

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ - UNIOESTE
CAMPUS DE CASCAVEL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS - CCET
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**VARIABILIDADE TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA OBTIDO POR SENSOR ATIVO DE REFLECTÂNCIA NAS CULTURAS
DE MILHO, SOJA E TRIGO**

HUMBERTO MARTINS BENEDEZZI

CASCAVEL
2015

HUMBERTO MARTINS BENEDEZZI

**VARIABILIDADE TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA OBTIDO POR SENSOR ATIVO DE REFLECTÂNCIA NAS CULTURAS
DE MILHO, SOJA E TRIGO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração Sistemas Biológicos e Agroindustriais.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

**CASCAVEL – PARANÁ
JULHO – 2015**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

B41v

Beneduzzi, Humberto Martins

Variabilidade temporal do índice de vegetação por diferença normalizada obtido por sensor ativo de reflectância nas culturas de milho, soja e trigo./ Humberto Martins Beneduzzi. Cascavel, 2015.

57 p.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Godoy de Souza

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola

1. Agricultura de precisão. 2. Sensoriamento remoto. 3. NDVI. 4. GreenSeeker. I.Souza, Eduardo Godoy de. II. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. III. Título.

CDD 21.ed. 631.3

Ficha catalográfica elaborada por Helena Soterio Bejio – CRB 9ª/965

Revisões em português, inglês e normas realizadas por José Carlos da Costa em 21 de setembro de 2015.

HUMBERTO MARTINS BENEDEZZI

“Variabilidade temporal do índice de vegetação por diferença normalizada obtido por sensor ativo de reflectância nas culturas de milho, soja e trigo”

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola, área de concentração em Sistemas Biológicos e Agroindustriais, composta pela seguinte banca examinadora:

Orientador: Prof. Dr Eduardo Godoy de Souza
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, UNIOESTE

Prof. Dr. Claudio Leones Bazzi
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, UTFPR

Prof. Dr. Lúcia Helena Pereira Nóbrega
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, UNIOESTE

Cascavel, Julho de 2015.

BIOGRAFIA

Humberto Martins Beneduzzi, nascido em 20 de outubro de 1977 na cidade de Soledade-RS. É graduado em Sistemas de Informação pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET-PR (2004). Possui Especialização em Metodologia do Ensino Superior pelo Instituto Brasileiro de Pós-Graduação e Extensão - IBPEX (2005). Tem experiência na área de Sistemas de Informação, com ênfase em Análise e Projeto de Software, Programação e Gerenciamento de Projetos. Atualmente é professor do Instituto Federal do Paraná (IFPR) - Campus Foz do Iguaçu onde atua em cursos de nível superior e médio. Desde 2013 é discente em nível de Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Unioeste - Universidade Estadual do Oeste do Paraná / Campus Cascavel.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para a minha formação.

Aos meus pais, Maria Izabel Quevedo Martins e Agenor Francisco Beneduzzi, por tudo o que fizeram por mim.

À minha esposa, Sílvia Taís Betat, pelo companheirismo e sobretudo pela paciência e compreensão ao longo desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Aos senhores Laurindo e Aldo Tasca, pela cedência da área experimental localizada no município de Céu Azul-PR, utilizada nos experimentos realizados nas culturas da soja e do trigo.

À colega Kelyn Schenatto, pela cedência da área experimental localizada no município de Serranópolis do Iguaçu-PR, utilizada no experimento realizado na cultura do milho.

À UNIOESTE, através do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de qualificação.

A todos os professores do PGEAGRI, pelas inúmeras oportunidades de aprendizado.

A todos os colegas do PGEAGRI, pela troca de experiências e companheirismo ao longo desta jornada.

Ao meu orientador, Eduardo Godoy de Souza, pelas orientações ao longo do desenvolvimento deste trabalho, e pela possibilidade de aprender com sua experiência e profissionalismo.

VARIABILIDADE TEMPORAL DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA OBTIDO POR SENSOR ATIVO DE REFLECTÂNCIA NAS CULTURAS DE MILHO, SOJA E TRIGO

RESUMO

A otimização do manejo de fertilizantes nitrogenados apresenta-se como um dos grandes desafios na produção de grãos, uma vez que o N tem o potencial de elevar a produtividade, mas se aplicado em excesso pode gerar danos ambientais devido ao processo de lixiviação. A agricultura de precisão visa resolver este problema com a aplicação de fertilizantes a taxas variadas, aplicando a quantidade de fertilizante adequada em cada ponto da área cultivada. A estimativa da necessidade de N em cada ponto pode ser feita por sensores de reflectância, equipamentos de eficácia comprovada na realização desta tarefa. Os sensores passivos, porém, sofrem influência direta da irradiação solar, uma vez que não possuem fonte emissora e usam a irradiação solar para realizar medições. Por outro lado, os sensores ativos poderiam, em teoria, ser utilizados em qualquer horário do dia e em diferentes condições atmosféricas, uma vez que possuem a própria fonte emissora. Na prática, pesquisas têm demonstrado que mesmo esses equipamentos sofrem influência da quantidade de irradiação solar e variações climáticas. Por esta razão, este trabalho estudou a variabilidade temporal do índice de vegetação NDVI, registrado por um sensor ativo de reflectância nas culturas de milho, soja e trigo. Os dados de NDVI e de irradiação foram coletados por um sensor GreenSeeker, a cada 15 minutos, ao longo de 12, 14 ou 26 horas consecutivas. O NDVI foi influenciado negativamente pela irradiação em todos os experimentos realizados nas culturas de milho, soja e trigo, e apresentou-se mais elevado no início e no fim do dia. As mudanças na cobertura de nuvens também afetaram o NDVI em grande parte dos experimentos.

Palavras-chave: agricultura de precisão, sensoriamento remoto, NDVI, GreenSeeker.

TEMPORAL VARIABILITY BY NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX FROM AN ACTIVE REFLECTANCE SENSOR IN MAIZE, SOYBEANS AND WHEAT CROPS

ABSTRACT

Currently, optimizing the management of nitrogen fertilizers has been one of the great challenges in grain production, since N has the potential to increase yield, but if it is applied in excess, it can cause environmental damage due to the leaching process. Precision agriculture aims at solving this problem by applying fertilizer at different rates, in order to apply the right amount of fertilizer at each point of a certain cropped area. The N estimate is essential at each point and can be carried out by reflectance sensors, which is an equipment with proven efficacy in this task. Passive sensors, however, are directly influenced by solar radiation since they do not have an emission source, thereafter they use solar radiation to perform measurements. On the other hand, the active sensors could, in theory, be used at any time of the day and in different weather conditions, since they have their own emission source. In practice, some researches have already shown that even these devices are influenced by the amount of solar radiation and weather changes. Thus, this paper studied the temporal variability of the NDVI vegetation index, registered by an active reflectance sensor on crops such as maize, soybeans and wheat. The NDVI and irradiation data were collected by a GreenSeeker sensor at every 15 minutes over 12, 14 or 26 hours straight. The NDVI index was negatively influenced by irradiation in all experiments with maize, soybean and wheat. Thus, it has shown higher values at the beginning and end of the day and there also were changes in cloud cover that affected the NDVI in most experiments.

Keywords: Precision Agriculture, Remote sensing, NDVI, GreenSeeker.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	X
ARTIGO 1 VARIABILIDADE TEMPORAL DE NDVI OBTIDO POR SENSOR ATIVO DE REFLECTÂNCIA NA CULTURA DE MILHO	11
INTRODUÇÃO.....	12
MATERIAL E MÉTODOS.....	13
RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
CONCLUSÕES.....	21
REFERÊNCIAS	22
ARTIGO 2 VARIABILIDADE TEMPORAL DE NDVI OBTIDO POR SENSOR ATIVO DE REFLECTÂNCIA NAS CULTURAS DE SOJA E TRIGO.....	24
INTRODUÇÃO.....	25
MATERIAL E MÉTODOS.....	26
RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
SOJA.....	29
TRIGO.....	32
CONCLUSÕES.....	36
REFERÊNCIAS	37
APÊNDICES.....	39
APÊNDICE 1 TABELAS REFERENTES AO ARTIGO 1	40
APÊNDICE 2 FIGURAS REFERENTES AO ARTIGO 1	45
APÊNDICE 3 TABELAS REFERENTES AO ARTIGO 2.....	47
APÊNDICE 4 FIGURAS REFERENTES AO ARTIGO 2.....	52

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO 1

Figura 1	Sensor GreenSeeker montado sobre milho em estádio V3.....	14
Figura 2	a) Variação do NDVI ao longo do dia para cada estádio; b) Gráficos boxplot para o NDVI, agrupado por estádio.	17
Figura 3	Irradiação medida, irradiação teórica e índice de transparência instantâneo (ITI), para os estádios V3 (a), V6 (b) e R1 (c).	17
Figura 4	NDVI, radiação no vermelho e no infravermelho (NIR), irradiação e índice de transparência instantâneo (ITI), em função da hora do dia para os estádios V3 (a), V6 (b) e R1 (c) (*dados normalizados); NDVI em função do ITI (d).	18
Figura 5	Correlação entre NDVI e irradiação solar, para cada estádio pesquisado.....	19
Figura 6	Correlação entre NDVI e irradiação solar nos estádios V6 e R1, ao longo de 26 horas.....	20

ARTIGO 2

Figura 1	Sensor GreenSeeker montado sobre soja em estádio R1.....	27
Figura 2	a) Variação do NDVI ao longo do dia para cada estádio da soja; b) Gráficos boxplot para o NDVI, agrupado por estádio.	30
Figura 3	Irradiação medida, irradiação teórica e índice de transparência instantâneo (ITI), para os estádios R1 (a) e R2 (b), da soja.	30
Figura 4	NDVI, radiação no vermelho e no infravermelho (NIR), irradiação e índice de transparência instantâneo (ITI), em função da hora do dia para os estádios R1 (a) e R2 (b) (dados normalizados) da soja; NDVI em função do ITI (c); Correlação entre NDVI e irradiação solar (d).	31
Figura 5	a) Variação do NDVI ao longo do dia, para cada estádio; b) Gráficos boxplot para o NDVI, agrupado por estádio do trigo.....	33
Figura 6	Irradiação medida, irradiação teórica e índice de transparência instantâneo (ITI) para os estádios R1 (a) e R2 (b) do trigo.	33
Figura 7	Dados coletados nos estádios V3 (a), V8 (b) e V10.5 (c) do trigo: NDVI*, vermelho*, infravermelho próximo*, radiação solar* e ITI.	34
Figura 8	NDVI em função do ITI (a); Correlação entre NDVI e irradiação solar (b).	35

LISTA DE TABELAS

ARTIGO 1

Tabela 1	Estadística descriptiva para os dados agrupados por estádio.....	16
-----------------	--	----

ARTIGO 2

Tabela 1	Estadística descriptiva para os dados agrupados por estádio da soja.....	29
Tabela 2	Estadística descriptiva para os dados agrupados por estádio do trigo.....	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ITI	Índice de transparência instantâneo;
N	Nitrogênio;
NDVI	Normalized difference vegetation index (Índice de vegetação por diferença normalizada);
NIR	Near Infrared (Infravermelho próximo).

ARTIGO 1 VARIABILIDADE TEMPORAL DE NDVI OBTIDO POR SENSOR ATIVO DE REFLECTÂNCIA NA CULTURA DE MILHO

RESUMO: A aplicação de fertilizantes nitrogenados a taxas variadas é uma técnica empregada na agricultura de precisão com o objetivo de incrementar a produtividade e reduzir o impacto ambiental na área cultivada. Os sensores de reflectância são ferramentas importantes na estimativa da necessidade de N em diversas culturas, dentre elas a do milho. Contudo, o comportamento desses equipamentos, sob variadas condições de irradiação solar e cobertura de nuvens, ainda não é completamente conhecido, uma vez que grande parte dos experimentos foi realizada em condições de céu aberto e com pouca variabilidade temporal. Desta forma, este trabalho estudou a variabilidade temporal do índice de vegetação NDVI na cultura do milho, registrado a partir de um sensor ativo de reflectância. Os valores de NDVI e a irradiação foram coletados por um sensor Greenseeker a cada 15 minutos, ao longo de até 26 horas consecutivas. Nos estádios V6 e R1, a irradiação e o NDI apresentaram comportamento inverso, isto é, o NDVI apresentou-se mais elevado no início e no final do dia. Mudanças na cobertura de nuvens não afetaram significativamente a leitura do NDVI. Durante a noite, o comportamento do NDVI não seguiu um padrão e alcançou valores de até 15% a mais do que os menores valores.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão; sensoriamento remoto; índices de vegetação.

NDVI TEMPORAL VARIABILITY BY AN ACTIVE REFLECTANCE SENSOR IN MAIZE CROP

ABSTRACT: The application of nitrogen fertilizers at different rates is a technique applied at precision agriculture in order to increase yield and reduce environmental impact on acreage. Reflectance sensors are important tools since they estimate the N amount is needed in different crops, among them maize. However, these devices behavior, under several conditions of solar radiation and cloud cover, has not been completely mastered, since most experiments were carried out under clear sky conditions and little temporal variability. Thus, this paper studied the temporal variability of the NDVI vegetation index in maize, recorded from an active reflectance sensor. The NDVI and radiation values were collected by a GreenSeeker sensor every 15 minutes over up to 26 consecutive hours. In R1 and V6 phases, irradiation and NDVI showed different behavior whose NDVI was higher values at the beginning and end of the day. Changes in cloud cover did not affect significantly the NDVI. Overnight, the NDVI behavior did not follow a pattern, and it reached values, which were 15% superior when compared to the lowest ones.

KEYWORDS: precision agriculture, remote sensing, vegetation index.

INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) apresenta-se como um conjunto de técnicas que visa melhorar a gestão dos insumos utilizados na produção agrícola (NRC, 1997) e tem como objetivos incrementar a lucratividade do produtor e reduzir os danos ambientais (ROBERT, 2002).

A cultura do milho exige grande exigência de N, sendo altamente responsiva aos fertilizantes nitrogenados (HONG *et al.*, 2007). Ao mesmo tempo, aplicações de N realizadas em quantidades inapropriadas têm o potencial de contaminar os lençóis freáticos (BURKART; JAMES, 1999; HONG *et al.*, 2007). Nesse sentido, é importante a busca por alternativas que permitam aumentar a eficiência da adubação nitrogenada, com técnicas que contribuam com a redução das perdas por lixiviação (SHANAHAN *et al.*, 2008). A AP possibilita o uso de técnicas para atingir esses objetivos com a aplicação de fertilizantes de forma localizada, isto é, a taxas variadas de acordo com a real necessidade de insumos de cada ponto da lavoura (THRIKAWALA *et al.*, 1999).

Entre os equipamentos utilizados para estimar estas necessidades estão os sensores de reflectância (SCHMIDT; DELLINGER; BEEGLE, 2009; HONG *et al.*, 2007). Diversas pesquisas demonstram que os sensores passivos são influenciados pelo horário de leitura, uma vez que dependem da radiação solar para realizar suas medições (SOUZA; SCHARF; SUDDUTH, 2010; ERDLER; MISTELE; SCHMIDHALTER, 2011; SOUZA *et al.*, 2004). Por outro lado, sensores ativos, teoricamente, possuem a capacidade de trabalhar em qualquer horário do dia sem interferência da radiação solar ou de variações atmosféricas, porquanto possuem sua própria fonte emissora (TRIMBLE, 2013; NTECH, 2006). Contudo, existem indícios de que pode haver influência nos dados obtidos por estes sensores, dependendo do horário da leitura e das condições climáticas (SCHARF *et al.*, 2010, OLIVEIRA; SCHARF, 2014).

Nesse contexto, este trabalho investigou o comportamento de um sensor ativo, quando submetido a diferentes horários de radiação solar e a variadas condições de cobertura de nuvens, a fim de estimar se estas circunstâncias causam influência significativa nos dados obtidos pelo sensor.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na cultura do milho (*Zea mays*, L.), variedade Agroceres 9010, nos estádios V3, V6 e R1, em uma área experimental de 9,9 ha, localizada no município de Serranópolis do Iguaçu - PR, com coordenadas geográficas centrais aproximadas de 25°24'28" S e 54°00'17" O. A área possui altitude média de 355 m e vem sendo cultivada em sistema de plantio direto por, pelo menos, 10 anos com sucessão de culturas de soja e milho para fins comerciais. O solo foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico típico (EMBRAPA, 2006).

Os dados amostrais relativos ao índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) foram obtidos por meio de coletas em campo, utilizando-se um sensor óptico ativo GreenSeeker 505, que utiliza a radiação magnética no comprimento de onda do vermelho a 656 nm (visível) e do infravermelho próximo a 774 nm (NTECH, 2008). Calculou-se então o NDVI, de acordo com a Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR-VERM}{NIR+VERM} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que: NIR é a radiação medida no comprimento de onda do infravermelho próximo e VERM a radiação medida no comprimento de onda do vermelho.

A radiação solar incidente (irradiação) foi medida com um piranômetro manual, modelo Instrutherm MES-100. A fim de estimar a influência das nuvens em cada uma das coletas de dados realizadas ao longo do dia, utilizou-se o Índice de Transparência Instantâneo - ITI, proposto por Souza *et al.* (2006). O ITI (Equação 2) ou índice instantâneo de clareza do céu indica a porcentagem da radiação solar esperada para um determinado momento, que de fato estava incidente durante a coleta de dados:

$$ITI = \frac{I}{I_0} \quad \text{Eq. (2)}$$

em que: I é a radiação teórica esperada e I₀ a radiação real medida pelo piranômetro. A radiação teórica relativa a cada estádio foi estimada por meio de uma função de regressão polinomial específica para cada data de coleta de dados, tendo como base valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens.

Para viabilizar a inclusão em um mesmo gráfico de valores de diferentes magnitudes, foi realizada a sua normalização, pelo método da média proposto por Swindell (1997), isto é:

$$Vn = \frac{v}{\sum_{i=1}^j v_{i/j}} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que: o valor normalizado (Vn) é obtido por meio da divisão do valor da amostra pelo valor médio das amostras.

O sensor GreenSeeker foi posicionado paralelo ao solo, fixo em um suporte, para garantir a mesma posição de leitura ao longo do dia (Figura 1). Testes preliminares foram realizados para comprovar que o tripé do suporte utilizado não influencia nos dados obtidos pelo sensor. A distância do sensor até o dossel da cultura foi de 80 cm, estando dentro do intervalo recomendado pelo fabricante do equipamento (TRIMBLE, 2010).

As medições tiveram início sempre às 7 horas da manhã, estendendo-se até às 19 horas do mesmo dia. O intervalo entre as amostras foi de 15 minutos, sendo sempre nos minutos 00, 15, 30 e 45 de cada hora. Cada amostra de NDVI foi composta pela média de 100 leituras realizadas pelo sensor GreenSeeker (10 leituras por segundo x 10 segundos de acionamento). Outro experimento realizado foi o teste de 26 horas, visando observar o comportamento do sensor dia e noite.



Figura 1 Sensor GreenSeeker montado sobre milho em estádio V3.

Os dados foram coletados em linhas de semeadura de sentido norte-sul, uma vez que Souza *et al.* (2004) obtiveram coeficientes de variação mais elevados nas medições realizadas com o sensor nessa posição, concluindo-se que, nessa direção, o NDVI apresentou maior variabilidade. O sensor GreenSeeker foi posicionado sobre a linha de semeadura, de forma perpendicular à posição do nascer e do pôr do sol, com a frente voltada para o norte. Imediatamente após cada coleta realizada com o sensor GreenSeeker, um piranômetro era posicionado logo acima do sensor para a medição da radiação incidente naquele momento.

Os dados foram analisados estatisticamente, por meio da estatística exploratória de dados. O coeficiente de variação (CV) foi classificado de acordo com Pimentel e Garcia (2002), sendo considerado baixo (homocedasticidade) quando $CV \leq 10\%$, médio quando

10% < CV ≤ 20%, alto quando 20% < CV ≤ 30% e muito alto (heterocedasticidade) quando CV > 30%.

Na análise de regressão foi utilizado o *software* Statistica 12.0 (STATSOFT, 2014), para modelar o NDVI em função do estágio da cultura e da irradiação. O método de regressão utilizado foi o de “melhores subconjuntos” (*best subsets*), tendo sido usado o coeficiente de determinação ajustado (adjusted R²), como critério de seleção do melhor modelo, entre todos os possíveis subconjuntos (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012). A regressão foi realizada utilizando-se dados referentes aos estádios V6 e R1, coletados das 7 às 19 horas. Após análise exploratória, decidiu-se pelo modelo apresentado na Equação 4, o que implica assumir que a variável dependente NDVI é influenciada pelo estágio de desenvolvimento da cultura e pela irradiação solar:

$$\text{NDVI} = a + b \cdot \text{estádio} + c \cdot \text{irr} + d \cdot \text{irr}^2 \quad \text{Eq. (4)}$$

em que: a, b, c, d são os parâmetros do modelo, estágio representa o estágio da cultura e irr a irradiância (W m⁻²).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

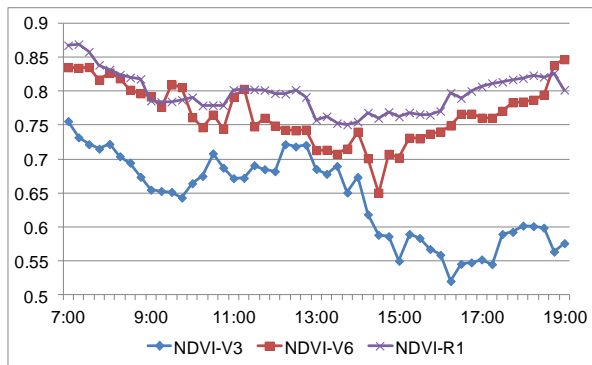
Os coeficientes de variação (CV), observados para as radiações na banda do vermelho (Verm, 656 nm), foram sempre maiores que do infravermelho próximo (NIR, 774 nm), nos três estádios estudados (Tabela 1). Como esperado de um índice de vegetação (PINTER; JACKSON; EZRA, 1985; TUCKER, 1979), o NDVI apresentou, na maioria dos casos, menor variabilidade que cada um de seus componentes (Verm, NIR), sendo a irradiação dependente da hora do dia e o CV foi classificado como muito alto (CV > 30%).

Concordando com a própria definição de índice de vegetação, verificaram-se menores valores de NDVI nos estádios iniciais da cultura, aumentando conforme o desenvolvimento da cultura. Por outro lado, o desvio padrão e o CV foram reduzindo, indicando uma menor dispersão dos dados nos estádios mais avançados da cultura (Tabela 1 e Figura 2).

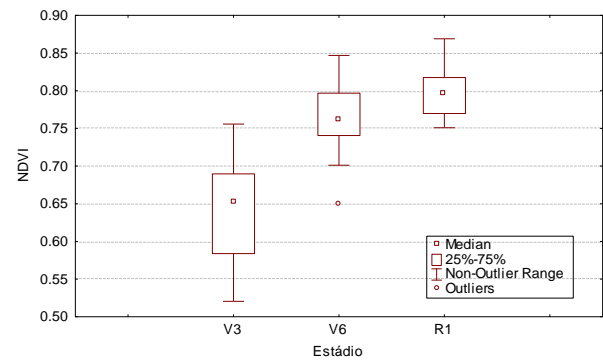
O CV do NDVI no estádio V3 foi de 9,9%, valor bem acima do registrado nos outros estádios, cujos valores foram de 5,7% e 3,6% para os estádios V6 e R1, respectivamente. Essa variação do NDVI no estádio V3 ocorreu, sobretudo, pelo elevado CV na banda do infravermelho próximo (18%). Ressalte-se, ainda, o comportamento decrescente da curva de NDVI nesse estádio. Além disso, os valores de NDVI mais baixos, registrados no estádio V3, estão relacionados à exposição parcial do solo, devido ao estádio inicial de desenvolvimento da cultura, pois a reflectância do solo é menor que a da vegetação na banda do infravermelho próximo. A influência do solo em índices de vegetação medidos por sensores que utilizam a região do visível já foi registrada em outras pesquisas (AMARAL *et al.*, 2014).

Tabela 1 Estatística descritiva para os dados agrupados por estádio

Estádio	Variável	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DesvPad	CV
V3	NDVI	0,521	0,642	0,655	0,756	0,063	9,9%
	Vermelho	0,025	0,045	0,046	0,063	0,009	20,6%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0,130	0,211	0,206	0,302	0,038	18,1%
	Irradiação, W m ⁻²	6	303	297	933	203	67,1%
V6	NDVI	0,650	0,766	0,762	0,847	0,043	5,7%
	Vermelho	0,017	0,029	0,030	0,038	0,006	19,0%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0,168	0,219	0,221	0,244	0,012	5,4%
	Irradiação, W m ⁻²	0	487	482	1048	355	72,8%
R1	NDVI	0,751	0,797	0,797	0,869	0,029	3,6%
	Vermelho	0,024	0,042	0,044	0,055	0,008	19,2%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0,271	0,368	0,369	0,403	0,027	7,3%
	Irradiação, W m ⁻²	0	428	427	865	289	67,5%



a) Variação do NDVI.

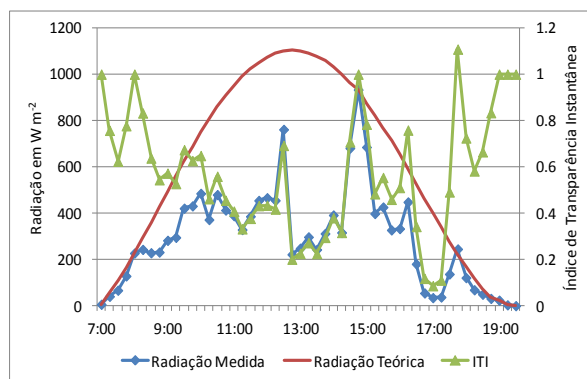


b) Gráficos boxplot.

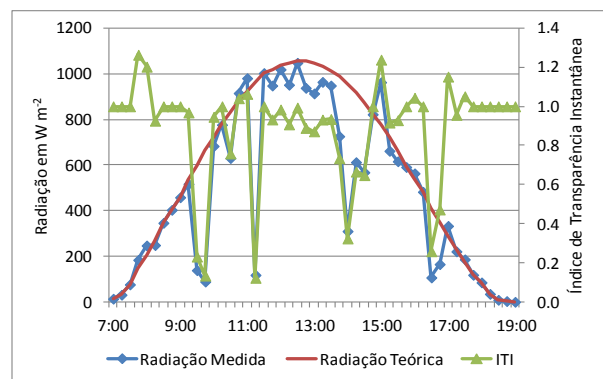
Figura 2 a) Variação do NDVI ao longo do dia para cada estádio; b) Gráficos boxplot para o NDVI, agrupado por estádio.

Excetuando-se o estádio V3, o NDVI apresentou-se mais elevado no início da manhã, diminuindo ao longo do dia, conforme o aumento da radiação solar, para novamente começar a subir próximo ao pôr do sol (Figura 2). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por Oliveira e Scharf (2014).

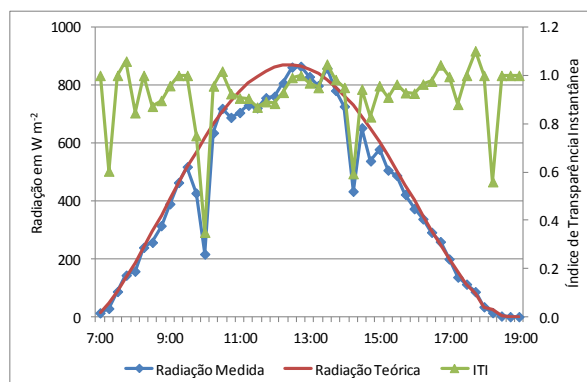
Os valores de R^2 obtidos para a curva de ajuste da radiação teórica (Figura 3), nos estádios V3, V6 e R1, foram maiores que 99,9%. Calculou-se então o índice de transparência instantâneo (ITI) em função da hora do dia. A irradiação foi mais reduzida pela cobertura de nuvens no estágio V3, seguido do V6.



a) Estádio V3



b) Estádio V6



c) Estádio R1

Figura 3 Irradiação medida, irradiação teórica e índice de transparência instantâneo (ITI), para os estádios V3 (a), V6 (b) e R1 (c).

A banda do vermelho foi mais influenciada pela variação da radiação solar ao longo do dia do que a banda do infravermelho próximo (NIR) (Tabela 1; Figura 4). Mudanças na cobertura de nuvens, registradas pela variação brusca no ITI, também, afetam mais a banda do vermelho. Comportamento semelhante já foi registrado por Souza *et al.* (2006). O comportamento do NDVI, em função do ITI (Figura 4d), mostrou independência nos três estádios entre o NDVI e a cobertura de nuvens (ITI).

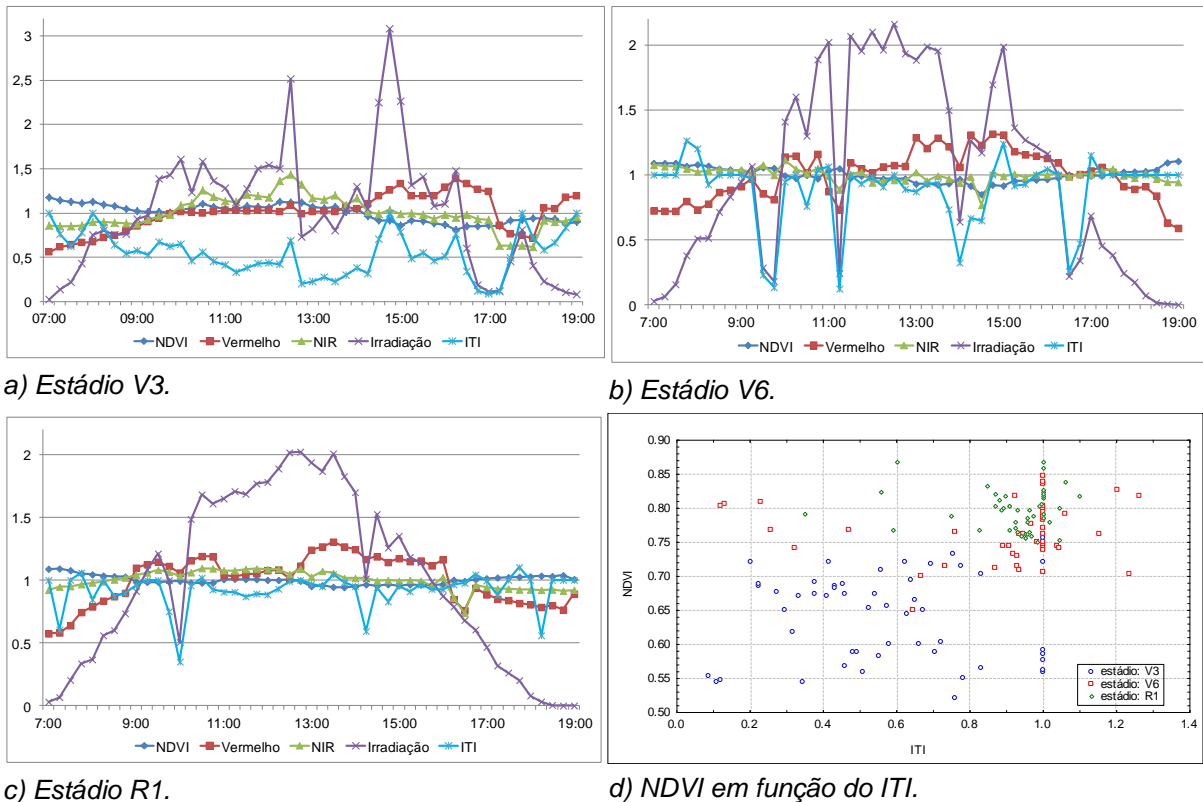


Figura 4 NDVI, radiação no vermelho e no infravermelho (NIR), irradiação e índice de transparência instantâneo (ITI), em função da hora do dia para os estádios V3 (a), V6 (b) e R1 (c) (*dados normalizados); NDVI em função do ITI (d).

Somente observou-se correlação (negativa) entre as variáveis NDVI e irradiação (Figura 5) nos estádios V6 e R1. Por outro lado, os dados relativos ao estádio V3 não apresentaram correlação entre essas duas variáveis. Portanto, somente os dados relativos aos estádios V6 e R1 foram utilizados na análise de regressão, cujo modelo está apresentado na Equação 5. O R^2 foi de 0,619, ou seja, 61,9% da variabilidade do NDVI podem ser explicadas pelo estádio da cultura e pela irradiação. Porém, parte da variabilidade dos valores de NDVI obtidos pelo sensor GreenSeeker, ao longo do dia, não pôde ser explicada pelas variáveis estudadas, o que sugere a necessidade de novas pesquisas, considerando, além destas, outras variáveis como temperatura e umidade.

Ressalte-se ainda que, de acordo com os resultados da análise exploratória, a existência de nuvem, medida pelo índice ITI, não influenciou no NDVI:

$$\text{NDVI} = 0,786928 + 0,031477 * \text{estádio} - 0,000199 * \text{irr} + 1,234 * 10^{-7} * \text{irr}^2 \quad \text{Eq. (5)}$$

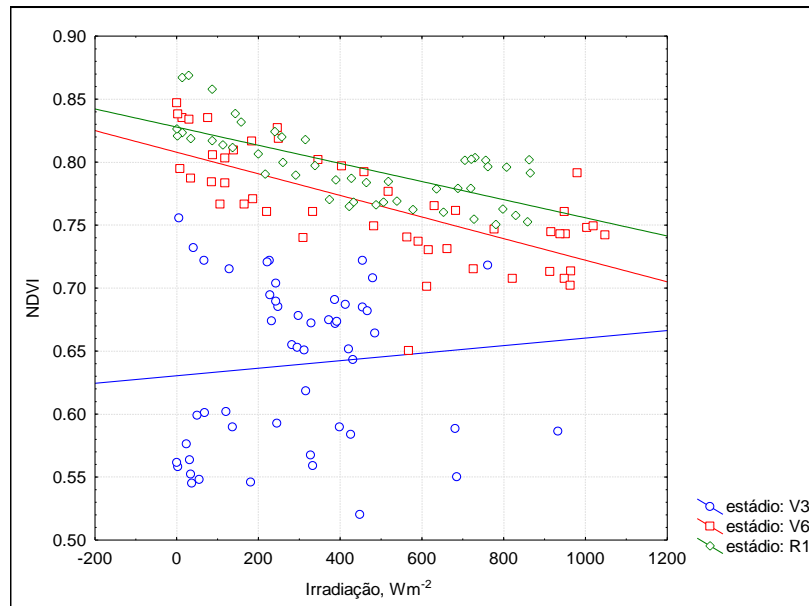
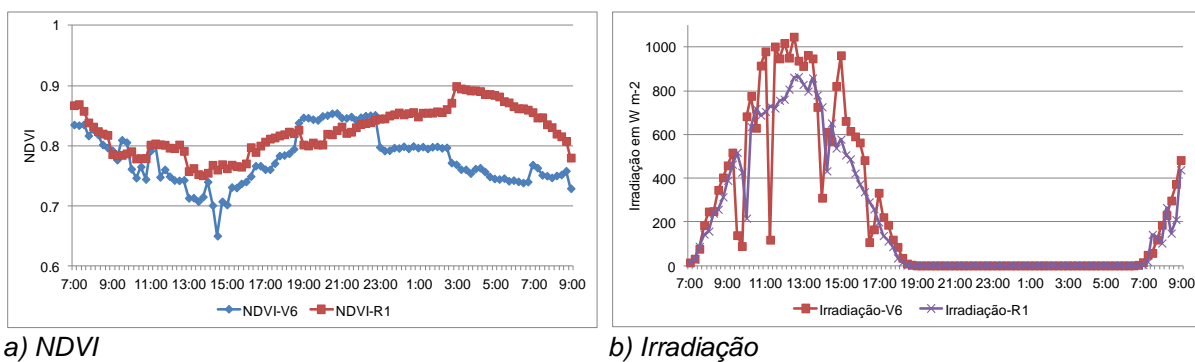


Figura 5 Correlação entre NDVI e irradiação solar, para cada estádio pesquisado.

Comparando-se as curvas de NDVI obtidas, para os dois estádios (V6 e R1), no período de 26 horas, constata-se que, à noite, o comportamento do NDVI não segue um padrão, apresentando-se bastante diferente entre os dois estádios (Figura 6). O NDVI não permanece constante durante o período noturno e apresenta variações que, provavelmente, estão relacionadas à fisiologia da planta e deverão ser futuramente mais estudadas.

No período noturno, os maiores valores de NDVI foram, aproximadamente, 15% maiores que os menores valores no estádio V6 e 12% no estádio R1. Durante o período diurno (das 7:00 às 19:00), a diferença entre o maior e o menor valor de NDVI chegou a 29% no estádio V6 e próxima de 16% no R1. Considerando-se o período ininterrupto de 26 horas, a diferença foi ainda maior, chegando a 31% no estádio V6 e próximo de 20% no R1.

Quando se considera o valor médio do NDVI para o estádio V6, verifica-se que, em 95% dos casos, os dados de NDVI variaram até 13% durante o período diurno e, também, durante o período de 26 h. No estádio R1 esta variação foi de até 8% no período diurno e de até 10% no período de 26 h.



a) NDVI

b) Irradiação

Figura 6 Correlação entre NDVI e irradiação solar nos estádios V6 e R1, ao longo de 26 horas.

A utilização de faixas de referência, contendo alta disponibilidade de N, pode ser uma alternativa para redução da variabilidade do NDVI obtido por sensores ativos de reflectância (OLIVEIRA; SCHARF, 2014), visto que o sensor da faixa de referência estará sujeito às mesmas interferências temporais do sensor de medição, podendo-se mensurar a redução de NDVI devido à falta de N.

CONCLUSÕES

Os valores de NDVI nos estádios V6 e R1, medidos pelo sensor GreenSeeker, ao longo do dia, foram influenciados negativamente pela variação da irradiação. O NDVI apresentou-se mais elevado no início e no final do dia. As mudanças na cobertura de nuvens não causaram alterações significativas no NDVI. Durante a noite, o comportamento do NDVI não seguiu um padrão, alcançando valores de até 15% a mais do que os menores valores. Durante o dia, a diferença entre os maiores e menores valores chegou próxima de 29%. O uso das informações *on the go*, obtidas pelo sensor, deve contabilizar esta variabilidade diurna e noturna.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, L. R.; MOLIN, J. P.; PORTZ, G.; FINAZZI, F. B.; CORTINOVE, L. Comparison of crop canopy reflectance sensors used to identify sugarcane biomass and nitrogen status. **Precision Agriculture**, v. 16, n. 1, p. 15-28, 2015.
- BURKART, M. R.; JAMES, D. E. Agricultural nitrogen contribution to hypoxia in the Gulf of Mexico. **Journal of Environmental Quality**, n. 28, p. 850-859, 1999.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2014.
- ERDLE, K.; MISTELE, B.; SCHMIDHALTER, U. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. **Field Crops Research**, v. 124, p. 74-84, 2011.
- HONG, N.; SCHARF, P. C.; DAVIS, J. G.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A. Economically optimal nitrogen rate reduces soil residual nitrate. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, p. 354-362, 2007.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed., New York: John Wiley & Sons, 2012. 672 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Precision agriculture in the 21st century: Geospatial and information technologies in crop management**. Washington: National Academy Press, 1997. 149 p.
- NTECH INDUSTRIES. **GreenSeeker hand held 505 optical sensor unit** - Operating manual. 2006. Disponível em: <[http://nue.okstate.edu/Hand_Held/GS_HandHeld_Manual_rev_K\[1\].pdf](http://nue.okstate.edu/Hand_Held/GS_HandHeld_Manual_rev_K[1].pdf)>. Acesso em: 5 abr. 2014.
- NTECH INDUSTRIES. **GreenSeeker model 500 series datasheet**. 2008. Disponível em: <http://www.ssmgps.com/pdf/DataSheet_Model_500_GS_Sensor.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2014.
- OLIVEIRA, Luciane F.; SCHARF, Peter C. Diurnal variability in reflectance measurements from cotton. **Crop Science**, v. 54, p. 1769-1781, 2014.
- PIMENTEL, F. G.; GARCIA, G. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 2002. 307 p.
- PINTER, P. J.; JACKSON, R. D.; EZRA, C. E. Sun-angle and canopy-architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 12, p. 1813-1825, 1985.
- ROBERT, P. C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. **Plant and Soil**, v. 247, Issue 1, p. 143-149, 2002.

SCHARF, P. C.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; LORY, J. A.; STEVENS, W. G.; OLIVEIRA, L. F.; SHANNON, D. K.; PALM, H.; DAVIS, J. G.; VORIES, E. D.; DUNN, D. J.; JONES, A. J. Precision nitrogen fertilizer management of maize and cotton using crop sensors. *In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD*, 19, 2010. Brisbane, Australia. **Proceedings...** Brisbane, Australia, 2010. 1 DVD.

SCHMIDT, J. P.; DELLINGER, A. E.; BEEGLE, D. B. Nitrogen recommendations for corn: an on-the-go sensor compared with current recommendation methods. ***Agronomy Journal***, v. 101, p. 916–924. 2009.

SHANAHAN, J. F.; KITCHEN, N. R.; RAUN, W. R.; SCHEPERS, J. S. Responsive in-season nitrogen management for cereals. ***Computers and Electronics in Agriculture***, v. 61, p. 51-62, 2008.

SOUZA, E. G.; ORLANDO, G. A.; OPAZO, M. A. U.; SILVA, E. D.; SCHARF, P. Influência da direção de semeadura do milho nas variáveis reflectância e índice de vegetação verde normalizado. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, Campina Grande, PB, v. 8, n. 1, p. 79-84, 2004.

SOUZA, E. G.; SCHARF, P. C.; SUDDUTH, K. A.; HIPPLE, J. D. Using a field radiometer to estimate instantaneous sky clearness. ***Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental***, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 369-373, 2006.

SOUZA, E. G.; SCHARF, P. C.; SUDDUTH, K. A. Sun position and cloud effects on reflectance and vegetation indices of corn. ***Agronomy Journal***, v. 102, issue 2, 2010.

STATSOFT. ***Statistica for windows***. V. 12.0. Tulsa: StatSoft. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 10 set. 2014.

SWINDELL, J. Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE*, 1. Warwick, UK. **Proceedings...** Warwick University, UK. Oxford: Bios Scientific, sep. 1997. p. 827-834.

THRIKAWALA, S.; WEERSINK, A.; GARY, K.; FOX, G. Economic feasibility of variable-rate technology for nitrogen on corn. ***American Journal of Agricultural Economics***, n. 81, p. 914-927, 1999.

TRIMBLE. ***GreenSeeker 505 handheld sensor user guide***. 2010. Disponível em: <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-493091>. Acesso em: 10 set. 2013.

TRIMBLE. ***GreenSeeker system datasheet***. 2013. Disponível em: <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-475150/022503-11231_GreenSeeker_DS_MarketSmart_USL_0114_LR.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2014.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. ***Remote Sensing of Environment***, v. 8, p. 127-150, 1979.

ARTIGO 2 VARIABILIDADE TEMPORAL DE NDVI OBTIDO POR SENSOR ATIVO DE REFLECTÂNCIA NAS CULTURAS DE SOJA E TRIGO

RESUMO: A otimização do manejo de N é um dos grandes desafios a serem vencidos na produção de grãos, uma vez que está diretamente relacionada à produtividade e também pode gerar danos ambientais. A agricultura de precisão visa resolver esse problema pela aplicação de fertilizantes nitrogenados a taxas variadas. Os sensores de reflectância são uma categoria de equipamentos capazes de realizar a estimativa da necessidade de N em diversas culturas, dentre elas as culturas de grãos. Porém, o comportamento desses sensores não é suficientemente conhecido quando empregados, sob condições variadas de irradiação solar e cobertura de nuvens, além de existirem poucos experimentos que avaliem sua variabilidade temporal. Por essa razão, este trabalho estudou a variabilidade temporal do índice de vegetação NDVI, registrado por um sensor ativo de reflectância, nas culturas de soja e trigo. Os dados de NDVI e a irradiação foram coletados por um sensor GreenSeeker a cada 15 minutos, ao longo de 12 ou 14 horas consecutivas. Em todos os experimentos realizados nas culturas de soja e trigo, o NDVI foi influenciado negativamente pela irradiação e se apresentou mais elevado no início e no fim do dia. As mudanças na cobertura de nuvens também afetaram o NDVI ao longo dos experimentos.

PALAVRAS CHAVE: agricultura de precisão; sensoriamento remoto; índices de vegetação.

NDVI TEMPORAL VARIABILITY BY AN ACTIVE REFLECTANCE SENSOR IN WHEAT AND SOYBEAN CROPS

ABSTRACT: Currently, optimizing nitrogen management has been one of the great challenges to be accomplished in grain production since it is directly related to yield and can also cause environmental damage. Precision agriculture aims to solve this problem by applying nitrogen fertilizer at different rates. Another point is that reflectance sensors are considered a category of equipment able to estimate the correct amount of N in several crops, including the grain crops. However, these devices behavior, under several conditions of solar radiation and cloud cover, has not been completely mastered. Besides, there are few trials that evaluate its temporal variability under clear sky conditions and little temporal variability. Thus, this paper studied the temporal variability of the NDVI vegetation index in wheat and soybean crops, recorded from an active reflectance sensor. The NDVI and irradiation data were collected by a GreenSeeker sensor at every 15 minutes over 12 or 14 consecutive hours. In all soybean and wheat trials, the NDVI index was negatively influenced by irradiation and showed higher answers at the beginning and end of the day. Changes in cloud cover have also affected the NDVI during the experiments management.

KEYWORDS: precision agriculture, remote sensing, vegetation index.

INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios na produção de grãos é a otimização do manejo de N. Por estar diretamente relacionado à produtividade (BARRACLOUGH *et al.*, 2010), o N, muitas vezes, é aplicado em excesso (DELLINGER; SCHMIDT; BEEGLE, 2008, SCHMIDT *et al.*, 2011), gerando perdas financeiras e danos ambientais, devido à contaminação dos lençóis freáticos pelo processo de lixiviação (BURKART; JAMES, 1999; HONG *et al.*, 2007).

Entre as tecnologias empregadas na agricultura de precisão está a aplicação de fertilizantes a taxas variadas, buscando-se identificar e aplicar a quantidade adequada de fertilizante em cada ponto da área cultivada (THRIKAWALA *et al.*, 1999). Abordagem que pode contribuir com o aumento da produtividade ao mesmo tempo que diminui o impacto ambiental (SCHARF *et al.*, 2011).

Os sensores de reflectância estão entre os equipamentos capazes de estimar as necessidades de N de vários tipos de culturas, entre elas a cultura de grãos (SCHMIDT; DELLINGER; BEEGLE, 2009; HONG *et al.*, 2007). Esses equipamentos possuem vantagens logísticas e econômicas, uma vez que podem ser utilizados para cobrir rapidamente grandes áreas, gerando resultados de forma rápida e a custo reduzido, quando comparados a outras técnicas (SCHARF *et al.*, 2002, SCHARF *et al.*, 2011).

Pesquisas já demonstraram que os sensores passivos sofrem influência do horário de leitura, uma vez que são dependentes da radiação solar para realizar suas medições (SOUZA; SCHARF; SUDDUTH, 2010; ERDLE; MISTELE; SCHMIDHALTER, 2011; SOUZA *et al.*, 2004). Por outro lado, os sensores ativos, por possuírem sua própria fonte emissora teriam a capacidade de trabalhar em qualquer horário do dia, sem interferência da quantidade de radiação solar ou de variações atmosféricas (TRIMBLE, 2013; NTECH, 2006). Contudo, existem trabalhos indicando que, até mesmo os sensores ativos, podem ser influenciados pelo horário da leitura e das condições climáticas, gerando distorções nos dados coletados (SCHARF *et al.*, 2010, OLIVEIRA; SCHARF, 2014).

Nesse contexto, investigou-se neste trabalho o comportamento de um sensor ativo de reflectância, montado sobre as culturas de soja e trigo, submetido a diferentes horários de trabalho, com conseqüente variação de radiação solar e de cobertura de nuvens.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida nas culturas de soja e trigo em diferentes estádios de desenvolvimento, em uma área agrícola localizada no município de Céu Azul – PR, cuja localização geográfica central aproximada é de 25°06'32" S e 53°49'55" O. A propriedade tem, aproximadamente, 15,5 há, com altitude média é de 752 m, e solo classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférrico típico (EMBRAPA, 2006). O sistema de plantio direto vem sendo utilizado na área há mais de 10 anos, com sequência de culturas de soja, trigo, milho e aveia para fins comerciais. Os dados referentes à soja (variedade Dom Mario 5958 RR2) foram coletados nos estádios R1 e R2, enquanto os dados relativos ao trigo (variedade Catuara), nos estádios V3, V8 e V10.5.

Para a coleta dos dados amostrais relativos ao índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) utilizou-se um sensor óptico ativo GreenSeeker 505, o qual utiliza a radiação magnética no comprimento de onda do vermelho a 656 nm (visível) e do infravermelho próximo a 774 nm (NTECH, 2008). O NDVI é calculado, conforme a Equação 1:

$$NDVI = \frac{NIR-VERM}{NIR+VERM} \quad \text{Eq. (1)}$$

em que: NIR é a radiação medida pelo sensor no comprimento de onda do infravermelho próximo e VERM a radiação medida pelo sensor no comprimento de onda do vermelho.

A medição da radiação solar incidente (irradiação) foi realizada com um piranômetro modelo Instrutherm MES-100. A radiação incidente foi utilizada para estimar a influência das nuvens em cada uma das coletas de dados. Para tanto, utilizou-se o índice de transparência instantâneo (ITI), proposto por Souza *et al.* (2006), que tem por objetivo indicar o percentual da radiação esperada para um determinado horário que estava de fato incidente naquele momento.

O ITI foi calculado de acordo com a metodologia proposta por Souza *et al.* (2006), conforme a Equação 2:

$$ITI = \frac{I}{I_0} \quad \text{Eq. (2)}$$

em que: I é a radiação teórica esperada para o horário e I₀ a radiação real medida pelo piranômetro naquele horário. Para estimar a radiação teórica relativa à data de coleta de dados de cada estádio pesquisado, criou-se uma função de regressão polinomial específica para cada dia, utilizando-se como base valores de radiação real medidos em momentos sem a incidência de nuvens.

A normalização de dados foi utilizada a fim de possibilitar a inclusão de dados de diferentes magnitudes em um mesmo gráfico. Para tanto, foi utilizado o método da média proposto por Swindell (1997):

$$Vn = \frac{V}{\sum_{i=1}^j v_i/j} \quad \text{Eq. (3)}$$

em que obtém-se o valor normalizado de uma amostra pela divisão do valor da amostra pelo valor médio das amostras e: V é o valor da variável no caso i e j é o número de casos.

A metodologia de coleta de dados foi a mesma para as duas culturas pesquisadas. Os dados foram coletados com o sensor GreenSeeker posicionado de forma paralela ao solo, em uma posição estacionária, garantindo a mesma posição de leitura ao longo do dia (Figura 1). Foram realizados testes preliminares para comprovar que o suporte utilizado não causa influência nos dados lidos pelo equipamento. O sensor foi mantido a uma distância de 80 cm do dossel da cultura e, portanto, dentro do intervalo recomendado pelo fabricante do equipamento (TRIMBLE, 2010).



Figura 1 Sensor GreenSeeker montado sobre soja em estádio R1.

O horário definido para início e fim da coleta de dados levou em consideração a época do ano, com a intenção de abranger todo o período de insolação. Na soja, o horário de coleta de dados foi das 7h às 21h, e, no trigo, a coleta foi realizada das 7h às 19h. Em cada estádio pesquisado, foram realizadas medições com intervalo de 15 minutos entre as amostras. Deste modo, os dados foram coletados sempre nos minutos 0, 15, 30 e 45 de cada hora. O valor do NDVI considerado para cada amostra foi composto pela média de 100 leituras realizadas pelo sensor GreenSeeker de forma ininterrupta, ao longo de 10 segundos de acionamento.

Analisando a influência da direção de semeadura sobre os índices de vegetação, SOUZA *et al.* (2004) concluíram que o NDVI apresentou maior variabilidade em linhas de semeadura de sentido norte-sul. Por essa razão, neste experimento, optou-se por realizar as coletas de dados em linhas de plantio de sentido norte-sul, com o sensor GreenSeeker posicionado sobre a linha de plantio, perpendicularmente à posição de nascer e pôr do sol, com a frente voltada para o norte. Logo após a amostra ser coletada, com o sensor GreenSeeker, posicionava-se o piranômetro acima do sensor realizando-se a medição da radiação incidente naquele momento.

Os dados coletados em campo foram analisados estatisticamente por meio de análise exploratória. Classificou-se o coeficiente de variação (CV) conforme Pimentel e Garcia (2002), como: baixo (homocedasticidade) quando $CV \leq 10\%$, médio quando $10\% < CV \leq 20\%$, alto quando $20\% < CV \leq 30\%$ e muito alto (heterocedasticidade) quando $CV > 30\%$. A análise de regressão foi realizada utilizando-se o *software* Statistica 12.0 (STATSOFT, 2014), modelando o NDVI em função do estágio de desenvolvimento da cultura e da irradiação. Utilizou-se o método de regressão de “melhores subconjuntos” (*best subsets*), em que o coeficiente de determinação ajustado (*adjusted R²*) foi utilizado como critério de seleção do melhor modelo, entre todos os possíveis subconjuntos (MONTGOMERY; PECK; VINING, 2012).

O modelo abaixo (Equação 4) foi definido através de análise exploratória realizada nos dados referentes à soja, o que implica assumir que a variável dependente NDVI é influenciada pelo estágio de desenvolvimento da cultura, pela irradiação solar e pela irradiação * ITI, conforme Equação 4:

$$NDVI = a + b \cdot \text{estádio} + c \cdot \text{irr} + d \cdot (\text{irr} \cdot \text{iti}) \quad \text{Eq. (4)}$$

em que: a, b, c, d são os parâmetros do modelo, estágio representa o estágio de desenvolvimento da cultura, irr a irradiância ($W \text{ m}^{-2}$) e ITI refere-se ao índice de transparência instantâneo.

O modelo definido através de análise exploratória nos dados referentes à cultura do trigo (Equação 5), indica que a variável dependente NDVI é influenciada pelo estágio de desenvolvimento da cultura, pela irradiação solar, pelo ITI e pelo ITI*ITI, conforme Equação 5:

$$NDVI = a + b \cdot \text{estádio} + c \cdot \text{irr} + d \cdot \text{iti} + e \cdot \text{iti}^2 \quad \text{Eq. (5)}$$

em que: a, b, c, d, e são os parâmetros do modelo, estágio representa o estágio da cultura, irr a irradiância ($W \text{ m}^{-2}$) e ITI o índice de transparência instantâneo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

SOJA

Os coeficientes de variação do NDVI registrados nos estádios R1 e R2 da soja foram, respectivamente, 2,8% e 1,8%, considerados baixos (Tabela 1). A variabilidade do NDVI foi consideravelmente menor do que a variabilidade das bandas que o compõem, o que é um comportamento esperado para um índice de vegetação (PINTER; JACKSON; EZRA, 1985; TUCKER, 1979). A banda do vermelho (Verm, 656 nm) apresentou coeficiente de variação muito mais elevado que o apresentado na banda do infravermelho próximo (NIR, 774 nm).

Tabela 1 Estatística descritiva para os dados agrupados por estádio da soja

Estádio	Variável	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DesvPad	CV
R1	NDVI	0.838	0.885	0.887	0.920	0.025	2.8%
	Vermelho	0.027	0.043	0.043	0.062	0.009	21.0%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0.560	0.713	0.714	0.848	0.070	9.9%
	Irradiação, W m ⁻²	0	485	352	1112	412	84.9%
R2	NDVI	0.845	0.880	0.880	0.911	0.016	1.8%
	Vermelho	0.028	0.042	0.043	0.054	0.006	14.1%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0.550	0.653	0.648	0.743	0.045	6.9%
	Irradiação, W m ⁻²	0	439	397	1076	331	75.3%

Nos dois estádios pesquisados, a curva de NDVI apresentou, ao longo do dia, comportamento semelhante, com valores mais altos no início e no fim do dia, e valores menores nos horários próximos ao meio dia, quando a irradiação solar é maior (Figura 2a), o que está de acordo com os resultados obtidos por Oliveira e Scharf (2014). Identificou-se também que no estádio R1 houve uma maior dispersão dos valores de NDVI do que o registrado no estádio R2, o que indica que em estádios mais avançados a variabilidade do NDVI é menor (Tabela 1, Figuras 2a e 2b).

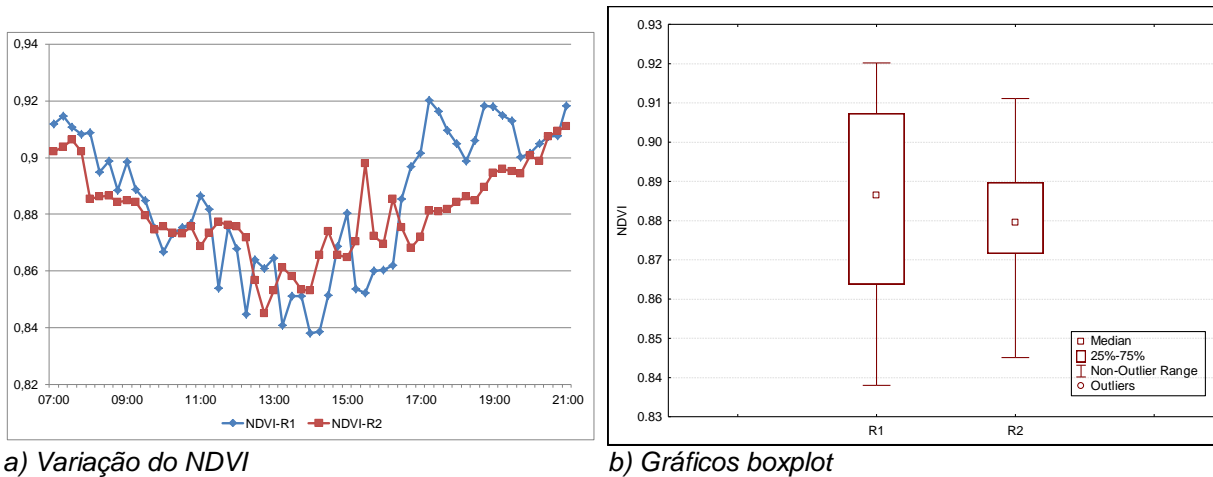


Figura 2 a) Variação do NDVI ao longo do dia para cada estágio da soja; b) Gráficos boxplot para o NDVI, agrupado por estágio.

Os valores de R^2 obtidos para a curva de ajuste da irradiação teórica nos estádios R1 e R2 da soja foram maiores que 99%. Em seguida, calculou-se o índice de transparência instantâneo (ITI) em função da hora do dia. A irradiação foi mais reduzida pela cobertura de nuvens no estágio R2.

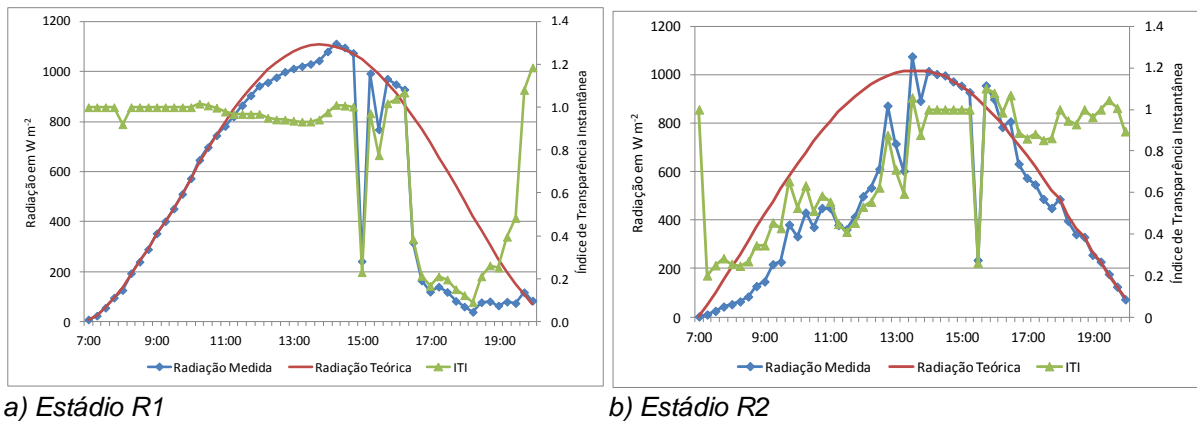
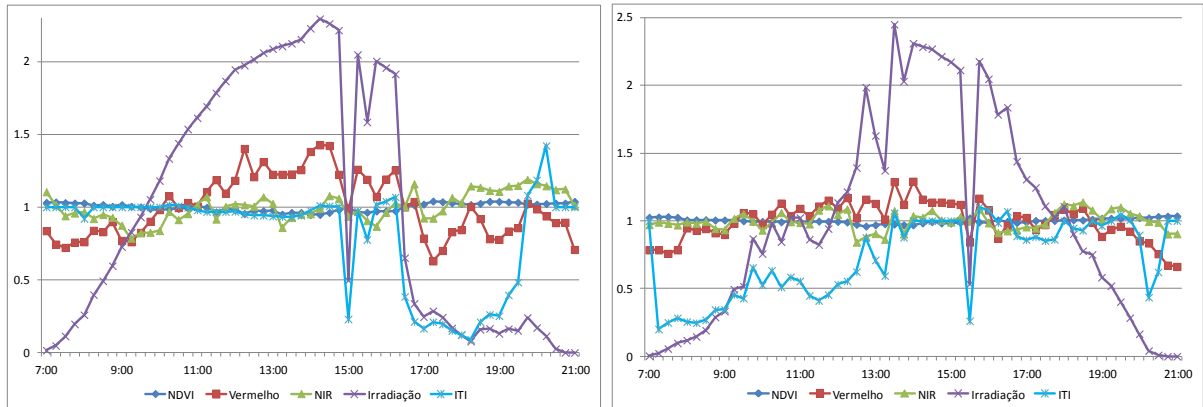


Figura 3 Irradiação medida, irradiação teórica e índice de transparência instantâneo (ITI), para os estádios R1 (a) e R2 (b), da soja.

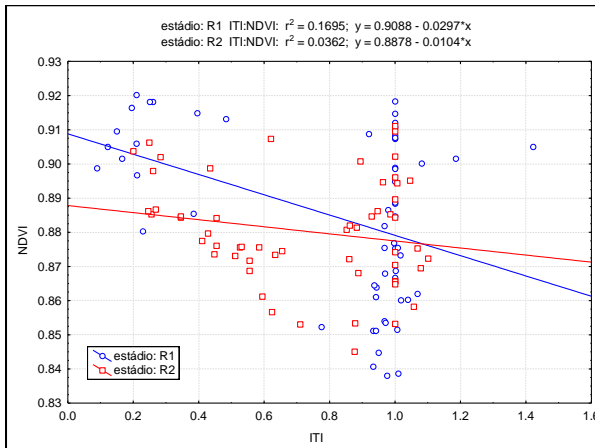
Comparando-se as Figuras 2a e 4a percebe-se que, próximo às 15 horas, foi registrada uma queda brusca de irradiação e, no mesmo momento, um aumento considerável no valor registrado do NDVI, o que indica uma clara associação entre essas duas variáveis. O mesmo pode ser notado comparando-se os gráficos das Figuras 2a e 4b, particularmente no horário de 15:30, quando novamente ocorreu queda brusca na irradiação e ao mesmo tempo um pico no NDVI. A variação da radiação solar ao longo do dia afetou mais a banda do vermelho do que a banda do infravermelho próximo (Figuras 4a e 4b). Além disso, mudanças bruscas na cobertura de nuvens, registradas pelo ITI, também

geraram mais influência na banda do vermelho. Este comportamento está de acordo com o registrado por Souza *et al.* (2006).

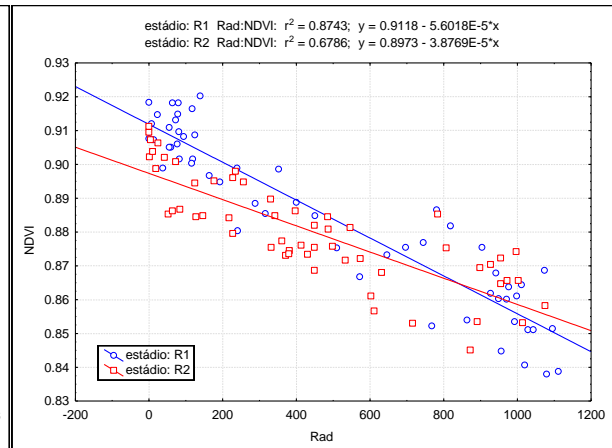


a) Estádio R1

b) Estádio R2



c) NDVI em função do ITI



d) NDVI em função da irradiação solar

Figura 4 NDVI, radiação no vermelho e no infravermelho (NIR), irradiação e índice de transparência instantâneo (ITI), em função da hora do dia para os estádios R1 (a) e R2 (b) (dados normalizados) da soja; NDVI em função do ITI (c); Correlação entre NDVI e irradiação solar (d).

O NDVI mostrou-se inversamente correlacionado com o ITI (Figura 4c) e com a irradiação (Figura 4d), em ambos os estádios. Na análise de regressão, cujo modelo está apresentado na Equação 6, o valor de R^2 foi de 0,842, ou seja, 84,2% da variabilidade registrada no NDVI pode ser explicada pelo estádio de desenvolvimento da cultura, pela irradiação e pelo ITI.

$$\text{NDVI} = 0.9153 - 0.004280 \cdot \text{estádio} - 0.0001123 \cdot \text{irr} + 0.00006211 \cdot \text{irr} \cdot \text{ITI} \quad \text{Eq. (6)}$$

O fato de parte da variabilidade do NDVI não poder ser explicada por meio das variáveis estudadas sugere a necessidade de novas pesquisas que considerem, além destas, outras variáveis, como temperatura e umidade.

TRIGO

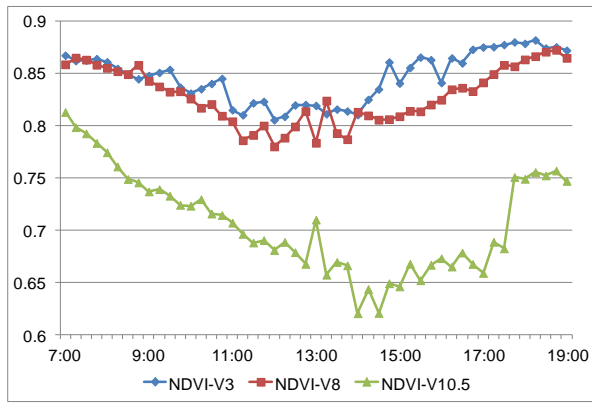
Na cultura do trigo, os coeficientes de variação do NDVI registrados nos estádios V3, V8 e V10.5 foram, respectivamente, 2,8%, 3,3% e 6,8%. A maior variabilidade nos estádios mais avançados da cultura é um comportamento contrário ao registrado na soja. Além disso, os valores médios de NDVI foram reduzindo nos estádios mais avançados (Tabela 2, Figura 5b). A queda do NDVI no estágio V10.5 pode ser, em parte, explicada pela atenuação da tonalidade verde inerente ao estágio, o que causa aumento de reflectância na banda no vermelho. Porém, o motivo do NDVI registrado no estágio V8 ter sido inferior ao registrado no V3 não foi determinado.

Do mesmo modo como ocorreu no experimento realizado na soja, a variabilidade registrada na banda do vermelho (Verm, 656 nm) foi muito maior do que a registrada no infravermelho próximo (NIR, 774 nm). A variabilidade do NDVI, por sua vez, foi menor que a das bandas que o compõem apenas nos estádios V3 e V8, sendo maior que a da banda do vermelho no estágio V10.5.

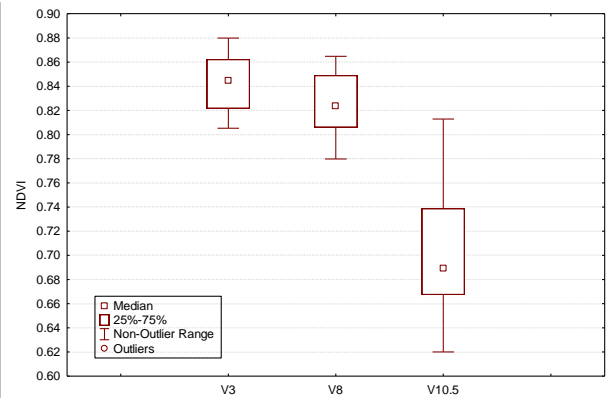
Tabela 2 Estatística descritiva para os dados agrupados por estágio do trigo

Estádio	Variável	Mínimo	Média	Mediana	Máximo	DesvPad	CV
V3	NDVI	0.805	0.846	0.849	0.882	0.023	2.8%
	Vermelho	0.028	0.039	0.036	0.056	0.008	21.7%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0.385	0.462	0.474	0.517	0.039	8.4%
	Irradiação, W m ⁻²	0	220	168	696	208	94.3%
V8	NDVI	0.780	0.828	0.826	0.872	0.027	3.3%
	Vermelho	0.019	0.025	0.025	0.032	0.004	15.4%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0.245	0.267	0.265	0.292	0.014	5.2%
	Irradiação, W m ⁻²	0	324	333	804	247	76.2%
V10.5	NDVI	0.620	0.706	0.696	0.813	0.048	6.8%
	Vermelho	0.019	0.030	0.029	0.042	0.006	20.1%
	Infravermelho-Próximo - NIR	0.159	0.175	0.174	0.190	0.008	4.4%
	Irradiação, W m ⁻²	0	312	247	878	258	82.5%

Nos três experimentos realizados no trigo, o NDVI apresentou valores maiores no início e no fim do dia, seguindo a mesma tendência registrada na cultura de soja. No estágio V10.5, o NDVI apresentou-se bem abaixo do registrado nos outros dois estádios, inclusive com uma queda mais acentuada com o passar das horas, seguida de elevação forte ao fim do dia (Figura 5a).



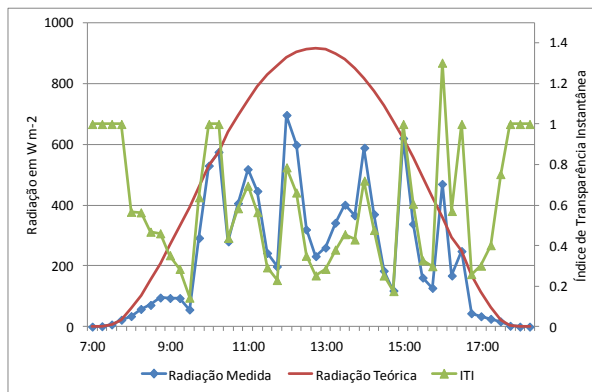
a) Variação do NDVI



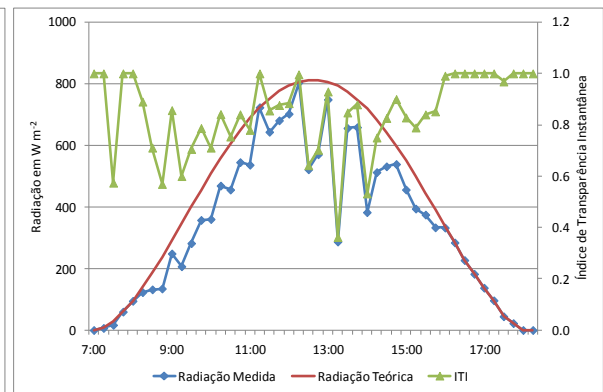
b) Gráficos boxplot

Figura 5 a) Variação do NDVI ao longo do dia, para cada estágio; b) Gráficos boxplot para o NDVI, agrupado por estágio do trigo.

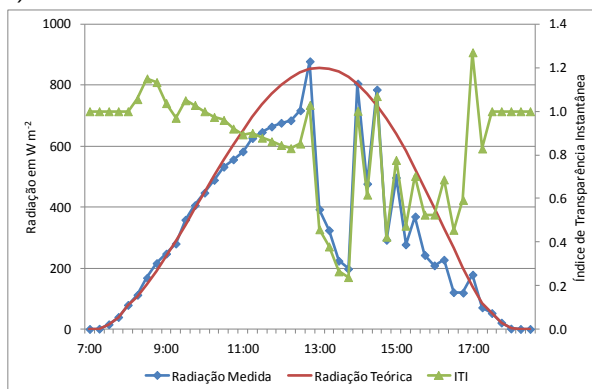
Os valores de R^2 obtidos para a curva de ajuste da radiação teórica (Figura 6) nos estádios V3, V8 e V10.5 foram todos acima de 99,9%. Calculou-se então o índice de transparência instantâneo (ITI) em função da hora do dia. A irradiação foi mais reduzida pela cobertura de nuvens no estágio V3, seguido do V10.5 e do V8.



a) Estádio V3



b) Estádio V8

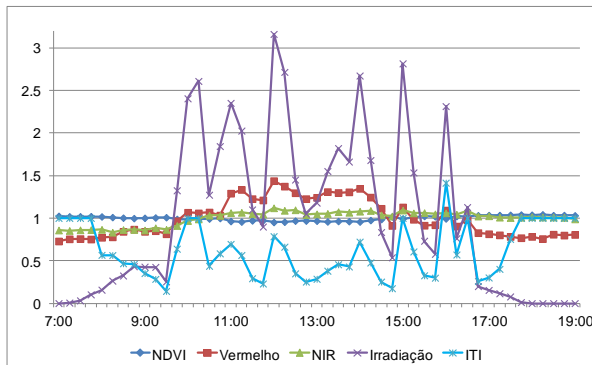


c) Estádio V10.5

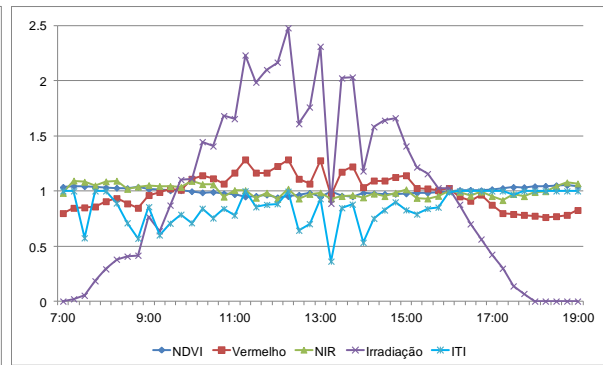
Figura 6 Irradiação medida, irradiação teórica e índice de transparência instantâneo (ITI) para os estádios R1 (a) e R2 (b) do trigo.

Na cultura do trigo, a variação da radiação solar ao longo do dia também afetou mais a banda do vermelho do que a banda do infravermelho próximo (Figuras 7a, 7b e 7c),

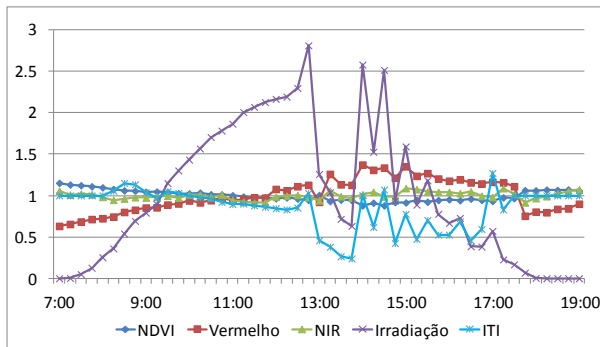
corroborando o comportamento registrado na soja. As mudanças bruscas ocorridas na cobertura de nuvens, registradas pelo ITI, também geraram mais influência na banda do vermelho.



a) Estádio V3



b) Estádio V8



c) Estádio V10.5

Figura 7 Dados coletados nos estádios V3 (a), V8 (b) e V10.5 (c) do trigo: NDVI*, vermelho*, infravermelho próximo*, radiação solar* e ITI.

Nota: * = dados normalizados.

O NDVI mostrou-se inversamente correlacionado com a irradiação (Figura 8b), nos três estádios pesquisados, e apresentou correlação direta com o ITI apenas no estádio V10.5 (Figura 8a).

$$\text{NDVI} = 0.871578 - 0.076001 \cdot \text{estádio} - 0.000100 \cdot \text{irr} + 0.231785 \cdot \text{ITI} - 0.114141 \cdot \text{ITI}^2 \quad (\text{Eq. 7})$$

Na análise de regressão, cujo modelo está apresentado na Equação 7, o valor de R^2 foi de 0,803, ou seja, 80,3% da variabilidade registrada no NDVI pode ser explicada pelo estádio de desenvolvimento da cultura, pela irradiação e pelo ITI. Novamente, o fato de parte da variabilidade do NDVI não poder ser explicada por estas variáveis indica a necessidade de pesquisas que considerem também outras variáveis, como temperatura e umidade.

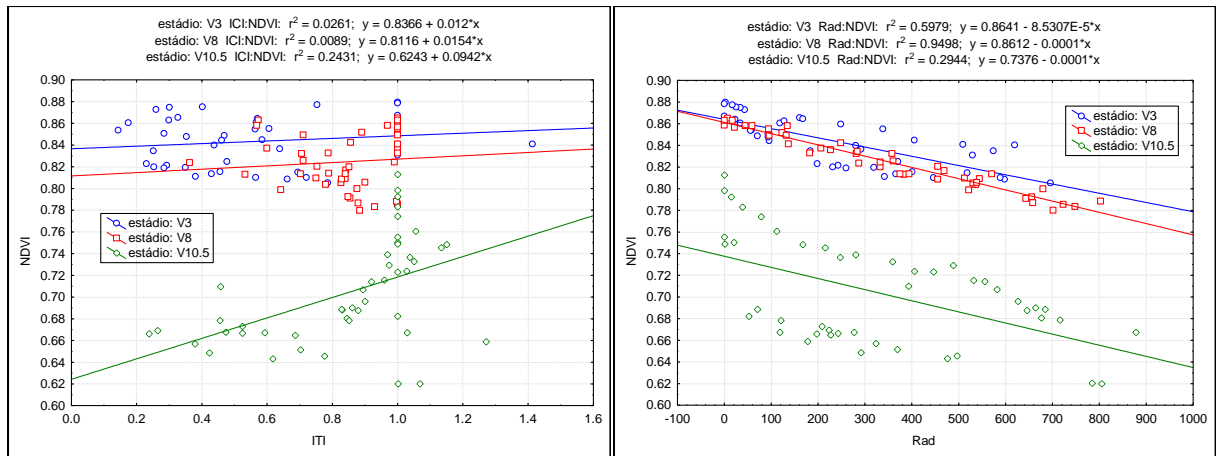


Figura 8 NDVI em função do ITI (a); Correlação entre NDVI e irradiação solar (b).

CONCLUSÕES

Os valores de NDVI medidos pelo sensor GreenSeeker sobre as culturas de soja e trigo ao longo do dia foram influenciados negativamente pela irradiação, sendo mais elevado no início e no fim do dia. O NDVI também foi afetado pelas mudanças na cobertura de nuvens ao longo dos experimentos, sendo influência positiva para o trigo, mas negativa para a soja. Dentre as variáveis pesquisadas, a irradiação solar foi a que mais explicou a variação do NDVI, em ambas as culturas.

REFERÊNCIAS

- BARRACLOUGH, P. B.; HOWARTH, J. R.; JONES, J., LOPEZ-BELLIDO, R.; PARMAR, S.; SHEPHERD, C. E.; HAWKESFORD, M. J. Nitrogen efficiency of wheat: genotypic and environmental variation and prospects for improvement. **European Journal of Agronomy**, v. 33, p. 1-11, 2010.
- BURKART, M. R.; JAMES, D. E. Agricultural nitrogen contribution to hypoxia in the Gulf of Mexico. **Journal of Environmental Quality**, n. 28, p. 850-859, 1999.
- DELLINGER, A. E.; SCHMIDT, J. P.; BEEGLE, D. B. Developing Nitrogen Fertilizer Recommendations for Corn Using an Active Sensor. **Agronomy Journal**, v. 100, p. 1546-1552, 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2006. Disponível em: <http://www.agrolink.com.br/downloads/sistema-brasileiro-de-classificacao-dos-solos2006.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2014.
- ERDLE, K.; MISTELE, B.; SCHMIDHALTER, U. Comparison of active and passive spectral sensors in discriminating biomass parameters and nitrogen status in wheat cultivars. **Field Crops Research**, v. 124, p. 74-84, 2011.
- HONG, N.; SCHARF, P. C.; DAVIS, J. G.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A. Economically optimal nitrogen rate reduces soil residual nitrate. **Journal of Environmental Quality**, v. 36, p. 354-362, 2007.
- MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introduction to linear regression analysis**. 5. ed., New York: John Wiley & Sons, 2012. 672 p.
- NTECH INDUSTRIES. **GreenSeeker hand held 505 optical sensor unit** - Operating manual. 2006. Disponível em: [http://nue.okstate.edu/Hand_Held/GS_HandHeld_Manual_rev_K\[1\].pdf](http://nue.okstate.edu/Hand_Held/GS_HandHeld_Manual_rev_K[1].pdf). Acesso em: 5 abr. 2014.
- NTECH INDUSTRIES. **GreenSeeker model 500 series datasheet**. 2008. Disponível em: http://www.ssmgps.com/pdf/DataSheet_Model_500_GS_Sensor.pdf. Acesso em: 21 nov. 2014.
- OLIVEIRA, Luciane F.; SCHARF, Peter C. Diurnal variability in reflectance measurements from cotton. **Crop Science**, v. 54, p. 1769-1781, 2014.
- PIMENTEL, F. G.; GARCIA, G. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**. Piracicaba: Biblioteca de Ciências Agrárias Luiz de Queiroz, 2002. 307 p.
- PINTER, P. J.; JACKSON, R. D.; EZRA, C. E. Sun-angle and canopy-architecture effects on the spectral reflectance of six wheat cultivars. **International Journal of Remote Sensing**, v. 6, n. 12, p. 1813-1825, 1985.
- SCHARF, P. C.; SCHMIDT, J. P.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; HONG, S. Y.; LORY, J. A.; DAVIS, J. G. Remote sensing for nitrogen management. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, p. 518-524, 2002.

SCHARF, P. C.; KITCHEN, N. R.; SUDDUTH, K. A.; LORY, J. A.; STEVENS, W. G.; OLIVEIRA, L. F.; SHANNON, D. K.; PALM, H.; DAVIS, J. G.; VORIES, E. D.; DUNN, D. J.; JONES, A. J. Precision nitrogen fertilizer management of maize and cotton using crop sensors. *In: WORLD CONGRESS OF SOIL SCIENCE, SOIL SOLUTIONS FOR A CHANGING WORLD*, 19, 2010. Brisbane, Australia. **Proceedings...** Brisbane, Australia, 2010. 1 DVD.

SCHARF, P. C.; SHANNON, D. K.; PALM, H. L.; SUDDUTH, K. A.; DRUMMOND, S. T.; KITCHEN, N. R.; MUELLER, L. J.; HUBBARD, V. C.; OLIVEIRA, L. F. Sensor-based nitrogen applications out-performed producer-chosen rates for corn in on-farm demonstrations. **Agronomy Journal**, v. 103, p. 1683-1691, 2011.

SCHMIDT, J. P.; DELLINGER, A. E.; BEEGLE, D. B. Nitrogen recommendations for corn: an on-the-go sensor compared with current recommendation methods. **Agronomy Journal**, v. 101, p. 916-924, 2009.

SCHMIDT, J.; BEEGLE, D.; ZHU, Q.; SRIPADA, R. Improving in-season nitrogen recommendations for maize using an active sensor. **Field Crops Research**, v. 120, p. 94-101, 2011.

SOUZA, E. G.; ORLANDO, G. A.; OPAZO, M. A. U.; SILVA, E. D.; SCHARF, P. Influência da direção de semeadura do milho nas variáveis reflectância e índice de vegetação verde normalizado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 8, n. 1, p. 79-84, 2004.

SOUZA, E. G.; SCHARF, P. C.; SUDDUTH, K. A.; HIPPLE, J. D. Using a field radiometer to estimate instantaneous sky clearness. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 10, n. 2, p. 369-373, 2006.

SOUZA, E. G.; SCHARF, P. C.; SUDDUTH, K. A. Sun Position and Cloud Effects on Reflectance and Vegetation Indices of Corn. **Agronomy Journal**, v. 102, issue 2, 2010.

STATSOFT. **Statistica for windows**. V. 12.0. Tulsa: StatSoft. Disponível em: <<http://www.statsoft.com>>. Acesso em: 10 set. 2014.

SWINDELL, J. Mapping the spatial variability in the yield potential of arable land through GIS analysis of sequential yield maps. *In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE*, 1. Warwick, UK. **Proceedings...** Warwick University, UK. Oxford: Bios Scientific, sep. 1997. p. 827-834.

THRIKAWALA, S.; WEERSINK, A.; GARY, K.; FOX, G. Economic feasibility of variable-rate technology for nitrogen on corn. **American Journal of Agricultural Economics**, n. 81, p. 914-927, 1999.

TRIMBLE. **GreenSeeker 505 handheld sensor user guide**. 2010. Disponível em: <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-493091>. Acesso em: 10 set. 2013.

TRIMBLE. **GreenSeeker system datasheet**. 2013. Disponível em: <http://trl.trimble.com/docushare/dsweb/Get/Document-475150/022503-11231_GreenSeeker_DS_MarketSmart_USL_0114_LR.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2014.

TUCKER, C. J. Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. **Remote Sensing of Environment**, v. 8, p. 127-150, 1979.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 TABELAS REFERENTES AO ARTIGO 1

Tabela 1 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiação solar teórica e Índice de Transperência Instantânea para cada horário referentes à cultura do Milho no estádio V3

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.7558	0.0252	0.1809	6.1	6.1	1.000
2	7:15	0.7319	0.0278	0.1794	40.7	53.7	0.757
3	7:30	0.7218	0.0290	0.1797	66.9	107.2	0.624
4	7:45	0.7152	0.0300	0.1803	128.6	165.4	0.777
5	8:00	0.7222	0.0305	0.1891	227.4	227.4	1.000
6	8:15	0.7041	0.0329	0.1891	243.1	292.0	0.832
7	8:30	0.6947	0.0338	0.1879	228.6	358.4	0.638
8	8:45	0.6738	0.0361	0.1852	231.6	425.7	0.544
9	9:00	0.6549	0.0386	0.1849	282.3	493.1	0.573
10	9:15	0.6529	0.0408	0.1940	295.2	559.7	0.527
11	9:30	0.6516	0.0429	0.2033	421.0	624.9	0.674
12	9:45	0.6433	0.0448	0.2063	430.9	687.9	0.626
13	10:00	0.6643	0.0460	0.2280	485.1	748.2	0.648
14	10:15	0.6750	0.0455	0.2346	371.9	805.1	0.462
15	10:30	0.7083	0.0453	0.2652	479.7	858.2	0.559
16	10:45	0.6872	0.0461	0.2489	413.0	907.0	0.455
17	11:00	0.6718	0.0469	0.2389	388.5	951.1	0.408
18	11:15	0.6722	0.0467	0.2380	328.8	990.1	0.332
19	11:30	0.6908	0.0464	0.2539	386.2	1023.8	0.377
20	11:45	0.6850	0.0469	0.2510	454.6	1051.7	0.432
21	12:00	0.6820	0.0469	0.2482	466.1	1073.9	0.434
22	12:15	0.7218	0.0462	0.2862	455.0	1090.0	0.417
23	12:30	0.7184	0.0495	0.3020	761.4	1099.9	0.692
24	12:45	0.7208	0.0451	0.2781	221.8	1103.7	0.201
25	13:00	0.6854	0.0460	0.2465	248.3	1101.3	0.225
26	13:15	0.6781	0.0463	0.2417	297.2	1092.7	0.272
27	13:30	0.6897	0.0461	0.2521	242.8	1078.1	0.225
28	13:45	0.6507	0.0485	0.2294	312.0	1057.5	0.295
29	14:00	0.6735	0.0477	0.2451	391.6	1031.2	0.380
30	14:15	0.6186	0.0502	0.2130	316.2	999.4	0.316
31	14:30	0.5885	0.0541	0.2087	681.0	962.4	0.708
32	14:45	0.5864	0.0571	0.2190	933.1	933.1	1.000
33	15:00	0.5502	0.0605	0.2090	685.2	874.0	0.784
34	15:15	0.5896	0.0542	0.2098	398.0	823.5	0.483
35	15:30	0.5838	0.0543	0.2067	426.0	769.4	0.554
36	15:45	0.5676	0.0540	0.1961	327.2	712.2	0.459
37	16:00	0.5591	0.0585	0.2067	333.0	652.4	0.510
38	16:15	0.5205	0.0630	0.2001	448.1	590.8	0.758
39	16:30	0.5458	0.0605	0.2058	180.6	527.9	0.342
40	16:45	0.5479	0.0575	0.1970	54.9	464.5	0.118
41	17:00	0.5523	0.0562	0.1948	34.7	401.3	0.086
42	17:15	0.5453	0.0392	0.1331	37.5	339.1	0.111
43	17:30	0.5896	0.0345	0.1336	137.0	278.8	0.491
44	17:45	0.5928	0.0340	0.1330	245.1	221.2	1.108
45	18:00	0.6020	0.0323	0.1300	121.2	167.3	0.725
46	18:15	0.6012	0.0479	0.1922	68.7	118.0	0.582
47	18:30	0.5990	0.0475	0.1893	49.5	74.5	0.665
48	18:45	0.5637	0.0534	0.1914	31.4	37.7	0.834
49	19:00	0.5762	0.0540	0.2008	23.8	23.8	1.000

Tabela 2 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiaçõesolar teórica e Índice de Transperência Instantânea para cada horário referentes à cultura do Milho no estádio V6

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.8351	0.0210	0.2357	13.6	13.6	1.000
2	7:15	0.8341	0.0209	0.2331	31.0	31.0	1.000
3	7:30	0.8353	0.0209	0.2331	76.2	76.2	1.000
4	7:45	0.8169	0.0231	0.2293	184.0	145.6	1.264
5	8:00	0.8271	0.0212	0.2242	247.0	205.4	1.203
6	8:15	0.8188	0.0225	0.2259	248.7	268.5	0.926
7	8:30	0.8019	0.0251	0.2281	346.2	346.2	1.000
8	8:45	0.7968	0.0256	0.2262	403.1	403.1	1.000
9	9:00	0.7923	0.0264	0.2277	458.3	458.3	1.000
10	9:15	0.7767	0.0281	0.2236	517.1	533.9	0.969
11	9:30	0.8097	0.0248	0.2359	138.6	598.9	0.231
12	9:45	0.8058	0.0235	0.2186	88.7	661.8	0.134
13	10:00	0.7615	0.0330	0.2439	683.2	721.9	0.946
14	10:15	0.7468	0.0332	0.2287	776.5	776.5	1.000
15	10:30	0.7653	0.0295	0.2215	630.4	831.0	0.759
16	10:45	0.7446	0.0336	0.2297	915.3	879.0	1.041
17	11:00	0.7916	0.0253	0.2175	980.6	921.8	1.064
18	11:15	0.8031	0.0212	0.1940	117.8	959.3	0.123
19	11:30	0.7481	0.0317	0.2205	1003.0	1003.0	1.000
20	11:45	0.7606	0.0304	0.2240	948.2	1016.5	0.933
21	12:00	0.7492	0.0295	0.2060	1019.0	1035.8	0.984
22	12:15	0.7429	0.0308	0.2086	951.7	1048.6	0.908
23	12:30	0.7423	0.0311	0.2100	1048.0	1054.9	0.993
24	12:45	0.7432	0.0309	0.2094	938.0	1054.6	0.889
25	13:00	0.7132	0.0373	0.2235	913.6	1047.7	0.872
26	13:15	0.7136	0.0349	0.2089	964.1	1034.2	0.932
27	13:30	0.7077	0.0372	0.2172	948.4	1014.5	0.935
28	13:45	0.7153	0.0353	0.2126	726.1	988.5	0.735
29	14:00	0.7402	0.0307	0.2054	310.0	956.6	0.324
30	14:15	0.7012	0.0379	0.2158	612.3	919.2	0.666
31	14:30	0.6504	0.0356	0.1682	568.0	876.5	0.648
32	14:45	0.7075	0.0381	0.2223	822.1	822.1	1.000
33	15:00	0.7021	0.0379	0.2167	962.9	777.3	1.239
34	15:15	0.7313	0.0342	0.2206	661.8	721.9	0.917
35	15:30	0.7304	0.0335	0.2152	616.2	663.3	0.929
36	15:45	0.7372	0.0332	0.2196	591.0	591.0	1.000
37	16:00	0.7405	0.0327	0.2190	563.3	539.7	1.044
38	16:15	0.7494	0.0317	0.2209	482.4	482.4	1.000
39	16:30	0.7666	0.0286	0.2162	106.7	412.5	0.259
40	16:45	0.7667	0.0291	0.2206	165.2	349.8	0.472
41	17:00	0.7608	0.0299	0.2197	332.9	289.0	1.152
42	17:15	0.7607	0.0307	0.2259	221.0	231.1	0.956
43	17:30	0.7709	0.0296	0.2290	186.2	177.1	1.051
44	17:45	0.7835	0.0264	0.2178	118.3	118.3	1.000
45	18:00	0.7845	0.0258	0.2137	85.1	85.1	1.000
46	18:15	0.7872	0.0264	0.2215	34.7	34.7	1.000
47	18:30	0.7947	0.0243	0.2122	8.7	8.7	1.000
48	18:45	0.8382	0.0183	0.2071	3.3	3.3	1.000
49	19:00	0.8469	0.0171	0.2066	0.0	0.0	1.000
50	19:15	0.8464	0.0166	0.1994	0.0	-	-
51	19:30	0.8440	0.0169	0.1994	0.0	-	-
52	19:45	0.8427	0.0169	0.1994	0.0	-	-
53	20:00	0.8494	0.0158	0.1956	0.0	-	-
54	20:15	0.8507	0.0158	0.1956	0.0	-	-
55	20:30	0.8537	0.0155	0.1963	0.0	-	-
56	20:45	0.8543	0.0155	0.1963	0.0	-	-
57	21:00	0.8465	0.0161	0.1938	0.0	-	-
58	21:15	0.8461	0.0157	0.1879	0.0	-	-

59	21:30	0.8484	0.0155	0.1888	0.0	-	-
60	21:45	0.8427	0.0162	0.1891	0.0	-	-
61	22:00	0.8473	0.0156	0.1882	0.0	-	-
62	22:15	0.8498	0.0153	0.1882	0.0	-	-
63	22:30	0.8505	0.0150	0.1856	0.0	-	-
64	22:45	0.8512	0.0149	0.1856	0.0	-	-
65	23:00	0.7978	0.0214	0.1906	0.0	-	-
66	23:15	0.7919	0.0223	0.1918	0.0	-	-
67	23:30	0.7924	0.0220	0.1901	0.0	-	-
68	23:45	0.7968	0.0215	0.1904	0.0	-	-
69	0:00	0.7961	0.0216	0.1902	0.0	-	-
70	0:15	0.7990	0.0212	0.1902	0.0	-	-
71	0:30	0.7956	0.0217	0.1908	0.0	-	-
72	0:45	0.7995	0.0212	0.1901	0.0	-	-
73	1:00	0.7967	0.0216	0.1905	0.0	-	-
74	1:15	0.7984	0.0213	0.1901	0.0	-	-
75	1:30	0.7954	0.0218	0.1915	0.0	-	-
76	1:45	0.7981	0.0216	0.1921	0.0	-	-
77	2:00	0.7988	0.0215	0.1919	0.0	-	-
78	2:15	0.7964	0.0217	0.1911	0.0	-	-
79	2:30	0.7971	0.0217	0.1921	0.0	-	-
80	2:45	0.7718	0.0160	0.1254	0.0	-	-
81	3:00	0.7690	0.0230	0.1763	0.0	-	-
82	3:15	0.7608	0.0238	0.1754	0.0	-	-
83	3:30	0.7607	0.0238	0.1754	0.0	-	-
84	3:45	0.7544	0.0246	0.1759	0.0	-	-
85	4:00	0.7619	0.0235	0.1737	0.0	-	-
86	4:15	0.7634	0.0233	0.1737	0.0	-	-
87	4:30	0.7570	0.0241	0.1739	0.0	-	-
88	4:45	0.7488	0.0250	0.1739	0.0	-	-
89	5:00	0.7455	0.0252	0.1724	0.0	-	-
90	5:15	0.7446	0.0254	0.1733	0.0	-	-
91	5:30	0.7461	0.0254	0.1744	0.0	-	-
92	5:45	0.7416	0.0259	0.1745	0.0	-	-
93	6:00	0.7428	0.0258	0.1749	0.0	-	-
94	6:15	0.7407	0.0261	0.1754	0.0	-	-
95	6:30	0.7387	0.0268	0.1781	0.0	-	-
96	6:45	0.7403	0.0263	0.1761	2.8	-	-
97	7:00	0.7685	0.0228	0.1743	14.8	-	-
98	7:15	0.7634	0.0237	0.1763	48.6	-	-
99	7:30	0.7515	0.0255	0.1797	57.2	-	-
100	7:45	0.7501	0.0256	0.1790	118.1	-	-
101	8:00	0.7472	0.0263	0.1819	186.0	-	-
102	8:15	0.7505	0.0270	0.1895	230.8	-	-
103	8:30	0.7521	0.0267	0.1886	297.3	-	-
104	8:45	0.7584	0.0255	0.1857	373.6	-	-
105	9:00	0.7292	0.0223	0.1597	482.9	-	-

Tabela 3 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiaçõesolar teórica e Índice de Transparência Instantânea para cada horário referentes à cultura do Milho no estádio R1

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.8673	0.0241	0.3390	13.2	13.2	1.000
2	7:15	0.8690	0.0244	0.3485	28.6	47.4	0.604
3	7:30	0.8579	0.0268	0.3498	87.1	87.1	1.000
4	7:45	0.8386	0.0312	0.3555	143.4	135.4	1.059
5	8:00	0.8317	0.0331	0.3606	157.1	185.9	0.845
6	8:15	0.8242	0.0350	0.3636	239.4	239.4	1.000
7	8:30	0.8201	0.0365	0.3693	256.8	294.5	0.872
8	8:45	0.8180	0.0376	0.3751	314.3	350.7	0.896
9	9:00	0.7859	0.0460	0.3837	389.8	407.0	0.958
10	9:15	0.7840	0.0472	0.3896	463.5	463.5	1.000
11	9:30	0.7847	0.0480	0.3976	517.9	517.9	1.000
12	9:45	0.7872	0.0466	0.3916	427.0	568.9	0.751
13	10:00	0.7908	0.0444	0.3802	216.4	618.2	0.350
14	10:15	0.7788	0.0485	0.3903	635.3	664.3	0.956
15	10:30	0.7793	0.0499	0.4026	719.2	706.6	1.018
16	10:45	0.7792	0.0498	0.4017	688.3	744.7	0.924
17	11:00	0.8017	0.0436	0.3964	705.0	778.2	0.906
18	11:15	0.8037	0.0431	0.3959	730.4	806.8	0.905
19	11:30	0.8023	0.0439	0.4000	721.2	830.3	0.869
20	11:45	0.8015	0.0442	0.4013	756.1	848.4	0.891
21	12:00	0.7967	0.0452	0.3996	761.4	861.1	0.884
22	12:15	0.7961	0.0454	0.4001	807.2	868.1	0.930
23	12:30	0.8019	0.0424	0.3849	862.0	869.5	0.991
24	12:45	0.7914	0.0467	0.4008	864.7	864.7	1.000
25	13:00	0.7577	0.0520	0.3775	829.1	855.6	0.969
26	13:15	0.7628	0.0531	0.3944	798.3	840.5	0.950
27	13:30	0.7527	0.0547	0.3883	858.6	820.2	1.047
28	13:45	0.7508	0.0531	0.3736	781.2	794.8	0.983
29	14:00	0.7550	0.0522	0.3735	726.6	764.7	0.950
30	14:15	0.7682	0.0489	0.3742	433.1	730.2	0.593
31	14:30	0.7603	0.0498	0.3659	652.4	691.7	0.943
32	14:45	0.7692	0.0479	0.3677	538.0	649.5	0.828
33	15:00	0.7625	0.0492	0.3652	578.4	604.2	0.957
34	15:15	0.7684	0.0482	0.3682	506.2	556.3	0.910
35	15:30	0.7661	0.0484	0.3654	487.9	506.4	0.964
36	15:45	0.7651	0.0468	0.3514	422.3	454.9	0.928
37	16:00	0.7705	0.0488	0.3762	373.0	402.7	0.926
38	16:15	0.7975	0.0355	0.3159	337.8	350.4	0.964
39	16:30	0.7896	0.0318	0.2714	291.5	298.7	0.976
40	16:45	0.8001	0.0393	0.3535	259.2	248.4	1.044
41	17:00	0.8067	0.0371	0.3469	199.4	200.3	0.996
42	17:15	0.8117	0.0356	0.3426	136.7	155.3	0.880
43	17:30	0.8136	0.0352	0.3425	112.4	112.4	1.000
44	17:45	0.8170	0.0342	0.3399	86.3	78.3	1.102
45	18:00	0.8190	0.0338	0.3397	34.1	34.1	1.000
46	18:15	0.8233	0.0329	0.3389	14.0	25.0	0.560
47	18:30	0.8209	0.0335	0.3399	2.2	2.2	1.000
48	18:45	0.8266	0.0320	0.3364	0.0	0.0	1.000
49	19:00	0.8019	0.0373	0.3391	0.0	0.0	1.000
50	19:15	0.8003	0.0376	0.3393	0.0	-	-
51	19:30	0.8052	0.0367	0.3397	0.0	-	-
52	19:45	0.8020	0.0373	0.3392	0.0	-	-
53	20:00	0.8019	0.0372	0.3386	0.0	-	-
54	20:15	0.8198	0.0336	0.3396	0.0	-	-
55	20:30	0.8189	0.0339	0.3407	0.0	-	-
56	20:45	0.8259	0.0322	0.3378	0.0	-	-
57	21:00	0.8318	0.0309	0.3361	0.0	-	-
58	21:15	0.8212	0.0334	0.3397	0.0	-	-

59	21:30	0.8232	0.0328	0.3380	0.0	-	-
60	21:45	0.8306	0.0313	0.3381	0.0	-	-
61	22:00	0.8360	0.0301	0.3370	0.0	-	-
62	22:15	0.8375	0.0299	0.3384	0.0	-	-
63	22:30	0.8389	0.0297	0.3387	0.0	-	-
64	22:45	0.8431	0.0288	0.3383	0.0	-	-
65	23:00	0.8450	0.0285	0.3391	0.0	-	-
66	23:15	0.8453	0.0285	0.3393	0.0	-	-
67	23:30	0.8501	0.0277	0.3413	0.0	-	-
68	23:45	0.8521	0.0272	0.3401	0.0	-	-
69	0:00	0.8551	0.0264	0.3385	0.0	-	-
70	0:15	0.8520	0.0271	0.3396	0.0	-	-
71	0:30	0.8540	0.0267	0.3395	0.0	-	-
72	0:45	0.8558	0.0264	0.3396	0.0	-	-
73	1:00	0.8485	0.0279	0.3398	0.0	-	-
74	1:15	0.8547	0.0268	0.3425	0.0	-	-
75	1:30	0.8548	0.0268	0.3423	0.0	-	-
76	1:45	0.8549	0.0268	0.3425	0.0	-	-
77	2:00	0.8570	0.0265	0.3434	0.0	-	-
78	2:15	0.8559	0.0267	0.3434	0.0	-	-
79	2:30	0.8608	0.0257	0.3433	0.0	-	-
80	2:45	0.8714	0.0241	0.3502	0.0	-	-
81	3:00	0.8991	0.0131	0.2468	0.0	-	-
82	3:15	0.8950	0.0117	0.2103	0.0	-	-
83	3:30	0.8937	0.0113	0.2009	0.0	-	-
84	3:45	0.8918	0.0110	0.1931	0.0	-	-
85	4:00	0.8919	0.0109	0.1904	0.0	-	-
86	4:15	0.8907	0.0106	0.1829	0.0	-	-
87	4:30	0.8857	0.0109	0.1799	0.0	-	-
88	4:45	0.8858	0.0106	0.1754	0.0	-	-
89	5:00	0.8844	0.0105	0.1711	0.0	-	-
90	5:15	0.8817	0.0107	0.1708	0.0	-	-
91	5:30	0.8740	0.0107	0.1595	0.0	-	-
92	5:45	0.8719	0.0106	0.1544	0.0	-	-
93	6:00	0.8656	0.0106	0.1476	0.0	-	-
94	6:15	0.8621	0.0106	0.1434	0.0	-	-
95	6:30	0.8621	0.0103	0.1394	0.0	-	-
96	6:45	0.8598	0.0105	0.1392	0.8	-	-
97	7:00	0.8557	0.0105	0.1352	3.7	-	-
98	7:15	0.8468	0.0105	0.1266	17.0	-	-
99	7:30	0.8472	0.0272	0.3304	142.0	-	-
100	7:45	0.8356	0.0319	0.3561	131.0	-	-
101	8:00	0.8308	0.0333	0.3606	102.5	-	-
102	8:15	0.8200	0.0359	0.3627	265.2	-	-
103	8:30	0.8156	0.0375	0.3689	147.8	-	-
104	8:45	0.8078	0.0399	0.3757	210.0	-	-
105	9:00	0.7802	0.0474	0.3835	438.2	-	-

APÊNDICE 2 FIGURAS REFERENTES AO ARTIGO 1

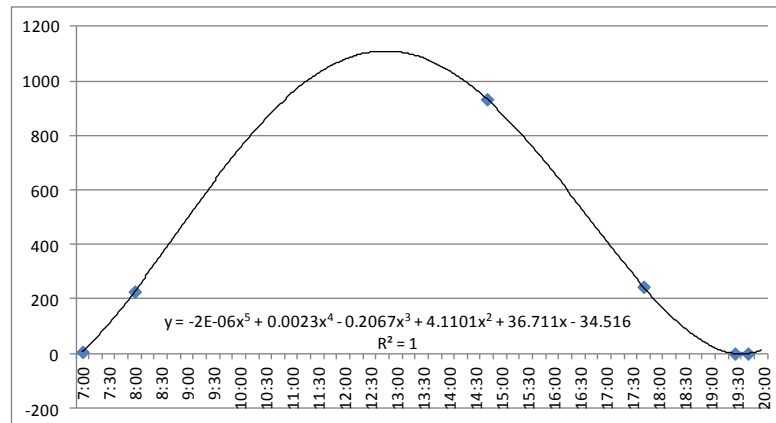


Figura 1 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica no Milho em estádio V3. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico.

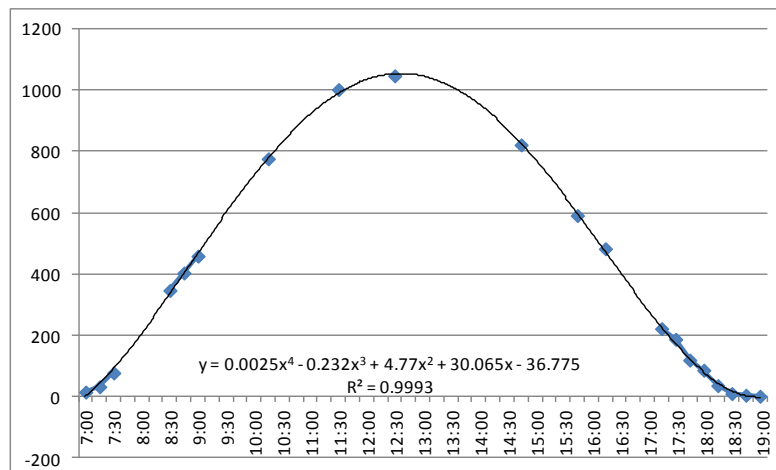


Figura 2 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica no Milho em estádio V6. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico.

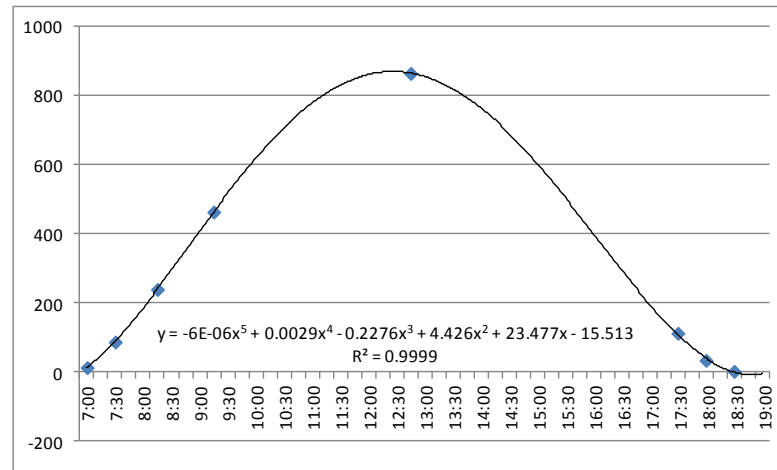


Figura 3 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica no Milho em estádio R1. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico.

APÊNDICE 3 TABELAS REFERENTES AO ARTIGO 2

Tabela 1 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiaçõesolar teórica e Índice de Transperência Instantânea para cada horário referentes à cultura da Soja no estádio R1

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.9120	0.0363	0.7876	7.6	7.6	1.000
2	7:15	0.9147	0.0323	0.7241	22.8	22.8	1.000
3	7:30	0.9108	0.0313	0.6697	54.6	54.6	1.000
4	7:45	0.9082	0.0329	0.6834	94.9	94.9	1.000
5	8:00	0.9087	0.0330	0.6900	125.3	136.1	0.920
6	8:15	0.8948	0.0364	0.6559	192.7	192.7	1.000
7	8:30	0.8989	0.0360	0.6760	238.6	238.6	1.000
8	8:45	0.8884	0.0390	0.6621	288.7	288.7	1.000
9	9:00	0.8985	0.0334	0.6236	352.1	352.1	1.000
10	9:15	0.8887	0.0330	0.5603	400.6	400.6	1.000
11	9:30	0.8847	0.0358	0.5863	451.2	451.2	1.000
12	9:45	0.8752	0.0391	0.5891	510.1	510.1	1.000
13	10:00	0.8667	0.0426	0.5974	572.5	572.5	1.000
14	10:15	0.8732	0.0467	0.6908	646.2	635.6	1.017
15	10:30	0.8754	0.0432	0.6509	697.4	691.8	1.008
16	10:45	0.8768	0.0447	0.6800	744.5	746.1	0.998
17	11:00	0.8865	0.0436	0.7232	781.7	798.0	0.980
18	11:15	0.8818	0.0479	0.7633	819.8	847.0	0.968
19	11:30	0.8540	0.0515	0.6538	864.5	892.7	0.968
20	11:45	0.8754	0.0475	0.7150	904.2	934.7	0.967
21	12:00	0.8679	0.0513	0.7264	942.8	972.8	0.969
22	12:15	0.8447	0.0608	0.7232	956.9	1006.6	0.951
23	12:30	0.8638	0.0524	0.7164	976.7	1035.9	0.943
24	12:45	0.8610	0.0569	0.7625	998.9	1060.4	0.942
25	13:00	0.8644	0.0531	0.7297	1012.0	1080.0	0.937
26	13:15	0.8407	0.0531	0.6125	1021.0	1094.5	0.933
27	13:30	0.8511	0.0532	0.6612	1030.0	1103.8	0.933
28	13:45	0.8511	0.0545	0.6781	1044.0	1107.9	0.942
29	14:00	0.8380	0.0599	0.6795	1080.0	1106.6	0.976
30	14:15	0.8387	0.0619	0.7055	1112.0	1100.0	1.011
31	14:30	0.8514	0.0617	0.7684	1096.0	1088.1	1.007
32	14:45	0.8687	0.0531	0.7554	1074.0	1071.0	1.003
33	15:00	0.8803	0.0425	0.6674	241.0	1048.8	0.230
34	15:15	0.8535	0.0546	0.6911	992.7	1021.8	0.972
35	15:30	0.8522	0.0516	0.6459	768.0	989.9	0.776
36	15:45	0.8601	0.0465	0.6184	970.9	953.6	1.018
37	16:00	0.8602	0.0517	0.6864	949.0	913.1	1.039
38	16:15	0.8619	0.0544	0.7328	928.1	868.7	1.068
39	16:30	0.8854	0.0434	0.7143	315.6	820.6	0.385
40	16:45	0.8967	0.0450	0.8266	163.5	769.5	0.212
41	17:00	0.9016	0.0341	0.6589	118.7	715.6	0.166
42	17:15	0.9202	0.0273	0.6583	138.6	659.4	0.210
43	17:30	0.9164	0.0304	0.6940	117.7	601.5	0.196
44	17:45	0.9096	0.0360	0.7593	81.6	542.4	0.150
45	18:00	0.9050	0.0366	0.7336	59.1	482.8	0.122
46	18:15	0.8988	0.0435	0.8160	37.8	423.1	0.089
47	18:30	0.9060	0.0399	0.8096	76.6	364.3	0.210
48	18:45	0.9182	0.0339	0.7940	80.1	306.8	0.261
49	19:00	0.9181	0.0337	0.7893	63.3	251.6	0.252
50	19:15	0.9149	0.0362	0.8158	78.9	199.5	0.395
51	19:30	0.9131	0.0372	0.8185	73.1	151.2	0.483
52	19:45	0.9002	0.0445	0.8477	116.5	107.8	1.081
53	20:00	0.9016	0.0428	0.8269	83.0	70.0	1.186
54	20:15	0.9050	0.0407	0.8167	55.4	39.0	1.422
55	20:30	0.9073	0.0387	0.7973	12.6	12.6	1.000
56	20:45	0.9076	0.0388	0.8013	0.2	0.2	1.000
57	21:00	0.9183	0.0307	0.7205	0.0	0.0	1.000

Tabela 2 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiaçõesolar teórica e Índice de Transperência Instantânea para cada horário referentes à cultura da Soja no estádio R2

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.9021	0.0326	0.6336	1.7	1.7	1.000
2	7:15	0.9038	0.0326	0.6460	9.8	49.0	0.200
3	7:30	0.9062	0.0315	0.6399	24.6	98.8	0.249
4	7:45	0.9020	0.0326	0.6321	42.6	150.6	0.283
5	8:00	0.8853	0.0393	0.6465	52.1	204.0	0.255
6	8:15	0.8862	0.0386	0.6406	63.7	258.4	0.247
7	8:30	0.8866	0.0391	0.6503	84.1	313.4	0.268
8	8:45	0.8844	0.0378	0.6144	127.1	368.5	0.345
9	9:00	0.8847	0.0373	0.6093	146.2	423.4	0.345
10	9:15	0.8842	0.0408	0.6637	217.3	477.6	0.455
11	9:30	0.8796	0.0440	0.6857	227.2	530.7	0.428
12	9:45	0.8745	0.0436	0.6506	381.3	582.5	0.655
13	10:00	0.8755	0.0403	0.6076	332.7	632.5	0.526
14	10:15	0.8734	0.0435	0.6432	431.0	680.5	0.633
15	10:30	0.8730	0.0469	0.6919	371.1	726.2	0.511
16	10:45	0.8755	0.0430	0.6479	449.8	769.3	0.585
17	11:00	0.8686	0.0453	0.6439	449.5	809.5	0.555
18	11:15	0.8735	0.0430	0.6373	379.6	846.7	0.448
19	11:30	0.8774	0.0460	0.7041	361.6	880.6	0.411
20	11:45	0.8761	0.0478	0.7244	413.7	911.1	0.454
21	12:00	0.8757	0.0452	0.6826	498.3	938.0	0.531
22	12:15	0.8716	0.0486	0.7090	533.7	961.1	0.555
23	12:30	0.8566	0.0424	0.5497	611.6	980.4	0.624
24	12:45	0.8451	0.0481	0.5755	872.4	995.8	0.876
25	13:00	0.8530	0.0468	0.5909	715.6	1007.1	0.711
26	13:15	0.8611	0.0420	0.5635	602.8	1014.4	0.594
27	13:30	0.8582	0.0535	0.7009	1076.0	1017.6	1.057
28	13:45	0.8534	0.0465	0.5890	892.3	1016.7	0.878
29	14:00	0.8531	0.0536	0.6767	1015.0	1015.0	1.000
30	14:15	0.8657	0.0481	0.6687	1003.0	1003.0	1.000
31	14:30	0.8741	0.0472	0.7018	997.3	997.3	1.000
32	14:45	0.8656	0.0472	0.6552	972.6	972.6	1.000
33	15:00	0.8647	0.0469	0.6466	954.7	954.7	1.000
34	15:15	0.8704	0.0465	0.6720	928.0	928.0	1.000
35	15:30	0.8979	0.0350	0.6506	234.9	899.2	0.261
36	15:45	0.8722	0.0484	0.7086	956.0	867.8	1.102
37	16:00	0.8695	0.0448	0.6423	899.3	833.2	1.079
38	16:15	0.8853	0.0362	0.5950	784.0	795.6	0.985
39	16:30	0.8753	0.0401	0.6039	807.1	755.2	1.069
40	16:45	0.8680	0.0430	0.6091	632.3	712.3	0.888
41	17:00	0.8721	0.0425	0.6230	574.0	667.2	0.860
42	17:15	0.8813	0.0389	0.6172	547.2	620.2	0.882
43	17:30	0.8808	0.0403	0.6367	487.3	571.6	0.853
44	17:45	0.8819	0.0434	0.6913	449.6	521.6	0.862
45	18:00	0.8844	0.0450	0.7331	486.0	486.0	1.000
46	18:15	0.8862	0.0437	0.7242	397.0	419.4	0.947
47	18:30	0.8847	0.0454	0.7429	341.7	367.9	0.929
48	18:45	0.8897	0.0411	0.7044	330.1	330.1	1.000
49	19:00	0.8947	0.0367	0.6594	256.3	266.1	0.963
50	19:15	0.8960	0.0389	0.7101	228.2	228.2	1.000
51	19:30	0.8951	0.0398	0.7180	176.9	169.2	1.045
52	19:45	0.8944	0.0383	0.6875	124.7	123.8	1.007
53	20:00	0.9008	0.0353	0.6760	72.6	81.2	0.895
54	20:15	0.8987	0.0347	0.6496	18.2	41.8	0.436
55	20:30	0.9073	0.0314	0.6456	3.9	6.3	0.621
56	20:45	0.9095	0.0279	0.5890	0.0	0.0	1.000
57	21:00	0.9111	0.0275	0.5900	0.0	0.0	1.000

Tabela 3 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiaçõesolar teórica e Índice de Transperência Instantânea para cada horário referentes à cultura do Trigo no estádio V3

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.8671	0.0283	0.3968	0.0	0.0	1.000
2	7:15	0.8619	0.0293	0.3944	1.3	1.3	1.000
3	7:30	0.8624	0.0294	0.3978	7.1	7.1	1.000
4	7:45	0.8638	0.0292	0.3991	22.6	22.6	1.000
5	8:00	0.8608	0.0300	0.4005	34.6	61.0	0.567
6	8:15	0.8544	0.0302	0.3850	58.1	103.0	0.564
7	8:30	0.8487	0.0327	0.3993	71.4	152.4	0.469
8	8:45	0.8445	0.0337	0.4000	95.6	207.5	0.461
9	9:00	0.8477	0.0327	0.3969	94.1	267.0	0.352
10	9:15	0.8506	0.0330	0.4090	93.8	329.3	0.285
11	9:30	0.8535	0.0316	0.4004	56.3	393.2	0.143
12	9:45	0.8365	0.0375	0.4213	292.0	457.3	0.639
13	10:00	0.8308	0.0414	0.4485	529.8	529.8	1.000
14	10:15	0.8350	0.0411	0.4569	574.6	574.6	1.000
15	10:30	0.8400	0.0415	0.4772	280.3	640.3	0.438
16	10:45	0.8449	0.0401	0.4763	406.1	694.9	0.584
17	11:00	0.8148	0.0501	0.4915	518.0	744.9	0.695
18	11:15	0.8100	0.0518	0.4930	446.2	789.5	0.565
19	11:30	0.8215	0.0476	0.4860	242.3	828.2	0.293
20	11:45	0.8229	0.0470	0.4838	198.0	860.4	0.230
21	12:00	0.8053	0.0558	0.5174	696.2	885.6	0.786
22	12:15	0.8086	0.0533	0.5039	598.1	903.5	0.662
23	12:30	0.8195	0.0503	0.5067	319.6	914.0	0.350
24	12:45	0.8199	0.0476	0.4810	231.7	916.7	0.253
25	13:00	0.8190	0.0482	0.4845	260.0	911.7	0.285
26	13:15	0.8110	0.0508	0.4870	341.7	899.0	0.380
27	13:30	0.8155	0.0504	0.4964	401.0	878.8	0.456
28	13:45	0.8137	0.0507	0.4931	366.1	851.2	0.430
29	14:00	0.8102	0.0523	0.4990	588.6	816.6	0.721
30	14:15	0.8248	0.0483	0.5030	370.0	775.4	0.477
31	14:30	0.8347	0.0432	0.4790	183.8	728.2	0.252
32	14:45	0.8606	0.0354	0.4728	118.6	675.5	0.176
33	15:00	0.8404	0.0438	0.5050	620.2	620.2	1.000
34	15:15	0.8553	0.0382	0.4896	338.0	557.1	0.607
35	15:30	0.8653	0.0355	0.4913	161.3	493.0	0.327
36	15:45	0.8628	0.0357	0.4844	127.4	427.1	0.298
37	16:00	0.8409	0.0424	0.4901	509.5	360.4	1.303
38	16:15	0.8645	0.0351	0.4827	168.0	294.3	0.571
39	16:30	0.8597	0.0380	0.5036	248.5	248.5	1.000
40	16:45	0.8728	0.0321	0.4725	43.9	169.2	0.259
41	17:00	0.8749	0.0316	0.4741	34.1	113.3	0.301
42	17:15	0.8752	0.0311	0.4666	25.7	63.9	0.402
43	17:30	0.8773	0.0304	0.4647	17.3	23.0	0.753
44	17:45	0.8798	0.0298	0.4661	2.7	2.7	1.000
45	18:00	0.8784	0.0304	0.4690	0.0	0.0	1.000
46	18:15	0.8817	0.0294	0.4672	0.0	0.0	1.000
47	18:30	0.8740	0.0314	0.4671	0.0	0.0	1.000
48	18:45	0.8751	0.0310	0.4656	0.0	0.0	1.000
49	19:00	0.8719	0.0313	0.4571	0.0	0.0	1.000

Tabela 4 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiaçõesolar teórica e Índice de Transperência Instantânea para cada horário referentes à cultura do Trigo no estádio V8

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.8584	0.0200	0.2624	0.0	0.0	1.000
2	7:15	0.8648	0.0212	0.2923	6.7	6.7	1.000
3	7:30	0.8629	0.0213	0.2895	16.8	29.3	0.574
4	7:45	0.8580	0.0215	0.2804	59.7	59.7	1.000
5	8:00	0.8550	0.0227	0.2904	94.7	94.7	1.000
6	8:15	0.8518	0.0234	0.2920	123.0	138.2	0.890
7	8:30	0.8491	0.0222	0.2722	132.0	185.7	0.711
8	8:45	0.8579	0.0212	0.2775	134.8	236.8	0.569
9	9:00	0.8425	0.0241	0.2812	248.6	290.2	0.857
10	9:15	0.8372	0.0248	0.2792	206.9	344.9	0.600
11	9:30	0.8322	0.0256	0.2789	282.1	399.8	0.706
12	9:45	0.8326	0.0253	0.2767	357.4	454.2	0.787
13	10:00	0.8256	0.0278	0.2915	360.3	506.9	0.711
14	10:15	0.8168	0.0286	0.2837	469.0	557.4	0.841
15	10:30	0.8204	0.0279	0.2830	456.0	604.9	0.754
16	10:45	0.8092	0.0267	0.2533	545.1	648.6	0.840
17	11:00	0.8039	0.0292	0.2692	536.6	688.1	0.780
18	11:15	0.7857	0.0322	0.2690	723.4	723.4	1.000
19	11:30	0.7908	0.0292	0.2506	643.6	752.4	0.855
20	11:45	0.7998	0.0292	0.2629	680.7	776.4	0.877
21	12:00	0.7798	0.0307	0.2480	702.3	794.6	0.884
22	12:15	0.7882	0.0322	0.2725	803.6	806.7	0.996
23	12:30	0.7989	0.0278	0.2487	521.8	812.6	0.642
24	12:45	0.8136	0.0267	0.2600	570.5	812.2	0.702
25	13:00	0.7833	0.0320	0.2631	748.8	805.6	0.930
26	13:15	0.8237	0.0240	0.2488	287.2	792.8	0.362
27	13:30	0.7926	0.0294	0.2547	656.0	773.9	0.848
28	13:45	0.7867	0.0306	0.2571	658.7	749.2	0.879
29	14:00	0.8130	0.0259	0.2515	382.6	718.9	0.532
30	14:15	0.8095	0.0274	0.2606	512.7	683.5	0.750
31	14:30	0.8054	0.0274	0.2546	531.5	643.3	0.826
32	14:45	0.8059	0.0282	0.2627	538.9	598.9	0.900
33	15:00	0.8087	0.0286	0.2710	456.1	550.7	0.828
34	15:15	0.8138	0.0257	0.2503	394.3	499.6	0.789
35	15:30	0.8134	0.0256	0.2488	374.8	446.2	0.840
36	15:45	0.8199	0.0252	0.2553	333.3	391.2	0.852
37	16:00	0.8245	0.0257	0.2679	332.6	335.6	0.991
38	16:15	0.8345	0.0238	0.2648	284.2	284.2	1.000
39	16:30	0.8360	0.0228	0.2557	227.1	227.1	1.000
40	16:45	0.8328	0.0242	0.2654	182.4	182.4	1.000
41	17:00	0.8411	0.0219	0.2546	137.4	137.4	1.000
42	17:15	0.8491	0.0200	0.2449	96.4	96.4	1.000
43	17:30	0.8579	0.0198	0.2597	44.6	46.1	0.968
44	17:45	0.8565	0.0196	0.2545	22.4	22.4	1.000
45	18:00	0.8631	0.0194	0.2644	0.0	0.0	1.000
46	18:15	0.8662	0.0191	0.2664	0.0	0.0	1.000
47	18:30	0.8705	0.0193	0.2788	0.0	0.0	1.000
48	18:45	0.8723	0.0196	0.2879	0.0	0.0	1.000
49	19:00	0.8646	0.0207	0.2854	0.0	0.0	1.000

Tabela 5 Valores de NDVI, Vermelho, Infravermelho próximo, Radiação solar medida, Radiaçõesolar teórica e Índice de Transperência Instantânea para cada horário referentes à cultura do Trigo no estádio V10.5

Amostra	Horário	NDVI	RED	NIR	Radiação Medida	Radiação Teórica	ITI
1	7:00	0.8128	0.0191	0.1848	0.0	0.0	1.000
2	7:15	0.7982	0.0198	0.1764	0.8	0.8	1.000
3	7:30	0.7923	0.0207	0.1786	15.4	15.4	1.000
4	7:45	0.7831	0.0216	0.1771	39.3	39.3	1.000
5	8:00	0.7742	0.0219	0.1717	78.9	78.9	1.000
6	8:15	0.7606	0.0225	0.1655	112.1	106.2	1.056
7	8:30	0.7486	0.0242	0.1683	168.2	146.2	1.151
8	8:45	0.7453	0.0250	0.1711	216.0	190.5	1.134
9	9:00	0.7367	0.0258	0.1704	247.2	238.3	1.037
10	9:15	0.7389	0.0259	0.1721	280.1	288.8	0.970
11	9:30	0.7326	0.0269	0.1741	358.5	341.3	1.050
12	9:45	0.7239	0.0273	0.1703	406.2	394.9	1.029
13	10:00	0.7230	0.0284	0.1764	447.1	447.1	1.000
14	10:15	0.7293	0.0277	0.1766	489.0	502.1	0.974
15	10:30	0.7155	0.0285	0.1716	532.1	554.3	0.960
16	10:45	0.7141	0.0294	0.1761	556.2	604.4	0.920
17	11:00	0.7068	0.0284	0.1655	582.4	651.7	0.894
18	11:15	0.6961	0.0289	0.1613	626.3	695.6	0.900
19	11:30	0.6878	0.0295	0.1594	646.1	735.4	0.879
20	11:45	0.6901	0.0294	0.1601	664.0	770.5	0.862
21	12:00	0.6806	0.0326	0.1719	676.3	800.3	0.845
22	12:15	0.6884	0.0321	0.1742	684.5	824.3	0.830
23	12:30	0.6786	0.0336	0.1756	717.1	842.1	0.852
24	12:45	0.6674	0.0341	0.1712	878.2	853.4	1.029
25	13:00	0.7098	0.0279	0.1644	392.8	857.7	0.458
26	13:15	0.6570	0.0381	0.1847	324.0	855.0	0.379
27	13:30	0.6692	0.0343	0.1730	223.7	845.1	0.265
28	13:45	0.6660	0.0341	0.1702	197.4	828.0	0.238
29	14:00	0.6201	0.0415	0.1770	805.2	803.6	1.002
30	14:15	0.6433	0.0396	0.1826	476.6	772.3	0.617
31	14:30	0.6204	0.0404	0.1727	785.4	734.3	1.070
32	14:45	0.6488	0.0367	0.1722	292.3	690.0	0.424
33	15:00	0.6458	0.0409	0.1902	496.8	639.9	0.776
34	15:15	0.6675	0.0374	0.1880	277.3	584.7	0.474
35	15:30	0.6517	0.0384	0.1831	369.1	525.1	0.703
36	15:45	0.6665	0.0364	0.1823	242.7	462.2	0.525
37	16:00	0.6728	0.0356	0.1824	208.6	397.0	0.525
38	16:15	0.6648	0.0361	0.1795	227.2	330.7	0.687
39	16:30	0.6782	0.0350	0.1831	120.6	264.8	0.455
40	16:45	0.6673	0.0346	0.1738	119.0	200.7	0.593
41	17:00	0.6587	0.0352	0.1712	178.3	140.3	1.271
42	17:15	0.6885	0.0350	0.1901	70.8	85.4	0.829
43	17:30	0.6822	0.0336	0.1782	52.2	52.2	1.000
44	17:45	0.7505	0.0228	0.1601	20.9	20.9	1.000
45	18:00	0.7488	0.0243	0.1691	1.4	1.4	1.000
46	18:15	0.7553	0.0241	0.1732	0.0	0.0	1.000
47	18:30	0.7520	0.0253	0.1787	0.0	0.0	1.000
48	18:45	0.7567	0.0255	0.1841	0.0	0.0	1.000
49	19:00	0.7468	0.0272	0.1875	0.0	0.0	1.000

APÊNDICE 4 FIGURAS REFERENTES AO ARTIGO 2

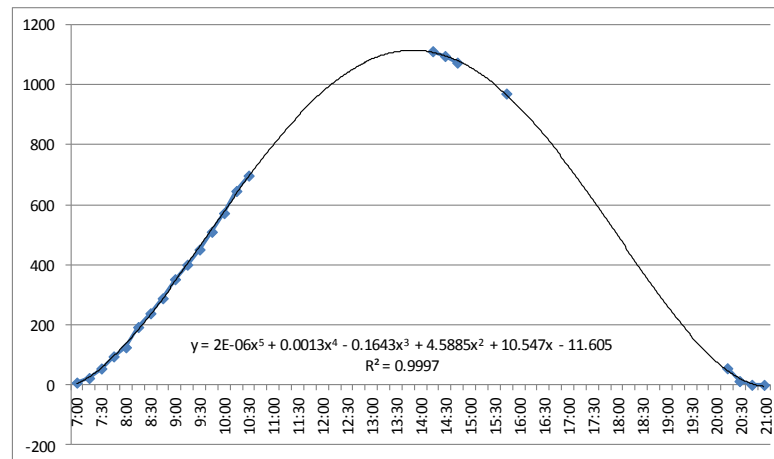


Figura 1 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica na Soja em estádio R1. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico

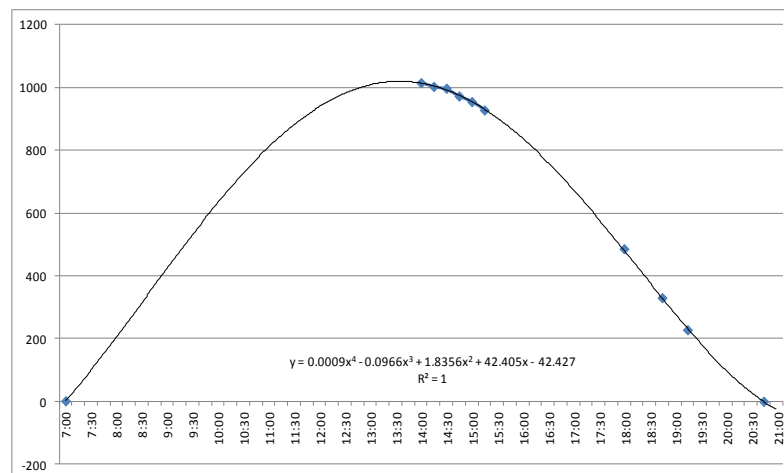


Figura 2 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica na Soja em estádio R2. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico.

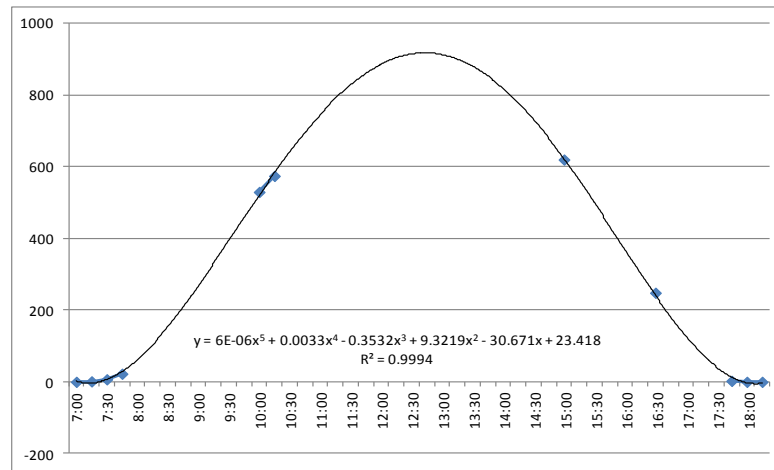


Figura 3 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica no Trigo em estádio V3. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico.

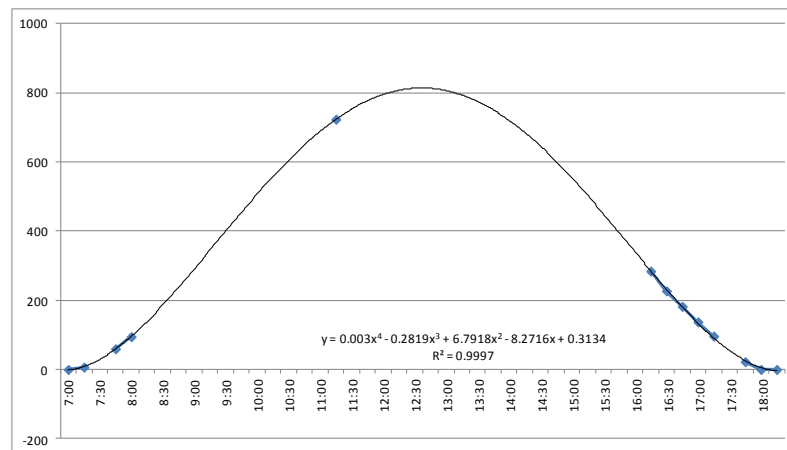


Figura 4 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica no Trigo em estádio V8. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico.

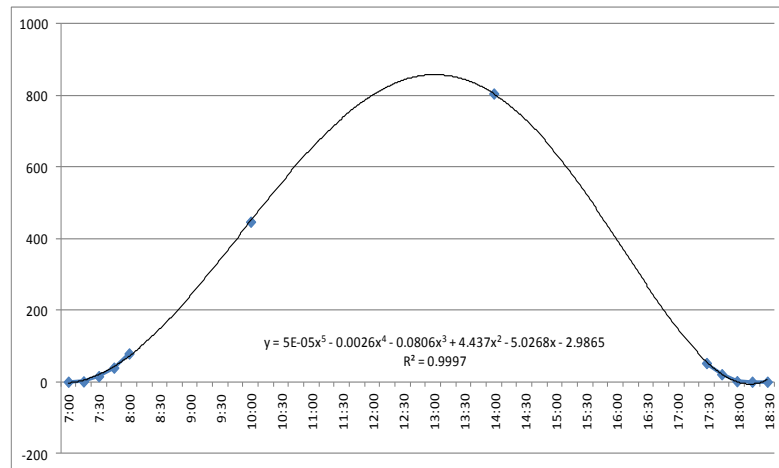


Figura 5 Valores de radiação real, medidos em momentos sem a incidência de nuvens, que serviram como base na determinação da equação de regressão usada para calcular a radiação teórica no Trigo em estádio V10.5. A equação e valor R^2 são exibidos no gráfico.