

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS AGROVETERINÁRIAS – CAV
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PRODUÇÃO VEGETAL – PPGPV

VINICIOS VINCIGUERA

**SENSORIAMENTO REMOTO MULTIESPECTRAL PARA DETERMINAÇÃO
DO PERÍODO ANTERIOR À INTERFERÊNCIA NA CULTURA DA SOJA E DO
MILHO**

LAGES – SC

2024

VINICIOS VINCIGUERA

**SENSORIAMENTO REMOTO MULTIESPECTRAL PARA DETERMINAÇÃO
DO PERÍODO ANTERIOR À INTERFERÊNCIA NA CULTURA DA SOJA E DO
MILHO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
Orientador: Prof.^o Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto

LAGES – SC

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Vinciguera, Vinícios
SENSORIAMENTO REMOTO MULTIESPECTRAL PARA
DETERMINAÇÃO DO PERÍODO ANTERIOR À
INTERFERÊNCIA NA CULTURA DA SOJA E DO MILHO /
Vinícios Vinciguera. -- 2024.
49 p.

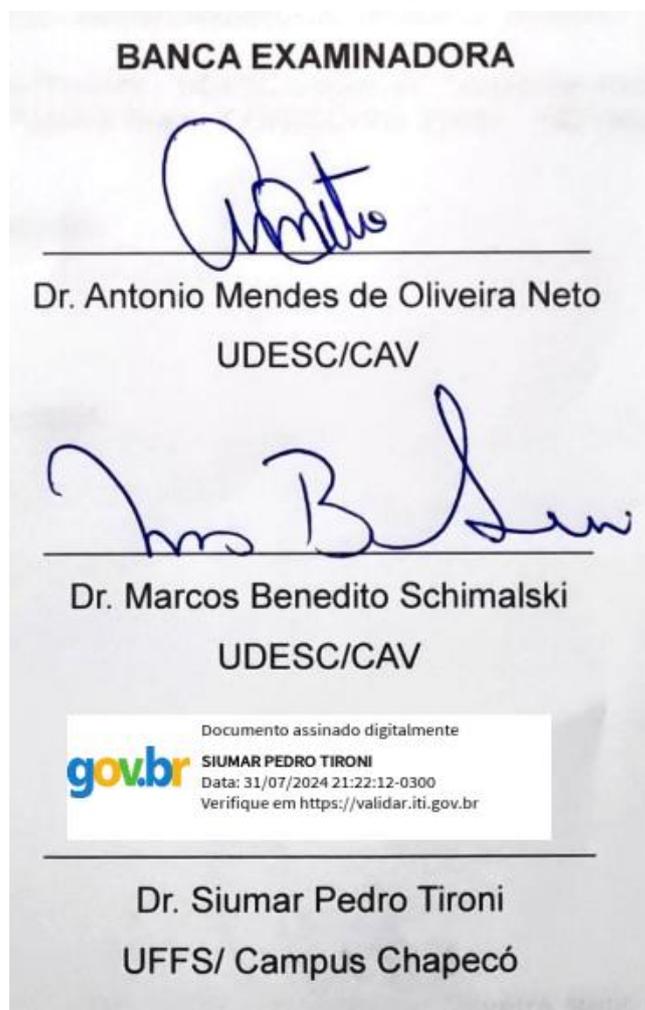
Orientador: Antonio Mendes de Oliveira Neto
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias,
Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Lages,
2024.

1. Período de interferência. 2. NDVI. 3. PSRI. 4.
Reflectância. I. Mendes de Oliveira Neto, Antonio. II.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Produção Vegetal. III. Título.

VINICIOS VINCIGUERA

**SENSORIAMENTO REMOTO MULTIESPECTRAL PARA DETERMINAÇÃO
DO PERÍODO ANTERIOR À INTERFERÊNCIA NA CULTURA DA SOJA E DO
MILHO**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Produção Vegetal pelo Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.
Orientador: Prof Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto



Lages, 31 de julho de 2024

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter me presenteado com a vida e iluminar meu caminho guiando meus passos.

À minha namorada Gabriella Camila Galikovski pelo apoio incondicional durante toda esta jornada. Sem ela chegar até aqui seria muito mais difícil.

À minha Família por sempre apoiar minhas decisões e sempre estar ao meu lado.

Aos meus amigos por me proporcionarem uma vida mais leve e tranquila.

Ao meu orientador, Profº Dr. Antonio Mendes de Oliveira Neto por todo o conhecimento transmitido durante o período de mestrado.

Ao Profº Dr. Marcos Benedito Schimalski por todo apoio durante a condução dos experimentos e pelo conhecimento transmitido.

À equipe do Laboratório de Plantas Daninhas e Herbicidas do CAV/UEDESC pelo auxílio na condução dos experimentos.

Aos órgãos de fomento por proporcionarem recursos para realização das pesquisas e concessão de bolsas.

A todos àqueles que participaram e/ou contribuíram durante o período do mestrado.

“Tudo que a mente de um homem é capaz de conceber e acreditar pode ser alcançado”
Napoleon Hill

SENSORIAMENTO REMOTO MULTIESPECTRAL PARA DETERMINAÇÃO DO PERÍODO ANTERIOR À INTERFERÊNCIA NA CULTURA DA SOJA E DO MILHO

Os índices de vegetação são empregados para detecção de estresses bióticos e abióticos na cultura de milho e da soja, tendo como vantagem a extração de parâmetros biofísicos das plantas por métodos não destrutivos. Na ciência das plantas daninhas os índices de vegetação têm sido utilizados principalmente para avaliar a competição por água e nutrientes. Porém, há poucos estudos relacionando o comportamento espectral das culturas com o período anterior a interferência (PAI). O objetivo desse trabalho foi avaliar se índices de vegetação calculados a partir de dados extraídos por sensores multiespectrais são efetivos na determinação do PAI nas culturas da soja e do milho. Os experimentos foram conduzidos na área experimental da FECAV, em Lages, SC. Para a determinação do PAI utilizou-se sete períodos de convivência: 0, 7, 14, 21, 28, 56 dias após a emergência (DAE) e todo o ciclo. O experimento com milho foi conduzido nas safras 2022/2023 e 2023/2024 e da soja foi conduzido apenas na safra 2023/2024. Para obtenção dos índices foram empregados um RAP modelo DJI Mavic 2 Pro e um Parrot BlueGrass equipada com sensores multiespectrais, os voos foram feitos ao final de cada período de convivência até 28 DAE. Os dados obtidos pelo RPA foram processados utilizando os aplicativos Agisoft Metashape e QGIS. Para determinação do PAI os dados de produtividade foram submetidos análise de regressão e os índices de vegetação comparados por Tukey ($p < 0,05$). Os índices utilizados foram C_{green}, NDVI, GNDVI, PSRI, MSAVI2, NDRE e VARI. O PAI calculado para a cultura do milho foi de 22 DAE no primeiro ano safra e de 20 DAE no segundo ano safra. Na soja o PAI calculado foi de 5 DAE. Para a soja nenhum índice foi capaz de detectar mudanças significativa logo após a instalação da interferência, porém na cultura do milho os índices de vegetação NDVI e PSRI foram capazes de detectar mudanças significativas em seus valores a partir de 21 DAE para PSRI e 28 DAE para NDVI. Nos tratamentos com período de convivência inferior não houve diferenças significativas. A alteração significativa nos índices NDVI e PSRI até 21 DAE indicam que o processo de interferência das plantas daninhas sobre a cultura do milho altera o padrão de reflectância da luz, após o início da interferência, sendo,

assim, uma boa alternativa para estimar o início da interferência das plantas daninhas. Na cultura da soja o uso de índices de vegetação para determinação do início do período de interferência não se mostrou uma alternativa viável.

Palavras-chave: Período de interferência, NDVI, PSRI, Reflectância

MULTISPECTRAL REMOTE SENSING TO DETERMINE THE PERIOD BEFORE WEED INTERFERENCE IN SOYBEAN AND CORN CROPS

Vegetation indices are used to detect biotic and abiotic stresses in corn and soybean crops, with the advantage of extracting biophysical parameters from plants using non-destructive methods. In weed science vegetation indices have been used mainly to assess competition for water and nutrients. However, there are few studies relating the spectral behavior of crops with the period before interference. The objective of this work was to evaluate whether vegetation indices calculated from data extracted by multispectral sensors are effective in determining period before interference in soybean and corn crops. The experiments were conducted on the premises of FECAV, in Lages, SC. To determine the period before interference, 7 periods of coexistence were used: 0, 7, 14, 21, 28, 56 and 120 day after emergence of crops (DAE). The experiment with corn was conducted in 2022/2023 and 2023/2024 and with soybeans it was conducted only in the 2023/2024 harvest. To obtain the indices, a RPA model DJI Mavic 2 Pro and Parrot BlueGrass equipped with multispectral sensors was used. The flights were made at the end of each coexistence period up to 28 DAE. The data obtained by RPA were processed using Agisoft Metashape and QGIS software. To determine the period before interference, productivity data were subjected to regression analysis and vegetation indices compared by Tukey ($p < 0.05$). The indices used were C_{green}, NDVI, GNDVI, PSRI, MSAVI2, NDRE and VARI. The period before interference calculated for the corn crop was 22 DAE in the first harvest year and 20 DAE in the second harvest year. In soybeans, the calculated period before interference was 5 DAE. For soybean, no index was able to detect significant changes immediately after the installation of the interference, however, in the corn crop, the NDVI and PSRI vegetation indices were able to detect significant changes in their values from 21 DAE for PSRI and 28 DAE for NDVI. In treatments with a shorter coexistence period, there were no significant differences. The significant change in the NDVI and PSRI indices up to 21 DAE indicates that the process of weed interference on the corn crop changes the light reflectance pattern after the start of the interference, thus being a good alternative to estimate the start interference from weeds. In soybean

cultivation, the use of vegetation indices to determine the beginning of the interference period did not prove to be a viable alternative.

Keywords: Interference periods, NDVI, PSRI, Reflectance

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Densidade de plantas daninhas (a), matéria seca acumulada pelas espécies de plantas daninhas (g/m ²) (b) e índice de valor e importância (c) em função do período de convivência da cultura do milho com as plantas daninhas (22/23).....	31
Figura 2 - Densidade de plantas daninhas (a), matéria seca acumulada pelas espécies de plantas daninhas (g/m ²) (b) e índice de valor e importância (c) em função do período de convivência da cultura com as plantas daninhas (23/24)	31
Figura 3 – Produtividade de grãos e estimativa do Período Anterior à Interferência (PAI) de milho submetido a diferentes períodos de convivência com as plantas daninhas – Safra 22/23	33
Figura 4 - Produtividade de grãos e estimativa do Período Anterior à Interferência (PAI) de milho submetido a diferentes períodos de convivência com as plantas daninhas – Safra 23/24	34
Figura 5 -Índices de vegetação NDVI e PSRI. (a) NDVI Milho 22/23, (b) NDVI , (c) PSRI Milho 22/23, (d) PSRI Milho 22/23, em função de período de convivência da cultura do milho com as plantas daninhas	36
Figura 6 - Densidade de plantas daninhas (a), matéria seca da parte aérea acumulada pelas espécies de plantas daninhas (b) e índice de valor e importância (c) na cultura da soja (safra 23/24)	38
Figura 7 - Produtividade de grãos e estimativa do Período Anterior à Interferência de soja submetido a diferentes períodos de convivência com as plantas daninhas (safra 23/24).....	40
Figura 8 - Índices de vegetação calculados para a cultura da soja (safra 22/23) em função do período de convivência das plantas daninhas	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise de solo para a camada de 00-20 cm	22
Quadro 2. Fórmulas para os cálculos dos índices fitossociológicos.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Especificações técnicas do sensor multiespectral Sequoia embarcado no RPA modelo Parrot Blue Grass.	27
Tabela 2 - Descrição dos índices de vegetação	28
Tabela 3 - Estatura das plantas na maturação fisiológica do milho em função dos dias de convivência das plantas daninhas com a cultura.	32
Tabela 4 - Altura e número de vagens por planta de soja, de acordo com o período de convivência com plantas daninhas.	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RPA	Aeronave remotamente pilotada
Conab	Companhia nacional de abastecimento
AbR	Abundância relativa
cm	Centímetro
DAE	Dias após a emergência
De	Densidade
DeR	Densidade relativa
Do	Dominância
Fr	Frequência
FrR	Frequência relativa
g	Grama
h	Horas
ha	Hectare
i.a.	Ingrediente ativo
IVI	Índice de valor e importância
km	Quilômetro
kg	Quilograma
L	Litro
ml	mililitro
m	Metro
m ²	Metro quadrado
nm	Nanómetro
PAI	Período anterior a interferência
VC	Valor de cobertura
%	Porcentagem
R\$	Reais
>	Maior que
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DAS CULTURAS DA SOJA E DO MILHO PARA O BRASIL E SANTA CATARINA	15
2.2 INTERFERÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NO MILHO E SOJA	15
2.3 PERÍODO ANTERIOR À INTERFERÊNCIA (PAI)	16
2.4 SENSORIAMENTO REMOTO - CONCEITO E APLICAÇÕES.....	18
3 MATERIAS E MÉTODOS	22
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	22
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS	22
3.3 IMPLANTAÇÃO DAS CULTURAS E TRATOS CULTURAIS	23
3.3.1 Milho 22/23	23
3.3.2 Milho 23/24	23
3.3.3 Soja 23/24.....	24
3.4 AVALIAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA	25
3.5 VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E COMPONENTES DO RENDIMENTO	26
3.6 AQUISIÇÃO DE IMAGENS E PROCESSAMENTO FOTOGRAFÉTICO	26
3.7 ANÁLISE DOS DADOS	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4.1 INTERFERÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NO MILHO.....	30
4.2 INTERFERÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NA SOJA	37
5 CONCLUSÕES	42
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1 INTRODUÇÃO

As culturas da soja e do milho são as duas principais em termos de área plantada e produção no Brasil, totalizando 66,82 milhões de hectares e uma produção de 261 milhões de toneladas. Mesmo com uma produção expressiva existem alguns fatores que limitam sua produtividade, sendo as plantas daninhas o principal delas, podendo ocasionar perdas que podem chegar a 87% (KOZLOWSKI, 2002).

O efeito de diminuição da produtividade causada pelas plantas daninhas é denominado de interferência, que pode ocorrer através, principalmente através dos mecanismos de competição e alelopatia. A competição ocorre pela diminuição de recursos do ambiente, como água, luz, nutrientes, por exemplo. A alelopatia é a liberação de compostos químicos que interferem diretamente no desenvolvimento de plantas próximas (PITELLI, 2014; SOUZA, et al. 2003). O grau de interferência sobre as culturas pode variar em virtude da comunidade infestante, disponibilidade de recursos no ambiente e práticas culturais.

Durante o desenvolvimento das culturas existem períodos que determinam o manejo das plantas daninhas. Entre esses períodos está o Período Anterior à Interferência (PAI), que é o período, a partir da emergência, em que a cultura pode conviver com a comunidade infestante, ou seja, neste momento de convivência a quantidade de recursos é suficiente para suprir as necessidades tanto das plantas cultivadas quanto das plantas daninhas, antes que a interferência se instale de maneira definitiva (PITELLI, 2014; CARVALHO, 2013). Em termos práticos, seu limite superior informa o momento ideal para iniciar o controle das plantas daninhas existentes.

A determinação do PAI é feita experimentalmente mantendo-se a cultura objeto de estudo em convivência com as plantas daninhas por períodos crescentes. Ao final de cada período as plantas daninhas são controladas e a cultura é mantida no limpo até o final de seu ciclo, momento em que é avaliado a produtividade. Esse modelo de condução experimental não leva em consideração quais parâmetros morfológicos e fisiológicos são alterados durante o processo inicial da interferência das plantas daninhas sobre a cultura. A aferição desses parâmetros pode ser feita através de técnicas de Sensoriamento Remoto a qual tem como vantagem o caráter não destrutivo do alvo de estudo

(ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Na agricultura o Sensoriamento Remoto é utilizado para monitoramento de grandes áreas agrícolas, acompanhamento de pragas e doenças, estimativa de área plantada e contagem de plantas, são exemplo da aplicabilidade do Sensoriamento Remoto.

As alterações morfofisiológicas causada pela interferência das plantas daninhas podem ser mensuradas através de índices de vegetação que utilizam comprimentos de ondas específicos que interagem com a estrutura do mesófilo foliar, principalmente seus pigmentos. O objetivo desse trabalho foi avaliar se índices de vegetação calculados a partir de dados extraídos por sensores multiespectrais são efetivos na determinação do PAI nas culturas da soja e do milho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 IMPORTÂNCIA SOCIOECONÔMICA DAS CULTURAS DA SOJA E DO MILHO PARA O BRASIL E SANTA CATARINA

As culturas da soja e do milho são as duas principais culturas em termos de área cultivada e produção do Brasil. Segundo dados da Conab (2024), a área total ocupada pelas duas culturas no Brasil é de 66,82 milhões de hectares, totalizando uma produção de 261,49 milhões de toneladas na safra 2023/2024. A produção desses grãos está, predominantemente, localizada nas regiões Sul e Centro Oeste do Brasil. Neste contexto, o estado de Santa Catarina soma, atualmente a 1,14 milhões de hectares e 5,04 milhões de toneladas de soja e milho (CEPA/EPAGRI, 2024).

Os grãos de soja e milho são utilizados nas mais diversas formas, sendo o principal para alimentação animal, sendo 70% do milho produzido no mundo destinado para esse fim (PAES, 2006). O uso dos grãos para essa finalidade se deve a sua composição bromatológica que, para a soja é de 35-45% de proteína e 15-25% de óleo (BORDIGON; MANDARINO, 1994); para o milho os teores são de aproximadamente 72% de carboidrato e 9,5% de proteína (PAES, 2006). Outros exemplos da utilização das culturas são: biocombustíveis, alimentação humana e indústria farmacêutica (APROSOJA, 2021).

2.2 INTERFERÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS NO MILHO E SOJA

Mesmo com números expressivos de produção, há fatores que limitam a produção agrícola. Dentre as inúmeras causas que podem gerar perdas produtivas estão as plantas daninhas. Segundo Lorenzi (2008) as plantas daninhas são responsáveis por 30 a 40% dos danos causados às culturas agrícolas. Os danos podem ser classificados como diretos, menor produção vegetal, gerados por competição e alelopatia, menor qualidade do produto e demanda adicional por água; e indiretos que estão relacionados a menor eficiência no uso da água, custo maiores para o controle de pragas e doenças, entre outros (CONCENÇO, et al., 2014).

Esse efeito de diminuição da produtividade é denominado de interferência, que de acordo com Pitelli (2014), pode ser definida como o conjunto de ações que recebe determinada cultura em decorrência da presença de uma comunidade infestante no ambiente em comum, sendo os mais importantes mecanismos de interferência a competição, que é a redução de um ou mais recursos limitantes no ambiente, como água, luz e nutrientes; e alelopatia, que é produção e liberação de compostos químicos por tecidos vivos ou em decomposição, que interferem no crescimento das plantas próximas (SOUZA, et al. 2003).

Em termos quantitativos, a interferência das plantas daninhas na cultura da soja pode variar de acordo com a infestação, comunidade infestante e disponibilidade de recursos. Segundo Silva et al. (2009) avaliando o impacto de diferentes níveis de infestação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, constatou perdas de 73%, em baixas infestações (0-30 plantas m⁻²) e de 92,5% em altas infestações (>150 plantas m⁻²). Já Meschede et al. (2004) ao avaliar a interferência da população de *Euphorbia heterophylla* obteve perdas de produtividade de grãos na ordem de 38%. A cultura em convivência com plantas de *Digitaria insularis* reduziu sua produtividade em 44% (GAZZIEIRO et al. 2012). Em trabalho avaliando a convivência de *Ipomoea sp.* numa densidade de 8 plantas m⁻², com duas cultivares de soja, TEC6029 e TEC7849, reduziu a produtividade em 45% e 27%, respectivamente (PICCININI et al. 2018). Os trabalhos acima demonstram que a comunidade infestante, densidade e cultivar impactam diretamente no grau de interferência das plantas daninhas.

Na cultura do milho a interferência das plantas daninhas também é expressiva. Dados apresentados por Balbinot e Fleck (2005) demonstraram perdas de 21% de produtividade com espaçamento entrelinhas de 40 cm e de 32% com espaçamento entrelinhas de 100 cm. Segundo Kozlowski (2002) os danos são mais severos à cultura, que chegou a perdas de 87% quando a planta daninha conviveu com o milho durante todo o ciclo.

2.3 PERÍODO ANTERIOR À INTERFERÊNCIA (PAI)

Na literatura são descritos os três períodos de interferência que norteiam o planejamento de manejo de plantas daninhas nas culturas. São eles o período

crítico de prevenção à interferência (PCPI) que é o momento que a convivência da cultura com as plantas daninhas ocasiona perdas produtivas, o período total de prevenção da interferência (PTPI) que é o momento em que a própria cultura controla e impede o crescimento das plantas daninhas e o período anterior à interferência (PAI), descrito a seguir (PITELLI; DURIGAN, 1984).

O PAI é caracterizado como o período, a partir da emergência, em que a cultura pode conviver com a comunidade infestante, ou seja, neste momento de convivência a quantidade de recursos é suficiente para suprir as necessidades tanto das plantas cultivadas quanto das plantas daninhas, antes que a interferência se instale de maneira definitiva, reduzindo significativamente a produção da lavoura, isso acontece quando as necessidades das plantas daninhas e da cultura não suplantadas pelos recursos do ambiente (PITELLI,2014; CARVALHO, 2013).

Esse período pode ser modificado de acordo com práticas empregadas no manejo da cultura como cultivar, espaçamento e densidade; a comunidade infestante e aos fatores ambientais. Rios (2012) identificou alterações no PAI do milho primeira safra em função da alteração no espaçamento entrelinhas, que em 45 cm foi de 21 dias após a emergência e no espaçamento de 90 cm foi de 14 dias após a emergência. Em trabalho com diferentes níveis de infestação de plantas daninhas em soja Silva et al. (2009) constataram mudanças no PAI, considerando perdas de produtiva de 5 e 10%, sendo em níveis baixos de infestação, de 0 a 30 plantas daninhas por m², o período foi de 17 e 27 DAE, em níveis médio, com 31 a 150 plantas daninhas por m², o foi de 11 e 15 DAE e 11 e 16 DAE em níveis de alta infestação, com mais de 150 plantas daninhas por m². Ao comparar dois genótipos distintos de milho, Balbinot e Fleck (2005) constataram diferença na produtividade em ambos os genótipos quando submetidos a interferência de plantas daninhas. Esses trabalhos demonstram que diferentes fatores que podem modificar os períodos de interferência.

Entre os fatores que podem alterar o período de interferência está a competição por luz. Contudo, a qualidade da radiação interceptada pela planta cultivada contribui para perdas produtivas (PAGE, et al., 2010). O incremento da quantidade de luz relativa ao vermelho distante oriunda das plantas daninhas causa efeitos de aumento de estatura da planta e aumento na área foliar no início do desenvolvimento de plantas de milho (RAJCAN; CHANDLER; SWANTON;

2004). Além de alterações morfológicas a dinâmica de alteração da qualidade da luz desencadeia uma série de respostas fisiológicas como aumento no teor de lignina e diminuição do teor de antocianina, além de desencadear a regulação de genes responsáveis pela síntese de etileno e auxina, afetando também a regulação estomática (AFIFI; SWANTON, 2012).

A determinação do PAI é feita por experimentos de campo envolvendo tratamentos, em que a cultura é mantida com a convivência da comunidade infestante por períodos crescentes. Após o período de convivência as parcelas são mantidas livres de plantas daninhas até o final do seu ciclo, quando é feita a mensuração de produtividade dos períodos de convivência. O cálculo do PAI leva em consideração uma margem de perda de produtividade que pode variar de 1%, 5% ou 10% (PITELLI, 2014).

2.4 SENSORIAMENTO REMOTO - CONCEITO E APLICAÇÕES

O Sensoriamento Remoto é definido como a utilização conjunta de sensores colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves e outras plataformas, como satélites, com o objetivo de estudar eventos, fenômenos e processos que ocorrem na superfície da Terra a partir da interação da radiação eletromagnética refletida ou absorvida em uma ou mais regiões do espectro, com objetos e substância que a compõe (NOVO, 2010; ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019).

As aplicações do Sensoriamento Remoto são variadas, sendo utilizado no monitoramento atmosférico para inferência de temperatura, distribuição de nuvens, concentração de gases, velocidade do vento, entre outros; no monitoramento da superfície terrestre em áreas da geologia para detecção de minerais, petróleo e gás natural, em áreas agrícolas para avaliação da condição de culturas, previsão de safras e erosão de solos; no monitoramento de desastres ambientais e condições florestais, além do uso militar que possui como foco a detecção de alvos e mapeamento de terrenos e instalações (NOVO, 2010; LORENZETTI, 2015).

As principais vantagens do uso de técnicas oriundas do Sensoriamento Remoto para obtenção de informações são que não são utilizadas práticas destrutivas e/ou invasivas no objeto em estudo com facilidade e agilidade

(ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). Os mesmos autores colocam como limitação do uso o fato de não pode ser utilizada de forma isolada, sem apoio de dados coletados a campo para validação.

As principais contribuições do Sensoriamento Remoto para agricultura são as estimativas de biomassa e da produtividade, informações de áreas cultivadas, mapeamento de distúrbios e de estresses, identificações de padrões de semeadura ou plantio, mapeamento do desenvolvimento dos estádios fenológicos das culturas (FORMAGGIO; SANCHES, 2017).

Inúmeros trabalhos vêm sendo desenvolvidos buscando aprimorar técnicas de Sensoriamento Remoto na agricultura para identificação de estresses bióticos. Portanto, plantas sob algum tipo de estresse biótico sofrerão alterações fisiológicas que poderão alterar seu comportamento espectral com diferentes agentes causadores de estresse (BARROS et al., 2021). Perasoni (2020), utilizou sensoriamento hiperespectral para detectar em período pré-sintomática nas lavouras de soja infectadas com fungos de *Phakopsora pachyrhizi* e conseguiu identificar mudanças no padrão de reflectância na cultura sete dias antes da ocorrência dos sintomas. Apan et al. (2004), foram capazes de detectar, através de dados hiperespectrais, em cana-de-açúcar, alterações nos padrões de reflectância em plantas infectadas com o fungo *Puccinia kuehnni* em relação às plantas não infectadas, com uso de comprimentos de onda nas regiões do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho de ondas curtas. Para detecção de danos causados por percevejo verde na cultura do trigo Mirik et al. (2006), encontraram diferença na reflectância de infravermelho entre plantas de trigo infestadas com percevejo e não infestadas.

Além de estresses causados por fatores bióticos, há também aqueles causados por fatores abióticos como déficit hídrico e deficiência nutricional. A fim de detectar a deficiência de nitrogênio e o estresse hídrico na cultura do algodão Barnes et al (2000) e El-Shikha et al (2008) utilizaram índices que mensuram teores de clorofila nas plantas e que se baseiam no comportamento espectral nos comprimentos de onda do vermelho, borda do vermelho (*red-edge*) e infravermelho próximo e obtiveram sucesso, principalmente quando o dossel das plantas estava fechado. Outros parâmetros biofísicos como índice de área foliar e coeficiente da cultura podem ser extraídos através dos índices de vegetação,

como proposto por Andrade et al. (2014), que utilizaram imagens de satélite aliadas a dados meteorológicos para determinar os parâmetros citados acima.

Nas ciências das plantas daninhas, os principais avanços do uso do Sensoriamento Remoto estão relacionados a identificação das espécies de plantas daninhas e sua diferenciação das culturas agrícolas (HUANG, et al. 2017). Para tal é necessário a utilização de sensores de ultra alta resolução espacial como àquelas fornecidas por aeronaves remotamente pilotas (SARTORI, GALO, IMAI, 2009; HUANG, et al. 2017). A extração de parâmetros por Sensoriamento Remoto relacionados a interferência de plantas daninhas são escassos, porém como comprovado por Rajcan, Chandler e Swanton (2004) há modificações morfológicas oriundas do processo de competição, também há processos fisiológicos que são modificados pela alteração da qualidade de luz (AFIFI; SWANTON; 2012) e que são passíveis de detecção via técnicas de sensoriamento remoto.

Buscando identificar o processo de interferência de plantas daninhas de *Amaranthus retroflexus* na cultura do milho Ronay et. al. (2021) utilizaram imagens hiperespectrais e constaram mudanças no comportamento espectral das plantas de milho que conviviam com as plantas de *Amaranthus*. Os autores aferiram mudanças nos comprimentos de onda do Short Wave Infra Red (SWIR), indicando competição por água e também na faixa do visível, indicando mudanças nos padrões fotossintéticos.

Soja e algodão cultivados concomitantemente à *Cyperus rotundus* e *C. esculentus* também apresentaram comportamento espectral diferentes daquelas cultivares na ausência dessas plantas daninhas (LEON, et al 2003). Estudos conduzidos por Lou, et al (2022) com a cultura do milho infestada com diferentes densidades de plantas daninhas demonstrou diferença no comportamento espectral da cultura. As principais diferenças ocorrem na faixa do infra-vermelho próximo e na borda do vermelho. Essas diferenças se devem devido a concentração de pigmentos fotossintéticos nas folhas variarem de acordo com o nível de competição das plantas daninhas com o milho (LOU, et al. 2022).

Outra possibilidade da utilização da espectroscopia é a aferição do nível de infestação de plantas daninhas em cultivos agrícola. Através de dados multi-espectrais é possível aferir o nível de infestação de plantas daninhas em lavouras de trigo, utilizando índices de vegetação (PISMAN, et. al. 2021). Os

autores concluíram que índices como o NDVI, Clgreen e MSAVI2 foram sensíveis para determinar o grau de infestação do campo de cultivo.

3 MATERIAS E MÉTODOS

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas 2022/2023 e 2023/2024. Em ambos os anos o experimento foi conduzido nas dependências da Fazenda Experimental do CAV (FECAV), no município de Lages, Santa Catarina. O campo de condução do experimento está situado nas coordenadas de latitude 27°45'40" S, longitude 50°04'52" O e altitude de 870 metros. O clima do local é temperado do tipo Cfb, de acordo com a classificação de Köppen (ALVARES, 2013) e com solo Cambissolo Húmico. Os dados de análise de solo estão descritos no quadro abaixo (Quadro 1).

Quadro 1 - Análise de solo para a camada de 00-20 cm

Prof	Argila	pH H ₂ O	Ca	Mg	Al	K	CTC pH 7,0
<i>Cm</i>	%		<i>cmol_c dm⁻³</i>			<i>mg dm⁻³</i>	<i>cmol_c dm⁻³</i>
00-20	46,0	6,50	9,26	6,49	0,00	168	19,28
	MO	P-Mehlich I	Cu	Zn	Fe	Mn	Sat. de Bases
	%	<i>mg dm⁻³</i>					%
	2,7	5,0	0,40	0,80	442,8	0,10	83,92

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS

Os dois experimentos foram idênticos, um conduzido com a cultura do milho e outro com a cultura da soja, em dois anos agrícolas (22/23 e 23/24), porém para análise dos dados da cultura da soja somente foi considerado a safra 23/24, pois o experimento da safra 22/23 foi perdido devido ao ataque intenso de lebres. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições. Os tratamentos consistiram em sete períodos crescentes de convivência das culturas com as plantas daninhas infestantes, sendo os períodos de 0, 7, 14, 21, 28 e 56 dias após a emergência (DAE) e um último que contemplava todo o ciclo das culturas. Ao final de cada período de convivência foi realizado o controle das plantas daninhas com herbicida glyphosate (1.290 g

equivalente ácido ha⁻¹, formulação concentrado solúvel, formulação comercial Roundup Original DI) com pulverizador costal pressurizado a CO₂ com vazão de 150 L ha⁻¹. As parcelas possuíam dimensões de 2,5 x 5,0 m com 5 linhas de plantio.

3.3 IMPLANTAÇÃO DAS CULTURAS E TRATOS CULTURAIS

3.3.1 Milho 22/23

O experimento foi conduzido em sistema de semeadura direta na palhadade azevém (*Lolium multiflorum*). A dessecação foi realizada com antecedência de 15 dias antes da semeadura com herbicida clethodim (108 g i.a. ha⁻¹) + glyphosate (1.240 g i.a. ha⁻¹) com aplicação sequencial de diquat (400 g i.a. ha⁻¹) um dia antes da semeadura. A data de semeadura foi 01 de dezembro de 2022 e o híbrido utilizado foi o Semeali 8555 VIP3 com tratamento de sementes piraclostrobina (25 g L⁻¹) + tiofanato metílico (225 g L⁻¹) + fipronil (250 g L⁻¹), na dose de 200 ml por 100 kg de sementes. O espaçamento utilizado foi de 40 cm entre linhas com população de 66 mil plantas ha⁻¹.

A adubação de base foi feita com 400 kg ha⁻¹ da formulação 05-23-23 diretamente no sulco de semeadura com adubação de cobertura de 300 kg ha⁻¹ de ureia 45-00-00 realizada entre o estágio V4-V6. O manejo de insetos praga se deu mediante presença da praga em nível de dano econômico com uso de inseticida recomendando para a cultura. Foram feitas intervenções para o controle de cigarrinha (*Dalbulus maidis*) com acefato (1.164 g i.a. ha⁻¹) e tiametoxan + lambda-cialotrina (35,5 g i.a. ha⁻¹ + 26,5 g i.a. ha⁻¹). O manejo de doenças foi feito com bixfem + protioconazol + trifloxistrobina (62,5 g i.a. ha⁻¹ + 87,5 g i.a. ha⁻¹ + g i.a. ha⁻¹).

3.3.2 Milho 23/24

O experimento foi semeado no dia 16 de novembro de 2023 sob palhada de azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena sativa*). A dessecação foi feita com antecedência de 15 dias com herbicida clethodim (108 g i.a. ha⁻¹) +

glyphosate (1.240 g i.a. ha⁻¹) com aplicação sequencial de diquat (400 g i.a. ha⁻¹) um dia antes da semeadura. O híbrido utilizado foi o AG 8780 VT PRO4 com espaçamento de 40cm entre linhas e população de 72 mil plantas ha⁻¹. O tratamento de sementes utilizado foi imidacloprido + tiodiocarbe (50 g i.a. ha⁻¹ + 150 g i.a. ha⁻¹).

A adubação de base foi feita com 400 kg ha⁻¹ da formulação 08-20-20 diretamente no sulco de semeadura com adubação de cobertura de 300 kg ha⁻¹ de ureia 45-00-00 realizada entre o estádio V4-V6. O manejo de pragas se deu mediante presença da praga em nível de dano econômico com inseticida recomendando para a cultura. Foram feitas intervenções para o controle de cigarrinha (*Dalbulus maidis*) com metomil (130 g i.a. ha⁻¹). O manejo de doenças foi feito com picoxistrobina + tebuconazol + mancozeb (80 g i.a. ha⁻¹ + 100 g i.a. ha⁻¹ + 1.200 g i.a. ha⁻¹).

3.3.3 Soja 23/24

O experimento foi semeado no dia 16 de novembro de 2023 sob palhada de azevém (*Lolium multiflorum*) e aveia preta (*Avena sativa*) e seguiu o mesmo plano de dessecação utilizado para a cultura do milho. A cultivar utilizada foi a 55I57RSF IPRO na densidade de 300 mil plantas ha⁻¹ com espaçamento entre linhas de 40 cm. As sementes foram inoculadas com estirpes de *Bradyrhizobium javanica* na dose de 50 ml a cada 50 kg de semente. O tratamento das sementes foi feito com fipronil + acetamiprido (30 g i.a. 100 kg⁻¹ + 120 g i.a. 100 kg⁻¹).

O manejo de adubação foi feito utilizando 400 kg ha⁻¹ da formulação 08-20-20 diretamente na base. O manejo de doenças fúngicas na soja foi feito de maneira preventiva visando, principalmente, o controle de ferrugem asiática (*Phakopsora pachyrhizi*) e complexos de manchas foliares. As aplicações foram feitas a partir dos 50 DAE com intervalos de 15 dias, totalizando 5 pulverizações com o fungicida picoxistrobina + tebuconazol + mancozeb (80 g i.a. ha⁻¹ + 100 g i.a. ha⁻¹ + 1.200 g i.a. ha⁻¹). O manejo de insetos praga foi focado no controle de percevejo barriga verde (*Dichelops melacanthus*) e percevejo marrom (*Euschistus heros*) com inseticida lambda-cialotrina (40 g i.a. ha⁻¹).

3.4 AVALIAÇÃO FITOSSOCIOLÓGICA

O levantamento fitossociológico da comunidade infestante foi feito ao final de cada período de convivência das plantas daninhas com a cultura. O processo se deu através de um quadro amostral com dimensões 0,5 x 0,5 m, que foi arremessado de maneira aleatória em dois pontos distintos de cada parcela. As plantas daninhas dispostas dentro de cada quadro foram contadas, identificadas e levadas a estufa a 65°C por 72 horas para avaliação de matéria seca. Os índices calculados para os experimentos foram: densidade (De), frequência (Fr), dominância (Do) e seus índices relativos, além dos índices de valor de cobertura (VC) e índice de valor e importância (IVI).

Quadro 2. Fórmulas para os cálculos dos índices fitossociológicos

INDICES	SIGLA	FÓRMULAS	DESCRIÇÃO
Densidade	De	$De = \frac{NIE}{A}$	<i>NIE</i> : número de indivíduos da espécie <i>A</i> : área
Densidade Relativa	DeR	$DeR = \frac{DeE}{DeTo} * 100$	<i>DeE</i> : densidade da espécie <i>DeTo</i> : densidade de todas as espécies
Frequência	Fr	$Fr = \frac{NAE}{NTA}$	<i>NAE</i> : número de amostras com a espécie <i>NTA</i> : número total de amostras
Frequência Relativa	FrR	$FrR = \frac{FrE}{FrTo} * 100$	<i>FrE</i> : frequência da espécie <i>FrTo</i> : frequência total de todas as espécies
Dominância	Do	$Do = \frac{MSE}{MSTO}$	<i>MSE</i> : massa seca acumulada da espécie <i>MSTO</i> : massa seca acumulada por todas as espécies
Dominância Relativa	DoR	$DoR = \frac{DoE}{DoTo} * 100$	<i>DoE</i> : dominância da espécie <i>DoTo</i> : dominância total de todas as espécies

Abundância	Ab	$Ab = \frac{NIE}{NAE}$	<i>NIE</i> : número de indivíduos da espécie <i>NAE</i> : número de amostras com a espécie
Abundância Relativa	AbR	$AbR = \frac{AbE}{AbTo} * 100$	<i>AbE</i> : abundância da espécie <i>AbTo</i> : abundância total de todas as espécies
Valor de Cobertura	VC	$VC = \frac{DeR}{DoR}$	<i>DeR</i> : densidade relativa <i>DoR</i> : dominância relativa
Índice de Valor de Importância	IVI	$IVI = DeR + FrR + DoR$	<i>DeR</i> : densidade relativa <i>FrR</i> : frequência relativa <i>DoR</i> : dominância relativa

3.5 VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS E COMPONENTES DO RENDIMENTO

No período de pré-colheita foi avaliado variáveis como altura de planta, diâmetro de colmo e coleto. As aferições de altura de planta foram feitas considerando o nível do solo até a inserção do último trifólio totalmente expandido, para a soja; e do nível do solo até a colar da última folha completamente desenvolvida, para o milho. As avaliações de altura de planta, diâmetro de colmo e coleto foram feitas em três plantas por parcela.

Os componentes do rendimento avaliados foram número de vagens por planta e peso de mil grãos, para a cultura da soja. Na cultura do milho foram aferidos o número de fileiras por espiga, número de grãos por espiga e peso de mil grãos. Essas avaliações foram feitas na fase de pré-colheita em 3 plantas por parcela. Ao final foi realizada a colheita da parcela para determinar a produtividade. A umidade dos grãos foi padronizada para 13% e a produtividade foi extrapolada para kg ha⁻¹.

3.6 AQUISIÇÃO DE IMAGENS E PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

Para as avaliações utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto utilizaram-se duas aeronaves remotamente pilotadas (RPA), modelos DJI Mavic

2, equipado com sensor multiespectral da faixa do visível (RGB), e Parrot BlueGrass, com sensor multiespectral que captura comprimentos de onda de 550, 660, 790 e 735 nm, que correspondem às bandas verde, vermelho, infravermelho e borda do vermelho (Tabela 1).

Para a operação de voo das RPA foi utilizado o aplicativo Pix4Capture para executar o plano de voo. Os parâmetros utilizados para a operação foram altura de voo de 60 metros, taxa de sobreposição lateral de 70%, sobreposição longitudinal de 80% e velocidade de 12,6 km h⁻¹. Pontos de controle foram fixados nos vértices dos experimentos e georreferenciados empregando-se receptores de sinais GNSS (Global Navigation Satellite System) de dupla frequência da marca Leica e modelo GS15. Para sinalização dos pontos de controle utilizou-se marcos físicos sinalizados nos vértices do experimento, totalizando quatro pontos. Os dados obtidos pelos receptores GNSS foram processados no aplicativo Leica Geoffice 8.4 com a técnica post processing kinematic (PPK).

Tabela 1 - Especificações técnicas do sensor multiespectral Sequoia embarcado no RPA modelo Parrot Blue Grass.

Especificações do sensor	Características espectrais
Tipo do sensor	Sensor multiespectral + RGB
Sensor multiespectral	4 bandas
Resolução espacial RGB	16 MP
Resolução espacial Multi espectral	1,2 MP
Resolução Espectral	Green (550 nm), Red (660 nm), Red-Edge (735 nm), Near-Infrared (790 nm)
Resolução Espacial	7,2 cm/px*

*resolução alcançada em voo a 60 m de altura, conforme manual.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os voos com as RPA iniciaram 7 DAE da cultura e seguiram o cronograma dos períodos de convivência até 28 DAE. Os voos foram realizados sempre próximos às 12:00 para evitar sombreamento. O processamento das imagens obtidas para obtenção dos ortomosaicos e dos modelos digitais de superfície

deu-se no aplicativo Agisoft Metashape. Para o cálculo dos índices de vegetação utilizou-se o aplicativo Qgis (versão 3.22 LTR).

Os índices calculados foram o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Reflectância de Senescência de Planta (PSRI), Índice de clorofila verde (Clgreen), Índice de Vegetação Modificado Ajustado ao Solo (MSAVI), Índice de Vegetação Red-Edge por Diferença Normalizada (NDRE), Índice de Vegetação por Diferença Normalizada Verde (GNDVI), Índice Resistente à Atmosfera na Região Visível (VARI). Na tabela 2 estão descritos os índices e suas respectivas fórmulas.

A extração dos dados relativos aos índices de vegetação foi feita em dez pontos em cada parcela localizados sobre as três linhas centrais da parcela. Para a análise dos dados foi gerado uma média a partir das dez leituras.

Tabela 2 - Descrição dos índices de vegetação

Índices	Fórmulas	Autores
NDVI	$\frac{NIR - RED}{NIR + RED}$	Rouse et al. (1974)
PSRI	$\frac{RED - GREEN}{REDEGE}$	Merzlyak et al. (2002)
Clgreen	$\frac{NIR}{GREEN} - 1$	Gitelson, et al. (2005)
VARI	$\frac{GREEN - RED}{GREEN + RED - BLUE}$	Gitelson, et al. (2002)
MSAVI	$\frac{2NIR + 1\sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR + RED)}}{2}$	Qi, et al. (1994)
GNDVI	$\frac{NIR - GREEN}{NIR + GREEN}$	Gitelson; Kaufman e Merzyak; (1996)
NDRE	$\frac{NIR - REDEGE}{NIR + REDEGE}$	Gitelson e Merzlyak (1994)

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.7 ANÁLISE DOS DADOS

Os dados de produtividade para determinação do período anterior a interferência foram submetidos à análise de regressão. A partir dos modelos de regressão calculados determinou-se o PAI, considerando o nível de 5% de

redução da produtividade em relação ao tratamento mantido no limpo durante todo o ciclo das culturas. A redução de produtividade foi estimada a partir da equação ajustada na análise de regressão e análise variância

Dados biométricos como altura, diâmetro de colmo e coleto, bem dados oriundos dos índices de vegetação foram comparados utilizando o teste Tukey com probabilidade de 5% ($p < 0,05$).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

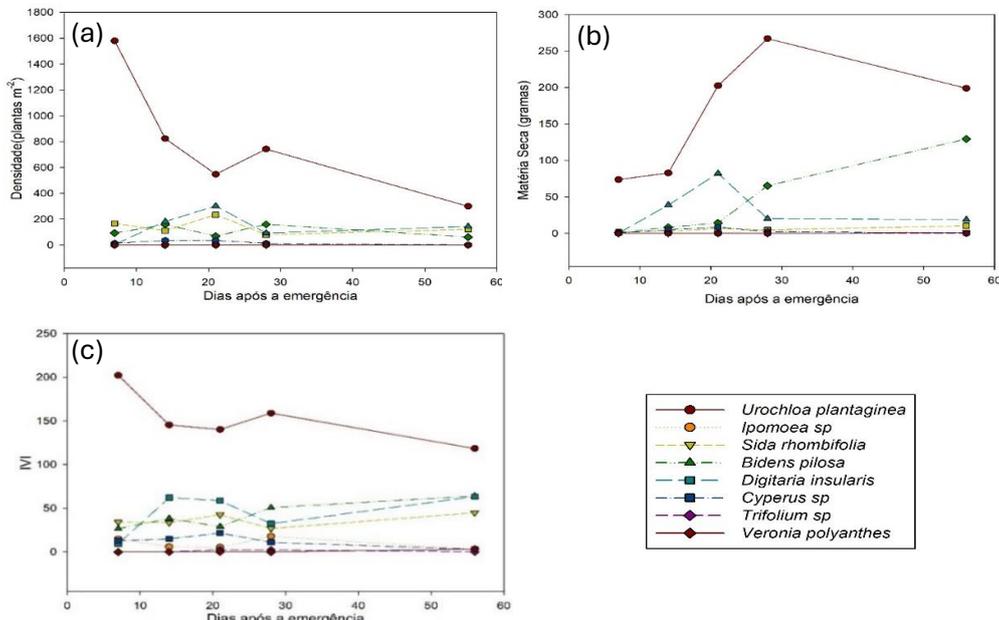
4.1 INTERFERÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NO MILHO

A comunidade infestante identificada no levantamento fitossociológico na safra 22/23 foi composta pelas espécies *Urochloa plantaginea*, *Digitaria ciliaris*, *Sida rhombifolia*, *Bidens pilosa*, *Veronia polyanthes*, *Cyperus sp*, *Ipomoea sp* e *Trifolium sp*. (Figura 01). Apesar de todos os índices serem calculados, somente o índice de valor e importância (IVI) será discutido, pois o mesmo é composto pelo somatório dos índices frequência relativa (FrR), densidade relativa (DeR) e dominância relativa (DoR), sendo, dessa forma, uma avaliação mais ponderada da importância de cada espécie, representando a capacidade de competição de uma determinada espécie dentro de uma comunidade infestante.

Dentre todas as espécies encontradas se destacam *Urochloa plantaginea*, *Digitaria ciliaris* e também *Bidens pilosa*, apresentando IVI médio de 145,38, 58,64 e 38,24, respectivamente. Essas espécies se apresentaram em altas densidade nas parcelas, atingindo, quando somadas até 1678 plantas m⁻² aos 7 DAE, e grande acúmulo de massa seca na parte aérea, conforme Figura 1. As três espécies estavam presentes em todas as amostras coletadas, demonstrando sua capacidade de competição e dominância.

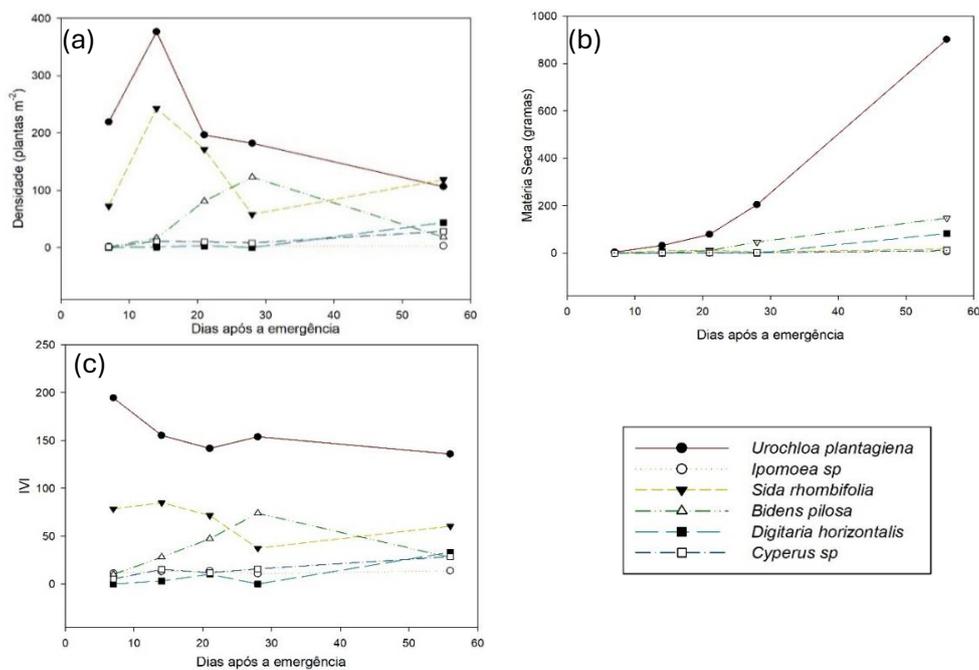
As espécies encontradas na safra 23/24, através de levantamento fitossociológico foram *Urochloa plantaginea*, *Digitaria ciliaris*, *Sida rhombifolia*, *Bidens pilosa*, *Cyperus sp*, *Ipomoea sp*. (Figura 2). Dentre as plantas daninhas encontradas *U. plantaginea*, *S. rhombifolia* e *B. pilosa* se destacam, apresentando o valor de IVI médio de 156,2, 66,66 e 37,45. Os valores de densidade máxima para essas espécies foram detectadas aos 14 DAE, atingindo densidades de 376,5, 242,5, e 16,5 plantas m⁻², respectivamente, totalizando 635,5 plantas m⁻².

Figura 1 - Densidade de plantas daninhas (a), matéria seca acumulada pelas espécies de plantas daninhas (g/m²) (b) e índice de valor e importância (c) em função do período de convivência da cultura do milho com as plantas daninhas (22/23)



Fonte: elaborado pelo autor (2024).

Figura 2 - Densidade de plantas daninhas (a), matéria seca acumulada pelas espécies de plantas daninhas (g/m²) (b) e índice de valor e importância (c) em função do período de convivência da cultura com as plantas daninhas (23/24).



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

A interferência das plantas daninhas ocasionou alterações morfológicas como diminuição da estatura e diâmetro de colmo, conforme Tabela 3. Em ambos os experimentos observou-se diminuição da estatura da planta a partir dos 21 DAE. Em um experimento conduzido por Rossi et al. (2008), foram encontrados resultados semelhantes de redução da estatura das plantas de milho em convivência com *U. plantaginea*, principal planta daninha infestante em ambos os experimentos, conforme citado acima. No mesmo trabalho foi constatado diminuição da massa seca das plantas de milho. Bagnara, et al. (2018) observaram que plantas de milho convivendo com *U. plantaginea* e *D. ciliaris* sofreram decréscimo no acúmulo de matéria seca a partir dos 7 DAE, demonstrando a habilidade competitiva dessas espécies na convivência com o milho.

Alterações significativas no diâmetro do colmo das plantas de milho foram observados em ambos os experimentos. Em 22/23, houve diminuição do diâmetro do colmo a partir dos 21 dias de convivência, resultando em uma diferença de até 38% quando comparado com o tratamento que esteve em convivência durante todo o ciclo. Na safra 23/24 o decréscimo significativo do diâmetro do colmo ocorreu a partir dos 14 dias de convivência. Esses resultados corroboram com dados encontrado por Silva et. al. (2018) que apresentam significativa redução do diâmetro do colmo do milho quando conviveu com plantas de *Cyperus rotundus*, apresentando redução linear desse componente morfológico.

Tabela 3 - Estatura das plantas na maturação fisiológica do milho em função dos dias de convivência das plantas daninhas com a cultura.

Período de convivência (DAE)	Milho 22/23		Milho 23/24	
	Estatura (cm)		Diâmetro (mm)	
0	193,41 a	175,13 a	33,32 a	30,11 a
7	193,95 a	173,70 a	32,75 a	31,59 a
14	190,48 a	169,15 ab	33,50 a	28,32 b
21	160,63 b	165,20 ab	27,50 ab	24,04 b
28	162,80 b	151,83 bc	25,70 b	17,75 c
56	151,85 b	134,93 cd	22,42 b	16,90 c
Ciclo todo	134,50 c	131,68 d	21,20 b	16,50 c
DMS	16,88	18,46	6,38	5,99
CV (%)	4,26	5,02	9,72	10,86

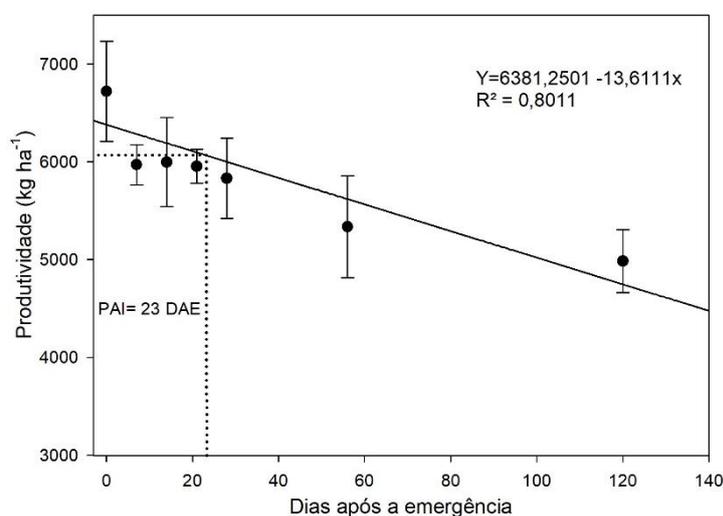
Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os resultados de produtividade de 22/23 (Figura 3) foram ajustados em uma modelo linear, indicando perda de produtividade mais lenta da cultura, ou seja, neste cenário o híbrido de milho mostrou-se eficiente na competição por recursos com a comunidade infestante. A perda diária de produtividade pode ser calculada, obtendo perdas de cerca de 13 kg dia^{-1} , com produtividade mínima de 4.985 kg ha^{-1} , uma redução de 25,81% quando comprado com o tratamento que foi mantido no limpo durante todo o ciclo. O valor do PAI obtido nesse experimento foi de 23 DAE, utilizando como perda de produtividade aceitável o valor de 5%.

O PAI indica o período que a cultura pode conviver com as plantas daninhas sem sofrer perdas significativas, sendo seu limite superior indicado com o momento ideal para realizar o controle das plantas daninhas. Neste cenário a cultura conviveu por 23 dias antes de se instalar o processo de interferência que levou a perdas de produtividade.

Figura 3 – Produtividade de grãos e estimativa do Período Anterior à Interferência (PAI) de milho submetido a diferentes períodos de convivência com as plantas daninhas – Safra 22/23

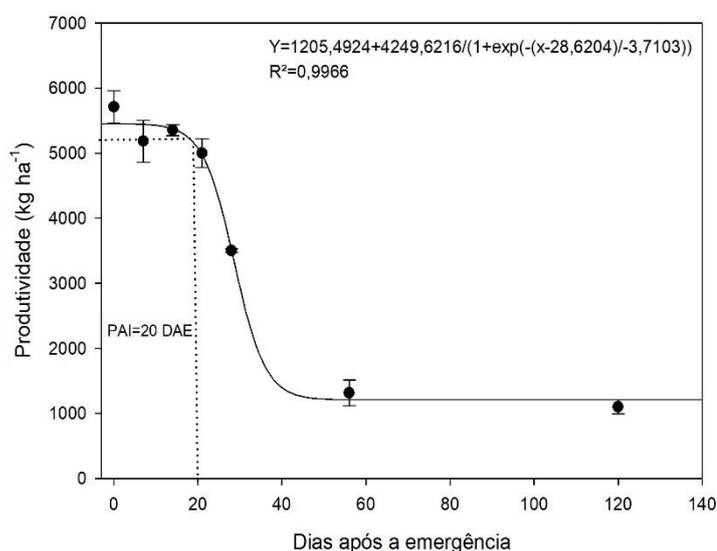


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Para a safra 23/24, os dados de produtividade foram ajustados para o modelo sigmoidal (Figura 4). O modelo indica rápida perda de produtividade a partir da instalação do processo de interferência, seguida de estagnação da produtividade nos períodos de maior convivência da cultura com as plantas daninhas. A produtividade obtida no tratamento mantido na ausência de

interferência foi de 5.453,62 kg ha⁻¹ e no tratamento em que a cultura conviveu durante todo o ciclo com a comunidade infestante foi de 1.205,49 kg ha⁻¹, representando redução expressiva de produtividade em decorrência do processo de interferência, na ordem de 77,89%. O PAI calculado para o experimento, utilizando 5% de tolerância de perda produtiva, foi de 20 DAE, ou seja, somente a partir do vigésimo dia após a emergência é que o processo de interferência se instala e ocasiona perdas produtivas significativas.

Figura 4 - Produtividade de grãos e estimativa do Período Anterior à Interferência (PAI) de milho submetido a diferentes períodos de convivência com as plantas daninhas – Safra 23/24



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Embora com PAI similares é possível observar comportamentos distintos entre os híbridos utilizados nos experimentos. No experimento 01 é possível afirmar que o híbrido obteve sucesso na competição com a comunidade infestante, mesmo ela ocorrendo em altas densidades, chegando a mais de 1000 plantas m⁻². Essa habilidade competitiva pode ser explicada pela genética do híbrido, podendo ser mais rústico e mais adaptado a esse tipo de cenário. Outro fator que pode explicar é que no início do ciclo da cultura houve períodos de alta precipitação, desse modo, pressupõe-se que não houve competição pelo recurso hídrico. Na safra 22/23 a semeadura foi tardia, fazendo com que o milho germinasse em solo mais quente e se desenvolvesse inicialmente sob dias mais longos e com maior disponibilidade de radiação solar, o que pode ter trazido uma

vantagem competitiva para esse híbrido, que pôde se desenvolver mais rápido inicialmente, em função do metabolismo fotossintético C4 da cultura do milho (COSTA, et al. 2019).

Distintos valores de PAI para a cultura do milho são relatados na literatura, pois seu valor depende de diversos fatores, como comunidade infestante, clima, cultivar, entre outros. Galon, et al. (2008) obtiveram um PAI de 11 DAE quando milho conviveu com plantas de *U. plantaginea*. Amiri, et al. (2014) obtiveram diferentes valores de PAI quando submeteram o milho a diferentes densidades de plantas daninhas, sendo esses valores de 21 DAE para densidades mais baixas e 19 DAE para densidades mais altas. Testando a influência do espaçamento entrelinhas no valor do PAI, Rios (2012) encontrou valores distintos de PAI que variam de 14 DAE em espaçamentos de 0,9m e de 14 DAE no espaçamento de 0,45m, sob a mesma condição de densidade de plantas daninhas.

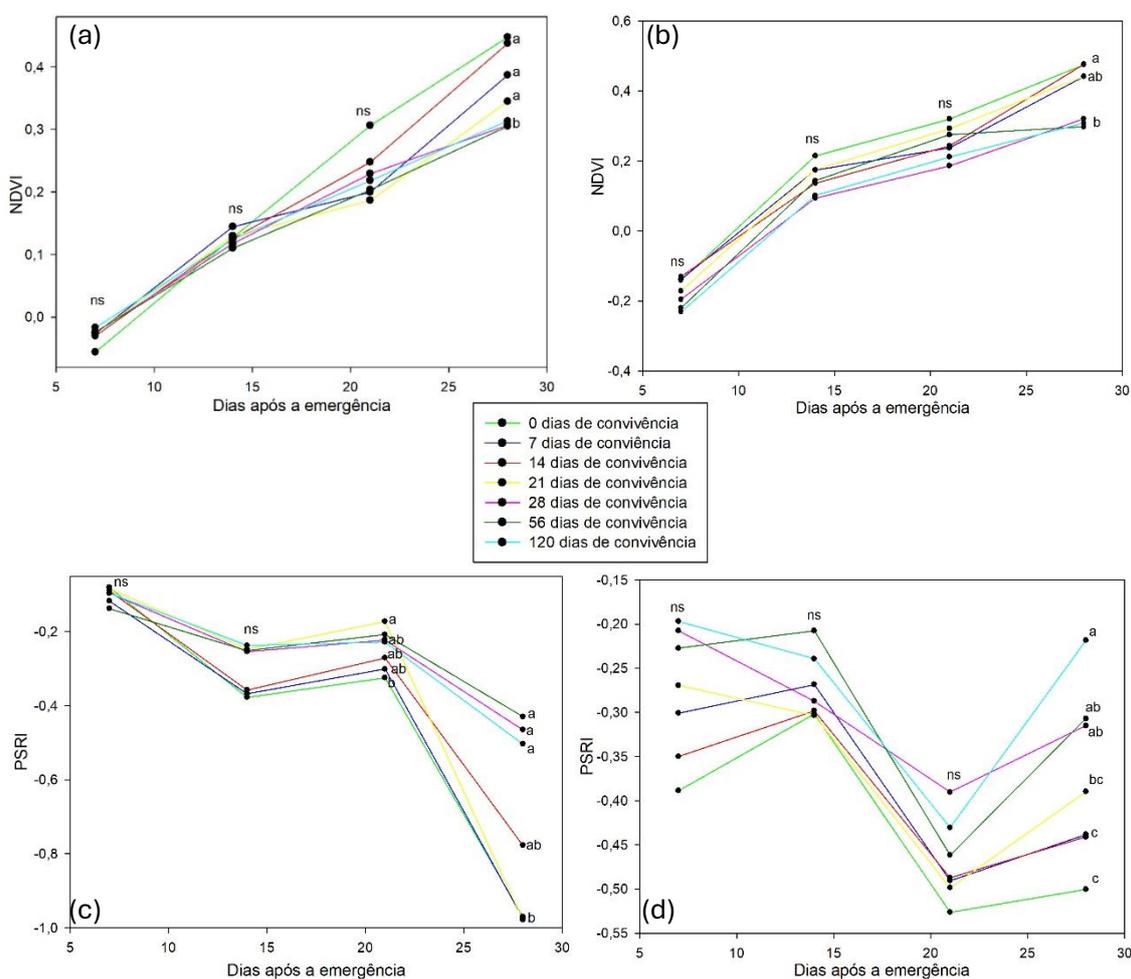
Com o objetivo de realizar a detecção remota do PAI foram calculados índices de vegetação que se mostram sensíveis para detecção de mudanças nos padrões da vegetação. Foram testados os índices de vegetação NDVI, PSRI, ARVI, Clgreen, MSAVI, GNDVI e NDRE. Somente os índices de vegetação NDVI e PSRI apresentaram sensibilidade na detecção de mudanças nos padrões de reflectância no período medido.

Em 22/23 o índice NDVI não detectou diferenças significativas nas capturas do 7, 14 e 21 DAE, apresentando comportamento semelhante em todos os tratamentos, inclusive aquele mantido na ausência de plantas daninhas. Aos 28 DAE houve a diferenciação dos índices nos tratamentos com período de convivência de 0, 7, 14 e 21 DAE, diferenciando-se dos demais. O índice PSRI não apresentou diferenças significativas nas leituras de 7 e 14 DAE, porém a partir da leitura de 21 DAE diferenças significativas no tratamento com 7 dias de convivência, indicando o início do processo de diferenciação do padrão espectral da cultura. Aos 28 DAE há um aumento da diferenciação das leituras nos tratamentos de 0, 7, 14, e 21 dias de convivência, apontando para alteração do comportamento espectral da cultura.

Na safra 23/24 ocorreu comportamento semelhante a safra anterior para o índice NDVI, com diferença significativa somente na leitura do 28 DAE nos tratamentos de 0, 7, 14 e 21 dias de convivência. O índice PSRI não apresentou

diferenças significativas nas leituras dos 7, 14 e 21 DAE, indicando diferenças significativas na captura dos 28 DAE. A correlação (r^2) dos índices de vegetação aos 28 DAE com a produtividade na safra 22/23 para o NDVI foi de 0,62 e PSRI de 0,55. Na safra seguinte as correlações foram de 0,74 e 0,92, respectivamente. Essas correlações indicam que o comportamento espectral da cultura nessa fase está diretamente relacionada com a produtividade final esperada.

Figura 5 - Índices de vegetação NDVI e PSRI. (a) NDVI Milho 22/23, (b) NDVI , (c) PSRI Milho 22/23, (d) PSRI Milho 22/23, em função de período de convivência da cultura do milho com as plantas daninhas



Médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Com valores de PAI de 23 e 19 DAE é possível determinar que há alteração no comportamento espectral da cultura do milho decorrente no processo de interferência das plantas daninhas, pois é possível observar que

logo após a interferência se instalar há alteração do padrão de reflectância da cultura. O principal componente fisiológico responsável pela alteração da reflectância é a redução da atividade fotossintética, que está diretamente ligada ao processo de competição (RONAY, et al., 2021). Estudos conduzidos por Wu, et al. (2010) encontram altas correlações entre índices de vegetação, como o NDVI, e o conteúdo de clorofila, o que reforça os resultados encontrados por esta pesquisa. Ronay, et al. (2021) utilizaram o índice PSRI na detecção de estresse fisiológico em milho em convivência com plantas de caruru e o índice foi capaz de captar alterações nos padrões de reflectância nos estágios iniciais do estresse.

O bom desempenho do índice PSRI pode ser explicado por utilizar comprimentos de onda sensível a mudanças quando a planta é submetida a estresse. Quando há presença de competição por recursos ocorre maior reflectância no comprimento do verde (550 nm) e vermelho (660 nm), quando comparado a plantas que não sofreram a interferência de plantas daninhas (LOU, et al. 2022). Esse comportamento decorre devido absorção da luz pelos pigmentos fotossintéticos. Plantas que sofrem por competição tendem a ter seus índices de reflectância aumentados, principalmente na região do visível, enquanto plantas que estão livres da competição absorvem mais luz para utilizar no processo fotossintético (IHUOMA E MADRAMOOTOO, 2019).

Outro processo que pode ser detectado através dos índices de vegetação é a competição por nutrientes, especialmente por nitrogênio que está diretamente relacionado com a atividade fotossintética. O NDVI está fortemente correlacionado com a quantidade de nitrogênio presente nas folhas de milho (SCHLEMMER, et al. 2013), o que pode explicar as diferenças significativas do NDVI de acordo com os períodos de convivência, pois o comprimento de onda NIR que compõe do índice é sensível a variação do conteúdo de N.

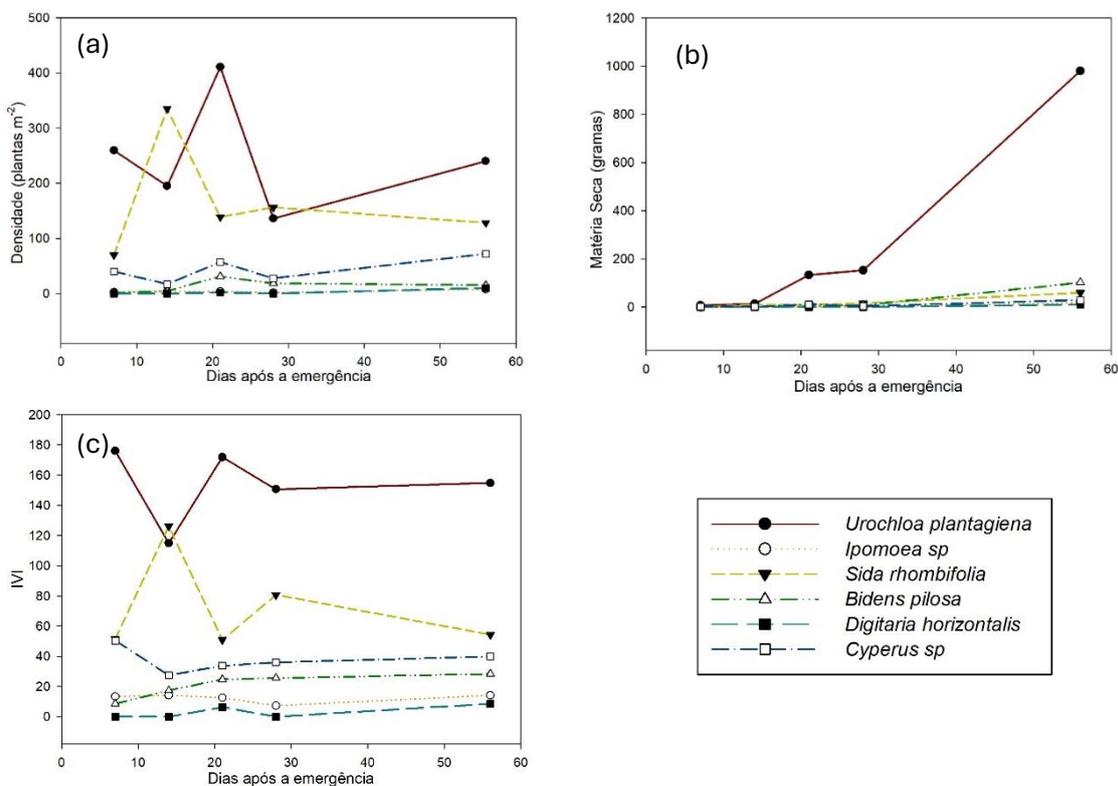
4.2 INTERFERÊNCIA DE PLANTAS DANINHAS NA SOJA

As espécies encontradas na cultura da soja através de levantamento fitossociológico foram: *Urochloa plantagiena*, *Digitaria ciliaris*, *Bidens pilosa*, *Sida rhombifolia*, *Ipomoea sp.* e *Cyperus sp.* Dentre as espécies encontradas no experimento aquelas que possuem maior importância são *U. plantaginea* e *S.*

rhombofolia com IVI médio de 153,62 e 72,72, respectivamente. Essas duas espécies representam as principais competidoras da comunidade infestante, sendo responsáveis pelas maiores perdas de produtividade. No ganho de massa seca da parte aérea ao longo do tempo, *U. plantaginea* se destaca das demais, tendo acumulado aos 56 DAE 976,9 g m⁻² cerca de nove vezes mais que a segunda espécie que mais acumulou massa seca na parte aérea nesse período, *S. rhombifolia*, com 101,81 gramas (Figura 6b).

O aumento do acúmulo da matéria seca pelas espécies de plantas daninhas conforme aumenta os períodos de convivência seguem padrões como os encontrados por Silva, et al. 2009 e Benetti, et al. 2009. As densidades máximas das espécies com maior IVI foram de 410 plantas m⁻² para *U. plantaginea* aos 21 DAE e de 334 plantas m⁻² para *S. rhombifolia* aos 14 DAE (Figura 6a).

Figura 6 - Densidade de plantas daninhas (a), matéria seca da parte aérea acumulada pelas espécies de plantas daninhas (b) e índice de valor e importância (c) na cultura da soja (safra 23/24)



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

As características morfológicas da soja foram afetadas devido a interferência das plantas daninhas. A estatura das plantas medida no período pré-colheita mostra que houve diferença significativa de estatura quando comparamos o tratamento que permaneceu no limpo durante todo o ciclo e aqueles que conviveram por determinado período, contrariando dados encontrados por Silva, et al. (2009) que não identificaram incremento de altura nos tratamentos que permaneceram no limpo. As principais diferenças ocorrem nos tratamentos que conviveram com a comunidade infestante a partir de 28 DAE. A amplitude entre a altura das plantas de soja do tratamento que permaneceu no limpo e aquele que conviveu durante todo o ciclo é de cerca de 13 cm (Tabela 4). O número de vagens por plantas foi um componente que apresentou redução conforme o período de convivência aumentou. Embora a diferença de altura entre os tratamentos não sei demasiadamente grande, a quantidade de vagens por planta apresenta uma amplitude maior, sendo uns dos principais componentes que definem a produção final. O peso de mil grãos não apresentou diferenças significativas.

Tabela 4 - Altura e número de vagens por planta de soja, de acordo com o período de convivência com plantas daninhas.

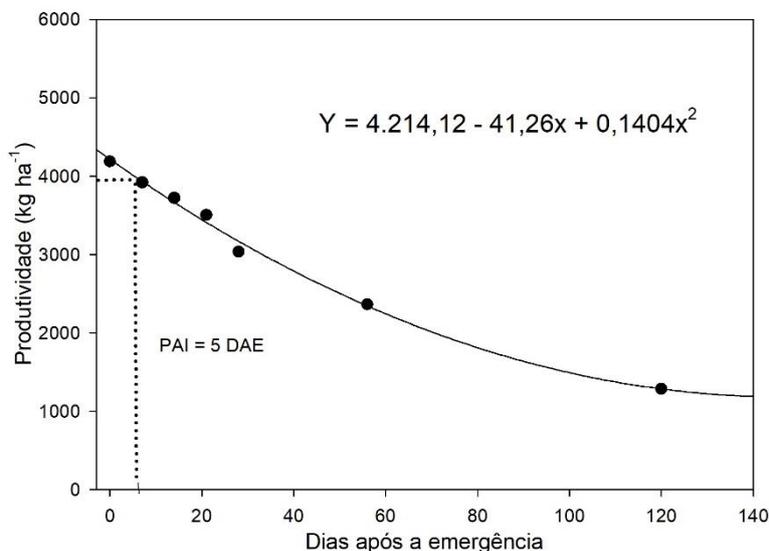
Período de convivência (DAE)	Variáveis	
	Altura (cm)	Nº de vagens
0	83,73 a	92,85 a
7	80,25 ab	90,33 ab
14	79,25 ab	88,39 ab
21	72,55 ab	75,33 ab
28	69,95 b	70,41 bc
56	67,85 b	53,50 cd
Ciclo todo	70,00 b	43,56 d
DMS	12,4	21,70
CV (%)	7,8	12,6

Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).
Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

Os dados de produtividades da soja foram ajustados ao modelo quadrático, conforme Figura 7. O tratamento mantido no limpo obteve

produtividade máxima de 4.214,12 kg ha⁻¹ uma diferença de 69,52% em relação ao tratamento que conviveu com as plantas daninhas durante todo o ciclo, resultado semelhante encontrado por Silva, et al. (2009). Para o cálculo de PAI considerou-se uma perda de produtividade aceitável de 5%, desse modo o valor do PAI para o experimento foi de 5 DAE. Esse valor representa uma interferência precoce, ou seja, a perda de produtividade iniciou rapidamente. Alguns fatores podem contribuir para a interferência ocorra de forma precoce, entre eles está a capacidade da cultura em competir com a comunidade infestante pelos recursos do ambiente, a competição interespecífica e fatores ambientais como o estresse hídrico no início do desenvolvimento da cultura. Em termos práticos, nesta situação, medidas de controle das plantas daninhas deveriam ser adotadas precocemente para evitar perdas produtivas.

Figura 7 - Produtividade de grãos e estimativa do Período Anterior à Interferência de soja submetido a diferentes períodos de convivência com as plantas daninhas (safra 23/24)

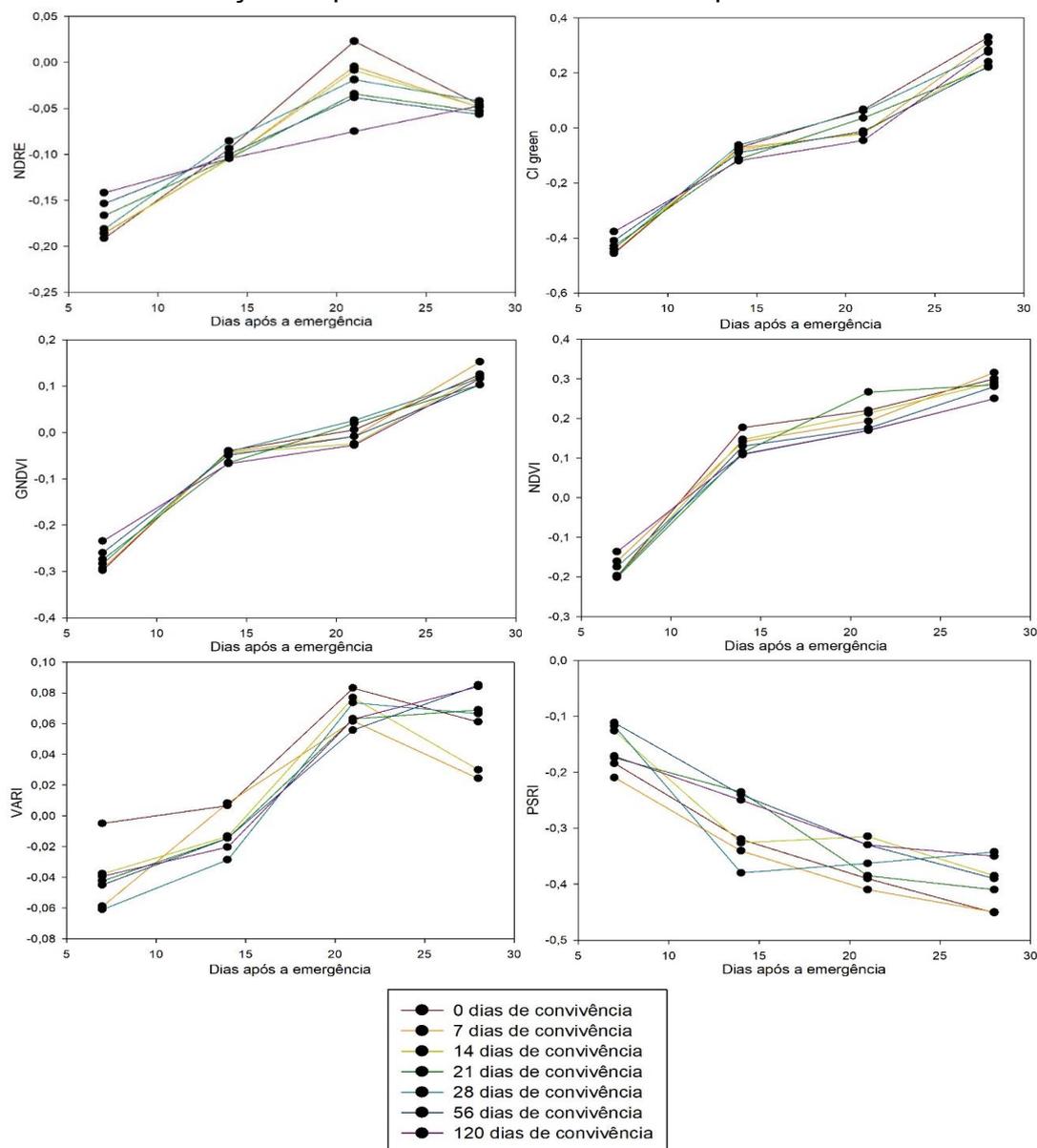


Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Os índices de vegetação gerados para não foram capazes de detectar o processo de interferência da cultura da soja (Figura 8). Como a interferência se instalou de forma precoce sobre a cultura, há dificuldades de fazer aferições precisas através de imagens de RPA, pois o início do desenvolvimento das plantas a área foliar é baixa, dessa forma há confundimento entre o dossel da cultura, solo e palhada, o que pode tornar o índice de vegetação impreciso.

Algumas alternativas podem ser exploradas para detecção de alterações do comportamento espectral da soja oriundas do processo de interferência. O sensoriamento remoto utilizando dados hiperespectrais tem se mostrado promissor da detecção precoce de alterações de reflectância. Perasoni (2020) conseguiu identificar alterações no comportamento espectral da soja durante o período pré-sintomático de folhas infectadas com *Phakopsora pachyrhizi* utilizando sensoriamento remoto hiperespectral. Utilizando esse tipo de dado também é possível monitorar o déficit hídrico na cultura da soja (CRUSIOL, et al. 2018).

Figura 8 - Índices de vegetação calculados para a cultura da soja (safra 22/23) em função do período de convivência das plantas daninhas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5 CONCLUSÕES

Os valores de PAI da cultura do milho são de 20 a 23 DAE, indicando o momento ideal para iniciar o controle das plantas daninhas. A interferência indica uma perda de produtividade da ordem de 77,89% e 25,81%, respectivamente. As variáveis estatura de plantas e diâmetro de colmo são prejudicadas pela interferência.

Os índices de vegetação NDVI e PSRI são capazes de detectar diferenças significativas do comportamento espectral na cultura do milho após o início do processo de interferência.

O valor calculado de PAI para a soja é de 5 DAE, indicando interferência precoce e perdas de produtividade da ordem de 69,52%. As variáveis altura de planta e número de vagens por planta são afetadas pela interferência das plantas daninhas. Porém, os índices de vegetação não foram eficientes na detecção da interferência.

Os índices de vegetação calculados a partir de dados extraídos por sensores multiespectrais são efetivos na determinação do PAI apenas para a cultura do milho. Estudos futuros poderão ser conduzidos utilizando Sensoriamento Remoto hiperespectral para identificação de PAI precoces.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFIFI, M.; SWANTON, C. Early Physiological Mechanisms of Weed Competition. **Weed Science**, 60, n. 4, 2012. 542-551.

ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, 22, n. 6, Janeiro 2013. 711-728.

ANDRADE, R. G. et al. Sensoriamento remoto na obtenção de parâmetros biofísicos na cultura da soja. In: BERNARDI, A. C. D. C., et al. **Agricultura de precisão: resultados de um novo olhar**. Brasília: Embrapa, 2014. p. 239-245.

APAN, A. et al. Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. **Internacional Journal of Remote Sensing**, [S.l.], 25, n. 2, 2004. 489-498.

BALBINOT JR., A.A. e FLECK, N.G. Competitividade de dois genótipos de milho (*Zea mays*) com plantas daninhas sob diferentes espaçamentos entre fileiras. **Planta Daninha**, Viçosa, v.23, n. 3, p. 415-421, 2005

BAGNARA, M. A. M. et al. Período de interferência de plantas daninhas na cultura do milho na região no Alto Uruguai do Rio Grande do Sul. In: Jornada Científica e Tecnológica, 7., 2018, Erechim. **Anais**. UFFS, 2018.

BARNES, E. et al. Coincident detection of crop water stress, nitrogen status, and canopy density using ground based multispectral. **Proceedings of the Fifth International Conference on Precision Agriculture.**, Madosn, 2000.

BARROS, P. P. D. S. et al. Monitoramento fitossanitário utilizando sensoriamento remoto: avanços e desafios. **Revista Brasileira de Cartografia**, Uberlândia, 73, n. 2, 2021. 489-515.

BORDIGON, J. R.; MANDARINO, J. M. G. **Soja**: composição química, valor nutricional e sabor. Londrina: Cnpso, 1994. 32 p.

CARVALHO, L.B. **Plantas Daninhas**. Lages-SC: Editado pelo autor, 2013.

CONCENÇO, G. et al. Ciência das Plantas Daninhas: histórico, biologia, ecologia e fisiologia. In: MONQUERO, P.A. (org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rima, 2014.

COSTA, T. P. D. et al. Avaliação do crescimento de plantas jovens de milho cultivadas em diferentes tipos de solo. **Scientific Eletronic Archives**. v 12. 2019. p. 10-14

EL-SHIKHA, D. M. et al. Remote Sensing of cotton nitrogen status using the canopy chlorophyll content index (CCCI). **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, [S.l.], 51, n. 1, 2008. 73-82.

FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. **Stages of Soybean Development**. Special Report 80. ed. Ames: Cooperative Extension Service Agriculture and Home Economics Experiment Station Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11 p.

FORMAGGIO, A.R.; SANCHES, I.D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

GALON, L. et al. Períodos de interferência de *Brachiaria plantaginea* na cultura do milho na região sul do Rio Grande do Sul. **Planta Daninha**. Viçosa. v 26, n 4, 2008. 779-788.

GAZZIERO, D.L.P et al. Efeitos da convivência de capim amargoso na produtividade da soja. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS**, 27, 2012. Campo Grande. SBPCPD, 2012. p. 345-350

GITELSON, A.A.; KAUFMAN, Y.J.; MERZYAK, M.N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. **Remote Sensing Environmet**, n. 58. 1996. 289-298.

GITELSON, A.; MERZLYAK, M.N. Quantitative estimation of chlorophyll-a using reflectance spectra: experiments with autumn chestnut and maple leaves. **Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology**. n 3 , v 22, 1994. 247–252.

GITELSON, A et al. Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. **Geophysical Research Letters**. v. 32. 2005. p. 1-4

GITELSON, A., et al. Vegetation and soil lines in visible spectral space: a concept and technique for remote estimation of vegetation fraction. **International Journal of Remote Sensing**. v.23. 2002. p 2537–2562.

HABOUDANE, D. et al. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, [S.I.], 81, n. 2, 2002. 416-426.

HUANG, Y. et al. UAV low-altitude remote sensing for weed management. **Weed Science Society of America**, 32, n. 1, 2017. 2-6.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, [S.I.], 25, 1988. 295-309.

IHUOMA, S. O.; MADRAMOOTOO, C. A. Sensitivity of spectral vegetation indices for monitoring water stress in tomato plants. **Computers And Electronics In Agriculture**, v. 163. 2019 p. 104860

KOZLOWSKI, L.A. Período crítico de interferência das plantas daninhas na cultura do milho baseado na fenologia da cultura. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 20, n. 3, p. 365-372, 2002.

LEON, C. et al. Effect of purple (*Cyperus rotundus*) and yellow nutsedge (*C. esculentus*) on growth and reflectance characteristics of cotton and soybean. **Weed Science**, 4, n. 51, 2003. 557-564.

LORENZI, H. **Plantas daninhas do Brasil**: terrestres, aquáticas, parasitas e tóxicas. 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 640p.

LORENZZETTI, J.A. **Princípios físicos de sensoriamento remoto**. São Carlos: Blucher, 2015.

LOU, Z. et al. Hyperspectral remote sensing to assess weed competitiveness in maize farmland ecosystems. **Science of the Total Environment**, 844, 2022. 157071.

MESCHEDE, D.K. et al. Período anterior à interferência de plantas daninhas em soja: estudo de caso com baixo estande e testemunhas duplas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 22, n. 2, p. 239-246, 2004.

MERZLYAN, M. N et al. Non-destructive optical detection of pigment changes during leaf senescence and fruit ripening. **Physiology Plantarum**, Lund, v. 106, n. 1, p.135-141, 1999.

MIRIK, M. et al. Using digital image analysis and spectral reflectance data to quantify damage by greenbug (Hemitera: Aphididae) in winter wheat. **Computers and Electronics in Agriculture**, [S.l.], 51, n. 2, 2006. 86-98.

NOVO, E.M. **Sensoriamento Remoto**: princípios e aplicações. 4. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

PAES, M. C. D. **Aspectos Físicos, Químicos e Tecnológicos do Grão de Milho**. Circular Técnica n. 75, Embrapa, dez. 2006.

PAGE, E. R. et al. Shade avoidance: an integral component of crop–weed competition. **Weed Research**, 50, 2010. 281-288.

PERANSONI, A. D. C. M. **Sensoriamento remoto para identificar soja infectada por fungos causadores de ferrugem asiática**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, p. 121. 2020.

PICCINNI, F. et al. Interference of morning glory in soybean yield. **Planta Daninha**. v. 36, 2018. 1-8.

PISMAN, T. I. Information Content of Spectral Vegetation Indices for Assessing the Weed Infestation of Crops Using Ground-Based and Satellite Data. **Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics**, 57, n. 9, 2021. 1188-1197.

PITELLI, R.A. Competição entre Plantas Daninhas Cultivadas. In: MONQUERO, P.A. (org.). **Aspectos da biologia e manejo das plantas daninhas**. São Carlos: Rima, 2014. p. 61-81

QI, J. et al. A modified soil adjusted vegetation index. **Remote Sensing Environment**. v13. 1994. p 119-126

RAJCAN, I.; CHANDLER, K. J.; SWANTON, C. J. Red–far-red ratio of reflected light: a hypothesis of why early-season weed control. **Weed Science**, [S.l.], 50, 2004. 774-778.

RICHTER, G. L. et al. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantina**, Campinas, 73, n. 4, 2014. 416-425.

RIOS, F.A. **Interferência de plantas daninhas em função do arranjo espacial de plantas de milho**. 2012. 53 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2012.

RONAY, I. et al. Hyperspectral Reflectance and Indices for Characterizing the Dynamics of Crop–Weed Competition for Water. **Remote Sensing**, 13, 2022. 513.

ROUSE, J.W et al. Monitoring Vegetation Systems in the Great Okains with ERTS. In: **The Third Earth Resources Technology Satellite - 1 Symposium**; Washington, 1974; p. 309–317.

RS/SC, C. D. Q. E. F. D. S. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11^a. ed. Porto Alegre: SBCS/Núcleo Regional Sul, 2016. 376 p.

SARTORI, L.; GALO, M. D. L. B. T.; IMAI, N. N. Mapeamento de plantas daninhas em cultura de café a partir de imagens multiespectrais de escalas grandes usando redes neurais artificiais. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.l.], 61, n. 2, 2009. 165-175.

SILVA, A.F. et al. Período anterior à interferência na cultura da soja-RR em condições de baixa, média e alta infestação. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n. 1, p. 57-66, 2009.

SILVA, J. R. G.; GUIMARÃES, A. M.; PINOTTI, E. B. Interferência da tiririca nas características agrônômicas e na produtividade do milho de 2^a safra. **Revista Unimar Ciências**, v. 27, n. 1-2, 2018.

SCHLEMMER, M. *et al.* Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. **International Journal Of Applied Earth Observation And Geoinformation**, v. 25, 2013. p. 47-54

SOUZA, L.S.; VELINI, E.D.; MAIOMONI-RODELLA, R.C.S. Efeito alelopático de plantas daninhas e concentrações de capim-braquiaria (*Brachiaria decumbens*) no desenvolvimento inicial de eucalipto (*Eucalyptus grandis*). **Planta Daninha**, v. 21, p. 343-354, 2003.

ZANOTTA, D.C.; FERREIRA, M.P.; ZORTEA, M. **Processamento de imagens de satélite**. São Paulo: Oficina de Textos, 2019.

WU, C. et al. Remote estimation of gross primary production in wheat using chlorophyll-related vegetation indices. **Agricultural and Forest Meteorology**. v 19. 2010. 1015-1021