

Uso de sensor ótico ativo aplicado ao manejo de nitrogênio em trigo

Fabício Pinheiro Povh¹
Leandro Maria Gimenez²
José Vitor Salvi¹
Flávia Roncato Frasson¹
José Paulo Molin¹
Volnei Pauletti²

¹ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Esalq/USP
Av. Pádua Dias, 11 – 13.418-900 – Piracicaba – SP, Brasil
fppovh@gmail.com, {jvsalvi, jpmolin}@esalq.usp.br, flafrasson@yahoo.com.br

² Fundação ABC
Rodovia PR-151 km 288 – 84.165-980 – Castro – PR, Brasil
{mecaniza, vpauletti}@fundacaoabc.org.br

Abstract. In sight of the very low nitrogen use efficiency, and being the most important and essential nutrient for the crops development, the objective of this work was to evaluate the possibility of using a commercial active optic sensor (GreenSeeker Hand Held™) for the nitrogen management in wheat crops. Experiments with randomized complete block designs were conducted in two soil classes (Oxisols and Inceptisols) in winter season of 2006. Different N (urea) rates were applied in the seeding (0, 30, 60, 90 and 120 kg/ha), and the data logging were made in three different times of the crop development. It was possible to generate correlation between the NDVI from the sensor and the N rates, also with N in the flag leaves obtained by leaf samples in two times and dry matter. The results were satisfactory, being possible to establish that it is a tool with high potential to realize nitrogen management in wheat crops.

Palavras Chave: NDVI, nitrogênio, agricultura de precisão, sensoriamento remoto, nitrogen, precision agriculture, remote sensing.

1. Introdução

De acordo com o IBGE, entre todos os cereais cultivados no Brasil, o trigo aparece em terceiro lugar, depois do milho e do arroz, com uma área colhida de 2.359.847 ha e uma produção de 4.710.158 t na safra de 2005. O trigo (*Triticum aestivum* L.) é uma cultura com história milenar, e no Brasil é geralmente cultivada em áreas de clima temperado, como os estados do sul do país, entretanto tem se expandido para os estados do Centro-Oeste e Sudeste.

Segundo Tisdale et al. (1993), dentre os nutrientes utilizados pelas plantas, o nitrogênio (N) é o mais importante e essencial para o desenvolvimento das culturas, e também o mais preocupante em relação ao meio ambiente. O nitrogênio é um integrante da clorofila, um pigmento que é o primeiro a absorver a energia luminosa necessária para a fotossíntese. Se o N é utilizado adequadamente, juntamente com os demais nutrientes, pode acelerar o desenvolvimento da cultura.

Segundo Kluthcouski et al. (2006), em condições adversas, principalmente relacionadas ao teor de matéria orgânica, umidade e textura do solo, época e método de aplicação do fertilizante, o nitrogênio é um elemento que se perde facilmente por lixiviação, volatilização e desnitrificação no solo. Como decorrência disto, a eficiência de sua utilização pelas plantas é baixa, de 50 a 60%.

Pigmentos como a clorofila, absorvem a radiação nos comprimentos de onda dentro do espectro do visível, enquanto que a radiação no infravermelho próximo é refletida pela folha. Através da clorofila pode-se obter uma estimativa indireta do status nutricional da planta, pois grande parte do nitrogênio está presente na clorofila (Lemaire, 1997).

As técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas para avaliar as condições das culturas em relação ao nitrogênio. As propriedades óticas das folhas são caracterizadas pela refletância, transmitância e absorbância, que correspondem a uma fração da radiação incidente que é respectivamente refletida, transmitida e absorvida pela folha (Lemaire, 1997). E essas propriedades espectrais são afetadas pela deficiência de nitrogênio (Blackmer et al., 1996). Assim, percebe-se um aumento no interesse em agricultura de precisão e desenvolvimento de sistemas inteligentes para manejar os recursos agrícolas. Essas abordagens relativamente novas objetivam aumentar a produtividade, otimizar a rentabilidade e proteger o meio ambiente (Haboudane et al., 2002).

Segundo Wright et al. (2004) o sensoriamento remoto é uma ferramenta acurada para o monitoramento das condições da cultura de trigo. Enquanto a maioria dos métodos para a detecção do estresse de nitrogênio (medidores de clorofila, amostragem foliar, etc.) utilizam um pequeno número de amostras para determinar as condições de toda a cultura, o sensoriamento remoto torna possível observar padrões em toda a área cultivada. Moges et al. (2004) sugerem que o uso do NDVI poderia ser um método confiável de prever a biomassa, nitrogênio foliar, produtividade e o teor de nitrogênio nos grãos de trigo.

De acordo com Raun et al. (2002), as práticas de adubação convencional consistem em aplicar uma dose única em área de dezenas a centenas de hectares, antes da semeadura. Pesquisas com extensivas amostragens de solo, leituras com sensores óticos e análises geoestatísticas mostram que a escala de disponibilidade de N foi de 1 m², onde cada metro quadrado deveria ser tratado de forma independente (Raun et al., 1998; Solie et al., 1999). Com o uso de sensores, Raun et al. (2002) conseguiram aumentar com sucesso a eficiência no uso do nitrogênio, variando doses de N baseado em dados de NDVI obtidos em tempo real.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi o de avaliar as correlações entre o NDVI gerado por um sensor ótico ativo comercial com as doses de N aplicadas na semeadura, teores de N na folha bandeira e matéria seca, e assim verificar a possibilidade de utilizar este tipo de equipamento para prever a necessidade de N da cultura do trigo.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado em um campo experimental pertencente à Fundação ABC, no município de Castro, PR (24° 51' 20" S, 49° 55' 52" W), durante a safra de inverno de 2006. Foram montados ensaios em duas classes de solo distintas, latossolo bruno distrófico e cambissolo húmico.

A variedade de trigo utilizada foi a Coodetec CD 111. É um trigo tipo melhorador, duro, com espigas fusiformes e claras e grãos de cor vermelha. A semeadura foi feita no dia 20 de junho de 2006 para uma população esperada de 350 plantas/m², com 120 kg/ha de sementes com 90% de germinação, vigor 82% e peso de mil sementes de 28 g. O espaçamento entre linhas foi de 17 cm.

A adubação de base foi de 50 kg/ha de P₂O₅ e 50 kg/ha de K₂O. As doses de nitrogênio aplicadas na semeadura, na forma de uréia, foram 30, 60, 90 e 120 kg/ha e uma testemunha sem aplicação de nitrogênio. As parcelas com dimensões de 5 x 3 m foram dispostas em blocos inteiramente casualizados com 5 repetições.

Nos dias 11 de agosto e 4 de setembro de 2006 foram coletadas amostras da folha bandeira de cada tratamento, sendo 10 folhas coletadas por parcela para análise de tecido dos teores de nitrogênio. Devido à geada ocorrida na região no dia 5 de setembro, que comprometeu a produtividade, foram coletadas amostras para determinação da matéria seca dos tratamentos no dia 22 de setembro, em áreas de 0,68 m², compostas por quatro linhas de 1 metro linear.

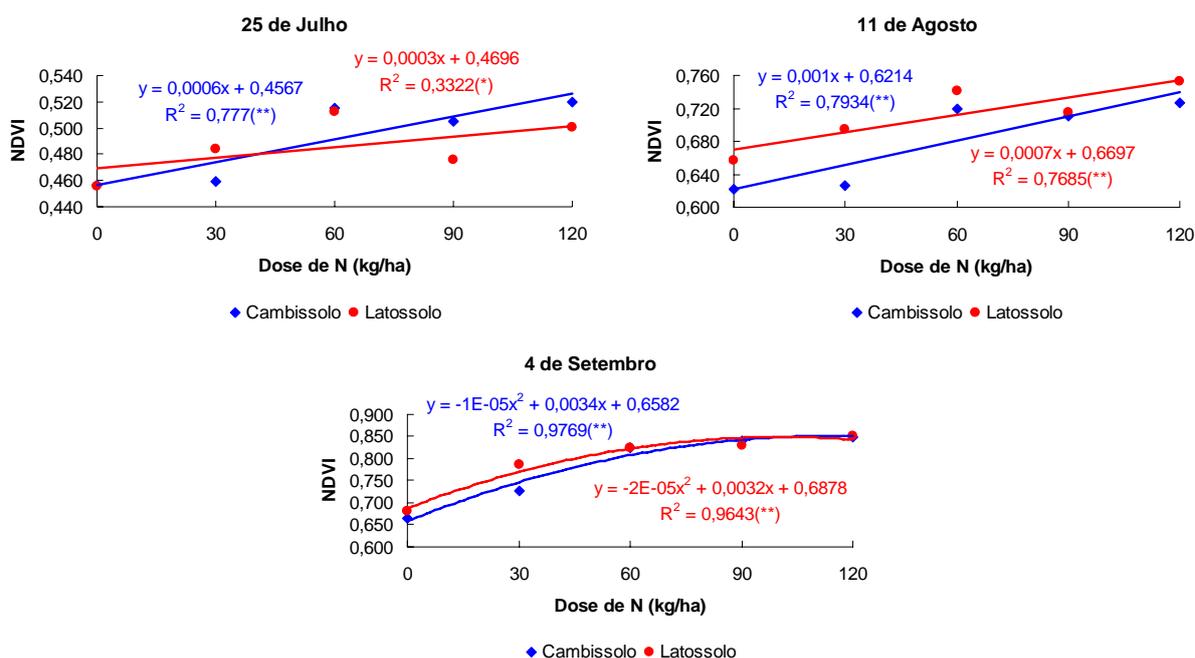
As leituras de NDVI foram realizadas em três épocas (25 de julho, 11 de agosto e 4 de setembro de 2006, correspondendo a 35, 52 e 76 dias após a semeadura) e com duas leituras por parcela, utilizando um sensor ótico ativo comercial (GreenSeeker Hand HeldTM, NTEch Industries, Inc., Ukiah, CA). Este sensor emite radiação ativa em dois comprimentos de onda, vermelho (660 nm) e infravermelho próximo (780 nm) e coleta a reflectância dos alvos independente das condições de luminosidade. Os dados de saída incluem dois índices de vegetação, o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o RVI (*Ratio Vegetation Index*). Entretanto, para este trabalho foram utilizados apenas os dados de NDVI (Rouse et al., 1973).

A análise dos dados foi feita com o software Statistical Analysis System (SAS) (SAS Institute, 2001). Calculou-se o coeficiente de correlação de Pearson (r) para os gráficos com teor de N foliar e matéria seca correlacionados com o NDVI, por serem variáveis mensuráveis e passíveis de erro. Foram gerados gráficos de dispersão para verificar a correlação dos dados pelo teste t de Student em níveis de significância de 5% e 1%. Para os gráficos com a variável dose de N aplicado, foram obtidas equações de regressão com a análise de variância pelo teste F para a função linear e polinomial, teste das hipóteses em nível de significância de 5% e 1% e cálculo do coeficiente de determinação (R²).

3. Resultados e Discussão

As análises de regressão entre a dose de nitrogênio aplicada na semeadura e o NDVI para os dois solos estão apresentados na **Figura 1**. Com exceção das leituras realizadas no latossolo, no dia 25 de julho, com R² de 0,33, todas as demais leituras mostram regressão linear ou polinomial entre o NDVI e as doses de nitrogênio aplicadas no momento da semeadura, com R² acima de 0,75. Resultados superiores aos encontrados por Wright et al. (2004), que encontraram R² de 0,63 para a análise de regressão entre o NDVI obtido pelo mesmo sensor (GreenSeeker Hand HeldTM) e as doses de nitrogênio aplicadas em trigo. Kim et al. (2005) obtiveram regressões com R² entre 0,63 e 0,90 em cevada, para dois sistemas de irrigação.

Por meio dos gráficos da **Figura 1**, observa-se uma tendência no aumento da resposta do NDVI à dose aplicada em relação ao desenvolvimento da cultura. No dia 4 de setembro a relação entre NDVI e doses de N apresentou uma regressão polinomial de grau 2 e atingiu coeficientes de determinação de 96 e 98% respectivamente para o latossolo e o cambissolo. Isto se deve ao fato de que para baixos índices de área foliar, a discriminação entre diferentes níveis de nitrogênio se torna mais difícil, devido a influência do solo exposto na entrelinha e presença de falhas na emergência das plantas, o que resulta em valores de NDVI mais baixos. Já com o fechamento da cultura, é possível determinar com mais acurácia a variabilidade espacial do nitrogênio no trigo.



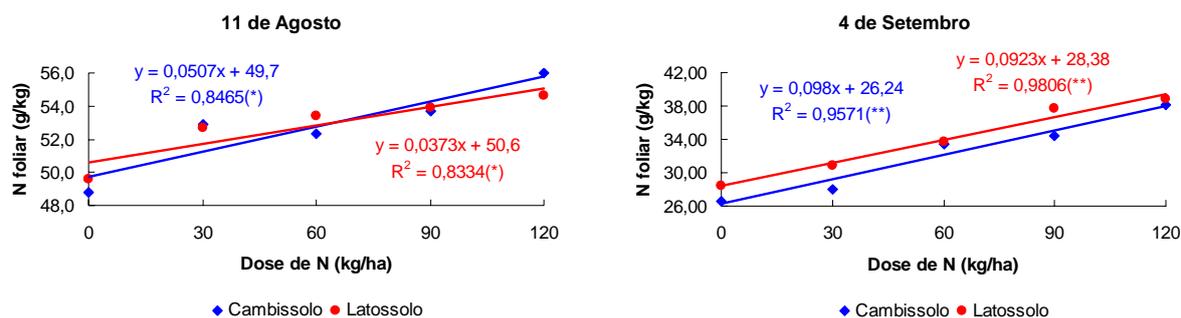
(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste t de Student com nível de significância de 5%.

(**) Valor estatisticamente significativo pelo teste t de Student com nível de significância de 1%.

Figura 1 – Análise de regressão entre as doses de nitrogênio aplicadas na sementeira e o NDVI em três épocas e para as duas classes de solo.

As análises de regressão entre as doses de N aplicadas e os teores de N nas folhas, obtidos por amostragem foliar, estão apresentadas na **Figura 2**. Para estes resultados também foram encontradas regressões significativas, com um R^2 que variou entre 0,96 e 0,98 no dia 4 de setembro, onde se observa também que o latossolo apresentou maiores valores de nitrogênio nas folhas.

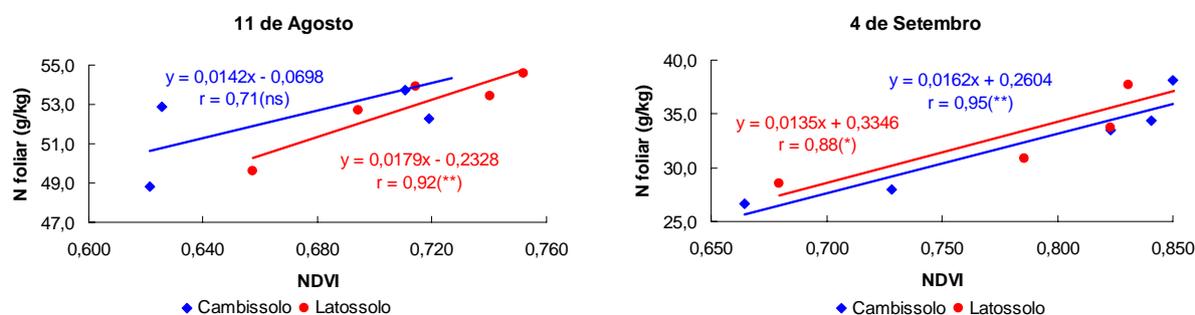
Para as correlações entre os teores de N foliar com o NDVI (**Figura 3**), com exceção do dia 11 de Agosto, que apresentou um NDVI não significativo ao nível de 5% de probabilidade com o teor de N foliar no cambissolo ($r = 0,71$), os resultados se mostraram superiores aos resultados obtidos por Wright et al. (2004) (R^2 de 0,66) com coeficiente de correlação que variou entre 0,88 e 0,95. Freeman et al. (2003) chegou a um R^2 de 0,57 e 0,48 quando as leituras foram realizadas nas fases do trigo Feeks 9 (12 locais em duas safras) e Feeks 10,5 (14 locais e duas safras), respectivamente, utilizando a média do NDVI de todas as regiões. Moges et al. (2004) com leituras em Feeks 6 mostrou um R^2 de 0,91. Neste caso, o gráfico de 4 de setembro mostra que a correlação para o cambissolo foi maior que para o latossolo.



(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste t de Student com nível de significância de 5%.

(**) Valor estatisticamente significativo pelo teste t de Student com nível de significância de 1%.

Figura 2 – Análise de regressão entre as doses de N aplicadas na semeadura e os teores de N nas folhas coletadas em duas épocas e para as duas classes de solo.



(ns) Valor não significativo estatisticamente pelo teste t de Student com nível de significância de 5%.

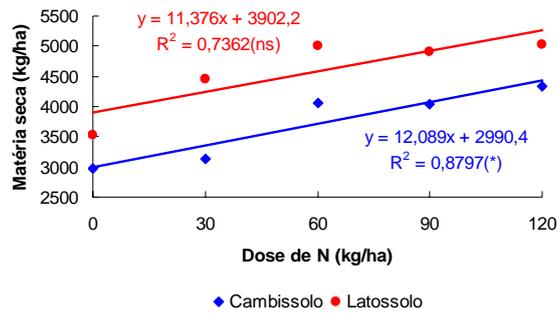
(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste t de Student com nível de significância de 5%.

(**) Valor estatisticamente significativo pelo teste F com nível de significância de 1%.

Figura 3 – Gráficos de correlação entre o NDVI e os teores de N nas folhas bandeira em duas épocas e para as duas classes de solo.

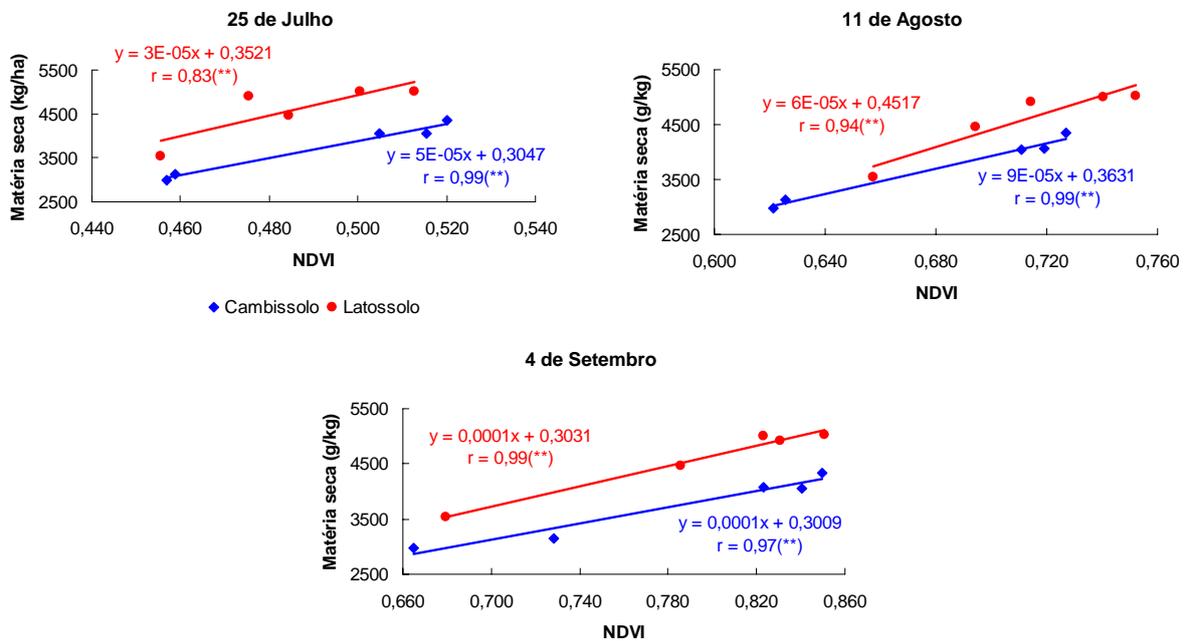
O coeficiente de determinação da relação entre a matéria seca com as doses de N aplicadas (**Figura 4**), foram de 88% para o cambissolo e 74% para o latossolo, porém, este último não foi significativo. Fica claro também o maior acúmulo de matéria seca no latossolo. Estes resultados provavelmente são devido às características distintas de cada classe de solo. De acordo com Bartholomeu et al. (1965), para sistemas de produção com clima, vegetação e topografia constantes, o conteúdo de N no solo é dependente das propriedades texturais deste solo. Solos argilosos geralmente apresentam teores mais altos de nitrogênio do que solos arenosos, e a retenção desse nutriente no solo também é afetada pelo tipo de argila presente. Além da textura, tem-se a influência da matéria orgânica, pois no solo é a principal fonte de N, e assim, segundo Ceretta (2000), a dinâmica do N está intimamente associada à dinâmica da matéria orgânica.

A análise da relação entre o NDVI e a matéria seca obtida no final do emborrachamento (**Figura 5**), mostram que os resultados foram igualmente satisfatórios, com coeficiente de correlação que variou entre 83% e 99%. Moges et al. (2004), correlacionando a média de NDVI em quatro locais e duas safras com a biomassa da cultura, encontrou 78%, 69% e 60% de correlação para as fases Feeks 4, Feeks 6 e Feeks 10, respectivamente. Nestes gráficos têm-se duas situações distintas; para o latossolo o coeficiente de correlação aumentou com desenvolvimento da cultura, sendo aos 76 dias a melhor época para a utilização do sensor, entretanto para o cambissolo o valor de r se manteve praticamente constante desde a primeira leitura.



(*) Valor estatisticamente significativo pelo teste t de Student com nível de significância de 5%.
 (ns) Valor não significativo estatisticamente pelo teste t de Student com nível de significância de 5%.

Figura 4 – Análise de regressão entre as doses de N aplicadas na semeadura e a matéria seca para as duas classes de solo.



(**) Valor estatisticamente significativo pelo teste F com nível de significância de 1%.

Figura 5 – Gráficos de correlação entre o NDVI e a matéria seca obtida no final do ciclo da cultura em três épocas e para as duas classes de solo.

A **Figura 6** mostra o comportamento do NDVI em relação ao desenvolvimento da cultura do trigo nas duas classes de solo, com todas as cinco doses de nitrogênio. Com estes resultados, pode-se afirmar que o NDVI não é apenas dependente do teor de nitrogênio nas plantas, mas sim de qualquer fator externo que tenha influência sobre a biomassa. Um exemplo claro é que as leituras realizadas no início do ciclo da cultura, apresentam valores absolutos de NDVI mais baixos, que foram aumentando junto com o desenvolvimento das plantas de trigo. Como já colocado anteriormente, em 4 de setembro, sem muita influência de solo exposto nas entrelinhas e falhas, o sensor foi capaz de identificar as diferentes doses aplicadas.

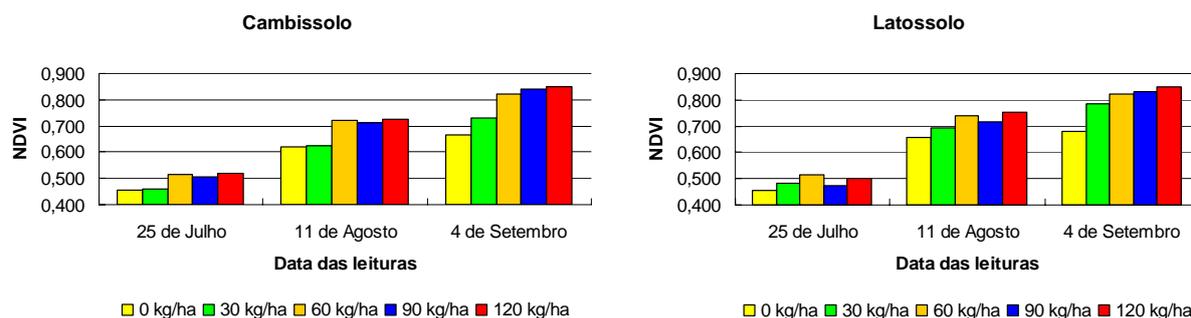


Figura 6 – Histogramas que representam o comportamento dos resultados de NDVI nas três épocas e para cinco doses de N em duas classes de solo.

Com 76 dias após a semeadura, a cultura se encontrava em um estágio de desenvolvimento que tornou possível estimar seu estado nutricional em relação ao nitrogênio e a produção de biomassa ao final de seu ciclo, podendo assim determinar doses de fertilizantes a serem aplicadas para corrigir as deficiências. Entretanto, para a aplicação de fertilizantes em tempo real, se faz necessário ter a calibração do equipamento para diversos sistemas de produção, com diferentes culturas, variedades, solos, fontes de nitrogênio, entre outros, pois ficou evidente o diferente comportamento espectral da cultura entre as duas classes de solo estudadas.

As diferenças nos valores de NDVI obtidos nas diferentes fases de desenvolvimento do trigo, devido à influência, não somente do conteúdo de nitrogênio nas plantas, mas também da biomassa, ao utilizar estes índices para uma recomendação de adubação exige-se grande atenção. Isso porque outros fatores que dificultem ou reduzam a absorção de nitrogênio pelas plantas ou afetem seu desenvolvimento, como deficiência hídrica, volatilização, desnitrificação, lixiviação ou mesmo deficiências de outros nutrientes, além de muitos outros fatores, podem levar a aplicação de fertilizantes nitrogenados e não obter resposta em produtividade.

4. Conclusões

Com este trabalho conclui-se, assim como outros autores, que o NDVI gerado pelo sensor utilizado, é uma ferramenta que mostrou resultados bastante satisfatórios, apresentando correlação e regressão com as três variáveis analisadas (nitrogênio aplicado, nitrogênio foliar e matéria seca). Entretanto, devido a fatores ambientais que levaram à perda do resultado de produtividade, faz-se necessário avaliar a correlação entre o NDVI e mais esta variável em um trabalho futuro.

Sendo assim, com os resultados atingidos, pode-se afirmar que o uso deste sensor é uma ferramenta com grande potencial para o manejo de nitrogênio na cultura do trigo, sendo necessário futuramente realizar aplicações de nitrogênio em taxa variável com base nas leituras do sensor e avaliar a produtividade final, e com isso confirmar seu potencial e solidificar o uso desta tecnologia.

5. Referências Bibliográficas

Bartholomeu, W.V.; Clark, F.E. **Soil Nitrogen**. Agronomy series, number 10. Madison: American Society of Agronomy, Inc., 1965. 615 p.

Blackmer, T.M.; Scheppers, J.S.; Varvel, G.E.; Walter-Shea, E.A. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. **Agronomy Journal**, v.88, p.1-5, 1996.

Ceretta, C.A. Dinâmica do nitrogênio em sistemas de produção na região Sul do Brasil. Dourados: Embrapa Agropecuária Oeste; Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2000. 163p. (Embrapa Agropecuária Oeste, Documentos 28/Embrapa Agrobiologia, Documentos 128).

Freeman, K.W.; Raun, W.R.; Johnson, G.V.; Mullen, R.W.; Stone, M.L.; Solie, J.B. Late-season prediction of wheat grain yield and grain protein. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. v.34, n.13 & 14, p.1837-1852, 2003.

Haboudane, D.; Miller, J.R.; Tremblay, N.; Zarco-Tejada, P.J.; Dextraze, L. Integrated narrow-band vegetation indices for prediction of crop chlorophyll content for application to precision agriculture. **Remote Sensing of Environment**, v.81, p.416-426, 2002.

Kim, Y.; Evans, R.G.; Waddell, J. Evaluation of in-field optical sensor for nitrogen assessment of barley in two irrigation systems. In: ASAE Pacific Northwest Section Meeting, Lethbridge, Alberta, Canada. Paper number: PNW05-1004, 2005.

Kluthcouski, J.; Aidar, H.; Thung, M.; Oliveira, F.R. de A. Manejo antecipado do nitrogênio nas principais culturas anuais. Informações Agronômicas n° 113, Encarte Técnico, março/2006, Potafós, 24p.

Lemaire, G. **Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops**. New York: Springer, 1997. 239 p.

Moges, S.M.; Raun, W.R.; Mullen, R.W.; Freeman, K.W.; Johnson, G.V.; Solie, J.B. Evaluation of green, red and near infrared bands for predicting winter wheat biomass, nitrogen uptake and final grain yield. **Journal of Plant Nutrition**. V.27, n.8, p.1431-1441, 2004.

Raun, W.R.; Solie, J.B.; Johnson, G.V.; Stone, M.L.; Whitney, R.W.; Lees, H.L.; Sembiring, H.; Phillips, S.B. Micro-variability in soil test, plant nutrient and yield parameters in bermudagrass. **Soil Science Society of American Journal**. v.62, p.683-690, 1998.

Raun, W.R.; Solie, J.B.; Johnson, G.V.; Stone, M.L.; Mullen, R.W.; Freeman, K.W.; Thomason, W.E.; Lukina, V. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. **Agronomy Journal**. v.94, p.815-820, 2002.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: **Third ERTS Symposium**, 1973. NASA SP-351, v.01. NASA, Washington, DC, p.309-317, 1973.

SAS Institute. **SAS/STAT**: Guide for personal computers. 8th ed. Cary, 2001. 943 p.

Solie, J.B.; Raun, W.R.; Stone, M.L. Submeter spatial variability of selected soil and bermudagrass production variables. **Soil Science Society of American Journal**. v.63, p.1724-1733, 1999.

Tisdale, S.L.; Nelson, W.L.; Beaton, J.D.; Halvin, J.L. **Soil Fertility and Fertilizers**. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ 07458, 1993.

Wright, D.; Ramsey, D.; Baker, D.; Rasmussen, P. Applied remote sensing in agriculture: managing grain protein in wheat. In: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing Conference. Denver, Colorado, 9p. 2004.