

Avaliação do NDVI obtido por imagens digitais e espectroradiometria na diferenciação de doses de nitrogênio

Aline de Carvalho Gasparotto ¹
Marcos Rafael Nanni ¹
Carlos Antonio da Silva Junior ¹
Everson Cezar ¹
Franciele Romagnoli ¹
Anderson Antonio da Silva ¹
Liliane Scarabora Miotto ¹
Mônica Sacioto ¹

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

Abstract – The objectives of this study were to propose vectors vegetation index NDVI 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 NDVI 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 NDVI did not show great sensitivity for evaluation of nitrogen deficiency. The use of camera with different filters is presented as a promising tool for the discrimination of nitrogen. The use of 720nm and 850nm filter behaved similarly. The best seasons for discrimination of nitrogen by vegetation indices were evaluated at 60 and 80DAE. The best sensor used was the spectroradiometer.

Palavras-chave: corn, photography, vegetation index, milho, fotografia, índice de vegetação.

1. Introdução

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.

Existe uma falta de critério para se obter dados da necessidade da adubação nitrogenada por meio de análises do solo, devido a falta de equilíbrio estável das formas de N, além do baixo efeito residual do nitrato do solo, com isso, pesquisadores têm estudado o uso da reflectância espectral do dossel das culturas para detectar a deficiência de N utilizando dados de sensoriamento remoto (Han et al., 2001).

Os índices de vegetação foram criados a fim de destacar o comportamento espectral da vegetação em relação ao solo e a outros objetos na superfície terrestre. Esses índices são obtidos por várias combinações matemáticas das reflectâncias em várias faixas espectrais da REM. Essas reflectâncias são medidas por diversos aparelhos como radiômetros e espectroradiômetros (Moreira, 2005). No entanto, todos esses equipamentos apresentam elevado custo, treinamento especializado e nem sempre há possibilidade de uso em áreas onde o acesso é limitante. Uma das alternativas tem sido o uso de fotografias aéreas acopladas em pequenas plataformas denominadas VANT (veículo aéreo não tripulado).

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 índice NDVI isoladamente para estimar estresse nutricional de N na cultura do milho. Comparar o NDVI com o uso do espectrorradiômetro. Avaliar os índices e sua relação com os componentes de produção do milho.

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 espectrorradiômetro.

2. Metodologia de Trabalho

Milho (*Zea mays* L.) foi cultivado em casa de vegetação 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 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 estágio de desenvolvimento V2 .

As leituras radiométricas foram realizadas aos 15, 30, 45, 60 e 80 DAE, por meio do espectrorradiômetro portátil Field Spec 3 com faixa espectral de 350nm a 2500nm, com o uso do acessório ASD Plant Probe. Os dados foram convertidos de extensão .asd para .txt pelo programa View Spec Pro da ASD (ASD, 2008). Com os dados coletados determinou-se dos índices de vegetação NDVI (Rouse et al., 1974).

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 NDVI.

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. Diferentemente, de Alves, et al.(2002) que tiveram dose máxima utilizada no experimento de 120 kg ha⁻¹ de N, e constataram efeito linear e crescente da massa seca com doses de nitrogênio.

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) também apresentou um comportamento quadrático tendo um ponto de máximo de 145,63 kg ha⁻¹ de N aplicados para 0,27 m² de AF, tendo-se, após esse ponto, valores decrescentes de área foliar com o aumento das doses de N.

Para o teor de nitrogênio foliar(NF) em relação as doses de N tem-se um comportamento 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 os componentes de produção do milho nas diferentes doses de N aplicadas.

Dose de nitrogênio	MS x AF		MS x MF		MS x NF		AF x MF		AF x NF		MF x NF	
	r	signif.	r	signif.	r	signif.	r	signif.	r	signif.	r	signif.
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

A avaliação da relação entre as doses de nitrogênio e NDVI obtido por meio do espectrorradiômetro e pelas imagens infravermelhas com filtro de 720nm e 850nm foram realizadas pela análise de variância de ANOVA e regressão a significância de 0,05.

Segundo Moges et al. (2004), os IV's mais utilizados com a finalidade de avaliar o status nutricional das plantas e biomassa são o NDVI e o GNDVI.

A faixa de valores obtida pelo NDVI estão entre 0,2-0,6. 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 NDVI, no caso do milho, por serem avaliadas as mesmas plantas no presente experimento, foram encontradas semelhanças entre as refletâncias no infravermelho próximo e alta refletância no espectro visível (500 a 700nm) variando com as doses de N. O pleno vigor vegetativo de plantas têm propensão de apresentar menor refletância na faixa do visível citado quando comparados a plantas submetidas a estresse, apresentando assim maiores valores de índices de vegetação.

Os resultados para análise de variância da regressão e os pressupostos básicos aos 15DAE foram todos não significativos dessa forma não temos uma regressão significativa que expresse a variação de N em função do NDVI. 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 e o N não é limitante ao milho até esse estágio de desenvolvimento.

Aos 30DAE todos os pressupostos estatísticos básicos foram atendidos menos com o uso do filtro de 850nm que não apresentou normalidade de distribuição dos erros, não tendo análise de variância válida. Porém, aos 30 DAE nenhuma regressão significativa foi encontrada. Assim, as quantidades de N aplicadas não puderam ser detectadas aos 30DAE, pelos métodos estudados.

Aos 45DAE todos os resultados dos pressupostos estatísticos básicos foram atendidos. Nenhuma regressão significativa foi encontrada com o uso do espectrorradiômetro, porém com o uso das imagens digitais, mesmo sendo encontradas regressões significativas apresentaram CV classificado como muito alto o que indica heterogeneidade dos dados. Dessa forma, considerou-se as regressões como não válidas, devido a falta de precisão.

Os muito altos valores de CV (>30%) segundo Gomes (1985), foram encontrados em vários índices de vegetação calculados a partir das imagens. Tal condição pode ser explicada pelas possíveis variações ambientais do experimento e 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 60DAE o NDVI para os três sensores utilizados apresentaram homogeneidade de variância e normalidade de distribuição. A falta de ajuste da regressão foram todas não significativas validando as regressões encontradas. As regressões significativas encontradas foram quadráticas e são apresentadas na tabela 3. Além disso, todas as estimativas dos parâmetros da regressão foram significativas pelo teste t a 0,05 de significância. A regressão do NDVI obtido pelo uso do filtro de 850nm foi considerada como não válida devido aos altíssimos coeficientes de variação encontrados.

Tabela 3 – Equações significativas ajustadas aos 60DAE entre NDVI e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

Sensor	IV	Equação ajustada	R ²
Filtro 720nm	NDVI	$y = -7.10^{-6}x^2 + 0,0026x + 0,29$	0,99*
Espectrorradiômetro	NDVI	$y = -2.10^{-6}x^2 + 0,0006x + 0,54$	0,76*

* significativo (p<0,05)

Analisando a Tabela 3 dos 60DAE, tem-se que 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 espectrorradiômetro. 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 R^2 pode estar inflacionado, pois o NDVI da imagem teve um CV classificados como alto, enquanto que, com o uso do espectrorradiômetro se obteve um CV classificado como médio. Desta forma tem-se, maior precisão no uso do espectrorradiômetro 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 da imagem do que com o uso do espectrorradiômetro.

A variável NDVI com o uso do filtro de 720nm teve como ponto de máximo 188,57 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,54. A variável NDVI com o espectrorradiômetro teve, como ponto de máximo o valor, 152,5 kg ha⁻¹ de N para gerar um índice de 0,59.

Aos 80DAE o NDVI com o uso do filtro de 720nm não obteve homogeneidade de variância. Os demais apresentaram valores não significativos para os dois testes, tendo dessa forma normalidade dos erros e homogeneidade de variância. Todos os desvios de regressão também foram não significativos validando as regressões significativas encontradas (tabela 4). Além disso todas as estimativas dos parâmetros foram significativos pelo teste t ($p > 0,05$).

Tabela 4 – Equações significativas ajustadas aos 80DAE entre NDVI e doses de N aplicadas para cada sensor utilizado.

Sensor	IV	Equação ajustada	R^2
Filtro 850nm	NDVI	$y = -7.10^{-6}x^2 - 0,0029x + 0,18$	0,95*
Espectrorradiômetro	NDVI	$y = -4.10^{-6}x^2 + 0,0015x + 0,48$	0,97*

* significativo ($p < 0,05$)

A regressão gerada a partir NDVI adquirido com o uso do filtro de 850nm com relação as doses de N aplicadas, o NDVI obteve um ponto de máximo de 208,64 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,49. Porém, esses resultados foram diferentes do obtido por Sakamoto, et al. (2012) que com o uso da câmera digital compacta Nikon COOLPIX P5100 e filtro de 830nm, encontrou para o milho no estádio de aproximadamente V12 – V15 o valor de 0,37 para NDVI.

A regressão entre o NDVI obtido pelo espectrorradiômetro e as doses de N apresentou como ponto de máximo de 194,13 kg ha⁻¹ de N para um índice de 0,63. Segundo Hatfield (2010), em sua pesquisa com milho diferentemente do encontrado com o espectrorradiômetro, obteve valores máximos para NDVI de 0,9 durante o período de crescimento vegetativo máximo com o uso de um radiômetro de oito bandas CropScan. Li, et al. (2014) encontraram com uso do sensor Crop Circle em média dos estádios V6-V12 valores de NDVI de 0,7 e 0,9, para as respectivas doses de N 50 e 100 kg ha⁻¹.

O teor de clorofila presente nas folhas das plantas apresenta boa correlação com o teor de N explicando assim o comportamento quadrático dos índices de vegetação em relação as doses de N aplicadas. Segundo Bullock & Anderson (1998), aumento da clorofila devido as doses de N, apresenta um comportamento quadrático gerando o mesmo comportamento com os índices espectrais pois, apresenta um ponto de máximo chamado de ponto de maturidade fotossintética, a partir do qual se mantém invariável, mesmo com o aumento da concentração de N no tecido.

O índice NDVI apresentou um ligeiro decréscimo com a 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).

A avaliação da relação entre o NDVI do espectrorradiômetro e das imagens infravermelhas obtidas com filtros de 720nm e 850nm, foram realizadas pelo uso dos coeficientes de correlação de pearson (r) que de acordo com a tabela 5 aumentaram no

decorrer do tempo, ou seja, as melhores correlações entre os índices do espectroradiômetro e os IV's obtidos por meio das imagens foram encontradas aos 80DAE e as piores correlações aos 15DAE.

Conforme a deficiência de N aumenta os valores do espectroradiômetro em relação as imagens se correlacionaram melhor.

O NDVI 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.

Tabela 5 – Coeficientes de correlação de pearson e teste t entre NDVI encontrado pelo uso do espectroradiômetro 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)	0,51 ^{ns}	0,61 [*]	0,25 ^{ns}	0,23 ^{ns}	0,54 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,57 [*]	0,38 ^{ns}	0,71 [*]	0,38 ^{ns}
(850nm)	0,35 ^{ns}	0,72 ^{**}	0,64 [*]	0,07 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,2 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,5 ^{ns}
Dose de N	45 DAE					60DAE				
	0	50	100	200	300	0	50	100	200	300
(720nm)	0,41 ^{ns}	0,59 [*]	0,73 ^{**}	0,67 [*]	0,59 [*]	0,71 [*]	0,87 ^{**}	0,67 [*]	0,84 ^{**}	0,66 [*]
(850nm)	0,42 ^{ns}	0,52 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,59 [*]	0,69 [*]	0,62 [*]	0,9 ^{**}	0,8 ^{**}	0,83 ^{**}	0,69 [*]
Dose de N	80 DAE									
	0	50	100	200	300					
(720nm)	0,77 ^{**}	0,87 ^{**}	0,77 ^{**}	0,69 [*]	0,73 ^{**}					
(850nm)	0,65 [*]	0,93 ^{**}	0,65 [*]	0,72 ^{**}	0,63 [*]					

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

A avaliação da relação dos índices de vegetação das imagens no infravermelho com filtro de 720nm e de 850nm e os índices do espectroradiômetro com o teor de nitrogênio foliar, massa fresca, massa seca e área foliar também foi avaliada pelas correlações de pearson (r) que se apresentaram como altas (Tabela 6).

Dessa forma, observa-se que a variável que apresentou maiores quantidades de correlações significativas foi a variável área foliar e com menores correlações foi a massa seca.

O NDVI não obteve grandes correlações com os componentes de produção, o que nos indica que alguma outra faixa do espectro é mais eficiente que a faixa vermelha do espectro, dados semelhantes foram encontrados em um trabalho com algodão submetido a quatro diferentes doses de N, Zhao et al. (2005) em que avaliaram o potencial das bandas do vermelho e infravermelho próximo, com o uso de índices de vegetação, em discriminar o estresse nutricional a respeito do elemento N.

Ao analisarmos a Tabela 6 temos que todas as correlações do NDVI 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 6 - Correlação de Pearson e teste t para NDVI 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.					
		NDVI			NDVI			NDVI					
Massa seca	0	0,83	**	0,86	**	0,65	*	0,78	**	0,74	**	0,62	*
	50	0,87	**	0,92	**	0,83	**	0,72	**	0,82	**	0,73	**
	100	0,78	**	0,61	*	0,92	**	0,61	*	0,59	*	0,8	**
	200	0,52	ns	0,62	*	0,93	**	0,68	*	0,63	*	0,86	**
	300	0,41	ns	0,42	ns	0,82	**	0,51	ns	0,36	ns	0,87	**
Área foliar	0	0,91	**	0,96	**	0,8	**	0,8	**	0,81	**	0,58	*
	50	0,84	**	0,9	**	0,81	**	0,76	**	0,65	*	0,57	*
	100	0,78	**	0,58	*	0,81	**	0,71	*	0,64	*	0,7	*
	200	0,65	*	0,79	**	0,94	**	0,64	*	0,78	**	0,95	**
	300	0,38	ns	0,41	ns	0,79	**	0,38	ns	0,46	ns	0,77	**

** 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 com o espectrorradiômetro 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 índice NDVI não apresentou bons resultados para discriminação de nitrogênio no milho, o que pode-se inferir que a banda vermelha do espectro eletromagnético não é a melhor escolha para essa finalidade.

Os filtros de 720 e 850nm se comportaram de formas similares.

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.

Alves, W. A.; Albuquerque, J. H.; Oliveira, F. A.; Cavalcante, L. F.; Loureiro, J. E. Manejo da água disponível no solo e adubação fosfatada: efeito sobre a cultura do milho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, p447-251. 2002.

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.

ASD Inc. **ViewSpec Pro User's Guide: ViewSpec Pro™ User Manual**, ASD Document 600555 Rev. A 2008.

Bullock, D. G.; Anderson, D. S. Evaluation of the Minolta SPAD 502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 4, p. 741-755, 1998.

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.

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.

Hatfield, J.; Prueger, J. H. Value of Using Different Vegetative Indices to Quantify Agricultural Crop Characteristics at Different Growth Stages under Varying Management Practices. **Remote Sensing** v.2, p.562-578, 2010.

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.

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.

Moreira, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 2 ed. São José dos Campos: UFV, 2005. 250p.

Rouse, J. W. Monitoring the vernal advancement of retrogradation of natural vegetation. **Final Report, Type III, NASA/GSFC**, Greenbelt, MD, p.371. 1974.

Sakamoto, T.; Gitelson, A. A.; Nguy-Robertson, A. L.; Arkebauer, T. J.; Wardlow, B. D.; Suyker, A. E.; Verma, S. B.; Shibayama, M. An alternative method using digital cameras for continuous monitoring of crop status. **Agricultural and Forest Meteorology**. 154–155, p.113–126. 2012.

Zhao, D.; Huang, L.; Li, J.; Qi, J. Comparative analysis of broadband and narrowband derived vegetation indices in predicting LAI and CCD of a cotton canopy. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**. v. 62. p. 25-33. 2007.