

SISTEMA POR INFRAVERMELHO PRÓXIMO (NIR) PARA ANÁLISES DE NITROGÊNIO FOLIAR

SYSTEM BY NEAR INFRARED (NIR) FOR ANALYSIS OF NITROGEN FOLIAR

Gustavo Alves SANTOS¹; Ana Paula dos SANTOS²; Gaspar Henrique KORNDÖRFER³

1. Engenheiro Agrônomo, Bolsista CAPES, Mestrando em Solos pelo Programa de Pós Graduação em Agronomia – PPGA, Instituto de Ciências Agrárias - ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, MG, Brasil. asgustavo@yahoo.com.br; 2. Engenheira Agrônoma, mestre em Solos pelo PPGA – ICIAG - UFU, Uberlândia, MG, Brasil. 3. Professor, PhD, Departamento de Solos – ICIAG - UFU, Uberlândia, MG, Brasil.

RESUMO: O sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) tem potencial para substituir metodologias convencionais de análises laboratoriais garantindo qualidade e especificidade. O objetivo do trabalho foi calibrar e utilizar o NIR para análises de nitrogênio foliar de milho e soja. Para a construção do banco de dados e das curvas de calibração, foram selecionados 100 espectros dos 315 obtidos da leitura em triplicata de 105 amostras de folhas de milho, e 73 espectros dos 363 resultantes da leitura em triplicata de 121 amostras de folhas de soja. Os demais espectros foram utilizados para a validação das curvas construídas. Avaliou-se a habilidade de predição dos modelos construídos utilizando-se amostras não pertencentes ao banco de dados, sendo 92 amostras de folhas de milho e 86 amostras de folhas de soja. Todas as amostras foram submetidas também à análise convencional pelo método Kjeldahl. Os resultados foram analisados por comparação, através dos coeficientes de correlação e pelo teste t-Student a 5% de probabilidade. A calibração gerou curvas capazes de estimar resultados que não diferiram estatisticamente dos obtidos pelo método padrão e os coeficientes de correlação de 0,85 e 0,88 para nitrogênio foliar em milho e soja, respectivamente, obtidos na validação indicam que as curvas são válidas e podem gerar resultados confiáveis. Na etapa de predição, os valores encontrados pelo NIR não diferem dos resultados do método padrão e os coeficientes de correlação de 0,79 e 0,85 para milho e soja respectivamente, indicam que o sistema NIR expressa o teor de nitrogênio foliar com confiabilidade aceitável.

PALAVRAS-CHAVE: Espectroscopia. Análise foliar. Teor de nitrogênio.

INTRODUÇÃO

A análise foliar é uma ferramenta que indica se os fertilizantes aplicados ao solo estão sendo realmente aproveitados e se os nutrientes fornecidos estão balanceados conforme as exigências da cultura, além de ser um indicador bastante confiável quando se deseja saber se o manejo adotado numa lavoura está coerente (RESENDE, 2003).

Segundo Pena (2009) como critério diagnóstico, a utilização da análise foliar baseia-se na premissa de existir uma relação bem definida entre o crescimento e a produtividade das culturas e o teor dos nutrientes em seus tecidos. Segundo Martinez et al. (1999) a análise foliar pode ser utilizada não só na avaliação do estado nutricional em resposta às adubações e na verificação do equilíbrio nutricional, mas também na constatação da ocorrência de deficiências ou toxidez de nutrientes, no acompanhamento, avaliação e ajuda no ajuste do programa de adubações; e por fim, na detecção da ocorrência de salinidade elevada em áreas irrigadas ou cultivos hidropônicos.

Salienta-se que boa parte das decisões tomadas em relação ao manejo nutricional das culturas baseia-se em laudos de análises de solo e também de tecido vegetal. Nesse contexto, é

notório o aumento pela busca por essas análises em laboratórios especializados, os quais devem então, buscar progresso científico, além de melhorias tecnológicas de modo a desenvolver métodos que possam apresentar os resultados das análises laboratoriais em menos tempo, com menor custo para o produtor e com máxima confiabilidade (SANTOS et al., 2010).

O nitrogênio é importante no metabolismo das plantas, participando como constituinte de moléculas de proteínas, coenzimas, ácidos nucléicos, citocromos, clorofila etc., além de ser um dos nutrientes mais relevantes para o aumento da produtividade. A adubação nitrogenada por sua vez influencia também na qualidade dos produtos agrícolas (FERREIRA et al., 2001), e no teor de nitrogênio foliar.

O teor de nitrogênio nas folhas é um dos fatores determinantes no conteúdo de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997). Além disso, segundo Killorn e Zourarakis (1992), a concentração foliar de nitrogênio reflete sua disponibilidade no solo, sendo que a sua análise pode ser útil na detecção de deficiência de nitrogênio, bem como na recomendação de adubação.

O método Kjeldahl é o mais utilizado para a determinação do teor de nitrogênio em tecido vegetal (BATAGLIA et al., 1983). Esse método

analítico é amplamente utilizado nos laboratórios, no entanto é relativamente demorado e exige grande demanda de mão-de-obra especializada. Schuster (1978) consagrou o emprego da espectroscopia NIR na determinação de proteína em substituição ao método Kjeldahl, que apesar de ser bastante preciso é um procedimento lento e gerador de resíduos.

O sistema de análises por infravermelho próximo - *Near Infrared* (NIR), pode vir a substituir grande parte das metodologias convencionais de análises em laboratório, garantindo a qualidade e as especificidades necessárias para cada análise. Sua grande vantagem em relação aos métodos tradicionais está na análise múltipla dos constituintes, no período máximo de um minuto por amostra, menor necessidade de mão-de-obra, rapidez e, portanto, menor custo variável, além de não ser poluente por não utilizar produtos químicos ou reagentes (AMORIM, 1996). No entanto, as dificuldades de se trabalhar com esse sistema estão relacionadas ao relativo custo inicial de aquisição, necessidade de sistematização dos dados, e em algumas situações, a necessidade de grandes quantidades de material para que se proceda a análise.

Apesar de ser uma técnica de análise bastante avançada, sua eficácia é diretamente dependente dos métodos analíticos tradicionais, visto que é necessária a sua calibração a partir dos resultados desses.

A espectroscopia no infravermelho próximo foi empregada desde o início da década de 1960, para determinar umidade em sementes (HART et al., 1962). O seu uso se baseia nas curvas espectrais das amostras analisadas. O espectro de um determinado material obtido com radiação infravermelha é o resultado da absorção de energia, na forma de luz, por moléculas orgânicas, particularmente aquelas que possuem grande número de ligações do tipo C-N, N-H e O-H (AMORIM, 1996).

A radiância ou quantidade de radiação refletida, comparada com a irradiância que é a quantidade de radiação que incidente sobre a amostra fornece a medida de reflectância, a qual é captada pelos sensores para a construção da curva espectral.

De acordo com Meyer (1999) é possível obter boas calibrações do sistema NIR para análises de nitrogênio foliar. Na área de nutrição de plantas o sistema NIR pode ser usado na determinação dos teores de nutrientes em folhas de cana-de-açúcar

(SANTOS et al., 2010), e também de nitrogênio em folhas de trigo (LIMA et al., 2008).

O sistema NIR foi usado como uma ferramenta rápida e eficiente para quantificar os estádios nutricionais de plantas e monitorar a eficiência de fertilizantes no solo. Modelos desenvolvidos para previsões de teores de nitrogênio, fósforo, magnésio e ferro em folhas de milho utilizaram medidas de refletância em diferentes regiões do espectro (GRAEFF; CLAUPEIN, 2003). Esta metodologia contribuiu para melhor interpretar os estádios fisiológicos das folhas de milho por meio da análise dos seus espectros e, além disto, a técnica pode ser utilizada com outras espécies como o azevém perene (*Lolium perene* L.) e festuca vermelha (*Festuca rubra* L.), para discriminar a fertilização recomendada (GISLUM et al., 2004).

Brandelero (2010) utilizou a espectrometria por infravermelho próximo para detectar níveis de macro e micronutrientes em material vegetativo de povoamentos florestais homogêneos de *Eucalyptus grandis*, o que se mostra como uma boa ferramenta para utilização no planejamento dos programas de fertilização, visando fornecimento de elementos e quantidades adequadas e economia de fertilizantes.

Segundo Tormen (2008) o infravermelho próximo pode ser utilizado para quantificar nitrogênio em folhas de feijoeiro no início do desenvolvimento da cultura pelo fato de esse método ter apresentado melhor resultado que os desenvolvidos com índices de vegetação.

Diante da importância atribuída ao nitrogênio na agricultura, está clara a necessidade de se desenvolver métodos rápidos, eficientes, confiáveis e de baixo custo para determinação dos níveis desse elemento em tecidos vegetais, possibilitando um fácil monitoramento da sua disponibilidade no solo e do estado e/ou equilíbrio nutricional das plantas.

O presente trabalho teve como objetivo calibrar e utilizar o sistema de análises por infravermelho próximo (NIR) para a análise de nitrogênio em tecido foliar das culturas de milho e soja.

MATERIAL E MÉTODOS

O sistema NIR utilizado foi o de marca Femto, modelo NIR 900 PLS, fabricado no Brasil pela FEMTO Indústria e Comércio de Instrumentos, que trabalha na faixa de comprimento de onda de 1100 a 2500 nm. O software utilizado no equipamento foi o FemWin900, do mesmo fabricante.

Os espectros das amostras foram obtidos a partir da leitura em varredura das mesmas, a qual utilizou toda a faixa de comprimentos de onda com a qual o sistema trabalha, de forma automática.

Para a construção das curvas de calibração, o método de calibração multivariado utilizado foi o de regressão Mínimos Quadrados Parciais (PLS), e utilizou-se o tratamento matemático direto.

As amostras de material vegetal de milho e de soja utilizadas foram obtidas do arquivo de amostras enviadas por terceiros e submetidas a análises de rotina no Laboratório de Análise de Solos (LABAS) da Universidade Federal de Uberlândia (UFU).

Calibração

Essa etapa consistiu na construção de um banco de dados contendo o valor de nitrogênio conhecido, determinado pelo método convencional e a curva espectral de cada uma das amostras analisadas no aparelho. Esses dados ficaram armazenados no software do aparelho e possibilitaram ao mesmo prever os valores das amostras analisadas na etapa final de predição.

Durante essa etapa do trabalho, cada amostra foi lida no aparelho em três repetições, na tentativa de diminuir prováveis erros, tais como de má acomodação da amostra no recipiente de inserção da amostra no aparelho (cubeta), e também para que se construísse o banco de dados com um maior número de resultados e curvas espectrais.

Para determinação do teor de nitrogênio foliar, foram analisadas 226 amostras, sendo 105 de folhas de milho e 121 de folhas de soja. A determinação foi realizada pelo método Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983). Para a análise no sistema NIR, foram colocados aproximadamente 10 gramas de cada amostra em uma cubeta a qual foi inserida no aparelho para que se fizesse a leitura espectral.

Ao final, foram obtidas 315 leituras/espectros de valores de nitrogênio em folhas de milho (105 amostras lidas em triplicata) das quais 100, com teores entre 23 e 37 g kg⁻¹ de nitrogênio foram selecionadas pelo aparelho para a obtenção da curva de calibração para o milho, sendo as demais selecionadas para a etapa de validação. Já para as folhas de soja, foram obtidas 363 leituras/espectros (121 leituras em triplicata). Para a curva de calibração foram selecionadas pelo aparelho 73 leituras, com teores de nitrogênio entre 36 e 62 g kg⁻¹. Novamente as demais amostras foram selecionadas para a validação.

Para a validação, as leituras/espectros não selecionadas para a construção da curva de calibração foram utilizadas no intuito de testar as curvas construídas para que as mesmas fossem aceitas e validadas pelo equipamento.

Predição

Avaliou-se a habilidade de predição dos modelos construídos por meio de predição externa, feita com amostras não pertencentes ao banco de dados.

Essa foi a etapa de utilização propriamente dita, em que, a partir dos resultados anteriormente armazenados no banco de dados, o sistema NIR indicou, por meio de predição, qual o valor da característica analisada para cada amostra.

Essas mesmas amostras também foram analisadas pelo método convencional, e, com os resultados das duas análises, foram feitas as correlações que mostraram a esperada confiabilidade, ou não, do aparelho para esse tipo de análise.

Para o estudo da correlação entre os métodos, tanto no sistema NIR quanto pelo método Kjeldahl (BATAGLIA et al., 1983) foram analisadas 178 amostras, sendo 92 de folhas de milho e 86 de folhas de soja.

Análise de dados

Os resultados da predição foram analisados mediante a comparação dos resultados obtidos pelo sistema NIR e pelo método convencional, por meio dos coeficientes de correlação a 0,05 de significância determinados entre os resultados dos dois métodos testados.

Também foi feito o teste t-Student a 5% de probabilidade para se verificar a diferença entre médias, para testar a semelhança entre os resultados obtidos pelos dois métodos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Calibração

A calibração feita gerou curvas capazes de informar resultados de teores de nitrogênio em folhas de milho e soja que não diferiram significativamente (P<5%) dos resultados obtidos pelo método padrão (Tabela 1).

Os estudos de correlação que comparam os resultados obtidos pelo sistema NIR com os resultados obtidos pelo método padrão, para folhas de milho e soja, podem ser observados nas Figuras 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Valores de t encontrados nos testes t-student (5% de probabilidade) para diferença entre médias obtidas pelo sistema NIR e pelo método Kjeldahl.

Cultura	Número de espectros	t calculado	t tabelado
Milho	100	0,97 ^{ns}	1,97
Soja	73	0,99 ^{ns}	1,97

^{ns} – não diferem significativamente entre si pelo teste t de Student.

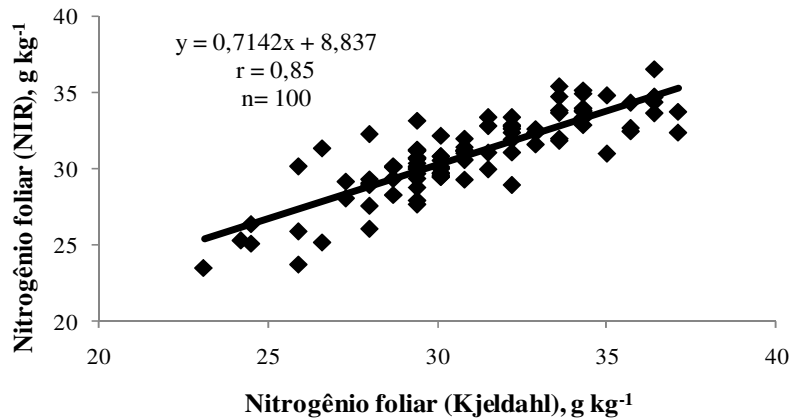


Figura 1. Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em milho.

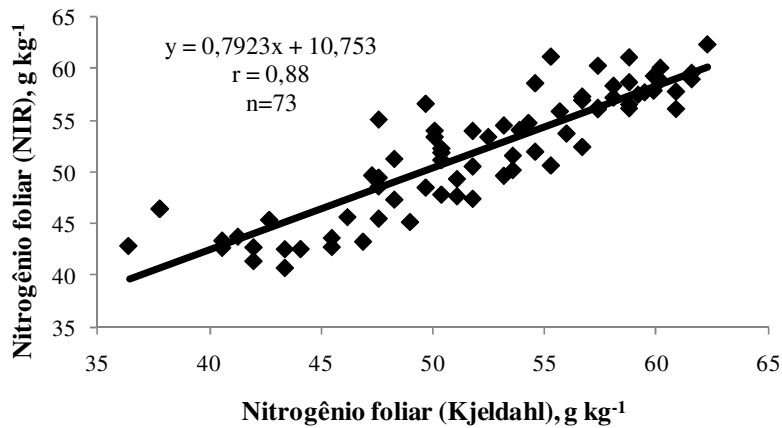


Figura 2. Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em soja.

Os coeficientes de correlação de 0,85 e 0,88 para teor de nitrogênio foliar em milho e soja respectivamente, foram obtidos na validação. Esses valores indicam que as curvas são válidas e, por isso, podem gerar resultados confiáveis, quando comparados aos obtidos pelo método convencional.

Predição

Pelo método Kjeldahl foram encontrados teores de nitrogênio variando de 19 a 39 g kg⁻¹ de

nitrogênio nas folhas de milho e de 40 a 62 g kg⁻¹ de nitrogênio nas folhas de soja.

Os valores encontrados pelo sistema NIR, tanto para folhas de soja quanto para as de milho, não diferem estatisticamente dos resultados do método padrão de análise de nitrogênio foliar. A variação existente entre os teores de nitrogênio nas folhas analisadas consegue ser detectada pelo sistema NIR e assim os resultados por ele informados estão compreendidos em intervalos semelhantes (Tabela 2).

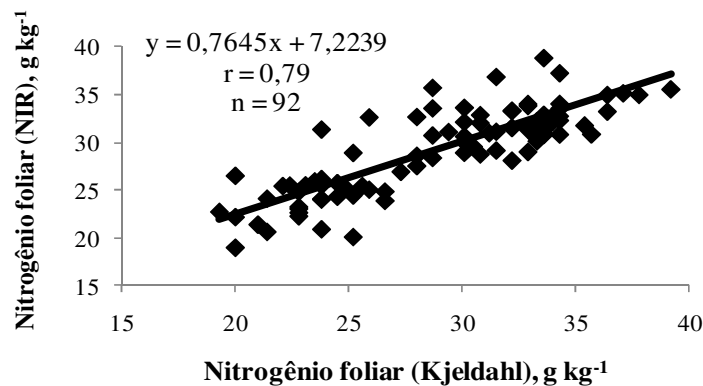
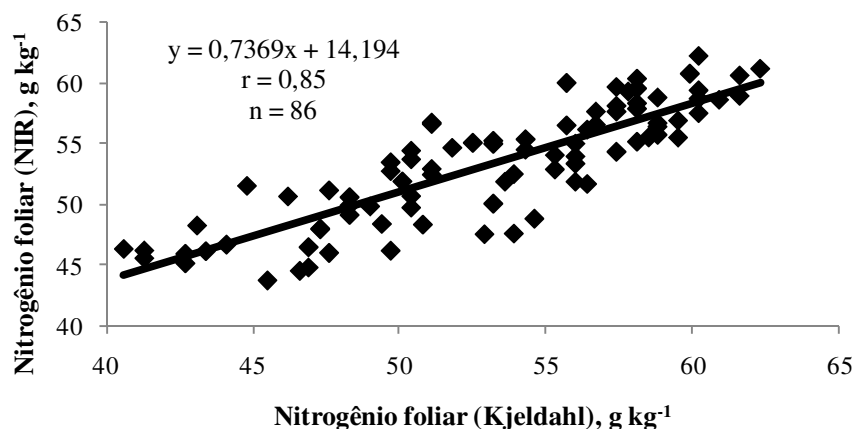
Tabela 2. Valores de t encontrados nos testes t-student (5% de probabilidade) para diferença entre médias obtidas pelo sistema NIR e pelo método Kjeldahl.

Cultura	Número de amostras	t calculado	t tabelado	Intervalo (g kg ⁻¹ N)	
				Kjeldahl	NIR
Milho	92	0,59 ^{ns}	1,97	19 – 39	19 – 42
Soja	86	0,91 ^{ns}	1,97	40 – 62	44 – 62

^{ns} – não diferem significativamente entre si pelo teste t de Student.

Segundo Malavolta et al. (1997) a faixa de suficiência de nitrogênio foliar para a cultura da soja está compreendida entre 45 e 55 g kg⁻¹ e, para a cultura do milho, entre 27 a 32 g kg⁻¹, o que permite afirmar que os resultados encontrados variaram do nível baixo até alto, tanto para as amostras de folha de milho quanto de soja, em ambos os métodos testados.

O teste de correlação e seus coeficientes de 0,79 e 0,85 para teor de nitrogênio foliar em milho e soja respectivamente (Figuras 3 e 4), indicam que, além de encontrar resultados sem diferença significativa a 5% de probabilidade, em relação aos do método padrão Kjeldahl, o sistema NIR consegue detectar o incremento no teor de nitrogênio foliar e expressá-lo com confiabilidade aceitável, ao nível de 0,05 de significância.

**Figura 3.** Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em milho.**Figura 4.** Correlação entre o método padrão (Kjeldahl) e o NIR para determinação de nitrogênio foliar em soja.

Os coeficientes de correlação encontrados foram altos pelo fato das amostras utilizadas na predição apresentarem teores de nitrogênio foliar compreendidos dentro do mesmo intervalo obtido pelas amostras utilizadas na construção do banco de dados da etapa de calibração. Isso indica que extrapolações para valores que estejam fora do intervalo que compõe o banco de dados inicial podem ser comprometidas, no entanto, a construção desse banco de dados com valores de maior abrangência é uma das maneiras de amenizar essa problemática.

Os resultados encontrados se assemelham aos obtidos por Santos et al. (2010) os quais trabalharam com amostras de folhas de cana-de-açúcar e encontraram coeficientes de correlação de 0,83 e 0,87 para as comparações entre os métodos padrão e o sistema NIR, para análises de silício e nitrogênio foliar respectivamente. Segundo esses autores, esses níveis de correlação são considerados altos e pelos fatos das análises de silício e nitrogênio no tecido vegetal realizadas pelos métodos padrões serem complexas, demoradas e requererem grande quantidade de reagentes tóxicos, esse sistema pode ser usado com sucesso para determinação destes elementos em folhas de cana-de-açúcar. Ainda nesse trabalho, dentre as comparações testadas, a análise de nitrogênio foliar no sistema NIR foi a que apresentou maior coeficiente de correlação quando comparada com o método padrão, seguido pelo silício foliar, teor de argila e de matéria orgânica no solo, o que indica que o sistema NIR apresenta maior chance de sucesso na determinação de nutrientes nas folhas do que nos solos.

Resultados semelhantes foram encontrados também por Lima et al. (2008) que, trabalhando com 29 amostras de folha de trigo, não encontraram

diferença estatística pelo teste t-Student a 5% de probabilidade entre os teores de nitrogênio total obtidos pelo sistema NIR e pelo método de referência.

Não havendo diferença estatística entre os valores de nitrogênio foliar entre os métodos testados (método padrão e por infravermelho próximo) pode-se dizer que os coeficientes de correlação encontrados são satisfatórios. Isto permite indicar que a utilização do sistema de análises por infravermelho próximo é confiável.

Considerando os resultados, o sistema NIR pode então, substituir com vantagens (agilidade, rapidez e menor custo) o método convencional de análise de nitrogênio em tecido vegetal, sem comprometer a qualidade dos resultados.

Com o objetivo de se manter a qualidade dos resultados encontrados e também no intuito de se determinar correlações ainda melhores, deve-se constantemente complementar o banco de dados do sistema com valores compreendidos entre os intervalos estudados.

Para o caso de análises que se estendam a outros materiais, elementos, culturas e intervalos, deve-se construir um banco de dados o mais abrangente possível de acordo com as avaliações de interesse.

CONCLUSÃO

Os resultados dos testes estatísticos e os coeficientes de correlação encontrados indicaram que as curvas de calibração geradas foram capazes de fornecer resultados confiáveis, mostrando a eficiência do sistema NIR para a realização da análise de nitrogênio em folhas de milho e soja.

ABSTRACT: The system analysis by near infrared (NIR) has the potential to replace conventional methods of laboratory analysis ensuring quality and specificity. The objective of this study was to calibrate and use the NIR for analysis of foliar nitrogen in corn and soybean plants. For building the database and the calibration curves, were selected 100 of the 315 spectra obtained in triplicate reading of 105 samples of corn leaves, and 73 of the 363 spectra resulting from the reading of 121 in triplicate samples of soybean leaves. The remaining spectra were used to validate the constructed curves. Then we evaluated the predictive ability of models built using samples not belonging to the database, 92 samples of leaves of maize and 86 samples of soybean leaves. All samples were also subjected to conventional Kjeldahl analysis. The results were analyzed by comparison of the coefficients of correlation and the t-Student test at 5% probability for difference between means for testing the equality between the methods. The calibration curves generated able to report results statistically equal to the standard method and the correlation coefficients of 0.85 and 0.88 for leaf nitrogen in corn and soybeans, respectively, obtained in the validation indicate that the curves are valid and may yield reliable. In step prediction, the values found by the NIR system for sheets of soybean and corn do not differ from results of standard method and the correlation coefficients of 0.79 and 0.85 for corn and soybean respectively, indicate that the NIR system expressed the leaf N content with acceptable reliability.

KEYWORDS: Spectroscopy. Foliar analysis. Nitrogen content.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, H. V. **Manual de Métodos Analíticos para o Controle da Produção de Álcool e Açúcar**. 2ª Ed. Piracicaba: Editora Fermentec/Fealq/Esalq-USP, 1996. 230p.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1983. 48p. (Boletim Técnico nº 78).
- BRANDELERO, C. **Espectrorradiometria do visível e infravermelho próximo em povoamento de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden**. 2010, 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 2010.
- FERREIRA, A. C. B. de; ARAÚJO, G. A. A. de; PEREIRA, P. R. G; CARDOSO, A. A. Características agronômicas e nutricionais do milho adubado com nitrogênio, molibdênio e zinco. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 131-138, 2001.
- GISLUM, R.; MICKLANDER, E.; NIELSEN, J. P., Quantification of nitrogen concentration in perennial ryegrass and red fescue using near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) and chemometrics, **Field Crops Research**, Holanda, v. 88, p. 269-277, 2004.
- GRAEFF, S.; CLAUPEIN, W. Quantifying nitrogen status of corn (*Zea mays* L.) in the field by reflectance measurements. **European Journal of Agronomy**, Bolonha, v. 19, p. 611-618, 2003.
- HART, J. R.; NORRIS, K.H.; GOLUMBIC, C. Determination of the moisture content of seeds by near-infrared spectrophotometry of their methanolic extracts. **Cereal Chemistry**, Manhattan, v. 39, p. 94-99, 1962.
- KILLORN, R.; ZOURARAKIS, D. Nitrogen fertilizer management effects on corn grain yield and nitrogen uptake. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 5, n. 1, p. 142-148, 1992.
- LIMA, K. M. G; TREVISAN M. G; POPPI, R. J; ANDRADE, J. C. Determinação não destrutiva do nitrogênio total em plantas por espectroscopia de reflectância difusa no infravermelho próximo. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 700-703, Mar. 2008.
- MALAVOLTA, E; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.
- MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G; SOUZA, R. B. Diagnose foliar. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Ed.). **Recomendações 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. 143-168
- MEYER, J. H. Use of NIR in the South African sugar industry with reference to soil fertility management. **South African Sugar Association Experiment Station**, KwaZulu-Natal, 1999.
- PENA, C. **Análise foliar para o milho**, 2009. Disponível em: <<http://agriculturabrasileira.blogspot.com/2009/07/analise-foliar-para-o-milho.html>>. Acesso em: set. 2010.
- RESENDE, A. V. **A Análise Foliar como fator de aumento da produtividade das culturas**, 2003. Disponível em: <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/conteudo.php?id=22822>> Acesso em: set. 2010.
- SANTOS, G. A; PEREIRA, A. B; KORNDÖRFER, G. H. Uso do Sistema de Análises por Infravermelho Próximo (NIR) para análises de matéria orgânica e fração argila em solos e teores foliares de silício e nitrogênio em cana-de-açúcar. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, n. 1, p. 100-108, Jan./Fev. 2010.

SCHUSTER, J.H. Semi-automated proximate analysis, **Cereal Foods World**, Saint Paul, v. 23, p. 180-182. 1978.

TORMEN, G. P. **Caracterização do teor de nitrogênio foliar e produtividade do feijoeiro com técnicas de visão artificial**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2008.