



**ANA CAROLINA AZEVEDO VILELA**

**ANÁLISE DA MATURAÇÃO DE AMENDOIM EM  
DIFERENTES ÉPOCAS DE SEMEADURA POR MEIO DE  
IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

**LAVRAS-MG**

**2022**

**ANA CAROLINA AZEVEDO VILELA**

**ANÁLISE DA MATURAÇÃO DE AMENDOIM EM DIFERENTES ÉPOCAS DE  
SEMEADURA POR MEIO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Agronomia, para a  
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Adão Felipe dos Santos

Orientador

Thiago Orlando Costa Barboza

Coorientador

**LAVRAS-MG**

**2022**

**ANA CAROLINA AZEVEDO VILELA**

**ANÁLISE DA MATURAÇÃO DE AMENDOIM EM DIFERENTES ÉPOCAS DE  
SEMEADURA POR MEIO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Agronomia, para a  
obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 23 de setembro de 2022

Me. Marcelo Henrique Avelar Mendes - UFLA

Eng. Agrônomo, Marcelo Araújo Junqueira Ferraz - UFLA

Prof. Dr. Adão Felipe dos Santos

Orientador

Thiago Orlando Costa Barboza

Coorientador

**LAVRAS-MG**

**2022**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Universidade da Geórgia por conceder os dados para condução e escrita deste trabalho, de modo especial, ao Prof. Dr. George Vellides e a Prof. Dra. Cristiane Pilon. E também a Georgia Peanut Commision que financiou a execução do trabalho.

## Resumo

Uma das principais dificuldades com a cultura do amendoim é identificar o momento ideal para colheita. A colheita tardia ou antecipada acarreta em perdas na qualidade dos grãos, na quantidade no momento do arranquio e, conseqüentemente, em menor retorno financeiro. O sensoriamento remoto é utilizado em diversas culturas para auxiliar no gerenciamento agrícola e pode ser uma alternativa para facilitar a análise da maturação do amendoim de forma mais confiável e não destrutiva. Nesse contexto, objetivou-se com o trabalho utilizar índices de vegetação associados aos graus dias acumulados (GDA) para prever a maturação do amendoim em duas épocas de semeadura. O trabalho foi realizado em uma área experimental no estado da Geórgia, nos Estados Unidos, dividida em duas épocas de semeadura, com intervalo de 14 dias entre a primeira e a segunda. Foram coletadas informações semanais da cultura, iniciando aos 90 dias e indo até próximo da colheita, obtendo ao final os valores do índice de maturação do amendoim (PMI) para cada época avaliada. Voos com drone e câmera multiespectral foram realizados durante todas as épocas de coleta das plantas, e foram calculados os valores de graus dias acumulados (GDA). Diferentes índices de vegetação foram obtidos por meio das imagens multiespectrais em cada data de coleta. Os melhores índices de vegetação foram selecionados pela força de correlação de Pearson com o PMI e os modelos por meio dos valores de  $R^2$  e RMSE. O Cigreen, GNDVI, SR, NLI e NDVI foram os que apresentaram os melhores valores, sendo a correlação negativa, conforme o PMI aumentava o valor do índice diminuía, e na segunda época de semeadura foram obtidos os melhores ajustes das equações. Os resultados demonstraram potencial na utilização dos índices de vegetação para prever a maturação do amendoim em ambas as épocas de semeadura. O Cigreen e GNDVI obtiveram melhores resultados em relação ao desempenho dos modelos lineares, no entanto na segunda época os resultados foram melhores do que na primeira.

**Palavras-chave:** Sensoriamento Remoto. *Arachis Hypogaea* L. Drones. Índices de Vegetação. NDVI.

## ABSTRACT

One of the main difficulties with the peanut crop is identifying the ideal time for harvesting. Late or early harvest results in losses in grain quality, in quantity at the time of plucking and, consequently, in lower financial returns. Remote sensing is used in several crops to assist in agricultural management and can be an alternative to facilitate the analysis of peanut maturation in a more reliable and non-destructive way. In this context, the objective of this work was to use vegetation indices associated with accumulated degrees days (aGDD) to predict peanut maturation in two sowing seasons. The work was carried out in an experimental area in the state of Georgia, in the United States, divided into two sowing seasons, with an interval of 14 days between the first and the second. Weekly crop information was collected, starting at 90 days and going until close to harvest, obtaining at the end the values of peanut maturation index (PMI) for each evaluated season. Flights with drone and multispectral camera were performed during all times of plant collection, and the accumulated degree days (aGDD) values were calculated. Different vegetation indices were obtained through multispectral images on each collection date. The best vegetation indices were selected using Pearson correlation strength with the PMI and the models using the  $R^2$  and RMSE values. Cigreen, GNDVI, SR, NLI and NDVI were the ones that presented the Best values, being the negative correlation, as the PMI increased, the index value decreased, and in the second sowing time, the best equation adjustments were obtained. The results showed potential in the use of vegetation indices to predict peanut maturation in both sowing dates. Cigreen and GNDVI obtained better results in relation to the performance of linear models, however in the second season the results were better than in the first.

**Keywords:** Remote Sensing. *Arachis Hypogaea* L. Drones. Vegetation Indices. NDVI.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>8</b>
<b>2.1</b>	<b>Cultura do amendoim</b> .....	<b>8</b>
<b>2.2</b>	<b>Ecofisiologia</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3</b>	<b>Sistema de cultivo e época de semeadura</b> .....	<b>10</b>
<b>2.4</b>	<b>Maturação do amendoim e colheita</b> .....	<b>11</b>
<b>2.5</b>	<b>Sensoriamento remoto</b> .....	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2</b>	<b>Coletas em campo</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3</b>	<b>Coleta e cálculos de graus dias acumulados (GDA)</b> .....	<b>16</b>
<b>3.4</b>	<b>Coleta e processamento das imagens de drone</b> .....	<b>16</b>
<b>3.5</b>	<b>Cálculo e extração dos índices de vegetação (IVs)</b> .....	<b>17</b>
<b>3.6</b>	<b>Análise dos dados</b> .....	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>20</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>27</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>28</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A produção mundial de amendoim é de aproximadamente 45 milhões de toneladas. China, Índia e Nigéria são os maiores produtores, com produção de 18,2, 6,0 e 4,4 milhões de toneladas, respectivamente (USDA, 2021). Os Estados Unidos é o 4º maior produtor mundial e o maior do continente americano, com produção de 2,9 milhões de toneladas (USDA, 2021). Nos EUA, o cultivo se estende por diversos estados, sendo os principais o estado do Alabama, Flórida, Geórgia, Carolina do Norte, Carolina do Sul e Texas.

A metodologia de avaliação da maturação, mais aceita e utilizada hoje no mundo, é o Hull-Scrape junto com o quadro de maturação (WILLIAMS E DREXLER, 1981). Resumidamente, o método consiste da coleta das plantas no campo para classificação individual da coloração do mesocarpo das vagens, porém, todo esse processo de avaliação o torna destrutivo, trabalhoso e subjetivo, dependente do conhecimento do técnico para avaliação (COLVIN et al., 2014; ROWLAND et al., 2006).

A tomada de decisão de qual o período ideal para o arranquio e colheita do amendoim é um dos principais momentos em todo ciclo. Porém, por ser uma cultura com habito de crescimento indeterminado e o desenvolvimento dos frutos ocorrer abaixo do solo, a avaliação da maturação do amendoim é complexa, o que pode levar a colheita tardia ou antecipada, que acarretará em prejuízos econômicos (COLVIN, 2014; SMITH, 1950)

O sensoriamento remoto pode ser um caminho para estimar a maturação do amendoim de forma mais confiável e não destrutiva, uma vez que já é empregado em diferentes culturas para auxiliar no gerenciamento agrícola. Nesse sentido, diversas pesquisas têm estudado formas alternativas para identificar a maturação do amendoim, a fim de propor novas metodologias de avaliação da maturação e da produtividade, como a aplicação de redes neurais artificiais, índices de vegetação e graus dias acumulados (SANTOS et al. 2021; SOUZA et al. 2022).

O sensoriamento remoto dispõe de ferramentas que auxiliam no monitoramento da vegetação, como os sensores, que realizam a medição da refletância para a avaliação de diversos parâmetros biofísicos da planta. Com os valores da refletância nas diferentes bandas do espectro eletromagnético, é possível fazer cálculos aritméticos e obter diferentes índices de vegetação (IVs) (BASSOI et al., 2014; MOLIN et al., 2015), realizando a sua aplicação em diversas avaliações ao longo do ciclo da cultura.

Para que as necessidades fisiológicas da planta sejam atendidas, o dimensionamento da época de semeadura ideal é fundamental para que a produtividade não seja reduzida. Nesse

sentido, variáveis climatológicas, como temperatura e precipitação, devem atender a demanda da planta durante seu ciclo, avançando sobre os estádios fenológicos (BELL; WRIGHT, 1998). Com isso, possivelmente, a avaliação da maturação do amendoim poderia ser melhor dimensionada, a partir da data de semeadura que melhor se encaixar, tomando como base para a avaliação, índices de vegetação e climatológicos.

### **Hipótese**

Os índices de vegetação associados ao acumulado de graus dias são capazes de estimar a maturação do amendoim independente da época de plantio?

### **Objetivo**

Predizer a maturação do amendoim utilizando Índices de Vegetação.

Analisar quais índices de vegetação são melhores para identificar a maturação do amendoim nas diferentes épocas de plantio.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Cultura do amendoim**

O amendoim é originário da América do Sul, encontrado principalmente entre o Brasil central e o Paraguai (GREGORY et al., 1980), pode ser cultivado numa ampla faixa de latitude, variando desde 30° N a 30° S, e altitudes de até 1000 metros (SANTOS et al., 2009). Pertence ao gênero *Arachis* o qual possui mais de 80 espécies silvestres, sendo que o Brasil, dentre os países de ocorrência desse gênero, é o que contém o maior número de espécies (KRAPOVICKAS; GREGORY, 1994).

O amendoim foi descrito por Lineu, em 1773. *Arachis* vem do grego, “arachos”, se referindo à planta daninha e *hypogaea* tem o significado de aposento subterrâneo (FREITAS et al, 2003). A espécie *Arachis hypogaea* L. possui a maior importância econômica, sendo dividida em duas subespécies principais, *hypogae* e *fastigiata*. A primeira é constituída pelo grupo, caracterizado agronomicamente, Virginia e a segunda que se encontram os grupos Valência e Spanish, com características e hábitos diferentes (GREGORY et al., 1951; JUDD et al., 1999 citado por BULGARELLI, 2008).

O grupo Virginia possui hábito de crescimento, geralmente, rasteiro (runner), com ramo principal caracterizado por não conter inflorescências, apresentando ramificações alternadas, sendo os primeiros nós da base dos ramos laterais vegetativos. As vagens

formadas são grandes com 1 ou 2 sementes e apresenta ciclo tardio (entre 120 e 160 dias) (CONAGIN, 1955; SANTOS et al., 1997).

Os grupos Valência e Spanish possuem hábito de crescimento ereto, o ramo principal com inflorescência e ramificações sequenciais, os primeiros nós da base dos ramos laterais são reprodutivos e apresenta ciclo curto (90 a 110 dias). O grupo Valência, diferente do Spanish, possui frutos longos, com 3 a 6 sementes médias por vagem, enquanto, o Spanish, diferente do Valencia, possui poucos ramos e frutos pequenos (2 sementes pequenas por vagem) (CONAGIN, 1955; SANTOS et al., 1997).

O amendoim cultivado é uma planta dicotiledônea, pertencente à família das leguminosas (Fabaceae), herbácea, anual, com caules eretos ou prostrados, com hábito de crescimento indeterminado e altura da haste principal variando de 12 centímetros a 60 centímetros. É também uma planta autógama, com baixa porcentagem de cruzamentos naturais e possui cleistogamia (NOGUEIRA et al., 2013), ou seja, dá-se a autofecundação antes da abertura das flores.

Após a fecundação das flores, ocorre a formação de uma estrutura chamada ginóforo, o qual tem geotropismo positivo, isto é, ele cresce em direção ao solo onde a planta insere a estrutura, pois, com a presença de luz, não ocorre a formação das vagens. Por isso, essa estrutura conduz os óvulos da flor, que está na parte aérea, até a parte subterrânea, onde ocorre o desenvolvimento dos frutos e grãos (SMITH, 1950; ZHU et al., 2013).

As sementes do amendoim possuem sabor agradável, alto valor nutricional, ricas em óleo e proteínas. Devido a essas características, o amendoim é consumido em todo o mundo, possui uma grande diversidade de consumo e comercialização e grande valor econômico. Pode ser consumido *in natura* ou torrado, muito utilizado na confeitaria para preparo de tortas, bolos, doces e biscoitos e na indústria alimentícia para fabricação de pastas e extração de óleo ou ainda para alimentação animal (SANTOS et al., 2009).

## **2.2 Ecofisiologia**

O amendoim apresenta boa adaptação em diversas regiões, sendo cultivado em quase todos os países do mundo. Apesar disso, a cultura é bastante influenciada por fatores ambientais (PEZZOPANE, 2009). Para o bom crescimento, desenvolvimento e elevada produtividade, o amendoim depende da temperatura, disponibilidade de água e radiação solar, além da exigência nutricional.

A temperatura adequada para o cultivo varia entre 25°C a 35°C. No período de germinação, temperaturas entre 32°C e 34°C favorecem todo o processo, nessas condições o amendoim leva aproximadamente 4 a 5 dias para germinar, porém temperatura abaixo de 18°C inibem a germinação (NOGUEIRA et al., 2005). No período de frutificação a temperatura ideal é 28°C e não deve ultrapassar os 31°C, pois altas temperaturas durante esse período reduz a quantidade de vagens, devido ao abortamento de flores (KETRING, 1984).

No ciclo do amendoim, suas necessidades hídricas variam entre 500 a 700 milímetros bem distribuídos (DOORENBOS; KASSAM, 1979). Algumas características da cultura ajudam na tolerância ao déficit hídrico, como por exemplo, o seu sistema radicular extenso e ramificado, com raiz pivotante, podendo atingir grandes profundidades, de acordo com a área de cultivo e as condições impostas (BOOTE et al., 1982).

Entretanto, dependendo da intensidade e duração do estresse hídrico e do estágio fenológico da cultura, consequências negativas maiores do que o esperado são observadas, principalmente alterações nas reações metabólicas da planta, consequentemente, prejudicando o desenvolvimento das plantas, dos frutos e diminuindo a produtividade (SILVA et al., 2000).

### **2.3 Sistema de cultivo e época de semeadura**

Nos Estados Unidos, o amendoim geralmente é produzido usando o preparo de solo convencional ou Rip Strip (BOGATI, 2021), equipamento que realiza o preparo do solo apenas na linha onde será semeada a cultura principal, objetivando as premissas do cultivo mínimo. O uso de práticas conservacionistas vem aumentando no país por causa, inicialmente, da economia de tempo, reduzida mão de obra e diminuição de custos, por outro lado, devido à retenção de água e do aumento de resíduos de plantas, ocasionados pelo sistema, o surgimento de doenças tende a aumentar, dificultando ainda mais o cultivo (BOCKUS et al, 1998; JOHNSON et al., 2001).

A época de plantio é um dos fatores mais importantes para as necessidades fisiológicas da cultura do amendoim ao longo do seu ciclo (NETO et al., 2012). No sudeste dos Estados Unidos, o amendoim é semeado entre abril e junho. Na Geórgia, a melhor época para semeadura inicia-se no período de 10 a 31 de maio, visto que, após o início de maio, as temperaturas estão mais altas comparadas com o mês de abril, favorecendo a germinação e crescimento, reduzindo a suscetibilidade a pragas e doenças como tripés (Thysanoptera) e *Tomate Spot Wild Virus* (TSWV), nos estádios iniciais (MORSELLO et al., 2010; TODD et al., 1995; SRINIVASAN et al., 2017).

De ano para ano, a época de semeadura pode mudar ligeiramente, dependendo da temperatura e precipitação, com a finalidade de diminuir a severidade e dispersão de algumas pragas e doenças, bem como, conciliar o período chuvoso com o ciclo da cultura (MORSELLO et al., 2010).

#### **2.4 Maturação do amendoim e colheita**

Um dos principais desafios da cultura do amendoim é avaliar a maturação das vagens e determinar o momento ideal para colheita. Diversos métodos já foram propostos para determinar a maturação. Porém, o desenvolvimento subterrâneo do amendoim e o ciclo indeterminado da planta, ou seja, vagens em diferentes estádios de maturação na mesma planta, tornam o processo complexo (SOUZA, 2021).

O método mais utilizado, atualmente, é o Hull-Scrape em conjunto com o quadro de maturação (WILLIAMS E DREXLER, 1981). O método consiste na coleta aleatória de aproximadamente 10 plantas e a remoção de aproximadamente 20 vagens de amendoim por planta. Com uma amostra de 200 vagens, ocorre a remoção do exocarpo e exposição do mesocarpo, por meio da lavagem sobre alta pressão. À medida que as vagens vão amadurecendo, a cor do mesocarpo vai variando, sendo assim, no quadro de maturação são encontradas as colorações, da esquerda para a direita, branco, amarelo 1, amarelo 2, laranja, marrom e preto, para a análise e classificação das colorações correspondentes do mesocarpo. A partir da contagem do número de vagens em cada coluna de cada cor, ocorre o cálculo do número de vagens maduras, por meio da contagem do número de vagens marrons e pretas e a divisão pelo número total de vagens da amostra, resultando nos valores de PMI (COLVIN, 2014; ROWLAND et al. 2006).

Após serem posicionadas no quadro, as vagens formam uma curva que quanto mais deslocada para as colunas a direita estiver, mais próxima está a colheita. Quando pelo menos três vagens estiverem classificadas na coluna marrom e mais três na preta, alcança-se a linha de projeção e é possível calcular e estimar o momento para o arranquio (SANTOS, 2019).

Esse método, apesar de ser considerado o mais adequado para avaliar a maturação e determinar o melhor momento para o arranquio, possui várias limitações. A necessidade de amostragens e de vários processos e avaliações individuais e por depender da capacidade do profissional de determinar a classe de cores apropriada, tornam o método destrutivo, trabalhoso e subjetivo, não contabilizando a variabilidade na lavoura (COLVIN, 2014).

Antes de iniciar a etapa de colheita, a capacitação quanto ao arranquio do amendoim é fundamental para evitar as perdas, não apenas os aspectos relacionados à planta, mas também aqueles relacionados à máquina. Para que o processo ocorra e as perdas sejam menores, regulagens específicas na máquina devem ser realizadas, além do acompanhamento das condições climáticas e do teor de água no solo.

O momento certo para fazer a colheita é quando 70% das vagens atingirem a maturação fisiológica (SANTOS et al., 2009). A análise incorreta da maturidade do amendoim pode acarretar na colheita antecipada ou tardia. Quando a colheita ocorre antecipadamente, afeta a qualidade do amendoim, o teor de óleo é menor e ocorre a redução na qualidade (FINCHER et al., 1980). Já na colheita tardia há maiores perdas de vagens, pois o pedúnculo começa a deteriorar, em consequência, o retorno financeiro é menor (ROWLAND et al., 2006).

## **2.5 Sensoriamento remoto**

O sensoriamento remoto compreende um conjunto de técnicas que possibilita obter informações sobre determinados alvos sem o contato direto, dispendo de aparelhos, os sensores captam e registram as interações entre a energia eletromagnética e o objeto da superfície terrestre (FLORENZANO, 2007).

Os primeiros estudos sobre sensoriamento remoto para uso na agricultura iniciaram na década de 1970. Os Estados Unidos foi o primeiro país a lançar o satélite da série Landsat ainda na mesma década e a utilizar os dados obtidos pelo satélite para aplicação de técnicas de sensoriamento remoto. Desde então, tornando o país com maior progresso e crescimento na obtenção de estatísticas agrícolas por meio de dados obtidos por sensoriamento remoto (FORMAGGIO et al., 2017).

Outros países também buscaram desenvolver essa tecnologia e obter informações ambientais do planeta Terra, destacando-se os países como Canadá, China, Brasil, Argentina e União Europeia (FORMAGGIO et al., 2017). Além dos satélites, as imagens de sensores remotos podem ser obtidas a partir de outras plataformas como aeronaves, máquinas agrícolas autopropelidas, drones, entre outros.

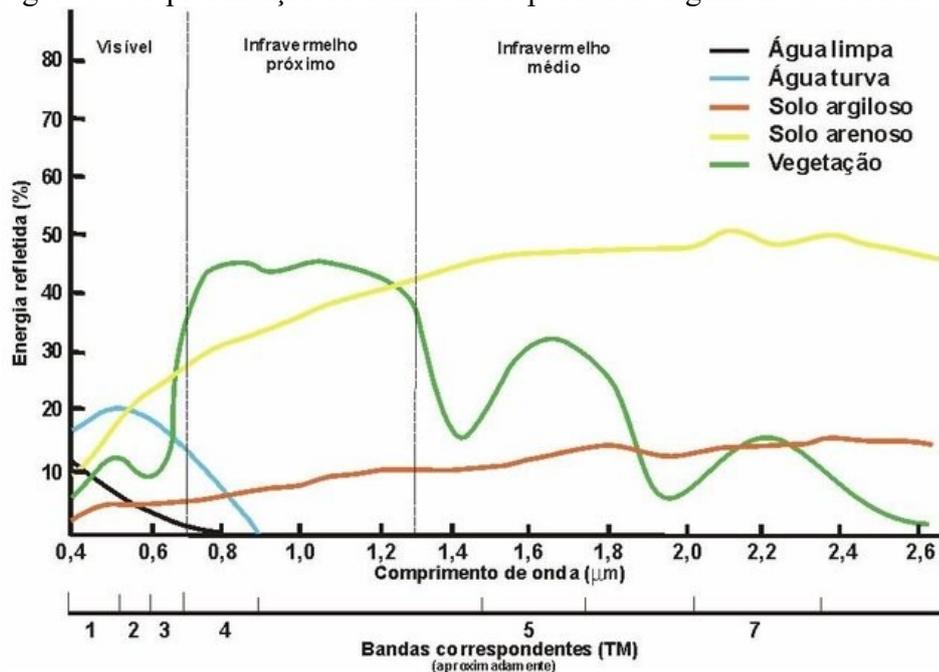
Veículos aéreos não tripulados (VANT's), também conhecidos popularmente como drones, são cada vez mais utilizados em áreas agrícolas para monitoramento e análise das lavouras. Dentre algumas vantagens de sua utilização, destacam-se os menores custos de coleta de dados e de obtenção de imagens aéreas, bem como, melhor resolução espacial da

imagem, com maior nível de detalhamento, melhor resolução temporal, no quesito dias e facilidade de acoplar novos equipamentos como sensores multiespectrais (LONGHITANO, 2010).

Os VANT's auxiliam em vários aspectos na agricultura. Com sensores acoplados, é possível obter informações de forma não destrutiva por meio da determinação das quantidades de energia eletromagnética refletida ou emitida pelo alvo desejado. Com essas informações é possível, por exemplo, monitorar o crescimento das plantas, avaliar a produtividade e a presença de pragas e doenças, controlar plantas daninhas, avaliar índice de área foliar, biomassa, dentre outros fatores (BENDIG et al., 2015; CUNLIFFE et al., 2016; TIAN et al., 2016).

Dependendo da origem da energia que interage no processo de sensoriamento, os sensores remotos podem ser classificados de dois modos diferentes, sensores ativos ou sensores passivos. Os sensores ativos são aqueles que possuem uma fonte própria de luz, ou seja, produzem a sua própria radiação que interage com o alvo. Já os sensores passivos dependem da luz externa para atuar, pois não possuem fonte própria de energia, geralmente a luz solar é utilizada para que o sensor possa captar a refletância de cada objeto, seja do solo, da água, vegetação ou rochas (MORAES, 2002). Dessa maneira, formando o que conhecemos por assinatura espectral, ou seja, as características de reflectância de cada alvo ao longo do espectro eletromagnético (FIGURA 1).

Figura 1 - Representação da assinatura espectral de alguns alvos terrestres.



Fonte: Florenzano (2002).

Com os dados da refletância de cada intervalo de comprimento de onda específico (bandas) do espectro eletromagnético, é possível associá-los, por meio dos índices de vegetação (IVs), as características da planta, durante seus estádios de crescimento e desenvolvimento, e obter informações a respeito da lavoura. Os índices de vegetação são gerados por meio de cálculos matemáticos a partir dos dados de refletância nas diferentes bandas espectrais (MOLIN et al., 2015; BASSOI et al., 2014).

Um dos IVs mais conhecido e utilizado é o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1974). Há diversos estudos com esse índice que mostraram sua correlação com porcentagem de cobertura do solo, crescimento da vegetação, atividade fotossintética, dentre outras características agrônômicas (MENESES et al., 2012; MOLIN et al., 2015).

Outros IVs também foram desenvolvidos para serem aplicados com outras finalidades ou em combinação com o NDVI para maior precisão dos dados. O Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) é o resultado de uma modificação do NDVI e usado de forma semelhante. Foi criado por Huete (1988) que teve o objetivo de minimizar a interferência da cor do solo nos resultados obtidos (Huete, 1988). O GNDVI, que também é uma modificação do NDVI, é usado principalmente para avaliar a variação da quantidade de biomassa (GITELSON et al., 1996). O NDRE tem menor predisposição à saturação comparado ao NDVI e possui melhores resultados para vegetação já estabelecida (TASKOS et al., 2015; CARVALHO et al., 2019). Os IVs Cigreen e Cireg são índices de clorofila criados por Gitelson (2003; 2005). O MSR e SR têm sido utilizados, principalmente, para estimar IAF (HABOUDANE, 2004; TURNER et al., 1999). O MNLI e NLI são índices não lineares desenvolvidos por Gong (2003) e Goel e Qin (1994), respectivamente. O IV seguido de “reg”, como MNLIreg, NLIreg e SRreg, indica que a banda do vermelho foi substituída pela banda RedEdge.

Além dessas aplicações dos IVs, as quais auxiliam no gerenciamento agrícola, há trabalhos com o objetivo de prever a maturação do amendoim via sensoriamento remoto e de encontrar os melhores índices de vegetação que possuem correlação com a maturação, podendo ser uma alternativa para facilitar a análise da maturação do amendoim, de forma que não seja subjetiva nem destrutiva.

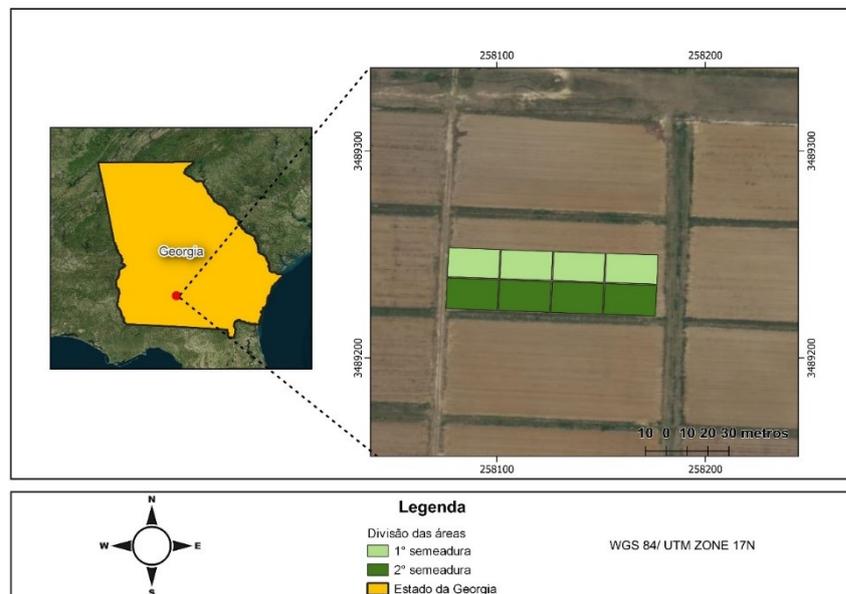
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Área de estudo**

O experimento foi conduzido no campo experimental Lang Farm da Universidade da Geórgia, localizado no estado da Geórgia, EUA, (FIGURA 2). O sul do estado da Geórgia apresenta clima subtropical classificado como Cfa, com verões quentes e precipitação média anual de 1346 mm (KOPPEN; GEIGER, 1928).

O experimento foi dividido em duas épocas de semeadura, a primeira ocorrendo no dia 21 de maio e a segunda semeadura no dia 04 de junho de 2019. A cultivar trabalhada na área, nas duas épocas, foi a do tipo runner Geórgia-06G, semeada no espaçamento de 0.90 m em linha simples e sob sistema de irrigação por pivô lateral. A cultivar possui ciclo de 140 dias aproximadamente.

Figura 2 – Mapa de localização das parcelas experimentais.



Fonte: Do autor (2022).

Os tons de verde marcaram as áreas trabalhadas, sendo que a cor mais clara representa a primeira semeadura e a coloração mais escura a segunda semeadura. Na primeira semeadura, a área total foi de 1378,29 m<sup>2</sup>, dividida em 4 parcelas com área média de cada parcela de 344,57 m<sup>2</sup> para estudo. Na segunda semeadura, a área total trabalhada foi de 1460,53 m<sup>2</sup>, dividido em 4 parcelas de 365,13 m<sup>2</sup>.

### 3.2 Coletas em campo

As coletas, para a primeira época de semeadura, foram realizadas nas 4 parcelas, uma vez por semana, durante seis semanas gerando ao final 24 análises de PMI. Na segunda época

de semeadura, foram realizadas coletadas uma vez por semana durante 7 semanas, nas 4 parcelas, gerando no total de 28 análises de PMI. Foram coletadas de 8 a 13 plantas para cada parcela amostral e para cada época de semeadura, totalizando 200 vagens em cada ponto amostral.

Na sequência, as plantas foram levadas para o laboratório de fisiologia de amendoim da Universidade da Geórgia, ocorrendo a análise da maturação do amendoim, mediante o uso do método *Hull-Scrape*, com a lavagem sobre alta pressão das vagens removendo o exocarpo e expondo o mesocarpo. Na sequência foram feitas as classificações das vagens no quadro de maturação e ao final calculando os valores de PMI (índice de maturação do amendoim), variando de 0 a 1, valores próximos a 1 indicam a maturação, porém, para fins práticos, adota-se os valores de 0,70 até 0,75 (ROWLAND et al. 2006; WILLIAMS, DREXLER, 1981).

### 3.3 Coleta e cálculos de graus dias acumulados (GDA)

Para realização do cálculo de GDA é necessária a coleta de dados sobre a temperatura mínima e máxima diária ao longo dos dias. Os dados foram adquiridos de uma estação meteorológica automática da Universidade da Geórgia próxima a área de estudo. Para acompanhar as informações de GDA, a data de semeadura de cada uma das épocas utilizadas foi inserida na plataforma online PeanutFarm, que registra de forma automática as temperaturas e informa a quantidade de GDA para cada uma das épocas. Todavia, vale ressaltar que o cálculo de GDA é realizado por meio da equação 1:

$$GDA = \frac{T_{max} + T_{min}}{2} - T_b \quad (1)$$

Em que,  $T_{max}$  é a temperatura máxima,  $T_{min}$  é a temperatura mínima e  $T_b$  é a temperatura basal inferior sendo o valor de 13,3 °C.

Para avaliação do PMI e sua variabilidade ao longo dos dias, foram plotados gráficos de Box plot em função dos graus dias acumulados (GDA).

### 3.4 Coleta e processamento das imagens de drone

A coleta dos dados espectrais da cultura ocorreu de acordo com as idas ao campo para coleta das plantas e avaliação da maturação do amendoim. O equipamento disponível era o drone quadricóptero 3DR Solo, acoplado a ele o sensor (câmera) Parrot Sequoia (Parrot

Drone SAS, Paris, França), que possui a capacidade de coletar imagens em quatro diferentes faixas do espectro eletromagnético (TABELA 1).

Tabela 1 – Descrição das bandas espectrais imageadas pelo sensor Parrot Sequoia.

<b>Descrição</b>	<b>Comprimento de onda (nm)</b>
Verde	530 – 570
Vermelho	640 - 680
Infravermelho próximo	770 – 810
<i>Red-edge</i>	730 - 740

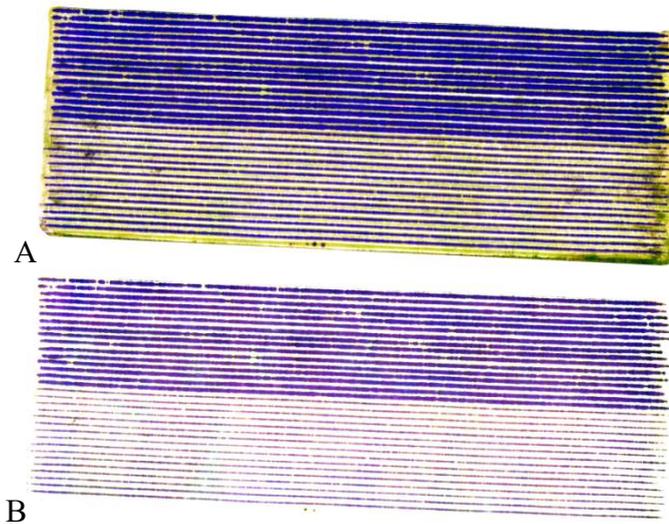
Fonte: Do autor (2022).

Os vôos foram realizados entre às 10h00 e às 14h00, a uma altura de 25 metros, com 80% de sobreposição frontal e lateral. Com resolução espacial de 2,77 centímetros por pixel. A calibração do sensor foi realizada antes do vôo e após o vôo, capturando imagens do painel de calibração. Posteriormente, os ortomosaicos de cada área foram gerados utilizando o software Pix4Dmapper (Pix4D AS, Lausanne, Suíça). Os ortomosaicos foram criados a partir do alinhamento e eliminação das fotos que não eram úteis, passando para geração da nuvem densa de pontos e por fim o ortomosaico.

### 3.5 Cálculo e extração dos índices de vegetação (IVs)

Após a criação dos ortomosaicos, o software QGIS foi utilizado para corrigir a posição geográfica das imagens e criar o contorno da área experimental. Ao final, foi realizada a separação das bandas de cada imagem. Posteriormente, na plataforma Google Colaboratory com auxílio do script em linguagem Python, o solo foi removido, com o intuito de minimizar os efeitos da refletância no solo, no momento de extrair o valor da refletância das plantas para calcular os IVs (FIGURA 3).

Figura 3– Área experimental antes de remover o solo (A) e área experimental após remoção do solo (B).



Fonte: Do autor (2021).

A partir disso, foram calculados 13 IVs selecionados por apresentarem boas correlações com parâmetros agrônômicos, principalmente com a biomassa das plantas (SANTOS et al. 2021; TEDESCO et al. 2021). O cálculo dos IVs ocorreu por meio do software QGIS, dentro do software foi utilizada a função calculadora raster, inserindo a fórmula dos IVs (TABELA 2).

Tabela 2 – Índices de vegetação e suas equações.

Índice de Vegetação	Equação	Autor
Cigreen	$\left(\frac{NIR}{Verde}\right) - 1$	Gitelson et al. (2003)
Cireg	$\left(\frac{NIR}{RE}\right) - 1$	Gitelson et al. (2005)
GNDVI	$\frac{(NIR - Verde)}{(NIR + Verde)}$	Gitelson et al. (1996)
MNLI	$\frac{(NIR^2 - Vermelho)(1 + L*)}{(NIR^2 + Vermelho + L*)}$	Gong et al. (2003)
MNLireg	$\frac{(NIR^2 - RE)(1 + L*)}{(NIR^2 + RE + L*)}$	Santos et al. (2019)
MSR	$\frac{NIR}{(Vermelho-1)}$ $\sqrt{NIR/Vermelho + 1}$	Chen (1996)
NDRE	$\frac{(NIR - RE)}{(NIR + RE)}$	Gitelson et al. (1996)

NDVI	$\frac{(NIR - Vermelho)}{(NIR + Vermelho)}$	Rouse et al (1974)
NLI	$\frac{(NIR^2 - Vermelho)}{(NIR^2 + Vermelho)}$	Goel; Qin, (1994)
NLIreg	$\frac{(NIR^2 - RE)}{(NIR^2 + RE)}$	Santos et al. (2019)
SAVI	$\frac{(1 + L^*)(NIR - Vermelho)}{(L + NIR + Vermelho)}$	Huete (1988)
SR	$\frac{NIR}{Vermelho}$	Jordan (1969)
SRreg	$\frac{NIR}{RE}$	Santos et al. (2019)

Cigreen: Green Chlorophyll Index; GNDVI: Green Normalized Difference Vegetation Index; MNLI: Modified Non-linear Index; MSR: Modified Simple Ratio; NDRE: Normalized Difference Red Edge Index; NDVI: Normalized Difference Vegetation Index; NLI: Non-linear Index; SAVI: Adjusted Vegetation Index; SR: Simple Ratio. O IV seguido de “reg” indica que a banda do vermelho foi substituída pela banda Red Edge. \*L= 0,5.

Novamente no QGIS, foram criados 8 buffers negativos de 2 metros cada, contemplando as 8 parcelas, seu intuito é a extração dos valores centrais, sem a interferência ou coleta das parcelas vizinhas. No mesmo software, foram extraídos os valores médios da refletância dos pixels em cada parcela e em cada voo realizado, a partir da ferramenta sumário estatístico.

### 3.6 Análise dos dados

Inicialmente, os valores dos índices de vegetação e PMI observados a campo, tratando-se de dados quantitativos e objetivando encontrar algum índice que seja capaz de representar os valores de PMI, foram submetidos à correlação de Pearson ( $p < 0,001$ ). Na sequência, os resultados que apresentaram correlação superior ou igual a -0,75, foram submetidos à análise de regressão. O modelo utilizado na análise foi o linear para todos os índices de vegetação (IVs), sendo a variável dependente os valores de PMI e a variável independente os índices de vegetação.

Em seguida, os melhores modelos de regressões lineares foram escolhidos a partir do maior coeficiente de determinação e menor RMSE (erro médio da raiz quadrada). O valor de  $R^2$  mostra a porcentagem dos dados que foram explicados pelo modelo de regressão linear e os valores de RMSE, a acurácia do modelo, quanto mais próximo de 0 o seu valor, menor o

erro do modelo e para o  $R^2$ , quanto mais próximo de 1, mais preciso o modelo será. Todas as análises foram realizadas por meio do software JMP-SAS pro 14.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar o coeficiente de correlação ( $r$ ), todos os índices de vegetação apresentaram correlação negativa, inferindo que, conforme os valores dos índices de vegetação diminuem, maior será o valor de PMI, ou seja, relatando a relação inversamente proporcional entre essas duas variáveis (TABELA 3). A refletância e transmitância das plantas variam com mudanças no conteúdo de clorofila, índice de área foliar, forma do dossel e estágio fenológico (GITELSON, 2003; GITELSON, 2005; USTIN et al., 1998). Transpondo para a realidade da planta, quando esses fatores começam a diminuir ao final do ciclo, o PMI começa a aumentar, indicando que está aumentando a maturação do fruto.

Tabela 3 - Resultado das correlações dos 13 IVs com o PMI, divididos entre a primeira e segunda época de semeadura. \* valores pretos indicam correlação significativa a 1% de probabilidade e vermelhos correlação significativa a 5% de probabilidade.

Primeira época de semeadura						
Variable	By Variable	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	SignifProb
PMI	Cigreen	<b>-0.8065</b>	24	-0.9129	-0.5975	<.0001*
PMI	Cireg	-0.6625	24	-0.8411	-0.3537	0.0004*
PMI	GNDVI	<b>-0.7848</b>	24	-0.9025	-0.5582	<.0001*
PMI	MNLI	-0.4718	24	-0.7352	-0.0844	<b>0.0199*</b>
PMI	MNLireg	-0.5165	24	-0.7613	-0.1429	0.0098*
PMI	MSR	-0.6608	24	-0.8402	-0.3509	0.0004*
PMI	NDRE	-0.6581	24	-0.8388	-0.3468	0.0005*
PMI	NDVI	<b>-0.7252</b>	24	-0.8731	-0.4548	<.0001*
PMI	NLI	<b>-0.7603</b>	24	-0.8906	-0.5148	<.0001*
PMI	NLIreg	-0.4772	24	-0.7384	-0.0914	<b>0.0184*</b>
PMI	SAVI	-0.5169	24	-0.7615	-0.1433	0.0097*
PMI	SR	<b>-0.7687</b>	24	-0.8947	-0.5296	<.0001*
PMI	Srreg	-0.6625	24	-0.8411	-0.3537	0.0004*

Fonte: Do autor (2022).

Segunda época de semeadura						
Variable	By Variable	Correlation	Count	Lower 95%	Upper 95%	SignifProb
PMI	Cigreen	<b>-0.9030</b>	28	-0.9545	-0.7991	<.0001*
PMI	Cireg	<b>-0.8493</b>	28	-0.9283	-0.6972	<.0001*
PMI	GNDVI	<b>-0.8938</b>	28	-0.9501	-0.7813	<.0001*
PMI	MNLI	-0.6112	28	-0.8015	-0.3084	0.0006*
PMI	MNLireg	-0.7465	28	-0.8757	-0.5176	<.0001*
PMI	MSR	<b>-0.8492</b>	28	-0.9282	-0.6969	<.0001*
PMI	NDRE	<b>-0.8487</b>	28	-0.9280	-0.6961	<.0001*
PMI	NDVI	<b>-0.8748</b>	28	-0.9408	-0.7447	<.0001*
PMI	NLI	<b>-0.8167</b>	28	-0.9119	-0.6380	<.0001*
PMI	NLireg	-0.7409	28	-0.8727	-0.5083	<.0001*
PMI	SAVI	-0.6608	28	-0.8294	-0.3819	0.0001*
PMI	SR	<b>-0.8754</b>	28	-0.9411	-0.7460	<.0001*
PMI	Srreg	<b>-0.8493</b>	28	-0.9283	-0.6972	<.0001*

Fonte: Do autor (2022).

Dos índices de vegetação analisados, os que tiveram forte correlação com a maturação, nas duas datas de semeadura foram Cigreen, GNDVI, NDVI, NLI e SR com valores de r (coeficiente de correlação) maiores que -0,75, com exceção do NDVI no primeiro plantio que teve o valor do r igual a -0,72. No segundo plantio, outros índices de vegetação apresentaram forte correlação com o PMI, com valores de (r) maiores que -0,80, são eles Cireg, MSR, NDRE e Srreg.

O Cigreen foi o índice que apresentou os valores mais altos de correlação (-0,80 na primeira semeadura e -0,90 na segunda), seguido do GNDVI e logo após o SR, que tiveram valores de coeficiente de correlação (r) superiores a -0,75 na primeira semeadura e superiores a -0,85 na segunda. Com base nos cinco IVs que apresentaram forte correlação em ambas as épocas de semeadura, foram calculados os valores de  $R^2$ , RMSE (TABELA 4) e plotado o gráfico de regressão linear (FIGURA 4, 5, 6, 7 e 8) entre os IVs e os valores de PMI.

Tabela 4 - Valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e do erro dos modelos (RMSE), obtidos a partir da análise de regressão linear combinando índices de vegetação (IVs) e PMI com o objetivo de prever a maturação do amendoim nos plantios 1 e 2, com os cinco índices de vegetação selecionados.

IVs	1º semeadura		2º semeadura	
	$R^2$	RMSE	$R^2$	RMSE
<b>Cigreen</b>	0.65	0.11	0.81	0.10
<b>GNDVI</b>	0.62	0.12	0.79	0.10
<b>NDVI</b>	0.53	0.13	0.76	0.11
<b>NLI</b>	0.58	0.12	0.66	0.13
<b>SR</b>	0.59	0.12	0.76	0.11

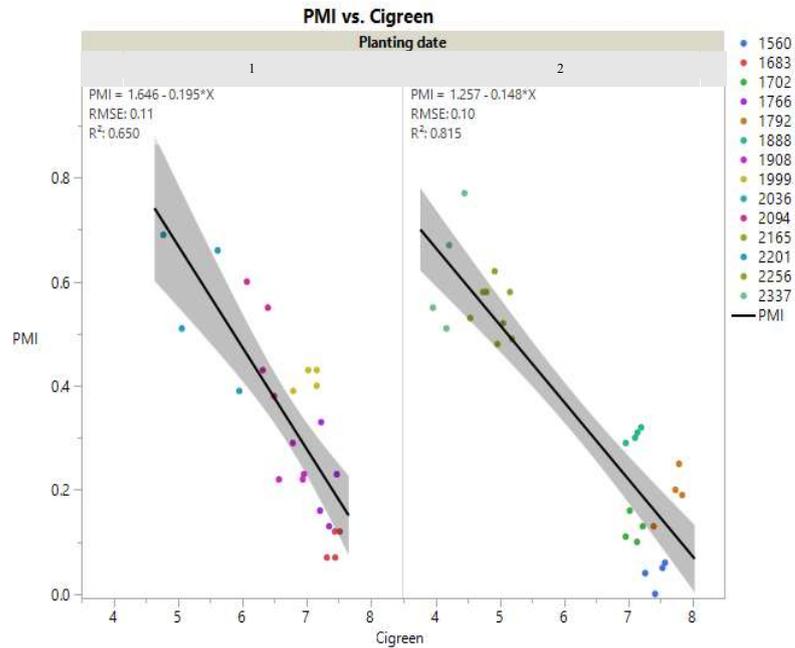
Fonte: Do autor (2022).

Para ambas semeaduras, o modelo gerado de regressão linear com maior capacidade para prever o PMI foi utilizando o IV Cigreen, sendo que, na segunda época, os valores de RMSE e  $R^2$  foram os melhores resultados. O valor do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) mostra a porcentagem dos resultados obtidos de PMI que podem ser explicados pelo IV, por isso, quanto mais próximo de 1, melhor é o modelo. Já o RMSE mostra o erro do modelo, ou seja, realiza o cálculo do erro a partir do valor observado com o predito e quanto mais próximo de 0, melhor a acurácia do modelo.

Após o Cigreen, os melhores modelos para predizer a maturação foram os índices de vegetação GNDVI seguido do SR, NLI e NDVI respectivamente para a primeira semeadura. Na segunda época de semeadura, os melhores valores foram obtidos com Cigreen, GNDVI, SR, NDVI e NLI (TABELA 4). Ressaltando, que na segunda época, os valores de acurácia e precisão dos modelos foram melhores do que na primeira data de semeadura. Possivelmente, isso ocorreu devido ao maior tempo que as plantas ficaram no campo na segunda data, ou seja, maior GDA. Conforme o valor de GDA aumenta, o valor dos IVs diminuem e, em consequência, gera melhores modelos de regressão.

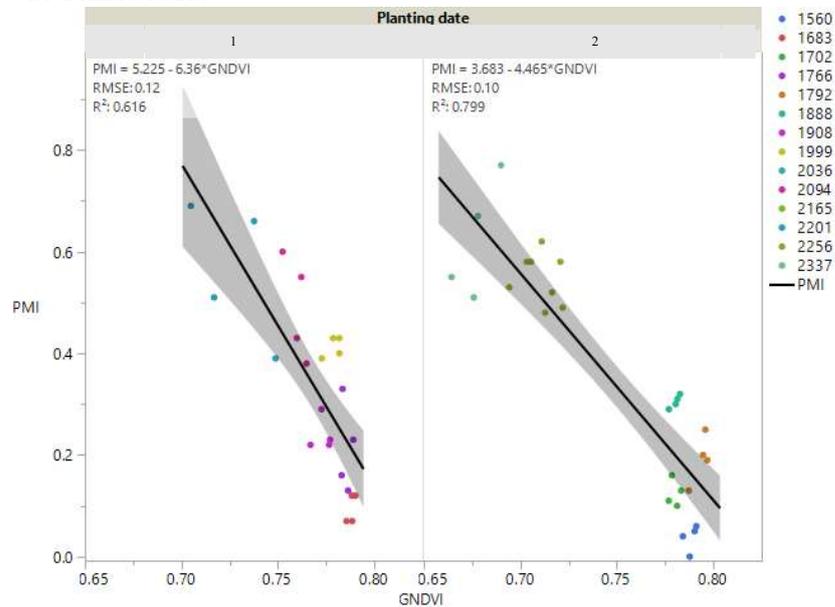
Cigreen e GNDVI, que tiveram os melhores desempenhos nos modelos lineares (FIGURAS 4 e 5) são calculados utilizando as mesmas bandas espectrais, do verde e NIR. Estudos demonstram que a banda no verde tem maior sensibilidade ao teor de clorofila, principalmente próximo ao final do ciclo (GITELSON et al., 1996; GITELSON et al., 2003). Além disso, as diferenças na refletância das plantas devido à alteração dos teores de clorofila podem ser mascaradas pela arquitetura do dossel, índice de área foliar (IAF) e biomassa, a utilização da banda no verde evita essa perda de sensibilidade com a mudança desses fatores (HATFIELD et al., 2008; GITELSON., 2005).

Figura 4 – Gráfico relacionando o PMI com os valores do IV Cigreen, nas duas épocas de semeadura.



Fonte: Do autor (2022).

Figura 5 - Gráfico relacionando o PMI com os valores do IV GNDVI, nas duas épocas de semeadura.



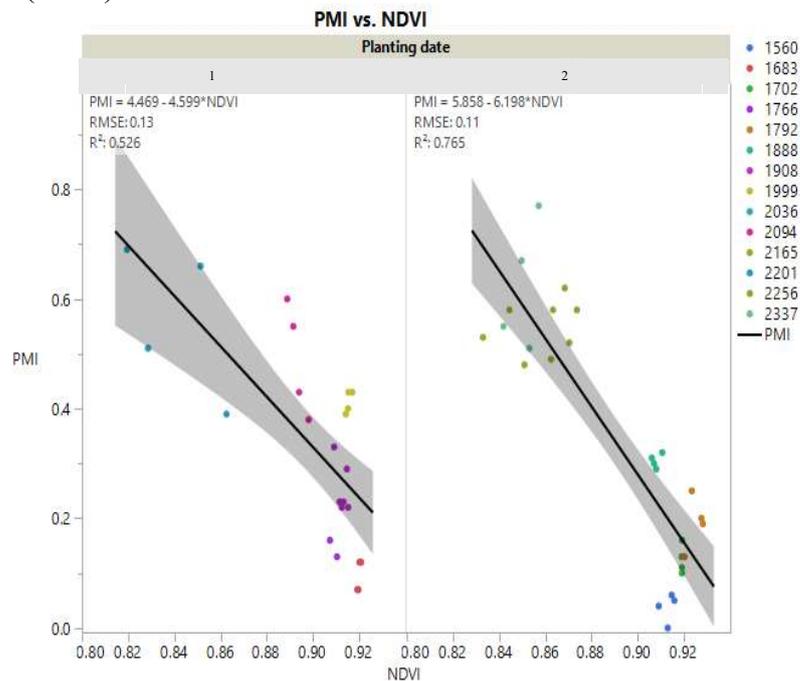
Fonte: Do autor (2022).

No presente estudo, como o início das coletas ocorreu aos 90 dias após a semeadura, a planta já se encontrava em pleno desenvolvimento, formando vagens e no final do florescimento (SANTOS et al., 1997). Sendo assim, é possível notar no gráfico (FIGURA 4 e 5) os valores mais baixos de graus dias acumulados (GDA), são característicos com altos

valores do IV e baixos valores de PMI, com o aumento do GDA, nota-se que os valores dos IV diminuem e o PMI aumenta. Santos et al. (2021) e Souza et al. (2022) também observaram essa relação de inversa proporcionalidade entre IVs e PMI nos resultados em seus trabalhos.

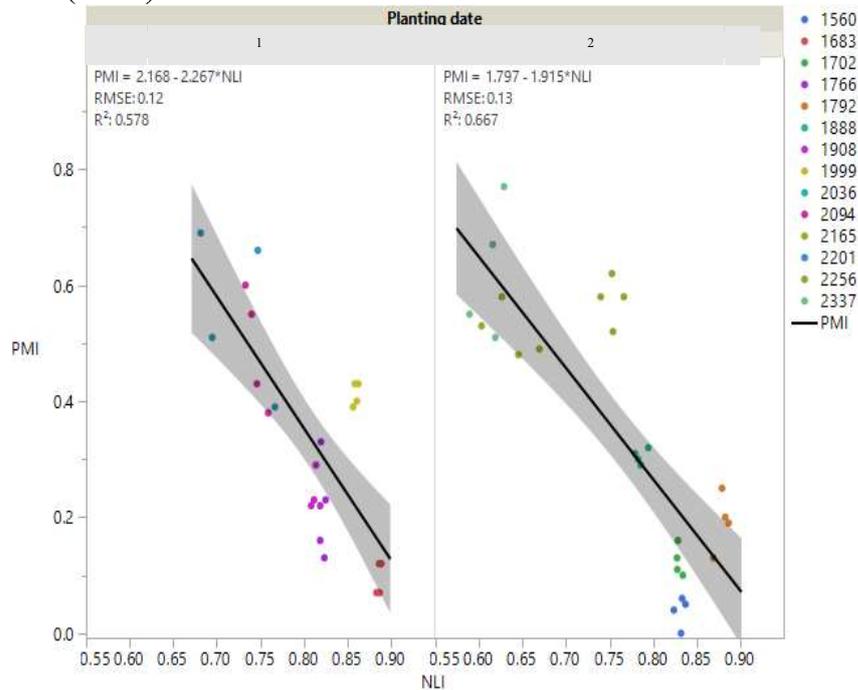
Os demais índices calculados, utilizando a banda do vermelho e do NIR, obtiveram resultados inferiores (FIGURA 6, 7 e 8). Santos et al. (2021) encontrou valores próximos ao deste trabalho, constatando que NDVI sofre mais com problemas de saturação do que NLI, isso, devido a sua equação, ao elevar ao quadrado os valores, os efeitos com a saturação são diminuídos, além disso, ambos os IV estão correlacionados com a biomassa da planta. Santos (2019) verificou que o SR possui resistência a saturação, mesmo em cultivares de amendoim com habito de crescimento rasteiro, o qual com 53 dias após a semeadura já possuem elevada quantidade de biomassa e IAF (DUNCAN et al., 1978). Condições essas, semelhantes a este trabalho.

Figura 6 – Gráfico dos valores de PMI e NDVI associados aos graus dias acumulados (GDA).



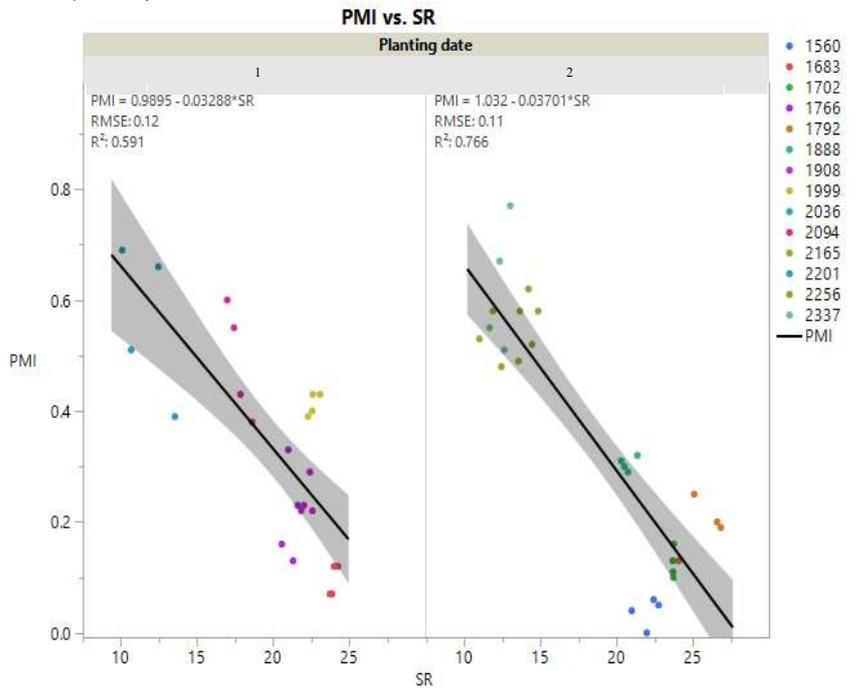
Fonte: Do autor (2022).

Figura 7 – Gráfico dos valores de PMI e NLI associados aos graus dias acumulados (GDA)



Fonte: Do autor (2022).

Figura 8 – Gráfico dos valores de PMI e SR associados aos graus dias acumulados (GDA)



Fonte: Do autor (2022).

Diferente dos resultados deste trabalho, Rowland et al. (2008) observou em seus estudos, utilizando um radiômetro multiespectral, que a banda no verde não foi adequada para

identificar a maturação do amendoim e o NDVI, conforme o avanço da maturação, foi mais sensível as variações na refletância da planta, em relação ao GNDVI.

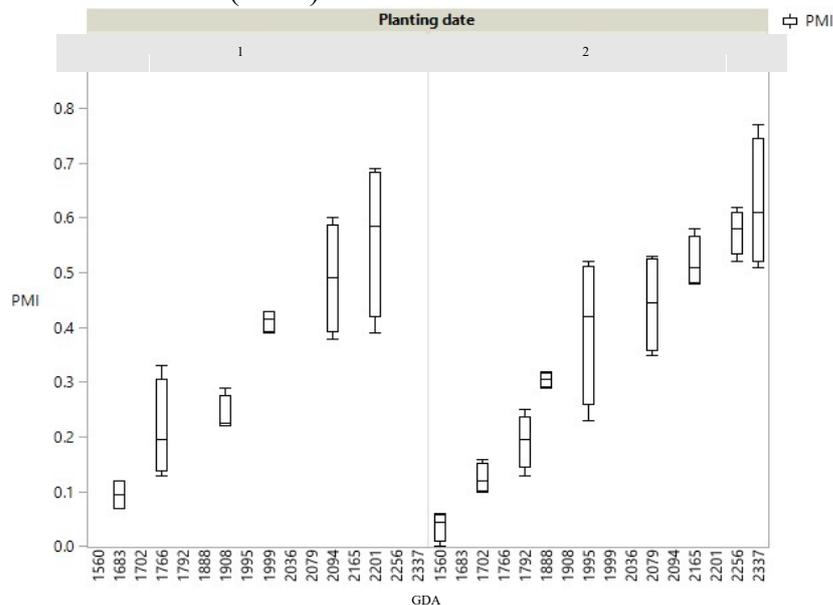
A partir dos gráficos de regressão linear é possível analisar quais IVs foram capazes de estimar o PMI com maior exatidão. Gerando uma linha reta de melhor ajuste, os resultados são melhores quanto mais próximos dessa linha. É possível observar também que à medida que a planta fica no campo o IV vai diminuindo e com a maturação acontece o inverso, conforme os dias vão passando, ela vai aumentando.

Para auxiliar na avaliação do comportamento do PMI ao longo dos dias, foram utilizados os valores de graus dias acumulados (GDA) para cada época de coleta de dados, sendo possível observar o aumento do PMI ao longo dos dias, conforme ocorre o aumento de graus dia. Fato esse observado por Rowland et al. (2006), ao incorporar os dados de GDA em seus trabalhos, encontrou bons ajustes de  $R^2$ .

Os valores de GDA são extremamente importantes para diversas culturas, sua aplicação está condicionada a diversas áreas de estudo, além disso, são modelos que utilizam da temperatura do ambiente para o cálculo, sendo que, o desenvolvimento das vagens de amendoim é relativamente sensíveis a temperatura, valores de 20 – 25 °C aumentam o crescimento das vagens (ROWLAND et al. 2006)

Para avaliação de graus dia acumulados (GDA), foram plotados os gráficos de box plot (FIGURA 9), podendo inferir sobre a variabilidade dos dados de PMI em relação ao GDA, durante as duas datas de semeadura estipuladas.

Figura 9 - Box plot mostrando a variabilidade do PMI ao longo dos graus dias acumulados (GDA).



Fonte: Do autor (2022).

De acordo com a figura 9, na primeira data de semeadura, aos 1683, 1908 e 1999 GDA, foram encontrados os menores valores de variação em relação ao PMI, por outro lado aos 1766, 2094 e 2201 GDA foram os que apresentaram as maiores variações. Na segunda data de semeadura, aos 1995, 2079 e 2337 GDA, foram as datas que apresentaram maiores variações, sendo as demais épocas de GDA com menores variações em função do PMI.

Durante os períodos de avaliação, nota-se que conforme os valores de GDA vão aumentando, a maturação vai aumentando também, porém, para o entendimento da variabilidade da lavoura, próximo ao final do ciclo da cultura, são encontrados valores altos de variabilidade, o que dificulta identificar o momento ideal para a colheita. Diferindo deste trabalho, Souza (2021) em seu estudo relatou a diminuição da variabilidade do PMI quando os valores de GDA aumentam e as vagens se encontrando no momento ideal para o arranquio. De acordo com Santos et al., (2021), ao integrar os índices de vegetação e GDA na predição da maturação houve melhoria dos modelos testado, diminuindo os valores de RMSE e aumentando os valores de  $R^2$ .

## 5 CONCLUSÃO

Os índices de vegetação calculados a partir das imagens de drone obtiveram correlação com a maturação de amendoim e os modelos lineares estimaram o PMI com altas e médias precisões, o que permite inferir que o sensoriamento remoto pode auxiliar na estimativa da maturação em diferentes épocas. Dentre os IVs utilizados nesse estudo, Cigreen e GNDVI, demonstraram maior potencial para prever a maturação do amendoim em ambas as épocas.

A utilização dos valores de graus dias acumulados (GDA) relacionado ao PMI auxiliou na análise do comportamento e variação da maturação ao longo dos dias. Conforme os valores de GDA foram aumentando, a maturação aumentou também, porém os resultados apresentaram alta variabilidade do PMI ao final do ciclo, o que dificulta a identificação do momento ideal para o arranquio, enfatizando a variabilidade contida nas vagens das plantas.

É necessário testar os modelos de IVs que tiveram valor de  $R^2$  maior que 0,65 e RMSE menor que 0,11 em um novo conjunto de dados.

## REFERÊNCIAS

- BASSOI, L. H. et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar.** 2014.
- BELL, MJ; WRIGHT, GC **Crescimento e desenvolvimento do amendoim em ambientes contrastantes.** 1. Respostas de crescimento e densidade de plantas. **Agricultura Experimental**, 1998. v. 34, n. 1, pág. 99-112.
- BENDIG, J et al. **Combining UAV-based plant height from crop surface models, visible, and near infrared vegetation indices for biomass monitoring in barley.** *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 2015
- BOCKUS, W. W.; SHROYER, J. P. **The impact of reduced tillage on soilborne plant pathogens.** *Annu. Rev. Phytopathol.* 1998
- BOGATI, Sujata. **Impact of Tillage Practices on Water-Use Efficiency of Peanut.** Tese de Doutorado. University of Georgia. 2021
- BOOTE, K.J. et al. **Irrigation, water use and water relation.** In: PATEE, H.E.; YOUNG, C.T. (ed). *Peanut science and technology.* Texas: American Press, 1982. cap.7, p.164-205.
- BULGARELLI, Elisângela Maria Bernal. **Caracterização de variedades de amendoim cultivadas em diferentes populações.** 2008
- CARVALHO, Luiz Felipe Diaz de et al. **Índices de vegetação obtidos por sensor proximal e embarcado em aeronave remotamente pilotada e sua relação com a produtividade do milho.** Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria. 2019.
- CHEN, Jing M. **Avaliação de índices de vegetação e uma razão simples modificada para aplicações boreais.** *Canadian Journal of Remote Sensing* , 1996. v. 22, n. 3, pág. 229-242.
- COLVIN, B., D. et al. **Development of a digital analysis system to evaluate peanut maturity.** *Peanut Science*, 2014.
- CONAGIN, Candida HTM. **Morfologia da flor e formação do fruto no amendoim cultivado (*Arachis hypogaea*, L.).** *Bragantia*, 1955. v. 14, p. 259-266.
- CUNLIFFE, A. M. et al. **Ultra-fine grain landscape-scale quantification of dryland vegetation structure with drone-acquired structure-from-motion photogrammetry.** *Remote Sensing of Environment*, 2016. v. 183, 129–143.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Irrigation and drainage paper.** Yield response to water. Roma, FAO. 193p. *Irrigation and drainage paper*, v. 33, p. 1180, 1979.
- DUNCAN, W. G. et al. **Physiological Aspects of Peanut Yield Improvement 1.** *Crop Science*, v. 18, n. 6, p. 1015-1020, 1978.
- FINCHER, P.G. et al. **Adaptability of the arginine maturity index method to Virginia type peanuts in North Carolina.** *Peanut Science*, 1980. 7(2), 83-87.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de Textos, 2007.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. In: Imagens de satélite para estudos ambientais. 2002. p. 97-97.

FORMAGGIO, Antonio Roberto; SANCHES, Ieda Del'Arco. **Sensoriamento remoto em agricultura**. Oficina de Textos, 2017.

FREITAS, F. de O. et al. **O amendoim contador de história**. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia-Documentos (INFOTECA-E), 2003

GITELSON, Anatoly A. et al. **Relações entre conteúdo de clorofila foliar e refletância espectral e algoritmos para avaliação não destrutiva de clorofila em folhas de plantas superiores**. *Jornal de fisiologia vegetal*, 2003. v. 160, n. 3, pág. 271-282.

GITELSON, Anatoly A. et al. **Estimativa remota do teor de clorofila do dossel em lavouras**. *Cartas de Pesquisa Geofísica*, v. 32, n. 8, 2005.

GITELSON, Anatoly A. et al. **Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS**. *Remote sensing of Environment*, 1996. v. 58, n. 3, p. 289-298.

GOEL, N.S.; QIN, W. **Influences of canopy architecture on relationships between various vegetation indices and LAI and FPAR: A computer simulation**. *Remote Sensing Review*, 1994. 10(4), 309–347.

GONG, P. et al. **Estimation of Forest Leaf Area Index Using Vegetation Indices Derived from Hyperion Hyperspectral Data**. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2003. 41:6.

GREGORY, W. C. et al. **Structure, variation, evolution, and classification in Arachis**. *Structure, variation, evolution, and classification in Arachis.*, 1980. 469-481

GREGORY, W. C, et al. **Morphology, Genetics and Breeding. In The national Fertilizer Association. Washington, D . C. The Peanut. The unpredictable Legume. Washington, 1951. p. 28-88.**

HABOUDANE, Driss et al. **Hyperspectral vegetation indices and novel algorithms for predicting green LAI of crop canopies: Modeling and validation in the context of precision agriculture**. *Remote sensing of environment*, 2004. v. 90, n. 3, p. 337-352.

HATFIELD, J.L., et al. **Application of spectral remote sensing for agronomic decisions**. *Agronomy Journal*. 2008. 100, 117– 131.

HUETE, A. R. (1988). **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. *Remote sensing of environment*, 1988. 25(3), 295-309.

JOHNSON, W. C. et al. **Tillage and pest management considerations in a peanut-cotton rotation in the southeastern coastal plain.** Agron. J. 2001. 93:570-576.

JORDAN, C.F. **Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor.** Ecology.1969. 50:663–666.

JUDD, Walter S. et al. **Sistemática vegetal: uma abordagem filogenética.** Ecologia mediterrânea , 1999.

KETRING, D. L. **Temperature effects on vegetative and reproductive development of peanut 1, 2.** Crop Science, 1984. v. 24, n. 5, p. 877-882.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde;** Wall-Map 150cmx200cm; Verlag Justus Perthes: Gotha, Germany, 1928; pp. 91–102.

KRAPOVICKAS, Antonio; GREGORY, Walton C. **TAXONOMIA DEL GENERO" ARACHIS (LEGUMINOSAE)".** Bonplandia,1994. p. 1-186.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2010.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Universidade de Brasília, Brasília, 2012.

MOLIN, José Paulo; DO AMARAL, Lucas Rios; COLAÇO, André. **Agricultura de precisão.** Oficina de textos, 2015.

MORAES, Elisabete Caria. **Capítulo 1 fundamentos de sensoriamento remoto.** 2002.

MORSELLO, S. C., et al. **The influence of temperature and precipitation on spring dispersal of Frankliniella fusca changes as the season progresses.** Entomol. Exp. Appl. 2010. 134: 260–271.

NETO, Jayme Ferrari et al. **Ecofisiologia do amendoim.** Scientia Agraria Paranaensis, 2012. v. 11, n. 4, p. 01-13.

NOGUEIRA, RJM et al. **Ecofisiologia do amendoim.** DOS SANTOS, RC O agronegócio do amendoim no Brasil. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2005. p. 71-122.

NOGUEIRA, R.J.M.C. et al. **Ecofisiologia do amendoim (Arachis hypogaea L.).** In: SANTOS, R.C.; FREIRE, R.M.M.; LIMA, L.M. (Eds.). O agronegócio do amendoim no Brasil. 2.ed. Brasília: Embrapa, 2013. p.71-113.

PEZZOPANE, JRM. **Amendoim.** Embrapa Pecuária Sudeste-Capítulo em livro científico (ALICE), 2009.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.** NASA special publication, v. 351, n. 1974, p. 309, 1974.

ROWLAND, D. L. et al. **Determination of Maturity and Degree Day Indices and their Success in Predicting Peanut Maturity.** Peanut Science, 2006. p. 125–136.

SANTOS, Roseane Cavalcanti dos. et al. **Amendoim coleção 500 perguntas e 500 respostas.** Brasília (DF): Embrapa, 2009.

SANTOS, A.F. et al. **High-resolution satellite image to predict peanut maturity variability in commercial fields.** Precision Agric (2021).

SANTOS, A. F. et al. **Using uav and multispectral images to estimate peanut maturity variability on irrigated and rainfed fields applying linear models and artificial neural networks.** Remote sensing, 2021 v. 14, n. 93.

SANTOS, Adão Felipe dos. **Método não destrutivo para predição da maturação de amendoim (*arachis hypogaea* l.) utilizando sensoriamento remoto.** 2019. Tese (Doutorado). Universidade Estadual Paulista - Unesp Câmpus De Jaboticabal, 2019.

SANTOS, R C. et al. **Fenologia de genótipos de amendoim dos tipos botânicos Valência e Virgínia.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, DF, 1997. v. 32, n. 6, p. 607-612.

SILVA, L. C. da; BELTRÃO, NE de M. **Incremento de fitomassa e produtividade do amendoim em função de lâmina e intervalos de irrigação.** Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas, 2000. v. 4, n. 2.

SMITH, Ben W. ***Arachis hypogaea*. Aerial flower and subterranean fruit.** American Journal of Botany, 1950. p. 802-815.

SOUZA, Jarlyson Brunno Costa et al. **Técnicas de agricultura digital para predição da maturação do amendoim.** 2021.

SOUZA, Jarlyson Brunno Costa et al. **Integrating Satellite and UAV Data to Predict Peanut Maturity upon Artificial Neural Networks.** Agronomy, 2022. v. 12, n. 7, p. 1512.

SRINIVASAN, R.. et al. 2017. **Three decades of managing Tomato spotted wilt virus in peanut in southeastern United States.** Virus Res. 2017.

TASKOS, D. G. et al. **Using active canopy sensors and chlorophyll meters to estimate grapevine nitrogen status and productivity.** Precision agriculture, v. 16, n. 1, p. 77-98, 2015.

TEDESCO, D. et al. **Use of remote sensing to characterize the phenological development and to predict sweet potato yield in two growing seasons.** European Journal of Agronomy, 2021. v. 129, p. 1-12, set.

TIAN, M. et al. **Use of hyperspectral images from UAV-based imaging spectroradiometer to estimate cotton leaf area index.** Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. 2016. 32, 102–108

TODD, J. W. et al. **Colonization and population dynamics of thrips in peanuts in the southern United States,** pp. 453–460. In B. L. Parker, M. Skinner, and T. Lewis (eds.),

Thrips Biology and Management. NATO ASI Series (Series A: Life Sciences), 1995. vol 276. Springer, Boston, MA.

TURNER, David P. et al. **Relationships between leaf area index and Landsat TM spectral vegetation indices across three temperate zone sites.** Remote sensing of environment, 1999. v. 70, n. 1, p. 52-68.

USDA. (2021). ARMS data. USDA-ERS, Washington, DC. 2021. [https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?startrow=1&cropid=2221000&sel\\_year=2021&rankby=Production](https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?startrow=1&cropid=2221000&sel_year=2021&rankby=Production)

USTIN, S. L et al., **GeoBotany: Vegetation mapping for Earth sciences**, in *Manual of Remote Sensing*, vol. 3, Remote Sensing for the Earth Sciences, edited by A. N. Rencz, 3rd ed., pp. 189– 248, John Wiley, Hoboken, N. J. 1998

WILLIAMS, E. J.; DREXLER, J. S. **A Non-Destructive Method for Determining Peanut Pod Maturity.** Peanut Science, 1981. v. 8, n. 2, p. 134–141, jul.

ZHU, W. et al. **Comparative proteomics analysis of developing peanut aerial and subterranean pods identifies pod swelling related proteins.** Journal of Proteomics, 2013.