

## SENSOR ATIVO COMO FERRAMENTA DE ESTIMATIVA DE NITROGÊNIO E CLOROFILA EM VARIEDADES DE CAFÉ

Crislaine Alves Ladeira<sup>1</sup>; José Renato Emiliano dos Santos<sup>2</sup>; Diogo Santos Sousa<sup>3</sup>; Daniel Santos Freire<sup>4</sup>; Ingrid Thalia Prado de Castro<sup>5</sup>; Gabriel Fernandes Pinto Ferreira<sup>6</sup>; Maíra do Carmo Neves<sup>7</sup>; Carmela Amália Scipioni<sup>8</sup>; Odair Lacerda Lemos<sup>9</sup>.

<sup>1</sup> Mestranda em Fitotecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, crislaine.ladeira@gmail.com

<sup>2</sup> Mestrando em Fitotecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, renato.jose20@gmail.com

<sup>3</sup> Graduando em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, d99067253@gmail.com

<sup>4</sup> Graduando em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, danielfreirester@gmail.com

<sup>5</sup> Graduanda em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, giycastro@gmail.com

<sup>6</sup> Doutorando em Agronomia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, gabriel\_fpf@hotmail.com

<sup>7</sup> Mestranda em Fitotecnia, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA, mayagronomia@gmail.com

<sup>8</sup> Graduanda em Engenharia Florestal, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista – BA,

carmelascipionii@gmail.com

<sup>9</sup> Docente, Departamento de Engenharia Agrícolas e Solos, Vitória da Conquista – BA, prof.odairlemos@gmail.com

**RESUMO:** O objetivo do trabalho foi verificar a relação entre os valores de NDVI obtidos por meio sensor ativo GreenSeeker®, Trimble, USA e valores de clorofila e nitrogênio foliar em duas variedades de café. O experimento foi conduzido no município de Encruzilhada, pertencente à região produtora de café denominada Planalto da Conquista, sudoeste da Bahia, em uma área de 5 ha de café da cultivar Catuaí 62 com 6 anos de idade, e uma outra área adjacente de 5 ha de café da cultivar Acauã com 11 anos de idade. Foram medidos valores do Índice de Clorofila Falker (ICF) em 5 pares de folhas em ramos produtivos (terceiro ou quarto par de folhas, a partir do ápice do ramo) no terço médio da planta, totalizando 20 folhas por ponto. Valores de NDVI foram obtidos com o auxílio de um sensor óptico ativo manual terrestre (GreenSeeker®, Trimble, USA), com a medição feita a 0,50 metros da cultura no terço médio da planta, nas mesmas plantas que foram realizada a leitura do teor de clorofila. O teor de N nas folhas para cada ponto amostral foi determinado usando-se uma amostra de 20 folhas, sendo coletadas sempre as folhas nas quais foram feitas as leituras do ICF. Foram imediatamente acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada a 65-70 °C, por 72 horas, moídas e submetidas à digestão sulfúrica. Os resultados indicam uma possibilidade da utilização do sensor GreenSeeker como ferramenta para a estimativa de teores de nitrogênio foliar, portanto sua utilização de forma precisa ainda de estudos mais aprofundados visando uma calibração entre cultivares e provavelmente entre estágios fenológicos. Tais estudos poderão trazer aos produtores grande otimização para as operações de campo na cultura do café.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sensoriamento remoto, Greenseeker, Índice de vegetação, NDVI.

## ACTIVE SENSOR AS A NITROGEN AND CHLOROPHYLL ESTIMATE TOOL IN COFFEE VARIETIES

**ABSTRACT:** The objective of this work was to verify the relationship between NDVI values obtained through GreenSeeker®, Trimble, USA active sensor and chlorophyll and leaf nitrogen values in two coffee varieties. The experiment was carried out in the municipality of Encruzilhada, belonging to the coffee producing region called Planalto da Conquista, southwestern Bahia, in a 5 ha area of 6 year old Catuaí 62 coffee, and another adjacent area of 5 ha. of coffee of the cultivar Acauã with 11 years old. Chlorophyll Falker Index (ICF) values were measured on 5 leaf pairs in productive branches (third or fourth leaf pair from the apex of the branch) in the middle third of the plant, totaling 20 leaves per point. NDVI values were obtained with the aid of a terrestrial manual active optical sensor (GreenSeeker®, Trimble, USA), with the measurement made at 0.50 meters from the crop in the middle third of the plant, in the same plants that were read from chlorophyll content. The leaf N content for each sampling point was determined using a 20-leaf sample, and the leaves on which the ICF readings were taken were always collected. They were immediately placed in paper bags and dried in a forced-circulation oven at 65-70 °C for 72 hours, ground and subjected to sulfuric digestion. The results indicate a possibility of using the GreenSeeker sensor as a tool to estimate leaf nitrogen levels, therefore its use needs even further studies aiming a calibration between cultivars and probably between phenological stages. Such studies may bring producers great optimization for field operations in coffee culture.

**KEY WORDS:** Remote Sensing, Greenseeker, Vegetation Index, NDVI.

## INTRODUÇÃO

O Brasil é o principal produtor mundial de café (*Coffea* sp.) e esse produto se destaca na economia do país como um dos principais produtos da agropecuária brasileira ocupando aproximadamente 1% da área explorada pela produção agrícola no Brasil, e a quinta posição em termos de valor bruto da produção (CONAB, 2018). No estado da Bahia, quarto maior produtor de café nacional, o Planalto da Conquista é uma região tradicional na cafeicultura, produzindo principalmente o café arábica.

Os teores de nitrogênio, afeta o crescimento e desenvolvimento do cafeeiro, ele atua principalmente no aumento do índice de área foliar, com conseqüente aumento da fotossíntese e dos compostos fundamentais, como proteínas, ácidos nucléicos e constituintes de membranas; a nutrição nitrogenada adequada, não havendo outros fatores limitantes, é evidenciada no desenvolvimento rápido, no aumento da ramificação dos galhos frutíferos e na formação de folhas verdes e brilhantes; existe, ainda, relação direta entre fornecimento de N, número de folhas no florescimento e número de gemas floríferas; o crescimento da área foliar, mediante adubação nitrogenada suficiente, acarretará maior produção de amido e de outros carboidratos indispensáveis para a formação e o crescimento dos frutos.

O Nitrogênio influencia diretamente a produtividade do cafeeiro. A estimativa otimizada de seus teores pode ajudar o produtor na tomada de decisão, possibilitando um manejo mais adequado e facilitado, podendo assim, elevar os ganhos de produtividade no cafezal. As leituras realizadas por meio de sensores de vegetação em tempo real permitem maior agilidade no processo de tomada de decisão em relação a práticas de manejo durante o ciclo da cultura, permitindo a identificação e a correção de deficiências nutricionais causadas pelo N (Raun et al., 2002; Kitchen et al., 2010; Amaral & Molin, 2011; Lofton et al., 2012). As leituras em tempo real foram adaptadas ao uso agrícola para serem realizadas a campo por meio de sensores de vegetação, os quais são montados em tratores ou em distribuidores a lanço auto-propelidos. “Atualmente, encontra-se no mercado uma série de sensores de vegetação, tais como Greenseeker”, N-Sensor® e Crop Circle”. O emprego desses sensores apresenta a mesma finalidade, ou seja, a quantificação de um índice de vegetação específico para cada sensor para estimativa da dose de N em cobertura a ser aplicada em uma determinada cultura (Feng et al., 2008; Schmidt et al., 2009; Erdle et al., 2011).

Um dos sensores de vegetação atualmente utilizado é o Greenseeker, o qual foi desenvolvido pela Universidade de Oklahoma (EUA) na década de 1990. O seu princípio de funcionamento é por diodos de emissão de radiação na faixa do vermelho (680 nm) e do infravermelho próximo (770 nm). A radiação emitida é refletida pelo dossel da cultura e medida por um fotodiodo localizado no equipamento. Os dados são calculados por um microprocessador interno, fornecendo o valor do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) (NTech Industries, 2013).

A utilização do sensor óptico ativo Greenseeker na estimativa da condição nutricional das culturas é influenciada pelas diferentes interações solo-planta. Em condições de lavouras, existe a variabilidade espacial de variáveis de planta e solo, resultando em diferentes respostas na reflectância, que podem não estar associadas apenas ao estado nutricional da planta, mas também ser decorrentes de outros estresses bióticos e/ou abióticos. Desta maneira, as avaliações referentes do estado nutricional da cultura podem auxiliar no manejo da adubação nitrogenada durante seu ciclo, pois o teor de clorofila nas folhas de milho se relaciona com a concentração de N nas mesmas e, devido às interações com os fatores bióticos e abióticos, promovem variação na atividade fotossintética das plantas e no potencial produtivo (Guimarães et al. 1999).

Assim sendo, o objetivo do trabalho foi verificar a relação entre os valores de NDVI obtidos por meio sensor ativo GreenSeeker®, Trimble, USA e valores de clorofila e nitrogênio foliar em duas variedades de café.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Encruzilhada, pertencente à região produtora de café denominada Planalto da Conquista, sudoeste da Bahia, em uma área de 5 ha de café da cultivar Catuai 62 com 6 anos de idade, conduzida em sistema irrigado com gotejamento, plantada no espaçamento de 3,7 m entre linhas e de 0,7 m entre plantas, totalizando 3861 plantas ha<sup>-1</sup>; e uma outra área adjacente de 5 ha de café da cultivar Acauã com 11 anos de idade, conduzida em sistema irrigado com gotejamento, plantada no espaçamento de 4,0 m entre linhas e de 0,8 m entre plantas, totalizando 3125 plantas ha<sup>-1</sup>. As coordenadas geográficas são de 15° 30' 18" de latitude sul e 41° 14' 20" de longitude oeste, com altitude entre 694 metros. O clima da região foi classificado pelo método de Köppen como clima tropical com temperatura média anual de 22,1 °C.

A área de estudo foi georreferenciada utilizando coordenada obtidas por meio de um receptor GNSS geodésico da marca Javad, modelo Triumph I. foi utilizado o método de posicionamento RTK (Real Time Kinematic). Os dados foram processados no software Justin, utilizando uma base da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), para melhorar a acurácia dos vértices levantados em campo. Após levantamento e processamento dos dados do perímetro, foi gerado uma malha amostral regular com pontos de coleta de 33 x 33 metros no software QuantumGIS totalizando 98 pontos.

Os valores do teor de clorofila foram obtidos com o medidor portátil de clorofila (clorofiLOG - CFL1030, FALKER, BRASIL). Foram medidos os valores do Índice de Clorofila Falker (ICF) em 5 pares de folhas em ramos produtivos (terceiro ou quarto par de folhas, a partir do ápice do ramo) no terço médio da planta, totalizando 20 folhas por ponto

(10 folhas de cada lado), para minimizar um possível efeito da luz sobre os valores de ICF, foi utilizado a média dos valores obtidos em 10 plantas no entrono do ponto da malha amostral.

Os valores de NDVI foram obtidos com o auxílio de um sensor óptico ativo manual terrestre (GreenSeeker®, Trimble, USA), emitindo radiação eletromagnética na banda do vermelho a  $660 \pm 12$  nm e do infravermelho próximo em  $770 \pm 12$  nm, com a medição feita a 0,50 metros da cultura no terço médio da planta, nas mesmas plantas que foram realizada a leitura do teor de clorofila.

O teor de N nas folhas para cada ponto amostral foi determinado usando-se uma amostra de 20 folhas, sendo coletada sempre as folhas nas quais foram feitos as leituras do ICF. Foram imediatamente acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada a 65-70 °C, por 72 horas, moídas e submetidas à digestão sulfúrica, conforme métodos descritos em Malavolta, Vitti e Oliveira (1993). As análises foliares serão feitas no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, utilizando-se o método de “Kjeldahl” para determinação do nitrogênio (Tedesco et al. 1995).

Os dados obtidos foram interpolados utilizando Krigagem utilizando o software Arcgis 10.8, em seguida os mapas gerados na interpolação foram correlacionados por variedade utilizando o mesmo software.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A estatística descritiva dos dados amostrados demonstra uma variabilidade dos atributos analisados entre as variedades e ainda dentro da mesma variedade (tabela 1). Os valores para cultivar Catuaí variaram entre 38,52 e 46,07; 0,38 e 0,75; 2,49 e 3,43. Já para a variedade Acauã os valores ficaram entre: 39,04 e 48,05; 0,49 e 0,73; 2,52 e 3,74 para os atributos ICF, NDVI e nitrogênio foliar respectivamente. Nota-se maiores valores mínimos para todos os parâmetros avaliados para a cultivar Acauã.

A partir a interpolação dos dados de campo de Clorofila (figura 1), NDVI (figura 2), e Nitrogênio (figura 3) foram gerados mapas separados por variedade no qual observa-se diferença entre as variedades e também sua variabilidade espacial dentro da mesma área de estudo. A variedade Acauã apresentou maiores valores médios para todos os parâmetros avaliados, e também uma maior área com valores mais altos principalmente de nitrogênio foliar.

Tabela 1. Valores mínimos (MIN), máximos (MAX), médios (MEAN) e o desvio padrão (STD) para os dados de clorofila, NDVI e nitrogênio foliar em duas variedades de café.

Variedade	Catuaí				Acauã			
	MIN	MAX	MEAN	STD	MIN	MAX	MEAN	STD
<b>Clorofila</b>	38,52	46,07	41,53	1,31	39,04	48,05	42,83	1,76
<b>NDVI</b>	0,38	0,75	0,59	0,04	0,49	0,73	0,66	0,03
<b>Nitrogênio</b>	2,49	3,43	2,83	0,15	2,52	3,74	3,24	0,25

A partir a interpolação dos dados de campo de Clorofila (figura 1), NDVI (figura 2), e Nitrogênio (figura 3) foram gerados mapas separados por variedade no qual se observa diferença entre as variedades e também sua variabilidade espacial dentro da mesma área de estudo. A variedade Acauã apresentou maiores valores médios para todos os parâmetros avaliados, e também maiores áreas com valores mais altos, principalmente de nitrogênio foliar.

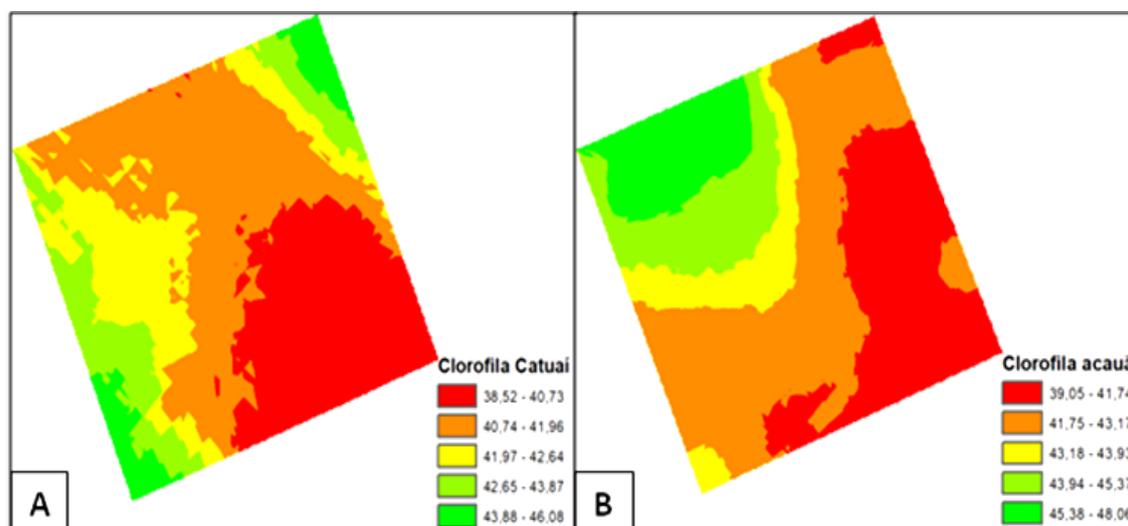


Figura 1. Mapa de índice de clorofila Falker (ICF) para cultivares de café arábica.

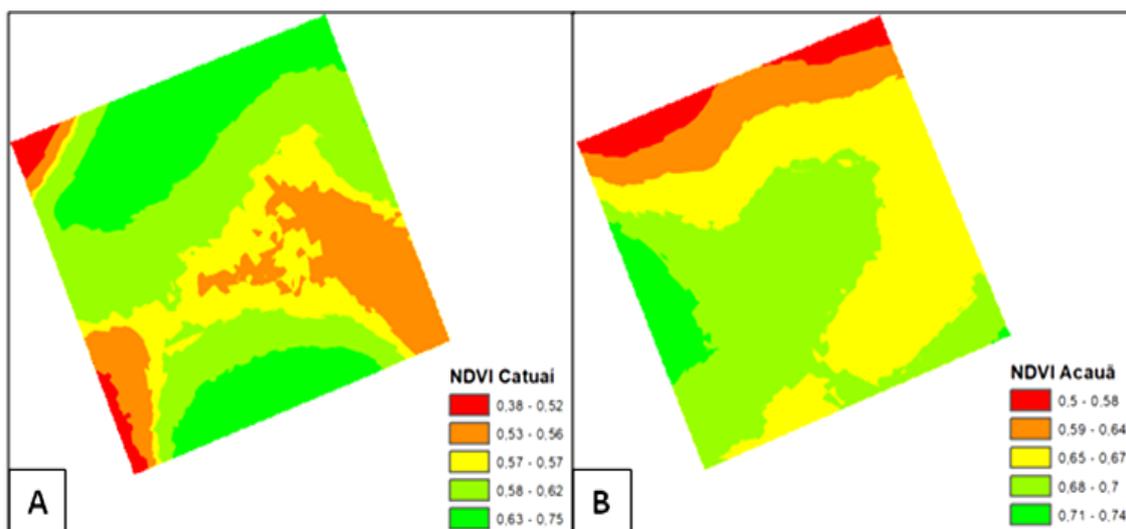


Figura 2. Mapa de índice de vegetação por diferença normlizada (NDVI) para cultivares de café arábica.

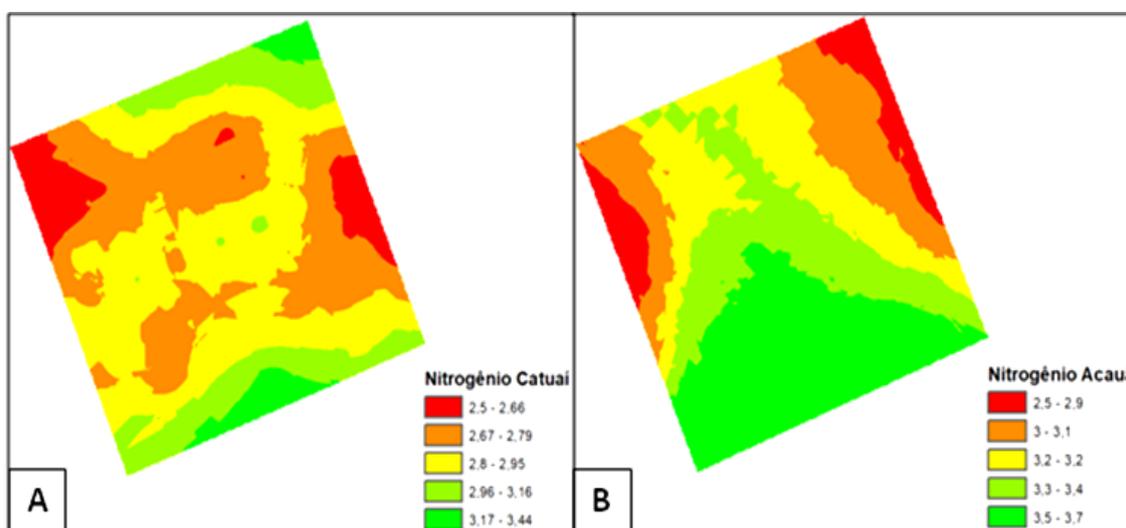


Figura 3. Mapa de nitrogênio foliar, para cultivares de café arábica.

Os mapas gerados para cada variedade foram correlacionados entre se, possibilitando o estudo de uma possível utilização de sensores para a estimativa dos teores de nitrogênio foliar. Para a avaliação da clorofila com os demais parâmetros avaliados nota-se uma baixa correlação para a variedade Catuaí (tabela 2) e uma correlação negativa para a cultivar Acauã (Tabela 3). Em contraste Grava et al 2008 constatou o incremento de clorofila em doses crescentes de nitrogênio aplicados em café.

Para a variedade Catuaí, pode se observar uma correlação positiva moderada de 0,53 para os teores de nitrogênio foliar e valores de NDVI, mostrando que onde os valores de nitrogênio foram maiores, os valores de NDVI em sua maioria também foram, indicando que, com estudos mais aprofundados e um maior detalhamento da metodologia o aparelho Greenseeker seja uma possível ferramenta para estimar valores de nitrogênio foliar para a variedade em questão. Já para a variedade Acauã, a correlação entre e NDVI e nitrogênio foliar foi de apenas 0,36, sendo considerada uma correlação positiva fraca, não podendo assim ser usada de forma solitária para a estimativa de nitrogênio par a cultivar. Ao fazer avaliações espectrais em ambiente não controlado, os resultados podem sofrer grandes interferências do solo, e da atmosfera talvez fazendo o em laboratório encontrar-se-ia maiores correlações entre os dados investigados.

Tabela 2. Valores de correlação entre os dados de Clorofila, NDVI e Nitrogênio foliar na variedade de café Catuaí.

Layer	Clorofila	NDVI	Nitrogênio
Clorofila	1		
NDVI	0,03	1	
Nitrogênio	0,03	0,53	1

Os resultados obtidos com este estudo abre portas para maiores investigações visando a vantagem que seria aos produtores obterem uma ferramenta precisa para uma estimativa confiável de nitrogênio foliar, tornando este diagnóstico nutricional mais rápido e com um menor custo, podendo assim reduzir custos com análise foliares e ainda tornar possível maior otimização do tempo de ação, para as adubações durante o ciclo. Um outro fator relevante é a facilidade de se fazer uma adubação a taxa variável utilizando os valores de NDVI, otimizando além do tempo de espera pelos resultados da análise foliar, a quantidade de adubo por área, aplicando em cada zona de manejo apenas a quantidade requerida pelas plantas.

## CONCLUSÕES

1. O NDVI se mostrou uma possível ferramenta para estimativa de nitrogênio para cultivar Catuaí .
2. Maiores valores para os parâmetros avaliados foram encontrados na cultivar Acauã, porém tais valores não obtiveram bons valores de correlação para as estimativas de nitrogênio foliar.
3. O aparelho Greenseeker demonstrou resultados promissores para estimativa de nitrogênio em café, necessitando estudos mais avançados de calibração da metodologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, L.R.D.; MOLIN, J.P. Sensor óptico no auxílio à recomendação de adubação nitrogenada em cana de açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.46, n.12, p.1633-1642, 2011.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento de safra brasileira de café, v. 5– Safra 2018, n.1- Primeiro levantamento, Brasília, p. 1-73, 2018.
- ERDLER, 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.
- FENG, W. et al. Monitoring leaf nitrogen status with hyperspectral reflectance in wheat. *European Journal of Agronomy*, v.28, n.3, p.394-404, 2008.
- GRAVA de G, L. J.; SANTOS, T.; VILLAS, B. R. L.; LEITE, J. T. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. *Rev. Bras. Ciênc. Solo* [online]. 2008, vol.32, n.1, pp.217-226. ISSN 1806-9657.
- GUIMARÃES, T.G. et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. *Bragantia*, v.58, n.1, p.209-216, 1999.
- KITCHEN, N.R. et al. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. *Agronomy Journal*, v.102, n.1, p.71-84, 2010.
- LOFTON, J. et al. Estimating sugarcane yield potential using an in-season determination of normalized difference vegetative index. *Sensors*, v.12, n.6, p.7529-7547, 2012.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 319p. 1993.
- NTECH INDUSTRIES, UKIAH, CA, USA. Greenseeker manuais downloads. Disponível em: <<http://www.ntechindustries.com/greenseeker-manual.html>>. Acesso: 15 de agosto de 2019.
- RAUN, W.R. et al. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy Journal*, v.94, n.1, p.815-820, 2002.
- 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, n.4, p.916-924, 2009.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. Análise de solo, plantas e outros materiais. 2.ed. Porto Alegre, Departamento de Solos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 174p. 1995. (Boletim Técnico de Solos, 5).