

Uso de Sensores para o Conhecimento de Padrões do Estado Nutricional do Milho para o Manejo Localizado de Nitrogênio¹.

Antônio M. Coelho² e Ricardo Y. Inamasu³

¹Parte integrante do MP1-Agricultura de Precisão, financiado pela Embrapa

²Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo CP 285, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG. CP 151.

amcoelho@cnpms.embrapa.br ³Pesquisador da Embrapa Instrumentação Agropecuária, CEP 13360-970 São Carlos SP ricardo@cnpdia.embrapa.br

Palavras-chaves: *Zea mays* L., nitrogênio, sensores, taxa variável, agricultura de precisão

Para aplicação de N a taxa variável, as pesquisas tem sido direcionadas para o desenvolvimento de indicadores da necessidade desse nutriente pelo milho. Isso deve-se ao fato de que os parâmetros de solo (matéria orgânica e N-mineral), e a expectativa de produtividade, atualmente utilizados no Brasil, não tem sido adequados para uma correta diagnose da necessidade desse nutriente pelo milho. Nesse contexto, para aprimorar e/ou desenvolver uma nova metodologia para tomada de decisão com relação ao ajuste da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho, tem sido avaliado a possibilidade de explorar as características espectrais dos pigmentos foliares (especialmente a clorofila) para utilizar as plantas como indicadores da disponibilidade de nitrogênio no solo com o uso de sensores. (medidores de clorofila e ou a medição da reflectância da cultura por meio de radiômetros ou câmeras) (Coelho et al., 2005). Os sensores óticos, baseados em tecnologia de sensoriamento remoto em Agricultura de Precisão, sempre chamaram a atenção pelo potencial de uso no controle, em tempo real, na aplicação de insumos a taxa variável (Inamasu, 2006). Esse tipo de sensor apresenta a possibilidade de detecção do estado nutricional das plantas, em relação ao nitrogênio, baseado na cor. O presente trabalho teve por objetivo a calibração de sensores para o diagnóstico da necessidade de N pelo milho, visando o manejo localizado da adubação nitrogenada de cobertura.

Um experimento, integrante das atividades do Projeto Piloto de Agricultura de Precisão, foi conduzido na Embrapa milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, em uma área de 38 hectares, irrigada com pivô central. O solo é classificado como Latossolo Vermelho escuro, textura muito argilosa, em sistema de plantio direto por mais de 10 anos. O milho, híbrido simples BRS 1030, foi semeado mecanicamente em 24 de Abril de 2006, no espaçamento de 0,70 m e densidade de 5 sementes por metro. Na adubação de semeadura foram aplicados 300 kg/ha do fertilizante 8-28-16 + 0,2 de N, P₂O₅, K₂O e Zn, respectivamente.

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados com quatro repetições, sendo as parcelas constituídas por 10 linhas de milho de 10 m de comprimento. Foram estabelecidos 06 tratamentos envolvendo quatro níveis de N (0, 60, 120 e 180 kg/ha), aplicados anteriormente as leituras com os sensores e dois tratamentos com as doses de 0 e 60 kg de N/ha aplicados posteriormente. A primeira aplicação das doses de N em cobertura, foi realizada quando o milho apresentava-se com 6 a 7 folhas (38 dias após a semeadura). O N na forma de uréia, foi aplicado incorporado no solo, em sulcos de ± 5 cm e lateralmente (± 15 cm) às linhas de milho.

Foram utilizados dois tipos de sensores: o SPAD 502 - Minolta e o ACS 210 crop circle - Holland Scientific (Figura 1). O sensor ACS 210, apresenta como característica, possuir fonte de luz própria, não dependendo da luz solar (Figura 2) e, foi cedido pelo Dr. James Schepers – ARS-USAD, Lincoln, Nebraska, como parte do trabalho em parceria realizado pela Embrapa - LABEX – Agricultura de Precisão.

As leituras utilizando os sensores, foram realizadas quando o milho apresentava-se no estágio vegetativo de 9 a 10 folhas completamente desenvolvidas. As leituras com o sensor ACS 210, foram realizadas manualmente, em 4 fileiras centrais de milho de 10 m de comprimento, posicionando o sensor no dossel das plantas (Figura 1b). Esse sensor fornece leituras nos comprimentos de onda no infravermelho próximo (NIR) e no visível, o que possibilita calcular o índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), pela seguinte fórmula : $NDVI = (NIR - VISÍVEL) / (NIR + VISÍVEL)$, cujos valores variam de -1 a +1, sendo que valores negativos indicam ausência de vegetação. As leituras com o sensor SPAD 502, foram realizadas manualmente, no terço superior da bainha da folha mais nova, completamente desenvolvida, em 10 plantas localizadas na área central de cada parcela (Figura 1a).



a) SPAD 502 - Minolta



b) ACS 210 - Holland Scientific

Figura 1. Sensores utilizados para o diagnóstico da deficiência de N em milho.

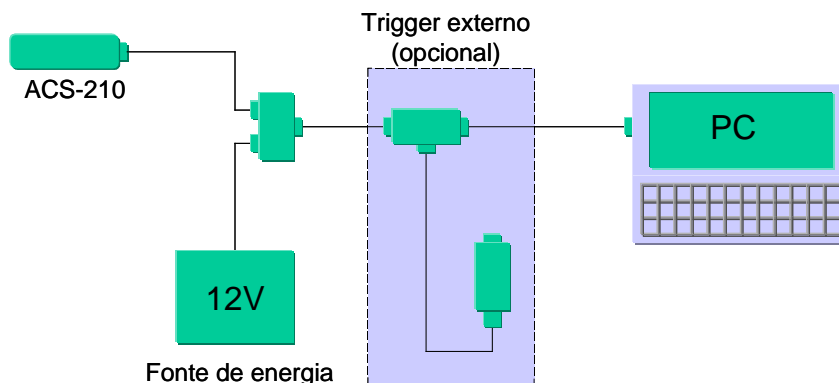


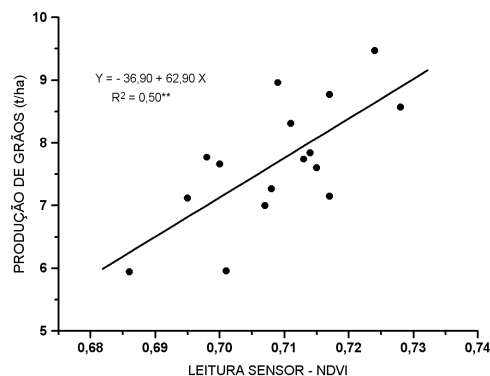
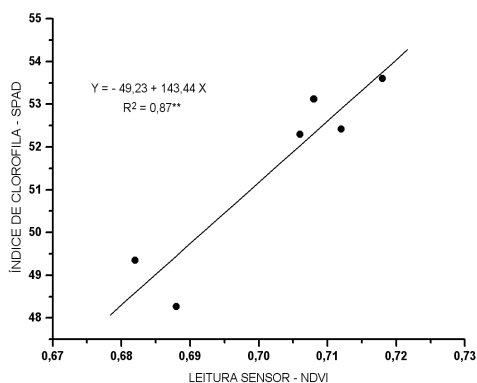
Figura 2. Esquema de ligação do Sensor ACS-210 utilizado. Adaptado do manual da Holland Scientific, Lincoln – NE (Fonte: Inamasu, 2006).

Após as leituras com os sensores, foram aplicados nas parcelas dos tratamentos que haviam recebido adubação nitrogenada de cobertura nas doses de 0 e 60 kg/ha, a dose de 60 kg de N/ha, quando o milho apresentava-se com 10 a 11 folhas (66 dias após a semeadura).

Na colheita, estande, altura de plantas, matéria seca de plantas e componentes de rendimento de grãos foram avaliados. Durante a estação de crescimento do milho, foram monitorados dados meteorológico (precipitação, temperatura, evapotranspiração tanque classe A). Esses dados, juntamente com os de evapotranspiração da cultura (ETc), foram utilizados para o cálculo do balanço da água no solo e, dessa forma, foi possível estimar a necessidade de irrigação ao longo do ciclo do milho. Os dados foram analisados estatisticamente no programa computacional SAS, utilizando-se o procedimento GLM (SAS, 1999). Na comparação das médias utilizou-se o teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Resultados e Discussão: Os índices de clorofila nas folhas, obtidos com o sensor SPAD 502, cujos valores são calculados com base na quantidade de luz transmitida através da folha na faixa do vermelho e do infravermelho próximo, por apresentar alta correlação com o conteúdo de N na folha, é considerado um método padrão para o diagnóstico da necessidade desse nutriente pelo milho. Verifica-se pela Figura 2a, uma relação linear e altamente significativa ($R^2 = 0,87^{**}$) entre as leituras do SPAD 502 e os índices NDVI obtidos pelo sensor ACS 210. Varella et al. (2005), também obtiveram alta correlação (0,67) entre os índices SPAD e o NDVI, obtido com câmara digital (3-CCD DuncanTech, modelo MS 3100), em leituras realizadas na cultura do milho no estágio vegetativo V9 – folhas. Esses resultados indicam que esse índice pode ser utilizado como um indicador do estresse nutricional de N em milho. Essa afirmativa é também suportada pela relação linear e altamente significativa ($R^2 = 0,50^{**}$) obtida entre os índices NDVI e produtividade de grãos de milho (Figura 2b).

Esses resultados, embora preliminares, demonstram o potencial da técnica mencionada, como um indicador do estado nutricional de N em milho. A vantagem do sensor ACS210 em relação ao SPAD 502 (sensor de uso manual) é que ele pode ser acoplado ao trator equipado com distribuidor de fertilizantes para diagnóstico em tempo real da necessidade de N e aplicação de fertilizante nitrogenado a taxa variável.



a) Relação entre as leituras do SPAD e do sensor ACS 210.

b) Relação entre leituras do sensor ACS 210 e produtividades do milho.

Figura 2. Relação entre o índices de clorofila nas folhas, determinados pelo SPAD e os índices NDVI, obtidos pelo sensor ASC 210 (a) e, relação entre produtividades de grãos de milho e os índices NDVI (b).

Com base nesses resultados, foi possível diagnosticar a necessidade de aplicação extra de nitrogênio nas parcelas dos tratamentos adicionais e que haviam recebido as doses de 0 e 60 kg de N/ha, na fase de desenvolvimento vegetativo de 6 a 7 folhas (Tabela 1). Comparado ao tratamento controle, e que havia recebido apenas 24 kg de N/ha na semeadura, à aplicação suplementar de 60 kg de N/ha, em cobertura, no estágio vegetativo, V10-11 folhas, possibilitou um aumento na produtividade de grãos da ordem de 25 % (1.800 kg/ha) (Tabela 1). Resultado semelhante foi também observado para o tratamento que havia recebido 60 kg de N/ha, aplicado em cobertura, no estágio vegetativo, V6-7 folhas. Comparado ao tratamento com aplicação de 120 kg de N/ha, no estágio vegetativo, V6-7 folhas, a aplicação suplementar de 60 kg de N/ha, no estágio vegetativo V10-11 folhas, proporcionou um aumento na produtividade de grãos de milho da ordem de 20% (1.500 kg/ha) (Tabela 1).

Esses resultados (Tabela 1), também evidenciam que para o milho semeado no período de outono/inverno, sob condições irrigadas, melhores resultados são obtidos com aplicações tardias ou parcelando a dose de N em duas vezes. Isso poder ser explicado pelo fato de que em semeaduras realizadas nesse período, o ciclo do milho é aumentado (150 dias), necessitando de aporte de N em estádios mais avançados de desenvolvimento da cultura.

A produtividade de 7.115 kg de grãos/ha, obtida com aplicação de apenas 24 kg de N/ha, por ocasião da semeadura, reforça a necessidade em aprimorar e/ou desenvolver uma nova metodologia para tomada de decisão com relação ao ajuste de doses e manejo da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho.

Tabela 1. Efeito das épocas de aplicação de nitrogênio na produtividade de grãos de milho, cultivado no período de outono/inverno.

Doses de nitrogênio ----- kg/ha -----	Épocas de aplicação		Produtividade de grãos ----- kg/ha -----
	Estádio V6-7	Estádio V10-11	
0	0	0	7.115c ^{3/}
0 + 60 (intervenção) ^{1/}	0	60	8.917ab
60	60	0	7.075c
60 + 60 (intervenção) ^{2/}	60	60	9.285a
120	120	0	7.757bc
180	180	0	8.827ab
Média			8.163
CV (%)			8,0

^{1/},^{2/}Aplicação de doses de N como indicado pelos sensores. ^{3/}Médias seguidas pelas mesmas letras, não apresentam diferenças significativas pelo teste de tukey 5%.

Conclusões :

A produtividade de 7.115 kg de grãos/ha, obtida com aplicação de apenas 24 kg de N/ha, por ocasião da semeadura, reforça a importância em aprimorar e/ou desenvolver uma nova metodologia para tomada de decisão com relação ao ajuste de doses e manejo da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do milho;

A alta correlação verificada entre o índices NDVI obtidos com o Sensor ACS 210 e a produtividade de grãos, indica que o uso de sensores, pode ser uma ferramenta bastante promissora para o diagnóstico da necessidade da adubação nitrogenada;

O uso do Sensor ACS 210, como um indicador da necessidade de N para o milho, possibilitou ajustes no manejo da adubação nitrogenada, com ganhos na produtividade de grãos da ordem de 20 a 25 % (1.500 a 1.800 kg/ha);

O milho semeado no período de outono/inverno, sob condições irrigadas, apresentou ciclo mais longo (150 dias), necessitando de aporte de N em estádios mais avançados de desenvolvimento. Nessas condições melhores resultados foram obtidos com aplicação da dose de 60 kg de N/ha, no estádio V10-11 folhas e, parcelando a dose de 120 kg de N/ha em duas aplicações iguais, nos estádios de desenvolvimento vegetativo V6-7 e V10-11 folhas, respectivamente.

Referências Bibliográficas

COELHO, A. M.; CRUZ, J. L.; SANTOS, P. H. A. D.; AMARAL, L. R. do. Nitrogênio mineral no solo e índice de clorofila na folha como indicadores da necessidade de nitrogênio para o milho. In: SIMPOSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3, 2005 [resumos expandidos]. Sete Lagoas. Anais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo: UFV: SBEA: CIGR, 2005. 6p.CD-ROM.

INAMASU, R. Y. Sensores óticos ativos. In: Painel I – Sensoriamento remoto com imagens de alta resolução, sensores ativos para automação e aeronaves não tripuladas para coleta de imagens para AP. CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO – **COOnBAP**: Anais. [Piracicaba]: USP-ESALQ 2006. 10p. Palestra. CD-ROM.

SAS Institute. 1996. SAS/STAT guide for personal computers. Version 8 ed. SAS Inst., Cary, NC, USA.

VARELLA, C. A. A.; CARVALHO PINTO, F. de A. de; SANTOS, N. T.; QUEIROZ, D. M. de. Estimativa de estresse nutricional de nitrogênio em imagens digitais da cultura do milho. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 3, 2005 [resumos expandido]. Sete Lagoas. Anais. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo: UFV: SBEA: CIGR, 2005. 5p. CD-ROM.