 1995. 72p.

GONZALEZ, R.C, WOODS, R. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher, 2000.

GOMEZ, Javier Dario Pulido. **Estimativa de erosão pela Equação Universal de Perda de Solo (USLE) e transferência de sedimentos para todo território Brasileiro**. 2012. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GUGLIELMI JUNIOR, P. **Utilização De Sensoriamento Remoto No Estudo Do Uso Do Solo: Região De Londrina-PR**. 2014. Disponível em:<<http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000192214>>. Acesso em 15 maio, 2022.

HERNANI, L. C.; KURIHARA, C. H.; SILVA, W. M. da. **Sistemas de manejo de solo e perdas de nutrientes e matéria orgânica por erosão**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 23, n. 1, p. 145-154, 1999.

HUDSON, N. **Soil conservation**. Ithaca, Cornell University. 1971, 320 p.

JANSEN, J. R. **Introduction digital image processing**. New Jersey: Prentice Hall, 1986.

KLINGEBIEL, A.A. & MONTGOMERY, P.H. **Land-capability classification**. Washington, USDA, 1961. 21p. (Agriculture Handbook, 210)

KLINGEBIEL, A.A. **Soil survey interpretation**: Capability groupings. *Soil. Sci. Soc. Am. J.*, 22:160-163, 1958.

LEPSCH, I. F.; BELLINAZZI JUNIOR, R.; BERTOLINI, D.; ESPÍNDOLA, C.R.

Manual para levantamento utilitário do meio físico e classificação de terras no sistema de capacidade de uso. Campinas: SBCS, 1991. 175p.

LILLESSAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation.** 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 724 p.

LOBELL, D. B; ASNER, G.P. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. **Remote Sensing of Environment.** Amsterdã, v. 93, p. 412 – 422, mar. 2004.

LOMBARDI N., F.; BERTONI, J. **Tolerância de perdas de terras para solos do Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1975. 12p. (Boletim Técnico, 28).

LONDERO, A. L. et al. **Perdas de água e sedimento em bacias pareadas de ordem zero sob plantio direto com e sem terraço.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria. 2015.

MAACK R. 1968. **Contribuição à história das explorações geográficas e geológicas do estado do Paraná.** In: MAACK, R. Geografia Física do Paraná. Curitiba: BADEP, UFPR, 450 p.

MACHADO, R.L; CARVALHO, D.F.; COSTA, J.R; NETO, D.H.O; MARINALDO, F.P. **ANÁLISE DA EROSIDADE DAS CHUVAS ASSOCIADA AOS PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO PLUVIAL NA REGIÃO DE RIBEIRÃO DAS LAJES (RJ).** Revista Brasileira de Ciência do Solo, vol. 32, núm. 5, 2008, pp. 2113-2123.

MARQUES, J.Q.A.; BERTONI, J. & BARRETO, G.B. **Perdas por erosão no estado de São Paulo.** Bragantia, 20:1143- 1182, 1961.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images:** Na introduction. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

MELLO, R.C; SA, M.A.L; CURI, N.; MELLO, J.M; VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. **Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v.42, n.4, p.537-545, abr. 2007.

MENESES, P. R. e ALMEIDA T. de,. **Introdução ao processamento de imagens de Sensoriamento Remoto.** Universidade de Brasília – UNB. Brasília. 2012. Disponível em <http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f->

b82a-e9693e4f69d8. Acesso em 01/06/2022.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UnB-CNPq. Brasília, 2012.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. UnB-CNPq. Brasília, 2012.

MORAES, E.M.L. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4 ed. Blucher. 2010.

MOREIRA, L. C. J. et. al. **Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL**. In: Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v30, n06, Nov/dez2010. P.1148-1159.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MULLER, C. C.; *et al.* **Pesquisa Agropecuária do Paraná - Safrá 1986/87** (Programa de Aperfeiçoamento das Estatísticas Agropecuárias). R. Bras. Estat, v. 49, n. 191, p. 55-84, 1988.

NITSCHKE, P. R et al. **Atlas climático do estado do Paraná**. Londrina, Instituto Agrônomo do Paraná, 2019.

PARANÁ – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Diagnóstico Agropecuário Paranaense**. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2022-02/radiografia_4.pdf>. Acesso em: 23 de maio, 2022.

PARANÁ₂ – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Valor Bruto da produção Paranaense**. Disponível em: <<https://www.agricultura.pr.gov.br/vbp>>. Acesso em: 10 de maio, 2022.

PARANÁ₃ – Secretaria do Desenvolvimento Sustentável e do Turismo. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Sistema-de-Informacoes-Hidrologicas>. Acesso em 20 de junho de 2022.

PEREIRA, L. C.; TOSTO, S. G.; ROMEIRO, A. R. **Uso das terras: perdas de solo por erosão e valoração econômica**. In: SEABRA, G. (Org.). Terra: mudanças

climáticas e biodiversidade. Ituiutaba: Barlavento, 2019. p. 929-943.

PFISTER, S. et al. Projected water consumption in future global agriculture: Scenarios and related impacts. **Science of the Total Environment** 409 4206-4216, 2011.

Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., & Blair, R. (1995). **Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits**. Science, 267, 1117-1123. <http://dx.doi.org/10.1126/science.267.5201.1117>. PMID:17789193

PINO, F. A. **Estatísticas agrícolas para o século XXI**. Agricultura em São Paulo, v.46, n.2, p.71-105, 1999.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3. ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p.

RICHADS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.

RUDORFF, B. F. T.; KRUG, T. **Sensoriamento remoto na estimativa da área plantada com feijão, milho e mamona no município de Irece-BA**. In: Simpósio LatinoAmericano de Sensoriamento Remoto, 6. Gramado. Anais... São José dos Campos: INPE, 1986. v. 1, p. 380-4.

RUFINO, R. L. Terraceamento. In: PEREIRA, L. R. (Ed.). **Manual Técnico do Programa de Manejo e conservação do Solo**. 2. ed. Curitiba: IAPAR/Secretaria da Agricultura e do Abastecimento Paraná, v.1, 1994. p. 218-235.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4.ed. São Paulo: HUCITEC, 2006.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods for Image processing**. 2 ed. New York: Academic Press, 1997. 522 p.

SORRENSON, W.J. & MONTOYA, L.J. **Implicações econômicas da erosão do solo e do uso de algumas práticas conservacionistas no Paraná**. Londrina, IAPAR, 1989. 104p. (Boletim Técnico, 21).

TELLES TS, DECHEN SCF, GUIMARAES MF. **Institutional landmarks in Brazilian research on soil erosion: A historical overview**. Rev Bras Cienc Solo. 2013; 37:1431-40. <https://doi.org/10.36783/18069657rbcs20210113>.

TELLES, T. S., Guimarães, M. F., & Dechen, S. C. F. (2011). **The costs of soil erosion**. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 35, 287-298. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832011000200001>.

TOMMER, M. D. et al. Agricultural Practices Influence Flow Regimes of Headwater Streams in Western Iowa. **J. ENVIRON. QUAL**. Vol. 34, setembro-outubro 2005.

TÔSTO, S. G. **Sustentabilidade e valoração de serviços ecossistêmicos no espaço rural do Município de Araras**, SP. 2010. 217 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia, Campinas.

VEGA, A; RAMIREZ, F.C.; SAIZ, M.P.; ROSÚA, F.O. **Multi-temporal imaging using an unmanned aerial vehicle for monitoring a sunflower crop**. *Biosystems Engineering*, v.132, p.19-27, 2015.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**: A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p. (Agriculture Handbook, 537)

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses from cropland east of the rock mountains**: Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, USDA, 1965. 47p. (Agriculture Handbook, 282).

WU, J. G., Shen, W. J., Sun, W. Z., & Tueller, P. T. (2002). **Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics**. *Landscape Ecology*, 17(8), 761–782.

ZHONG, Y., Giri, C., Thenkabail, P.S., Teluguntla, P., Congalton, G., R., Yadav, K., Oliphant, J., A., Xiong, J., Poehnelt, J., Smith, and, C. (2017). **NASA Making Earth System Data Records for Use in Research Environments (MEaSUREs)** Global Food Security-support Analysis Data (GFSAD) Cropland Extent 2015 South America 30 m V001 [Data set]. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi: 10.5067/MEaSUREs/GFSAD/GFSAD30SACE.001

13 ARTIGO B – TESTE DE EFICIÊNCIA DO MAPEAMENTO DO USO DO SOLO ENTRE IMAGENS DE DRONE E IMAGENS DE DIFERENTES SENSORES ORBITAIS

RESUMO

O sensoriamento remoto com imagens de sensores orbitais atualmente é largamente utilizado por entidades de gestão pública do território, trazendo agilidade e eficiência no mapeamento do uso do solo em recortes espaciais extensos, onde sua eficiência geralmente é mensurada por testes de acerto em coordenadas aleatórias. Agora é possível testar a eficiência da classificação das imagens orbitais utilizando imagens de alta resolução espacial provenientes de aerolevantamento com Drones. Os mapeamentos realizados manualmente sobre as imagens de Aeronaves Remotamente Pilotadas-ARP podem ser consideradas o mais próximo da realidade, ocupando o papel de referência neste trabalho. Com isso, visou-se aferir problemas no mapeamento do uso do solo feito com a classificação de imagens de sensores orbitais (satélites) ofertadas gratuitamente. Foram realizados sessenta voos em trinta segmentos uniformes de 1x1 km no município de Bela Vista do Paraíso, Estado do Paraná, conformação utilizada simulando um trabalho investigativo de uso do solo por amostragem. Depois de realizados os voos, tratamento e classificação das imagens; geoprocessamento e mapeamentos, foi realizada a análise comparativa entre os resultados obtidos pela classificação supervisionada das imagens dos sensores MSI/SENTINEL- 2, OLI/LANDSAT - 8, WFI/CBERS4A, PAN-10m/CBERS 4, PAN-5m/CBERS 4 e MUX/CBERS 4 comparando o mapeamento realizado com as imagens de alta resolução do aerolevantamento. Com os resultados obtidos, é possível afirmar que no mapeamento de lavoura temporária os sensores WFI e OLI apresentaram as áreas mais próximas aos dados mensurados com drone (erro de inclusão de 18,36% e 9,97% respectivamente) enquanto que os sensores MSI, PAN5M e PAN10M apresentaram mensurações bem mais contrastantes (erro de inclusão de 34,6%, 42,94% e 39,21% respectivamente) com o mapeamento de referência. Já no mapeamento de mata, classe de uso com maior variância de forma, o sensor PAN5, PAN10 e MSI tiveram um desempenho melhor do que os sensores com menor resolução espacial. Com o resultado do mapeamento manual sobre as imagens de ARP, expandindo os dados para o Município de Bela Vista do Paraíso, foi possível estimar uma área de cultivo de 18.135 ha, 1.963,5 de pastagem e 2.573,9 ha de matas. Através deste estudo, foi possível realizar o mapeamento de segmentos amostrais uniformes através de imagens de ARP, gerando dados e aferindo uma metodologia que pode contribuir nas estimativas de classes de uso do solo no meio rural e no teste de classificação de provenientes de sensores dos satélites.

Palavras Chave: Mapeamento do uso do solo. Imagens de satélite. Aeronave remotamente pilotada. Classificação de imagens. Drones.

EFFICIENCY TEST OF LAND USE MAPPING BETWEEN DRONE IMAGES AND IMAGES FROM DIFFERENT ORBITAL SENSORS

ABSTRACT

Remote sensing with orbital sensor images is widely used by public land management entities, providing agility and efficiency in mapping land use in extensive spatial areas, where its effectiveness is often measured through accuracy tests on random coordinates. Now it is possible to test the efficiency of land use classification using high spatial resolution images obtained from drone aerial surveys. Manual mappings on Remotely Piloted Aircraft (RPA) images can be considered the closest to reality, serving as a reference in this work. In this way, the aim was to assess problems in land use mapping performed with the classification of images from orbital sensors (satellites) provided free of charge. Sixty flights were conducted in thirty uniform segments of 1x1 km in the municipality of Bela Vista do Paraíso, in the State of Paraná, following a sampling-based investigative approach to land use. After the flights, image processing, classification, geoprocessing and mappings were performed a comparative analysis between the results obtained from supervised classification of images from the sensors MSI/SENTINEL - 2, OLI/LANDSAT - 8, WFI/CBERS4A, PAN-10m/CBERS 4, PAN-5m/CBERS 4 and MUX/CBERS 4 comparing the mapping performed with the high-resolution aerial survey. With obtained results is possible to affirm that in the mapping of temporary crops, the WFI and OLI sensors provided the areas closest to the measurements taken by drones (inclusion errors of 18.36% and 9.97%, respectively), while the MSI, PAN5M, and PAN10M sensors showed more contrasting measurements (inclusion errors of 34.6%, 42.94%, and 39.21%, respectively) compared to the reference mapping. In the mapping of forests, a land use class with greater shape variance, the PAN5, PAN10 and MSI sensors performed better than sensors with lower spatial resolution. By the results of manual mapping from RPA images and expanding the data to the municipality of Bela Vista do Paraíso, it was possible to estimate a cultivation area of 18,135 ha, 1,963.5 ha of pasture, and 2,573.9 ha of forests. Through this study, it was possible to map uniform sample segments using RPA images, generating data and validating a methodology that can contribute to land use estimates in rural areas and the classification testing of satellite sensor-derived data.

Keywords: Land use mapping. Satellite images. Remotely Piloted Aircraft. Image classification. Drones.

14 INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem sido utilizado em diversos mapeamentos por instituições públicas, agricultores e na pesquisa de modo geral (ALLEN et al., 2002). A quantificação da produção e a qualificação do uso do solo têm propiciado tomadas de decisão de grande valia ao facilitar a convergência de esforços na busca por uma melhor gestão na exploração do solo e do espaço rural em consonância com as demandas de conservação do meio ambiente que visam torna-lo cada vez mais sustentável.

Tem-se observado que os levantamentos de uso do solo e da produção agropecuária brasileira aumentou sua complexidade metodológica através dos anos com o incremento de novos recursos computacionais acompanhando o movimento no meio rural como elencado por Santos (2006), sendo que, com a adoção de modelos estatísticos amostrais os agentes de gestão territorial têm buscado novas alternativas na obtenção de dados mais fidedignos com menor custo sem abrir mão de incremento na agilidade.

As estimativas de áreas agrícolas são geralmente obtidas por censos agropecuários, ou por levantamentos amostrais, que podem ainda ser classificados como subjetivos ou probabilísticos, segundo a *Food And Agriculture Organization of the United Nations* (FAO,1996). Nos levantamentos probabilísticos é mensurado um fator de erro, estimando a precisão por meio de um coeficiente de variação que através dele é possível obter um intervalo de confiança como parâmetro que é calculado sobre a variância estimada.

Dentre os levantamentos de dados de forma objetiva, os levantamentos de safra por amostragem possibilitam pesquisar apenas uma parte da totalidade, e através de um modelo estatístico adequado é possível realizar estimativas para o restante da população (COCHRAN, 1977; GALLEGO, 1995). Nesse movimento, é importante citar a incorporação das técnicas de amostragem nas estatísticas agrícolas iniciado por Salomão Schattan no ano agrícola 1952/1953 (PINO, 2004).

Contribuindo com esse cenário em grande evolução, nas últimas décadas houve a adoção de ferramentas que ajudaram a dinamizar a pesquisa ofertando imagens abrangentes do uso do solo através de sensores orbitais nas

mais diferentes configurações de resoluções espaciais e capacidades de cobertura e revisitas. Entre os sensores orbitais com oferta gratuita de dados atualmente em funcionamento, destacam-se os embarcados nos satélites CBERS-4, LANDSAT-8 e SENTINEL-2. Estes sensores, apesar de ofertarem dados abrangentes do território brasileiro em uma variada gama de resoluções espaciais, tem características diferentes de registro, apresentando ainda resoluções espaciais em escala métrica. Essa limitação restringe a obtenção de dados de objetos com tamanho menor que o menor pixel captado pelo sensor, misturando dados dentro do espectro de resolução, isto é, o detalhamento das informações de reflectância de parte dos objetos é perdido quando são misturadas as informações pelo sensor que não tem capacidade para registrar tanta informação (DEFRIES et al., 1995; FISHER, 1997; WU et al., 2002).

Os sensores orbitais mais usuais não podem ofertar dados a qualquer momento, são restritos às órbitas pré-definidas e dependem de céu suficientemente limpo (sem nuvens) para o aproveitamento das imagens (LOBELL, ASNER, 2004). Apesar desses problemas, a utilização de imagens orbitais na estimativa de safra agrícola tem recebido bastante destaque nos trabalhos realizados no Brasil e também no Paraná, onde a sistemática de obtenção de dados para comparação segue o roteiro de georreferenciamento, registro, realce, filtragem e classificação (ADAMI, 2003; RICHARDS, 1986; SCHOWENGERDT, 1997; LILLESSAND E KIEFER, 1999; MATHER, 1999; MOREIRA, 2001).

O uso da classificação do uso do solo através das imagens orbitais passou a ser aprimorada com a adoção de modelos estatísticos (FAO, 1996 e 1998; RUDORFF e KRUG, 1986; MULLER et al., 1988) que também podiam utilizar segmentos amostrais uniformes, estes modelos visam principalmente a economia de tempo e redução de custos. Alguns trabalhos foram desenvolvidos utilizando segmentos de 1x1 km apresentando bons resultados (ADAMI, 2003; GALLEGOS, 1995; GUGLIELMI JUNIOR, 2014).

Com a evolução tecnológica, as imagens captadas por sensores embarcados em aeronaves tornam-se atrativas ao unirem alta resolução espacial a capacidade de registro no *momentum* da necessidade. Com a possibilidade de voo a baixa altura e com a evolução rápida dos sensores

embarcados, as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP) também passaram a ser consideradas opções viáveis na coleta de dados espaciais. As imagens de aerolevantamentos com ARP a baixa altura possibilitam uma resolução espacial que pode alcançar poucos centímetros por pixel, propiciando um mapeamento manual muito preciso do uso do solo.

Aproveitando essa característica, surge a possibilidade de mensurar o erro da classificação das imagens orbitais através da comparação com o mapeamento realizado sobre imagens de alta resolução espacial provenientes de ARP. Esta comparação leva em conta que o mapeamento manual sobre as imagens de ARP se aproximam do ideal podendo ser tomado como testemunha para comparação na obtenção do desvio de dados do mapeamento das imagens orbitais.

Assim, visando comparar aos dados provenientes da classificação de imagens orbitais provenientes dos principais sensores orbitais que disponibilizam dados gratuitos, estimando o erro de acerto na mensuração das áreas mapeadas entre diferentes sensores orbitais gratuitos disponíveis tendo o mapeamento com ARP como testemunha, utilizando a metodologia de mapeamento de uso do solo em segmentos amostrais uniformes, foi utilizado dados de aerolevantamento realizado em 30 segmentos de 1 x 1 km no Município de Bela Vista do Paraíso (BVP).

15 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

15.1 OBTENÇÃO DOS SEGMENTOS AMOSTRAIS

Para uma melhor representação espacial, optou-se por adotar a metodologia de pesquisa por segmentos amostrais fechados, conforme abordado por Nealon (1984); Hendricks; Searls; Horvitz (1965). Entre os modelos já testados que poderiam ser utilizados na pesquisa, optou-se pelo método de amostragem aleatória simples devido a sua simplicidade de adoção e boa representatividade espacial. A amostragem aleatória simples é bastante precisa e apresenta todos os elementos da população com probabilidade conhecida de serem escolhidos para fazer parte da amostra. O processo consiste em selecionar uma amostra “n” a partir de uma população “N”. O modelo por expansão direta utiliza somente dados coletados diretamente no campo, isto é, não necessita de um conhecimento prévio do que existe naquele espaço, reproduz para toda a população as proporções relativas encontradas nas amostras (LUIZ, 2002).

Para isso, área territorial do município foi segmentada em quadrados de 1x1 km, conformação já utilizada em trabalhos de pesquisa de uso do solo (GALLEGO,1995; ADAMI, 2003; GUGLIELMI JUNIOR,2014); dessa forma, foi gerado um total de 298 segmentos. Utilizando o mapeamento da área urbana feito por interpretação visual no aplicativo Google Earth (vetorização de feição), foi subtraída a área urbana do município e os segmentos “não inteiros” de borda foram eliminados do projeto, otimizando o plano de voo e aumentando a autonomia nas áreas de levantamento. Depois desta etapa, restaram 170 segmentos inteiros (população “N”), tendo em vista que os segmentos não inteiros poderiam trazer menor precisão estatística ao modelo. Os segmentos somaram uma área de 17.000 ha (100 ha cada) que quando comparados a área total do município (24.249,9 ha), expressam a realidade de 70,10% da área total do município.

Como o número de amostras de uma população determina o grau de confiabilidade dos resultados (ADAMI, 2003), entre os segmentos

inteiros, foram selecionados 30, número que expressa mais de 1/6 do total de segmentos inteiros. A amostra foi determinada através de sorteio, onde foram feitos diversos ensaios até que foi apresentada uma melhor representação espacial do município de BVP. Nestes segmentos, foram realizados sessenta voos com ARP, sendo que cada voo de 15 minutos cobriu 50 ha coletando imagens com resolução espacial adequada.

15.2 PLANEJAMENTO E EXECUÇÃO DOS VOOS

Definidos os segmentos amostrais, a próxima etapa de trabalho passou a ser o planejamento de voos. O aplicativo escolhido para realizar o planejamento e executar os voos foi o aplicativo DroneDeploy, este aplicativo foi escolhido devido a facilidade de em ambiente WEB importar camadas vetoriais (KML) que continham o perímetro do segmento. O planejamento de voo realizado em ambiente WEB era então carregado no aplicativo para *smartphone*, aparelho que foi utilizado junto a controladora de voo da aeronave para execução dos voos. No DroneDeploy também foi possível definir a altura de voo, a taxa de sobreposição e a resolução espacial, adequando esses fatores a autonomia das aeronaves a serem utilizadas e a necessidade de sobreposição das imagens para realizar o processo de aerofotogrametria com a ortoretificação das imagens. Com os planejamentos de voos carregados no banco de dados do aplicativo, as aeronaves devidamente registradas e piloto cadastrado conforme rege a legislação, a próxima etapa do trabalho foi elaborar as solicitações de acesso ao espaço aéreo no DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) conforme programação de campo previamente definida.

Os modelos de aeronaves utilizadas e suas principais características de sensores estão listadas na Tabela 9:

Tabela 9 - Modelos de aeronaves e especificações das lentes e sensores RGB

FAB.	AERONAVE	MODELO DE CÂMERA	MODELO DE LENTE	TAMANHO DA IMAGEM	LENTE	PIXELS
DJI	Phantom 3 Pro	Sony EXMOR	FC300X	4000 x 3000	3,61 mm	12,4
DJI	Phantom 4 Pro	CMOS	FC6310	4864 x 3648	8.8 mm	20
DJI	Mavic 2 Pro	CMOS	L1D-20c	5472 x 3648	10,26 mm	20

Fonte: DJI

A altitude de voo a partir do ponto de decolagem das aeronaves foi de 120 metros para todos os voos, essa altitude foi definida levando-se em conta as normativas do DECEA (2020) e a conjugação de fatores como melhor resolução espacial e autonomia de voo das aeronaves. As aeronaves tiveram uma autonomia média de 15 minutos, variando entre os modelos de aeronaves utilizadas e maior ou menor intensidade de vento. É importante salientar que nem sempre o ponto de decolagem foi o mesmo para os dois voos necessários para cobrir totalmente um segmento, pois a distância do ponto de decolagem até o segmento também influencia na autonomia de mapeamento, sendo que é importante mencionar também que nem todos os segmentos puderam ser acessados por terra, exigindo uma decolagem mais distante.

Os parâmetros gerais de voo e processamento foram:

- Datum WGS 84 / UTM zone 22S (EPSG::32722);
- Altura de 120 metros do ponto de decolagem;
- Taxa de sobreposição frontal de 75%;
- Taxa de sobreposição lateral de 65%;
- *Software* de planejamento de voo DroneDeploy;
- *Software* de processamento (fotogrametria) Agisoft Metashape;

Os voos apresentaram as seguintes mensurações (Tabela 10):

Tabela 10 - Dados dos voos realizados

SEGMENTO	IMAGENS COLETADAS	TEMPO DE PROCESSAMENTO (horas)	RESOLUÇÃO ESPACIAL (cm/pixel)	LENTE
1	502	3:45	5,89	FC300X
6	390	1:59	4,63	FC6310
10	595	5:48	5,65	FC300X e FC6310
18	495	3:33	6,8	FC300X
22	447	1:43	5,01	FC300X e FC6310
30	474	4:46	5,55	FC300X e FC6310
37	389	3:08	5,58	FC300X e FC6310
38	500	2:36	6,61	FC300X
41	403	4:17	4,46	FC6310
43	396	3:10	4,29	FC6310
49	441	3:28	5,43	FC300X e FC6310
54	486	3:06	6,28	FC300X
57	398	2:33	4,4	FC6310
66	394	3:37	4,26	FC6310
70	481	1:43	7,13	FC300X
74	489	6:30	4,52	FC6310
78	439	5:28	5,45	FC300X e FC6310
84	431	4:33	5,82	FC300X e FC6310
91	485	5:34	5,38	FC300X e FC6310
98	488	3:33	6,6	FC300X
100	446	3:51	6,18	FC300X e FC6310
113	570	2:21	6,92	FC300X
129	493	6:06	8,07	FC300X
143	490	4:14	7,71	FC300X
146	401	3:21	4,58	FC6310
158	480	2:57	6,78	FC300X
159	402	3:33	4,61	FC6310
167	403	4:06	4,36	FC6310
169	401	4:01	4,18	FC6310
Seg Georref.	531	7:33	3,74	LiD-20c
Soma/Média	13.740	116:53	5,56	

Fonte: Autor

Para realizar o processamento das imagens, utilizou-se o *software* Agisoft Photoscan/Metashape. O tempo de processamento (fotogrametria) variou muito devido a disponibilidade e capacidade computacional da máquina sendo que a resolução espacial teve variações devido a diferentes pontos de decolagem (gerando altimetrias diferentes) para um mesmo segmento e a topografia do terreno. Quanto maior a altura da aeronave em relação ao terreno, pior era a resolução espacial média pois alturas

maiores obrigaram o aplicativo a adotar a pior resolução espacial para todo o segmento.

Decolagens em pontos mais elevados do terreno possibilitavam uma taxa de cobertura maior entre as imagens nas áreas de topografia com altimetria mais baixa, mas traziam a desvantagem de resoluções espaciais piores, ocorrendo o inverso quando havia decolagem em pontos mais baixos no terreno, nesse caso, se houvesse uma diferença altimétrica muito acentuada entre o ponto de decolagem (mais baixa) também poderia ocorrer dificuldade na ortorectificação das imagens pois haveria degradação na taxa de sobreposição entre as imagens.

Segmentos amostrais que tiveram diferentes pontos de decolagem e, portanto, alturas de voo também diferentes, no momento do processamento apresentaram maior dificuldade de processamento pois o *software* precisa despender mais esforço para ortorectificar as imagens para a criação de um ortomosaico único para o segmento. A manutenção de taxas de cobertura adequadas levando-se em conta os pontos de decolagem em relação a altimetria do terreno mostrou-se um fator limitante no processamento, onde ocorreram inclusive falhas de processamento de áreas em um segmento, exigindo novo levantamento, com possibilidade até de descarte do segmento do banco de dados.

15.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS COLETADAS

As 13.740 imagens coletadas nos 60 voos realizados foram processadas no *software* Agisoft Metashape de forma individual para cada segmento, utilizando as seguintes configurações:

- Sistema de Coordenadas UTM 22S - Sirgas 2000;
- Precisão no alinhamento: média
- *Key point limit*: 40.000
- *Tie point limit*: 4.000
- Nuvem de pontos densa, qualidade: média
- Para criação do modelo digital de superfície, não foi feita

classificação de pontos;

- Para a criação do ortomosaico, foi utilizado o modelo digital de superfície.

Os dados de tempo de processamento e resolução espacial podem ser observados na Tabela 10.

15.4 MAPEAMENTO DO USO DO SOLO

Depois de processadas as imagens coletadas no *software* Agisoft Metashape com a construção da nuvem esparsa e nuvem densa, foram gerados dois principais produtos, o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Ortomosaico. Sobreposto a esses produtos, utilizando o *software* ArcGis/ArcMap, foi inserida a camada de limite do segmento e a partir disso, através de interpretação visual do ortomosaico e do MDS, foram vetorizadas as seguintes feições (Tabela 11):

Tabela 11 - Camadas vetorizadas

CAMADA	DESCRIÇÃO
Carreador	Via de escoamento com 4 metros de largura
Estrada rural	Via de escoamento com 6 metros de largura
Rodovia	Via de rolamento e faixa de domínio sem exploração agropecuária
Descanso	Áreas que nitidamente apresentavam vegetação arbórea sem exploração de lavouras e pastagem, mas que denotavam exploração em anos anteriores
Lavoura temporária	Requerem novo plantio após a colheita
Mata	Massa arbórea formada ou em regeneração, também incluiu a silvicultura
Pastagem	Áreas destinadas a exploração pastoril
Outros usos	Áreas que seu uso não se enquadra nas feições anteriores
Terraços	Estruturas construídas visando evitar a erosão e ampliar as áreas de cultivo

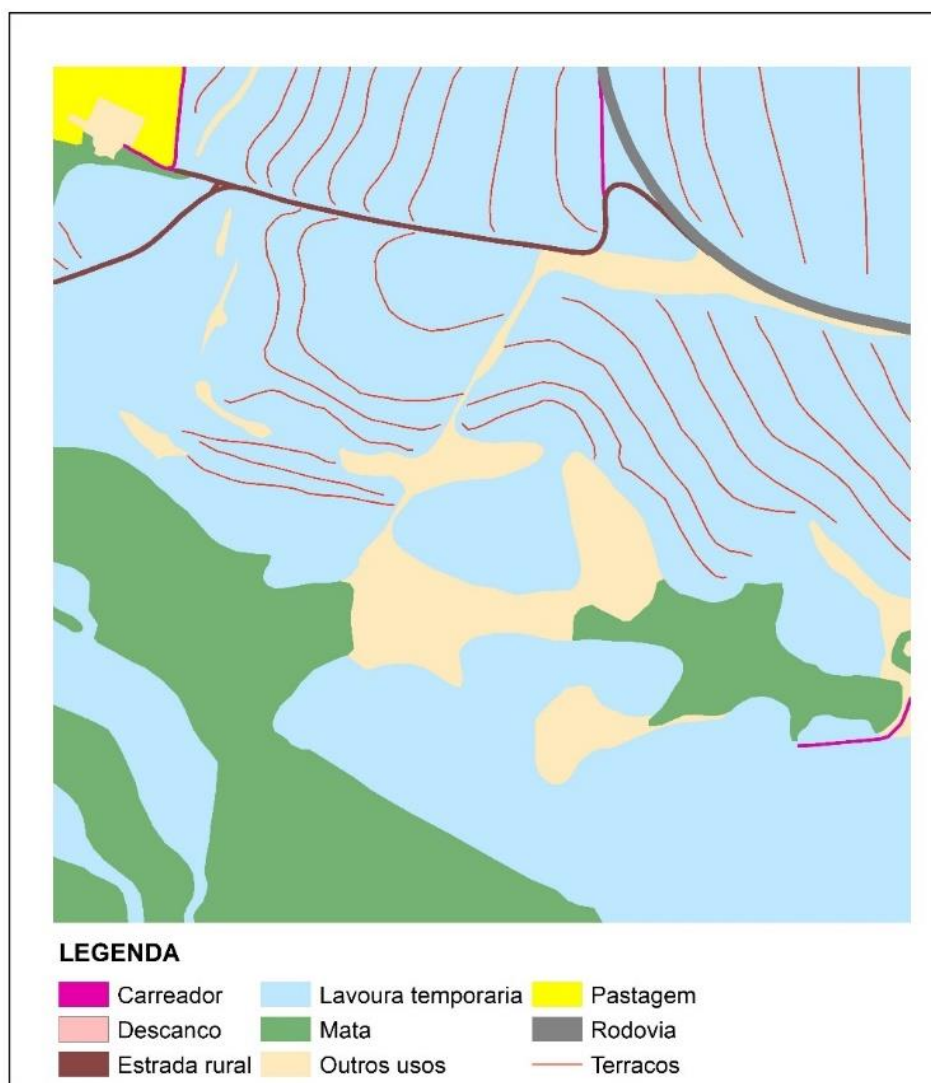
Fonte: Autor

Visando a otimização do trabalho, a feição “carreador” e “estrada

rural” foram vetorizadas através de linhas e posteriormente foi criado uma poligonal a sua volta com raio de 2 metros para os carreadores e de 3 metros para a feição estrada rural pois esta conformação é a mais usual na região. Já as rodovias, devido a extensa e pouco formal área de faixa de domínio, optou-se por mapear manualmente.

Dessa forma, os segmentos mapeados apresentaram uma aparência conforme ilustrado na Figura 8:

Figura 8 - Uso do solo em segmento vetorizado



Em ambiente do *software* de informações geográficas (SIG), após a realizações de cortes e adequações das camadas visando a perfeita combinação de perímetros entre as feições, obteve-se no banco de dados as informações de área ocupada por poligonal de classe de uso do solo, sendo necessário dissolver as informações das poligonais de forma a representar a

totalidade de área ocupada de cada classe em cada segmento. Posteriormente, necessitando obter a totalização de área ocupada de todos os segmentos amostrados, novamente foi aplicado uma ferramenta de dissolução das informações, passando a camada de uso do solo a exprimir os dados somados das classes dos segmentos amostrais. Os resultados do mapeamento do uso do solo podem ser observados na Tabela 12:

Tabela 12 - Resultado do mapeamento do uso do solo

CLASSE	ÁREA (ha)
Carreador	10,9
Descanso	27,0
Estrada rural	18,0
Lavoura temporária	2.288,2
Mata	324,3
Outros usos	79,1
Pastagem	247,4
Rodovia	8,9
SOMA	3.003,8

Fonte: Autor

O mapeamento do uso do solo proporcionou a obtenção de uma grande gama de informações, conforme consta no Anexo 1 e Apêndices:

15.5 CARACTERÍSTICAS DOS SENSORES ORBITAIS

Os sensores orbitais com oferta de imagens gratuitas escolhidos para comparação são os mais recorrentemente utilizados em trabalhos de classificação de uso do solo no Brasil e possibilitam um variado emprego de técnicas de classificação perante suas características de projeto. As principais características dos sensores utilizados podem ser observadas na Tabela 13:

Tabela 13 - Dados dos sensores orbitais utilizados

SATELITE	SENSOR	BANDAS ESPECTRAIS	LARGURA DA FAIXA IMAGEADA	RESOLUÇÃO ESPACIAL
CBERS 4	Câmera Multiespectral Regular (MUX)	B05: 0,45 - 0,52 μm B06: 0,52 - 0,59 μm B07: 0,63 - 0,69 μm B08: 0,77 - 0,89 μm	120 km	20 metros
	Câmera de Campo Largo (WFI)	B05: 0,45 - 0,52 μm B06: 0,52 - 0,59 μm B07: 0,63 - 0,69 μm B08: 0,77 - 0,89 μm	866 km	64 metros
	Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN-5)	B01: 0,51 - 0,85 μm	60 km	5 metros
	Câmera Pancromática e Multiespectral (PAN-10)	B02: 0,52 - 0,59 μm B03: 0,63 - 0,69 μm B04: 0,77 - 0,89 μm	60 km	10 metros
LANDSAT 8	<i>Operational Land Imager</i> - OLI	B02: 0.450 - 0.515 μm B03: 0.525 - 0.600 μm B04: 0.630 - 0.680 μm	185 km	30 metros
SENTINEL 2	Instrumento Multiespectral - MSI	B02: 493 nm B03: 560 nm B04: 665 nm	290 km	10 metros

De acordo com os dados apresentados, é possível notar que quanto maior a largura de faixa imageada, pior é a resolução espacial, mas há que se considerar que sensores com faixa imageada muito estreita (como a PAN-5 do CBERS-4) não possibilitam uma revisita satisfatória do local de interesse, em alguns casos inviabilizando sua utilização entre períodos temporais curtos ou que exijam a coleta em uma data específica, ficando à mercê da presença de nuvens nas imagens o que restringe muito a obtenção de imagens válidas.

A coleta de imagens com ARP geralmente possibilitam a revisita no espaço temporal desejado, desde que haja condições meteorológicas que possibilitem o voo da aeronave. As resoluções espaciais dos sensores RGB (*Red, Green e Blue*, visível ao olho humano) embarcadas são muito maiores do que as imagens orbitais aqui apresentadas pois, apesar de serem captadas por sensores muito menores e mais simples quando comparados aos sensores orbitais, são coletadas em alturas muito menores o que possibilitam uma

resolução espacial muito melhor.

Por outro lado, conforme pode ser observado na Tabela 12, os sensores orbitais normalmente entregam frequências muito mais abrangentes de informações com o uso de diversas composições de bandas espectrais. As ARP também passaram a contar com sensores multiespectrais, mas para este trabalho foi utilizado apenas os sensores RGB nativos das aeronaves pois sensores multiespectrais ainda têm um custo elevado de aquisição e apresentam utilização complexa. Como não se previa uma classificação automática das imagens de ARP, mas buscava-se acima de tudo precisão no mapeamento, optou-se pelo mapeamento manual das feições de forma a aproveitar a alta resolução espacial das imagens para calcular o desvio no mapeamento das imagens orbitais.

A diversidade de aeronaves e sensores utilizados foi necessária devido à baixa autonomia de voo das aeronaves disponíveis, dessa forma, foi possível contar com mais de uma aeronave no campo, multiplicando o número de baterias para realizar os voos, otimizando o trabalho de aerolevanteamento.

15.6 PROCEDIMENTOS DE MAPEAMENTO COM IMAGENS ORBITAIS

Para obter um correlacionamento adequado do uso do solo entre os diferentes sensores e o mapeamento de referência (ARP), as imagens orbitais utilizadas no estudo foram obtidas com data de captura dentro do espaço temporal de coleta das imagens da ARP. O fluxo de trabalho para realizar o mapeamento do uso do solo nas imagens orbitais até possibilitar a análise dos resultados seguiu o seguinte roteiro:

- 1) Definição do período temporal de interesse;
- 2) Coleta das imagens;
- 3) Definição da composição de bandas espectrais das imagens;
- 4) Criação de amostras para treinamento;
- 5) Classificação automática das imagens;
- 6) Mapeamento das Classes;
- 7) Criação ponderada de amostras de validação;
- 8) Validação dos resultados;
- 9) Análise estatística dos resultados.

O processamento das imagens foi realizado de forma automatizada através do aplicativo *Google Earth Engine* (GORELICK et al, 2017) focando nas classes de mata, lavoura temporária, pastagem e outros usos do solo presentes na região de interesse. Na etapa de treinamento, onde o banco de dados do aplicativo foi alimentado com pontos georreferenciados colhidos aleatoriamente sobre as classes mapeadas nas imagens da ARP na proporção de 5.000 pontos por classe, totalizaram 20.000 pontos. No processamento, foi utilizado o algoritmo *Random Forest* presente na biblioteca *scikit-learn* da linguagem *Python*, porém este processo foi feito em duas etapas:

- na primeira utilizando a função *GridSearchCV* da biblioteca *scikit-learn*, com o intuito de buscar os melhores *hiper* parâmetros e atributos para treinamento dos modelos e suas avaliações por meio de uma matriz de confusão e da *métrica F1 score*.
- na segunda e última etapa, foi realizado o treinamento dos modelos utilizando seus respectivos melhores *hiper* parâmetros e atributos

Para realizar a classificação das imagens, também foi necessário a definição das bandas espectrais das imagens a serem utilizadas de modo a otimizar a detecção das classes, as composições testadas podem ser observadas na Tabela 14:

Tabela 14 - Lista de sensores/satélites e atributos testados

SENSOR/SATÉLITE	ATRIBUTOS TESTADOS
MSI/SENTINEL- 2	GREEN, NIR, RED, NDVI, EVI2, SAVI, GNDVI, PVR, CIGREEN, CVI
OLI/LANDSAT - 8	GREEN, NIR, RED, NDVI, EVI2, SAVI, GNDVI, PVR, CIGREEN, CVI
WFI/CBERS4A	BLUE, GREEN, RED, NIR08, NDVI, EVI2, SAVI, GNDVI, PVT, CIGREEN, CVI
PAN-10m/CBERS 4	GREEN, NIR, RED, NDVI, EVI2, SAVI, GNDVI, PVR, CIGREEN, CVI
PAN-5m/CBERS 4	PAN-5m
MUX/CBERS 4	BLUE, GREEN, RED, NIR08, NDVI, EVI2, SAVI, GNDVI, PVR, CIGREEN, CVI

Fonte: Autor

Após as avaliações de performance trabalhadas em diferentes combinações, optou-se pelas formulações apresentadas na Tabela 15:

Tabela 15 - Formulação dos índices de vegetação adotados

Índice de Vegetação	Fórmula
NDVI	$\text{NIR-RED} / \text{NIR+RED}$
EVI2	$2.5 * ((\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + 2.4 * (\text{RED}) + 1))$
SAVI	$((\text{NIR} - \text{RED}) * (1 + 0.5)) / ((\text{NIR} + \text{RED} + 0.5))$
GNDVI	$(\text{NIR} - \text{GREEN}) / (\text{NIR} + \text{GREEN})$
PVR	$(\text{GREEN} - \text{RED}) / (\text{GREEN} + \text{RED})$
CIGREEN	$(\text{NIR} / (\text{GREEN})) - 1$
CVI	$(\text{NIR} * \text{RED}) / ((\text{GREEN})^{**2})$

Fonte: Autor

Os atributos utilizados na formulação são apresentados na Tabela 16:

Tabela 16 - Lista por sensor dos hiper parâmetros e atributos utilizados para geração dos modelos adotados

SENSOR/SATÉLITE	HIPEARPRÂMETROS	ATRIBUTOS UTILIZADOS
MSI/SENTINEL-2	{'bootstrap': True, 'criterion': 'entropy', 'max_depth': 45, 'max_features': 'auto', 'n_estimators': 300}	GREEN, NIR, RED
OLI/LANDSAT-8	{'bootstrap': False, 'criterion': 'gini', 'max_depth': 35, 'max_features': 'auto', 'n_estimators': 400}	GREEN, NIR, RED
WFI/CBERS4A	{'bootstrap': False, 'criterion': 'gini', 'max_depth': 25, 'max_features': 'auto', 'n_estimators': 200}	BLUE, GREEN, RED, NIR08
PAN-10m/CBERS4	{'bootstrap': True, 'criterion': 'entropy', 'max_depth': 25, 'max_features': 'auto', 'n_estimators': 1000}	GREEN, NIR, RED
PAN-5m/CBERS4	{'bootstrap': True, 'criterion': 'gini', 'max_depth': 5, 'max_features': 'auto', 'n_estimators': 100}	PAN-5m
MUX/CBERS4	{'bootstrap': False, 'criterion': 'entropy', 'max_depth': 25, 'max_features': 'auto', 'n_estimators': 500}	BLUE, GREEN, RED, NIR08

Fonte: Autor

Após a classificação das imagens, foram utilizados 1.653 pontos (coordenadas) para realizar a validação (conferência) do resultado. Estes pontos

foram definidos ponderando-se a área ocupada por cada classe no mapeamento feito nas imagens de aerolevantamento, assumindo a seguinte proporção: 390 pontos para a classe de mata, 679 para lavoura temporária, 296 para pastagem e 288 amostras para outros usos do solo.

Posteriormente, os dados classificados em formato *raster*, foram convertidos para o formato vetorial visando facilitar a análise de área ocupada. Inicialmente os inúmeros polígonos gerados foram unidos utilizando a ferramenta “dissolve” já em *software* de Sistema de Informações Geográficas (SIG), mantendo-se a informação da classe correspondente para verificação da área total mapeada. Após esse processo, os polígonos foram recortados pela interpolação de dados do mapeamento realizado com ARP visando a obtenção de dados para a análise estatística de intersecção e os erros de inclusão entre o dado de referência e o mapeamento das imagens orbitais.

Após esta etapa, foram aplicados os mesmos procedimentos de recorte e diferença, mas com o dado não dissolvido, com essa informação foi calculado pelo “erro quadrático médio” (*root-mean-square error* (RMSE)) por classe e gerado os gráficos de diferença de área entre área real (ARP) e área classificada por classe nas imagens orbitais. A equação utilizada para cálculo do RMSE é:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2}$$

Onde:

n= número de amostras

y= previsão

o= valores observados

16 RESULTADOS

Os resultados do mapeamento do uso do solo através das imagens de ARP podem ser observados na Tabela 17, onde também é apresentado a adequação (agrupamento) de classes mapeadas nas imagens ARP, às classes adotadas na classificação de imagens orbitais. O mapeamento do uso do solo proporcionou a obtenção de uma grande gama de informações, conforme consta no Anexo 1. A restringida resolução espacial das imagens orbitais não possibilitava o mapeamento de estradas, rodovias e carreadores, dessa forma, essas feições foram agrupadas na classe outros usos do solo, conforme consta na Tabela 17:

Tabela 17 – Resultado e adequação das classes mapeadas

CLASSE	ARP	
	Mapeamento Manual	Mapeamento Readequado
Descanso	27,0	2.315,2
Lavoura temporária	2.288,2	
Soma	2.315,2	-
Mata	324,3	324,3
Pastagem	247,4	247,4
Rodovia	8,9	116,9
Estrada rural	18,0	
Carreador	10,9	
Outros usos	79,1	
Soma	116,9	-
TOTAL	3.003,8	3.003,8

Fonte: Autor

Já a classe de lavoura em descanso/pousio foi agrupada a classe de lavoura temporária pois ao longo do tempo, o uso do solo acaba sendo o mesmo.

Com as amostras (3.003,8 ha) perfazendo uma representatividade de 12,6% da área rural do município (23.809,9 ha), e aplicando-se uma regra de três simples nos dados obtidos, é possível realizar uma estimativa da proporcionalidade das classes de uso do solo para toda a área rural do município, conforme é apresentado na Tabela 18.

Tabela 18 - Resultado do mapeamento do uso do solo

Classe de uso do solo	Área total (ha)	Proporção (%)	Estimativa Município de BVP	
			(ha)	(%)
Carreador	10,9	0,4	86,6	0,4
Descanso	27,0	0,9	214,3	0,9
Estrada rural	18,0	0,6	142,6	0,6
Lavoura temporária	2.288,2	76,2	18.135,0	76,2
Mata	324,3	10,8	25.73,9	10,8
Outros usos	79,1	2,6	627,8	2,6
Pastagem	247,4	8,2	1963,5	8,2
Rodovia	8,9	0,3	70,5	0,3
SOMA	3.003,8	100	23.814,2	100,0

Fonte: Autor

Para a análise do total de área mapeada por classe/sensor é apresentado a Tabela 19, onde consta a somatória de área de todos os polígonos mapeados:

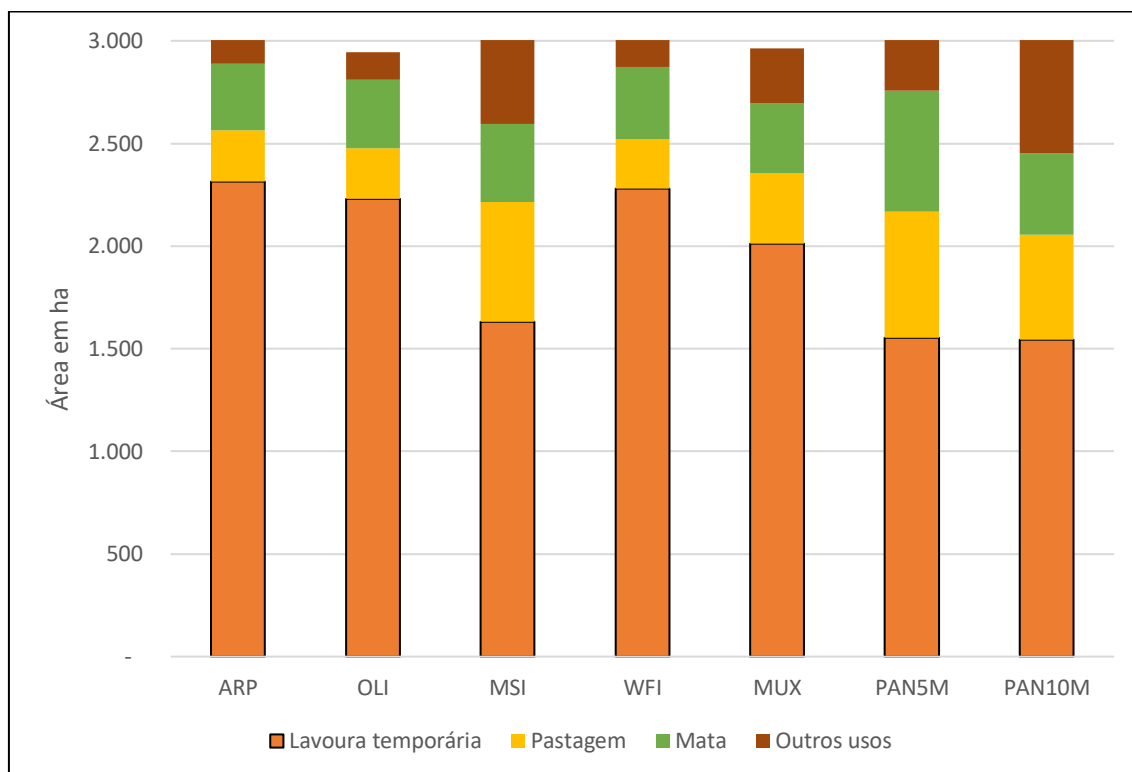
Tabela 19 - Área mapeada por classe sensor (ha)

CLASSE/SENSOR	ARP (ha)	Landsat-8 OLI	Sentinel-2 MSI	CBERS-4			
				WFI	MUX	PAN5M	PAN10M
Lavoura temporária	2.315,2	2.271,3	2.315,0	2.315,2	2.285,3	2.315,2	2.315,2
Mata	324,3	319,8	324,3	324,3	319,7	324,3	324,3
Pastagem	247,4	241,1	247,4	247,4	243,1	247,4	247,4
Outros usos	116,9	113,9	116,9	116,9	243,1	116,9	116,9
TOTAL	3.003,8	2.946,0	3.003,5	3.003,8	3.091,2	3.003,8	3.003,8

Fonte: Autor

Nota-se pelos dados apresentados que a somatória de área mapeada de alguns sensores ficou um pouco acima ou abaixo dos 3.003,8 ha do recorte espacial, isto é decorrente dos “ruídos” deixados nos processos de conversão entre *raster* para vetorial, mas, este problema não foi considerado de grande relevância na análise. A flutuação dos dados dos mapeamentos por classe também é representada mais claramente no Gráfico 2:

Gráfico 2 - Comparativo de área mapeada entre os sensores



Fonte: Autor

Nele, também fica nítido o melhor desempenho do sensor WFI do satélite CBERS-4, seguido pelo bom desempenho do sensor OLI do satélite Landsat-8, onde as áreas das classes mapeadas aproximam-se do mapeamento com ARP.

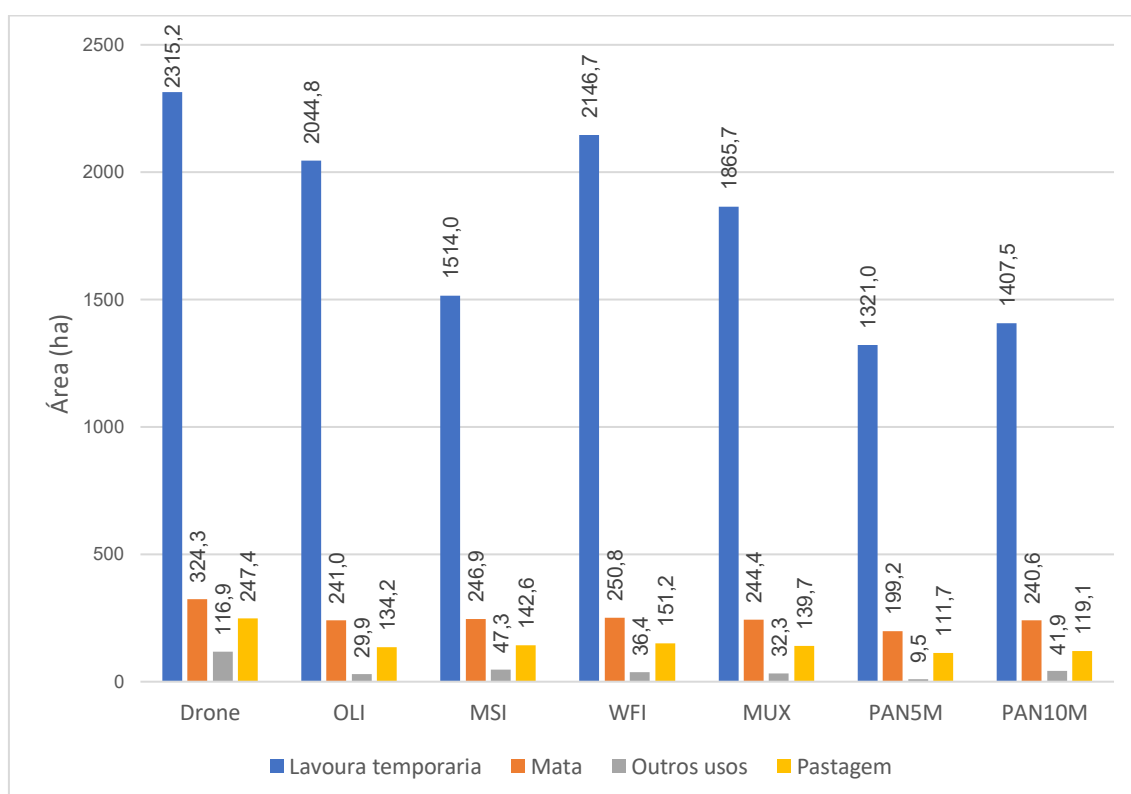
Utilizando a vetorização das feições identificadas nas imagens de ARP, também foi possível realizar a comparação com a classificação das imagens orbitais. Essa comparação foi realizada com cada polígono do SHP de uso do solo do aerolevante e a partir disso foi calculada a estatística entre a intersecção das informações pixel (imagem orbital) a polígono (imagem ARP), realizando posteriormente a interpolação dos dados gerais com a somatória das classes. Comparando as informações de classificação de uso do solo nas imagens com a vetorização dos dados, chegou-se aos dados de intersecção entre os mapeamentos, conforme é apresentado na Tabela 20 e Gráfico 3:

Tabela 20 - Comparação de áreas de intersecção mapeadas entre os diferentes sensores com relação ao ARP.

CLASSE	ARP	Landsat-8	Sentinel-2	CBERS-4			
		OLI	MSI	WFI	MUX	PAN5M	PAN10M
Lavoura temporária	2.315,2	2.044,8	1.514,0	2.146,7	1.865,7	1.321,0	1.407,5
Mata	324,3	241,0	246,9	250,8	244,4	199,2	240,6
Pastagem	247,4	134,2	142,6	151,2	139,7	111,7	119,1
Outros usos	116,9	29,9	47,3	36,4	32,3	9,5	41,9
TOTAL	3.003,8	2.450,0	1.950,8	2.585,1	2.282,1	1.641,4	1.809,1

Área em hectares. Fonte: Autor

Gráfico 3 - Comparação da área intersectada entre os diferentes sensores e o mapeamento com ARP



Fonte: Autor

Nota-se mais uma vez o bom desempenho dos sensores WFI e OLI, onde os dados intersectados apresentam uma melhor coincidência no georreferenciamento espacial entre os mapeamentos com a testemunha (ARP).

A diferença entre o somatório de área mapeada através de ARP e a somatória de área mapeada intersectada pelo sensor orbital presente nos dados da Tabela 20 e no Gráfico 2 são os erros de inclusão, isto é, são dados de erro de correspondência espacial entre a poligonal ARP e mapeamento da

imagem orbital. Os erros de inclusão podem ser melhor observados na Tabela 21:

Tabela 21 - Comparativo de intersecção e erro de inclusão entre as classes

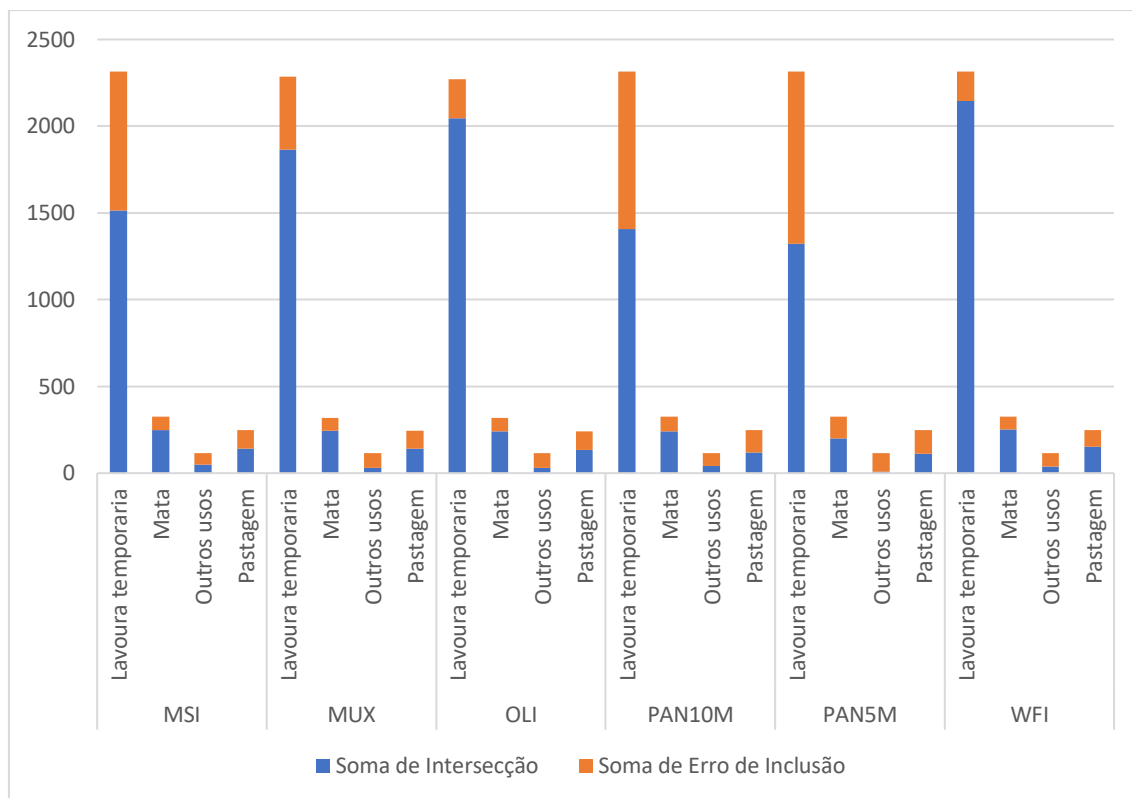
Classe	Sensor	Intersecção	Erro de Inclusão	Soma
Lavoura temporária	OLI	2.044,8	226,4	2.271,3
Mata	OLI	241,0	78,8	319,8
Outros usos	OLI	29,9	83,9	113,9
Pastagem	OLI	134,2	106,9	241,1
Soma		2.450,0	496,0	2.946,0
Lavoura temporária	MSI	1.514,0	801,0	2.315,0
Mata	MSI	246,9	77,4	324,3
Outros usos	MSI	47,3	69,6	116,9
Pastagem	MSI	142,6	104,7	247,4
Soma		1.950,8	1.052,7	3.003,5
Lavoura temporária	WFI	2.146,7	168,6	2.315,2
Mata	WFI	250,8	73,5	324,3
Outros usos	WFI	36,4	80,5	116,9
Pastagem	WFI	151,2	96,2	247,4
Soma		2.585,1	418,7	3.003,8
Lavoura temporária	MUX	1.865,7	419,6	2.285,3
Mata	MUX	244,4	75,2	319,7
Outros usos	MUX	32,3	82,1	114,4
Pastagem	MUX	139,7	103,5	243,1
Soma		2.282,1	680,4	2.962,5
Lavoura temporária	PAN5M	1.321,0	994,2	2.315,2
Mata	PAN5M	199,2	125,1	324,3
Outros usos	PAN5M	9,5	107,3	116,9
Pastagem	PAN5M	111,7	135,7	247,4
Soma		1.641,4	1.362,3	3.003,8
Lavoura temporária	PAN10M	1.407,5	907,8	2.315,2
Mata	PAN10M	240,6	83,7	324,3
Outros usos	PAN10M	41,9	75,0	116,9
Pastagem	PAN10M	119,1	128,3	247,4
Soma		1.809,1	1.194,7	3.003,8

Fonte: Autor. Áreas em hectares

A classe de lavoura temporária, pelo seu peso econômico naturalmente assume papel central nas comparações entre os levantamentos e, pelos dados apresentados, nesta classe os sensores WFI e OLI apresentaram as áreas mais próximas aos dados mensurados pelas ARP enquanto que os sensores MSI, PAN5M e PAN10M apresentaram mensurações bem mais contrastantes com o mapeamento de referência. Através dos dados apresentados no Gráfico 4, podemos ter uma noção mais clara do peso da área

de lavoura temporária na ocupação do solo do município e comparar o erro de inserção mais significativamente maior nos sensores com maior resolução espacial:

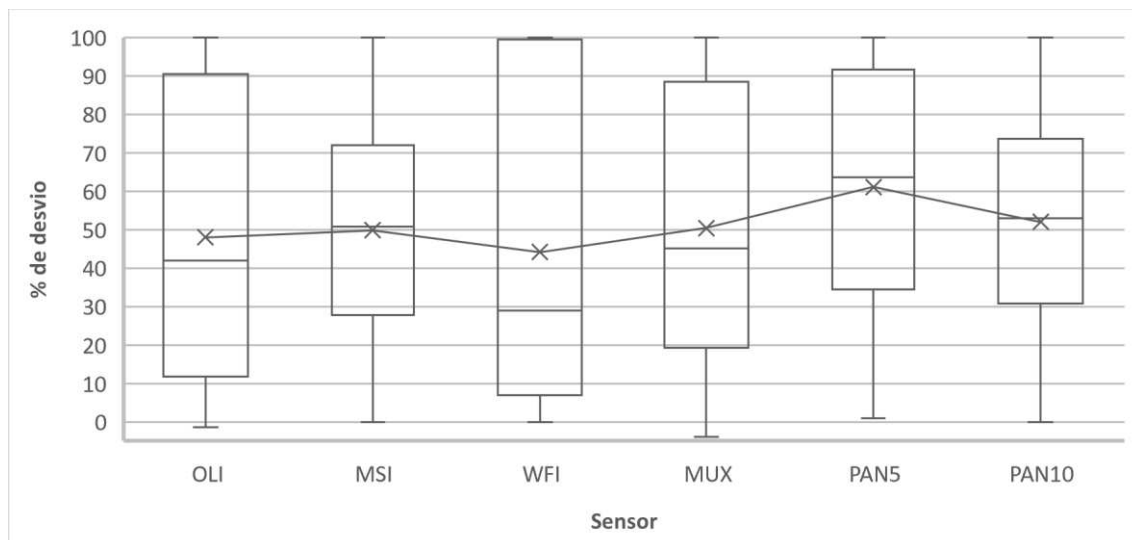
Gráfico 4 - Comparativo de área intersectada e área com erro de inclusão



Fonte: Autor

Utilizando um diagrama de caixa (ou *box plot*), onde são representadas as alterações dos dados de uma variável por meio de quartis, no Gráfico 5 é calculado a média dos desvios entre os talhões mapeados (em todas as classes) por diferentes sensores, nota-se a maior variabilidade da área com diferença de mapeamento dos sensores OLI e WFI quando comparado aos outros sensores. Isto indica que os sensores OLI e WFI não tem uma tendência de erro específica. Neste tipo de comparação, objetiva-se não somente o resultado final, mas o maior ou menor acerto no mapeamento perante as poligonais vetorizadas.

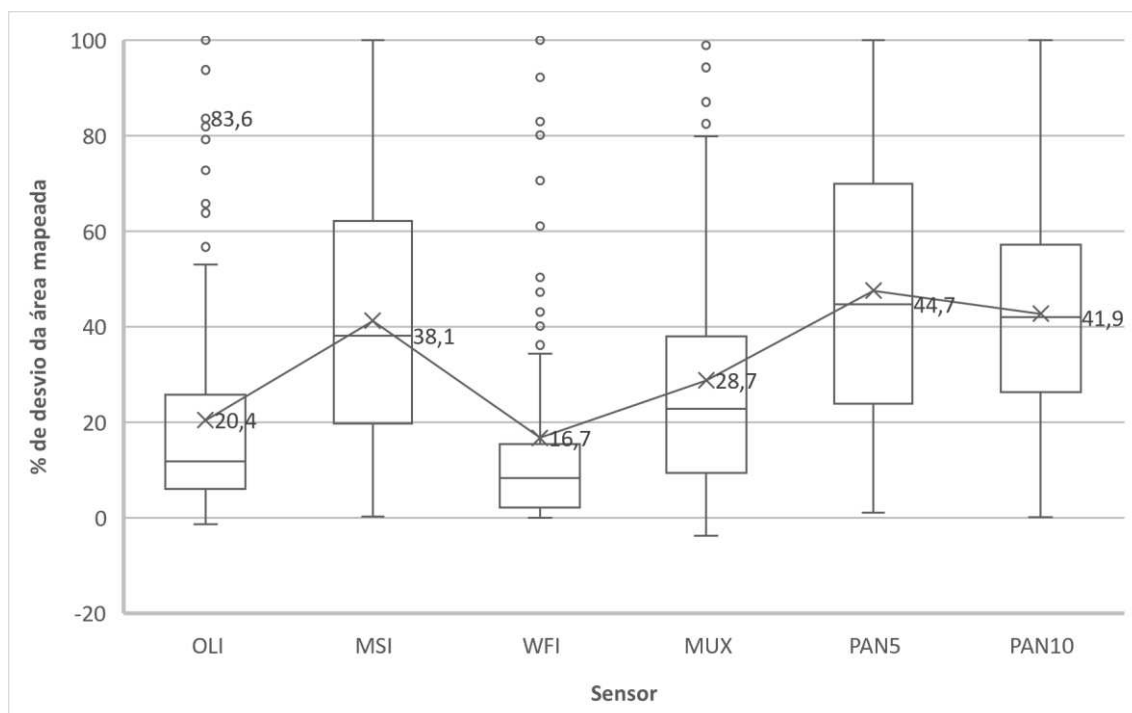
Gráfico 5 - *Box plot* do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada em todas as classes.



Características dos sensores - **MUX**: CBERS-4, 20m/pixel; **WFI**: CBERS-4, 64m/pixel; **PAN-5**: CBERS-4, 5m/pixel; **PAN-10**: CBERS-4, 10m/pixel; **OLI**: LANDSAT-8, 30m/pixel; **MSI**: SENTINEL-2, 10m/pixel. Fonte: Autor

A classe de lavoura temporária apresentou uma variabilidade desvio muito menor nos sensores OLI e WFI. Nota-se no Gráfico 5 que estes sensores apresentaram também valores discrepantes que são representados pelos *outliers*. No Gráfico 6, nota-se que estes sensores apresentaram também valores discrepantes que são representados pelos *outliers*, conforme pode ser observado:

Gráfico 6 - Box plot do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada de lavoura temporária.

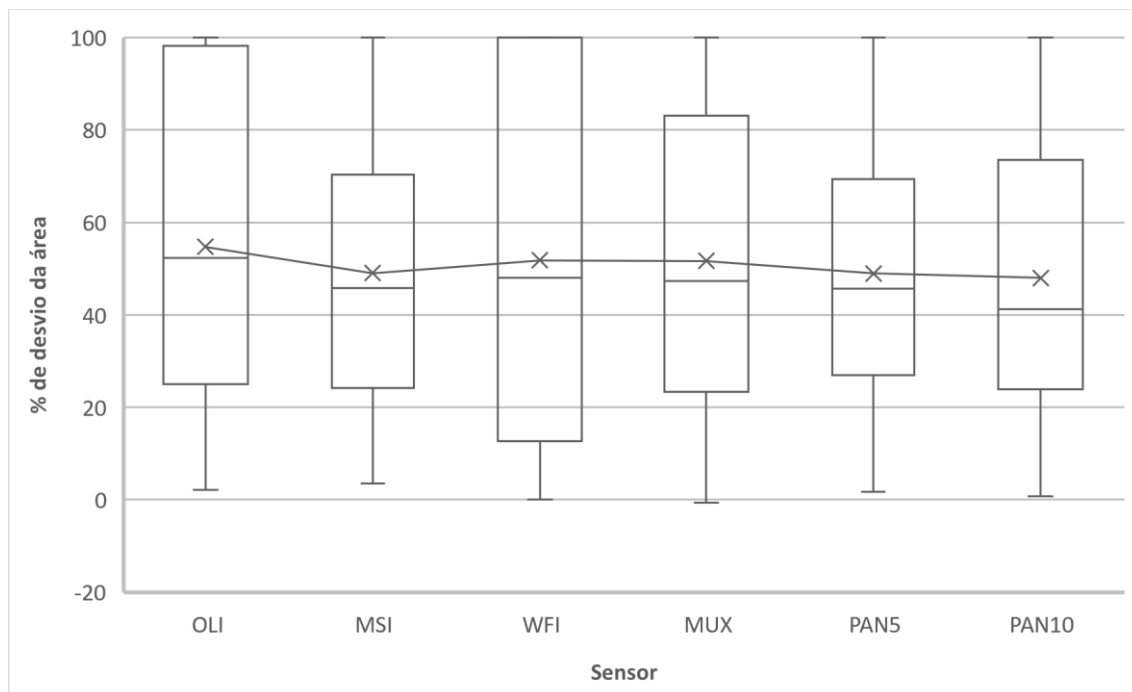


Características dos sensores - **MUX**: CBERS-4, 20m/pixel; **WFI**: CBERS-4, 64m/pixel; **PAN-5**: CBERS-4, 5m/pixel; **PAN-10**: CBERS-4, 10m/pixel; **OLI**: LANDSAT-8, 30m/pixel; **MSI**: SENTINEL-2, 10m/pixel. Fonte: Autor

No mapeamento da classe lavoura temporária o sensor WFI do CBERS 4 obteve o melhor desempenho entre os sensores orbitais utilizados com um erro de inclusão de 16,7% dos 2.315,2 ha mapeados com ARP, enquanto que o segundo melhor desempenho foi o do sensor OLI do satélite Landsat 8 que computou 20,4% de erro. Os maiores erros apresentados são computados aos sensores com maior resolução espacial MSI (resolução de 10 metros, erro de 38,1%), PAN10M (resolução de 10 metros, erro de 41,9%) e PAN5M (resolução de 5 metros, erro de 44,7%).

Na classe Mata, observando os dados Gráfico 7, é possível observar que o sensor PAN5, PAN10 e MSI tiveram um desempenho ligeiramente melhor do que os sensores com maior resolução espacial, tendo menor variância de área mapeada.

Gráfico 7 - *Box plot* do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada de mata por sensor.

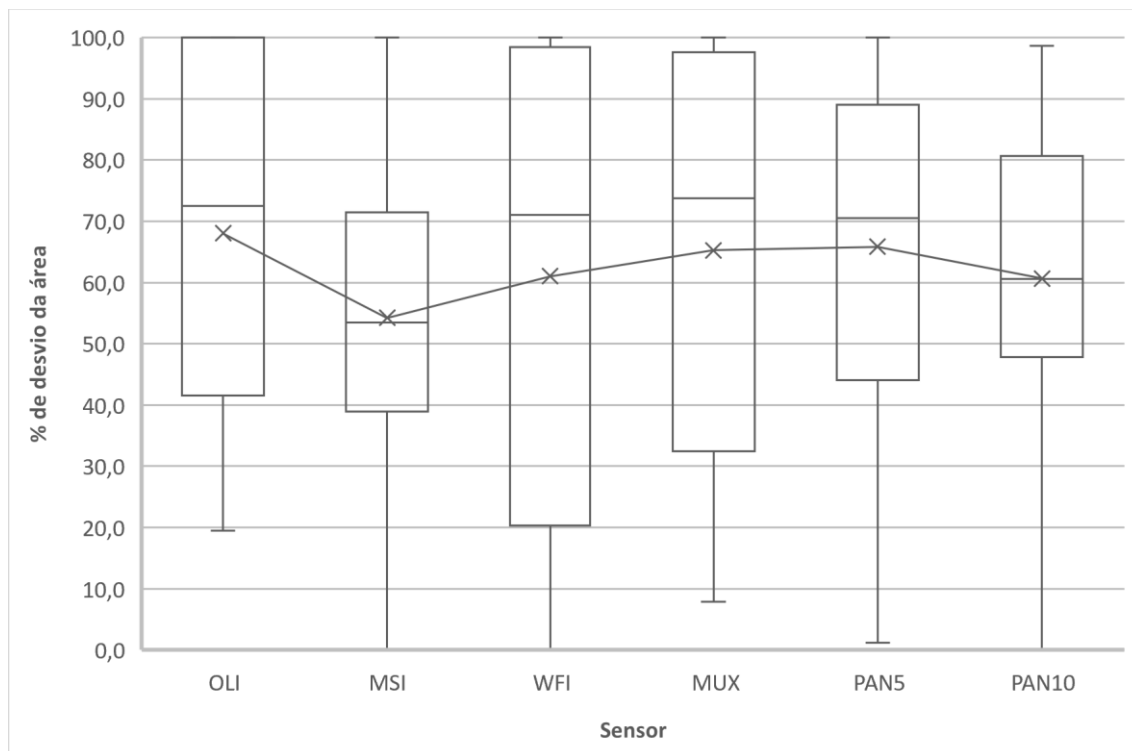


Características dos sensores - **MUX**: CBERS-4, 20m/pixel; **WFI**: CBERS-4, 64m/pixel; **PAN-5**: CBERS-4, 5,/pixel; **PAN-10**: CBERS-4, 10m/pixel; **OLI**: LANDSAT-8, 30m/pixel; **MSI**: SENTINEL-2, 10m/pixel. Fonte: Autor

Como as áreas mapeadas nesta classe têm sua conformação muito menos uniforme do que as poligonais de lavoura temporária, os sensores com maior resolução espacial obtêm um desempenho mais acurado pois o pixel menor preenche melhor o perímetro normalmente estreito das áreas de preservação permanente mantidas com mata natural. Mesmo assim, há que ser destacado uma menor diferença de erro entre os sensores do que o apresentado na classe lavoura temporária (Gráfico 6), isto pode ser decorrente de uma área significativamente menor de mata (324,3 ha) em relação a área de lavoura temporária (2.315,2 ha), reduzindo assim a possibilidade representação das discrepâncias entre os sensores.

Já a classe de pastagem, tendo o mesmo problema de representatividade no mapeamento que a classe mata (Tabela 18) devido a sua pequena área ocupada (247,4 ha), o sensor que melhor se destaca é o sensor MSI com variância bem menor do que os sensores WFI, MUX e OLI que apresentam pior resolução espacial, conforme consta no Gráfico 8:

Gráfico 8 - Box plot do polígono do drone com relação ao desvio da área (%) mapeada de pastagem por sensor



Características dos sensores - **MUX**: CBERS-4, 20m/pixel; **WFI**: CBERS-4, 64m/pixel; **PAN-5**: CBERS-4, 5,/pixel; **PAN-10**: CBERS-4, 10m/pixel; **OLI**: LANDSAT-8, 30m/pixel; **MSI**: SENTINEL-2, 10m/pixel. Fonte: Autor

A classe de outros usos do solo não foi objeto de comparação devido à grande variabilidade de conformação (poligonais estreitas x largas) decorrente da inclusão das subclasses de estrada, carreadores e rodovias. A inclusão destas subclasses leva a confusão pelo algoritmo de classificação devido a resolução espacial pouco adequada a largura das feições alvo.

17 DISCUSSÃO

Houve diferenças significativas entre os mapeamentos realizados com diferentes sensores orbitais. Considerando o problema das diferenças nas resoluções espaciais dos sensores testados, há que se considerar que modelos estatísticos complementam os trabalhos de mapeamento de uso do solo por sensoriamento remoto, onde o acompanhamento do uso ao longo do tempo pode ser decisivo na interpretação das informações, diminuindo eventuais problemas aqui apontados.

O mapeamento manual com imagens de aerolevantamento com pixel centimétrico, fica próximo do real, enquanto que sensores com menor resolução espacial (maior pixel) trazem uma mistura espectral dos diferentes alvos da área imageada, isto é, devido a sua incapacidade de detalhamento das informações é registrado a média de reflectância e isto pesou muito nos resultados do trabalho com as análises de intersecção e exclusão entre as entidades vetoriais. Com um pixel maior, também há problemas de registro em áreas menores ou mal conformadas, havendo então confusão no limiar entre as classes e as áreas de mata ciliar, carreadores e estradas tendem a dificultar a classificação. Já o pior desempenho dos sensores orbitais com maior resolução (menor pixel) pode ser explicado pela maior probabilidade de confusão na interpretação de informações não homogêneas nas imagens. Por exemplo, uma área identificada como mata na imagem da ARP contém informações de mata em regeneração, matas densas, silvicultura, cursos d'água; já a classe de lavoura pode abrigar também áreas tomadas por ervas daninhas, restos de cultura, etc. O algoritmo recebe da etapa de treinamento pontos com informações que podem variar significativamente de uma diversidade de informações consideradas forçosamente como uma única classe.

Dessa forma, deve-se considerar a necessidade de adoção de uma segmentação detalhada das imagens antes da classificação, apesar de isto forçar uma etapa bastante trabalhosa de posterior união de classes geradas a fim de construir uma classificação mais precisa espacialmente.

No mapeamento das áreas, o sensor WFI do satélite CBERS4 e o OLI do satélite Landsat-8 mostram-se superiores no mapeamento de lavouras

temporárias e pastagem sendo que, perante os dados apresentados, são os mais indicados quando se tem essa classe como alvo. A classe de mata, além do sensor OLI, também se obtém um resultado razoavelmente aceitável com o sensor MUX.

18 CONCLUSÕES

Este estudo, visou trazer um pouco mais de direcionamento nos trabalhos de mapeamento de uso do solo e pesquisas de previsão e acompanhamento de safra que utilizam segmentos amostrais regulares, mas não exclui a possibilidade de sua consulta em trabalhos de classificação em amplas áreas que possuam características aproximadas das presentes no recorte espacial adotado.

Amplas áreas de investigação demandam ferramentas adequadas ao recorte espacial, sendo que hoje os produtos ofertados pelos sensores dos satélites utilizados neste estudo mostraram-se adequados a maioria das demandas de mapeamento do uso do solo quanto a sua periodicidade de coleta e resolução espacial. As resoluções espaciais menores são mais adequadas aos mapeamentos de conformações mais homogêneas de classe do solo, enquanto que a maior resolução espacial mostrou-se mais adequada a conformações menos homogêneas (áreas de mata ao longo de cursos d'água, estradas e carreadores). O sensor MSI do satélite SENTINEL-2 têm sido largamente utilizado nos mapeamentos do uso do solo devido a sua periodicidade de coleta a cada 5 dias e ampla largura de faixa imageada (290km), mas nesse estudo, pelos dados apresentados e visando o mapeamento adotado ele teve um desempenho abaixo da expectativa inicial quando comparado aos outros sensores abordados.

Os profissionais de geoprocessamento em sua maioria já conhecem os problemas apresentados, mas é necessário que seja mensurado esses erros para que não sejam atraídos a super estimar o sensoriamento remoto como solução rápida e final no mapeamento do uso do solo rural, além de enfatizar a importância da escolha do sensor que traga o melhor resultado para o mapeamento do cenário de investigação.

A apresentação destes problemas, longe de desqualificar o sensoriamento remoto em imagens orbitais, mostra que a atividade é altamente técnica e exige muito conhecimento e dedicação do profissional.

As imagens provenientes de ARP têm um grande caminho a percorrer na validação, mas os resultados de sua utilização no mapeamento do

uso do solo continuam sendo promissores e, quando contornado as restrições de autonomia das aeronaves, deve assumir um papel muito importante no mapeamento de áreas menores.

Técnicas de amostragem com segmentos regulares utilizando ARP podem ser uma boa opção de estimativa de uso do solo rural perante uma alta resolução das imagens coletadas e devem receber maior atenção em ensaios de validação.

19 REFERÊNCIAS

- ADAMI, M. **Estimativa de áreas agrícolas por meio de técnicas de sensoriamento remoto, geoprocessamento e amostragem**. 2003. 185 fls. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – INPE, São José dos Campos. 2003.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL. **Surface energy balance algorithms for land**: Advanced training and user's manual, version 1.0. Idaho: Implementation, 2002. 97p.
- COCHRAN, W. G. **Técnicas de Amostragem**. 2 ed. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1977. 555p.
- DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Drone UAS. **ICA 100-40** – Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>>. Acesso em 01 de julho de 2022.
- DEFRIES, R. S., Field, C. B., Fung, I., Justice, C. O., Los, S., Matson, P. A., Matthews, E., Mooney, H. A., Potter, C. S., Prentice, K., Sellers, P. J., TOWNSHEND, J. R. G., TUCKER, C. J., USTIN, S. L., & VITUOSEK, P. M. 1995. **Mapping the land-surface for global atmosphere–biosphere models—Toward continuous distributions of vegetations functional properties**. Journal of Geophysical Research—Atmospheres, 100(D10), 20867– 20882.
- FISHER, P. (1997). **The pixel**: A snare and a delusion. International Journal of Remote Sensing, 18(3), 679– 685.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. **Multiple frame agricultural surveys**: current survey based on area and list sampling methods. Roma, 1996. v. 1.
- GALLEGO, F. J. **Sampling frames of square segments**. Luxembourg: Joint Research Centre, 1995. 72p.
- GUGLIELMI JUNIOR, P. **Utilização De Sensoriamento Remoto No Estudo Do Uso Do Solo: Região De Londrina-PR**. 2014. Disponível em:< <http://www.bibliotecadigital.uel.br/document/?code=vtls000192214>>. Acesso em 15 maio, 2022.
- GORELICK, N., HANCHER, M., DIXON, M., ILYUSHCHENKO, S., THAU, D., &

MOORE, R. (2017). **Google Earth Engine**: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment.

HENDRICKS, W.A.; SEARLS D.T.; HORVITZ, D.G. **A comparison of three rules for associating farms and farmland with sample area segments in agricultural surveys**. In: Zarkovich, S. S. (ed.) ESTIMATION OF AREAS IN AGRICULTURAL STATISTICS. FAO, Rome. 1965. pp. 191-198.

LILLESSAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. 4 ed. New York: John Wiley & Sons, 1999. 724 p.

LOBELL, D. B; ASNER, G.P. Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**. Amsterdã, v. 93, p. 412 – 422, mar. 2004.

LUIZ, A. **Sensoriamento remoto agrícola**. 2002. São José dos Campos: Trabalho realizado como parte das exigências do exame de qualificação do curso de Doutorado em Sensoriamento Remoto, INPE (INPE-88586-PUD/111). 102 p.

MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images**: Na introduction. 2 ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.

MOREIRA, L. C. J. et. al. **Variabilidade local e regional da evapotranspiração estimada pelo algoritmo SEBAL**. In: Engenharia Agrícola, Jaboticabal,v30, n06, Nov/dez2010. P.1148-1159.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001. 250p.

MULLER, C. C.; *et al.* **Pesquisa Agropecuária do Paraná** - Safra 1986/87 (Programa de Aperfeiçoamento das Estatísticas Agropecuárias). R. Bras. Estat, v. 49, n. 191, p. 55-84, 1988.

NEALON, J.P. **Review of the Multiple and Area Frame Estimators**. U.S. Department of Agriculture, Statistical Reporting Service. Washington D.C: Report, n. 80, 1984.

PINO, F. A. **Estatísticas agrícolas para o século XXI**. Agricultura em São Paulo, v.46, n.2, p.71-105, 1999.

RICHADS, J. A. **Remote Sensing Digital Image Analysis**: An Introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 281 p.

RUDORFF, B. F. T.; KRUG, T. **Sensoriamento remoto na estimativa da área plantada com feijão, milho e mamona no município de Irecê-BA**. In: Simpósio

LatinoAmericano de Sensoriamento Remoto, 6. Gramado. Anais... São José dos Campos: INPE, 1986. v. 1, p. 380-4.

SANTOS, M. **A natureza do espaço: técnica e tempo, razão e emoção**. 4.ed. São Paulo: HUCITEC, 2006.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote Sensing: Models and Methods For Image processing**. 2 ed. New York: Academic Press, 1997. 522 p.

WU, J. G., Shen, W. J., Sun, W. Z., & Tueller, P. T. (2002). **Empirical patterns of the effects of changing scale on landscape metrics**. Landscape Ecology, 17(8), 761– 782.

20 ANEXOS

Anexo 1 - Banco de Dados de Segmentos individualizados

SEGMENTO	USO DO SOLO (HA)								DECLIVIDADE			NÚMERO DE TERRAÇOS			COMPRIMENTO DE TERRAÇOS (m)		
	RODOVIA	CARREADOR (4M)	LAV. TEMP.	DESCANÇO	MATA	PASTAGEM	EST. RURAL (6m)	OUT. USOS	MÉDIA (%)			DESCANÇO	LAV. TEMP.	PASTAGEM	DESCANÇO	LAV. TEMP.	PASTAGEM
									LAV. TEMP.	OUT. USOS	PASTAGEM						
0	0,4	0	37,2	0	38,1	14,69	0,83	8,83	8,86	12,42	12,61		16			4058	
1	1,46	0,14	31,2	6,65	22,6	35,98	0	1,94	11,51	11,98	20,06		18	6		3125	975
10	0	0,79	50,3	0	17,82	30,95	0	0,11	9,53	50,97	23,47		18			7586	
100	0,12	0,76	63,3	0	14,4	19,8	0	1,57	8,35	17	21,71		5			1610	
113	0	0,44	85,5	0	13,34	0	0,6	0	6,95				27			8815	
129	0	0,42	70,9	0	27,46	0,76	0,44	0	11,3		11,08		34			12163	
143	0	0	86,4	0	11,46	0	1,96	0,13	10,98	31,21			38			11080	
146	0,13	0	93,6	0	2,86	0	1,3	2,13	8,37	13,49			62			20112	
158	0	0	6,52	0	33,83	53,94	0,75	4,96	8,63	19,17	15,03		12			2215	
159	0	0	42,2	4,46	30,91	21,97	0	0,4	11,44	13,1	11,03		19	17		4514	3300
167	0	0	84,1	0	9,09	0	0,59	6,21	7,95	22,18			46			16186	
169	1,37	0	96,3	0	1,76	0	0,34	0	6,57				49			18120	
18	0	0,41	55	0	27,64	11,12	0,61	4,82	9,61	15,24	15,34		26			6976	
22	0	0,46	98,4	0	0	0	1,2	0	4,69				36			8138	
30	0	0,33	87	0	2,5	11,52	0	0	8,1		20,26		35	2		14118	268
37	0	0,69	98,3	0	0	0	1,06	0	4,99				42			13565	
38	0	0,87	95,5	0	0	0	0,79	0,2	9,91	57,81			43			12991	
41	0,66	0,2	71,2	0	18,19	1,09	0,58	8,29	10,62	16,49	15,47		31			7231	
43	0	0,72	71	0,59	11,46	2,95	0,88	12,5	8,33	13,12	22,18		54			14270	
49	0	0,22	96,7	0	0	0	0,6	2,51	11,25	11,15			29			14591	
54	0	0,77	83,9	0	7,01	6,98	0	1,35	7,38	19,78	12,69		57	6		18630	1457
57	0	0,35	83,9	0	5,15	9,41	0	1,24	7,44	17,33	9,63		26			12685	
6	0	0,26	91,2	0	0,78	0	0,72	6,91	9,53	50,97	23,47		44			10952	

66	0	0,98	78,9	1,38	5,8	4,73	0,95	7,32	5,37	15,35	13,35		61			14855	
70	0	0,43	84,8	0	12,9	0	0,8	1,06	8,14	29,78			26			6459	
74	1,43	0,42	80	0	5,53	10,38	0,62	1,77	9,07	17,81	16,95		60	6		14282	544
78	1,55	0	97,3	0	0	0	0,56	0,67	5,04	49,29			9			5665	
84	1,37	0,54	85,9	0	0,64	10,91	0,5	0,15	6,25	7,82	11,33		46	9		11347	1130
91	0	0,58	98,9	0	0	0	0,52	0	4,34				14			6439	
98	0	0,14	81,1	13,91	0	0	0,8	4,1	6,83	11,88		19	34		3488	18026	
SOMA	8,49	10,92	2286	26,99	321,23	247,18	18	79,17	247,33	525,34	275,66	19	1017	46	3488	320804	7674

Anexo 2 - Banco de dados de terraços vetorizados

TERRAÇO (FID)	DECLIVIDADE			DECLIVIDADE	SEGMENTO	COMPRIMENTO	CLASSE DE USO	COTA ALT. MÉDIA	TERRAÇO	COTA MÉDIA TERRAÇO SUPERIOR	DIFERENÇA DAS COTAS
	MIN	MAX	MÉDIA	MÉDIA	AMOSTRAL	(m)	DO SOLO	DO TERRAÇO	SUPERIOR		
0	6,09	9,47	8,29	8	158	257	Lavoura temporária	486,8	1	490,5	3,7
1	6,5	9,52	7,95	8	158	256	Lavoura temporária	490,5	2	493,4	2,9
2	5,94	8,6	6,93	7	158	196	Lavoura temporária	493,4	3	495,3	1,9
3	6,19	7,84	6,95	7	158	128	Lavoura temporária	495,3			
4	2,98	13,78	8,65	9	158	344	Lavoura temporária	486,2	10	489,3	3,1
5	1,5	11,81	7,51	8	158	322	Lavoura temporária	484,3	9	485,8	1,5
6	4,15	7,97	5,93	6	158	86	Lavoura temporária	484,1	5	484,3	0,1
7	3,91	7,83	5,48	5	158	48	Lavoura temporária	483,8	6	484,1	0,3
8	4,75	6,9	5,82	6	158	12	Lavoura temporária	483,3	7	483,8	0,5
9	5,64	18,37	9,68	10	158	319	Lavoura temporária	485,8	4	486,2	0,4
10	6,68	11,2	8,60	9	158	193	Lavoura temporária	489,3	11	489,3	0,0
11	7,39	9,24	8,17	8	158	54	Lavoura temporária	492,1			
12	4,6	12,74	8,22	8	159	357	Lavoura temporária	569,7			
13	4,17	18,49	11,30	11	159	982	Lavoura temporária	565,0			
14	10,62	16,36	12,76	13	159	229	Lavoura temporária	558,6	13	565,0	6,5
15	9,42	15,31	12,35	12	159	100	Lavoura temporária	554,9	14	558,6	3,6
16	7,79	11,27	9,64	10	159	55	Lavoura temporária	554,4	14	565,0	10,7
17	17,04	18,86	17,65	18	159	35	Lavoura temporária	549,2	16	554,4	5,2
18	4,03	17,13	12,71	13	159	134	Lavoura temporária	542,1	15	554,9	12,8
19	9,88	13,59	11,67	12	159	84	Lavoura temporária	535,3			
20	9,51	11,97	10,75	11	159	75	Lavoura temporária	528,3	19	535,3	7,0
21	14,1	17,31	15,78	16	159	48	Lavoura temporária	523,3	20	528,3	5,0
22	7,65	11,07	9,60	10	159	76	Lavoura temporária	517,8	21	523,3	5,5

