

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
CÂMPUS JABOTICABAL

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA POR ÍNDICES
ESPECTRAIS EM AVEIA-BRANCA**

José de Arruda Barbosa

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
CÂMPUS JABOTICABAL

**MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA POR ÍNDICES
ESPECTRAIS EM AVEIA-BRANCA**

Discente: José de Arruda Barbosa

Orientador: Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SP

2019

B238m Barbosa, José de Arruda
 Manejo da adubação nitrogenada por índices espectrais
 em aveia-branca / José de Arruda Barbosa. -- Jaboticabal,
 2019
 42 f. : tabs., fotos

 Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
 (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
 Jaboticabal
 Orientador: Rogério Teixeira de Faria

 1. Agricultura de precisão. 2. Sensoriamento remoto. 3.
 Aveia. 4. NDVI. 5. Índice de clorofila. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos
pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA POR ÍNDICES ESPECTRAIS EM AVEIA-BRANCA

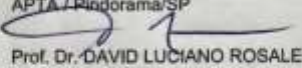
AUTOR: JOSÉ DE ARRUDA BARBOSA

ORIENTADOR: ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em AGRONOMIA (CIÊNCIA DO SOLO), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. ROGÉRIO TEIXEIRA DE FARIA
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Pesquisador Dr. WILLIANS CÉSAR CARREGA
APTA / Riodorama/SP


Prof. Dr. DAVID LUCIANO ROSALEN
Departamento de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 19 de agosto de 2019

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

JOSÉ DE ARRUDA BARBOSA – Brasileiro Filho de Maria Aparecida de Arruda Barbosa e Pedro Soares Barbosa, nasceu na cidade de Limoeiro, Pernambuco, no dia 05 de agosto de 1991. Em Fevereiro de 2013 ingressou no curso de graduação de Engenharia Agrônômica no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco Campus – Vitoria de Santo Antão, com conclusão realizada em janeiro de 2018. Desde o segundo período da graduação foi bolsista de iniciação científica pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), desenvolvendo o projeto intitulado “Amostragem Para Determinação da Atividade da Redutase do Nitrato em Cana-de-Açúcar”, sendo membro do Grupo de pesquisa em Fertilidade do Solo e Agroenergia. Em fevereiro de 2018 mudou-se para o estado de São Paulo para cidade de Jaboticabal, onde em março de 2018 ingressou no mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Câmpus de Jaboticabal, tornando-se membro do grupo de pesquisa em irrigação e meio ambiente (GpIMA) atuando no “Manejo da Adubação Nitrogenada por Índices Espectrais em Aveia-branca”. Foi bolsista (CAPES), com conclusão realizada em agosto de 2019.

EPÍGRAFE

Nas grandes batalhas da vida o primeiro passo

Pra vitória é o desejo de vencer.

(Mahatma Gandhi)

Aos meus pais, irmãs e amigos!

DEDICO.

AGRADECIMENTOS

A Deus e a Nossa senhora de Aparecida por me conceder a vida, e dar força em todas as horas, a caminhada é difícil e sem eles pra me dar forças ela não seria possível.

Aos meus pais, Pedro Soares Barbosa e Maria Aparecida de Arruda Barbosa, pelas lutas e sacrifícios para que eu tivesse oportunidade de estudar e trilhar pelo caminho desejado.

Às minhas irmãs: Emanuela de Arruda Barbosa (Nelinha), Emiliana de Arruda Barbosa (Mi), as melhores irmãs do mundo todim!. E aos meus cunhados João Marcelo, Luan Barbosa.

A toda a minha família em especial ao meu tio Antônio de Melo (Catonhe) sei o quanto ele fica feliz por cada uma das minhas conquistas.

À Adrienne Soares de Lima, pelo incentivo, compreensão e apoio para que continuasse a estudar.

Aos Amigos Irmãos que a vida me deu, Jucelino Abílio de Barros Silva, Antônio Bernadino Neto, Pedro Ramos Neto, Maurício da Silva Mendes, Ilbernon Jobson (Compadre),

Aos meus amigos e amigas dos tempos de graduação, que embora estejam longe torcem pelo meu sucesso. Em especial, Lyllian Brunelli dos Santos, Marcelanio Laurentino, Victor Collignon, Larissa Grasiela de Arruda Ferreira Costa, Victor Hugo de Farias Guedes, Diego Moura, Maria Alves de Moura, Nayara Rose e todos os demais da turma de Agronomia 2013.1.

Ao meu querido professor e orientador e amigo dos tempos de graduação, Renato Lemos dos Santos e toda sua família.

A todos os meus amigos e amigas, que fazem parte do grupo GpIMA, Thayane Leonel Alves, Antônio Michael Bertino, Jonathan dos Santos Viana, Pablo Nascimento de Oliveira França, em especial a meu amigo e parceiro de campo Anderson Prates Coelho, que contribuiu, ajudou, auxiliou, disse como fazer, como não fazer, em fim, foi meu braço direito na condução do experimento (Valeu mesmo!!! ZANGUI) e todos os demais.

Um agradecimento todo especial a Thayane Leonel Alves, por todo o aprendizado, como profissional e principalmente como pessoa pelos concelhos e conversas nas horas de desânimo pelas risadas nas horas de alegria e por todo carinho a mim dedicado.

A Minha amiga Paraense Gabriela Mourão de Almeida (doidinha)

A todos os professores que participaram e contribuíram para minha formação no mestrado, Luiz Fabiano Pallareti, José Renato Zanini (Rei do Gado), Glauco de Souza Rolin, Renato Melo Prado, Ana Claudia Rugieri.

Ao meu prezado orientador, Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria pela paciência, dedicação, atenção, disponibilidade, incentivo, puxões de orelha...

À UNESP - FCAV, por disponibilizar a área de plantio para avaliação e condução do experimento.

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

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para minha formação.

De Coração, Muito Obrigado!!!

SUMÁRIO

RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
LISTA DE TABELAS.....	iv
LISTA DE FIGURAS.....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Aveia branca (<i>Avena sativa</i> L.).....	3
2.2 Adubação Nitrogenada.....	3
2.3 Sensoriamento Remoto na Agricultura.....	6
3 MATERIAL E MÉTODOS	9
3.1 Caracterização da área experimental.....	9
3.2 Delineamento experimental.....	10
3.3 Condução da aveia-branca	12
3.4 Manejo da irrigação	13
3.5 Condições climáticas.....	14
3.6 Avaliações de variáveis-resposta	15
3.7 Análises estatísticas.....	16
4 RESULTADOS	16
5 DISCUSSÃO.....	20
6 CONCLUSÕES.....	21
7 REFERÊNCIAS	22

MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA POR ÍNDICES ESPECTRAIS EM AVEIA-BRANCA

RESUMO: A utilização de novas técnicas para monitoramento de nutrição de plantas baseadas em características espectrais vem ganhando espaço no cenário agrícola mundial por serem promissoras para atender às necessidades de manejo de adubação nitrogenada. Objetivou-se neste trabalho avaliar a resposta de aveia-branca à adubação nitrogenada e aferir o desempenho dos índices Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Índice de Clorofila (ICF) no diagnóstico nutricional da cultura, visando à recomendação de aplicação do nutriente em taxa variável. O experimento foi conduzido na região nordeste do estado de São Paulo, constituído de cinco tratamentos correspondentes às estratégias de manejo de adubação nitrogenada: T1 - 160 kg ha⁻¹ de N, T2 - 90 kg ha⁻¹ de N, T3 - 60 kg ha⁻¹ de N, T4 - NDVI (60 kg ha⁻¹ de N quando NDVI < 90% do tratamento T1) e T5 - ICF (60 kg ha⁻¹ de N quando ICF < 90% do tratamento T1). A cultivar de aveia foi a IAC 7, irrigada por aspersão e a fonte de nitrogênio foi ureia. A aveia-branca não apresentou incrementos de produtividade de biomassa e grãos. Os índices NDVI e ICF foram eficientes para indicar que as plantas apresentavam nutrição adequada em Latossolo vermelho eutrófico de textura argilosa, apontando que, para área em questão, não era necessária a adubação nitrogenada. Portanto, esses índices são promissores para o manejo da adubação nitrogenada em aveia-branca.

Palavras chaves: Agricultura de precisão, Clorofilog, GreenSeeker, ICF, NDVI, Sensoriamento remoto.

MANAGEMENT OF NITROGEN FERTILIZATION BY SPECTRUM INDICES IN WHITE OAT

ABSTRACT: The use of remote sensing techniques for plant nutrition has been considered a novel technology in worldwide agriculture. Efficiency in fertilizer management is a goal to be achieved and the use of modern tools based on remote sensing is promising to meet these needs. The objective of this work is to evaluate the response of the oat crop to nitrogen fertilization and also the performance of the NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) and FCI (Foliar Chlorophyll Index Index) in the identification of the response of this crop to doses of nitrogen and in the recommendation of nitrogen application at variable rates. A field experiment was conducted from in the Northeast region of Sao Paulo state, Brazil, with treatments corresponding to five strategies of nitrogen fertilization management: T1 - 160 kg ha⁻¹ de N, T2 - 90 kg ha⁻¹ de N, T3 - 60 kg ha⁻¹ de N, T4 - NDVI (60 kg ha⁻¹ de N when NDVI < 90% of the treatment T1); T5 - ICF (60 kg ha⁻¹ de N when ICF < 90% of the treatment T1). The oat cultivar was IAC 7, irrigated by sprinkling and the nitrogen source was urea. The NDVI and ICF indexes were efficient to indicate that the plants presented adequate nutrition in a red clayey eutrophic Red Latosol, indicating that nitrogen fertilization is not necessary, and they are promising for the management of nitrogen fertilization in white oats.

Keywords: Chlorophyll, GreenSeeker, ICF, NDVI, Precision Agriculture, Remote Sensing.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental. Jaboticabal, SP..... 9

Tabela 2. Características química do solo da área experimental. Jaboticabal, SP..... 9

Tabela 3. Períodos de crescimento e coeficientes de cultura (kc) da aveia-branca 13

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Área do experimento..... 9
- Figura 2. Croqui da área experimental 5 tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5), com quatro repetições..... 10
- Figura 3. Temperaturas máximas, mínimas e médias diárias (A) e precipitação, ETc e lâmina de irrigação diárias (B) para o período experimental de 02 de maio de 2018 a 11 de agosto de 2018..... 14
- Figura 4. Variação dos índices espectrais NDVI e ICF relativos ao tratamento referência (160)..... 16
- Figura 5. Médias da produtividade de grãos (PG) e B - biomassa (BS) para os tratamentos de adubação nitrogenada em cobertura na aveia-branca. (T1 - 160 kg ha⁻¹; T2 - 90 kg ha⁻¹; T3 - 60 kg ha⁻¹; T4 - NDVI; T5 - ICF)..... 17
- Figura 6. Evolução dos índices espectrais A - NDVI e B - ICF, para o manejo da adubação nitrogenada em cobertura de aveia-branca, em relação ao tratamento referência (160 kg ha⁻¹ de N). NDVI – índice de vegetação por diferença normalizada; ICF – índice de clorofila 18
- Figura 7. Teor foliar de nitrogênio dos tratamentos sob adubação nitrogenada em cobertura na aveia branca aos 27 (A), 43 (B), 57 (C) e 71 (D) dias após a semeadura da cultura..... 19

1 INTRODUÇÃO

A aveia branca (*Avena sativa* L.) é um cereal que pode ser utilizado para diversos fins de consumo humano ou animal, e também para formação de pastagens de inverno e cobertura do solo em sistemas de rotação de culturas.

A importância da cultura vem crescendo exponencialmente no Brasil, sendo que a área plantada passou de 106,1 mil ha⁻¹ em 2007 para 291,5 mil ha⁻¹ em 2017, crescimento de 174% (Conab, 2017). Na região sudeste do Brasil, a cultura da aveia é limitada pelo suprimento hídrico deficiente durante o período de outono inverno, havendo necessidade de uso de irrigação.

Para obtenção de altas produtividades na região sudeste, além do uso de irrigação, há necessidade de fertilização do solo, dentro os quais se destacam os fertilizantes nitrogenados. O nitrogênio (N) é o fator de maior importância para produção de matéria seca (MS) e produtividade de grãos, depois do clima, sendo um dos nutrientes absorvidos em maior quantidade pela maioria das culturas (Malavolta, 2006). Portanto, o manejo da adubação nitrogenada é extremamente importante para que as culturas expressem seu potencial produtivo.

Na planta, o N é constituinte de proteínas, enzimas, ácidos nucléicos e citocromos e, principalmente, integrante da molécula de clorofila, além de participar de uma série de rotas metabólicas-chave em sua bioquímica, sendo constituinte de biomoléculas como ATP, NADH, NADPH (Malavolta, 2006). Conseqüentemente, a falta de fertilizantes nitrogenados pode afetar o crescimento da planta, a produtividade e a qualidade de grãos. O nitrogênio é um dos nutrientes mais estudados e a resposta no crescimento de várias culturas é variável, devido à complexa dinâmica do nutriente no solo. (Cantarella et al., 2007).

A eficiência na aplicação e manejo do nitrogênio na cultura é essencial, visto que as perdas desse elemento são consideráveis, devido sua alta mobilidade no perfil do solo decorrente da solubilidade em água, sendo, portanto facilmente lixiviado e/ou volatilizado. O manejo convencional de adubação nitrogenada se baseia em recomendações de aplicação de nitrogênio em doses fixas previamente definidas com base em pesquisas de respostas das culturas em função da dose aplicada. Primavesi et al., (2004) apontam que a máxima produtividade de forragem

em plantio convencional é obtida com dose de 160 kg ha^{-1} , porém, para produção de grãos, doses de 80 kg ha^{-1} garantem produtividades que variam de $3,2 \text{ t ha}^{-1}$ (Kolchinski e Schuch, 2003) a $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ (Ceccon et al., 2004). Silva et al. (2016) indicam que a dose mais viável economicamente à produção de aveia-branca é de 60 kg ha^{-1} . Valores fixos de adubação desconsideram a variabilidade espacial da concentração de nutrientes, da área de cultivo e também que a necessidade nutricional da cultura pode variar com a época de semeadura, ano de cultivo, condições climáticas, fertilidade do solo, cultivar e irrigação.

Métodos convencionais, embora confiáveis, são trabalhosos para avaliar, quantificar e diagnosticar a concentração e necessidade nutricional de nitrogênio na planta. Nesses métodos, analisam-se amostras de material vegetal em laboratório como, por exemplo, pelo método Kjeldahl que envolve processos como digestão, destilação e titulação. (Tedesco et al., 1985).

Novas técnicas que viabilizam e atendam as necessidades de manejo e nutrição de culturas de acordo com as necessidades e particularidades de cada plantio, vêm ganhando espaço na agricultura praticada nos dias de hoje. Tecnologias baseadas em características espectrais do dossel de culturas podem ser amplamente utilizadas, tais como o NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é o índice de vegetação mais conhecido. Dentre outras aplicações, o NDVI pode ser utilizado como indicador da condição nutricional das culturas, pois essa característica é estreitamente correlacionada com as variações da coloração verde apresentada pela cultura (Zhao et al., 2015; Leroux et al., 2016). O NDVI é muito utilizado para avaliação de biomassa, uma vez que reduz o efeito da interferência do solo e restos culturais, na resposta da vegetação, bem como as influências da atmosfera e das variações sazonais do ângulo do solo.

Outro índice indicado para monitoramento em tempo real da nutrição de plantas com relação ao nitrogênio é o Índice de Clorofila (ICF), medindo-se superfícies foliares pelo clorofímetro ClorifiLOG (Falker, 2008). O aparelho utiliza fotodiodos para emitir em três comprimentos de onda, dois dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila (635 e 660nm), e o outro no infravermelho próximo (880nm), além de um sensor inferior que recebe a radiação transmitida através da estrutura foliar (Barbiere Junior et al., 2012).

Estudos reportados na literatura destacam a eficiência dos índices espectrais NDVI e ICF pelo fato de haver correlação significativa entre a intensidade da cor verde com o teor de clorofila e com a concentração de N na folha, permitindo ainda estimar o estado de N da planta em tempo real (Gil et al., 2002). Portanto, servem para prognosticar a necessidade de adubação nitrogenada, descartando análises destrutivas e viabilizando as avaliações.

As hipóteses deste estudo são as de que a aveia-branca responde à adubação nitrogenada (i) e que as condições nutricionais da cultura podem ser diagnosticadas por índices espectrais NDVI e ICF, possibilitando indicar a necessidade da adubação nitrogenada da cultura (ii).

A fim de testar essas hipóteses, os objetivos desse trabalho foram avaliar a resposta de aveia-branca à adubação nitrogenada e aferir o desempenho dos índices espectrais NDVI e ICF no diagnóstico nutricional da cultura, visando à recomendação de aplicação do nutriente em taxa variável.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aveia branca (*Avena sativa* L.)

O centro de origem da aveia é assinalado como sendo a Ásia Menor ou o norte da África (Allard 1971). Coffman (1961) relata que esse gênero se disseminou como planta daninha entre as culturas de trigo e cevada, perdurando e resistindo ao longo do tempo por apresentar-se rústica e adaptável às condições climáticas adversas. As primeiras aveias apareceram cerca de 1.000 a.C na Europa central (Helback, 1959) e esse gênero foi se evoluindo como cultura secundária (Holden, 1979).

A aveia é classificada como pertencente à divisão Magnoliophyta, classe Liliopsida, família Poaceae e gênero *Avena*, caracterizada como uma planta autógama, que atinge aproximadamente 1 m de altura, apresenta raízes fasciculadas e inflorescências do tipo panícula. É uma gramínea C3 cultivada predominantemente em clima temperado. Todavia, pode ser cultivada em regiões

subtropicais e tropicais, desde que a temperatura no período do florescimento da cultura não ultrapasse 32 °C (Primavesi et al., 2004).

No Brasil, predominam dois tipos, a aveia-branca (*Avena sativa* L.) e a aveia-amarela (*Avena byzantina* C. Koch), ambos com duplo propósito, produção de grãos ou de forragem. A aveia-branca, devido a sua multiplicidade de usos, é considerada como excelente opção agrícola para cultivo no inverno. Pode ser utilizada ainda para produção de palhada em sistema de plantio direto, pastejo direto, produção de feno ou silagem (Mori et al., 2012).

Quando plantada para produção de grãos, o produto é utilizado tanto para alimentação humana quanto animal, fazendo parte da composição de rações, uma vez que possui composição com 58,7% de carboidratos e 14% de proteínas (Welch, 2011).

A importância da cultura da aveia vem crescendo exponencialmente no Brasil, uma vez que a área plantada de 2007 a 2017 passou de 106,1 mil ha⁻¹ para 291,5 mil ha⁻¹, um crescimento de 174% (Conab, 2017). Para 2019, o prognóstico de área plantada é de aproximadamente 372,5 mil ha⁻¹, correspondente ao acréscimo de mais de 80 mil ha⁻¹ comparado a 2017, as regiões de maior produção de aveia-branca no Brasil são Mato Grosso do Sul, Paraná e Rio Grande do Sul respectivamente. Para 2019 é estimada a produção de 836,3 mil toneladas, (Conab, 2019). O aumento das áreas de cultivo comprova que, de fato, a cultura tem seu espaço no mercado consumidor e importância para os estados produtores.

Um fator limitante para a expansão da cultura de aveia no Brasil é a deficiência hídrica nas regiões de cultivo. Nas condições de inverno seco da região sudeste, a média histórica de precipitação para o período de cultivo de aveia é inferior à necessidade hídrica da cultura, estimada em 312,9 mm (Frizzone et al., 1995).

Em Jaboticabal, a precipitação média histórica entre maio e agosto é de 130 mm, cerca de 60% inferior a necessidade da cultura. Dessa maneira, para obtenção de produtividades elevadas e retorno econômico positivo, é indispensável à utilização de irrigação. Para a sustentabilidade do sistema, é necessário aplicar a dose ótima de N e a lâmina ideal de irrigação que se maximiza o maior rendimento do cultivo.

2.2 Adubação Nitrogenada

A quantidade ideal de fertilizante nitrogenado aplicado na lavoura depende não só da demanda da cultura, mas também da resposta esperada. Embora pareça uma decisão fácil de ser tomada, erros e decisões equivocadas podem acontecer (Colaço e Bramiley 2018).

Dentre os fertilizantes utilizados nos sistemas de produção agrícola aponta-se o nitrogênio como um dos que gera maior custo de produção, porém a sua essencialidade na nutrição vegetal o torna indispensável para o bom desenvolvimento das culturas, sendo ele fundamental no metabolismo vegetal por participar diretamente na biossíntese de proteínas e clorofilas (Andrade et al. 2003). Em função de sua grande importância, tem sido amplamente estudado por pesquisadores, a fim de otimizar o manejo da adubação nitrogenada.

O nitrogênio é de alta dinâmica no solo podendo ser facilmente perdido no sistema solo-planta-atmosfera. Seu manejo e recomendação são complexos devido à multiplicidade de reações químicas e biológicas a que está sujeito, dependente das condições do ambiente e do solo que se encontra, podendo ocorrer perdas por lixiviação, volatilização, desnitrificação e erosão, quando manejado de maneira inadequada (Rambo et al., 2008).

O uso de fertilizantes nitrogenados é muito importante para incrementar a produtividade da cultura de aveia. Estudos apontam que a máxima eficiência econômica do cultivo de forragem em plantio convencional é obtida com dose de 160 kg ha^{-1} (Primavesi et al., 2004), e para produção de grãos, doses de 80 kg ha^{-1} garantem produtividades que variam de $3,2 \text{ t ha}^{-1}$ (Kolchinski e Schuch, 2003) a $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ (Ceccon et al., 2004).

A disponibilidade de nitrogênio no solo depende das condições hídricas e químicas do solo. Considerando que esses fatores extremamente instáveis, a determinação dos teores de nitrogênio no solo é complexa, sendo muitas das vezes mal estimada (Colaço e Bramley, 2018). Assim, a resposta da aplicação de nitrogênio em cultivos agrícolas depende também estresse hídrico (Kablan et al., 2017).

Rotineiramente as recomendações de adubação nitrogenada são baseadas em resposta de culturas em função da dose aplicada, sendo essas doses previamente definidas em ensaios e experimentos. Desta forma, as doses na maioria das vezes são fixas de acordo com a cultura que vai ser manejada, porém esse tipo de manejo desconsidera a variabilidade espacial do ambiente e também o fato de que cada ano de produção tem suas particularidades e influência na dinâmica dos elementos no solo e, conseqüentemente, as doses de N podem facilmente variar de acordo com as condições do ambiente.

Há uma preocupação constante com a poluição do meio ambiente proveniente do manejo inadequado de fertilizantes nitrogenados, especialmente dos recursos hídricos por nitrato e da atmosfera por óxido nitroso. Essa questão tem estimulado a busca de sistemas de manejo que aperfeiçoe a eficiência da adubação nitrogenada com maior aproveitamento do nutriente pelas culturas e maior produtividade e lucratividade ao produtor, considerando o benefício/custo e a sustentabilidade do agroecossistema (Raun e Johnson, 1999; Amado et al., 2002).

2.3 Sensoriamento Remoto na Agricultura

O sensoriamento remoto é o conjunto de procedimentos e técnicas que visa à representação e coleta de dados da superfície terrestre sem a necessidade de um contato direto. Assim sendo, toda a informação é obtida por meio de sensores e instrumentos em geral. Tal processo vincula-se ao tratamento, armazenamento e análise de dados para que se conheçam melhor os fenômenos que se apresentam na superfície terrestre, o desenvolvimento e o rendimento das culturas podem ser acompanhados de maneira eficiente utilizando a reflectância do dossel que é uma das técnicas de sensoriamento remoto (Scudiero et al., 2016).

Modelos com base nestas reflectâncias têm sido muito utilizados a fim de diagnosticar o estado nutricional das plantas dentre outros fatores relacionados à produção agrícola (Vincini et al., 2014; 2015). As técnicas de sensoriamento remoto, possibilita que o produtor obtenha as informações da lavoura de maneira não-destrutiva, rápida e, às vezes, à distância, tornando-se uma ferramenta de

fundamental importância na obtenção e tratamento dos dados de campo (Mulla, 2013; Ali et al., 2017).

De fato, essas técnicas desempenham um papel importante no campo em diagnósticos como, por exemplo: estimativa de produtividade, avaliação nutricional, detecção de pragas e doenças, previsão do tempo, avaliação da necessidade hídrica das plantas obtidas em momento específico.

Na agricultura, o uso do sensoriamento remoto permite a definição de ações no manejo de culturas. Diversos índices podem ser utilizados para o sensoriamento remoto, apresentando baixo custo, elevada viabilidade e indicando com precisão o estado fisiológico das culturas (Zarco-Tejada et al., 2013). Com a crescente demanda por alimentos e, conseqüentemente, a necessidade de aumento de produção e produtividade, a otimização de adubação da cultura é essencial visto que adubação feita de acordo com as necessidades da cultura é sinônima de nutrição adequada para o bom desenvolvimento e rendimento das plantas.

Estimativas de produtividade, biomassa, teor de proteína, necessidade de adubação nitrogenada e controle de plantas daninhas são mais alguns exemplos de manejos utilizados a partir do sensoriamento remoto (Yao et al., 2012; Kapp Júnior et al, 2016; Pantazi et al., 2016). A partir do mapeamento da resposta espectral das culturas em função dos valores desses índices, por exemplo, manejos como adubação e irrigação em taxa variável podem ser recomendados com melhor precisão, visto que é levada em consideração a variabilidade espacial de cada subárea, podendo então a tomada de decisão ser baseada na real necessidade da cultura e de acordo com cada área de plantio.

Para contornar as limitações dos métodos convencionais de avaliação de nutrição das culturas, surgiram novas tecnologias, como as baseadas em ferramentas de sensoriamento remoto. O "GreenSeeker®" é um desses sensores, desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA), na década de 1990. Este aparelho utiliza diodos de emissão de radiação nas faixas do vermelho (650 nm) e infravermelho próximo (770 nm). A leitura de reflectância é calculada por microprocessador interno, fornecendo o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que é transmitido a um computador portátil adaptado ao sensor (Ntech Industries, 2008). O NDVI possibilita avaliação de múltiplas culturas para

diferentes propósitos em diferentes escalas (Domínguez et al.,2015; Tornos et al., 2014).

O NDVI é calculado pela razão da subtração dos valores de reflectância no infravermelho próximo (PIV) e do vermelho (Pv) pela soma desses valores, ambos em nm:

$$NDVI = \frac{PIV - Pv}{PIV + Pv} \quad (1)$$

em que: PIV – é reflectância no infravermelho próximo e Pv – é a reflectância no vermelho.

O NDVI pode variar de -1 a +1, sendo que os valores negativos e próximos a zero representam pouca vegetação ou baixo vigor vegetativo e os valores positivos e próximos a +1 representam maior vigor vegetativo de crescimento da cultura (Liu, 2006).

Outro aparelho indicado para avaliação em tempo real e estimação da nutrição da planta é o clorofiLOG, que gera o Índice de Clorofila Falker (ICF), medindo-se teores de clorofila usando-se 3 faixas de frequência de luz. Serve para prognosticar a necessidade de adubação nitrogenada, descartando análises destrutivas.

As avaliações de NDVI e ICF permitem identificar o estado nutricional das plantas, especialmente em relação ao nitrogênio (Santos et al., 2017; Coelho et al., 2018; Zhao et al., 2018). Isso é possível devido à correlação entre o teor relativo de clorofila nas folhas das plantas e o teor de nitrogênio presente também nas folhas, uma vez que o nitrogênio faz parte da molécula de clorofila.

Diagnosticar a necessidade da planta pelo nitrogênio à medida que a cultura vai se desenvolvendo no campo é uma estratégia que, de fato, pode contribuir para ganhos de produtividade, visto que atender as demandas da cultura de acordo com as suas reais necessidades para cada fase, favorece o seu desenvolvimento, podendo através do diagnostico aplicar fertilizante em taxa variável.

Pesquisas realizadas na Austrália, Brasil e EUA apontam que somente 15 a 25% dos produtores de grãos utilizam a aplicação de fertilizante de taxa variável (Llewellyn e Ouzman, 2014; Molin, 2017; Schimmelpfennig e Ebel, 2016). Para que se possa elevar a adoção dessa tecnologia, é importante o aperfeiçoamento e

disseminação das novas práticas capazes de auxiliar na tomada de decisão para adubação em taxa variável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual Paulista - Unesp, em Jaboticabal – SP (Figura 1) (latitude $21^{\circ}14'44''\text{S}$, longitude $48^{\circ}17'00''\text{W}$ e altitude média de 545 m). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, (1948) é do tipo Aw, subtropical, com temperatura média anual de 22°C , inverno seco e precipitação anual normal de 1.424,6 mm concentrada no verão (Alvares et al., 2013).



Figura 1. Área experimental

Fonte: Google Earth Pro

O solo da área experimental é classificado em Latossolo Vermelho eutrófico (Embrapa, 2013), cujas características físicas são apresentadas na Tabela 1 e químicas na Tabela 2.

Tabela 1 Características físicas do solo da área experimental. Jaboticabal, SP.

Prof. (cm)	Ds* (g cm ⁻³)	Umidade na CC* (cm ³ cm ⁻³)	Umidade no PMP* (cm ³ cm ⁻³)	Areia total (g kg ⁻¹)	Argila (g kg ⁻¹)	Silte (g kg ⁻¹)	Textura do solo
0-20	1,45	0,45	0,33	310	470	220	Argiloso
20-40	1,49	0,41	0,30	270	530	200	Argiloso

Ds: densidade; CC: capacidade de campo; PMP: ponto de murcha permanente.

Tabela 2 Características químicas do solo da área experimental. Jaboticabal, SP.

Camada M	pH	M.O. g dm ⁻³	P _{res.} mg dm ⁻³	S	H+Al	Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V %
Camada M	B	Cu	Fe	Mn	Zn	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
0 - 0,20	5,6	40	67	5	21	1	3,4	36	13	52,7	73,9	71
0,20-0,40	5,8	40	68	5	20	1	3,2	36	11	50,3	70,4	71
0 - 0,20	0,33	6,7	53	23,6	5,6							
0,20-0,40	0,31	5,5	42	21	4,6							

M.O.: matéria orgânica; SB: soma de bases trocáveis; V: saturação por bases

3.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em delineamento com blocos casualizados, com quatro repetições e cinco tratamentos de adubação nitrogenada: T1 – (160 kg ha⁻¹); T2 - (90 kg ha⁻¹); T3 - (60 kg ha⁻¹); T4 - NDVI (60 kg ha⁻¹ quando NDVI < 90% de T1); e T5 - ICF (60 kg ha⁻¹ quando ICF < 90% de T1). Os tratamentos T1 e T2 foram baseados nas recomendações de Primavesi et al. (2004) para obtenção de produtividades máximas de forragem e grãos, respectivamente, e o tratamento T3 foi baseado na recomendação de Silva et al. (2016), que indicam a dose econômica para produção de aveia-branca.

As parcelas experimentais mediam 5 m de comprimento por 2,4 m de largura, com área total do experimento de 240 m². Os primeiros 0,40 m iniciais de cada lado das parcelas foram considerados bordadura, resultando em área útil de 8,64 m² (Figura 2).

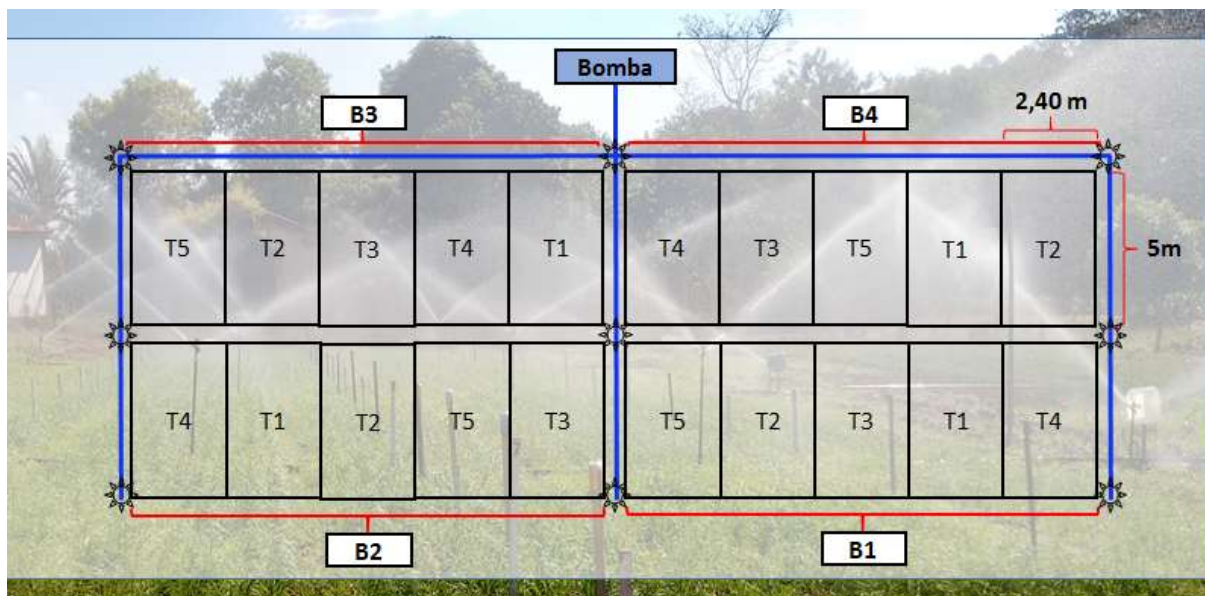


Figura 2. Croqui da área experimental 5 tratamentos (T1, T2, T3, T4, T5), com quatro repetições.

Para os tratamentos em função dos índices espectrais, foram realizadas medidas semanais dos índices entre 22 dias após a emergência (DAE) e 57 DAE, compreendendo os estádios fenológicos 4 – início do aparecimento do pseudocaule; 8 – segundo nó formado; 10 – lígula FB visível; 10.5.4 – final florescimento, grão leitoso, segundo escala fenológica de Feekes e Large (Large, 1954). Caso a avaliação dos índices NDVI e ICF estivesse entre 90 e 95% do tratamento referência (T1), as medidas eram novamente realizadas 3 dias após, caso estivesse abaixo de 90% era feita a adubação. A definição da dose do tratamento T3 foi realizada em função do estudo de Silva et al. (2016), sendo a dose mais viável economicamente à produção de aveia-branca.

A adubação no tratamento referência (T1) foi parcelada em duas aplicações iguais, sendo a primeira aos 15 DAE (80 kg ha^{-1} de N) e a segunda juntamente com a dos tratamentos T2 e T3, que foram realizadas aos 27 DAE, conforme recomendado para aveia (Escosteguy et al., 2014). Os manejos T4 e T5 não receberam adubação de cobertura. A adubação no tratamento referência ocorreu antes dos demais tratamentos para dar tempo da cultura absorver N e, se necessário, na primeira avaliação com os índices espectrais, fazer a adubação desses tratamentos, uma vez que para NDVI e ICF o primeiro monitoramento de

necessidade de adubação se iniciou no mesmo dia da adubação dos tratamentos T2 e T3.

Os valores de NDVI foram medidos utilizando um sensor portátil, GreenSeeker®, que é um sensor ativo e gera automaticamente o índice de vegetação NDVI, a partir da medida da resposta espectral da banda do vermelho (650 nm) e do infravermelho próximo (770 nm). A obtenção de dados de NDVI foi realizada manualmente, o aparelho foi direcionado ao centro em cada parcela na altura de 0,5 m sobre o dossel da aveia-branca. A área amostrada por parcela foi de 5,9 m², correspondente a 9,8 m de deslocamento pela largura útil de 0,6 m captada pelo sensor, gerando-se valor médio de 20 a 30 medições de NDVI por repetição.

Para a obtenção do índice de clorofila foi utilizado o clorofilômetro portátil Clorofilog Falker. O índice de clorofila foi medido em cinco plantas por parcela, utilizando-se a folha bandeira da mesma (Coelho et al., 2018). A medida foi realizada no centro de cada folha.

Após as leituras de NDVI e ICF, foram feitas as médias dos valores dos índices de cada tratamento. Quando o índice do tratamento em função do NDVI e do ICF foi menor do que 90% do índice do tratamento referência foi realizado a adubação no dia seguinte à avaliação, na dose de 60 kg ha⁻¹ de N referente à dose econômica recomendada para cultura.

3.3 Condução da aveia-branca

A área experimental foi anteriormente cultivada com *Brachiaria brizantha* cv. Marandu entre 2013 e 2017. Entre maio e agosto de 2017 a área foi cultivada com aveia-branca, ficando em pousio até a safra de inverno de 2018. A aveia-branca cultivar IAC 7 foi semeada no dia 2 de maio de 2018, na densidade de 80 kg ha⁻¹ de sementes e espaçamento de 0,17 m entre linhas. Esse genótipo tem como características agronômicas, altura variando de 0,90 a 1,20 m, ciclo precoce (90 a 120 dias), produtividade de grãos de até 4 Mg ha⁻¹, produtividade de palha de até 15 Mg ha⁻¹, além de possuir dupla aptidão, porém utilizada principalmente para produção de grãos.

A calagem foi realizada 30 dias antes da instalação do experimento, com dose de 1,5 Mg ha⁻¹ de calcário com PRNT 80. A adubação de base foi realizada com 20 - 160 - 80 kg ha⁻¹ de N - P₂O₅ - K₂O, utilizando ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio como fontes respectivamente. O controle de pragas, doenças e plantas daninhas foram realizados conforme orientações fitotécnicas para a cultura.

3.4 Manejo da irrigação

O experimento foi irrigado de maneira uniforme com aspersores espaçados de 12 m entre linhas de e 6 m entre aspersores. A irrigação foi realizada após o consumo da água facilmente disponível, correspondente a 23 mm, calculada como sendo 50% da capacidade de água disponível (CAD). A CAD foi estimada pelo produto entre a profundidade efetiva de raízes da aveia (40 cm) e água disponível, obtida pela diferença entre umidades na capacidade de campo e ponto de murcha permanente (Tabela 3). O consumo hídrico da cultura (ET_c) foi calculado de acordo com o método FAO 56 pelo produto entre o coeficiente de cultura (K_c) e a evapotranspiração de referência (ET_o), de acordo com Allen et al., (1998), estimada diariamente pela equação de Penman-Monteith, parametrizada pelo método FAO 56:

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \left(\frac{900 U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)} \quad (2)$$

em que:

ET_o – evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;

Δ – declividade da curva de pressão de vapor na saturação *versus* temperatura do ar, kPa °C⁻¹;

R_n – saldo de radiação na superfície do cultivo (MJ m⁻² d⁻¹);

G – fluxo total de calor no solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

γ – coeficiente psicrométrico (kPa °C⁻¹);

U₂ – velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

e_s – pressão de vapor na saturação (kPa);

e_a – pressão de vapor atual, (kPa);

T – temperatura média diária do ar (°C);

A evapotranspiração da cultura da aveia (ETc) foi calculada pela Equação 2, estimada com os coeficientes de cultura (kc) (Tabela 3), de acordo com Allen et al. (1998):

$$ETc = ETo \cdot kc \quad (3)$$

em que:

ETc – Evapotranspiração da cultura, mm dia⁻¹;

kc – coeficiente de cultura, tabelado, adimensional.

Tabela 3. Períodos de crescimento e coeficientes de cultura (kc) da aveia-branca.

Períodos	Kc
0 a 10% de cobertura vegetal	0,30
10 a 80% de cobertura vegetal	0,75
80 a 100% de cobertura vegetal	1,15
Maturação	0,25

3.5 Condições climáticas

As temperaturas máximas, mínimas e médias diárias são apresentadas na Figura 3A, cujas médias para o período experimental foram 28,2 °C, 14,2 °C e 20,6 °C, respectivamente. A precipitação e ETc acumuladas para o ciclo da aveia foram de 50,9 mm e 170,6 mm, respectivamente (Figura 3B). A lâmina de total irrigação aplicada durante o ciclo de cultivo foi de 140 mm.

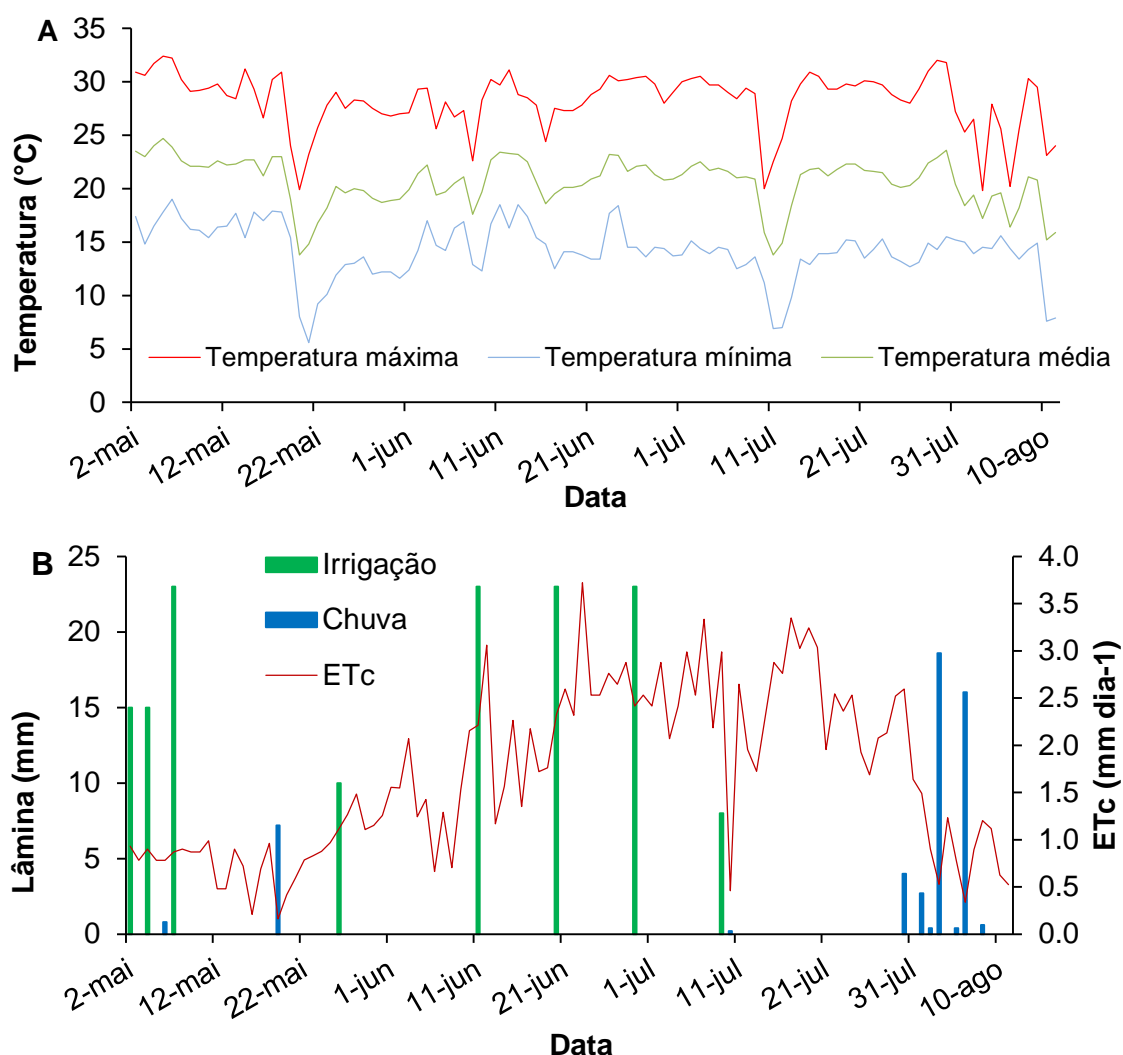


Figura 3. Temperaturas máximas, mínimas e médias diárias (A) e precipitação, ETc e lâmina de irrigação diárias (B) para o período experimental de 02 de maio de 2018 a 11 de agosto de 2018.

3.6 Avaliações de variáveis-resposta

Além dos índices espectrais, NDVI e ICF, determinou-se o teor de N foliar pelo método de Kjeldahl (Tedesco et al., 1985) em 5 plantas por parcela, nos estádios de afilhos formados (3), lígula da folha bandeira visível (9), todas as espigas fora da bainha (10.5) e por ocasião da colheita (11.4), de acordo com a escala fenológica para cereais de inverno de Feekes & Large (Large, 1954).

Foram determinados ainda às produtividades de grãos e produtividade de biomassa. A produtividade de grãos foi determinada colhendo-se a área de 2 m² por parcela, correspondente a 2 m de comprimento por 1 m de largura, padronizando-se a umidade dos grãos em 14%. Para determinação da produtividade de matéria seca total (MS), foi colhida a parte aérea das plantas em 0,5 m² da parcela útil e depois levadas à estufa de circulação forçada, a 65 °C por 72 horas, para a obtenção da matéria seca.

3.7 Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F), ao nível de 5% de probabilidade e, quando necessário, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, com auxílio do programa computacional AgroEstat (Barbosa e Maldonado Jr., 2015).

4 RESULTADOS

Em nenhuma das avaliações realizadas desde 22 dias após a emergência da cultura (DAE) até 57 DAE (estádio 10.5.4 - final de florescimento-grão no estágio aquoso), os tratamentos com manejo de adubação nitrogenada em função dos índices espectrais (T4 e T5) não apresentaram índices NDVI e ICF menores do que 90% em relação ao tratamento referência (T1) (Figura 4). Consequentemente, não foi aplicado nitrogênio em cobertura nestes tratamentos, uma vez que as medidas indicaram a mesma resposta espectral do dossel em comparação com o tratamento referência, que recebeu 160 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

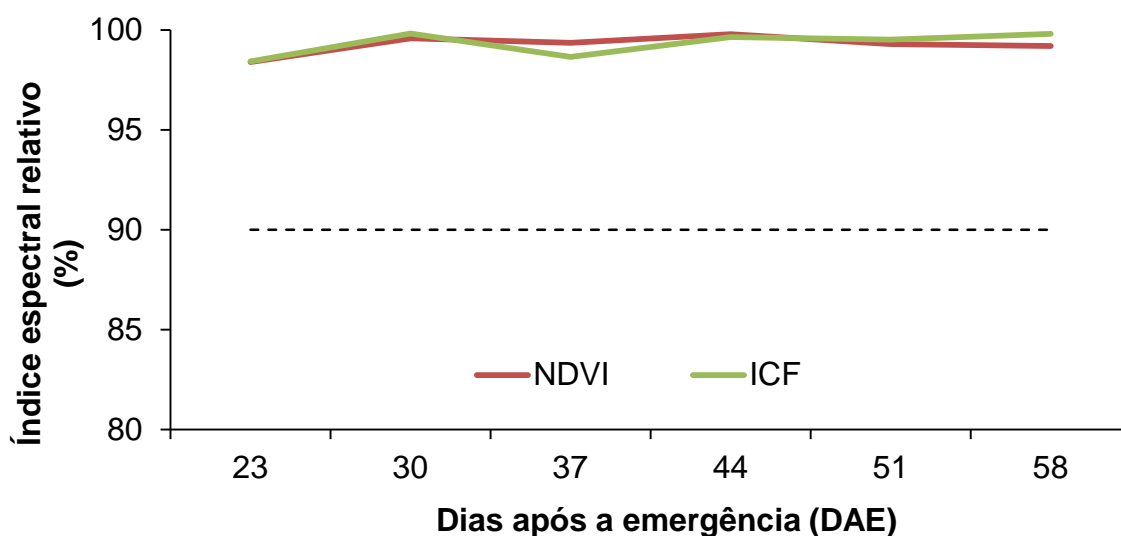


Figura 4. Variação dos índices espectrais NDVI e ICF relativos ao tratamento referência (T1 – 160 kg ha⁻¹).

Análise estatística revelou ausência de significância entre os tratamentos testados para a produtividade de grãos (PG) (Figura 5A), produtividade de biomassa (PB) (Figura 5B). Estes resultados indicam a semelhança entre os manejos de adubação nitrogenada adotados, confirmando que o estado nutricional das plantas foi similar entre os tratamentos, mesmo com a ausência de adubação nitrogenada nos tratamentos com manejo monitorado pelos índices NDVI e ICF. Portanto, os índices indicados pelos sensores que medem NDVI e ICF são compatíveis com as respostas das plantas nos tratamentos em função das estratégias de manejo o que indica a confiabilidade do método para indicar o estado nutricional da cultura.

A produtividade de grãos dos tratamentos variou entre 3,5 e 4,2 Mg ha⁻¹ (Figura 5A) e a PB entre 8,3 e 10 Mg ha⁻¹ (Figura 5B). A avaliação dessas variáveis de rendimento é importante, pois a aveia-branca pode ser cultivada para duplo propósito, para a produção de grãos ou para forrageira na alimentação animal. Dessa maneira, o manejo da adubação nitrogenada em cobertura na aveia-branca pode ser indicado independentemente do propósito da produção, uma vez que apresentou valores estatisticamente iguais ($p > 0.05$) aos demais tratamentos para a PG e PB, inclusive em relação ao tratamento referência (T1).

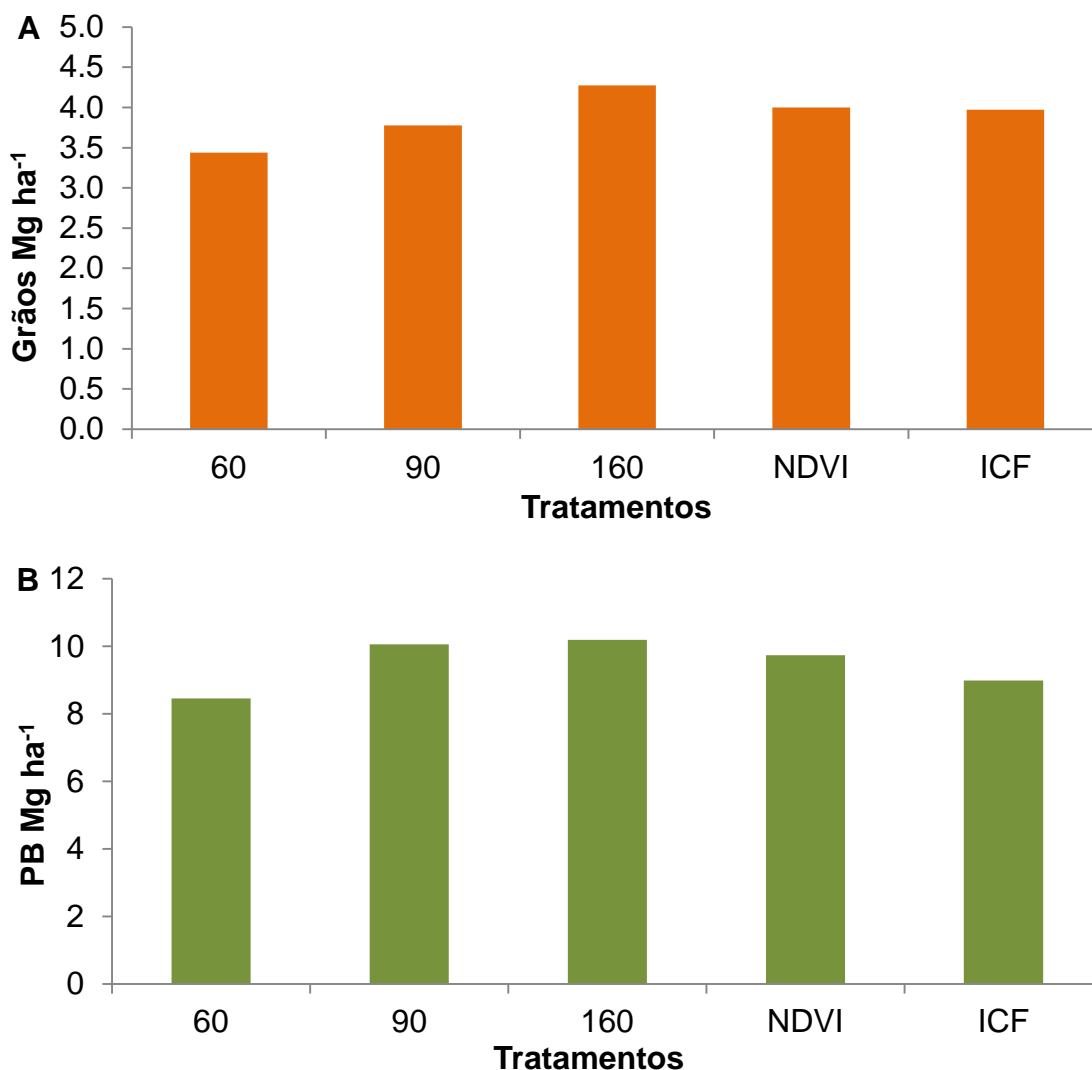


Figura 5. A - Médias da produtividade de grãos (PG) (A) e B – produtividade de biomassa (PB) para os tratamentos de adubação nitrogenada em cobertura na aveia-branca. (T1 - 160 kg ha⁻¹; T2 - 90 kg ha⁻¹; T3 - 60 kg ha⁻¹; T4 - NDVI; T5 - ICF).

As leituras de NDVI (Figura 6A) e ICF (Figura 6B) durante o período experimental foram similares nos tratamentos monitorados pelos sensores óticos (T4 – NDVI e T5 – ICF), que não receberam adubação, e no tratamento referência (T1 - 160 kg ha⁻¹), que recebeu a maior dose de N. Portanto, devido à emissão espectral semelhante, pode-se aferir que o estado nutricional das plantas foi semelhante, principalmente em relação ao nutriente nitrogênio, conforme vários trabalhos relatados na literatura (Santos, et al. 2017; Zhao, et al. 2018; Coelho, 2019).

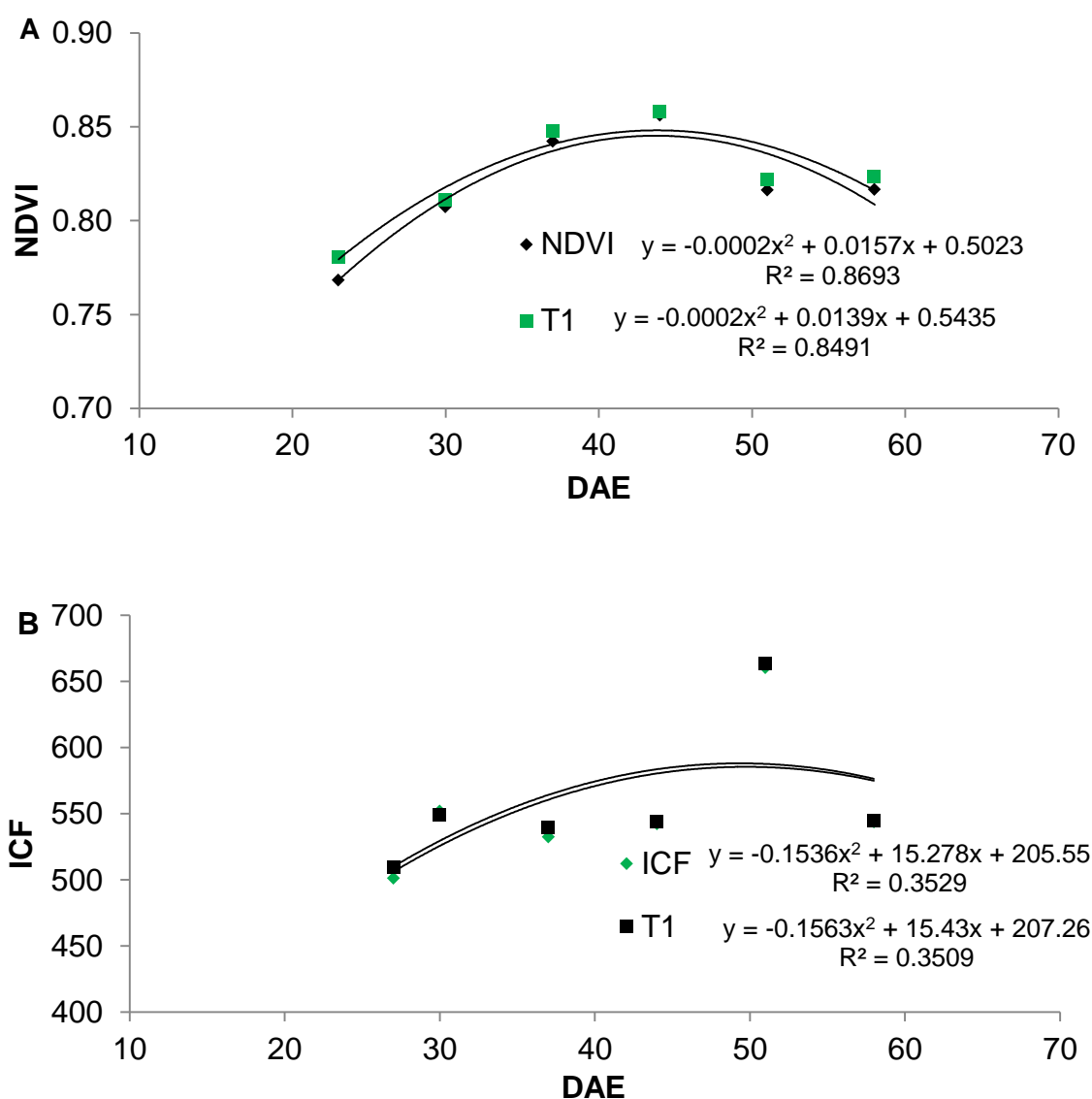


Figura 6. Evolução dos índices espectrais A - NDVI e B - ICF, para o manejo da adubação nitrogenada em cobertura de aveia-branca, em relação ao tratamento referência (160 kg ha^{-1} de N). NDVI – índice de vegetação por diferença normalizada; ICF – índice de clorofila.

Em similaridade aos valores de produtividade e às emissões espectrais, em nenhuma avaliação durante o ciclo da cultura houve diferenças estatísticas para o teor de N foliar entre os tratamentos (Figura 7A). Os tratamentos apresentaram o máximo teor de N foliar na avaliação realizada aos 57 DAE (Figura 7C), quando estavam no estágio fenológico de 10.5.4 (final do florescimento, grão leitoso).

Cantarella et al. (1996) aponta as faixas de teores foliares de N adequado para cultura como sendo 20 a 30 g kg⁻¹. Além disso, verificando a faixa do teor de N adequado para a aveia-branca, no estágio fenológico 10.5.4, observa-se que nenhum tratamento apresentou teor de N inferior ao limite mínimo estabelecido (20 g kg⁻¹), indicando não existir deficiência de N para os tratamentos do presente estudo.

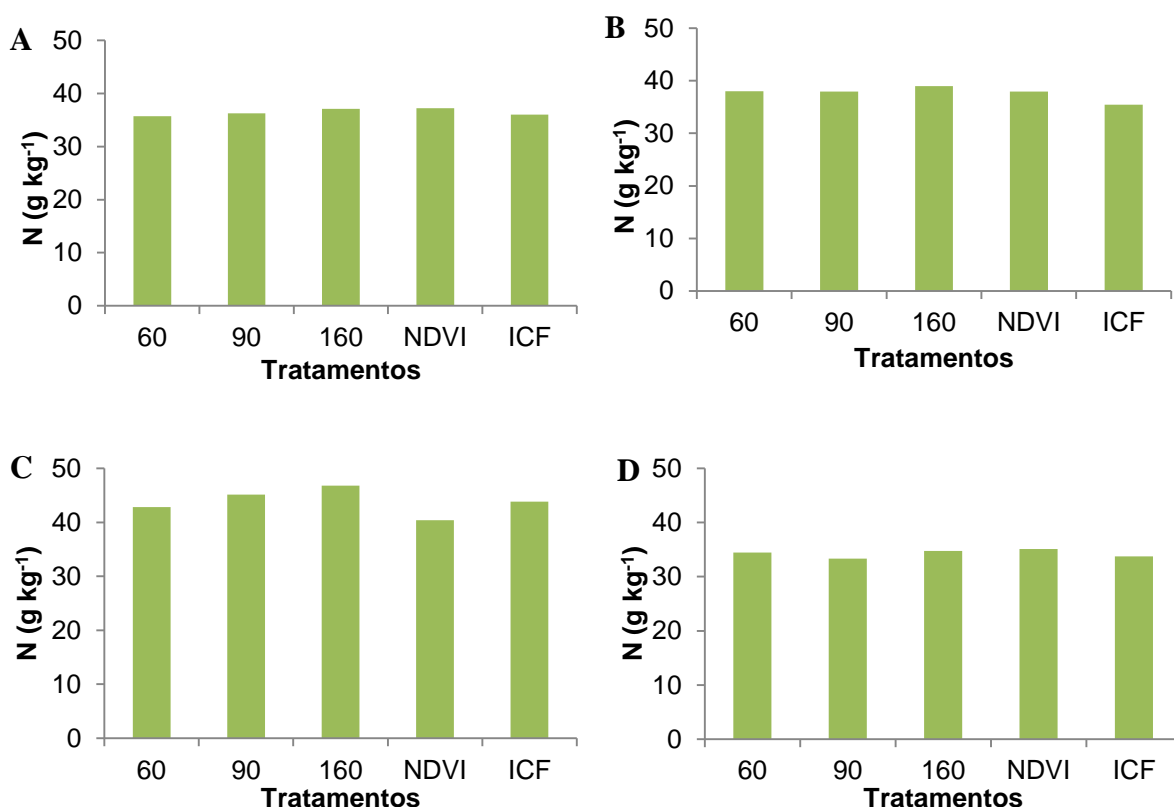


Figura 7. Teor foliar de nitrogênio (N) dos tratamentos sob adubação nitrogenada em cobertura na aveia branca aos 27 (A), 43 (B), 57 (C) e 71 (D) dias após a semeadura da cultura.

5 DISCUSSÃO

Kolchinski et al., (2003) relatam que cultivares de aveia-branca apresentam aumentos lineares na produção de biomassa com a aplicação de quantidades crescentes de N, o que não ocorreu neste estudo. A baixa resposta da aveia-branca à adubação nitrogenada no presente experimento ocorreu devido ao fato de que o

solo da área experimental apresentava 4% da matéria orgânica (40 g dm^{-3}), teores de fósforo e de bases trocáveis elevados e saturação por bases acima de 70% até a profundidade de 0,40 m (Tabela 2), indicando ter elevada fertilidade natural, segundo Cantarella et al. (1996). A maioria dos solos brasileiros apresenta teores de matéria orgânica em torno de 25 g dm^{-3} (Embrapa, 2010).

As necessidades de N para aveia-branca podem ter sido supridas pela quantidade do nutriente aplicada via fertilizante mineral na semeadura (20 kg ha^{-1}), juntamente com o N mineralizado oriundo do alto teor de matéria orgânica do solo. Esses resultados são também corroborados por Coelho (2019), que na mesma área do presente estudo, verificou que não houve diferença significativa para a produtividade de biomassa de aveia-branca quando foram aplicadas doses entre 10 e 95 kg ha^{-1} de N em cobertura via efluente de esgoto. Portanto, as altas produtividades de biomassa e grãos obtidas em todos os tratamentos podem ser atribuídas à alta fertilidade do solo e ao suprimento hídrico adequado ao longo do ciclo de crescimento da cultura.

Como a necessidade nutricional é crescente com o decorrer do ciclo da cultura, até atingir um ponto máximo, geralmente deficiências nutricionais podem ser diagnosticadas por sensoriamento remoto com maior precisão em estádios próximos ao florescimento das culturas (Rhezali e Lahlali, 2017). No presente trabalho mesmo na fase de maior exigência nutricional não houve diferenças entre a dose máxima de 160 kg ha^{-1} de N e a ausência da adubação.

Com uso das técnicas de avaliação e monitoramento da cultura através dos índices espectrais é possível ao produtor ter menores gastos com a compra de fertilizante nitrogenado, redução de operações em campo para realizar adubação além de evitar o desperdício de adubo, e preservar o meio ambiente visto que não haverá aplicação desnecessária provocando excessos desses elementos no solo.

6 CONCLUSÕES

A aveia-branca não apresentou incrementos de produtividade de biomassa e grãos para doses de N de zero a 160 kg ha^{-1} , devido ao elevado teor de matéria orgânica do solo.

Os índices NDVI e ICF foram eficientes para diagnosticar que as plantas apresentavam nutrição adequada, em Latossolo Vermelho eutrófico Argiloso em adubação de cobertura, indicado que, para área em questão, não era necessária a adubação nitrogenada.

O manejo da adubação nitrogenada em cobertura na cultura de aveia-branca monitorado por índices espectrais é promissor e proporciona redução no uso desse nutriente.

7 REFERÊNCIAS

Ali, MM, Al-Ani, A, Eamus, D, Tan, DKY (2017) Leaf nitrogen determination using non-destructive techniques – a review. **Journal of Plant Nutrition** 40:928–953.

Allard RW (1971) Introdução e cultivo de plantas. In.: Allard RW (Ed.) **Princípios do melhoramento genético das plantas**. Nova Iorque: John Wiley & Sons, p.16-24.

Allen RG, Pereira LS, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration - **Guidelines for computing crop water requirements** Rome: FAO. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper 56).

Alvares CA, Stape JL, Sentelhas PC, Gonçalves JLM, Sparovek G (2013) Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift** 22(6):711-728.

Amado TJC, Mielniczuk J, Aita C (2002) Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no Rio Grande do Sul e Santa Catarina adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 26(1):241-248.

Andrade AC, Fonseca DMD, Queiroz DS, Salgado LT, Cecon PR (2003) Adubação nitrogenada e potássica em capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. Cv.Napier). **Ciência Agrotecnica**, Edição Especial 1643-1651.

Barbieri Junior E, Rossiello ROP, Silva RVMM, Ribeiro RC, Morenz MJF (2012) Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural** 42(12):2242-2245.

Barbosa JC, Maldonado Junior W (2015) **AgroEstat** - system for statistical analysis of agronomic trials. Jaboticabal: FCAV/UNESP. p. 396.

Cantarella H, Raij BV, Camargo CEO (1996) Cereais. In: Raij BV, Cantarella H, Quaggio JÁ, Furlani AMC. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico; Fundação IAC 45-47. (Boletim Técnico, 100).

Cantarella H, Trivelin PCO, Vitti AC (2007) Nitrogênio e enxofre na cultura da cana-de-açúcar. In: Yamada T, Abdalla SRS, Vitti GC. (Ed.). **Nitrogênio e enxofre na agricultura brasileira**. Piracicaba: IPNI Brasil 355-412.

Ceccon G, Grassi FH, Bicudo SJ (2004) Rendimento de grãos de aveia-branca (*Avena sativa* L.) em densidades de plantas e doses de nitrogênio. **Ciência Rural** 34(6):1723-1729.

Coelho AP (2019) **Desempenho Agrônômico De Aveia-Branca, Avaliado Por Sensoriamento Remoto, Sob Aplicação De Efluente De Esgoto Tratado E Níveis De Irrigação**. 76p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal.

Coelho AP, Rosalen DL, Faria RT (2018). Vegetation indices in the prediction of biomass and grain yield of white oat under irrigation levels. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. 48(2):109-117.

Coffman FA (1961) Oats and oat Improvement. Madison: the **American Society of Agronomy**, 650p.

Colaço, A.F.; Bramley, R.G.V (2018) Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? **Field Crops Research**. 218:126–140.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2017) **Acompanhamento da safra brasileira: grãos**. Sexto Levantamento, 4(6):1-126 Disponível em: < http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/17_03_14_15_28_33_boletim_graos_marco_2017bx.pdf > Acesso em 15 mai. 2019.

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento (2019) **Acompanhamento da safra brasileira**: grãos. v. 6 - Safra 2018/19 - Nono levantamento, Brasília, p. 1-113 junho 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/monitoramento-agricola> Acesso em 15 mai. 2019.

Dominguez JA, Kumhálová J, Novák P (2015) Winter oilseed rape and winter wheat growth prediction using remote sensing methods. **Plant Soil Environment** 61(9): 410-416.

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2010) **Conceitos de Fertilidade do Solo e Manejo Adequado para as Regiões Tropicais**. Embrapa Monitoramento por Satélite. 1-28 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8).

Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (2013) **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3 ed. Brasília, 353.

Escosteguy PAV, Fontoura SMV, Carvalho IQ (2014) Fertilidade do solo, calagem e adubação. In.: Lângaro NC, Carvalho IQ (Eds.) **Indicações técnicas para a cultura da aveia**: XXXIV Reunião da Comissão Brasileira de Pesquisas de Aveia Fundação ABC 24-43.

Falker - Automação agrícola (2008) **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila** (ClorofiLOG/CFL 1030). Porto Alegre, 33. Disponível em: <http://www.falker.com.br/produto_download.php?id=4>. Acesso em: 13 maio. 2019.

Frizzone JA, Teodoro REF, Pereira AS, Botrel TA (1995) Lâminas de água e doses de nitrogênio na produção de aveia (*Avena sativa* L.) para forragem. **Scientia Agricola** 52 (3):578-586.

Gil PT, Fontes PCR, Cecon PR, Ferreira FA (2002) Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira** 20 (4):611-615.

Helback H (1959) Domestication of Food Plants in the Old World: Joint efforts by botanists and archeologists illuminate the obscure history of plant domestication. **Science** 130:365-372.

Holden J (1979) Oats. *Avena* spp. (Gramineae – aveneae). In: Simmonds, N W (ed.) **Evolution of Crop Plants**. New York: Longman 339p.

Kablan LA, Chabot V, Mailloux A, Bouchard M, Fontaine D, Bruulsema T (2017) Variability in corn yield response to nitrogen fertilizer in eastern Canada. **Agronomy Journal** 109 (5):2231-2442

Kapp Junior C, Guimarães AM, Caires EF (2016) Use of active canopy sensors to discriminate wheat response to nitrogen fertilization under no-tillage. **Engenharia Agrícola** 36:886-894.

Kluthcouski J, Yokoyama LP (2003) Opções de integração lavoura-pecuária. In: Kluthcouski J, Stone L, Aidar H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, p.131-141.

Kolchinski EM, Schuch LOB (2003) Eficiência no uso do nitrogênio por cultivares de aveia-branca de acordo com a adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 27:1033-1038.

KÖPPEN W (1948) **Climatologia**: com um studio de los climas de la tierra. México: Fondo de Cultura Econômica, 478 p.

Large EC (1954) Growth stages in cereals illustration of the Feekes scale. **Plant pathology** 3:128-129.

Leroux L, Baron C, Zoungrana B, Traoré SB, Seen DL, Bégué A (2016) Crop monitoring using vegetation and thermal indices for yield estimates: case study of a rainfed cereal in semi-arid west africa. *IEEE J. Selected Topics in Appl. Earth Observations and Remote Sens* 9:347-362.

Liu WTH (2006) **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 908.

Llewellyn R, Ouzman J (2014) Adoption of precision agriculture-related practices: status, opportunities and the role of farm advisers. **Report for Grains Research and Development Corporation**, 76.

Malavolta E (2006) **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 631 p. il.

Molin JP (2017) **Agricultura de precisão**: números do mercado brasileiro. Agricultura de Precisão Boletim Técnico 3. Disponível em: http://www.agriculturadeprecisao.org.br/upimg/publicacoes/pub_-boletim-tecnico03—agricultura-de-precisao-numeros-do-mercado-brasileiro-11-04-2017.pdf Acesso em: 12 de julho de 2019.

Mori C, Fontaneli RS, Santos HP (2012) **Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da aveia**. Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS, nº 136.

Mulla DJ (2013) Twenty five years of remote sensing in precision agriculture: key advances and remaining knowledge gaps. **Biosyst. Eng** 114:358-371.

Ntech Industries. **Greenseeker Manuals**. Disponível em: <http://www.ntechindustries.com/greenseeker-manual.html>. Acesso em: 25 mai. 2018.

Pantazi XE, Moschou D, Bravo C (2016) Active learning system for weed species recognition based on hyperspectral sensing. **Biosystems Engineering** 146:193-202.

Primavesi AC, Primavesi O, Cantarella H, Godoy R (2004) Resposta da aveia-branca à adubação em Latossolo vermelho-Amarelo em dois sistemas de plantio. **Revista Brasileira de Zootecnia** 33(1):79-86.

Rambo L, Silva PRF, Strieder M, Delatorre CA, Bayer C, Argenta G (2008) Adequação de doses de nitrogênio em milho com base em indicadores de solo e de planta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** 43(3):401-409.

Raun WR, Johnson GV (1999) Improving nitrogen use efficiency for cereal production. **Agronomy Journal** 91(3): 357-363.

Rhezali A, Lahlali R (2017) Nitrogen (N) Mineral Nutrition and Imaging Sensors for Determining N Status and Requirements of Maize. **Journal of Imaging** 3:51-60.

Santos GO, Rosalen DL, Faria RT (2017) Use of active optical sensor in the characteristics analysis of the fertigated brachiaria with treated sewage. **Engenharia Agrícola** 37:1213-1221.

Schimmelpfennig D, Ebel R (2016) Sequential adoption and cost savings from precision agriculture. **Journal of Agricultural and Resource Economics** 41(1):97–115.

Scudiero E, Corwin DL, Wienhold BJ, Bosley B, Shanahan JF, Johnson CK (2016) Downscaling Landsat 7 canopy reflectance employing a multi-soil sensor platform. **Precision Agriculture** 17:53-73.

Silva JAG, Goi Neto CJ, Fernandes SBV, Mantai RD, Scremin OB, Pretto R (2016) Nitrogen efficiency in oats on grain yield with stability. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** 20(12):1095-1100.

Tedesco MJ, Volkweiss SJ, Bohnen H (1985) **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Paginação irregular (Boletim técnico, 5).

Tornos L, Huesca M, Dominguez JA, Moyano MC, Cicuendez V, Recuero L, Palacios-Orueta A (2014) Assessment of MODIS spectral indices for determining rice paddy agricultural practices and hydroperiod. ISPRS J. **Photogrammetry Remote Sensing** 101:110-124.

Vincini M, Amaducci S, Frazzi E (2014) Empirical estimation of leaf chlorophyll density in winter wheat canopies using Sentinel-2 spectral resolution. **IEEE Trans. Geoscience Remote Sensing** 52:3220-3235.

Vincini M, Calegari F, Casa R (2015) Sensitivity of leaf chlorophyll empirical estimators obtained at Sentinel-2 spectral resolution for different canopy structures. **Precision Agriculture** 17:313-331.

Welch RW (2011) Nutrient Composition and Nutritional Quality of Oats and Comparisons with Other Cereal. In: WEBSTER, F.H.; WOOD, P.J. (Eds.). **Oats, Chemistry and technology**. Minnesota: St. Paul, p.95-98.

Yao Y, Miao Y, Huang S, Gao L, Ma X, Zhao G et al. (2012) Active canopy sensorbased precision N management strategy for rice. **Agronomy for sustainable development** 32:925-933.

Zarco-Tejada PJ, González-Dugo V, Williams LE, Suárez L, Berni JÁ, Goldhamer D, Fereres E (2013). A PRI-based water stress index combining structural and chlorophyll effects: Assessment using diurnal narrow-band airborne imagery and the CWSI thermal index. **Remote sensing of environment** 138:38-50.

Zhao B, Duan A, Ata-Ul-Karim St, Liu Z, Chen Z, Gong Z (2018) Exploring new spectral bands and vegetation indices for estimating nitrogen nutrition index of summer maize. **European Journal of Agronomy** 93:113-125.

Zhao T, Stark B, Chen Y, Ray AL, Doll D (2015) A detailed field study of direct correlations between ground truth crop water stress and normalized difference vegetation index (NDVI) from small unmanned aerial system (sUAS). Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) **International Conference on IEEE** 520-525.