

EDUARDO LANGE SUTIL

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DO *CARTHAMUS*
*TINCTORIUS L.***

CASCADEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2021

EDUARDO LANGE SUTIL

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DO *CARTHAMUS
TINCTORIUS L.***

Dissertação apresentada à
Universidade Estadual do Oeste do
Paraná, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Energia na Agricultura,
para obtenção do título de Mestre.
Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maritane Prior
Coorientador: Prof. Dr^o. Erivelto
Mercante

CASCAVEL
PARANÁ – BRASIL
MARÇO – 2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Sutil, Eduardo Lange
CARACTERIZAÇÃO ESPECTRO-TEMPORAL DO CARTHAMUS
TINCTORIUS L. / Eduardo Lange Sutil; orientador(a),
Maritane Pior; coorientador(a), Erivelto Mercante, 2021.
61 f.

Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Graduação em Engenharia Agrícola Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2021.

1. Sensoriamento remoto. 2. Sensores terrestres. 3. Cártamo. I. Pior, Maritane. II. Mercante, Erivelto. III. Título.

EDUARDO LANGE SUTIL

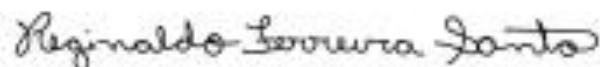
Caracterização espectro-temporal do *Carthamus Tinctorius L.*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, linha de pesquisa Fontes Renováveis e Racionalização de Energia Na Agroindústria e Agricultura, APROVADO(A) pela seguinte banca examinadora:



Orientador(a) - Maritane Frazão

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Reginaldo Ferreira Santos

Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel (UNIOESTE)



Suzana Costa Wrublack
Univel Centro Universitário

Cascavel, 18 de março de 2021

“Dedico a minha família e aos meus amigos que acreditaram e encorajaram minha busca pelo sucesso pessoal”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me guiar sempre pelo melhor caminho, dando saúde, serenidade e sabedoria para enfrentar os desafios que surgiram pelo caminho. Agradeço a instituição de ensino Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE.

Agradeço imensamente aos meus amigos e família, por todo apoio que me deram até aqui.

Agradeço ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Energia na Agricultura por toda estrutura.

Agradeço a minha orientadora Prof^a. Dr^a. Maritane Prior e meu Coorientador Prof. Dr^o Erivelto Mercante por todo apoio.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Estágios fenológicos da cultura do cártamo.	18
Tabela 2 Resumo estatístico descritivo de Peso 1000 sementes (P100) e Produtividade (Prod) da cultura do cártamo.	34
Tabela 3 Teste de Normalidade Shapiro-Wilk dos Índice de água por diferença normalizada (NDWI), Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI), Teor de água na folha (TAF), Índice de área foliar (IAF).	39
Tabela 4 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para ciclo fenológico da cultura do cártamo.	39
Tabela 5 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para estágio fenológico de roseta da cultura do cártamo.	40
Tabela 6 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para fase fenológico de Floração da cultura do cártamo.	41
Tabela 7 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para fase fenológico de Maturação da cultura do cártamo.	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Produção dos principais produtores de cártamo nos anos 2013-2017 (A), Produtividade dos principais produtores de cártamo nos anos 2013-2017(B), Área colhida dos principais produtores de cártamo nos anos 2013-2017 (C).	19
Figura 2 Curva de refletância típica de uma folha verde sadia.	22
Figura 3 Área experimental de cártamo, Cascavel, PR.	26
Figura 4 Semeadora de grão fino marca Vence Tudo, modelo SMT6414 (A), Trator Ford 7630, 105 CV, usado para plantio do experimento (B).	27
Figura 5 Acessório Leaf cleap.	28
Figura 6 <i>View cap</i> com angulação de 90°.	29
Figura 7 Coleta de dados com IAF.	29
Figura 8 Variáveis meteorológicas, Umidade relativa do ar - UR (%) e Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias no período de 12 de junho de 2020 a 12 de dezembro de 2020 para Núcleo experimental de engenharia agrícola - NEEA, no município de Cascavel/PR.	33
Figura 9 Curvas médias dos padrões espectrais do cártamo, elementos amostrais medidos no intervalo espectral de 390 a 2500nm.	36
Figura 10 Curvas médias dos padrões espectrais do cártamo, elementos amostrais medidos no intervalo espectral de 400 a 700 nm.	38
Figura 11 Análise de regressão linear entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade e TAF (E), Análise	44
Figura 12 Análise de regressão linear para fase fenológico do cártamo de roseta entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade e TAF (E), Análise de regressão linear entre produtividade e NDNI (F), Análise de regressão linear entre produtividade e NDWI (G).	45
Figura 13 Análise de regressão linear para fase fenológico do cártamo de floração entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade	

e TAF (E), Análise de regressão linear entre produtividade e NDNI (F), Análise de regressão linear entre produtividade e NDWI (G). 46

Figura 14 Análise de regressão linear para fase fenológico do cártamo de maturação entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade e TAF (E), Análise de regressão linear entre produtividade e NDNI (F), Análise de regressão linear entre produtividade e NDWI (G). 47

Figura 15 Análise de regressão linear para cultura do cártamo entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G). 48

Figura 16 Análise de regressão linear para fase fenológica do cártamo de roseta entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G). 49

Figura 17 Análise de regressão linear para fase fenológica do cártamo de floração entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G). 50

Figura 18 Análise de regressão linear para fase fenológica do cártamo de maturação entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G). 51

SUTIL, Eduardo Lange. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Março, 2021.
Caracterização espectro-temporal do *Carthamus tinctorius* L. Maritane Prior.

RESUMO

O perfil que descreve o padrão espectral de culturas agrícolas, decorre de informações espectrais adquiridas por sensoriamento remoto, com dados coletados por sensores terrestres ao longo do ciclo vegetativo da planta. Embora existam intensas pesquisas com culturas energéticas, sendo o cártamo uma delas, ainda não é conhecida a caracterização do padrão espectral dessa cultura. A importância do conhecimento desses padrões torna possível o monitoramento mais ágil da cultura, em relação ao ataque de pragas, doenças, estresses hídricos e nutricionais que a planta possa vir a sofrer, que podem gerar prejuízos financeiros e queda na produção. Este trabalho teve como objetivo determinar o padrão espectral do cártamo obtido por sensores terrestres em relação às fases fenológicas da cultura. O experimento foi instalado no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola - NEEA, da Unioeste/Cascavel-Pr, a semeadura foi mecanizada em área de 900 m². Para caracterização espectral foi utilizado um espectroradiômetro denominado *FieldSpec 4* e para obtenção de índice de área foliar (IAF) foi utilizado o sensor LAI-2200. Na caracterização do padrão espectral do cártamo, foi possível observar variação da refletância de acordo com as fases fenológicas da roseta, floração e maturação. A produtividade do cártamo atingiu média de 895 kg·ha⁻¹, ficando abaixo do seu potencial de produtividade. Nas análises realizadas de maneira geral, não foi constatada correlações significativas entre os índices de vegetação versus o IAF e versus a Produtividade (Kg·ha⁻¹) do cartámo, com exceção entre o Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI) e Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI) que foram constatadas correlações positivas significativas. Conclui-se que o cártamo apresentou variação da refletância entre suas fases fenológicas e os modelos de regressão linear gerados, se destacaram no ciclo vegetativo da fase de maturação, para o IAF versus NDNI e Produtividade versus mNDVI respectivamente com valores de R² de 0,46 e 0,39 respectivamente.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

PALAVRAS-CHAVE: Sensoriamento remoto, Cártamo, Sensores terrestres.

SUTIL, Eduardo Lange. University State West the Parana. March, 2021. **Spectral-temporal characterization of *Carthamus tinctorius* L.** Maritane Prior.

ABSTRACT

The profile that describes the spectral pattern of agricultural crops derives from spectral information acquired by remote sensing, with data collected by terrestrial sensors throughout the plant's vegetative cycle. Although there is intense research with energy crops, with safflower being one of them, the characterization of the spectral pattern of this crop is not known yet. The importance of knowing these standards makes it possible to monitor the crop more quickly, in relation to the attack of pests, diseases, water and nutritional stresses that the plant may suffer, which can lead to financial losses and a drop in production. This work aimed to determine the spectral pattern of safflower obtained by terrestrial sensors in relation to the phenological phases of the crop. The experiment was installed at the Experimental Nucleus of Agricultural Engineering - NEEA, Unioeste/Cascavel-Pr, the sowing was mechanized in an area of 900 m². For spectral characterization, a spectroradiometer called FieldSpec 4 was used and to obtain the leaf area index (LAI) the sensor LAI-2200 was used. In characterizing the spectral pattern of safflower, it was possible to observe variation in reflectance according to the phenological phases of the rosette, flowering, and maturation. Safflower yield reached an average of 895 kg.ha⁻¹, below its yield potential. In the analyzes carried out in general, no significant correlations were found between the vegetation indices versus the IAF and versus the Productivity (Kg.ha⁻¹) of safflower, except between the modified normalized difference vegetation index (mNDVI) and the normalized difference of nitrogen Index (NDNI) that significant positive correlations were found. It is concluded that safflower showed variation in reflectance between its phenological phases and the linear regression models generated stood out in the vegetative cycle of the maturation phase, for IAF versus NDNI and Productivity versus mNDVI respectively with R² values of 0,46 and 0,39 respectively.

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

KEYWORDS: Remote Sensing, Ground Sensors, Safflower.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	1
2. 2. OBJETIVO	3
2.1 GERAL	3
2.2 ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1. A CULTURA DO CÂRTAMO	4
3.2 SENSORIAMENTOS REMOTOS (SR) NA AGRICULTURA	7
3.2.1. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE CULTURAS AGRÍCOLAS	9
3.2.2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO	11
4. MATERIAL E MÉTODOS	14
4.1. AQUISIÇÃO DE DADOS ESPECTRAIS	15
4.2. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)	16
4.3 TEOR DE ÁGUA DAS FOLHAS (TAF)	17
4.4 ALTURA DE PLANTAS	17
4.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	18
4.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA MODIFICADO (mNDVI)	18
4.7 ÍNDICE DE NITROGÊNIO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDNI)	18
4.8 ÍNDICE DE ÁGUA POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDWI)	19
4.9 PRODUTIVIDADE	19
4.10 UMIDADE DE GRÃOS	20
4.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	20
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	21
6 CONCLUSÃO	39
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1. INTRODUÇÃO

O consumo total de energia no mundo tem aumentado significativamente devido ao incremento da população mundial, aumentando o comércio e a produção como resultado da industrialização e desenvolvimentos tecnológicos (YESILYURT et al., 2020).

Dentre as fontes energéticas consumidas no mundo, a maior parte é derivada do petróleo, queima de carvão mineral e gás natural, cujas fontes não são renováveis. Essa dependência sobre o petróleo e seus derivados vem preocupando os pesquisadores, o que intensifica a busca por alternativas de matrizes energéticas renováveis e com pequenos impactos à natureza.

Uma das alternativas de energia limpa e renovável origina-se da geração de energia por meio da biomassa, nesse sentido o uso de biocombustíveis (combustível proveniente da biomassa) tem sido crescente no Brasil e no mundo.

O Brasil possui cerca de 50 % da matriz energética proveniente de fontes renováveis. Enquanto no mundo a participação de energia renováveis é próxima de 13% (PASCHOAL, 2016). Segundo a Agência nacional de petróleo, gás natural e biocombustível (ANP, 2020), no que se refere ao uso de biocombustível, o Brasil apresenta 18% dos combustíveis consumidos, renováveis.

A soja é a principal matéria prima utilizada na produção de biodiesel no Brasil, por ser uma cultura em abundância, em contrapartida por ser uma cultura alimentícia de valor nutritivo, existem conflitos em sua utilização para geração de energia. Por isso, políticas públicas têm incentivado o emprego de outras matérias primas como: mamona, palma, girassol, pinhão, milho, dendê, cártamo etc., cada qual cultivada de acordo com a aptidão agrícola e o clima de cada região do país (RAMOS et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017). O cártamo vem ganhando destaque em pesquisas, pela busca por culturas com potencial para a produção de óleo. Apesar disso, não há registro de produção comercial de cártamo no país.

Técnicas de sensoriamento remoto tornam mais ágil o monitoramento e previsão de produção de áreas ocupadas por grandes culturas anuais no mundo, sendo capaz de traçar estratégias de armazenamento e comercialização.

A vantagem que se tem em relação a outras técnicas é a identificação de sintomas de doenças, déficits de nutrientes e ataques de pragas agrícolas antes mesmo de apresentar sinais visíveis, possibilitando a tomada de decisão precoce.

Mesmo tendo intensificado as pesquisas com culturas energéticas, sendo o cártamo uma delas, não existem pesquisas que caracterizem o padrão espectral dessa cultura.

A caracterização do padrão espectral das culturas decorre de informações espectrais adquiridas por ferramentas do sensoriamento remoto (SR), imagens de satélites e dados coletados in loco por sensores terrestres ao longo do ciclo de desenvolvimento das plantas (VIANA, 2017).

Além disso, essa metodologia é de suma importância no gerenciamento de plantações e previsão de safras por órgãos oficiais. Com isso este trabalho tem como objetivo determinar o padrão espectral do cártamo obtido por sensores hiperespectrais terrestres.

2. OBJETIVO

2.1 GERAL

Determinar o padrão espectral da cultura do cártamo em relação às suas fases fenológicas, obtido por sensor terrestre hiperespectral.

2.2 ESPECÍFICOS

Determinar as curvas espectrais do cártamo em seus diferentes estágios fenológicos.

Mensurar as correlações existentes entre os dados espectrais do cartámo e sua produtividade.

Gerar e Avaliar modelo de estimativa da produtividade do cártamo utilizando as variáveis IAF e IVs.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. A CULTURA DO CÁRTAMO

A cultura do cártamo é oriunda da Ásia, do Oriente Médio e África. O interesse inicial em seu cultivo foi principalmente por suas flores, das quais eram retirados corantes para roupas e alimentos. No Brasil o interesse está focado na produção de óleo para produção de biodiesel. Pois, possui bom desenvolvimento tanto em áreas irrigadas, como não irrigadas, demonstrando potencial de resistir a déficits hídricos (ARMAH-AGYEMAN et al., 2002).

O Cártamo também conhecido como falso açafão, por ser um sucessor do açafão na culinária (BURKART, 1974), pertence à família das Asteraceas, gênero *Carthamus* e a espécie *Carthamus tinctorius* L. É uma planta anual, herbácea, de caule ereto, ramificado, com altura variando entre 30 cm e 150 cm. O sistema radicular é bastante desenvolvido, pivotante e pode atingir até 300 cm de profundidade, motivo de a cultura ser bastante tolerante ao estresse hídrico (DAJUE & MÜNDEL, 1996). A maturação do cártamo pode variar de 110-150 dias (GILBERT et al., 2008).

A composição da semente de cártamo é composto por 33-45% de casca, o restante é o núcleo, seu teor de óleo é variável, varia de 27-50%. Aproximadamente 95% do óleo da cultura de Cártamo, é encontrado no núcleo da semente (C HALL II, 2016, GALAVI et al., 2012).

As cultivares de cártamo, geralmente, são classificadas pela composição do óleo. Aquelas que compõem o grupo oleico, apresentam de 70 a 75% da constituição do referido ácido graxo. O segundo grupo, linoleico, possui mais de 70% de ácido linoleico. Gracia et al. (2010) Descreveram uma série de cultivares de ambos os grupos, bem como suas principais características morfológicas e agrônômicas.

Segundo Yesilyurt et al (2020), não há relatos de produção de biodiesel em escala comercial a partir do óleo *Carthamus tinctorius* no mundo. Entretanto, revisões da literatura demonstraram que a produção de biodiesel a partir do óleo de *C. tinctorius* aumentou nos últimos tempos (C HALL II, 2016).

Mesmo com o aumento do interesse do óleo de cártamo para produção de biodiesel, seu principal uso é para fins medicinais, o óleo de cártamo possui um valor considerável, quando comparado com óleo de soja, por exemplo (EKIN, 2005).

Para Lu et al. (2004), o óleo de cártamo é uma importante fonte de vitamina E, possuindo propriedades químicas medicinais que têm sido utilizadas no tratamento de

doenças cardíacas, podendo auxiliar na redução de doenças cardiovasculares.

Segundo Movahhedy-Dehnavy et al. (2009), a aplicação foliar de zinco e manganês sobre plantas de cártamo, resultou em significativa melhora na produção e qualidade de sementes, quando cultivadas sob estresse hídrico.

A recomendação para cultivo do cártamo é em regiões onde a precipitação média anual é inferior a 300 mm desde que não ocorram ventos secos (OYEN e UMALI, 2007). Segundo Mundel et al. (1992), temperaturas próximas de 43 °C não afetaram o desenvolvimento no cártamo, mesmo em condições de climas mais secos.

Estudo realizado por Sampaio (2016) o qual variou doses de NPK (0, 200, 400, 600 e 800 kg.ha⁻¹) e densidade de planta (5, 10, 15 e 20 por metro linear) em duas épocas de plantio distintas, verificou-se que a segunda época semeada com maior densidade de planta teve aumento linear positivo obtendo maior produtividade em relação às outras variações de densidade, no mesmo estudo testou que variando as doses de NPK e densidade de planta não foram identificados resultados estatisticamente significativos na produção de óleo de cártamo. Recomendando a adubação base de 800 kg.ha⁻¹, e densidade de 20 plantas por metro linear.

O cártamo é uma opção para a agricultura no Brasil, sendo que o principal objetivo de inserção desta cultura é no período de safrinha tardia em condições de cerrado, essa cultura necessita de pouca disponibilidade de água para seu cultivo, comuns na época de safrinha tardia nessas regiões (ZOZ, 2015 e RAMOS, 2018).

O desenvolvimento é fortemente influenciado pela época do ano, fotoperíodo e temperatura, sendo que para a produção de óleo em cultivo de verão, o ciclo produtivo é de aproximadamente 140 dias, com uma produção de 1.000 a 3.000 quilos por hectare. Porém, quando o objetivo é produção de flores, é possível produzir o ano todo em ambiente protegido e o ciclo é de 74 dias para cultivo de Primavera/Verão: até 142 dias para outono/inverno, mostrando, portanto, à influência da temperatura e do fotoperíodo (MACEDO, 2018).

Rech (2012) Avaliou em seu trabalho diferentes épocas de semeadura para cultura de cártamo, nos anos de 2010 e 2011. Observou-se que o ciclo da cultura variou de 155 a 188 dias após a semeadura (DAS), o ciclo mais curto para semeadura foi 06 de março de 2011.

Flemmer et al. (2015) Definiram os estágios fenológicos do Cártamo de acordo com a escala BBCH entendida.

Tabela 1 Estágios fenológicos da cultura do cártamo.

Períodos	Estágios	Descrição
Vegetativo	I	Desenvolvimento foliar
	II	Ramificação
	III	Alongamento do Caule
	IV	Desenvolvimento das partes vegetais das plantas
Floração e Formação dos grãos	V	Emergência do capitulum
	VI	Floração
	VII	Desenvolvimento dos frutos
	VIII	Amadurecimento dos frutos
Colheita	IX	Senescência

Fonte: Flemmer et al. (2015)

O cártamo por possuir uma desuniformidade na floração e frutificação, é extremamente importante a colheita no ponto ideal, para que não tenha em uma mesma planta grãos em diferentes estágios de maturação, reduzindo a queda na produtividade (RAMOS, 2018).

A produção mundial do cártamo no ano de 2017 foi de aproximadamente 700 mil toneladas. O maior produtor de cártamo do mundo é o Casaquistão o qual representa próximo de 30% da produção mundial, seguido pela Rússia, Índia, Estados Unidos da América e México respectivamente (FAOSTAT, 2019). Na Índia, o cártamo é cultivado como uma safra de inverno, com objetivo principal voltado à produção de óleo, extraído das sementes destinadas a fins alimentícios (ANJANI e YADAV, 2017).

Ao analisarmos os dados de produção fornecidos pela FAOSTAT (2019) dos últimos 5 anos, é possível observar queda na produção e área colhida de alguns países como Índia e México que figuravam entre os principais produtores mundiais de cártamo, comportamento similar ocorreu com a federação Russa no qual atingiu pico de produção no ano de 2016, com queda significativa nos anos seguintes.

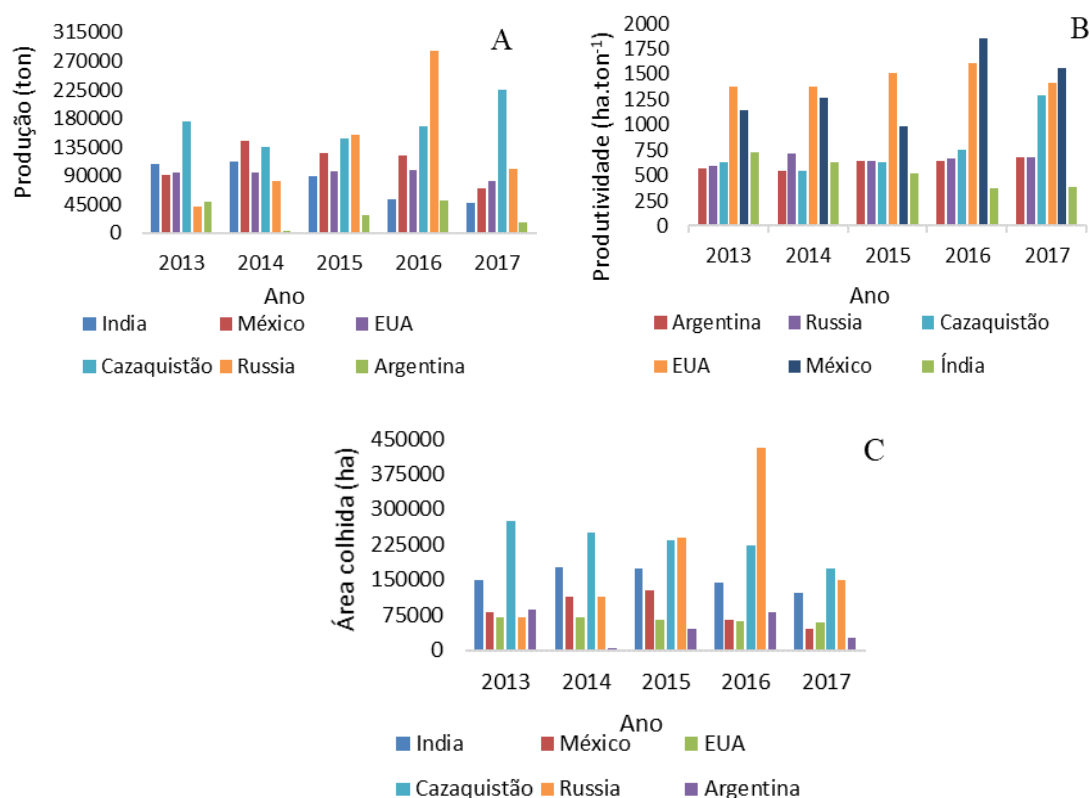


Figura 1 Produção dos principais produtores de cártamo nos anos 2013-2017 (A), Produtividade dos principais produtores de cártamo nos anos 2013-2017(B), Área colhida dos principais produtores de cártamo nos anos 2013-2017 (C).

Fonte: FAOSTAT

3.2 SENSORIAMENTOS REMOTOS (SR) NA AGRICULTURA

Com o avanço do uso de diferentes tecnologias, existem diversas ferramentas que auxiliam o agronegócio para aumento da produção, entre elas as geotecnológicas (ARTIOLI E BELONI, 2016), que compreende a obtenção de informação através de sensores ou imagens propriamente ditas, que podem ser obtidas de forma terrestre como no caso de espectrorradiômetros, ou por meio de sensores acoplados a plataformas como aeronaves remotamente pilotadas (*VANTS*) ou satélites.

A agricultura digital como vem sendo chamada, permite incorporar as tecnologias e comunicações em máquinas, equipamentos e sensores para produção agrícola, permitindo gerar um grande banco de dados (PIVOTO et al., 2017). Fazendo uso desses dados para melhorias nos sistemas de produção agrícola, estas tecnologias aliadas a tomada de decisão podem auxiliar na maximização dos lucros.

O sensoriamento remoto se caracteriza pela obtenção de informações de um alvo sem que ocorra contato físico com ele (BERNARDI et al., 2014). Segundo Steven

e Jaggard (1995) o sensoriamento remoto na agricultura pode se enquadrar em três categorias: identificação do estresse das culturas, monitoramento da produção, classificação e mapeamento.

À medida que a capacidade de coletar dados em resoluções espaciais, espectrais e temporais aumentam, também aumenta a capacidade de derivar informações úteis de dados de sensoriamento remoto. O sensoriamento remoto nunca substituirá outros métodos mais tradicionais de coleta de dados, como instrumentos de censo e pesquisa, no entanto, é um método comprovado e poderoso de coleta de dados que, quando corretamente interpretado e avaliado, pode fornecer ampla variedade de informações úteis (ESTES et al., 2015).

O SR de sensores montados em aeronaves, satélites e VANTs podem fornecer informações importantes para todos os campos de uma localidade para cada estação de crescimento. Por mais que estimativas por SR de quantidades como produtividade em grãos da colheita, sejam menos precisas que as medidas baseadas em campo, a cobertura espacial e temporal sem precedentes do sensoriamento remoto muitas vezes supera os negativos para muitas aplicações (LOBELL, 2013).

Outra ferramenta utilizada para obtenção de informação de maneira remota são os espectrorradiômetros capazes de realizar a leitura dos valores de fator de refletância para cada comprimento de onda, podendo expressar os valores por meio de uma curva de pontos sequenciais, chamada de curva espectral que demonstra o comportamento espectral de cada alvo sob estudo (QUEIROZ et al., 2018). Essa curva espectral é uma assinatura do alvo estudado de acordo com suas próprias características.

O sensor *FieldSpec 4* é um espectrorradiômetro que opera entre comprimentos de onda (λ) de 350 nm a 2500 nm, no modo passivo (ASD INC, 2015). Silva Junior e Shakir, (2016) caracterizou ao padrão espectral de variedade de soja no nível de laboratório (espectrorradiômetro na faixa espectral de 350 a 2500 nm), ao analisar as curvas dos perfis espectrais das variedades de soja, permitiu a caracterização de cada variedade, observando resultados significativos quando utilizado o sensor terrestre hiperespectral.

A importância desse tipo de sensor se dá em identificar as características do alvo de maneira detalhada em busca de realçar características de interesse, como por exemplo, teor de água, clorofila, produtividade, biomassa, haja visto que cada planta

possui uma assinatura espectral e é importante o conhecimento desse padrão para poder realizar a diferenciação espectral de outras culturas (VIANA, 2018). Além disso, esses sensores possibilitam o estudo detalhado das bandas possibilitando a seleção dos melhores comprimentos de onda para utilizar na geração de modelos em busca de estimativas de variáveis.

O SR possibilita monitorar o avanço do agronegócio, como tamanho de área semeada, área de reservas ecológicas, analisando imagens via satélite, ou até mesmo REM de uma área de cultivo utilizando sensores hiperespectrais (BRASIL, 2008).

Os sensores vêm sendo usados para estimar características do solo ou plantas e auxiliam a tomada de decisão para aplicação de água, nutrientes e defensivos agrícolas, com intuito de aumentar a produção, causando menores danos ao meio ambiente, evitando a aplicação de insumos e defensivos em áreas sem necessidade (TULLIO, 2018).

Com o uso de sensores hiperespectrais é possível estimar a concentração de nutrientes no dossel da planta. Segundo He et al. (2016), que realizaram estudo sobre a concentração de nitrogênio das folhas do dossel de trigo de inverno usando sensores hiperespectrais multi-angular, criou um índice de vegetação, capaz de aumentar o poder preditivo da concentração de nitrogênio nas folhas do dossel de trigo de inverno.

Ganascini et al. (2019) Usaram um sensor hiperespectral terrestres para caracterizar e diferenciar o comportamento da planta com aplicação de desseccantes (diquat, amônio-glufosinato), notou a ocorrência da perda de água e degradação da clorofila de maneira distinta conforme o modo de ação do herbicida.

3.2.1. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE CULTURAS AGRÍCOLAS

O conhecimento sobre padrão espectral de alvos é fundamental para extração dos dados das imagens, definição de novos sensores, definição da metodologia de pré-processamento a que devem ser submetidos os dados brutos ou mesmo na definição da forma de aquisição dos dados (NOVO, 1992).

O sensoriamento remoto na região espectral compreendida entre o visível e o infravermelho de ondas curtas (400 nm a 2500 nm) é baseado em medições remotas da REM refletida pelos alvos das superfícies terrestres. Assim as informações coletadas pelo sensoriamento necessitam ser interpretadas com base no pressuposto

de que diferentes alvos apresentam distintos padrões espectrais (FORMAGGIO E SANCHES, 2017).

Observando a Figura 2 podemos acompanhar a descrição realizada por Jensen (2009), sobre as regiões do espectro e suas principais relações com característica de folha. Jensen (2009) afirma que a faixa do visível possui relação com pigmentos foliares principalmente clorofila e carotenoides, as principais bandas de absorção destes pigmentos são correspondentes a faixa do azul (430 a 450nm) e a faixa do vermelho (650 a 660nm). A região do infravermelho próximo (NIR) responde a condições de estrutura celular e na região do infravermelho médio o conteúdo de água da folha influencia no comportamento da curva espectral, com presença de picos de absorção principalmente nos comprimentos de onda de 1450nm, 1950nm e 2600 nm.

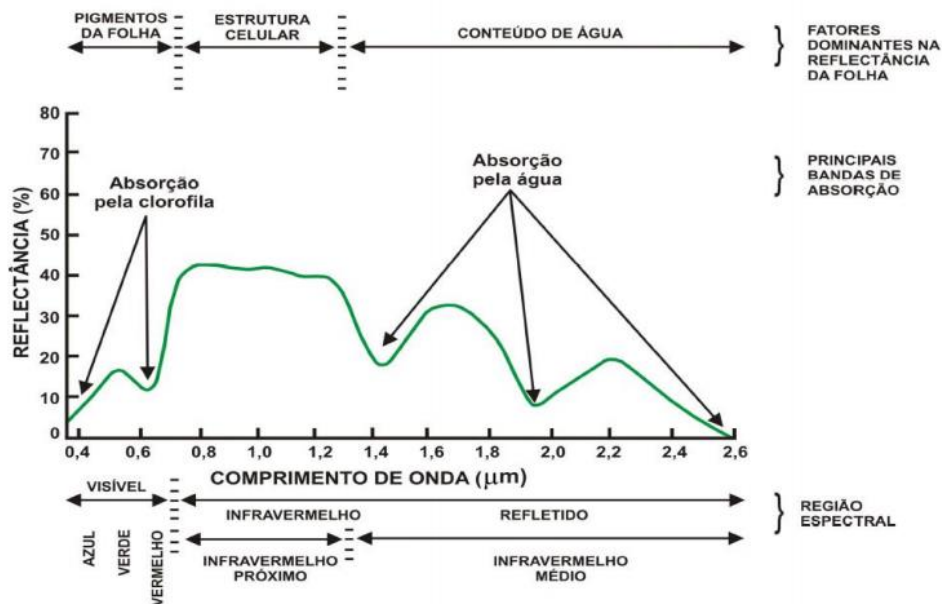


Figura 2 Curva de refletância típica de uma folha verde sadia.

Fonte: Swain (1978)

A folha é o principal elemento da vegetação no processo de interação com a REM, quando comparadas as curvas de refletância de uma folha verde sadia, nota-se que elas apresentam um padrão espectral muito semelhante aos dosséis, por essa semelhança se torna possível ser previsto os padrões espectrais dos dosséis (NOVO e PONZONI, 2001).

Cattani (2018) Por meio de sensores terrestres caracterizou perfis espectrais de índices de vegetação (RVI, MSR, MSAVI, NDVI, NDRE e NDMI) de trigo (*Triticum aestivum* L.) e feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), com objetivo de relacionar os índices

estudados com parâmetros biofísicos, IAF (Índice de Área Foliar) e radiação fotossinteticamente interceptada (RFAI), o autor concluiu que os sensores terrestres usados foram eficientes em definir o padrão espectral dos IVs abordados.

3.2.2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Desde os anos 60, estudos realizados vêm extraindo e modelando inúmeros parâmetros biofísicos da vegetação com o uso do sensoriamento remoto.

Na maioria desses estudos estão envolvidos os índices de vegetação (IVs), que são medidas radiométricas adimensionais; os quais indicam abundância relativa e atividade da vegetação verde, índice de área foliar, porcentagem de cobertura verde, teor de clorofila, biomassa verde e radiação fotossinteticamente ativa absorvida (JANSEN, 2009).

Inúmeros IVs já foram desenvolvidos para diferentes finalidades. Pesquisadores no mundo inteiro usam as características de absorção associadas com constituintes bioquímicos para avaliar as culturas em estudo (BERNARDI et al., 2014). Compreender a dinâmica espacial e temporal da vegetação é essencial, e índices de vegetação podem também ser utilizados para avaliar e monitorar a dinâmica de vegetação de ambientes, principalmente em condições áridas (LU et al., 2015).

Existem estudos que mostram a relação entre índice de área foliar e medições radiométricas de vegetação, principalmente os IVs que frequentemente são utilizados para estimar essa variável, considerando amplas bandas espectrais (ZHEN et al., 2021).

O índice de vegetação por diferença normalizada NDVI é uma ferramenta muito usada no monitoramento das mudanças sazonais do padrão espectral das plantas (CATTANI, 2018). O NDVI é caracterizado pela diferença normalizada das bandas do vermelho e infravermelho próximo, retornando valores que variam de -1 a 1, onde plantas que apresentam valores próximo a 1 possuem características favoráveis em relação a desenvolvimento vegetativo e valores próximos a -1 não apresenta bom desenvolvimento (MONTEIRO et al., 2013).

O índice de vegetação por diferença normalizada (mNDVI), uma forma modificada de NDVI, tem sido usada para detectar o conteúdo de clorofila em folhas verdes (GITELSON E MERZYLAK, 1994), devido aos níveis de antocianinas e xantofilas estarem relacionados a razão das bandas do vermelho/verde (FUENTES et

al., 2001).

O Índice de Diferença de Água Normalizada (NDWI) possui correspondência direta com teor de água do dossel, este índice tem grande importância para áreas irrigadas devido a sua capacidade de monitorar e relacionar-se significativamente com o conteúdo de água do dossel vegetal (ALVINO et al., 2020).

O Índice de Nitrogênio de Diferença Normalizada (NDNI), é utilizado para estimativas de teor de nitrogênio da folha. O índice foi desenvolvido com base nas características de absorção de nitrogênio em 1510 nm, baseado em uma vegetação arbustiva do mediterrâneo, mas em teoria é generalizável para outras espécies (WANG et al., 2016).

Viana (2018) Em seu estudo que caracterizou o padrão espectral do Crambe (*Crambe abyssinica Hochst*), observou que ocorreu saturação do NDVI, na época de floração e granação do crambe.

Almeida e Fontana (2009) Observaram em seu estudo sobre o desempenho dos índices de vegetação (IVs) NDVI e PVI com diferentes condições hídricas e sistemas de manejo dos solos e destacam que os índices utilizados em seu experimento podem ser extremamente úteis para monitoramento e modelos de previsão de safras da cultura de soja.

Pereira et al. (2016) Notaram que a variação temporal do Índice de Área Foliar (IAF) de cana-de-açúcar, obtido a partir do modelo NDVI com correção atmosférica foi significativa, mostrando as fases de crescimento, estabilização e diminuição de um ciclo de produção da cultura.

Serrado et al. (2002) Observaram resultados promissores para a detecção remota de Nitrogênio e lignina no nível da paisagem usando Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), particularmente em coberturas verdes contínuas de baixa vegetação, tornando um bom candidato para estimar padrões bioquímicos de alta relevância para processos ecológicos.

Ganascini (2019) Avaliando o padrão dos perfis espectrais que reagem com a aplicação de diferentes desseccantes para cultura do feijão, notou pelo Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI) no comprimento de onda de 750 nm que o desseccante diquat apresentou menor refletância em relação a testemunha, justificando que esse comportamento ocorre devido à rápida degradação da clorofila causada pela aplicação do desseccante.

A metodologia de aplicação do Índice de água por diferença normalizada

(NDWI), permite observar aspectos de água e minimizar o restante dos alvos (BRENNER e GUASSELLI, 2015).

Brenner e Guasselli, (2015) observaram que ao trabalhar com índice de água por diferença normalizada (NDWI), a percepção fica muito restrita em ondas na faixa do visível, a maior parte da refletância da radiação da água se dá a partir do infravermelho. A banda do verde, usada na equação do NDWI, permite maior penetração da luz no fundo da água, permitindo maior caracterização dos alvos.

Hajare; Patil e Verma. (2008) usaram índices espectrais como um indicador de características fisiológicas que afetam a produção de cártamo em relação à variabilidade do solo avaliados em um experimento de dois anos e puderam observar que o comportamento do NDVI temporal em função do tipo de solo não foi proeminente, especialmente nos estágios iniciais do crescimento da cultura e obtiveram modelo baseados em NDVI para solo com textura argilo-arenoso com $R^2 = 0,89$ a 75 dias após a semeadura.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola - NEEA localizado em Cascavel – PR, o qual possui coordenadas geográficas de 24°48' latitude sul e 53°26' de longitude oeste. O município de Cascavel possui altitude média de 711 metros, o município apresenta precipitação média anual de 1841 mm, temperatura média anual de 20 °C (CLIMATE-DATE, 2021).

O solo do Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola - NEEA é classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA, 2018). A área é cultivada sob sistema de plantio direto (SPD) há mais de 20 anos, com soja (*Glycine max L.*), milho (*zea mays L.*), aveia-preta (*Avena strigosa*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*), azevém (*Lolium multiflorum L.*) (PACHECO, 2016).

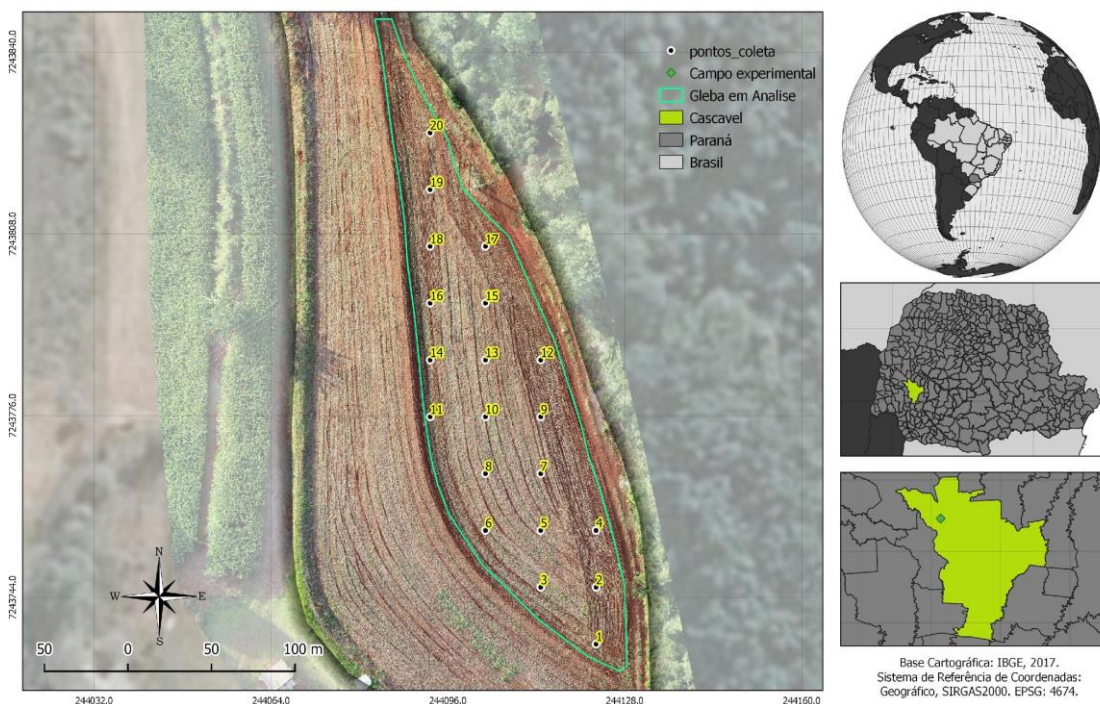


Figura 3 Área experimental da pesquisa no município de Cascavel, PR.

A semeadura foi realizada no mês de junho de 2020. As sementes foram obtidas junto ao Instituto Agrônomo do Paraná-IAPAR, variedade IAPAR CIPL2, a semeadura foi realizada em sucessão à cultura da soja, no sistema de plantio direto.

O plantio mecanizado foi conduzido com auxílio de um trator de 105 CV. A semeadora de rotor de grãos finos foi usada com espaçamento de 51 cm entre linha, sendo distribuídas aproximadamente 30 sementes por metro linear, devido à baixa porcentagem de germinação que a cultura do cártamo possui, com profundidade de semeadura de 2 a 4 cm. A correção do solo ocorreu na implantação das culturas, com

800 kg de NPK, composição de 4-14-8, visando atender às devidas exigências nutricionais (SAMPAIO, 2016). Durante o ciclo de cultivo foi realizado o controle de plantas daninhas, pragas e doenças.



Figura 4 Semeadora de grão fino marca Vence Tudo, modelo SMT6414 (A), Trator Ford 7630, 105 CV, usado para plantio do experimento (B).

4.1. AQUISIÇÃO DE DADOS ESPECTRAIS

Em uma área total do experimento de 900 m² as coletas de dados foram realizadas de acordo com os estádios fenológicos da cultura, sendo coletados em 20 pontos amostrais, com 3 repetições em cada um. Os pontos amostrais foram distribuídos aleatoriamente na área com auxílio do *Software QGIS* espaçados em 10 metros. As coordenadas amostrais foram extraídas a partir de *software* de geoprocessamento, inseridas no receptor *GNSS Trimble Juno SB*. Identificados os 20 pontos amostrais em campo, foram inseridas bandeiras para demarcação deles; para facilitar o processo de localização de coletas, realizadas em raio de 2 metros do ponto.

Para medir o padrão espectral foram coletadas 8 folhas de cártamo por ponto amostral, sendo 4 da parte superior da planta e 4 do terço médio das plantas em diferentes estádios fenológicos determinados como: roseta com 28 dias após a semeadura (DAS), floração (87 DAS) e maturação (101 DAS). As folhas foram acondicionadas separadamente em sacos plásticos, armazenadas em caixa térmica para manter as condições de campo até a chegada em laboratório, onde foram realizadas as análises com o equipamento *FieldSpec4*, utilizando o acessório *Leaf Clip*. Para iniciar o

processo de aquisição dos perfis espectrais foi realizada a otimização e calibração com referência à superfície *lambertiane* (superfície branca) via *software RS³* do próprio fabricante ASD.



Figura 5 Acessório *Leaf cleap*.

Os perfis espectrais e os índices de vegetação dos 20 pontos amostrais foram agrupados por três fases fenológicas (Roseta, floração e maturação; com 25, 87 e 101 dias após a semeadura (DAS)) respectivamente, no software Excel, sendo calculadas médias diárias e, conseqüentemente gerados gráficos do padrão espectral.

4.2. ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF)

Para as medidas de área foliar foi utilizado o sensor LAI-2200C, este equipamento tem a finalidade de medir o IAF das culturas, calculando o IAF e outros atributos da estrutura do dossel de maneira passiva, sem ter contato físico com o alvo, por meio de métodos indiretos. Isto é possível a partir de medições de radiação feitas por meio de um sensor óptico (*fish-eye*) com campo de visão de 148° (LI-COR, 2014).

Considerando que a cultura foi semeada em linhas, foram realizadas leituras de maneira transversal às linhas de semeadura, no período dos estádios fenológicos da cultura do cártamo. As leituras foram realizadas nos mesmos dias do espectrorradiômetro. Em cada ponto foram realizadas 3 repetições, sendo feita uma leitura acima do dossel com a opção '*Above*' ativada a uma distância de 40 cm do dossel e 4 leituras abaixo do dossel a uma distância de 5 cm do solo no decorrer da linha, portanto, sempre considerando a entre linha da cultura. O *View cap* utilizado foi

o de 90°, baseando-se no recobrimento das linhas pelo dossel da cultura, no dia da realização da coleta, também foi utilizado um *view cap* (“tampa”) com abertura de 270° quando as entrelinhas já estavam fechadas pelo dossel (LI-COR, 2014; CATTANI, 2018).



Figura 6 *View cap* com angulação de 90°.



Figura 7 Coleta de dados de IAF com o LAI-2200C na fase de roseta.

4.3 TEOR DE ÁGUA DAS FOLHAS (TAF)

O teor de água das folhas foi realizado nos mesmos dias da coleta do espectrorradiômetro. Foram coletadas duas folhas superiores e duas folhas do terço médio da planta em três plantas por ponto amostral. Foram escolhidas folhas superiores e do terço médio para manter um padrão de coleta dos dados espectrais extraídos das folhas, estas foram pesadas e levadas à estufa a 60 ± 3 °C por 48 horas até estabilização da massa, o teor de água foi calculado por porcentagem (BARRS E WHEATERLEY, 1962).

4.4 ALTURA DE PLANTAS

As coletas de altura de plantas ocorreram nos mesmos dias da coleta realizada com o espectrorradiômetro. Foram escolhidas aleatoriamente 3 plantas por ponto amostral, a medição das plantas foi realizada com auxílio de uma trena

milimetrada.

4.5 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)

Para cálculo do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) foram selecionadas faixas espectrais (620 a 1300 nm) do padrão espectral coletadas por meio do sensor *FIELSPEC 4*, classificadas em duas bandas espectrais: Vermelho (620 a 700 nm) e Infravermelho próximo (700 a 1300 nm) e aplicado na Equação (01). O índice NDVI apresenta valores entre o intervalo de -1 a 1 caracterizando desenvolvimento vegetativo desejável e indesejável, respectivamente (ROUSE et al., 1973).

$$NDVI = \frac{(R_{780} - R_{660})}{(R_{780} + R_{660})} \quad (01)$$

Em que: NDVI é o índice de vegetação por diferença normalizada, R_{660} e R_{780} representam o fator de refletância espectral em comprimento de onda de 660 e 780 nm, respectivamente.

4.6 ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA MODIFICADO (mNDVI)

Foram selecionados faixa espectral (705 a 750 nm) do padrão espectral coletados a campo nos estágios fenológicos Roseta, Floração e Maturação, este índice responde à clorofila presente nas folhas das plantas, conforme Equação (02) este índice corresponde ao índice de vegetação normalizado modificado, onde obteve a modificação em relação a região utilizada (vermelho) que passou a ser verde devido a respostas de xantofila e antocianinas nesta região (FUENTES et al., 2001).

$$mNDVI = \frac{(R_{750} - R_{705})}{(R_{750} + R_{705})} \quad (02)$$

Em que: mNDVI: Índice de vegetação por diferença normalizada modificado, R_{705} e R_{750} representam o fator de refletância espectral em comprimento de onda de 705 e 750 nm, respectivamente.

4.7 ÍNDICE DE NITROGÊNIO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDNI)

Para este índice foi selecionado faixa espectral (1510 a 1680 nm) do padrão espectral, faixa que corresponde a banda do infravermelho médio, este índice

responde à concentração de nitrogênio na folha da planta e é calculado conforme Equação (03) (SERRANO et al., 2002).

$$NDNI = \frac{\log \log \left(\frac{R_{1680}}{R_{1510}} \right)}{\log \log \left(\frac{1}{R_{1680} * R_{1510}} \right)} \quad (03)$$

Em que: NDNI é o índice de nitrogênio por diferença normalizada, R_{1510} e R_{1680} representam o fator de refletância espectral em comprimento de onda 1510 e 1680 nm, respectivamente.

4.8 ÍNDICE DE ÁGUA POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDWI)

Para o cálculo deste índice, foram selecionados faixa espectral (860 a 1240 nm) do padrão espectral do cártamo, essa faixa corresponde ao NIR do perfil, este índice responde a concentração de água na vegetação (GAO, 1996) calculada conforme Equação (04).

$$NDWI = \frac{(R_{860} - R_{1240})}{(R_{860} + R_{1240})} \quad (04)$$

Em que: NDWI é o índice de água opor diferença normalizada, R_{860} e R_{1240} representam o fator de refletância espectral em comprimento de onda 860 e 1240 nm, respectivamente.

4.9 PRODUTIVIDADE

Para o cálculo da produtividade de grãos de cártamo foi usado o método definido por Brasil (2009), ao atingirem o ponto de maturação, ideal para colheita, foi demarcado em cada ponto amostral, para que fosse padronizado a área de colheita, um gabarito de madeira com área de 1 m². Todas as plantas dentro do gabarito foram colhidas embaladas e identificadas. Os grãos foram extraídos das plantas, foram limpos utilizando peneiras, para a separação e posteriormente pesados em balança de precisão, os dados de peso dos grãos de cártamo dos pontos amostrais foram transformados para quilograma (kg) e área colhida para hectares (ha), apresentando os valores de produtividade em kg. ha⁻¹.

4.10 UMIDADE DE GRÃOS

A umidade de grãos foi determinada pelo método da estufa definido por Brasil (2009), foram separados 5 g de grãos de cártamo de cada ponto amostral, levados em estufa a 105 °C por 24 horas ou até peso constante.

Após esse período em estufa, foram pesados em balança analítica de precisão de 0,0001 g para obtenção do teor de água da semente.

4.11 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

As análises estatísticas foram realizadas no software ACTIONSTAT; inicialmente testando-se a normalidade dos dados, pelo teste de Shapiro Wilk, ao nível de 5% de significância (ACTIONSTAT, 2014).

Foram avaliadas as correlações entre faixas espectrais e variáveis de IAF e produtividade, bem como as correlações de índices de vegetação com IAF e produtividade. Aos dados que apresentaram normalidade foi utilizado o coeficiente de correlação de Pearson e para dados não normais foi usado o coeficiente de correlação de Spearman.

Foram realizados testes para geração de modelos baseados nos índices de vegetação nos diferentes estágios fenológicos para previsão de produtividade e estimativa de IAF.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na figura 8 pode ser observado o comportamento das variáveis de temperatura e umidade relativa do ar, no período de condução do experimento.

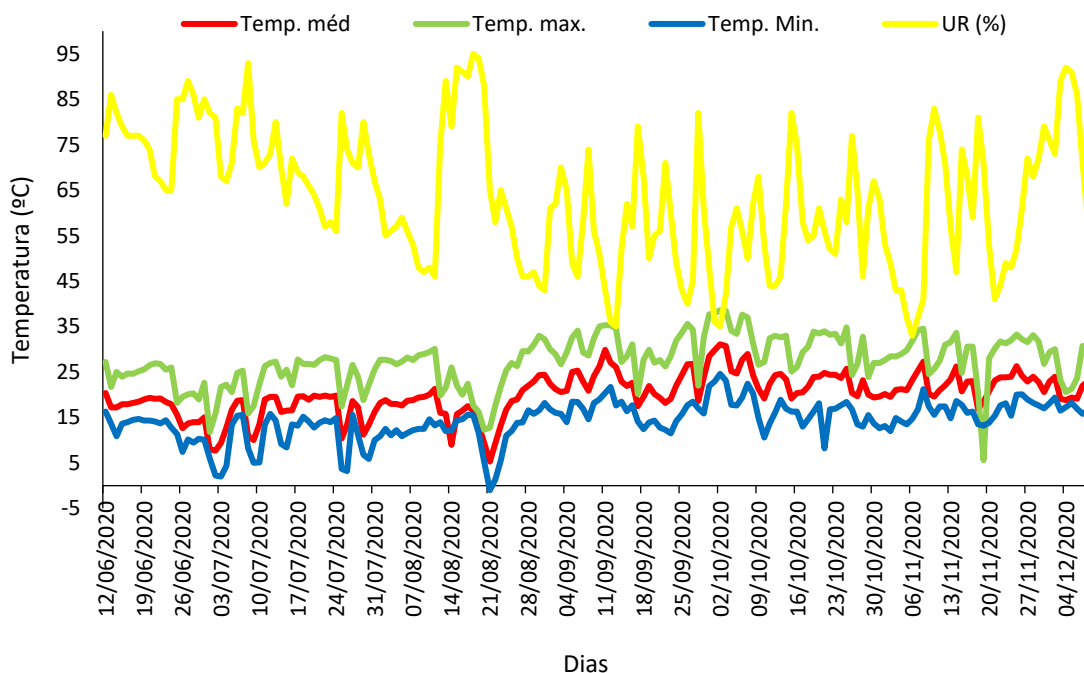


Figura 8 Variáveis meteorológicas Umidade relativa do ar - UR (%) e Temperaturas médias, mínimas e máximas diárias no período de 12 de junho de 2020 a 12 de dezembro de 2020 para Núcleo experimental de engenharia agrícola - NEEA, no município de Cascavel/PR.

Fonte: SIMEPAR, (2020) adaptado pelo Autor.

O cártamo apresentou ciclo de 140 dias. Similar ao observado por Silva (2013) o ciclo vegetativo do cártamo teve variação de 110 a 150 dias, isso se justifica pela variação de temperatura ocorrida no período, bem como o genótipo, como principais fatores para essa faixa de ciclo produtivo (SILVA, 2013).

Durante o período da safra, a temperatura mais baixa registrada foi de 1 °C abaixo de zero no mês de agosto, a temperatura mais alta no período de cultivo do cártamo foi de 38,9 °C registrada no mês de outubro, temperatura e umidade relativa do ar média durante a safra foram de 19,8°C e 63% respectivamente (SIMEPAR, 2020).

Na safra avaliada do cártamo a precipitação acumulada foi de 465,4 mm. Considerando que o desenvolvimento do cártamo apresenta aumento da produtividade quando as precipitações ficam por volta de 600 mm (OELKE et al., 2011), pode-se dizer que houve falta de incremento hídrico na safra avaliada. Quando

uma planta está sob estresse hídrico, a taxa de fotossíntese diminui devido a oxidação da xantofila, conseqüentemente os estômatos se fecham e levam a diminuição de taxa de assimilação de gás carbônico, diminuindo a capacidade de transporte de energia da planta e interferindo diretamente na estrutura celular, principalmente na composição de clorofila (KATSOULAS et al. 2016).

No estágio de roseta, o ponto de crescimento é protegido, então a maioria das variedades pode suportar temperaturas mais baixas (quanto $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$). As primeiras folhas emergindo após uma geada podem mostrar lesões, mas a planta se recupera e cresce normalmente (OELKE et al., 2011; MÜNDEL, 2004; EMONGOR, 2010).

Durante o cultivo não foram observadas ocorrência de geadas consideráveis para afetar o desenvolvimento do cártamo no campo experimental, apesar do acumulado de precipitação na época de colheita ter sido considerável, foi registrado alguns períodos mais longos de estiagem, que afetou a região oeste do Paraná durante o período de cultivo do cártamo.

Na Tabela 2 são apresentados os dados de produtividade e Peso de 1000 Sementes de cártamo (P1000).

Tabela 2 Resumo estatístico descritivo de Peso 1000 sementes (P100) e Produtividade (Prod) da cultura do cártamo.

	P100	Prod.
Mínimo	35,988	607,907
Média	40,626	894,502
Máximo	46,897	1231,226
S ²	3,479	196,077
CV%	8,563	21,920
N	20	20

S² - Desvio Padrão, CV% - Coeficiente de variação e N - Número de amostras.

A produtividade do cártamo (Tabela 2) no presente estudo teve média de 895 kg.ha⁻¹. No período que antecedeu a colheita (09 de dezembro) ocorreu elevado volume de precipitação entre os dias 25 de novembro de 2020 até o dia 07 de dezembro de 2020, com acumulado de 165 mm, de acordo com os dados obtidos por uma estação meteorológica do SIMEPAR próxima da área do experimento, podendo o excesso de chuva ter causado redução na produtividade do cártamo.

Observando os valores de produtividade identifica-se um coeficiente de variação de 20%, sendo que o valor mínimo foi de 607 kg.ha⁻¹ e a máxima 1231 kg.ha⁻¹, mostrando alta heterogeneidade no talhão em relação a essa variável.

Segundo Queiroga (2021) o cártamo pode ter diminuição no rendimento, devido a danos de aves, pragas, doenças, chuvas e por menor eficiência da colheitadeira, podendo justificar a redução da produtividade do cártamo ficando abaixo do seu potencial.

Esse resultado corrobora ao encontrado por Rosseto (2019) que analisou crescimento e produtividade do cártamo em diferentes profundidades de semeadura e as pressões das rodas compactadoras da semeadora adubadora, constatando que a variação da profundidade de semeadura e pressão da roda compactadora interferiu na produtividade do cártamo; e a profundidade de semeadura de 4,5 cm produziu 868 kg.ha⁻¹ de grãos .

Rech (2012) constatou em seu estudo que a época de semeadura afetou a produtividade do cártamo a produtividade de grãos entre os anos de 2010 e 2011; para o ano de 2010 a época semeada foi 19/03 e apresentou maior rendimento com 106,40 kg.ha⁻¹ em relação às demais épocas; para o ano de 2011, a semeadura realizada em 09/02 obteve uma produtividade de 71,60 kg.ha⁻¹. O autor justificou a baixa qualidade das sementes, devido a ocorrência de doenças na cultura afetando a produção final de grãos, problemas com veranicos na fase de enchimento dos grãos e as geadas que afetaram o desenvolvimento das sementes, dentre outros podem ter afetado a produtividade da cultura.

O peso de 1000 sementes (P1000) de cártamo descritos na Tabela 3 variou de 35,988 a 46,897 gramas corrigindo a umidade para 13%, com uma média de 40,626 gramas. Valores médios corroboram com a classificação citada por Queiroga (2021). Embora o peso de 1000 sementes esteja de acordo com essa classificação, a produtividade verificada ficou abaixo do potencial da cultura do cártamo, segundo Possenti & Paulino (2010) e Safflower Production Tips, (2001), produtividade média de grãos de cártamo pode variar de 1000 a 3000 kg.ha⁻¹ ..

Na Figura 9 pode ser observado as curvas médias dos padrões espectrais das fases fenológicas (roseta, floração e maturação) de folhas da cultura do cártamo.

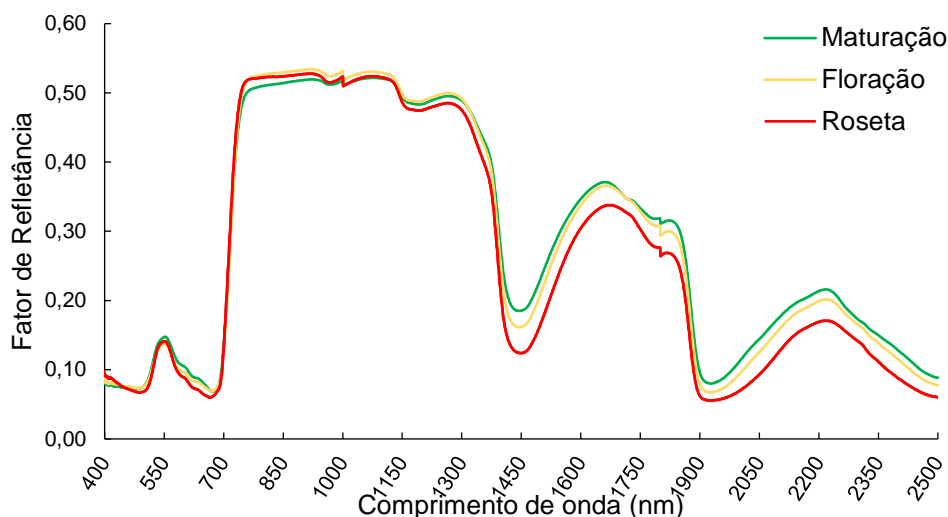


Figura 9 Curvas médias dos padrões espectrais das fases fenológicas do cártamo, elementos amostrais medidos no intervalo espectral de 400 a 2500nm.

Fonte: Autor

Observa-se os perfis espectrais entre os comprimentos de ondas de 400 a 2500 nm das diferentes fases fenológicas avaliadas. Na fase de Roseta (25DAS), ocorre crescimento lento, nela há o incremento de grande número de folhas, próximo ao nível do solo, podendo durar até 40 dias. Na fase de Floração (87DAS) se inicia a haste principal e continua com ramificações secundárias, sua duração pode variar de 3 a 4 semanas, dependendo das variáveis climáticas. Nessa fase é semelhante a cultura de girassol. Para a fase de Maturação (101DAS), a qual acontecem entre 4 e 6 semanas, logo após o início da fase de floração. O ponto ideal para colheita se dá entre 2 e 3 semanas após a maturidade (QUEIROGA et al., 2021).

Na Figura 9, observa-se que na faixa do infravermelho próximo, a cultura do cártamo apresentou fator de refletância de aproximadamente 0,5, mostrando padrões próximos aos estudados em vegetação saudas, segundo Reis et al. (2019), em seu estudo a faixa 720 a 1000 nm, dentro do infravermelho próximo, ocorreu maior refletância da cultura de soja, os autores afirmam que as plantas são consideradas saudas quando apresentam refletância entre 40 e 60%.

Considerando que a região da borda vermelha (650-660 nm) do padrão espectral do cártamo não apresentou deslocamento entre os estágios fenológicos, pode-se notar que o mesófilo da folha não foi danificado durante o ciclo da cultura. Pois segundo Smith, Steven e Colls (2004), a faixa de borda vermelha também tem sido usada para identificar tensões que a planta tenha sofrido, devido a ocorrer acentuadas mudanças, nos comprimentos de onda entre 690 a 750nm caracterizada

como borda vermelha entre a dominância pela forte absorção de luz vermelha pela clorofila e o alta refletância múltipla de radiação no mesófilo da folha.

A radiação com comprimento de onda maior que 950 nm, é caracterizada em geral pela absorção de água das folhas, enquanto a radiação próxima a 1000 nm responde a matéria seca da folha, além disso, a refletância nos comprimentos de onda específicos de (680-750nm), condiz sobre a água e os nutrientes da folha, já de 750-800nm, respondem também ao conteúdo de água da folha (KATSOUKLAS et al., 2016; MA et al., 2019). Observando o perfil espectral do cártamo baseado nesses comprimentos de ondas citados, pode-se verificar que no estágio de floração e maturação há menor conteúdo de água na folha, na região do infravermelho (1300 - 2500nm), também é possível notar este comportamento, logo, nos comprimentos de onda 1450 e 1900nm com ocorrência dos picos de absorção de água das folhas evidenciando este gradiente de perda de água na folha.

Neto et al. (2017) Observou uma diferença entre as curvas espectrais médias, de folhas de girassol com estresse hídrico leve apresentando menor refletância no comprimento de onda NIR (700 a 1000 nm), quando comparadas às folhas que sofreram estresse hídrico moderado e grave.

De modo geral, os comprimentos de onda que melhor diferenciam as fases fenológicas do cártamo, na faixa do visível estão em torno de 550 a 400 nm, na faixa NIR de 700 a 850 nm que provavelmente se deve ao teor de água da folha, e nos comprimentos de onda de 1150 a 1300 nm. Para o infravermelho médio a faixa por completo apresentou diferença de valores de refletância nos diferentes estágios fenológicos.

Na Figura 10 pode ser observados os padrões espectrais de folhas do cártamo, na região do visível, correspondente ao comprimento de onda de 400 a 700 nm.

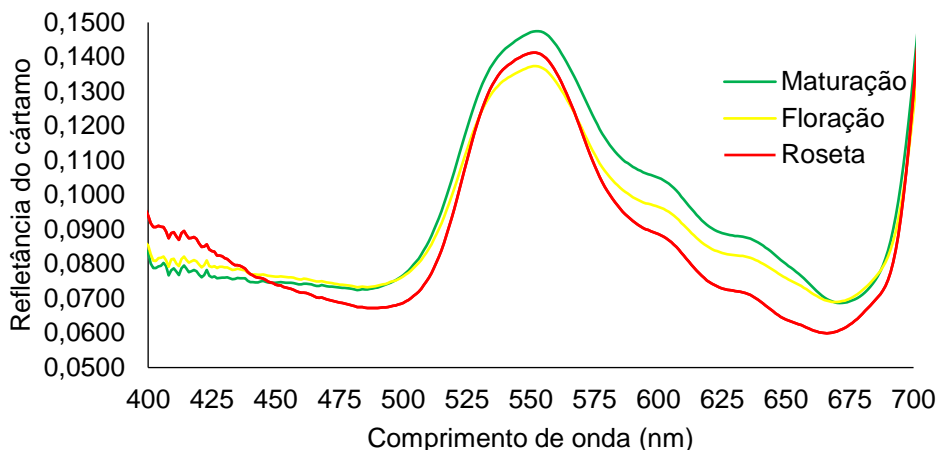


Figura 10 Curvas médias dos padrões espectrais do cártamo, elementos amostrais medidos no intervalo espectral de 400 a 700 nm.

Fonte: Autor

Na região do visível (400 a 700 nm) os pigmentos contidos nas folhas são os principais fatores para resposta da refletância das folhas, a energia absorvida interage com os pigmentos nas folhas, seletivamente a clorofila. Convertendo-se em calor e convertida fotoquimicamente em energia (PONZONI, 2002).

O padrão espectral na região do visível da cultura do cártamo apresenta comportamento padrão em vegetação sadia. Assim como descrevem Martins e Trindade-Galo (2015), a região do visível é caracterizada por duas bandas de absorção bem definidas, explicadas pela ação da clorofila, no intervalo espectral do azul e do vermelho, entre 450-520 nm e entre 630-690 nm, respectivamente.

O pico de refletância característico no comprimento de onda (525-575nm), revela uma significativa influência dos pigmentos fotossintetizantes, em especial, clorofilas (KAFFER et al. 2016), que pode ser relacionado com outras variáveis de análise, como por exemplo, estado fenológicos e fatores climáticos. A alta porcentagem de absorção da radiação solar na faixa do visível são o motivo de vários índices de refletância serem baseadas nesses comprimentos de onda, além disso, são fortemente dependente da luz ambiente e altamente correlacionado a fotossíntese (KATSOULAS et al., 2016).

Nota-se na Figura 10 além dos picos de absorção na faixa do azul e do vermelho para ambos os estágios fenológicos, que a medida em que a planta se desenvolve as absorções nesta faixa vão diminuindo. Percebe-se também que na região do verde há uma queda na refletância no estágio de floração, sendo ocasionada provavelmente pela escassez hídrica sofrida nesse período.

Na Tabela 3 são exibidos os resultados de Teste de Normalidade Shapiro-Wilk, do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI), Índice de água por diferença normalizada (NDWI), Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Teor de água em folhas do cártamo (TAF), produtividade e Índice de área foliar (IAF).

Tabela 3 Teste de Normalidade Shapiro-Wilk dos Índice de água por diferença normalizada (NDWI), Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI), Teor de água na folha (TAF), Índice de área foliar (IAF).

	NDVI	NDNI	U	P1000	IAF	TAF	NDWI	mNDVI	Prod.
Est	0,969	0,947	0,971	0,886	0,877	0,704	0,96	0,977	0,948
p-valor	0,141	0,011	0,771	0,027	0	0	0,047	0,321	0,333

Os dados apresentados na Tabela 3 mostram os resultados do teste de Shapiro-Wilk, o qual apresenta a normalidade dos parâmetros analisados no presente estudo. Para que os dados sejam considerados normais se faz necessário que o p-valor > 0,05, seja, com 5% de significância, possibilitando concluir que apenas os índices de vegetação NDVI, mNDVI, produtividade e umidade do grão apresentaram normalidade em seus dados.

Nas Tabelas 4, 5, 6 e 7 são apresentados os dados das matrizes de correlações das variáveis de estudo deste experimento do ciclo vegetativo do cártamo, fase fenológica de roseta, floração e maturação da cultura do cártamo no ano de 2020.

Tabela 4 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para ciclo da cultura do cártamo.

	NDNI	NDVI	NDWI	mNDVI	TAF	IAF	P1000	U	Prod.
NDNI	1,000								
NDVI	0,574	1							
NDWI	0,805	0,527	1						
mNDVI	-0,082	0,149	-0,004	1					
TAF	0,201	0,041	0,261	0,305	1				
IAF	0,603	0,401	0,569	-0,154	-0,003	1			
P1000	0,062	0,049	-0,023	0,039	0,031	0,189	1		
U	0,089	-0,020	0,093	0,052	-0,033	-0,089	-0,317	1	
Prod.	0,000	0,137	0,037	0,149	0,148	-0,086	0,244	0,075	1

*Índice de água por diferença normalizada (NDWI), Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI), Teor de água na folha (TAF), Índice de área foliar (IAF) e Umidade do grão (U). Valores em **negrito** apresentam correlação com significância a nível de 5%.

Observou correlações positivas significativas do Índice de área foliar (IAF) com os Índice de nitrogênio por diferença (NDNI), Índice de vegetação por diferença

normalizada (NDVI) e Índice de água por diferença normalizada (NDWI), com valores de 0,603, 0,569 e 0,401 respectivamente, já a variável de produtividade obteve uma correlação positiva com a Umidade de grão (U) valor de 0,244. Essas correlações positivas indicam que à medida que os valores de uma variável aumentam, a variável correlacionada irá aumentar da mesma maneira.

Além das correlações das variáveis respostas com índices, pode-se notar correlações entre os Índices de vegetação (IVs) destacando correlação positiva do Teor de água na folha (TAF) com os Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI) e Índice de água por diferença normalizada (NDWI) com valores de correlação de 0,305 e 0,261; e correlação negativa significativa entre e Umidade de grãos (U) e Peso de 1000 sementes (P1000) com valor de -0,317, ou seja, a medida que Umidade de grão diminua o peso de P1000 também diminuirá.

Tabela 5 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para estágio fenológico de roseta da cultura do cártamo.

	NDNI	NDVI	NDWI	mNDVI	TAF	IAF	P1000	U	Prod.
NDNI	1								
NDVI	0,338	1							
NDWI	0,705	0,153	1						
mNDVI	0,255	0,386	-0,028	1					
TAF	0,077	-0,082	0,296	-0,169	1				
IAF	0,245	-0,287	0,481	-0,209	0,048	1			
P1000	0,179	0,126	0,442	-0,348	0,038	0,187	1		
U	0,271	-0,295	0,029	0,006	-0,101	-0,048	-0,317	1	
Prod.	0,039	0,182	0,014	-0,334	0,200	-0,236	0,244	0,075	1

Índice de água por diferença normalizada (NDWI), Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI), Teor de água na folha (TAF), Índice de área foliar (IAF) e Umidade do grão (U). Valores em **negrito** apresentam correlação com significância a nível de 5%.

Ao realizar a correlação das variáveis da fase fenológica roseta da cultura do cártamo de forma isolada (Tabela 5), entre as variáveis respostas de interesse, o Índice de área foliar (IAF) apresentou correlação positiva significativa entre o Índice de água por diferença normalizada (NDWI), com valor de 0,481, ou seja, aumentando os valores de NDWI os valores de IAF irão aumentar da mesma maneira.

Já entre Índice de água por diferença normalizada (NDWI), notou-se correlação positiva significativa com Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI) e Umidade de grão (U) com valores de correção de 0,705 e 0,442 respectivamente.

Tabela 6 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para fase fenológico de Floração da cultura do cártamo.

	NDNI	NDVI	NDWI	mNDVI	TAF	IAF	P1000	U	Prod.
NDNI	1								
NDVI	0,430	1							
NDWI	0,490	0,221	1						
mNDVI	0,710	0,583	0,505	1					
TAF	0,066	-0,110	0,280	0,147	1				
IAF	-0,013	0,123	-0,280	0,014	-0,085	1			
P1000	-0,025	-0,029	-0,281	-0,048	0,140	0,403	1		
U	0,472	-0,042	0,367	0,465	-0,232	-0,226	-0,317	1	
Prod.	0,110	0,048	0,036	0,057	0,032	-0,103	0,244	0,075	1

Índice de água por diferença normalizada (NDWI), Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI), Teor de água na folha (TAF), Índice de área foliar (IAF) e Umidade do grão (U). Valores em **negrito** apresentam correlação com significância a nível de 5%.

Na Tabela 6 é possível notar que o Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI) apresenta correlação positiva significativa com os Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de água por diferença normalizada (NDWI) e Umidade do grão de cártamo (U) com valores de correlação de 0,710, 0,583, 0,505 e 0,465 respectivamente, indicando que a medida que o mNDVI da folhas do cártamo eleva seu valor, o NDNI NDVI, NDWI e umidade do grão também aumenta da mesma maneira.

Arab et al. (2021) Estudaram séries temporais dos índices de vegetação empregando o uso do sensoriamento remoto (SR) por satélites, notou que a correlação entre produtividade de uva e índices de vegetação NDWI, NDVI e índice de área foliar (IAF) foram muito baixas durante o período de floração e colheita da cultura. Embora em cultura diferente, resultado similar foi encontrado no presente estudo, os índices estudados não apresentaram correlações das variáveis respostas de interesse (produtividade e IAF) na fase fenológica de floração da cultura do cártamo.

Tabela 7 Matriz de Correlação dos dados gerada através do Teste de Spearman para fase fenológica de Maturação da cultura do Cártamo.

	NDNI	NDVI	NDWI	mNDVI	TAF	IAF	P1000	U	Prod.
NDNI	1								
NDVI	-0,054	1							
NDWI	0,232	0,180	1						
mNDVI	0,280	0,589	0,358	1					
TAF	0,615	0,284	0,156	0,448	1				
IAF	0,401	0,427	0,303	0,361	0,062	1			
P1000	0,176	0,141	-0,225	0,278	0,032	0,223	1		
U	-0,161	0,077	0,045	-0,050	0,053	-0,140	-0,317	1	
Prod.	-0,090	0,409	0,083	0,602	0,235	0,029	0,244	0,075	1

Índice de água por diferença normalizada (NDWI), Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI), Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI), Teor de água na folha (TAF), Índice de área foliar (IAF) e Umidade do grão (U). Valores em **negrito** apresentam correlação com significância a nível de 5%.

A Tabela 7 expõem os valores da correlação gerados através do teste de Spearman. Para os parâmetros estudados da fase fenológica de maturação do grão de cártamo, nota-se correlação positiva entre Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI) com a produtividade, com valor de correlação 0,602, podendo indicar que a produtividade do cártamo é maior em áreas cuja o valor de mNDVI das folhas de cártamo são maiores.

Os modelos de predição gerados por regressão linear apresentados (Figura 11 a 18), para as variáveis respostas produtividade e índice de área foliar (IAF), no ciclo vegetativo e nas fases fenológicas (roseta, floração e maturação) resultaram em baixos valores de R^2 ou seja, modelos com baixa precisão para predição das variáveis, porém os modelos gerados não apresentaram grande dispersão dos pontos nos gráficos apresentados.

Arab et al. (2021) Apresentaram em seus resultados índices de vegetação (NDVI, NDWI e IAF), com valores de R^2 para modelos lineares para predição da produtividade da uva satisfatórias em toda sua série temporal estudada (ano 2017, 2018 e 2019), para todos os índices analisados.

Contudo dois modelos de regressão linear apresentaram maior precisão quando comparadas aos demais modelos. A produtividade com Índice de vegetação por diferença normalizada modificado (mNDVI) com R^2 de 0,39 para a fase fenológica de maturação, e Índice de área foliar (IAF) com Índice de nitrogênio por diferença normalizada (NDNI) com R^2 de 0,46 para o ciclo vegetativo do cártamo.

Resultado oposto encontrado por Pereira et al. (2016), ao estudarem o índice de NDVI obtidos por imagem de satélite para estimativa de área foliar em cana de açúcar, obtiveram modelos de regressão lineares com NDVI com e sem correção atmosférica de R^2 de 0,84 e 0,60 respectivamente.

Os resultados nos mostram grande variação nos valores dentro de um talhão, mostrando que a cultura em estudo está em processo de desenvolvimento evolutivo, ou seja, o cártamo precisa passar por várias etapas de melhoramento genético para uniformizar a maturação no talhão, oportunizando um menor tempo de espera para a realização da colheita, viabilizando menor perda de produtividade e maior qualidade dos grãos colhidos. Devido, a esta variabilidade a geração de modelo pode tender a

ficar comprometida, e não responder da maneira como esperado. De acordo com Ramos (2018), a desuniformidade na floração e frutificação da cultura pode prejudicar a produtividade, da mesma forma observou-se que esse mesmo fator pode interferir na escolha de um modelo adequado.

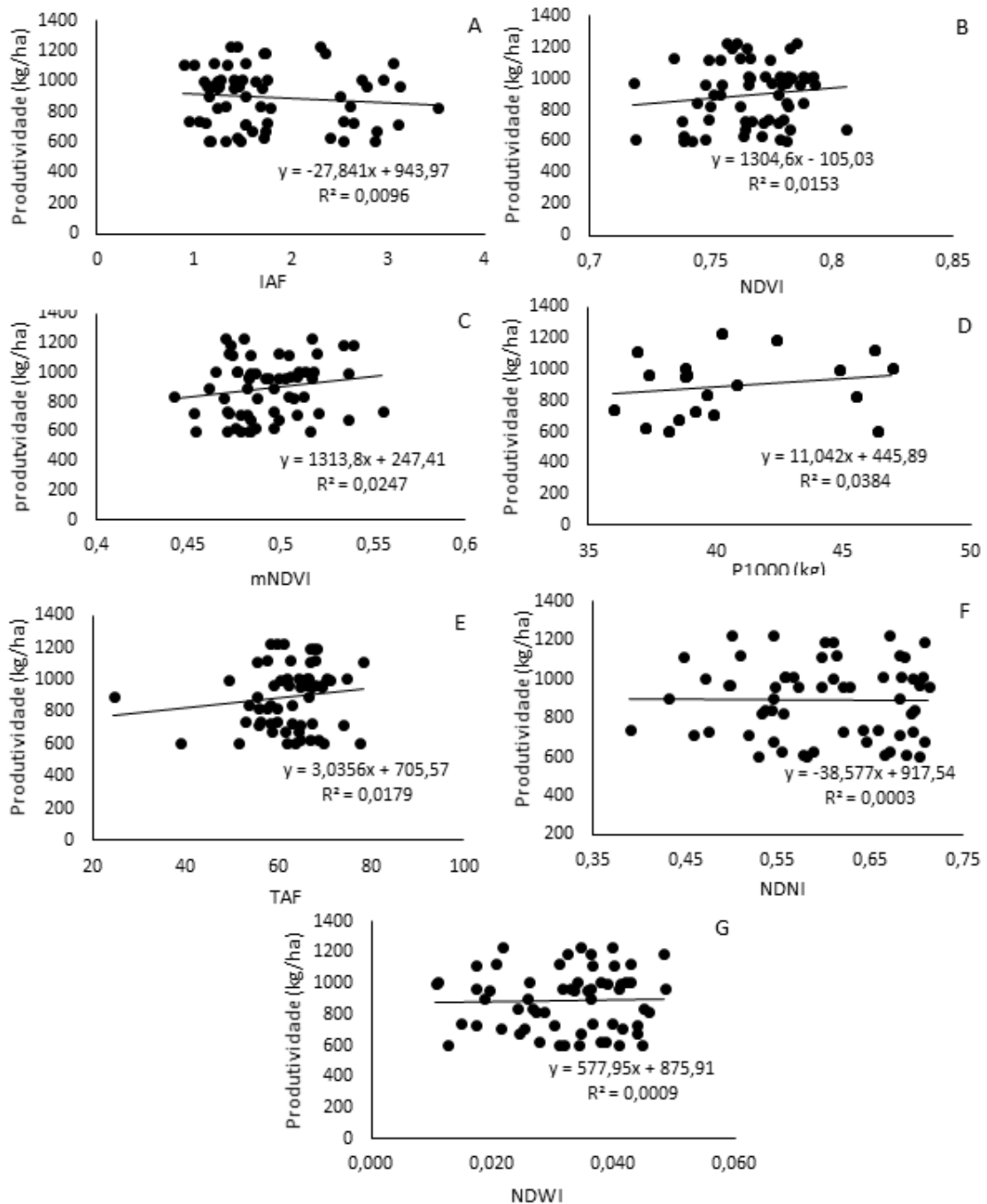


Figura 11 Análise de regressão linear entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade e TAF (E), Análise de regressão linear entre produtividade e NDNI (F), Análise de regressão linear entre produtividade e NDWI (G).

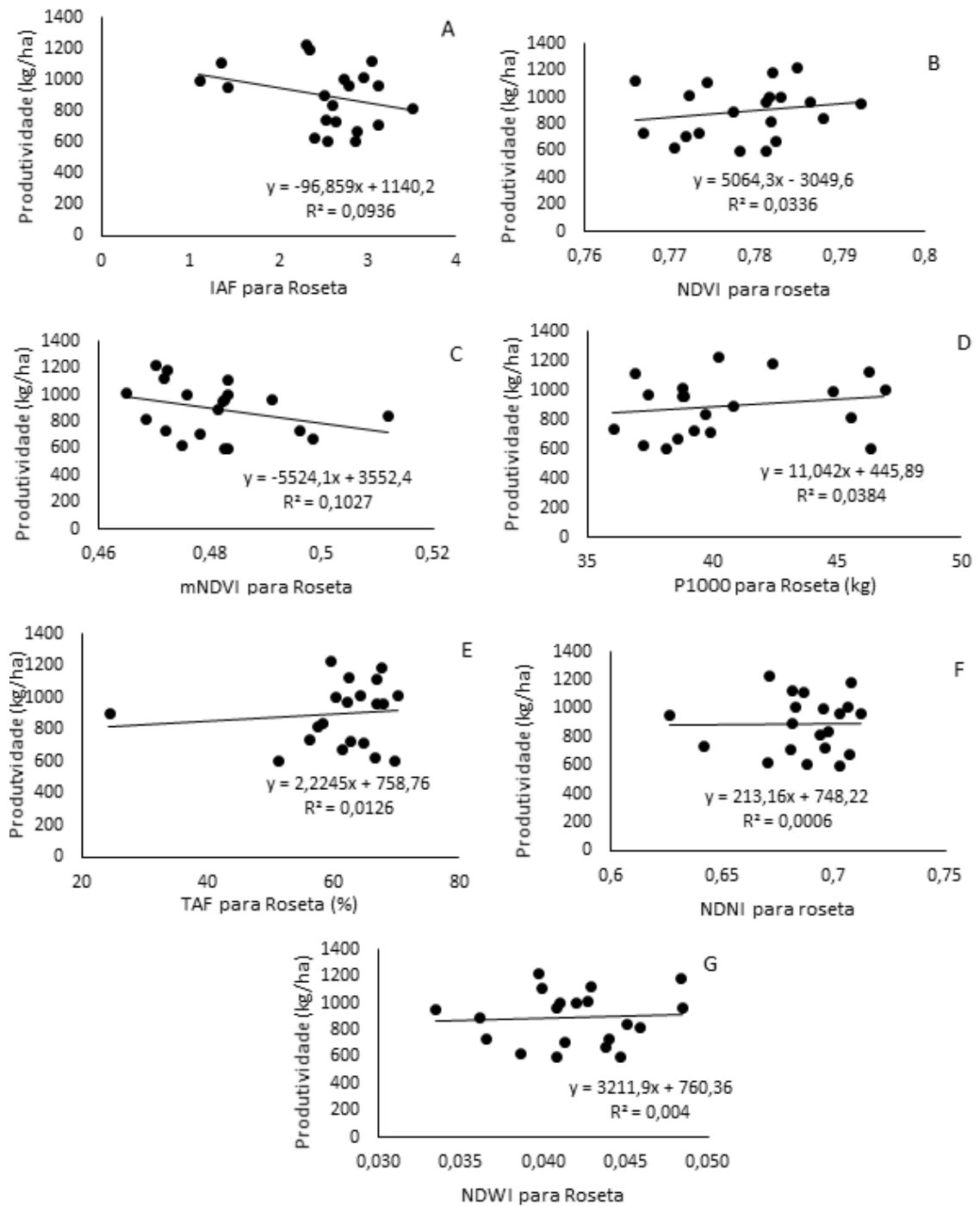


Figura 12 Análise de regressão linear para fase fenológico do cártamo de roseta entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade e TAF (E), Análise de regressão linear entre produtividade e NDNI (F), Análise de regressão linear entre produtividade e NDWI (G).

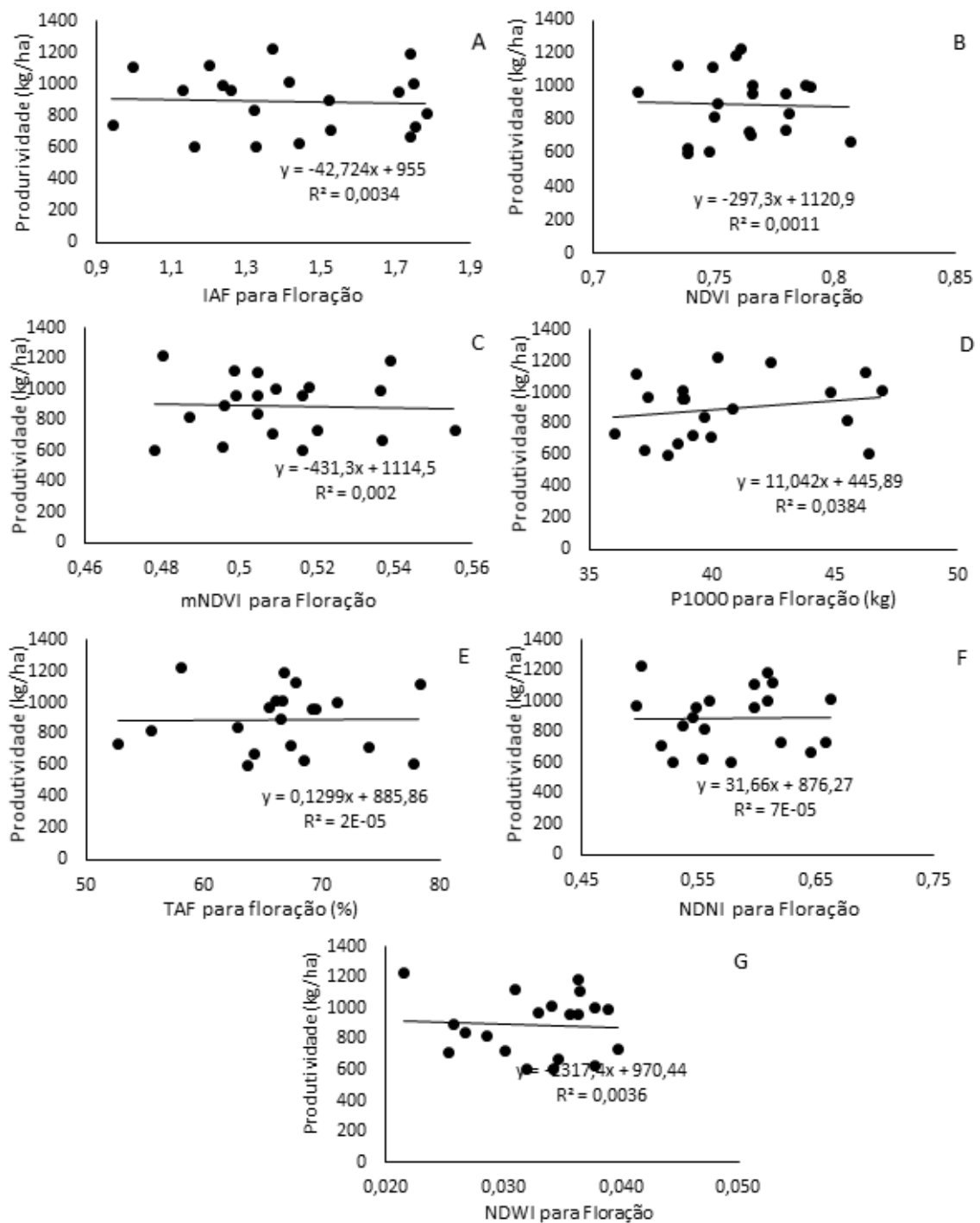


Figura 13 Análise de regressão linear para fase fenológico do cártamo de floração entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade e TAF (E), Análise de regressão linear entre produtividade e NDNI (F), Análise de regressão linear entre produtividade e NDWI (G).

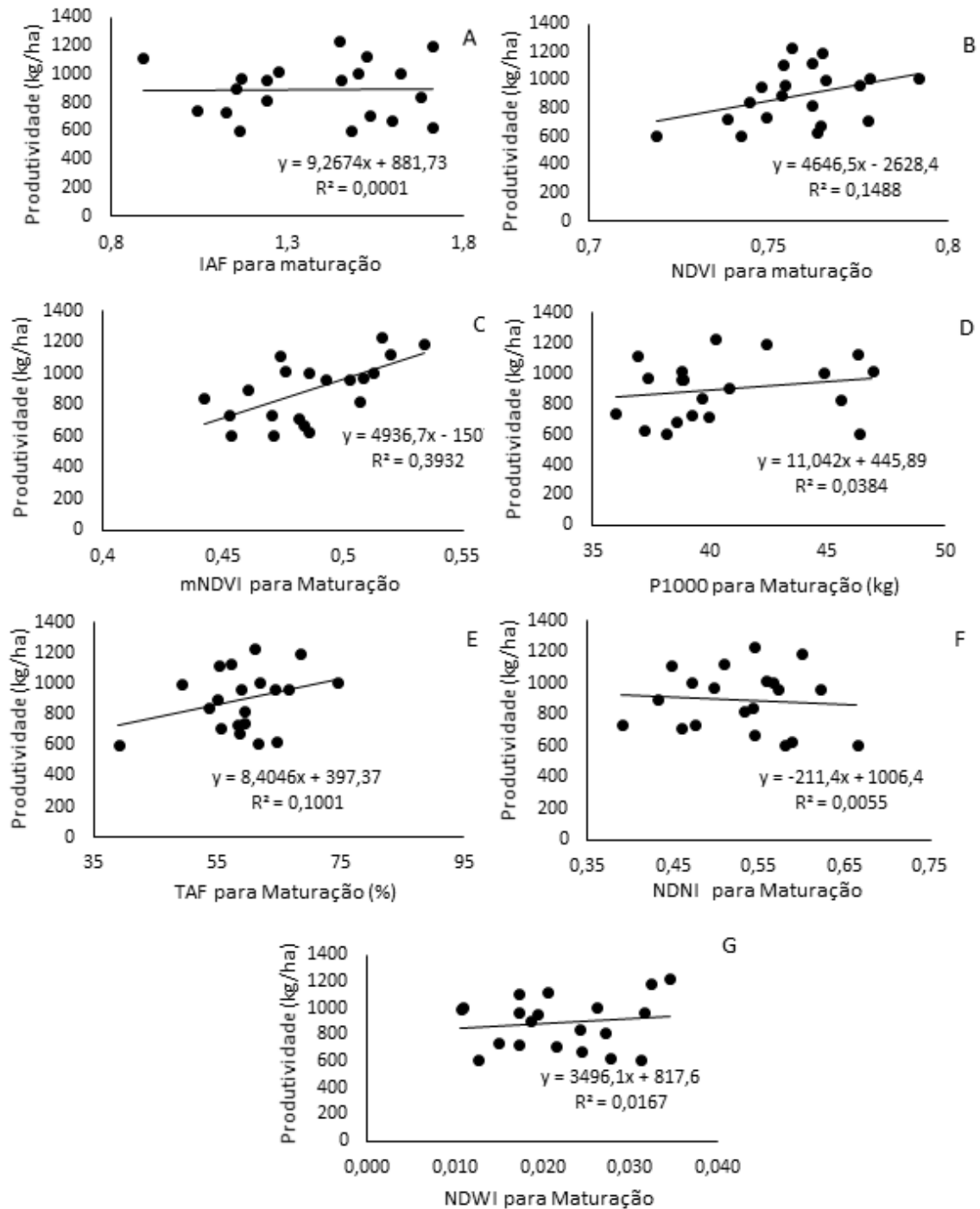


Figura 14 Análise de regressão linear para fase fenológico do cártamo de maturação entre produtividade e IAF (A), Análise de regressão linear entre produtividade e NDVI (B), Análise de regressão linear entre produtividade e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre produtividade e P1000 (D), Análise de regressão linear entre produtividade e TAF (E), Análise de regressão linear entre produtividade e NDNI (F), Análise de regressão linear entre produtividade e NDWI (G).

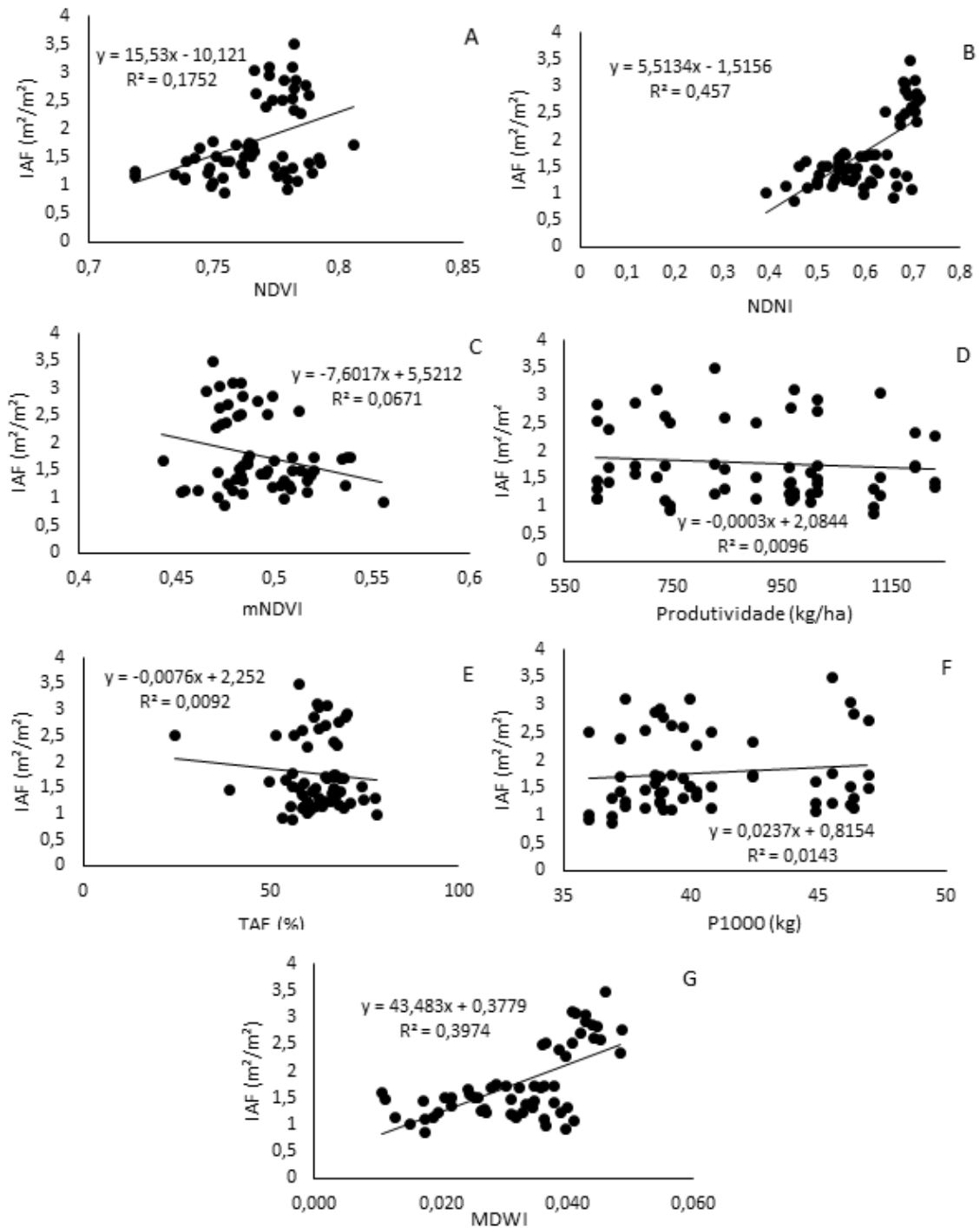


Figura 15 Análise de regressão linear para cultura do cártamo entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G).

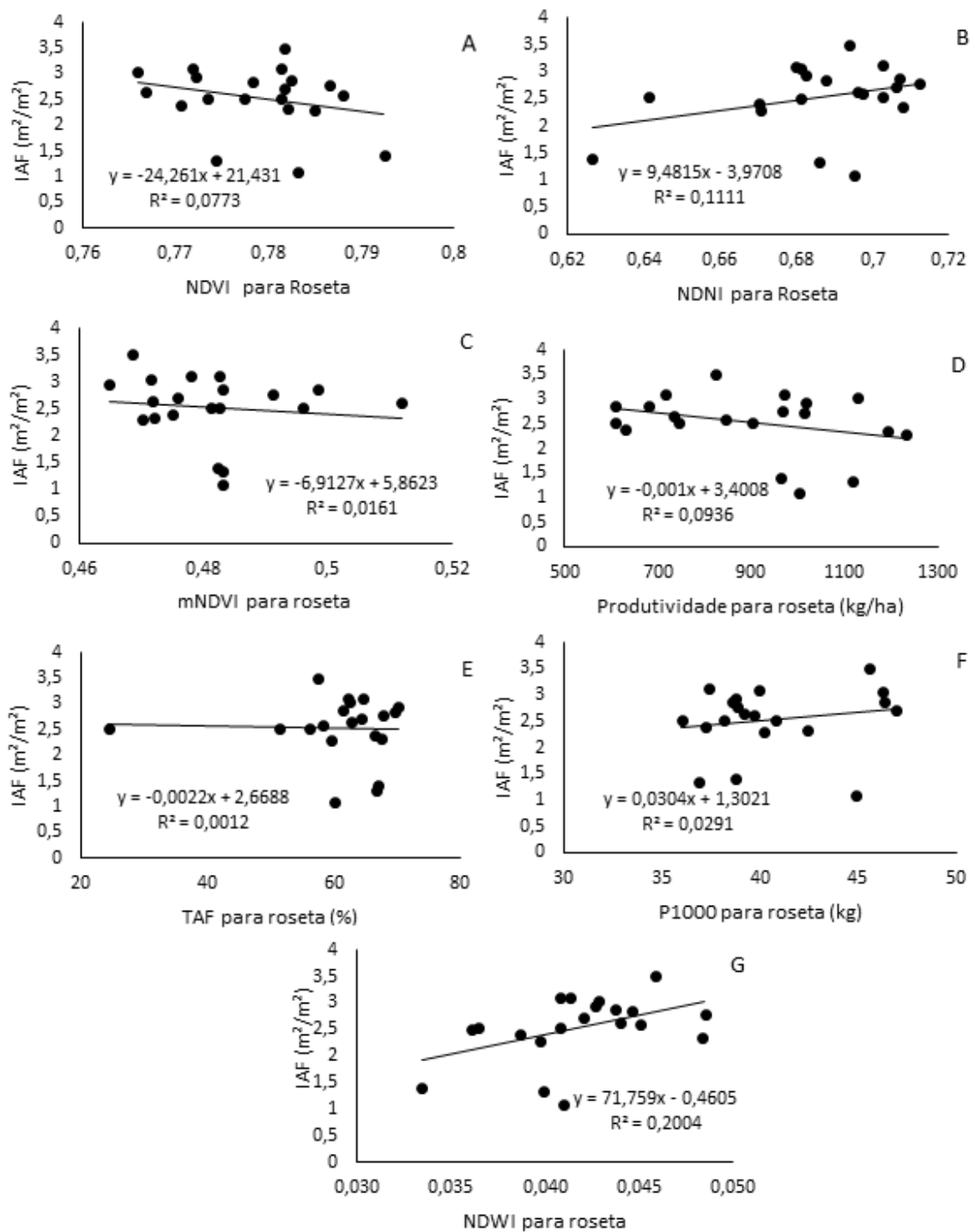


Figura 16 Análise de regressão linear para fase fenológica do cártamo de roseta entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G).

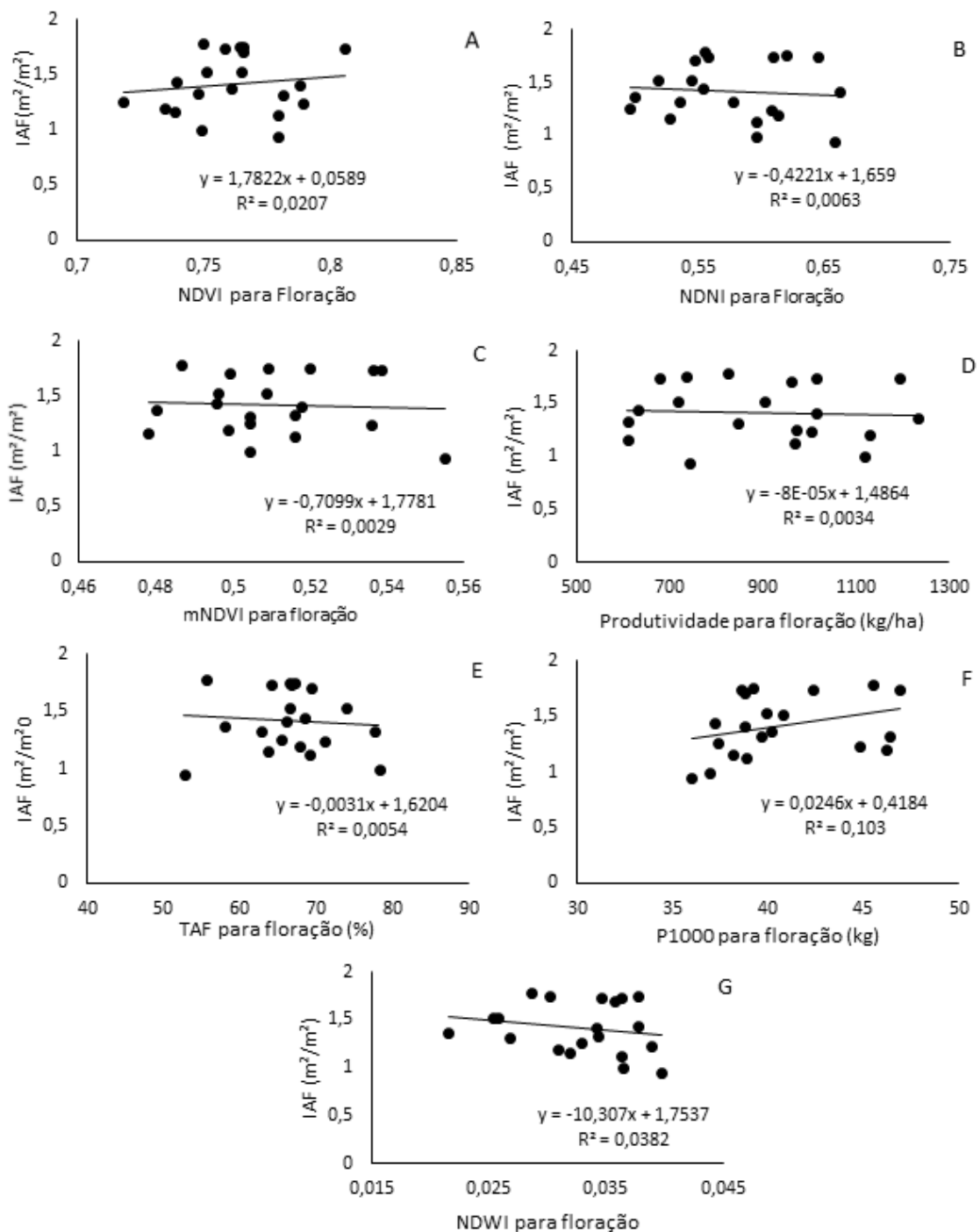


Figura 17 Análise de regressão linear para fase fenológica do cártamo de floração entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G).

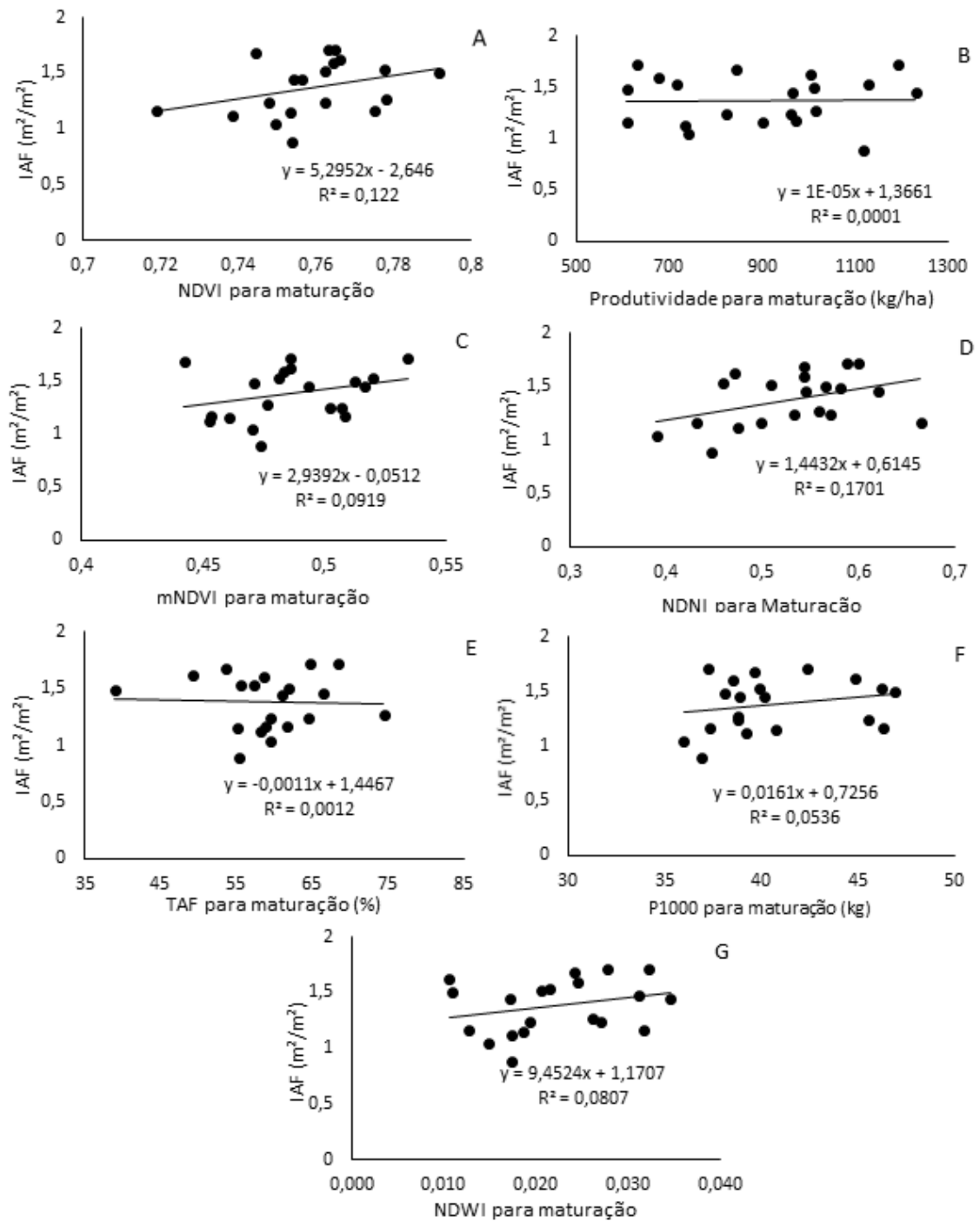


Figura 18 Análise de regressão linear para fase fenológica do cártamo de maturação entre IAF e NDVI (A), Análise de regressão linear entre IAF e NDNI (B), Análise de regressão linear entre IAF e mNDVI(C), Análise de regressão linear entre IAF e Produtividade (D), Análise de regressão linear entre IAF e TAF (E), Análise de regressão linear entre IAF e P1000 (F), Análise de regressão linear entre IAF e NDWI (G).

6. CONCLUSÃO

Foi possível caracterizar o padrão espectral do cártamo com o sensor terrestre *FIELDSPEC 4*.

A cultura apresentou variação do padrão espectral entre suas fases fenológicas no decorrer do ciclo vegetativo da cultura.

Quando considerado o ciclo vegetativo completo do cártamo a produtividade teve correlação com peso de 1000 sementes (P1000), e o IAF correlação com os índices de vegetação NDVI, NDNI e NWDI.

A fase fenológica de roseta (28 DAS) e maturação (101 DAS) apresentaram correlações das variáveis respostas com os IVs. A fase de floração não apresentou correlações com as variáveis.

Na fase de maturação a produtividade correlacionou com o índice de vegetação mNDVI.

Os modelos de regressão linear de predição de produtividade e índice de área foliar (IAF) não foram significativos apresentando valores baixos para o R^2 , com exceção dos modelos produtividade versus mNDVI para fase de Maturação e IAF versus NDNI para o ciclo vegetativo do cártamo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVINO, F. C. G.; ALEMAN C. C.; FILGUEIRAS, R.; ALTHOFF, D.; da CUNHA, F. F. Vegetation indices for irrigated corn monitoring. **Engenharia Agrícola**, v. 40, n. 3, p. 322–333, 1 maio 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n3p322-333/2020>>. Acesso em: 12 jun. 2021.
- ACTIONSTAT - Software Action. **Estatcamp - Consultoria em estatística e qualidade**, São Carlos, SP, 2014. Acessado em 07 de junho de 2021 <<http://www.portalaction.com.br>>.
- ANP (AGÊNCIA NACIONAL DO PETROLEO). **Biocombustíveis**. <<http://www.anp.gov.br/biocombustiveis>>. Acessado em 15 de julho de 2020.
- ALMEIDA, T. S DE.; FONTANA, D. C. **Desempenho dos índices de vegetação NDVI e PVI para a cultura da soja em diferentes condições hídricas e de sistema de manejo do solo**. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, INPE, p. 17-22, abril, 2009.
- ARAB, S. T.; NOGUCHI, R.; MATSUSHITA, S.; T. Prediction of grape yields from time-series vegetation indices using satellite remote sensing and a machine-learning approach. v. 22, Abril, 2021.
- ARMAH-AGYEMAN, G.; LOILAND, J.; KAROW, R.; HANG, A. N. **Safflower** / EM 8792 (July 2002), Dry land Cropping Systems // Oregon State University – 2002.
- AL-GAADI, K. A.; MADUGUNDU, R.; TOLA, E. Investigating the response of soil and vegetable crops to poultry and cow manure using ground and satellite data. **Saudi Journal of Biological Sciences**. v.26, n.7, November, p.1392-1399, 2019.
- ASDINC. **FieldSpec4 – User manual**. ASD Document 600979. Boulder-CO: Analytical Company. 87 p. 2015.
- ANJANI, K.; YADAV, P. High yielding-high oleic non-genetically modified Indian safflower cultivars. **Industrial Crops & Products**. v.104, p.7–12, 2017.
- BARRS, H. D.; WEATHERLEY P. E. A re-examination of the relative turgidity technique for estimating water deficits in leaves. **Australian journal of Biological Science**, 273 v.15, p.413-428, 1962.
- BERNARDI, A. C. C. NAIME, J. M. RESENDE, A. V. BASSOI, L. H. V. INAMASU, R. Y. **Agricultura de precision. Resultados de um novo olhar**. Embrapa. 1ª ed. 2014.
- BRASIL, MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA e AGÊNCIA ESPACIAL BRASILEIRA. **Sensoriamento Remoto**. 8ª ed., 2008.
- BRITO, M de M.; FARIAS, A. **Espectrorradiometria foliar de árvores frutíferas e o efeito da umidade sobre a resposta espectral das folhas**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA E REFORMA AGRÁRIA. **Regras para Análise de sementes**. Brasília: SNDA/DND/CLV, 2009.

BURKART, A. Flora Ilustrada de Entre Rios (Argentina). **Parte VI: Dicotiledôneas Metaclamídeas**. Colección Científica Del I.N.T.A., TOMO VI. Buenos Aires, p. 554, 1974.

BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y.; BERNARDI, A. C. DE C.; VAZ, C. M. P.; SPERANZA, E. A.; CRUVINEL, P. E. Agricultura de precisão e agricultura digital. **TECCOGS – Revista Digital de Tecnologias Cognitivas**. p. 17-36. 2019.

BRENNER, V. C.; GUASSELLI, Laurindo Antônio. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS–Brasil. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, João Pessoa-PB, Brasil**, v. 25, 2015.

CATTANI, C. E. V. **Dinâmica espectro-temporal do trigo e do feijão por meio de dados espectrais multisensor**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola pela Universidade estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel – PR, 2018.

COSTA, V.; SERÔDIO, J. LILLEBO, A. L.; SOUSA, A. I. Uso de refletância hiperespectral para estimar de forma não destrutiva a biomassa de ervas marinhas *Zostera noltei*. **Indicadores Ecológicos**. v.121, fevereiro, 2021.

C HALL III. **Overview of the Oilseed Safflower (*Carthamus tinctorius L.*)**. Reference Module in Food Sciences North Dakota State University, Fargo, ND, USA, 2016.

DAJUE, L; MÜNDEL, H. H. Safflower (*Carthamus tinctorius L.*). **Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crop**. IPGRI: International Plant Genetic Resource Institute. Rome, p. 81. 1996.

DELLOYE, C.; WEISS, M.; DEFOURNY, P. Retrieval of the canopy chlorophyll content from Sentinel-2 spectral bands to estimate nitrogen uptake in intensive winter wheat cropping systems. **Remote Sensing of Environment**, v. 216, p.245–261, 2018.

EKIN, Z. Resurgence of Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) utilization: A global view. **Journal of Agronomy**. v.2, p.83-87, 2005.

ESTES, J.; KLINE, K.; COLLINS, E. **Remote Sensing**. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. 2 ed., v. 20, p. 424, 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de classificação do solo**. 5 ed. Brasília – DF. Embrapa informações tecnológicas. Rio de Janeiro. Embrapa Solos. p.306 2018.

EMONGOR, V. Safflower (*Carthamus tinctorius L.*) the underutilized and neglected crop: A review. **Asian Journal of Plant Science**, v.9, p.299-306, 2010.

FAOSTAT. **Dados da cultura de Safflower dos anos 2013-2017**. Disponível em <<http://www.fao.org/faostat>> acessado em 20 de agosto de 2019.

FLEMMER, A. C.; FRANCHINI, M. C.; LINDSTROM, L. L. Description of safflower (*Carthamus tinctorius*) phenological growth stages according to the extended BBCH scale. **Annals of Applied Biology**, v. 166, p.331–339, 2015.

FUENTES, D. A., GAMON, J. A., QIU, H. L., SIMS, D. A., ROBERTS, D. A. Mapping Canadian boreal forest vegetation using pigment and water absorption features derived from the AVIRIS sensor. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, v. 106, p.33565-33577 2001.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de textos, p.59-119, 2017.

FOX, D. G. Judging Air Quality Model Performance: A Summary of the AMS Workshop on Dispersion Model Performance, Woods Hole, Mass., 8–11 September 1980. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 62, p. 599–609, 1 maio 1981.

GRACIA, A.B.; MÁRQUEZ, J.P.; CAMARENA, M.G.G.; ESPINOZA, X.M.O.; CORONADO, L.M.; CERVANTES, J.M. **Guia para produzir cártamo em Sinaloa**. Fundación Produce, Sinaloa México, p.22. 2010.

GANASCINI D. **Caracterização espectral da cultura do feijão dessecada e qualidade tecnológica dos grãos armazenados**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel – PR, 2019.

GANASCINI, D.; CATTANI, C. E. V.; CAON, I. L.; MENDES, I. S.; BECKER, W. R.; MERCANTE, E.; SILVIA COELHO, S. R. M. **Diferenciação espectral de feijão dessecado com diquat e amônio-glufosinato por meio de sensor hiperespectral**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 17., Santos. Anais. São José dos Campos: INPE, 2019.

GAO, B. NDWI: a normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, n. 3, p. 257-266, 1996.

GALVANI, E.; ESCOBEDO, J. F.; da CUNHA, A. R.; KLOSOWSKI, E. S. Estimativa do índice de área foliar e da produtividade de pepino em meio protegido - cultivos de inverno e de verão. **Revista brasileira de Engenharia agrícola e ambiental.**, Campina Grande. v. 4, p. 8-13, 2000.

GITELSON, A. e MERZLYAK, M. N. Spectral reflectance changes associated with autumn senescence of *Aesculus hippocastanum* L. and *Acer platanoides* L. leaves: Spectral features and relation to chlorophyll estimation. **Journal of Plant Physiology**, v. 143, p.286-292, 1994.

GAIDA, W.; BREUNIG, F. M.; LÊNIO SOARES GALVÃO, L. G.; TELES, T. S.; BALBINOT, R. Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. **Investigaciones Geográficas-Boletín del Instituto de Geografía**. v. 91, p.105-123, 2016.

GILBERT, J.; KNIGHTS, S. E.; POTTER, T. D. **International safflower production—an overview**. S.E. Knights, T.D. Potter (Eds.), Proceedings of the 7th International Safflower Conference, Wagga Wagga, p. 1-7 New South Wales, Australia, 2008.

GALAVI, MOHAMMAD; ROMROUDI, MAHMOUD; TAVASSOLI, ABOLFAZL. Effect of micronutrients foliar application on yield and seed oil content of safflower (*Carthamus tinctorius*). **African Journal of Agricultural Research**, v.7 p .482-486, 2012.

HUETE, A.; JUSTICE, C.; LIU, H. Development of vegetation and soil indices for MODISEOS. **Remote Sensing of Environment**, v. 49, p.224-234, 1994.

HAJARE, T. N.; PATIL, N. G.; VERMA, K. S. On spectral indices as a function of soil variability in safflower crop. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 36, n. 3, p. 267–272, 13 set. 2008.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

HANDAN Y.; PÉREZ-VICH, B.; VELASCO L.; FERNÁNDEZ-MARTÍNEZ, J. M. Inheritance of high oleic acid content in safflower. **Euphytica**.168: 1-69, 2009.

HE, L.; ZHANG, H.; ZHANG, Y. S.; SONG, Y.; FENG, W.; GUO-ZHANGKANG, G. Z.; CHEN-YANGWANG, C. Y.; TIAN-CAIGUO, T. C. Estimating canopy leaf nitrogen concentration in winter wheat based on multi-angular hyperspectral remote sensing. **European Journal of Agronomy**. v.73, p.170-185, 2016.

HAMADA, E.; PONZONI, F. J.; GONÇALVES, RRV. Aplicação de índices espectrais na avaliação do aumento da concentração de dióxido de carbono atmosférico em cafeeiro. In: **Embrapa Meio Ambiente-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 17., 2015, João Pessoa. Anais. São José dos Campos: INPE. p. 2759-2766., 2015.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. 2^a ed. São José dos Campos, São Paulo. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KÄFER, P. S.; REX, F. E.; SANTOS, M.; SEBEM, E. CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL E NDVI DE ESPÉCIES FLORESTAIS DAS FAMÍLIAS FABACEAE, MYRTACEAE, RUTACEAE E SALICACEAE. **Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer**, v.13, p. 262-275, 2016.

KATSOULAS, N.; ELVANIDI, A.; FERENTINOS, K. P.; KACIRA, M.; BARTZANAS, T.; KITTAS, C. Crop reflectance monitoring as a tool for water stress detection in greenhouses: A review. **Biosystems Engineering**, v. 151, p. 374–398, 1 nov. 2016.

LOBELL, D. B. The use of satellite data for crop yield gap analysis. **Field Crop Research**. v. 141, p. 56-64, 2013.

LU, S.; ZHANG, F. Q.; MENG, G. L.; WANG, Y. L. Carthamus tinctorius L. oil and its using in food. **Food research and development**. v.25, p.74-76, 2004.

LU, L.; KUENZER, C.; WANG, C.; GUO, H.; LI, Q. Evaluation of three MODIS-derived vegetation index time series for dryland vegetation dynamics monitoring. **Remote Sensing**, v. 7, n. 6, p. 7597–7614, 9 jun. 2015..

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation**. New York: John Wiley e Sons Inc., 1994.

MOVAHHEDY-DEHNAVY, M., MODARRES-SANAVY, S. A. M., AND MOKHTASSIBIDGOLIA, A. Foliar application of zinc and manganese improves seed yield and quality of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) grown under water deficit stress. **Industrial Crops & Products**. v.30, p.82–92, 2009.

MUNDEL, H.; MORRISON, R. J.; BLACKHAW, R. E.; ROTH, B. **Safflower production on the Canadian Prairies**. Alberta Agric Res Inst, p.35, 1992.

MÜNDEL, H. **Safflower production on the Canadian prairies: revisited in 2004**. Lethbridge, Alta.: Lethbridge Research Station, Agriculture and Agri-Food, p.43, 2004.

MACEDO, Vinicius Guilherme Kiesow. **Influência do beneficiamento em mesa de gravidade na qualidade física, fisiológica e sanitária de sementes de cártamo (*carthamus tinctorius* L.)**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Sementes, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2018

MARTINS, G. D.; TRINDADE-GALO, M. D. L. B. Caracterização espectral da cana-de-açúcar infectada por nematoides e *migdolus fryanus* por espectrorradiometria de campo. **Boletim de Ciências Geodesicas**, v. 21, n. 4, p. 783–796, 1 out. 2015.

MONTEIRO, P. F. C.; FILHO-ANGULO, R.; XAVIER, A. C.; MONTEIRO, R. O. C. Índices de vegetação simulados de diferentes sensores na estimativa das variáveis biofísicas do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 48, n. 4, p. 433–441, 2013.

MOHAMADZADEH, M.; SEYED, S. A.; NOROF, M. S.; NASERI, R., The effects of planting date and row spacing on yield, yield components and associated traits in winter safflower under rain fed conditions. **American-Eurasian Journal Agricultural & Environmental Science**, v.10, p.200 -206, 2011.

NOVO E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto. Princípios e aplicações**. 2 ed., São Paulo. Edgard Blucher, p. 308, 1992.

NOVO, E. M. L. M; PONZONI, F. J. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. São José dos Campos, São Paulo: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, p.68.

2001.

NETO, A. J. S.; LOPES, D. C.; PINTO, F. A. C.; ZOLNIER, S. Vis/NIR spectroscopy and chemometrics for non-destructive estimation of water and chlorophyll status in sunflower leaves. **Biosystems Engineering**. v. 155, p.124-133, 2017.

OLIVEIRA, T.; GOUVÊA, E. P.; ODAGIMA, A. M.; SHITSUKA, D. M.; SHITSUKA, R. Um estudo de matérias-primas para fabricação de biodiesel. **Educação, Gestão e Sociedade: Revista da Faculdade Eça de Queirós**, v.7, 2017.

OYEN, L. P. A.; UMALI, B. E. ***Carthamus tinctorius* L. record from Protabase**. HAM, V. D. V.; MKAMILO G. S. (Plant Resources of Tropical Africa/Resources végétales de l'Afrique tropicale). PROTA. 2007.

PENUELAS, J.; BARET, F.; FILELLA, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ration from leaf spectral reflectance. **Photosynthetica**, v. 31, p.221-230, 1995.

POSSENTI, R.A; PAULINO, V. T. **Composição da torta de cártamo (*Carthamus tinctorium* L.) e nabo forrageiro (*Raphanus sativus* L.) e perfil de ácidos graxos dos óleos extraídos**. Reunião da sociedade brasileira de zootecnia, v.47. p.1-4. 2010.

PACHECO, F. P. **Desenvolvimento e componentes de rendimento de milho inoculado com *Azospirillum Brasiliense* e fertilizado com água residuária de suinocultura e fertilizante mineral**. Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. 2016.

PASCHOAL, T. S. **Genótipos de cártamo: produtividade de grãos, teor de óleo e acúmulo de nutrientes no Oeste do Paraná**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2016.

PEREIRA, R. M.; CASAROLI, D.; LUCAS MELO VELLAME, L. M.; JOSÉ ALVES ALVEZ-JÚNIOR, J.; EVANGELISTA, A. W. P. Sugarcane leaf area estimate obtained from the corrected Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, p. 140-148, abril-junho. 2016.

PRUDENTE, V. H. R.; DUTRA, A. C.; VIEIRA, D. C.; SILVA, ELISABETE CARIA MORAES, N. R. F.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANCHES, I. D. A. **Influência do fator de calibração entre placas no estudo da vegetação**. Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 17., Santos. Anais. São José dos Campos: INPE, 2019.

QUEIROZ, D. dos S.; SARAIVA, J. L. R.; LESSA, S. L.; de OLIVEIRA, M. R. R.; TEIXEIRA, A. dos SANTOS. Uso de espectrorradiômetro na estimativa do teor de nitrogênio e potássio na folha do algodeiro. **Encontros Universitários da UFC**, v. 3, n. 1, p. 6134–6134, 2018.

QUEIROGA, V. de P.; GIRÃO, E. G.; DE-ALBUQUERQUE, E. M. B. **Cártamo (*Carthamus tinctorius* L.) tecnologias de plantio e utilização**. Associação da

Revista Eletrônica A Barriguda – AREPB 1ª ed., janeiro, 2021.

RECH, J. **Desempenho agrônomo do cártamo (*carthamus tinctorius L.*)**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Produção Vegetal. Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD, 2012.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite Symposium. Washington. **Proceedings**. Washington: NASA, p. p.309-317. 1974.

ROSSETO, R. E. **Crescimento e produtividade de cártamo em função da profundidade de sementeira e pressão da roda compactadora**. Dissertação (mestrado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia na Agricultura, 2019.

Ramos, L. P.; Kothe, V.; César-Oliveira, M. A. F.; Muniz-Wypych, A. S.; Nakagaki, S.; Krieger, N.; Wypych, F.; Cordeiro, C. S. Biodiesel: matérias-primas, tecnologias de produção e propriedades combustíveis. **Revista Virtual Química**, v. 9, p. 317-369, 2017.

ROCHA, E. K. **Fenologia e qualidade de *Carthamus tinctorius L.* em diferentes populações e épocas de cultivo**. p.59. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

RECH, J. **Desempenho agrônomo do cártamo (*Carthamus tinctorius L.*) Em função da época de sementeira e do controle químico da mancha de alternaria**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal da Grande Dourados, Programa de Pós - Graduação em Agronomia – Produção Vegetal, 2012.

ROUSE, J.W.; HASS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite Symposium, 3, 1974, Washington. **Proceedings**. Washington: NASA, p. p.309-317. 1974.

ROCHA, E. K. **Fenologia e qualidade de *Carthamus tinctorius L.* em diferentes populações e épocas de cultivo**. p.59. 2005. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2005.

SMITH, K. L.; STEVEN, M. D.; COLLS, J. J. Use of hyperspectral derivative ratios in the red-edge region to identify plant stress responses to gas leaks. **Remote Sensing of Environment**, v. 92, n. 2, p. 207–217, 15 ago. 2004.

STEVEN, M. D.; JAGGARD, K. W. **Advances in crop monitoring by remote sensing**. In: Danson, F.M.; Plummer, S. E. ed. *Advances in Environmental Remote Sensing*. 1ed. Baffin's Lane, England. Wiley, cap. 9, p.143-156. 1995.

SWAIN, P. H. **Remote sensing: the quantitative approach**. New York: McGraw-Hill International Book Company, 1978.

SERRANO, L.; PENUELAS, J.; USTIN S. L. Remote sensing of nitrogen and lignin in Mediterranean vegetation from AVIRIS data: decomposing biochemical from structural signals. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 355-364, 2002.

SILVA, Y. DE F. DA; SILVA, I. D. C.; ROMERO, C. W. DA S.; ÁGUAS, T. DE A.; GARCON, E. A. M.; BRASCO, T. L.; FIGUEIREDO, G. K. D. A.; ROCHA, J. V.; LAMPARELLI, R. A. C. **Análise multivariada de comportamentos espectrais de folhas em diferentes estágios de desenvolvimento**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 19., 2019, Santos. Anais... São José dos Campos: INPE, 2019.

SAFFLOWER PRODUCTION TIPS. Washington State University, College of Agriculture and Home Economics, 2001.

SAMPAIO, M. C. **Cultivo de cártamo (*carthamus tinctorius* L.) Sob variação de adubações, densidades e épocas de plantio**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de energia na agricultura pela Universidade estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel – PR, 2016.

SILVA JUNIOR, C. A. e SHAKIR, M. **Caracterização de variedades de soja por meio de sensor remoto não-imageador hiperespectral**. Conference: XVII Simposio Internacional en Percepción Remota y Sistemas de Información Geográfica, 2016.

TULLIO, L. **Aplicações e princípios do sensoriamento remoto**. Atena Editora, Ponta Grossa, PR, v.1 p.209-224, 2018

VIANA, O. H. **Padrão espectro-temporal da cultura do crambe (*Crambe Abyssinica hochst*) e estimativa de rendimento de grãos por sensores terrestres**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia agrícola pela Universidade estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE. Cascavel – PR, 2017.

VIANA, O.; MERCANTE, E.; FELIPETTO, H.; KUSMINSKI, D.; GUILHERME, H. Characterization of the Spectral-Temporal Pattern of the Crambe Crop Using Hyperspectral Sensors. **Journal of Agricultural Science**. v. 9. p. 220, 2017.

WILLMOTT, C.; MATSUURA, K. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. **Climate Research**, v. 30, n. 1, p. 79–82, 19, 2005.

WANG, Z.; WANG, T.; DARVISHZAEH, R.; SKIDMORE, A. K.; JONES, S.; SUAREZ, LOLA.; WOODGATE, W.; HEIDEN, U.; HEURICH, M.; HEARNE, J. Vegetation indices for mapping canopy foliar nitrogen in a mixed temperate forest. **Remote Sensing**, v. 8, n. 6, p. 491, 10 jun. 2016.

YESILYURT, M. K.; CESUR, C.; ASLAN, V.; YILBASI, Z. The production of biodiesel from safflower (*Carthamus tinctorius* L.) oil as a potential feedstock and its usage in compression ignition engine: A comprehensive review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. v. 19, 2020.

ZANCHI, F. B.; MAARTEN J. WATERLOO, M.; AGUIAR, L. J. G.; RANDOW, C. V.; BART KRUIJT, B.; CARDOSO, F. C.; MANZI, A. O. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) e Biomassa em pastagem no estado de Rondônia, Brasil. **Acta Amazonica**. v.39, p.335 – 348, 2009.

ZHEN, Z.; CHEN, S. YIN, T.; CHAVANON, E.; LAURET, N.; GUILLEUX, J.; HENKE, M.; QUIN, W.; CAO. L; LI, J.; LU, P.; GASTELLU-ETCHEGORRY, J. F. Using the negative soil adjustment factor of soil adjusted vegetation index (Savi) to resist saturation effects and estimate leaf area index (LAI) in dense vegetation areas. **Sensors**, v. 21, n. 6, p. 1–15, 2 mar. 2021.