

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**THAINA SANGUANINI LAVEZZO**

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS AGRONÔMICOS DA CULTURA  
DO TRIGO NA FASE DE PERFILHAMENTO COM AERONAVE  
REMOTAMENTE PILOTADA – ARP**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**THAINA SANGUANINI LAVEZZO**

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS AGRONÔMICOS DA CULTURA  
DO TRIGO NA FASE DE PERFILHAMENTO COM AERONAVE  
REMOTAMENTE PILOTADA – ARP**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**PATO BRANCO**

**2021**

THAINA SANGUANINI LAVEZZO

**AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS AGRONÔMICOS DA CULTURA  
DO TRIGO NA FASE DE PERFILHAMENTO COM AERONAVE  
REMOTAMENTE PILOTADA – ARP**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Pato Branco, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. M.Sc. Douglas Stefanello Facco

Coorientador: Prof. Me. Henrique dos Santos Felipetto

PATO BRANCO

2021

**Lavezzo, Thaina Sanguanini**

**Avaliação dos parâmetros agronômicos da cultura do trigo na fase de perfilhamento com aeronave remotamente pilotada – ARP / Thaina Sanguanini Lavezzo.**

**Pato Branco. UTFPR, 2021**

**56 f. : il. ; 30 cm**

**Orientador: Prof. M.Sc. Douglas Stefanello Facco**

**Coorientador: Prof. Me. Henrique dos Santos Felipetto**

**Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. Pato Branco, 2021.**

**Bibliografia: f. 45 – 50**

**1. Agronomia. 2. Vegetação. 3. Índices. 4. Agricultura de precisão. I. Felipetto, Henrique dos Santos. ori. II. Facco, Douglas Stefanello coori. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de Agronomia. IV. Título.**

**CDD: 630**



## TERMO DE APROVAÇÃO

### Trabalho de Conclusão de Curso – TCC

### AVALIAÇÃO DOS PARÂMETROS AGRONÔMICOS DA CULTURA DO TRIGO NA FASE DE PERFILHAMENTO COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA – ARP

Por

**Thaina Sanguanini Lavezzo**

Monografia defendida em sessão pública às 20 horas do dia 13 de agosto de 2021 como requisito parcial, para conclusão do Curso de Agronomia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *Campus* Pato Branco. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos Membros abaixo-assinados. Após deliberação e conferidas, bem como achadas conforme, as alterações indicadas pela Banca Examinadora, o Trabalho de Conclusão de Curso, em sua forma final, pela Coordenação do Curso de Agronomia foi considerado APROVADO.

Banca examinadora:

Eng. Agrônoma Ana Claudia Rosa Gustman - PPGAG-PB UTFPR - Mestranda

Prof. M.Sc. Henrique dos Santos Felipetto - UTFPR *Campus* Pato Branco -  
Coorientador

Prof. M.Sc. Douglas Stefanello Facco - UTFPR *Campus* Pato Branco - Orientador

Prof. Dr. Jorge Jamhour - PRA-TCC Agronomia

A “Ata de Defesa” e o decorrente “Termo de Aprovação” encontram-se assinados e devidamente depositados no SEI-UTFPR da Coordenação do Curso de Agronomia da UTFPR *Campus* Pato Branco, após a entrega da versão corrigida do trabalho, conforme Norma aprovada pelo Colegiado de Curso.

A Deus, meus pais e irmã, que com muito carinho, amor e apoio, não mediram esforços em nenhum momento para que eu chegasse até esta, e tantas outras, etapas de minha vida.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus por ter me concedido saúde, sabedoria e determinação para tomar decisões e superar as dificuldades, não só no quesito acadêmico como em todas as situações além disso.

A esta instituição, direção e administração que oportunizaram a construção do conhecimento nessa jornada. Bem como a todos os professores que tiveram participação indispensável nessa trajetória, principalmente ao meu professor Henrique dos Santos Felipetto, que não poupou esforços me fornecendo apoio, suporte e incentivos, me possibilitando concluir com grandeza não somente este mas como outros desafios.

Sou grata a minha família, principalmente aos meus pais e minha querida irmã por depositarem toda confiança, dedicação e paciência, sempre incentivando e acreditando que eu seria capaz de superar os obstáculos que a vida me apresentou.

E meu muito obrigado a todos meus amigos, em especial Ana Carolina e Jólío, que foram fundamentais nessa jornada, companheiros de trabalhos e irmãos de coração que vão continuar presentes em minha vida.

A paixão é um pré-requisito para quem quer vencer. É ela que faz você trabalhar, atravessando os altos e baixos até a realização dos seus sonhos.

(Kerri Walsh)



## RESUMO

LAVEZZO, Thaina Sanguanini. Avaliação dos parâmetros agronômicos da cultura do trigo na fase de perfilhamento com aeronave remotamente pilotada – ARP. 56 f. TCC (Curso de Agronomia), Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

Aplicações de sensoriamento remoto usando aeronaves remotamente pilotadas (ARP) na agricultura têm se mostrado uma forma eficaz e eficiente de obter informações de campo. Neste estudo foi avaliado o uso de imagens coletadas por uma ARP utilizando a câmera embarcada no próprio equipamento e softwares de uso livre, como QGIS, *Drone Deploy* e *Microsoft Excel* na avaliação dos parâmetros agronômicos da cultura do trigo em fase de perfilhamento em 12 diferentes genótipos. Para avaliação foram utilizados os índices de vegetação VDVI e ExG, tendo em vista sua aplicabilidade e popularização em outras diversas culturas. A partir das imagens coletadas com a ARP foi realizado o processamento digital das mesmas e confeccionados mapas de avaliação dos genótipos a partir dos índices. Através dos dados gerados foi realizada correlação estatística simples de *Pearson* com os caracteres de índice de área foliar, concentração de massa seca e rendimento de grão. Foi possível diagnosticar a inviabilidade da metodologia para avaliação dos caracteres agronômicos da cultura em fase de perfilhamento. Concluiu-se que os índices utilizados demonstraram resultado de baixa aplicabilidade para a cultura na fase inicial de desenvolvimento vegetativo e que a ARP e as plataformas livres são viáveis para coleta de informações, de fácil operacionalidade que permitem ao engenheiro agrônomo e ao produtor rural acompanhar a cultura e tomar decisões com maior assertividade, causando menor impacto e a custo reduzido.

**Palavras-chave:** Agronomia. Índices. Vegetação. Agricultura de precisão.

## ABSTRACT

LAVEZZO, Thaina Sanguanini. Evaluation of the agronomic parameters of the wheat crop in the tillering phase with a remotely piloted aircraft – ARP. 56 f. TCC (Course of Agronomy) - Federal University of Technology – Paraná (UTFPR). Pato Branco, 2021.

Remote sensing applications using remotely piloted aircraft (ARP) in agriculture have proven to be an effective and efficient way to obtain information in the field. In this study, the use of images collected by an ARP using the camera embedded in the equipment and free-use software such as QGIS, Drone Deploy and Microsoft Excel in the evaluation of agronomic parameters of wheat crop in the tillering phase in 12 different genotypes was evaluated. For evaluation, VDMI and ExG vegetation indices were used, in view of their applicability and popularization in other cultures. From the images collected with the ARP, digital processing was performed and maps were made for evaluating the genotypes from the indexes. Through the generated data, Pearson's simple statistical correlation was performed with the characters of leaf area index, dry mass concentration and grain yield. It was possible to diagnose the unfeasibility of the methodology for evaluating the agronomic characters of the crop in the tillering phase. It is concluded that the indices used showed a result of low applicability for the crop in the initial phase of vegetative development and that the ARP and free platforms are viable for collecting information, easy to operate, allowing the agronomist and rural producer to monitor the culture and make decisions with greater assertiveness, causing less impact and at reduced cost.

**Keywords:** Agronomy. Indexes. Vegetation. Precision agriculture.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Exemplificação das curvas espectrais da água, solo e vegetação.....	22
22	
Figura 2 – Faixas do espectro eletromagnético exemplificando sua atuação.....	23
Figura 3 – Localização da área experimental UTFPR, <i>campus</i> Pato Branco - PR.....	31
Figura 4 – Equipamento LAI 2200-c.....	32
Figura 5 – Aeronave remotamente pilotada <i>Phantom 4 Pro</i> .....	33
Figura 6 – Mapa geral do experimento, Pato Branco – PR.....	34
Figura 7 – Mapa 1 amostral de índice de vegetação VDMI.....	39
Figura 8 – Mapa 2 amostral de índice de vegetação VDMI.....	40
Figura 9 – Mapa amostral de índice de vegetação ExG.....	41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Etapas e características do desenvolvimento fenológico da cultura do trigo.....	19
Tabela 2 – Genótipos utilizadas e dados de Índice de Área Foliar (IAF), Massa Seca (MS) e Rendimento de Grão (RG). UTFPR Campus Pato Branco, 2021.....	38
Tabela 3 – Análise de estatística descritiva para as variáveis de Índice de Área Foliar (IAF), Massa Seca (MS) e Rendimento de Grão (RG). UTFPR Campus Pato Branco, 2021.....	39
Tabela 4 – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis de índice de VDVI (com dados analisados em dois momentos, apresentando portanto VDVI <sup>1</sup> e VDVI <sup>2</sup> ) e ExG, índice de área foliar (IAF), massa seca (MS) e rendimento de grão (RG), obtidas em estágio fenológico de perfilhamento de um experimento realizado em Pato Branco – PR, visando avaliar a correlação entre os índices de vegetação e os caracteres agrônômicos de produtividade da cultura do trigo. Pato Branco, 2021.....	42

## LISTA DE SIGLAS E ACRÔNIMOS

®	Marca Registrada
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
AP	Agricultura de Precisão
ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ExG	<i>Excess Green Index</i>
IAF	Índice de área foliar
MS	Massa seca
RG	Rendimento de grãos
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SR	Sensoriamento Remoto
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VDVI	<i>Visible-band Difference Vegetation Index</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.2 Justificativa.....	15
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 Geral.....	16
2.2 Específicos.....	16
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
3.1 Trigo.....	17
3.2 Agricultura de precisão.....	20
3.3 Sensoriamento remoto.....	21
3.4 Aeronaves remotamente pilotadas.....	24
3.5 Processamento digital de imagens.....	27
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>31</b>
4.1 Especificações gerais.....	31
4.2 Delineamento experimental.....	33
4.3 Processamento digital.....	34
4.4 avaliação de imagens.....	35
4.5 Análise de dados.....	36
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
5.1 Caracteres agronômicos da cultura.....	38
5.2 Índices de vegetação.....	39
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>45</b>
APÊNDICE A. Dados obtidos de VDVI 1.....	52
APÊNDICE B. Dados obtidos de VDVI 2.....	53
APÊNDICE C. Dados obtidos de ExG.....	54

## 1 INTRODUÇÃO

Mundialmente a cultura do trigo possui relevante interesse econômico, uma vez que a área colhida na safra de 2020 foi de aproximadamente 217,2 milhões de hectares, de acordo com relatório do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). Este índice coloca a cultura responsável por ocupar mais de 20% de toda a área cultivada no mundo, resultando em uma produção em torno de 764,5 milhões de toneladas/ano. Por sua vez, o Brasil na mesma safra foi responsável por 5.346,8 mil toneladas deste cenário, apresentando otimismo e perspectiva de aquecimento no mercado (CONAB, 2020).

Além disso, o setor tritícola brasileiro é marcado por desafios crescentes, de ordem técnica e econômica, que exigem rápida capacidade de adaptação, de forma a superar os obstáculos contínuos e tornar a cultura competitiva e sustentável em seus diferentes aspectos. Assim sendo a geração de informações e tecnologias capazes de serem incorporadas na área produtiva é fator determinante para dinamizar este setor agrícola e torná-lo econômica e tecnicamente viável dentro dos sistemas de produção agrícola regionais.

O uso de agricultura de precisão explorando áreas das imagens, avaliação de índices de vegetação e estatísticas de dados georreferenciados aplicadas a triticultura pode contribuir na expansão das referências em manejo e produtividade da cultura. Estas tecnologias além de possuírem atrativa relação de custo-benefício possibilitam a obtenção de dados e informações em tempo quase real de maneira dinâmica e apresentando resultados satisfatórios.

A agricultura de precisão tem sido utilizada principalmente nas culturas da soja, milho, algodão e cana-de-açúcar. Schellberg *et al.* (2008) e Bernardi e Perez (2014) demonstraram o potencial, as vantagens e desvantagens do uso da agricultura de precisão na expansão da produtividade de grãos, cereais e na pecuária leiteira e de destinação a corte. Bernardi *et al.* (2016) também acrescentou uso de geoprocessamento aplicado ao manejo de pastagens, demonstrando a pluralidade da ciência.

O conjunto de técnicas e equipamentos que auxiliam e determinam o manejo da propriedade através da variabilidade espacial e temporal da área, é a

definição de agricultura de precisão. Além disso, atua visando potencializar a produção agrícola sem desprezar os danos gerados ao meio econômico, ambiental e social, possuindo controle das variáveis do sistema e predizendo possíveis consequências (BRASIL, 2012).

Dentre as ferramentas da agricultura de precisão pode se citar como mais usuais os Sistemas de Informação Geográficas e as Aeronaves Remotamente Pilotadas, ambos embasados na geoestatística. Desta maneira, utiliza-se o geoprocessamento para realizar o processamento de dados, o que inclui os instrumentos para coleta, processamento, análise e disponibilização da informação proveniente da pesquisa geográfica (CÂMARA *et al.*, 2002).

A modelagem através do Sistema de Informação Geográfica possibilita a associação das camadas coletadas, permitindo uma gama maior de interpretação da informação, o que auxilia na tomada de decisão no manejo das culturas (FILIPPINI ALBA, 2014). Por sua vez, o uso de aeronaves remotamente pilotadas na coleta de dados a campo com alta resolução espacial torna possível a dinamização do processo avaliativo e contribui na modelagem, fornecendo amparo as demais ferramentas humanas.

Uma ferramenta que pode contribuir para alavancar este processo é o uso de índices de vegetação, podendo ser destinada para classificação de imagens e análise do comportamento de culturas de interesse agrônomo a partir de mosaicos oriundos de aeronaves remotamente pilotadas. Os índices de vegetação são operações aritméticas realizadas entre as bandas de uma imagem, a fim de explorar o comportamento espectral da vegetação realçando determinadas características das plantas, como biomassa, índice de área foliar e estimativa de produtividade. Isso é possível em decorrência da interação da vegetação e da reflectância espectral pertinente a ela.

Portanto, a busca por tecnologias e ferramentas que possibilitem incremento de produtividade e otimizem o processo são fundamentais, uma vez que seu uso impacta positivamente não só ao produtor e a cultura, mas sim toda a cadeia envolvida neste processo.



## 1.2 JUSTIFICATIVA

Ao analisar as culturas utilizadas na agricultura no sudoeste paranaense, o trigo é uma das principais e mais importantes tendo em vista a exploração, beneficiamento comercial e os excelentes resultados a campo, tanto na exploração do cereal, como no duplo propósito à alimentação animal. Por isso, otimizar sua produção e compreender seu desenvolvimento é de grande relevância.

Uma opção para contribuir com o melhor desenvolvimento da cultura é o investimento de recursos em pesquisa na linha da ciência da agricultura de precisão e suas tecnologias, uma vez que esta ciência já demonstrou resultados positivos em diversas áreas da agricultura.

Assim sendo, no decorrer deste trabalho busca-se analisar o comportamento e a eficiência da avaliação de informações coletadas através de uma aeronave remotamente pilotada na determinação de parâmetros agronômicos da cultura do trigo em fase de perfilhamento, disponibilizando amparo na avaliação do desenvolvimento do trigo com maior precisão, em menor tempo, custo reduzido e consequente maior acessibilidade.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Se objetivou com o presente trabalho realizar a análise da correlação entre os índices gerados a partir da avaliação de imagens do espectro visível com ferramentas da agricultura de precisão e os parâmetros agronômicos de produtividade da cultura do trigo em fase de perfilhamento;

### 2.2 ESPECÍFICOS

I. Realizar um voo de avaliação sob a cultura do trigo em fase de perfilhamento para coletar imagens;

II. Avaliar o potencial do índice VDVI – *Visible-band Difference Vegetation Index* analisando características fisiológicas de massa seca e índice de área foliar;

III. Avaliar o potencial do índice *Excess Green Index* – ExG na análise de rendimento de grãos;

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 TRIGO

O trigo é uma gramínea de ciclo anual pertencente ao reino *Plantae*, divisão *Magnoliophyta*, classe *Liliopsida*, ordem *Poales*, família *Poaceae*, gênero *Triticum*, e sua forma cultivada é o *Triticum* spp. Sua origem é relatada por Senger (2017) como sendo de clima frio dos arredores dos rios Tigres e Eufrates na Ásia, com primeiro registro datado em 550 anos a.C.. Na alimentação humana, se acredita que a utilização do trigo já ocorria há cerca de 17 mil anos.

É uma espécie anual autógama classificada como cultura de primavera, de inverno ou facultativa, conforme sua exigência em fotoperíodo e em temperatura (EMBRAPA, 2016). Apresenta características semelhantes aos demais cereais de inverno que possuem a finalidade de produção de grãos, como a cevada, aveia, centeio e triticale. Morfologicamente a cultura é estruturada em raízes, colmo, folhas e inflorescência, como descrito por Embrapa (2015).

O sistema radicular é fasciculado, favorecendo a brota de inúmeros perfilhos associados à planta-mãe conforme as condições de solo e de clima. As raízes seminais são as primeiras a se desenvolverem a partir da semente e as raízes permanentes começam a se desenvolver aproximadamente 20 dias após da emergência. Ocasionalmente raízes adventícias podem se desenvolver acima da superfície do solo. As raízes são de extrema importância no estabelecimento e desenvolvimento da cultura pois possuem a função de suprir a demanda fisiológica da planta através da absorção de nutrientes e água do solo (EMBRAPA 2015).

O colmo do trigo possui a característica de ser oco, cilíndrico e com a presença de entrenós que variam em número de quatro a sete. O comprimento dos entrenós oscila de acordo com sua localização no colmo. A altura da planta normalmente é conferida em razão do comprimento e da quantidade dessas estruturas, o que pode apresentar variabilidade de acordo com as características do genótipo em questão. Rapidamente novos colmos são emitidos no perfilhamento.

Ocasionalmente a estrutura do colmo atua como reserva nutricional na fase de enchimento de grão, contribuindo para a maturação do cereal (EMBRAPA 2015).

As folhas são estruturas que iniciam sua formação a partir da emissão de uma pseudofolha que exerce a função de proteger principalmente, além de outras estruturas, a primeira folha verdadeira denominada de plúmula. Ao fim do desenvolvimento a planta de trigo é composta por até oito folhas, sendo a folha bandeira a última a ser emitida. Cada estrutura foliar possui bainha, lâmina, ligula e duas aurículas e é disposta no colmo de maneira alternada formando ângulo de 180° entre elas (EMBRAPA 2015).

Por fim, a inflorescência é a última estrutura a se desenvolver no trigo. É classificada como do tipo espiga composta dística que varia de comprimento, largura, forma e densidade. Em cada espiga estão inseridas espiguetas alternadas e opostas e em cada uma delas há uma flor, as quais após a fecundação na fase da antese se abrem e expulsam as anteras, para cada flor dar origem a um grão. O grão, que recebe o nome de cariopse, é pequeno, seco, indeiscente e com formato variável, podendo apresentar grãos curtos e arredondados e também estreitos e compridos, o que acarreta diversidade significativa no seu peso específico (EMBRAPA 2015).

O grão de trigo é uma excelente fonte de energia, devido a elevada concentração de carboidratos, proteínas e fibras, além de importante fonte de ferro e vitaminas B1 e B2 (HAMADA, 2000). Devido esse elevado valor nutricional, além da exploração de grãos para destinação de consumo humano, também há a utilização do trigo como alternativa para os agricultores que sofrem com a escassez de alimento para os animais em período de seca (BECKER; GAI, 2019).

Fisiologicamente diversas escalas foram elaboradas para discriminar as fases de desenvolvimento do trigo, porém a de maior uso é a escala de Feekes (1940), modificada por Large (1954). O desenvolvimento do cereal ocorre em cinco etapas (perfilhamento, crescimento de colmo, espigamento, florescimento e amadurecimento) e onze estádios de desenvolvimento, conforme disposto na Tabela 1.

Atualmente após sucessivos trabalhos de melhoramento e adaptação de genótipos às variações fototérmicas, o cereal é uma das culturas mais produzidas

mundialmente devido a intensa exploração e da importância na geração de matéria prima para a produção de alimentos (CARBONARI *et al.*, 2019). No cenário brasileiro os estados sulistas são os principais responsáveis pela produção na safra de 2020 com um montante de 4.641,2 toneladas, representando mais de 86% de toda a produtividade do país (CONAB, 2020).

**Tabela 1** – Etapas e características do desenvolvimento fenológico da cultura do trigo.

<b>Etapa</b>	<b>Estádio</b>	<b>Característica</b>
Perfilhamento	1	Emergência do coleótilo e das primeiras folhas
	2	Início do perfilhamento
	3	Perfilhos formados e folhas frequentemente torcidas, espiralizadas
	4	Início da ereção do pseudocolmo formado pelas bainhas
	5	Pseudocolmo ereto
	6	Primeiro nó do colmo visível
	7	Segundo nó do colmo visível
Crescimento do colmo	8	Folha bandeira visível
	9	Lígula da folha bandeira visível
	10	Emborrachamento
	10.1	Primeira espiga recém-visível escapando da bainha.
Espigamento	10.2	1/4 do espigamento completo
	10.3	1/2 do espigamento completo
	10.4	3/4 do espigamento completo
	10.5	Todas as espigas fora da bainha
	10.5.1	Início do florescimento
Florescimento	10.5.2	Florescimento até o topo da espiga
	10.5.3	Florescimento até a base da espiga
	10.5.4	Florescimento completo. Início da formação do grão
	11	Grão leitoso
Amadurecimento	11.1	Conteúdo do grão macio e úmido (massa mole)
	11.2	Grão duro (massa dura)
	11.3	Ponto de colheita. Grão maduro. Palha morta

Fonte: Adaptado de Feekes (1940), modificada por Large (1954).

O uso de agricultura de precisão explorando áreas das imagens de índices de vegetação e estatísticas de dados georreferenciados aplicadas a triticultura pode expandir as referências em manejo e produtividade da cultura. Estas tecnologias além de possuírem atrativa relação de custo-benefício possibilitam a obtenção de dados e informações em tempo quase real.

### 3.2 AGRICULTURA DE PRECISÃO

A agricultura de precisão é um compilado de técnicas e equipamentos que definem um manejo agrícola baseado na variabilidade espacial e temporal do espaço utilizado, a qual visa otimizar a produção, agregando capital sem desprezar a variável sustentável e os efeitos sob o meio ambiente (BRASIL, 2012), ou seja, uma maneira de produção que visa o manejo sustentável num ambiente de maior controle de variáveis, levando em consideração a problemática ambiental, social e econômica.

O ano de 1929 foi datado como o início da utilização da tecnologia no campo, onde em um boletim dos estados de Illinois, Linsley e Bauer, nos Estados Unidos, se recomendava a calagem para fim de correção de acidez de solo levando em consideração a elaboração de um mapa com a análise química do solo em questão. Entretanto sabe-se que, já existia entendimento de que as terras agricultáveis eram heterogêneas e era necessário um manejo diferenciado para tal (STAFFORD, 2000).

Em uma linha do tempo, Embrapa (2014) e Molin *et al.* (2015) afirmam que é possível diagnosticar o final da década de 90 como o marco do início da utilização de instrumentos *high-tech* na agricultura brasileira, uma vez que as montadoras receberam informações de alta tecnologia oriundas dos Estados Unidos e da Europa, iniciando um processo de inovação de implementos agrícolas, com máquinas de aplicação de adubos a taxa variável de fabricação nacional.

Alguns anos a posteriori, a agricultura de precisão permanência insuficientemente aceita e difundida no cenário nacional, tanto na linha de pesquisa quanto na aplicação a campo. Entretanto, havia expectativa de aquecimento na

área, tornando tema de relevante importância para os agricultores e exploradores do assunto (COELHO, 2005 e PIRES *et al*, 2004).

Molin (2017) cita que no ano de 2001 duas vertentes da agricultura de precisão se consolidaram, uma direcionada à gestão da variabilidade espacial das lavouras no sentido da correção nutricional do solo e noutra no viés da indústria de implementos e fornecedores de soluções para a automação dos mesmos. Os avanços também passam a ocorrer na área das culturas semi-perenes, perenes e sistemas pecuários, respectivamente por Grego *et al.* (2014), Bassoi (2014) e Bernardi e Perez (2014).

Bernardi *et al.* (2014) demonstra que o avanço obteve maior aceitabilidade por agricultores e administradores de perfil jovem, intelectualizado, propício a utilizarem da tecnologia e informática no campo e, em prioridade, tem sido empregue para as *commodities* do milho e da soja, devido ao maior interesse econômico e pela concentração de informações nestas áreas.

Tendo em vista tais informações, a abordagem do uso de imagens e da interação energética de culturas de interesse sob o viés do sensoriamento remoto é uma opção eficiente e de baixo custo na agricultura de precisão, o que justifica os trabalhos já realizados e os interesse de jovens pelo assunto.

### 3.3 SENSORIAMENTO REMOTO

A tecnologia que emprega métodos para captura e registro de energia refletida ou emitida na superfície terrestre utilizando da detecção e medição quantitativa das respostas resultantes das interações de radiação eletromagnética entre os corpos terrestres é reconhecida como Sensoriamento Remoto (SR). Para este funcionamento o SR se baseia na utilização de sensores para aquisição de informações sem que haja contato direto entre eles. Ou seja, o SR é a tecnologia que permite obter informações da superfície terrestre através da interpretação do registro da energia refletida ou emitida pela superfície (GUEDES; SILVA, 2018).

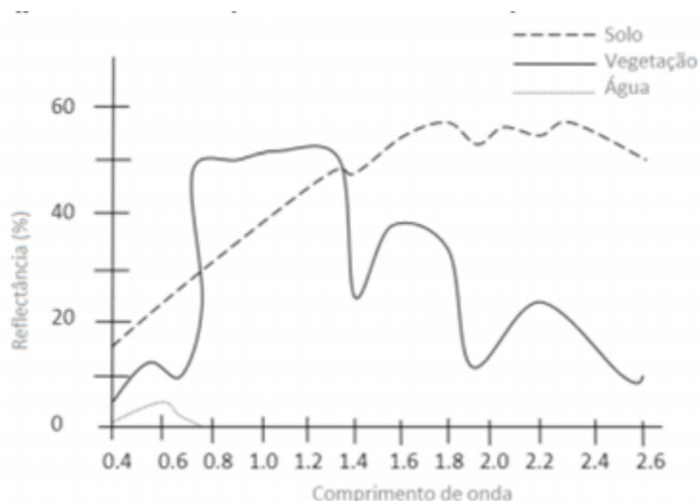
Em 1960, por Evelyn L. Pruit e colaboradores, o SR recebeu essa nomenclatura e foi definido como uma das tecnologias mais eficazes no que se refere coleta de dados com fim de levantamento e monitoramento dos recursos. Liu

(2007) nesta mesma perspectiva definiu como uma técnica de adquirir e aplicar informações sobre um determinado corpo sem realizar contato físico com o mesmo, através de sensores de satélite que captam as energias eletromagnéticas da superfície do globo.

No cenário nacional, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE foi imprescindível na consolidação do SR, uma vez que projetou o país como pioneiro dessa tecnologia com trabalho realizado no hemisfério sul. Isso se deu em razão do investimento para pesquisas relacionadas ao SR, como exemplo a missão 96, na qual elaborou levantamento geoestatístico na região do Quadrilátero Ferrífero, em Minas Gerais, conferindo destaque a organização e impulsionou os estudos na área (MENESES *et al.*, 2012).

Com base nesses princípios Menezes *et al.* (2012) aborda o SR na perspectiva científica destinando-o ao desenvolvimento da aquisição de imagens da superfície através da detecção e medição da interação do material com a radiação eletromagnética. Moraes (2002) cita que a qualidade da energia eletromagnética emitida está atrelada ao fator de interação entre os materiais, sendo determinada pelas propriedades físico-químicas e biológicas dos mesmos. Menezes e Almeida (2012) apontam que cada material possui uma curva espectral específica com finalidade de distingui-lo e caracterizá-lo, conforme Figura 1. Via de regra a conformação das curvas de cada elemento é um indicador da condição e dos recursos empregados no mesmo.

**Figura 1** – Exemplificação das curvas espectrais da água, solo e vegetação.



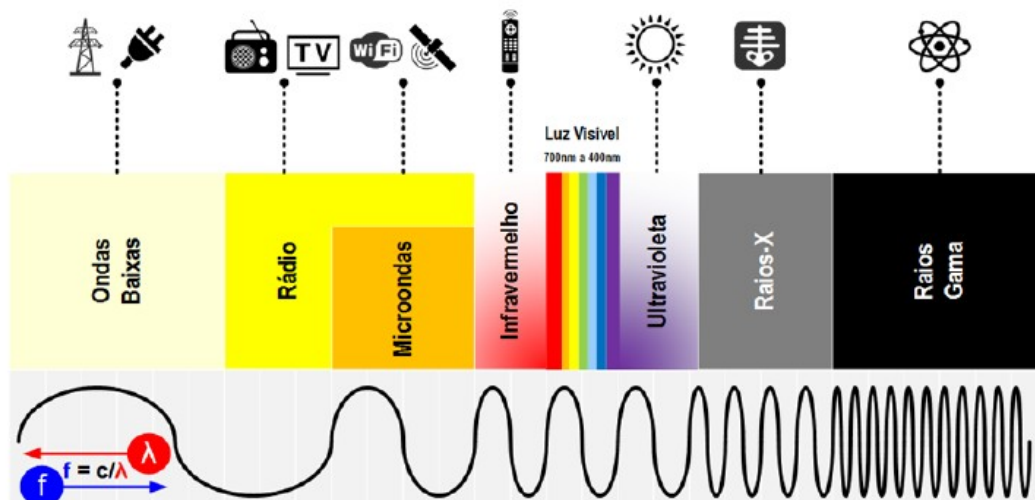
Fonte: Menezes e Almeida, 2012.



Neste sentido, a energia eletromagnética pode ser combinada de maneira continuada a partir do tamanho de seu comprimento de onda ou de sua frequência, o que denomina-se como espectro eletromagnético (Figura 2). Neste espectro conforme se desloca para a direita as ondas manifestam em maiores comprimentos de onda e menores frequências.

Cada sensor trabalha com diferentes faixas espectrais do Espectro Eletromagnético, e essas faixas são responsáveis pela definição das características que podem ser obtidas em relação aos alvos. No SR a faixa espectral de maior relevância, além das micro-ondas, são as que estendem-se de 0,3  $\mu\text{m}$  a 15  $\mu\text{m}$  (MORAES, 2002). Por outro lado, Mikami (2017) contribui afirmando que pode ser abordado de acordo com a área do espectro que o sensor disponível atua, sendo que os sensores ópticos trabalham nas faixas do infravermelho e do visível, enquanto os sensores ativos, trabalham na faixa das micro-ondas.

**Figura 2** – Faixas do espectro eletromagnético exemplificando sua atuação.



Fonte: Maciel e Diniz, 2020.

De maneira geral, a classificação dos sensores ocorre sob três perspectivas, a princípio de acordo com sua plataforma, sendo a nível orbital (os satélites), aéreos (abordando altas e baixas altitudes) e terrestres (em nível de campo e laboratório). Em seguida em decorrência dos produtos obtidos, classificados em não-imageadores (não resulta a imagem do objeto observado mas produz gráficos e dígitos) e imageadores (disponibiliza imagens do perímetro

observado) (LIU, 2007). Por fim de acordo com a relação da origem de energia eletromagnética sendo sensores ativos (fonte própria de energia) e passivos (não possuem fonte próprias de energia) (MORAES, 2002).

Shiratsuchi *et al.* (2014) afirma que a princípio se utilizavam sensores na coleta de imagens para avaliações acopladas em aeronaves, foguetes, pipas e pássaros. Atualmente as plataformas de apoio aos sensores evoluíram para aeronaves remotamente pilotadas, satélites, maquinários agrícolas, entre outros.

Atualmente inúmeros trabalhos são desenvolvidos nesta área como Ferreira *et al.* (2015) ao utilizar aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. Martello *et al.* (2015) utilizaram a mesma ferramenta para monitorar o desenvolvimento inicial de *Eucalyptus* sp.. Silva e Lemos (2017) abordam a análise de falhas no plantio de café por meio de mosaico. Mikami (2018) realiza pesquisa na área de arquitetura de *software* para otimização de aeronaves remotamente pilotadas na agricultura de precisão. Lajús *et al.* (2018) abordam de maneira geral a utilização e aplicações da agricultura de precisão no mundo.

Martello (2017) aponta que o uso de uma Aeronave Remotamente Pilotada munida de sensor passivo imageador é de grande viabilidade no SR devido à flexibilidade de atuação do equipamento quando comparado às plataformas orbitais. Além de oferecer detalhes em qualidade e quantidade, dispõe ao experimentador independência na análise, uma vez que o ARP possibilita a coleta de dados ao momento e em quantidade que se fizerem necessárias a custo acessível.

### 3.4 AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS

Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP's), popularmente conhecidos como DRONE - *Dynamic Remotely Operated Navigation Equipment*, são definidos como veículos aéreos sem tripulação que possuem a possibilidade ou não de serem controlados por ação humana (LAJUS *et al.*, 2018). Embora a atenção aos avanços do equipamento tenham ocorrido com maior visibilidade a partir dos anos 2000 o termo não se refere a um conceito novo, mas sim datado desde 1849, onde na

Áustria se utilizava balões não tripulados carregados com explosivos para realizar ataques contra a Veneza (HARDGRAVE, 2014).

Um veículo aéreo não tripulado – VANT é a nomenclatura oficial prevista pelos órgãos reguladores brasileiros do transporte aéreo para definir este escopo de atividade. Todavia, no Brasil, segundo a legislação pertinente caracteriza-se como VANT toda aeronave projetada para operar sem piloto a bordo sendo sob o viés não recreativo e com carga útil embarcada. Quando o equipamento é destinado a *hobby* ou esporte é enquadrado como aeromodelos e não VANT (GALVÃO, 2017).

Da mesma forma, existem dois tipos diferentes de VANT, o ARP (Aeronave Remotamente Pilotada, em inglês RPA – *Remotely Piloted Aircraft*) e a Aeronave Autônoma. O primeiro é o mais conhecido e não há piloto a bordo, sendo caracterizado pelo controle remoto de uma interface qualquer (computador, simulador, dispositivo digital, controle remoto, etc). A Aeronave Autônoma, por sua vez, depois de programada não possibilita intervenção externa durante a realização do voo. Como no Brasil a aeronave autônoma tem o seu uso proibido, trataremos a partir daqui apenas dos ARP (GALVÃO, 2017).

Em território brasileiro a utilização de ARP's remonta aos anos de 1980 através da aplicação no desenvolvimento de uma plataforma de ensaio no projeto Acauã pelo Centro Tecnológico Aeroespacial com o fim de ampliar o nível de conhecimento da área da tecnologia (MIKAMI, 2017).

Conforme Monteiro (2016) atualmente existem diversos tipos de ARP's, os quais são classificados de acordo com suas características específicas, o país de origem, a finalidade a ele destinada, o órgão fiscalizador, entre outros. A Agência Nacional de Aviação Civil – ANAC é o órgão responsável pela fiscalização dos equipamentos e das atividades correlacionadas a ARP no Brasil. A ANAC classifica os equipamentos de acordo com o peso máximo de decolagem da aeronave, onde se considera os pesos da bateria ou combustível do equipamento e de carga transportada em alguns casos, por conseguinte (ANAC, 2017):

- Classe 1: Peso máximo de decolagem maior que 150 kg
- Classe 2: Peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg
- Classe 3: Peso máximo de decolagem de até 25 kg

Além disso, popularmente se utilizam as classificações embasadas no mecanismo de voo, sendo de asa fixa, modelos híbridos e multirotores. Os modelos classificados como asa fixa possuem características similares aos aviões. Este aspecto o habilita a realizar voos em maior velocidade e em menor espaço de tempo, além de o tornar viável para carregar cargas de maior peso. Entretanto a exigência de uma área mais extensa torna-os inadequados para algumas situações, uma vez que para manipular estes instrumentos é imprescindível a existência de pistas (MONTEIRO, 2016).

Madrid (2018) sugere que os ARP's classificados como multirotores possuem como característica fundamental a capacidade de planar em uma posição fixa e de realizar o voo em qualquer direção, conseqüentemente, detém de maior agilidade e destreza ao que se refere a realização de manobras. Diferentemente do de asa fixa, este não necessita de grandes áreas para decolagem, posto que está se realiza de maneira vertical. Conquanto, seu tempo de atividade é inferior aos demais.

Mikami (2017) afirma que os modelos híbridos/multirotores são definidos como a convergência entre os demais citados. É dotado da capacidade de desempenhar atividades em alta velocidade com as asas, ou de pairar com o auxílio dos rotores e decolar e aterrissar verticalmente. É um modelo que apresenta aumento de aceitação e utilização dos indivíduos visto que é excelente para a realização de entregas.

Todavia paralelamente ao desenvolvimento tecnológico da humanidade uma diversidade de novos modelos destes equipamentos se tornam disponíveis a nível civil e militar a fim de atender as exigências e novas aplicações. Bernardi *et al.* (2014) e Figueiredo e Figueiredo (2017) demonstram que para o uso viável desta ferramenta para análises de agricultura de precisão se faz necessário o cumprimento de algumas etapas básicas de planejamento da atividade e processamento das imagens.

Para a obtenção de imagens viáveis através de ARP's medidas essenciais como análise e adequação climática, cumprimento das normas da ANAC e dimensionamento das condições do voo. Tais informações devem ser adequadas de acordo com as exigências da pesquisa, a característica da cultura e a

especificidade do equipamento. Ainda assim, todo e qualquer ajuste deve ser realizado antes da decolagem do ARP (BERNARDI *et al.*, 2014). Além disso, é passível ao usuário a escolha da resolução que mais adéqua a área de estudo através da regulagem de altura e direção de voo, levando em consideração a geometria de visualização/iluminação, minimizando o tempo para medições de áreas (GERKE, 2017).

Figueiredo e Figueiredo (2017) acrescentam que além disso é fundamental manter a atualização em dia do *software* interno do ARP e do controle remoto ou estação de pilotagem remota e demais fatores, como a atualização da versão do aplicativo de voo, análise prévia das condições climáticas, fixação das hélices, bateria devidamente carregada, definição de ponto de decolagem e de aterrissagem fora do alcance de interferências e obstáculos e enfim ajuste dos parâmetros da câmera fotográfica de acordo com as características necessárias do alvo e do ambiente. Por fim, as imagens obtidas devem ser armazenadas em formatos que mantenham a qualidade das mesmas para serem processadas reduzindo a incidência de erros.

### 3.5 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

A partir das imagens ou ortofotos e com os algoritmos, as plataformas identificam as sobreposições e o encaixe das ortofotos e é gerado um mosaico, que por sua vez é a união de um conjunto de imagens gerando uma nova imagem. No processamento digital das imagens há a possibilidade de ser realizado de maneira individual, foto a foto, para posterior geração de um mosaico mas comumente é realizado no mosaico já finalizado. (CHON *et al.*, 2010). Gerke (2017) em concordância aponta que a união consolidada do conjunto de imagens coletadas em uma única imagem recebe o nome de mosaico ou ortomosaico, ou ainda, a combinação de pontos que como produto final gera uma única imagem da área de estudo recebe o mesmo nome.

Tendo em vista a necessidade de precisão das informações de maneira rápida, o uso de imagens de alta resolução e o processamento para minimizar o custo computacional gerado pela construção de mosaicos são

justificados. Depois de obtidos os mosaicos, estes podem ser utilizados para fazer correlações com outros mapas obtidos, na área da agricultura possibilitam realizar vistorias a campo e diagnóstico preciso da área de cultivo, tornando viável realizar mapas de recomendações, fornecendo amparo no momento de tomada de decisão (LEBOEUF, 2000).

O QGIS é um *software* de Sistema de Informação Geográfica (SIG) que pode ser utilizado para o processamento das imagens. É livre e aberto suportando *Linux, Unix, MacOS, Windows e Android*, sustentável para diversos formatos de dados, sendo eles vetoriais, matriciais ou de banco de dados. Ainda sim, o QGIS fornece recursos suficientes para gerar, visualizar, gerenciar, editar e analisar as informações e permitir composição de mapas imprimíveis e exportáveis em diversos formatos. Além disso, o QGIS também é capaz de integrar outros SIG's e *softwares* em suas análises, como exemplo o R e diversas bases de dados, à medida que novos complementos têm sido rapidamente desenvolvidos (GUIMARÃES *et al.*, 2017).

O *software* QGIS conta ainda com um manual do usuário frequentemente atualizado e disponível em variadas línguas, o que junto com sua maleabilidade de funções via arquitetura de *plug-ins*, faz com que seja adaptável às exigências de qualquer usuário (PEREIRA; GUIMARÃES; OLIVEIRA, 2018). Aliado a isso é possível realizar análises e mapas de Índices de vegetação de diversas culturas com o *software*.

Os índices de vegetação são operações aritméticas realizadas entre as bandas de uma imagem, a fim de explorar o comportamento espectral da vegetação realçando determinadas características das plantas, como biomassa, índice de área foliar e estimativa de produtividade. Isso é possível em decorrência da interação da vegetação e da reflectância espectral pertinente a ela. Na região do visível é caracterizada por apresentar baixa reflectância, decorrente da absorção da radiação pelos pigmentos fotossintetizantes, e alta reflectância na região do infravermelho próximo, em função do espalhamento da radiação no interior das folhas em função da sua estrutura celular. Já no infravermelho médio, a reflectância volta a reduzir pela alta absorção por água (MACIEL; DINIZ, 2020)

Maciel e Diniz (2020) Desta forma, afirmam que em situações de elevada densidade de cobertura vegetal menor será a sua reflectância na região do visível e maior a sua reflectância no infravermelho próximo. Posto isso, geralmente no momento de análise dos resultados de cálculos de índices de vegetação é notório o uso em supremacia da banda do vermelho uma vez que é a região onde ocorre alta absorção da radiação eletromagnética pela clorofila. Além disto, esta faixa sofre menos influência atmosférica que a faixa do azul, que é a faixa com maior absorção por clorofila.

Os índices de vegetação gerados a partir de dados oriundos de sensores remotos constituem uma importante ferramenta para o monitoramento de alterações na cobertura vegetal além de fornecer amparo na tomada de decisões agrônomicas. Estes índices têm sido usados na estimativa de diversos parâmetros da vegetação como por exemplo, acompanhamento do desenvolvimento do trigo (EPIPHANIO; ALMDEIDA; FORMAGGIO, 1996), a estimativa de biomassa lenhosa da caatinga (LIMA *et al.*, 2014) e análise de atributos de solo e de produtividade de soja (TRINTADE *et al.*, 2019).

Nos últimos anos, vários coeficientes baseados em imagens coloridas, foram propostas para identificar características vegetativas sendo uma ferramenta de grande valia na aplicação da agricultura de precisão no Brasil. Assim sendo, sob o interesse nas bandas do visível Woebbecke *et al.* (1995) testaram índices de vegetação que resultaram na distinção do material vegetativo de outros materiais não-vivos, denominando o novo índice de *Excess Green Index*– ExG (Equação 1), onde r, g e b são os valores das bandas normalizadas verde, vermelho e azul, respectivamente. Os valores obtidos pela equação representam e delinham as regiões de interesse das plantas. Da mesma maneira, Wang *et al.* (2015) baseando-se no NDVI apresentaram o VDVI - (*Visible-band Difference Vegetation Index*) (Equação 2). Onde  $\rho$  corresponde a faixa espectral; g, r e b corresponde ao verde, vermelho e azul, respectivamente.

$$\text{ExG} = 2g - r - b \quad [1]$$

$$\text{VDVI} = \frac{2 * \rho g - \rho r - \rho b}{2 * \rho g + \rho r + \rho b} \quad [2]$$

Todavia, é de extrema relevância salientar a necessidade de se realizar a calibração radiométrica das imagens antes de iniciar o trabalho em busca de máxima precisão, uma vez que as assinaturas espectrais extraídas dos dados sem tratamento destoam significativamente do esperado e da realidade resultando em análises incorretas (WELTER *et al.*, 2020). Neste caso, a calibração radiométrica é realizada através da razão de cada banda pelo somatório das três bandas, ou seja, a razão da banda r pelo somatório das bandas r, g e b; a razão da banda g pelo somatório das bandas r, g e b e também da mesma maneira no que se refere a banda b, sendo a mesma pelo somatório das bandas r, g e b, conforme descrito nas fórmulas 3, 4 e 5.

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad [3]$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \quad [4]$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \quad [5]$$

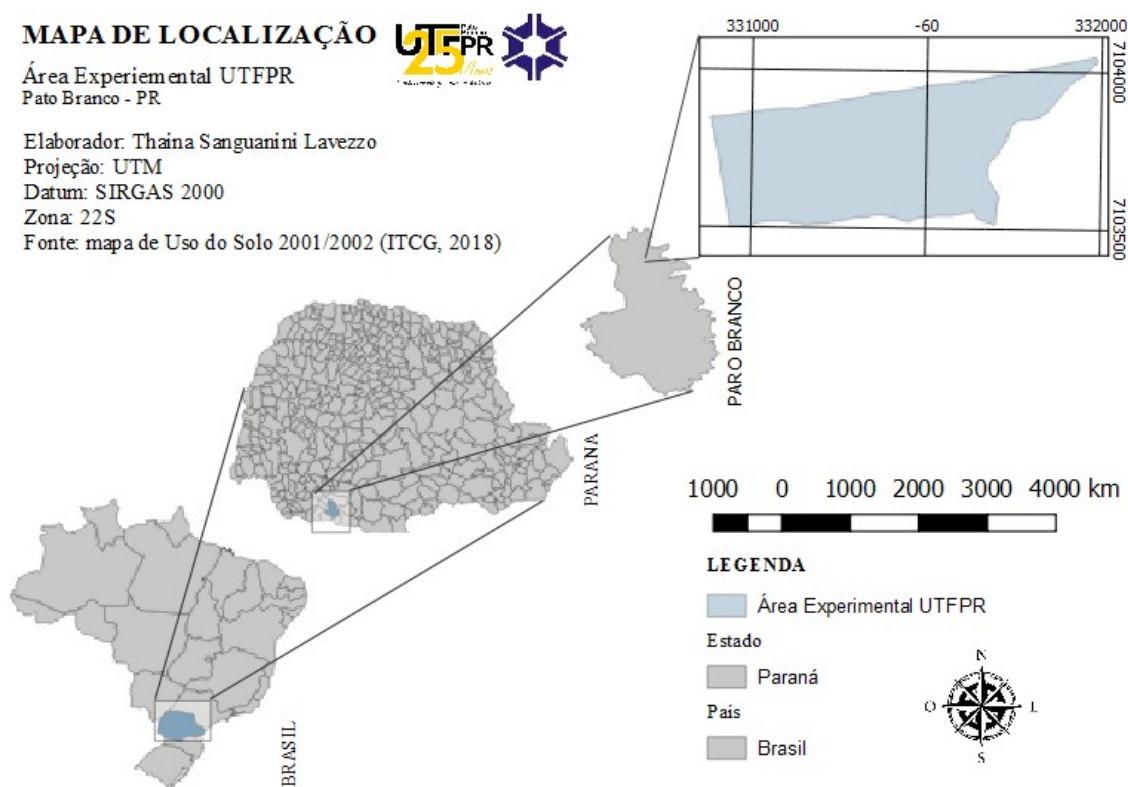


## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ESPECIFICAÇÕES GERAIS

O experimento foi conduzido a campo nas delimitações da Área Experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Pato Branco – Paraná, localizada a 26° 10' 29.4 de latitude Sul e 52° 41' 20.7 de longitude Oeste, com altitude média de 700 metros (Figura 3). De acordo com a Embrapa (1999) o solo da área é classificado como Latossolo Vermelho distroférico, típico de textura argilosa e o clima da região segundo a classificação de Koppen é Cfa.

**Figura 3** – Localização da área experimental UTFPR, *campus* Pato Branco - PR.



Fonte: A autora, 2021.

Os genótipos utilizados foram semeadas no dia 01 de junho de 2020 com população final seguindo as recomendações de cada material em sistema de plantio direto, com correção de nutrição do solo seguindo as exigências constatadas

via análise química de solo e o respectivo manual de adubação e calagem do estado do Paraná para a cultura do trigo. O espaçamento utilizado em entrelinhas foi de 17 centímetros e os tratamentos culturais desenvolvidos no decorrer do desenvolvimento vegetativo da cultura foram a fim de controle de pragas e doenças que pudessem interferir no desenvolvimento do trigo.

Os dados de índice de área foliar foram coletados através do equipamento LAI 2200-c da fabricante LICOR (Figura 4) pelo método não destrutivo, de modo flexível, com recursos avançados, precisão e facilidade de uso. Para definir a concentração de massa seca de parte aérea ao final do ciclo a parte aérea foi coletada, pesada e colocada para secar em estufa com circulação forçada de ar, e temperatura de 65°C. Após a secagem, as amostras foram novamente pesadas e foi realizada a determinação de massa seca. Por fim, para a Informação de rendimento de grãos foi realizada a colheita e pesagem para determinação do rendimento final por parcela.

**Figura 4** – Equipamento LAI 2200-c.



Fonte: LICOR, s.d.

Para coleta de imagens no desenvolvimento da pesquisa o ARP utilizado foi um profissional de nível básico com alta capacidade de evitar obstáculos, modelo *Phantom 4 Pro* (Figura 4), com peso de 1388 gramas com bateria e hélices, suportando tempo máximo de voo de aproximadamente 30 minutos e sensor de câmera tipo semicondutor metal-óxido complementar (CMOS) de 1 polegada (") e 20 megapixel (MP) e detecção de obstáculos evitando contato dianteiro, traseiro e obstáculo infravermelho esquerdo e direito.

**Figura 5** – Aeronave remotamente pilotada *Phantom 4 Pro*.



Fonte: DJI, s.d.

Para realização do voo foi realizada a solicitação de voo ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) a fim de atender as exigências do órgão de aviação competente do país. A requisição se deu de maneira *online* informando as especificações da área de estudo com coordenadas de latitude e longitude. Sob análise, aprovação e de porte do referido protocolo se fez o voo.

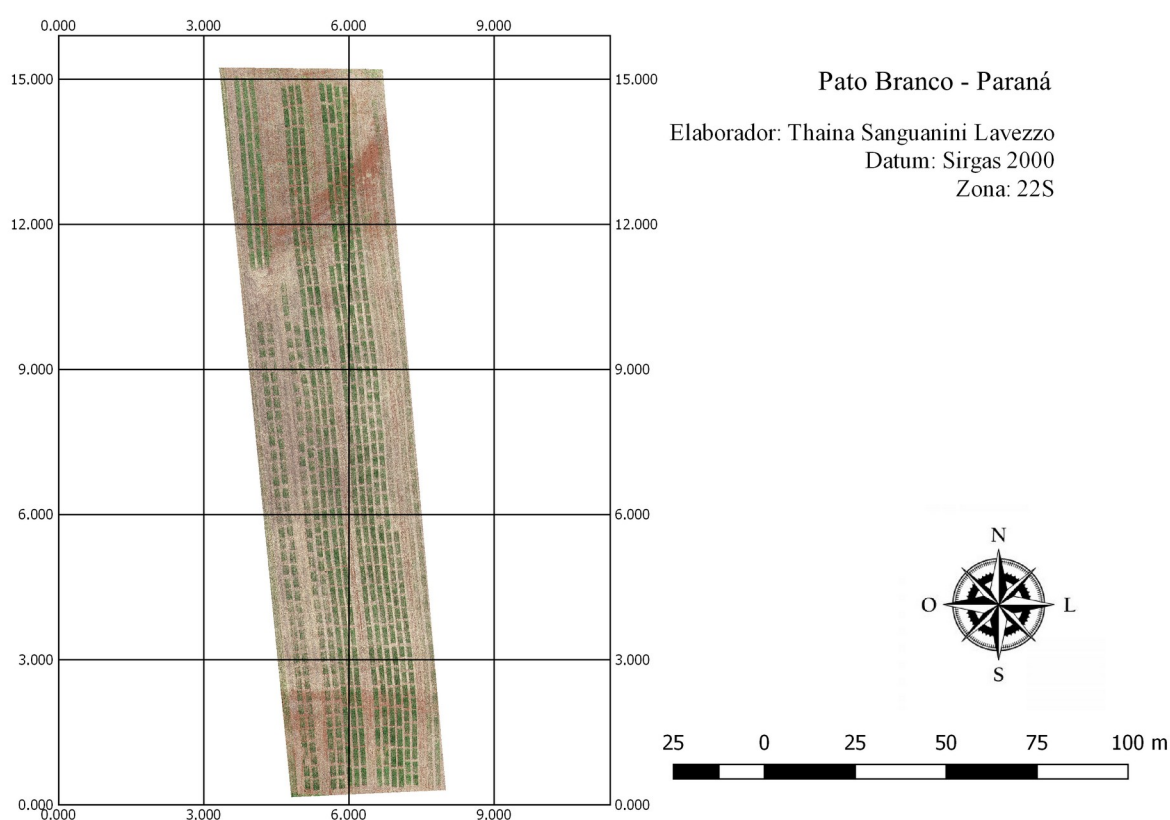
O voo foi programado em um smartphone através de um software aberto disponível para aparelhos tanto de processador IOS quanto Android chamado DRONE DEPLOY®, com a própria câmera embarcada do aparelho a uma altura de trabalho de 80 m e sobreposição de imagens de 75% lateral e 75% longitudinal. A operação foi realizada em um único momento, sendo no dia 26 de junho de 2020, as 10:30hr na localidade da área experimental da UTFPR campus Pato Branco – PR, sobrevoando a cultura de interesse em fase de perfilhamento.

#### 4.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

No estudo foram utilizadas 12 dos 22 diferentes genótipos da cultura do trigo que estão sendo analisadas e desenvolvidas pelo grupo de pesquisa de melhoramento genético de grandes culturas da UTFPR – Pato Branco (Figura 6). Além da disponibilidade de realizar análises aéreas o grupo concedeu apoio fornecendo as informações físicas dos parâmetros a serem correlacionados com os tratamentos.

Os parâmetros estipulados foram o de índice de área foliar, massa seca de parte aérea em gramas e rendimento de grão em quilogramas por hectare, ambos coletados seguindo as normas e especificidades de cada parâmetro respectivamente. Por sua vez, os tratamentos abordados foram o índice VDVI como indicativo de biomassa, VDVI como indicativo de índice de área foliar, o índice ExG como indicativo de produtividade. Para cada tratamento foram realizadas quatro repetições, totalizando as 12 parcelas finais.

**Figura 6** – Mapa geral do experimento, Pato Branco – PR.



Fonte: A autora, 2021.

### 4.3 PROCESSAMENTO DIGITAL

Após sobrevoar a área de interesse as imagens foram extraídas do ARP para um computador e alocadas na plataforma de processamento digital de imagens *Agisoft PhotoScan* para gerar um ortomosaico completo e apto a análise.

Após este processamento inicial a imagem ficou com um tamanho médio de 16170 x 22704 *pixels*.

Conseqüentemente, com o ortomosaico gerado este foi submetido a um novo processador, desta vez o *Quantum Gis* (QGIS®), versão 2.18.24. Nele foi realizada seleção da área das parcelas dos genótipos, a calibração radiométrica e geração dos índices de vegetação.

A seleção das 12 parcelas no QGIS® ocorreu através da delimitação e criação de polígonos para cada parcela nas referidas áreas já delimitadas e conhecidas fisicamente. Com as áreas criadas estas foram extraídas em três arquivos de formato *raster*, sendo um arquivo para cada tratamento com suas respectivas quatro parcelas. Sendo assim, um arquivo com quatro parcelas para o índice VDMI a ser correlacionado com o carácter de biomassa, um arquivo com quatro parcelas para o índice VDMI a ser correlacionado com o carácter de índice de área foliar e um arquivo com quatro parcelas para o índice ExG a ser correlacionado com o carácter de rendimento de grão.

A calibração radiométrica foi realizada a partir da calculadora *raster* do *software*. A atividade se deu com os três arquivos gerados no processo anterior, sendo uma imagem calibrada por vez. A fórmula de razão entre as bandas foi aplicada na ferramenta de calculadora de acordo com sua especificidade supracitada nesta pesquisa, tanto para banda do verde, do azul e do vermelho. Ao fim da calibração, foi gerado três novos arquivos para cada tratamento.

Para gerar os índices foi utilizada a mesma ferramenta de calculadora *raster* e do mesmo modo cada arquivo sendo manipulado isoladamente. Ou seja, para gerar o índice VDMI tanto para IAF quanto para massa seca, a imagem calibrada foi plotada no QGIS® e manuseada seguindo a fórmula de VDMI que também consta nesta pesquisa, gerando uma nova imagem para cada tratamento contendo as informações do índice gerado. Para o índice ExG o processo ocorreu do mesmo modo, todavia sendo alterada apenas a fórmula, tendo em vista que para cada índice há uma análise aritmética específica.

#### 4.4 AVALIAÇÃO DE IMAGENS

Para a avaliação da imagem se utilizou o mesmo software abordado na etapa citada anteriormente, o QGIS®. Nele, após gerar os índices, através da ferramenta de inserção de pontos 10 pontos por parcela foram selecionados aleatoriamente em cada tratamento, totalizando 120 pontos amostrais. Estes pontos foram selecionados a fim de realizar a extração de maneira homogênea pelo talhão dos dados de cada índice contido em cada *pixel* da imagem final gerada. Do mesmo modo que todo processo foi realizado até esta etapa, neste também foi realizado de maneira individual para cada uma das três imagens.

Posterior a isso, para ambas as imagens geradas a partir dos índices estas através das propriedades da imagem e da manipulação de seu estilo, foram modificados de bandas em escala de cinza para banda falsa cor para classificá-las em cinco classes, a fim de exemplificar com maior riqueza de detalhes e percepção da variabilidade. Sendo o critério de escolha do estilo o qual mais se aproxima da realidade do índice, portanto para VDVI o estilo aplicado foi o de escalas variando do verde a vermelho e para ExG escala em tons gradativos de verde.

Por fim, a partir das imagens geradas, novamente de maneira individual, foram gerados mapas através da ferramenta de geração de arquivos de impressão. Nesta ferramenta o mapa foi gerado incluindo a imagem gerada das quatro parcelas finais avaliadas e classificadas, seguida da plotagem de título, informações do executor do mapa, legenda, escala e orientação e informações geográficas.

#### 4.5 ANÁLISE DE DADOS

Primeiramente, com os dados obtidos através da extração das informações dos *pixels* dos 120 pontos na própria plataforma QGIS®, foi realizada uma organização em planilha *Excel* (*Microsoft Excel* versão 2007). Posteriormente, foi realizada a análise visual dos dados a fim de compreender a realidade dos mesmos.

Em seguida. Estes dados foram submetidos a análise exploratória prévia a fim de averiguar possíveis variações através da ferramenta de análise de dados do próprio *Microsoft Excel* (2007) e suas demais funções. Em seguida, foram

submetidos a análise de correlação simples para compreender e constatar a existência de interdependência entre os caracteres agronômicos e o grau de dependência dos índices gerados, através do software livre Genes.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CARACTERES AGRONÔMICOS DA CULTURA

Resultante das práticas abordadas anteriormente foram obtidas as informações dos 12 genótipos utilizados na pesquisa. Sendo eles o índice de área foliar (IAF), a massa seca em gramas (MS) e o rendimento de grãos (kg/ha) conforme dispostos na Tabela 2 abaixo.

**Tabela 2** – Genótipos utilizadas e dados de Índice de Área Foliar (IAF), Massa Seca (MS) e Rendimento de Grão (RG). UTFPR Campus Pato Branco, 2021.

GENÓTIPO	IAF	MS (gramas)	RG (kg/ha)
15521	1.59	0.21	4416
170074	1.8	0.23	4662
170497	1.3	0.17	3040
141489	1.74	0.22	5100
170242	1.21	0.17	4208
170464	1.38	0.18	4672
171014	1.42	0.18	5264
170491	1.63	0.2	4362
170615	1.75	0.23	3258
162323	1.65	0.21	4276
170500	1.22	0.16	4088
170013	1.75	0.21	5336

Fonte: A autora, 2021.

Ao submeter os dados a análise de estatística descritiva (Tabela 3), é possível constatar a homogeneidade dos parâmetros de IAF e MS, uma vez que apresentam desvio padrão de 0,288 e 0,035 respectivamente. Além disso outra informação relevante a esta constatação são os dados de variância, os quais se apresentaram 0,083 para IAF e 0,001 para MS. Por fim, o erro padrão das amostras se apresentou com dados em 0,072 e 0,008, também para as variáveis de IAF e MS respectivamente.

Todavia, ao analisar os dados de RG é possível diagnosticar que os valores assumidos para as variáveis de desvio padrão e variância amostral foram superiores aos de IAF e MS, sendo eles de 710.272 e 504486.866. Do mesmo modo ocorre com a variável de erro padrão, que apresenta 177.568 como valor assumido.



Isso se deve pela característica do objeto que está sob análise, uma vez que o rendimento de grãos apresentou valores muito maiores e que diferem muito entre os genótipos em razão das características morfológicas e de potencial produtivo intrínsecas a elas.

**Tabela 3** – Análise de estatística descritiva para as variáveis de Índice de Área Foliar (IAF), Massa Seca (MS) e Rendimento de Grão (RG). UTFPR Campus Pato Branco, 2021.

<b>ESTATÍSTICA DESCRITIVA</b>			
	<b>IAF</b>	<b>MS</b>	<b>RG</b>
<b>Média</b>	1.446875	0.191875	4373.25
<b>Erro padrão</b>	0.072115178	0.008718694	177.5680973
<b>Mediana</b>	1.445	0.2	4389
<b>Modo</b>	1.75	0.21	-
<b>Desvio padrão</b>	0.288460714	0.034874776	710.2723891
<b>Variância da amostra</b>	0.083209583	0.00121625	504486.8667
<b>Curtose</b>	1.515872732	4.040432611	-0.755074704
<b>Assimetria</b>	-1.001326142	-1.687982388	-0.43056049
<b>Intervalo</b>	1.1	0.14	2296
<b>Mínimo</b>	0.7	0.09	3040
<b>Máximo</b>	1.8	0.23	5336
<b>Soma</b>	23.15	3.07	69972
<b>Contagem</b>	16	16	16

Fonte: A autora, 2021

## 5.2 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

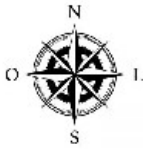
O mapa resultante da avaliação do índice de vegetação gerado a partir de quatro parcelas dos genótipos supracitados representou o índice VDVI em banda simples falsa cor (Figura 7). Os valores variam negativamente de um valor mínimo de -0,333, com cores mais próximas do vermelho, a um máximo de -0,0153, com cores mais próximas do verde. Do mesmo modo, na análise do índice sob a perspectiva de MS se observa valores negativos variando de -0.324 e -0,0393. É possível notar também que os extremos estão representados pela coloração vermelha e verde, respectivamente do menor valor para o maior (figura 8).

**Figura 7** – Mapa 1 amostral de índice de vegetação VDVI.

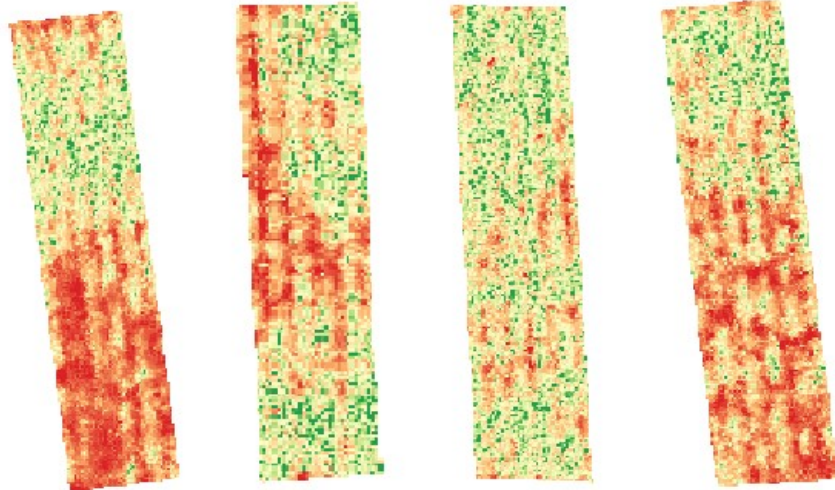
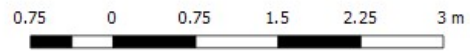
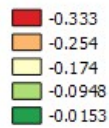
## INDICE VDVI

Pato Branco - Paraná  
Agosto de 2021

Elaborador: Thaina Sanguarini  
Lavezzo  
Datum: SIRGAS 2000  
Zona: 22S



Legenda  
Índice



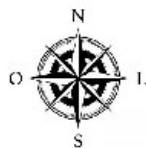
Fonte: A autora, 2021.

**Figura 8** – Mapa 2 amostral de índice de vegetação VDVI.

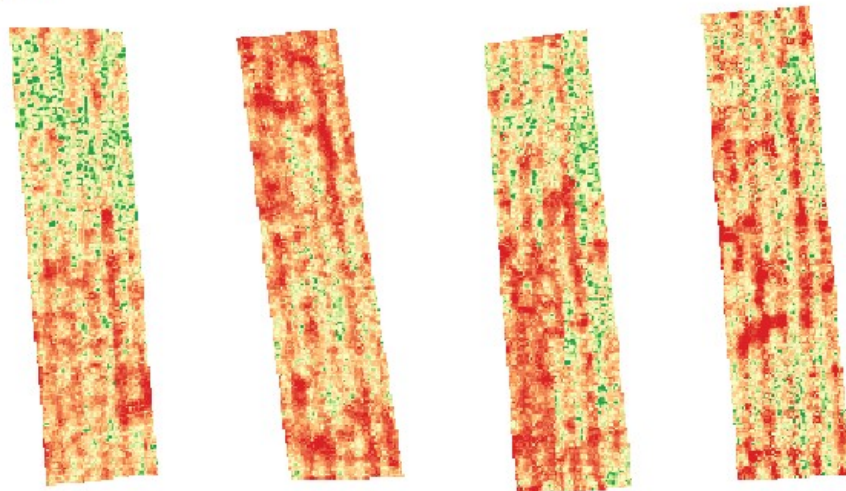
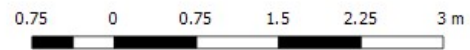
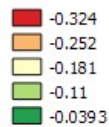
## INDICE VDVI

Pato Branco - Paraná  
Agosto de 2021

Elaborador: Thaina Sanguarini  
Lavezzo  
Datum: SIRGAS 2000  
Zona: 22S



Legenda  
Índice



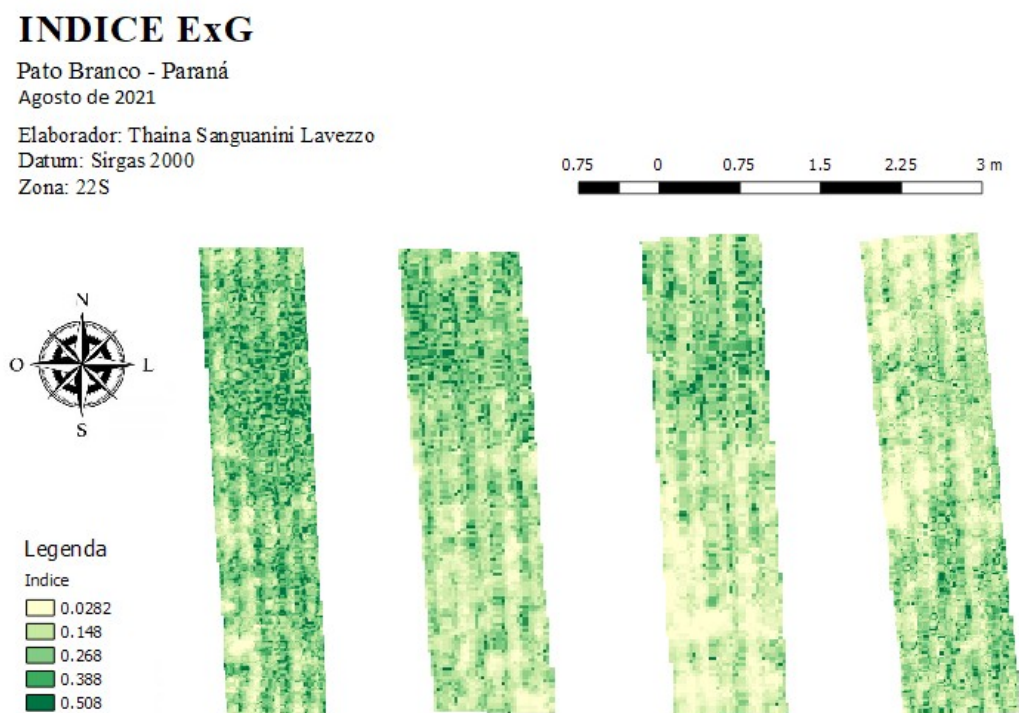
Fonte: A autora, 2021.

A partir disso, é admissível distinguir as áreas onde havia maior presença de vegetação de onde o solo exposto era mais aparente nas imagens pela

representação do índice plotado no mapa. Assim sendo, através do mapa o índice VDVI é representado que quanto maior seu valor maior é o nível de sanidade da cultura avaliada, sendo o inverso representativo de solo exposto e de vegetação em senescência.

Por outro lado, o mapa gerado com as informações de RG demonstra valores positivos de 0,0282 a 0,508 para o índice ExG, nos quais estão representados visualmente pela escala de verde. A variação em número está descrita em tons de menor intensidade para os valores mais inferiores, enquanto os de maior intensidade apresentam os valores superiores (Figura 9). A partir disso, é possível constatar que na fase de perfilhamento do trigo os índices de valores mais baixos coincidem com a área de maior exposição de solo e respectiva falta de cobertura vegetativa.

**Figura 9** – Mapa amostral de índice de vegetação ExG.



Fonte: A autora, 2021.

Entretanto, ao se analisar estatisticamente as informações, através dos coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis (Tabela 4) se constata que

não há uma relação significativa entre os índices de vegetação VDVI e ExG as variáveis de caráter agrônomo IAF, MS e RG, com nível de 1% de probabilidade de erro. Tal informação demonstra que nesta pesquisa os índices não demonstraram valores satisfatórios para serem utilizados no acompanhamento e avaliação da cultura do trigo em fase de perfilhamento.

**Tabela 4** – Matriz de coeficientes de correlação de Pearson entre as variáveis de índice de VDVI (com dados analisados em dois momentos, apresentando portanto VDVI<sup>1</sup> e VDVI<sup>2</sup>) e ExG, índice de área foliar (IAF), massa seca (MS) e rendimento de grão (RG), obtidas em estágio fenológico de perfilhamento de um experimento realizado em Pato Branco – PR, visando avaliar a correlação entre os índices de vegetação e os caracteres agrônomo de produtividade da cultura do trigo. Pato Branco, 2021.

	VDVI <sup>1</sup>	IAF	VDVI <sup>2</sup>	MS	ExG	RG
VDVI <sup>1</sup>	-	0,087 <sup>ns</sup>	-0,117 <sup>ns</sup>	-0,226 <sup>ns</sup>	0,047 <sup>ns</sup>	-0,0223 <sup>ns</sup>
IAF		-	0,126 <sup>ns</sup>	-0,841 <sup>**</sup>	0,304 <sup>ns</sup>	-0,562 <sup>**</sup>
VDV <sup>2</sup>			-	-0,143 <sup>ns</sup>	0,037 <sup>ns</sup>	-0,051 <sup>ns</sup>
MS				-	-0,130 <sup>ns</sup>	0,782 <sup>**</sup>
ExG					-	-0,272 <sup>ns</sup>
RG						-

\*\*significativo a 1% de probabilidade pelo teste T. ns não significativo a 1% de probabilidade de erro pelo teste T.

Embora que, Wang *et. al.* (2015) ao trabalharem com a extração de informações de vegetação de imagens de veículos aéreos não tripulados operando apenas na banda do visível constatarem a partir de um relatório de acurácia que o índice VDVI ser amplamente adequado para extrair informações de vegetação da imagem, com uma precisão de extração total de 91,5% e um coeficiente kappa foi de 0,8256, Do mesmo modo, autores como Zhang *et al.* (2021) constataram a eficiência do índice ExG no acompanhamento de culturas, neste caso avaliando a variabilidade produtiva de cultivares de milho submetidos a estresse hídrico, através de imagens RGB. No estudo observaram correlações significativas entre ExG e potencial hídrico foliar e entre ExG e fluxo de seiva.

Tal discussão expressa que mesmo que em outras culturas esta metodologia tenha sido viável e eficiente, para a cultura do trigo, os índices utilizados em sua avaliação não são os ideais, sendo necessário explorar outros índices. Além disso é importante afirmar que a fase morfológica de perfilhamento também não foi a ideal para a condução destes índices, podendo ser levantada a hipótese de que é necessário uma concentração maior de material vegetativo ativo

para a avaliação, sendo sugeridas fases reprodutivas, podendo ser citadas fases como de emborrachamento e enchimento de grão.

Por outro lado, entre os caracteres agronômicos houve correlação significativa estatisticamente, com 99% de precisão. Neles, houve uma correlação negativa forte entre massa seca e índice de área foliar, apresentando coeficiente de 0,841. Ou seja, a variável de massa seca tende a diminuir quando a variável de índice de área foliar aumenta. Além disso, houve também uma correlação entre os caracteres de rendimento de grão e índice de área foliar, apresentando um coeficiente negativo moderado de 0,562. Isto demonstra que quanto menor os valores de índice de área foliar maiores os níveis de rendimento de grão serão.

Ao avaliar tais correlações negativas entre os caracteres morfológicos agronômicos da cultura, Dong *et al.* (2014) e Dalló (2015), corroboram afirmando a significância negativa, tendo em vista que quando o índice de área foliar é elevado há uma considerável sobreposição de folhas, dificultando a incidência direta de luz, reduzindo os teores de clorofila na folha e assim reduzindo na escala taxa fotossintética e a produção de massa seca final.

Por fim, o rendimento de grão e a concentração de massa seca também apresentaram correlação, se estabelecendo de maneira forte positiva, com um coeficiente de 0,782. Isto significa que as variáveis se correlacionam de maneira diretamente proporcional, quanto maior a concentração de massa seca, maior será o rendimento de grãos.

Para esta correlação positiva entre os caracteres de concentração de massa seca e rendimento de grão em outras pesquisas o mesmo foi constatado. Como exemplo a verificação de alta correlação positiva entre biomassa seca e rendimento de grãos no trabalho de Gondin *et al.* (2008). No entanto, os autores afirmam que é válido salientar que no estudo do melhoramento genético da cultura, a análise de regressão simples com estes mesmos caracteres, como a realizada nesta pesquisa, não é premissa única e exclusiva para seleção de genótipos mesmo sendo um dos principais caracteres da planta relacionado ao aumento do rendimento de grãos. Isso ocorre tendo em vista que outras análises mais detalhadas mostraram a sua importância secundária.

## 6 CONCLUSÕES

O equipamento ARP apresentou resultado satisfatório atendendo a demanda de coleta de imagens para avaliação em caráter agrônômico. Além disso, a partir destas imagens pode-se com êxito fazer uso da plataforma SIG QGIS armazenando, quantificando e qualificando os dados de processamento digital, bem como, com facilidade gerar os índices utilizados no estudo. Ademais, é importante frisar a acessibilidade da plataforma por se tratar de um software livre.

Pode-se também concluir que ao utilizar índices de vegetação na avaliação da cultura do trigo em fase de perfilhamento, através de imagens RGB devidamente processadas, não se obtiveram informações compatíveis e correlacionadas com a realidade observada a campo. Na qual, tanto o índice VDVI quanto o índice Exg demonstraram tal inaptidão na avaliação agrícola aplicados a triticultura na fase de desenvolvimento vegetativo inicial.

Por fim, os índices de vegetação dependem apenas da distribuição dos *pixels* da cultura em uma imagem RGB e pode ser calculado facilmente, portanto, pode ser de menor custo e praticidade de popularizar do que outros indicadores das culturas na prática. No futuro, mais experimentos de campo são necessários para explorar ainda mais o comportamento dos índices com diferentes escalas e resoluções espaciais de imagens RGB,

## REFERÊNCIAS

ALBA, José Maria Filippini. Modelagem sig em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**, v. 1, n. 1, p. 84–93, 2014.

ANAC, Agência Nacional de Aviação Civil. **Classes de drones**. 2017. Disponível em: <http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/classes-de-drones>. Acesso em: 25 abr. 2019.

BASSOI, Luís Henrique Bassoi; MIELE, Alberto; JÚNIOR, Carlos Reisser; GEBLER, Luciano; FLORES, Carlos Alberto; ALBA, José Maria Filippini; GREGO, Célia Regina; TERRA, Viviane Santos Silva; TIMM, Luís Carlos; NASCIMENTO, Patricia dos Santos. Agricultura de precisão em fruticultura. In: \_\_\_\_\_. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: [s.n.], 2014. cap. 1, p. 350–360.

BECKER, Carmem Cristina Engroff; GAILL, Vivian Fernanda. Análise morfológica em manejos de corte em trigo de duplo propósito e aveia. **Revista Cultivando o Saber**, v. 1, n. 1, p. 33–41, 2019.

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos; NAIME, João de Mendonça; RESENDE, Álvaro Vilela de; BASSOI, Luís Henrique; INAMASU, Ricardo Yassushi. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. 596 p.

BERNARDI, Alberto Carlos de Campos; PEREZ, Naylor B. Agricultura de precisão. In: \_\_\_\_\_. **Agricultura de precisão em pastagens: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. cap. 1, p. 492–499.

BRASIL MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Pecuária e Abastecimento. **Portaria nº 852 - Art. 1º Criar a Comissão Brasileira de Agricultura de Precisão – CBAP**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/biblio/>. Acesso em: 23 mar. 2019.

CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antônio Miguel; FUCKS, Suzana Druck; CARVALHO, Marília Sá. Análise espacial e geoprocessamento. In: DRUCK, S. **Análise espacial de dados geográficos**. Brasília: INPE, 2002. cap. 1, p. 2–26.

CARBONARI, Henrique Pasquetti; THUROW, Liamara Bahr; VENSKE, Evandro Ehlert; BASEGGIO, Amanda Valentini; NIZOLLI, Valeria Oliveira; OLIVEIRA, Antonio Costa de. Análise de componentes principais: abordagem visual para a visualização da variabilidade genética em trigo. In: SEMANA INTEGRADA UFPEL, 5. **Anais [...]** Pelotas: UFPEL, 2019. p. 1–4.

CHON, J.; KIM, H.; LIN, C. S. Seam-line determination for image mosaicking: A technique minimizing the maximum lical mismatch and the global cost. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 65, n. 1, p. 86–92, 2010.

COELHO, Antônio Marcos. **Agricultura de precisão: manejo da variabilidade espacial e temporal dos solos e culturas**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2005.

CONAB, Companhia Nacional do Abastecimento. **Trigo**. 2020. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-trigo/item/13183-trigo-analise-mensal-fevereiro-2020>. Acesso em: 15 mar. 2019.

CONGEDO, Luca. **Semi-automatic classification plugin user manual**. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/307593091\\_Semi-Automatic\\_Classification\\_Plugin\\_Documentation\\_Release\\_6011](https://www.researchgate.net/publication/307593091_Semi-Automatic_Classification_Plugin_Documentation_Release_6011). Acesso em: 24 mar. 2019.

DALLÓ, Samuel Mathias. **Desempenho agrônômico de trigo submetidos a diferentes arranjos espaciais de plantas e doses de nitrogênio**. Monografia (TCC Curso de Agronomia.) —Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2015.

DARMANTO, Nisrina S.; VARQUEZ, Alvin Christopher G; KANDA, Manabu. Urban roughness parameters estimation from globally available datasets for mesoscale modeling in megacities. **Urban Climate**, v. 21, n. 1, p. 243–261, 2017.

DONG, Chen; LIU, Hong; FU, Yuming. Low light intensity effects on the growth, photosynthetic characteristics, antioxidant capacity, yield and quality of wheat (*Triticum aestivum* L.) at different growth stages in blss. **Elsevier**, v. 53, n. 1, p. 1557–1566, 2014.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. 499 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trigo: do plantio a colheita**. Viçosa: Embrapa Trigo / UFV, 2015. 260 p.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Trigo: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília: Embrapa, 2016. 314 p.

EPIPHANIO, José Carlos Neves; ALMEIDA JÚNIOR, Almyr César de; FORMAGGIO, Antonio Roberto. Desenvolvimento do trigo avaliado com dois índices de vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8., 1996, Salvador. Salvador: **Anais [...]** INPE, 1996. p. 19–24.

ESCOLÀ, Alexandre; ARNÓ, Jaume; CASANOVAS, José A. Martinez. Using sentinel-2 imagens to implement precision agriculture techniques in large arable fields: first results of a case study. **Advances in Animal Biosciences**, v. 8, n. 2, p. 377–382, 2017.

FEEKS, W. Report of the technical commission of wheat. **Baking studies in variety trials 1933-38**, v. 1, n. 1, p. 339–429, 1940.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin; ROIG, Henrique Llacer; MAROTTA, Giuliano Santanna; BRETANHA, Paulo Henrique; MENEZES, Junker. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. São José dos Campos: **Anais [...]** São José dos Campos, 2013.



FILIPPINI ALBA, José Maria. Modelagem SIG em agricultura de precisão: conceitos, revisão e aplicações. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. v.1, n.1, p.84-93, 2014.

GALVÃO, M. **Você sabe a diferença entre VANT, DRONE e RPAS?** 2017. Disponível em: <https://www.drondrones.com.br/singlepost/2017/01/06/Você-sabe-adiferença-entre-VANT-DRONE-e-RPAS>. Acesso em: 24 mar. 2019.

GANAN, J.R. *et al.* Mapeamento da cultura da soja com imagens Landsat 5/TM utilizando algoritmos de classificação supervisionada. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 12., 2005. **Anais [...]** São José dos Campos: INPE, 2005. p.549-555.

GERKE, Thiago. **Mineração de dados de imagens obtidas com aeronave remotamente pilotada para estimativa de produtividade do trigo**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) —Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017. Pós-Graduação em Computação Aplicada.

GONDIM, Tânia Cristina de Oliveira. Análise de trilha para componentes de rendimento e caracteres agronômicos de trigo sob desfolha. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 4, p. 487–493, 2008.

GREGO, Célia Regina; OLIVEIRA RONALDO PEREIRA DE OLIVEIRA VIEIRA, Sidney Rosa. Geoestatística aplicada a agricultura de precisão. *In: \_\_\_\_\_*. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. cap. 1, p. 74–83.

GUEDES, Jânio; SILVA, Sebastião Milton Pinheiro da. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação: princípios físicos, sensores e métodos. **Acta Geográfica**, v. 29, n. 12, p. 127–144, 2018.

GUIMARÃES, D. P.; PIMENTA, F. M.; LANDAU, E. C. **Integração Google EarthSIG-Servidor de Mapas e o Monitoramento Ambiental**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2012. 20 p.

HAMADA, Emilia. **Desenvolvimento fenológico do trigo (cultivar IAC 24 – Tucuruí), comportamento espectral e utilização de imagens N OAA-AVH RR**. Tese (Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2000. Doutorado.

HARDGRAVE. **O pioneirismo com o VANT**. Disponível em: <http://ctie.monash.edu.au/hargrave/>. Acesso em: 16 mar. 2019.

LAJÚS, Cristiano Reschke; MORETTO, Marcos; LUZ, Gean Lopes da; FILHO, Pedro; JUNGES, Marina; CORREIO, Geraldo Tremea. Agricultura de precisão via aeronave remotamente pilotada: uma alternativa para o homem do campo. **Revista de Computação Aplicada ao Agronegócio**, v. 1, n. 1, p. 2018, 2018.

LARGE, E. C. Growth stages in cereals. illustration of the feekes scale. **Plant Pathology**, v. 3, n. 1, p. 128–129, 1954.

LIMA JUNIOR, Claudemiro de; ACCIOLY, Luciano José de Oliveira; GIONGO VANDERLISE LIMA, Regina Lúcia Félix de Aguiar; SAMPAIO, Everardo Valadares de Sá Barretto; MENEZES, Rômulo Simões Cezar. Estimativa de biomassa lenhosa da caatinga com uso de equações alométricas e índice de vegetação. **Scientia Florestalis**, v. 42, n. 102, p. 289–298, 2014.

LIU, W.T.H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. 2015. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=YNtCQAAQBAJ>. Acesso em: 10 abr. 2019.

MADRID, Raphael Martins de. **Sistema de transporte via UAV (drone) para ressuprimento de cervejas craft entre centros de distribuição no Rio de Janeiro**. Monografia (TCC Curso de Agronomia) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

MARTELLO, Maurício; FIORIO, Peterson Ricardo; VETTORAZZI, Carlos Alberto; BARROS, Pedro Paulo da Silva; TAVARES TIAGO RODRIGUES SEIXAS, Hugo Tameirão. Utilização de imagens aéreas obtidas por rpa no monitoramento inicial de eucalyptus sp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. **Anais [...]** São Paulo: USP/ESALQ, 2015.

MENESES, Paulo Roberto Meneses; ALMEIDA, Tati. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: UnB, 2012.

MIKANI, Malcon Miranda. **Arquitetura de software para otimização do uso de aeronaves remotamente pilotadas na agricultura de precisão utilizando raciocínio baseado em casos**. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada.) Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017.

MOLIN, José Paulo; AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão**. Oficina de Textos, 2015. Disponível em: [https://books.google.com.br/books?id=MX7jCgAAQBAJedq=hist%C3%B3rico+da+agricultura+de+precis%C3%A3o&lr=&hl=pt-BR&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.br/books?id=MX7jCgAAQBAJedq=hist%C3%B3rico+da+agricultura+de+precis%C3%A3o&lr=&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s). Acesso em: 24 mar. 2019.

MOLIN, José Paulo. **Agricultura de precisão: números do mercado brasileiro**. Boletim técnico número 3, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/>. Acesso em: 24 mar. 2019.

MONTEIRO, Lucas Romualdo. **Otimização de um sistema de transportes de medicamentos via UAV (drone) entre hospitais no Rio de Janeiro**. Monografia (TCC — Curso de Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016..

MORAES, Elisabete Caria de. **Fundamentos do sensoriamento remoto**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. 78 p.

MOREIRA, M. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2005. 200 p.

PEREIRA, Luis Flávio; GUIMARÃES, Ricardo Morato Fiúza; MENDES, Raphael Rivadávia. Integrando geotecnologias simples e gratuitas para avaliar

usos/coberturas da terra: Qgis e google earth pro. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 3, p. 250–264, 2018.

PIRES, João Leonardo Fernandes; CUNHA, Gilberto Rocca da; PASINATO, Aldemir Pasinato; FRANÇA, Solange; RAMBO, Lisandro. **Discutindo agricultura de precisão – aspectos gerais**. Passo Fundo: Embrapa Trigo, 2004. 18 p.

POTIC, Ivan; CURCIC, Nina; POTIC, Milica; RDOVANOVIC, Milan. Remote sensing role in environment stress analysis: East serbia wildfires case study (2007-2017). **Journal of the Geographical Institute' Jovan Cvijic**, v. 67, n. 3, p. 249–264, 2017.

SCHELLBERG JÜRGEN HILLB, Michael J.; GERHARDSC ROLAND ROTHMUNDD, Matthias; BRAUNE, Matthias. Precision agriculture on grassland: Applications, perspectives and constraints. **European Journal of Agronomy**, v. 29, n. 1, p. 59–71, 2008.

SENGER, Marina. **Nitrogênio, regulador de crescimento e densidade de semeadura afetando a produtividade e a qualidade industrial de trigo**. Dissertação (Mestrado Pós-Graduação em Agronomia) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2017..

SHIRATSUCHI, Luciano S.; BRANDÃO, Ziany N.; VICENTE, Luiz E.; VICTORIA, Daniel de C.; DUCATI, Jorge R.; OLIVEIRA, Ronaldo P. de; VILELA, Marina de F. Sensoriamento remoto conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: \_\_\_\_\_. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. cap. 1, p. 58–73.

SILVA, Jadson Freire; PAZ, Yenê Medeiros; SILVA, Pedro Paulo Lima; PEREIRA, João Antonio dos Santos; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra Candeias. Índices de vegetação do sensoriamento remoto para processamento de imagens na faixa do visível (rgb). **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 228–239, 2019.

SILVA, M. T.; LEMOS, O. L. Índices de vegetação do sensoriamento remoto para processamento de imagens na faixa do visível (rgb). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 27. **Anais [...]** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2017. p. 430–433.

STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st century (keynote address for the scientific session on precision agriculture, presented at ageng 2000, 2). **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 1, n. 76, p. 267–275, 2000.

STAFFORD, J. V. Implementing precision agriculture in the 21st century. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v. 76, n. 1, p. 267–275, 2000.

TRINDADE, Filipe Silveira; ALVES, Marcelo de Carvalho; NORTZOLD RAFAEL ANDRADE, Igor Carvalho de Pozza Adélia Aziz Alexandre. Relação espectro-temporal de índices de vegetação com atributos do solo e produtividade da soja. **Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 62, n. 1, p. 1–1, 2019.

WANG, X.; WANG, M.; WANG, S.; WU, Y. Extraction of vegetation information from visible unmanned aerial vehicle images. **Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering**, v. 31, n. 1, p. 152–159, 2015.

WELTER, André; STATELLA, Thiago; LIMA, Geneci Marques de. Distorções causadas pela falta de calibração radiométrica e efeitos atmosféricos na análise de dados de sensoriamento remoto orbital. **Geografia**, v. 45, n. 2, p. 225–230, 2020.

WOEBBECKE, D. M. Woebbecke; MEYESR, G. E.; BARGEN, K. Von; MORTENSEN, D. A. Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions. **Trans ASAE**, v. 38, n. 1, p. 259–269, 1995.

**APÊNDICES**

**APÊNDICE A. Dados obtidos de VDVI 1.**

<b>Coordenadas</b>		<b>Ponto</b>	<b>VDVI</b>
-52.68827127004171018	-26.17579922555354699	1	-0.347908616
-52.68827667257236413	-26.17578035825418326	2	-0.153412983
-52.68826894279774109	-26.17579033215692874	3	-0.085525177
-52.68826761294403838	-26.17581169293197974	4	-0.319071114
-52.68827467779181717	-26.17580279953536149	5	-0.315959185
-52.6882715193892821	-26.17581393706009507	6	-0.30704087
-52.68827060511486593	-26.17578235303473377	7	-0.093891285
-52.68827584141380527	-26.17579340744361005	8	-0.243283853
-52.68826952460873514	-26.17580670598060522	9	-0.078853652
-52.68826570127934872	-26.17581501756622586	10	-0.323928744
-52.68832765116163586	-26.1750860411744668	11	-0.268262118
-52.68832356463986599	-26.17511018016354996	12	-0.314395487
-52.68832061854276816	-26.17509792059822971	13	-0.142828807
-52.68832033343660015	-26.17512281987043465	14	-0.307675987
-52.68831643698560896	-26.17511388654376603	15	-0.316431195
-52.68832261428596553	-26.17508965251929354	16	-0.066914715
-52.68832670080773539	-26.17509649506737901	17	-0.218945593
-52.68831567670248717	-26.17511977873795104	18	-0.290639609
-52.68832451499376646	-26.17511493193305583	19	-0.269652814
-52.68832033343660015	-26.17508613620985969	20	-0.189919919
-52.68838508657503183	-26.17469659889539813	21	-0.28695789
-52.6883805706493078	-26.17470055033040666	22	-0.251680046
-52.6883781245228775	-26.17471560341616055	23	-0.286143035
-52.68838414575717621	-26.17471729688830706	24	-0.284471631
-52.68837850085002117	-26.17472877486619609	25	-0.069823183
-52.68837549023286471	-26.17472087199617548	26	-0.206006855
-52.68837756003215844	-26.17469358827824522	27	-0.149068773
-52.68837887717716484	-26.17472275363189382	28	-0.236077026
-52.68838414575717621	-26.17470544258327791	29	-0.3229509
-52.6883830167757452	-26.17472576424904318	30	-0.156472206
-52.68836401225497923	-26.17464391309526306	31	-0.112619497
-52.68836946899856599	-26.17465407392814569	32	-0.164457038
-52.68836514123641024	-26.17466479925174383	33	-0.239343092
-52.68836081347425448	-26.17466969150461509	34	-0.23606135
-52.68836758736284764	-26.17467853519249488	35	-0.065365061
-52.6883619424556926	-26.17465708454529505	36	-0.262227714
-52.68837040981642872	-26.17464410125883489	37	-0.14352563
-52.68836269510997994	-26.17468022866464139	38	-0.123183012
-52.68836627021784125	-26.17464880534813076	39	-0.14549765
-52.68836796368999131	-26.17466893885032775	40	-0.22085543

Fonte: A autora, 2021.

**APÊNDICE B. Dados obtidos de VDVI 2.**

<b>Coordenadas</b>	<b>Ponto</b>	<b>VDVI</b>
-52.68825649067893124 -26.17596277726357812	1	-0.236332685
-52.68825262403801446 -26.17595329775681634	2	-0.269054085
-52.68825748852174939 -26.17593521185575511	3	-0.223817095
-52.68824987997027165 -26.17595803751019545	4	-0.310599238
-52.68825748852174939 -26.17594656231779737	5	-0.305891067
-52.688252873498719 -26.17593271724870974	6	-0.181055456
-52.68825649067893124 -26.17592673019180793	7	-0.243674234
-52.68825748852174939 -26.17595679020667632	8	-0.261461824
-52.688252873498719 -26.17594219675547507	9	-0.320401341
-52.68825911001632534 -26.17593059683272472	10	-0.09104
-52.68829178936860558 -26.17567477488046279	11	-0.307534337
-52.68828917003120438 -26.17566305022736017	12	-0.260694772
-52.6882939097845906 -26.17564671055122716	13	-0.235664234
-52.68828480446888562 -26.17567240500376968	14	-0.18476069
-52.68828680015451482 -26.17565282233848478	15	-0.143615887
-52.68828966895261345 -26.17564222025855258	16	-0.162246138
-52.68829353559353024 -26.17565519221517434	17	-0.295577616
-52.68828904530085566 -26.17565743736151163	18	-0.200681701
-52.68828642596346157 -26.17564621162981808	19	-0.178134456
-52.68828580231169667 -26.17567764367856142	20	-0.271584213
-52.68833307511519592 -26.17519213078281837	21	-0.292049229
-52.68832509237265782 -26.17521071560528867	22	-0.260462374
-52.68833095469921091 -26.17521233709986817	23	-0.224706128
-52.68832372033878642 -26.17522268971909938	24	-0.31657505
-52.68832708805829412 -26.17522905096705799	25	-0.305670917
-52.68832721278864284 -26.17519774364866691	26	-0.324255198
-52.68833045577780183 -26.17519924041289059	27	-0.181766436
-52.68832746224934738 -26.17519125767035248	28	-0.14310652
-52.68832683859758959 -26.17521508116761453	29	-0.182841375
-52.68832197411385465 -26.17522867677600118	30	-0.256085038
-52.68835321906708913 -26.17484089011112758	31	-0.030112822
-52.68834635889771789 -26.17486009858535922	32	-0.299265951
-52.68835097392074829 -26.17486758240648825	33	-0.24869816
-52.68835222122427098 -26.17485610721409017	34	-0.269095123
-52.68834648362807371 -26.17487444257585949	35	-0.269390076
-52.68834935242617235 -26.17484014172901396	36	-0.057400893
-52.68835521475272543 -26.17485124273035524	37	-0.262759358
-52.68835272014568005 -26.17487431784550722	38	-0.229790047
-52.68835109865110411 -26.17484750081979072	39	-0.317563713
-52.6883471072798315 -26.17485061907859389	40	-0.198836908

Fonte: A autora, 2021.

**APÊNDICE C. Dados obtidos de ExG.**

<b>Coordenadas</b>		<b>Ponto</b>	<b>ExG</b>
-52.68823494351062919	-26.17623213245902392	1	0.407614887
-52.68822970483584101	-26.17624747429233167	2	0.176826239
-52.68822858226267414	-26.17623662275169849	3	0.491806358
-52.68823332201605325	-26.17625969786683626	4	0.170135871
-52.68823456931956883	-26.17624061412296399	5	0.166709453
-52.68823057794830333	-26.17622452390754262	6	0.338258684
-52.68822758441985599	-26.17626144409176803	7	0.303765476
-52.68823619081415188	-26.17622365079507674	8	0.344176501
-52.68823307255534871	-26.17625159039394944	9	0.262175739
-52.68822758441985599	-26.17625745272049897	10	0.304456651
-52.68824030691578031	-26.17608002379462562	11	0.156038582
-52.688241554219303	-26.17609474197617558	12	0.149790525
-52.68823793703909075	-26.17610509459539969	13	0.1099087
-52.68824317571387894	-26.17610833758455513	14	0.157022998
-52.68824567032092432	-26.17608626031223196	15	0.197274148
-52.68824579505127303	-26.17607727972687925	16	0.31107381
-52.68824379936564384	-26.176103847291877	17	0.105856113
-52.68823681446592389	-26.17609810969567974	18	0.134600952
-52.68823993272472705	-26.17608775707645563	19	0.16565159
-52.68823881015155308	-26.17607553350194749	20	0.450591207
-52.68828970013521484	-26.17559856463548229	21	0.186062887
-52.68829231947260894	-26.17561902041322952	22	0.043847639
-52.68828957540486613	-26.17562338597555183	23	0.04011856
-52.68829730868669969	-26.17559407434280772	24	0.337320268
-52.68829618611352572	-26.17560904198506222	25	0.146178558
-52.68829194528155568	-26.17559008297153866	26	0.072458573
-52.68829356677613163	-26.1756235107059041	27	0.100817516
-52.68829019905662392	-26.17560729576013046	28	0.210510388
-52.68829331731542709	-26.17560417750132729	29	0.131607324
-52.68828907648345705	-26.17561290862597545	30	0.081774019
-52.68836528672859743	-26.17489583383170526	31	0.207323179
-52.68836004805380924	-26.17491953259860438	32	0.262240648
-52.68836229320015008	-26.17493050886958983	33	0.332318276
-52.68836678349282465	-26.17491678853085801	34	0.176460788
-52.68836154481803646	-26.17490967890078934	35	0.101212531
-52.68836703295352919	-26.17490481441705796	36	0.096306294
-52.68836154481803646	-26.17490132196719799	37	0.178598031
-52.68836990175162782	-26.17489246611219755	38	0.168500006
-52.68836204373944554	-26.17489196719078848	39	0.123919874
-52.68836279212155915	-26.17492389816093024	40	0.097357959

Fonte: A autora, 2021.