

Diferentes doses de nitrogênio na cultura do milho e sua relação com GNDVI

Aline de Carvalho Gasparotto ¹
Marcos Rafael Nanni ¹
Gabriel Cipolaro Guirado ¹
Franciele Romagnoli ¹
Carlos Antonio da Silva Junior ¹
Anderson Antonio da Silva ¹
Everson Cezar ¹
Rafael Moreno Campos ¹

¹Universidade Estadual de Maringá (UEM), Avenida Colombo, 5790 –Maringá – Brasil
{alinegaspa; gcguirado; franciele_romagnoli; anderson_agrouem}@hotmail.com,
{marcos.nanni; carlos-junior89; rafaelmorenocampos}@gmail.com e
eversoncezar@yahoo.com.br

Abstract - The objectives of this study were to propose vectors vegetation index GNDVI extracted from digital images captured by a digital camera using different filters (720nm IR 850nm IR and UV-IR cut) compared with the rates obtained with the use of a spectroradiometer; evaluate the use of GNDVI alone in the setting of linear models to discriminate between levels of nitrogen in corn, as well as their relation to the production components. The experiment was prepared in a greenhouse in a completely randomized design with 5 treatments with nitrogen rates of 0, 50, 100, 200 and 300 kg ha⁻¹, with 10 repetitions. Evaluations were performed at 15, 30, 45, 60 and 80 days after emergence (DAE), with capturing images that covered the range of the visible and near infrared (350-1000 nm) using a series of filters on a Fujifilm IS Pro digital camera, plus the readings with the spectroradiometer. The data collected were processed using the Spring and Excel software to calculate the vegetation index. 80DAE to evaluate dried weight fresh weight, leaf area and leaf nitrogen. The GNDVI index showed sensitivity for evaluation of nitrogen deficiency in corn. The use of camera with different filters is presented as a promising tool for the discrimination of nitrogen. The GNDVI obtained by using the 720nm filter proved superior to 850nm in correlations with the spectroradiometer. The best times for discrimination of nitrogen by GNDVI was 60 and 80DAE.

Palavras-chave: spectroradiometer, photography, vegetation index, espectralradiômetro, fotografia, índice de vegetação.

1. Introdução

O monitoramento da produção agrícola no Brasil é uma atividade complexa, devido, principalmente, a grande extensão de áreas plantadas e ao seu complicado acesso. Por isso, o desenvolvimento de técnicas que auxiliem na identificação de estresses nutricionais, e componentes de produção são importantes.

Dentre as denominadas “novas tecnologias” de análise e suporte a decisão de ações na agricultura destaca-se o sensoriamento remoto. Esta tecnologia tem sido utilizada, nos últimos anos, para estudos sobre o meio ambiente e fortemente orientada à agricultura, tanto para estudo de solos como para o comportamento das culturas agrícolas.

Diversos pesquisadores concluíram que os índices de vegetação apresentam correlação com os níveis de N e com a produtividade (Scharf & Lory, 2002; Han et al., 2001).

A obtenção dos índices de vegetação tem sido realizada pelo uso de imagens digitais de sensores a bordo de plataformas orbitais, suborbitais e terrestres. No entanto, todos esses equipamentos apresentam elevado custo, treinamento especializado e nem sempre há possibilidade de uso em áreas onde o acesso é limitante. Desta forma, buscam-se alternativas mais econômicas, de fácil manuseio e que possam acessar diferentes áreas de plantio. Uma das alternativas tem sido o uso de fotografias aéreas.

Existem no mercado máquinas fotográficas digitais que podem apresentar sistemas de captura de imagens na faixa do visível e infravermelho próximo (350 a 1100 nm). No entanto

não há pesquisas sobre a eficiência destes sistemas imageadores quanto ao seu uso na avaliação do estado nutricional das culturas.

Os objetivos deste trabalho foram avaliar a utilização do GNDVI isoladamente para estimar estresse nutricional de N na cultura do milho. Comparar o uso do espectroradiômetro e da câmera fotográfica digital para a obtenção dos índices. Avaliar os índices e sua relação com os componentes de produção do milho, além de estabelecer o comportamento espectral da cultura do milho a diferentes doses de N aplicadas.

Neste contexto, neste trabalho foi avaliada a hipótese de que instrumentos fotográficos de baixo custo e de fácil acessibilidade podem ser utilizados na obtenção de índices de vegetação para discriminação de doses de N na cultura do milho, substituindo sensores sofisticados como o espectroradiômetro.

2. Metodologia de Trabalho

Milho (*Zea mays* L.) foi cultivado em vasos dentro de uma casa de na Universidade Estadual de Maringá (UEM). Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com 5 tratamentos (0, 50, 100, 200 e 300kg.ha⁻¹ de N) e 10 repetições, sendo cada parcela constituída por um vaso de 10 litros com uma planta de milho da cultivar 30A68 da Morgan. A fonte de N utilizada foi uréia diluída em água, sendo a dosagem de 30 kg ha⁻¹ de N em semeadura, o restante das doses totais foram aplicadas em cobertura aos 20 e 27DAE. O tratamento de 0 kg ha⁻¹ de N não recebeu doses de N.

Utilizou-se um Latossolo Vermelho Distrófico de textura média para o plantio, sendo corrigido de acordo com a necessidade de adubação, conforme recomendação de Alves et al.(1999). A saturação por bases (V%) foi elevada a 60% e a semeadura ocorreu no dia 13/09/2013 com 5 sementes por vaso, sendo desbastada no estádio de desenvolvimento V2.

As leituras radiométricas foram realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE, por meio do espectroradiômetro portátil Field Spec 3 com faixa espectral de 350nm a 2500nm, com o uso do acessório ASD Plant Probe. Com os dados coletados determinou-se o índice de vegetação GNDVI (Gitelson et al.,1996).

Para a aquisição dos dados com a câmera fotográfica utilizou-se a câmera Fujifilm IS Pro 5 UVIR (12.1 megapixels) com sensor de Super CCD SR PRO (16 bits) com faixa espectral de 380nm - 1000nm. Para a captura das imagens primeiramente estabeleceu-se um balanço de branco (WB) personalizado e pré-definido para cada filtro, sendo IR 720nm, IR 850nm e UV/IRcut com ISO100, formato TIFF e no tamanho L (4256 × 2848 pixels). O registro fotográfico foi realizado aos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE com o uso de tripé para fixação da câmera ficando esta distante de 30 cm da folha com uma inclinação de 45°. As imagens no infravermelho foram modificadas para a escala de cinza pelo software FinepixViewer. Para cada foto realizou-se a média dos números digitais das bandas RGB, separadamente, de um quadro de 21x21 pixels, estabelecido pelo algoritmo “leitura de pixels” no software Spring 5.2.3. Os números digitais médios para os canais vermelho, verde e NIR foram determinadas para a porção da foto que recebeu maior intensidade luminosa. Com os números digitais foi realizado o índice de vegetação GNDVI.

O rendimento do milho foi avaliado aos 80 DAE, sendo avaliada a massa seca, massa fresca da parte aérea, a área foliar e nitrogênio foliar (método Semi-micro-Kjeldahl com decomposição por digestão sulfúrica segundo Malavolta et al.(1997)).

As análises estatísticas dos dados obtidos durante o experimento foram avaliadas por meio dos testes Shapiro-wilk e Levene (α de 0,05) pelo software Sisvar, bem como análise de regressão pelo mesmo software e também por correlação de pearson, teste t (α de 0,05 e 0,01).

3. Resultados e Discussão

Os testes Levene, Shapiro Wilk e a análise de variância da regressão para as 50 amostras de cada atributo avaliado no milho foram feitos e todos apresentaram homogeneidade de variância e normalidade dos dados, somente a variável massa fresca(MF) não apresentou homogeneidade de variância invalidando sua análise de regressão.

Os coeficientes dos parâmetros das equações de regressão ajustadas foram significativos a 5% de probabilidade, sendo portanto válidos. O coeficiente de determinação e equação são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Equações ajustadas para a relação doses de N e atributos do milho.

Atributo	Equação ajustada	R ²
Massa seca	$Y = -0,0003x^2 + 0,1076x + 20,847$	0,8373*
Área foliar	$Y = -0,000004x^2 + 0,0012x + 0,1865$	0,9695*
Nitrogênio Foliar	$Y = 0,0054x + 1,2334$	0,9667*

* significativo (p<0,05)

De acordo com a equação ajustada para massa seca(MS) de milho em função das doses de N aplicadas, tem-se como ponto de inflexão da curva em 157,8 kg ha⁻¹ de N e 29,33 gramas de massa seca por planta. Dados similares foram encontrados por Araújo, et al.(2004) que em condições de campo encontraram resposta máxima para produção de massa seca, a dose de 180 kg ha⁻¹ de N.

Observa-se que as dosagens situadas acima de 157,8 kg ha⁻¹ de N apresentaram tendência de incrementar negativamente os valores da MS. Tal fato pode estar relacionado a possível influência negativa do excesso de N, contribuindo para alta desnitrificação do nutriente, maior volatilização do elemento, indução de toxidez na planta, e acidificação do solos pelas altas doses, um vez que a fonte de aplicação foi a uréia.

A variável área foliar(AF) em relação as doses aplicadas de N também apresentou um comportamento quadrático com um ponto máximo de 145,63 kg ha⁻¹ de N aplicados para 0,27 m² de AF.

Para o teor de nitrogênio foliar(NF) o comportamento da variável foi linear positiva.. Cerrato & Blackmer (1991) estimaram que o teor de N crítico na folha do milho é de 2,1%, este teor na equação ajustada corresponde a dose de 160,5 kg ha⁻¹ de N, sendo valor próximo a dose média encontrada de cerca de 150 kg ha⁻¹ de N que se obteve as maiores quantidades de massa seca e área foliar.

As correlações de pearson encontradas aos 80DAE entre os atributos avaliados do milho (MS, MF, AF, NF) e as doses de N aplicadas (Tabela 2). O teste t para a significância tem-se que cerca de 83,3% apresentam r (p<0,01), indicando dessa forma, a forte relação entre os atributos avaliados do milho.

Tabela 2 - Resultado dos coeficientes de correlação de pearson e teste t aos 80DAE entre massa seca e área foliar (MS x AF), massa seca e massa fresca (MS x MF), massa seca e nitrogênio foliar (MS x NF), área foliar e massa fresca (AF x MF), área foliar e nitrogênio foliar (AF x NF) e massa fresca e nitrogênio foliar (MF x NF) nas doses de N aplicadas.

		MS x AF	MS x MF	MS x NF	AF x MF	AF x NF	MF x NF
Dose de nitrogênio	0	0,850 **	0,695 *	0,544 ns	0,754 **	0,764 **	0,744 **
	50	0,828 **	0,900 **	0,766 **	0,771 **	0,632 *	0,603 *
	100	0,925 **	0,774 **	0,855 **	0,817 **	0,864 **	0,683 *
	200	0,908 **	0,884 **	0,937 **	0,769 **	0,940 **	0,843 **
	300	0,993 **	0,853 **	0,839 **	0,819 **	0,826 **	0,912 **

** significativo (p<0,01); * significativo (p<0,05); ns: não significativo

Avaliação da relação entre as doses de nitrogênio e o índice GNDVI obtidos por meio do espectroradiômetro e pelas imagens infravermelhas obtidas com filtro de 720nm e 850nm foram realizadas pelos pressupostos básicos estatísticos (Levene e Shapiro-wilk), análise de variância (ANOVA) e análise de regressão e test t todos a uma significância de 0,05.

A faixa de valores obtida pelo GNDVI estão entre 0,1-0,5. Uma vegetação sadia em pleno vigor vegetativo, tem baixa refletância na faixa do espectro visível e alta refletância no infravermelho próximo, deste modo altos valores de GNDVI, no caso do milho, por serem avaliadas as mesmas plantas no presente experimento, foram encontradas semelhanças entre as reflectâncias no infravermelho próximo e alta reflectância no espectro visível (500 a 700nm) variando com as doses de N. O pleno vigor vegetativo de plantas têm propensão de apresentar menor reflectância na faixa do visível citado quando comparados a plantas submetidas a estresse, apresentando assim maiores valores de índices de vegetação.

Aos 15DAE não houve nenhuma regressão significativa encontrada. Tal fato pode ser explicado pois a adubação total ainda não havia sido finalizada e o solo estava apenas com as doses de N utilizadas na semeadura. Dessa forma, aos 15DAE, com a análise dos modelos ajustados, as doses de N aplicadas não tiveram efeitos significativos sobre os valores médios do índice GNDVI. Aos 30DAE também não se encontrou regressão significativa, assim, as quantidades de N aplicadas não puderam ser detectadas aos 30DAE, pelos métodos estudados.

Aos 45DAE somente o espectroradiômetro proporcionou uma regressão significativa e válida para o índice GNDVI, os demais sensores (720nm e 850nm) mesmo sendo encontrado regressões significativas apresentaram como aos 15DAE alta heterogeneidade de dados sendo ela verificada pelo altíssimo coeficiente de variação da amostra (CV (>30%)). Tal condição pode ser explicada pelas possíveis variações ambientais do experimento tais como variações na radiação solar incidente, nas temperaturas, e na possível influência da composição total da imagem com alguns pixels influenciando outros ao redor, devido ao preenchimento do campo de visada da imagem, em que nesta fase de desenvolvimento do milho apresentava áreas escuras de fundo, não referentes as folhas da planta.

Aos 45DAE pôde-se distinguir as doses de N pelo uso espectroradiômetro semelhante ao encontrado por Gitelson et al. (1996), que identificaram que o índice GNDVI, foi o mais indicado dentre os estudados para detectar diferentes status nutricionais. Assim, os modelos ajustados aos 45DAE foram os mais antecipados para se conseguir a detecção de N e se ter a possibilidade de correção de nutriente no mesmo ciclo produtivo da cultura. A câmera fotográfica foi menos sensível que o espectroradiômetro na captura das informações nesta fase de desenvolvimento das plantas de milho. Na tabela 3 apresenta-se a regressão so GNDVI com o uso do espectroradiômetro, todas as estimativas dos parâmetros foram válidas pelo teste t.

Tabela 3 – Equação significativa ajustada ao 45DAE entre GNDVI (pelo espectroradiômetro) e doses de N aplicadas.

Sensor	IV	Equação ajustada	R ²
Espectroradiômetro	GNDVI	$y = -2.10^{-6}x^2 + 0,0007x + 0,49$	0,72*

* significativo (p<0,05)

A regressão acima apresentou um ponto de máximo de 179,5 kg ha⁻¹ de N gerando um índice GNDVI de 0,56. O GNDVI apresentou o ponto de máximo próximo ao encontrado por Solari (2006) de aproximadamente 0,55, este dado foi encontrado no milho no estádio V4 com o sensor “GreenSeeker” distante a 40 cm do alvo.

Aos 60DAE o GNDVI os três métodos apresentaram homogeneidade de variância e normalidade de distribuição. A falta de ajuste da regressão foram todas não significativas validando as regressões encontradas. Porém o uso do filtro de 850nm proporcionou altíssimo

coeficiente de variação ($CV > 30\%$), dessa forma considerou-se como não válida. As demais válidas apresentaram todas as estimativas dos parâmetros significativas pelo teste t a 0,05, e apresentadas na tabela 4.

Tabela 4 – Equações significativas ajustadas aos 60DAE entre GNDVI e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

Sensor	IV	Equação ajustada	R ²
Filtro 720nm	GNDVI	$y = -7.10^{-6}x^2 + 0,0029x + 0,21$	0,98*
Espectroradiômetro	GNDVI	$y = -3.10^{-6}x^2 + 0,0009x + 0,47$	0,82*

* significativo ($p < 0,05$)

Aos 60DAE tem-se que em todas as regressões do GNDVI apresentaram comportamento quadrático e com R² maiores de 82%. Os coeficientes de determinação das imagens com o uso do filtro de 720nm aos 60DAE foram mais altos que aqueles obtidos com o uso do espectroradiômetro. Tal fato pode ser explicado pelas médias se ajustarem melhor as equações geradas para explicar a variável do que um único valor obtido pelo sensor.

No entanto esse R² pode estar inflacionado, pois os índices das imagens tiveram CV classificado como alto (CV entre 20-30%), enquanto que, com o uso do espectroradiômetro se obteve CV classificado como médio (CV entre 10-20%). Desta forma tem-se, maior precisão no uso do espectroradiômetro para detecção do N, já que ambas as regressões apresentaram significância a 0,05 de probabilidade. Além disso, tem-se maiores erro padrão da média com o uso das imagem do que com o uso do espectroradiômetro.

O GNDVI encontrado com o uso do filtro de 720nm apresentou como ponto máximo 205,93 kg ha⁻¹ de N proporcionando um índice de 0,52. O GNDVI encontrado com o espectroradiômetro apresentou, como ponto de máximo, o valor de 156,5 kg ha⁻¹ de N gerando um índice de 0,55.

Aos 80DAE todos apresentaram valores não significativos para os dois testes de pressupostos, tendo normalidade dos erros e homogeneidade de variância. Todos os devios de regressão também foram não significativos validando as regressões significativas encontradas. Na Tabela 5 tem-se as regressões significativas encontradas e que apresentaram as estimativas dos parâmetros das regressões significativas pelo teste t.

Tabela 5 – Equações significativas ajustadas aos 80DAE entre GNDVI e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

Sensor	IV	Equação ajustada	R ²
Filtro 720nm	GNDVI	$y = -6.10^{-6}x^2 + 0,0025x + 0,23$	0,98*
Filtro 850nm	GNDVI	$y = -7.10^{-6}x^2 + 0,0028x + 0,62$	0,98*
Espectroradiômetro	GNDVI	$y = -5.10^{-6}x^2 + 0,0019x + 0,38$	0,98*

* significativo ($p < 0,05$)

O GNDVI obtido pelo uso do filtro de 720nm com relação as doses de N aplicadas, apresentou um ponto de máximo de 210,75 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,5. O GNDVI obtido pelo uso do filtro de 850nm com relação as doses de N aplicadas, um ponto de máximo de 204,43 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,37.

O GNDVI adquirido com o uso do espectroradiômetro com relação as doses de N aplicadas, tendo um ponto de máximo de 190,9 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,56. De acordo com Souza, et al. (2009) no estádio V12-V15 do milho com o uso do radiômetro Crop Circle obteve-se em média valores de GNDVI obteve-se 0,6; 0,71; 0,76, com as respectivas doses de N 90, 180 e 270 kg ha⁻¹. Li, et al. (2014) encontraram com uso do sensor Crop Circle em média dos estádios V6-V12 valores de GNDVI de 0,75 e 0,83, para as respectivas doses de N 50 e 100 kg ha⁻¹.

Os GNDVI em geral apresentaram ligeiro decréscimo com aplicação de doses superiores a 200 kg ha⁻¹ de N, o que pode estar relacionado a possibilidade de desequilíbrio nutricional da planta com altas doses de N aplicadas (Dougherty & Rhykerd, 1985).

Segundo Gitelson et al.(1996), o GNDVI apresenta uma escala dinâmica maior que a do NDVI e é na média pelo menos cinco vezes mais sensível à concentração de clorofila na planta. O GNDVI utiliza a banda verde na sua formação. Sena Jr. et al.(2008) ressaltaram a importância do uso da banda verde para a discriminação dos estágios nutricionais de N na cultura do trigo, com o uso de um sistema de visão artificial para realização da estimativa da resposta espectral do dossel.

A avaliação da relação entre GNDVI do espectrorradiômetro e das imagens infravermelhas obtidas com filtros de 720nm e 850nm são apresentados na tabela 6. Em que se pode verificar que os coeficientes de correlação de pearson (r) aumentaram no decorrer do tempo, ou seja, as melhores correlações entre os índices do espectrorradiômetro e os IV's obtidos por meio das imagens foram encontradas aos 80DAE e as piores correlações aos 15DAE.

O uso da câmera para detecção da deficiência de N no milho pôde ser utilizada nos 60DAE e 80DAE, em que houve correlação significativa em todas as doses. O uso do filtro de 720nm proporcionou correlações maiores do que com o uso do filtro de 850nm.

Os índices nos primeiros estádios de desenvolvimento do milho apresentaram baixa correlação o que pode ser explicado devido ao alto CV das amostras nas primeiras avaliações como uso da câmera causado provavelmente, ao pequeno preenchimento do campo da imagem pelas folhas de milho, pois, para estabelecer um padrão metodológico para obtenção das imagens, algumas áreas não preencheram o campo de visada, apresentando áreas escuras de fundo que pode ter influenciado nos valores dos pixels referentes as folhas captadas nas imagens. Com o decorrer do desenvolvimento da planta de milho, o campo de visada foi ficando praticamente preenchido apenas com temas referente as folhas que, no infravermelho, apresentam reflectância elevada.

O experimento mesmo tendo sido conduzido em casa de vegetação, há possibilidade de pequenas variações causadas pela mudança na radiação solar incidente e nas temperaturas o que poderia, de certa forma, imutar erros indesejáveis.

O uso do filtro de 720nm proporcionou imagens com mais brilho que as imagens obtidas com o filtro de 850nm, de forma coerentemente ao fato anteriormente explicado, com as imagens com o filtro de 720nm, apresentaram melhores correlações que aquelas com menor brilho quando utilizado o filtro de 850nm.

Tabela 6 – Coeficientes de correlação de pearson e teste t entre GNDVI encontrado pelo uso do espectrorradiômetro e pelo uso do filtro de 720nm e o filtro de 850nm.

Dose de N	15 DAE					30DAE				
	0	50	100	200	300	0	50	100	200	300
(720nm)	0,5 ^{ns}	0,67 [*]	0,34 ^{ns}	0,29 ^{ns}	0,6 [*]	0,16 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,59 [*]	0,63 [*]	0,68 [*]
(850nm)	0,2 ^{ns}	0,78 ^{**}	0,67 [*]	0,16 ^{ns}	0 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,69 [*]	0,35 ^{ns}	0,62 [*]
Dose de N	45 DAE					60DAE				
	0	50	100	200	300	0	50	100	200	300
(720nm)	0,42 ^{ns}	0,72 ^{**}	0,67 [*]	0,91 ^{**}	0,6 [*]	0,72 ^{**}	0,91 ^{**}	0,78 ^{**}	0,79 ^{**}	0,84 ^{**}
(850nm)	0,37 ^{ns}	0,68 [*]	0,64 [*]	0,58 [*]	0,6 [*]	0,61 [*]	0,91 ^{**}	0,7 [*]	0,68 [*]	0,82 ^{**}
Dose de N	80 DAE									
	0	50	100	200	300					
(720nm)	0,76 ^{**}	0,89 ^{**}	0,77 ^{**}	0,87 ^{**}	0,8 ^{**}					
(850nm)	0,69 [*]	0,91 ^{**}	0,73 ^{**}	0,66 [*]	0,8 ^{**}					

** significativo (p<0,01); * significativo (p<0,05); ns não significativo

A avaliação da relação do GNDVI pelos três métodos e os componentes de produção do milho foi realizada pelas correlações de Pearson (r) que se apresentaram como altas (tabela 7). Dessa forma, observa-se que a variável que apresentou maiores quantidades de correlações significativas foi a variável área foliar e com menores correlações foi área foliar que essa baixa correlação de acordo com Dwyer et al. (1995), pode ser explicada pelo fato de que o N presente nas folhas das plantas não é totalmente relacionado a molécula de clorofila sendo em boa parte do associada ao nitrato.

Os resultados do trabalho mostraram que o uso da banda verde pelo GNDVI apresentou boas correlação com os componentes do milho podendo ser utilizada para a discriminação do estresse de N. Todas as correlações do GNDVI se comportam como positivas, ou seja, indica que as duas variáveis se movem juntas. O uso do espectrorradiômetro se mostrou mais eficiente, pois seus coeficientes de correlação foram os maiores entre os métodos estudados. Isso deve principalmente pela utilização do acessório ASD Plant Probe para as leituras no campo que elimina a influência da atmosfera, bem como com a intensidade luminosa na data de avaliação.

Tabela 7 - Correlação de Pearson e teste t para GNDVI obtidos por meio das imagens extraídas com o uso do filtro de 720nm, a cada atributo avaliado no milho nas diferentes doses de N aplicadas.

	Dose de N	720nm-IR		850nm-IR		Espec.			720nm-IR		850nm-IR		Espec.	
		GNDVI		GNDVI		GNDVI			GNDVI		GNDVI		GNDVI	
Massa seca	0	0,53	ns	0,51	ns	0,87	**	Massa fresca	0,58	*	0,49	ns	0,78	**
	50	0,79	**	0,79	**	0,88	**		0,59	*	0,65	*	0,74	**
	100	0,77	**	0,65	*	0,97	**		0,6	*	0,46	ns	0,73	**
	200	0,55	*	0,41	ns	0,83	**		0,71	*	0,47	ns	0,85	**
	300	0,66	*	0,8	**	0,78	**		0,79	**	0,82	**	0,82	**
Área foliar	0	0,81	**	0,81	**	0,95	**	Nitrogênio foliar	0,76	**	0,7	*	0,65	*
	50	0,79	**	0,92	**	0,88	**		0,69	*	0,49	ns	0,67	*
	100	0,78	**	0,56	*	0,9	**		0,71	*	0,48	ns	0,82	**
	200	0,68	*	0,58	*	0,9	**		0,62	*	0,54	ns	0,91	**
	300	0,65	*	0,77	**	0,76	**		0,66	*	0,88	**	0,71	*

** significativo ($p < 0,01$); * significativo ($p < 0,05$); ns não significativo

4. Conclusão

O espectrorradiômetro foi o melhor sensor utilizado para detectar o estresse nutricional de nitrogênio no milho.

O uso de câmeras fotográficas digitais com sensor infravermelho apresentam um futuro promissor, devido as altas correlações e semelhança das regressões encontradas, porém necessitam-se de melhores estudos em relação a luminosidade, tempo de exposição e distância focal para se capturar as imagens, pois este fato gera alto coeficiente de variação, diminuindo a precisão dos resultados encontrados.

O uso do filtro de 720nm obteve respostas superiores ao uso do filtro de 850nm, sendo o primeiro considerado superior devido as suas melhores correlações com os dados do espectro e com os atributos avaliados no milho.

O GNDVI foi o índice que mais se ajustou muito bem com as doses de nitrogênio aplicadas, aos 60 e 80DAE.

Referências Bibliográficas

- Alves, V. M. C.; Vasconcellos, C. A.; Freire, F. M., Pitta, G. V. E.; Fraça, G. E.; Rodrigues Filho, A.; Araújo, J. M.; Vieira, J. R.; Loureiro, J. E. Milho. In: Ribeiro, A. C.; Guimarães, P. T. G.; Alvarez V., V. H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 314-316.
- Araújo, L. A. N.; Ferreira, M. E.; Cruz, M. C. P. Adubação nitrogenada na cultura do milho. **Revista Agropecuária Brasileira**, v.39, n.8, p.771-777. 2004.
- Cerrato, M. E.; Blackmer, A. M. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen status of corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.4, n.3, p.525-531, 1991.
- Dougherty, C. T.; Rhykerd, C. L. The role of nitrogen in forage-animal production. In: Heath, M. E.; Barnes, R. F.; Metcalfe, D. S. (Eds.) **Forages: the science of grassland agriculture**. 5.ed. Iowa: State University, 1985. p.318-325
- Dwyer, L.M.; Anderson, A.M.; Ma, B.L.; Stewart, D. W.; Tollenaar, M.; Gregorich, E. Quantifying the nonlinearity in chlorophyll meter response to corn leaf nitrogen concentration. **Canadian Journal of Plant Science**, v.75, p.179-182, 1995.
- Gitelson, A. A. Wide dynamic range vegetation index for remote quantification of biophysical characteristics of vegetation. **Journal of Plant Physiology**, v.161, n.2, p.165-173, 2004.
- Gitelson, A. A.; Kaufman; Y. J.; Merzlyak, M. N. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS, **Remote Sens. Environ.** v. 58, n.3 , p.289-298. 1996.
- Gomes, F. P. **Curso de estatística experimental**. Piracicaba: ESALQ/USP,1985.
- Han, S.; Hendrickson, L.; Ni, B. Comparison do satellite remote sensing and aerial photography for ability to detect in-season nitrogen stress in corn. **ASAE Meeting**, Paper n. 01-1142, 2001.
- Li, F.; Miao, Y.; Feng, G.; Yuan, F.; Yue, S.; Gao, X.; Liu, Y.; Liu, B.; Ustin, S. L.; Chen, X. Improving estimation of summer maize nitrogen status with red edge-based spectral vegetation indices. **Field Crops Research**. 157. p.111-123, 2014.
- Malavolta, E.; Vitti, G. C.; Oliveira, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: Princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba, Potafos, 1997. p.232-238.
- Scharf, P. C.; Lory, J. A. Calibration of remotely sensed corn color to predict nitrogen need. **Agronomy Journal**, v.94, p.397-404, 2002.
- Sena Júnior, D. G.; Pinto, F. A. C.; Queiroz, D. M.; Santos, N. T.; Júnior, J. K. K. Discriminação entre estágios nutricionais na cultura do trigo com técnicas de visão artificial e medidor portátil de clorofila. **Engenharia Agrícola**, v.28, n.1, p.187-195, 2008.
- Solari, F. **Developing a crop based strategy for on-the-go nitrogen management in irrigated cornfields**. 2006. p.165. Tese de doutorado. Faculty of The Graduate College at the University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, 2006.
- Souza, E.G.; Rocha, T.; Uribe-Opazo, M.A.; Nóbrega, L. H. P. Índices de vegetação no milho em função da hora do dia e da taxa de nitrogênio aplicada. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.13, (Suplemento), p.865-872, 2009.