

**Nitrogênio no solo e no tecido foliar do feijoeiro em função da adubação nitrogenada**

Osmar Henrique de Castro Pias<sup>1</sup>, Diego Ricardo Menegol<sup>2</sup>, Junior Melo Damian<sup>3</sup>, Mateus Tonini Eitelwein<sup>3</sup>, Clóvis Orlando Da Ros<sup>2</sup>, Antônio Luis Santi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves, 7712, Agronomia, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), campus de Frederico Westphalen, Linha 7 de Setembro, s/n, Frederico Westphalen, Rio Grande do Sul, Brasil.

<sup>3</sup>Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ), Universidade de São Paulo, Avenida Centenário, Piracicaba, São Paulo, Brazil.

Email autor correspondente: [henriquepias@yahoo.com.br](mailto:henriquepias@yahoo.com.br)  
Artigo enviado em 01/04/2017, aceito em 14/11/2017.

**Resumo:** A baixa eficiência da adubação nitrogenada (N) aplicada à cultura do feijão aumenta os custos de produção e problemas ambientais. Nesse sentido, é essencial o estudo de novas técnicas de manejo que busquem melhorar a sincronia entre a aplicação e a absorção de N. O objetivo desse estudo foi avaliar a resposta isolada e a relação entre N mineral do solo, índice de clorofila (IC), índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e N nas folhas de plantas do feijoeiro comum em função de doses e épocas de aplicação de N. Foram avaliadas oito doses de N (0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 e 280 kg ha<sup>-1</sup>) aplicadas em cinco épocas (semeadura, 10, 15, 20 e 30 dias após a emergência (DAE)). As avaliações do N mineral do solo, concentração de N foliar, IC e NDVI do feijoeiro foram realizadas aos 15, 25, 35 e 45 DAE. O N mineral do solo responde linearmente ao incremento das doses de N aplicadas, contudo, a sua persistência no solo não segue um padrão definido. Os valores de IC e de NDVI se ajustaram a uma equação quadrática frente às doses de N aplicadas, sendo as doses de 214 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N as que proporcionam as maiores médias, respectivamente. Há correlação positiva entre os valores de NDVI e IC, e entre os valores de N mineral do solo com a concentração de N foliar e NDVI, vislumbrando-se, portanto, a possibilidade da utilização conjunta dessas estratégias no manejo do N na cultura do feijoeiro.

**Palavras-chave:** Índice de clorofila, NDVI, *Phaseolus vulgaris*.

**Nitrogen in soil and in common bean leaf tissue in function of the nitrogen fertilization**

**Abstract:** The low efficiency of nitrogen (N) fertilization on bean crop increase production costs and environmental problems. In this sense, it is essential the study of new management techniques that seek to improve the synchrony between application and absorption of N. The aim of this study was to evaluate the isolated response and the relationship between soil mineral N, chlorophyll index (CI), normalized difference vegetation index (NDVI) and N content on leaf tissue of common bean in function of rates and application times of N. It was evaluated eight doses of N (0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 and 280 kg ha<sup>-1</sup>) in five application times (at sowing, 10, 15, 20 and 30 days after emergence (DAE)). The evaluations of N soil mineral, N content on leaf tissue, CI

and NDVI of beans were carried out at 15, 25, 35 and 45 DAE. The soil mineral N responds linearly to the increase of applied N rates, however, its soil persistence does not follow a defined pattern. The values of CI and NDVI were adjusted to a quadratic equation in relation to the applied N doses, with doses of 214 and 160 kg ha<sup>-1</sup> of N as they provide higher mean values, respectively. There are positive correlations between NDVI and IC values, and between soil mineral N values with the N content on leaf tissue and NDVI, offering the possibility of joint use of these tools in the N management of the bean crop.

**Keywords:** Chlorophyll index, NDVI, *Phaseolus vulgaris*.

### Introdução

O nitrogênio (N) é o nutriente absorvido em maior quantidade pela cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), e caracteriza-se por ser constituinte básico de várias moléculas e essencial para uma série de processos fisiológicos vitais para as plantas. A deficiência de N é caracterizada pelo amarelecimento precoce das folhas mais velhas (clorose), reduzindo a atividade fotossintética e, por conseguinte, afetando a produtividade da cultura (TAIZ e ZEIGER, 2013).

No sul do Brasil as recomendações de N são baseadas nos teores de matéria orgânica do solo, na cultura antecessora e na expectativa de rendimento da cultura (CQFS-RS/SC, 2016). Dessa forma, todo o manejo da adubação nitrogenada é definido antes da implantação da lavoura, não sendo, portanto, considerada a real necessidade e o momento de maior demanda do nutriente pelas plantas. Em virtude disso, as doses de N aplicadas aos cultivos estão sempre acompanhadas de uma percentagem de erro, podendo resultar em perda de rendimento, aumento dos custos de produção e/ou danos ao meio ambiente (ARGENTA et al., 2003).

Visando potencializar o uso do N nas lavouras, tem-se estudado várias estratégias que buscam a obtenção de maior sincronismo, entre a capacidade

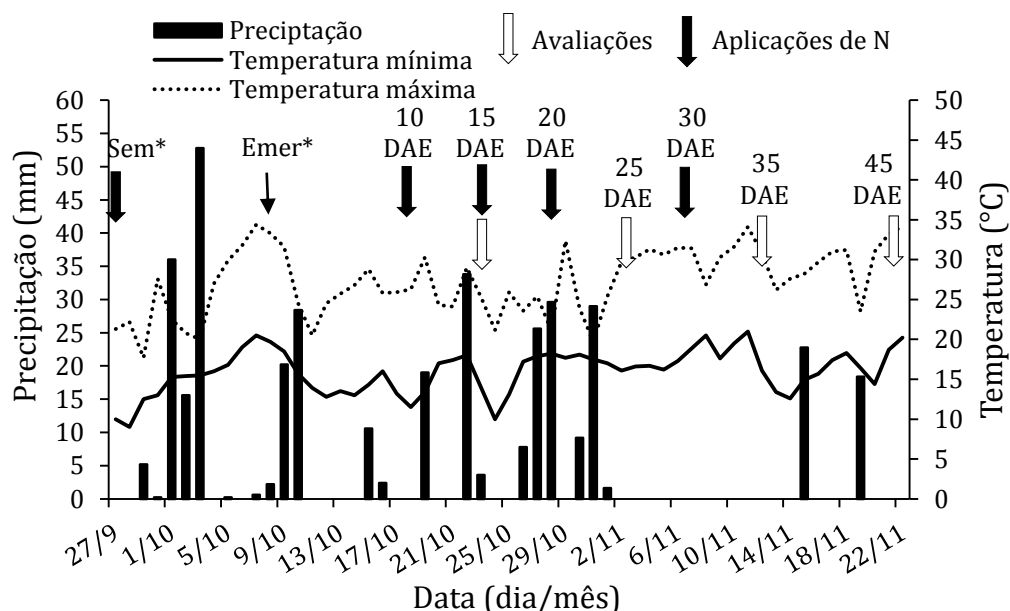
do solo em fornecer N, os estádios fenológicos de maior demanda do nutriente pelas plantas e as épocas de aplicação do fertilizante (BARBOSA FILHO et al., 2008; CREWS e PEOPLES, 2005). Dentre estas estratégias, destaca-se o uso do clorofilômetro para o monitoramento do índice de clorofila (IC) das folhas devido às leituras serem realizadas em tempo real de forma prática e não destrutiva (ARGENTA et al., 2001; 2003; CARVALHO et al., 2003; BARBOSA FILHO et al., 2008; BARBIERI JUNIOR et al., 2012; MAIA et al., 2012). Outra possibilidade é o uso de sensores remotos como o Greenseeker® que fornece como resposta de suas leituras o índice de vegetação por diferença normalizada denominado na literatura por NDVI (*normalized difference vegetation index*) o qual estima o estado nutricional das plantas por meio da refletância do dossel vegetativo (POVH et al., 2008; GROHS et al., 2011; MEROTTO et al., 2012). Outras variáveis que têm sido estudadas a mais tempo para aumentar a eficiência da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro é o uso do N mineral do solo e a concentração de N foliar da cultura (RAMBO et al., 2007).

Os estudos realizados com clorofilômetros e sensores remotos, aplicados ao manejo da adubação nitrogenada, apresentaram resultados satisfatórios para várias culturas, tais

como: milho (RAMBO et al., 2007; RAMBO et al., 2010; BRAGAGNOLO et al., 2013), feijão (CARVALHO et al., 2003; BARBOSA FILHO et al., 2008; MAIA et al., 2012) e cereais de inverno (POVH et al., 2008; GROHS et al., 2009). Contudo, o conhecimento aprofundado dessas técnicas, suas relações e critérios de aplicação nos cultivos ainda não são totalmente compreendidos, justificando novos estudos. A hipótese desse estudo foi de que diferentes estratégias que vem sendo estudadas de forma isolada para o manejo da adubação nitrogenada do feijoeiro apresentam correlações entre si, e podem, portanto, serem utilizados de forma conjunta, aumentando a eficiência das recomendações. O objetivo desse estudo foi avaliar a resposta isolada e a relação entre N mineral do solo, índice de clorofila, NDVI e N foliar de plantas de feijoeiro comum em função de doses e épocas de aplicação de N.

### Material e Métodos

O estudo foi conduzido em uma área localizada no município de Frederico Westphalen (coordenadas centrais: latitude 27°23'45" S e longitude 53°25'45" O), com altitude média de 488 m, localizada na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. O clima da região é definido como subtropical de primavera úmida (STPU), com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual próxima a 1.900 mm (MALUF, 2000). Os dados de precipitação pluvial e de temperaturas mínimas e máximas, que ocorreram durante o período de condução do estudo, obtidos por uma estação meteorológica do INMET, localizada a aproximadamente 600 m do campo experimental, são apresentados na Figura 1.



\*Sem: semeadura; Emer: emergência; DAE: dias após a emergência.

**Figura 1.** Precipitação pluvial e temperaturas mínimas e máximas durante o período de condução do experimento, Frederico Westphalen, RS, 2012.

O solo do local foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, segundo as metodologias descritas por Santos et al. (2013). A área

experimental no momento da implantação do estudo era conduzida sob o sistema de plantio direto há 10 anos, sendo as principais culturas

constituintes do plano de rotação soja e milho no verão e trigo e aveia no cultivo de inverno. Os principais atributos químicos do solo na camada de 0,00-0,10 m da área experimental, no momento da implantação do estudo foram os seguintes: pH em água (1:1): 5,9; argila: 790 g kg<sup>-1</sup>; matéria orgânica: 29 g kg<sup>-1</sup>; K: 219,5 mg dm<sup>-3</sup>; P (mehlich): 17,5 mg dm<sup>-3</sup>; Ca: 6 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; Mg: 2,8 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>; CTC (pH 7,0): 12,7 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> e saturação por bases: 73,9%.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso em arranjo fatorial 8 x 5 x 4 (doses de N x épocas de aplicação do N x épocas de avaliação), com três repetições. As doses de N avaliadas foram de 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 e 280 kg ha<sup>-1</sup> aplicadas em cobertura nos momentos referentes aos tratamentos de épocas. As épocas de aplicação de N foram as seguintes: logo após a semeadura, aos 10, 15, 20 e 30 dias após a emergência (DAE). As aplicações de N foram realizadas sempre ao final da tarde, devido as temperaturas mais amenas. O N foi aplicado superficialmente de forma manual, utilizando-se a ureia como fonte de N. As avaliações foram realizadas aos 15, 25, 35 e 45 DAE. Cada parcela experimental correspondeu a uma área de 6,75 m<sup>2</sup>, resultantes de cinco linhas de semeadura espaçadas a 0,45 m, com 3 m de comprimento. A área útil para as avaliações foi de 2,03 m<sup>2</sup>, correspondente a 1,5 m, das três linhas centrais de cada parcela.

A cultivar de feijão utilizado foi a IPR Tuiuiú, pertencente ao grupo das cultivares de grãos preto, hábito de crescimento indeterminado, tipo II e porte ereto. A semeadura foi realizada no dia 28 de setembro de 2012, em sistema de semeadura direta, sem a utilização de inoculante. A cultura antecessora ao feijão foi o trigo, dessecado 30 dias antes da semeadura, na fase de enchimento de grãos. Após a

germinação das sementes, manteve-se uma densidade populacional de aproximadamente 235.000 plantas por ha. A adubação de base para todos os tratamentos foi realizada de forma incorporada, no momento da semeadura, utilizando 400 kg ha<sup>-1</sup> de fertilizante comercial 05-20-20 (NPK).

Para a determinação do teor de N mineral do solo (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> + NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) foram coletadas três subamostras de solo por parcela, na entre linha das plantas, as quais foram homogeneizadas para formar uma amostra composta, da camada de 0,00 a 0,10 m de profundidade. Na sequência as amostras foram alocadas em caixas térmicas com gelo e em seguida congeladas para posterior determinação do teor de N mineral em laboratório. Para a determinação da concentração de N no tecido foliar, foi coletado o terceiro fófolo de três plantas por parcela, do último trifólio totalmente expandido, totalizando três fófolos por parcela, os quais foram levados para o laboratório, secos à temperatura de 65 °C em estufa, até a obtenção de peso constante. Foi optado por se amostrar apenas um fófolo por planta do último trifólio totalmente expandido a fim de padronizar para todas as plantas o local de coleta, pois há variações dos teores de nutrientes das folhas posicionadas em diferentes estrados da planta (CQFS-RS/SC, 2016). A determinação do teor de N mineral do solo e do N no tecido foliar do feijoeiro foram realizadas de acordo com as metodologias descritas por Tedesco et al. (1995). Os resultados de N mineral do solo foram expressos em mg kg<sup>-1</sup> e os de N no tecido foliar do feijoeiro em g kg<sup>-1</sup>.

A determinação do IC foi realizada por meio da utilização de um clorofilômetro portátil (ClorofiLOG® - CFL 1030) fabricado pela Falker (Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil). As leituras de IC foram realizadas em três

plantas, escolhidas aleatoriamente na área útil de cada parcela, e, em cada planta, foram realizadas cinco leituras nas folhas do último trifólio totalmente expandido, totalizando 15 leituras por parcela. As determinações do NDVI foram realizadas com o equipamento Greenseeker®, foram realizadas cinco leituras por parcela, posicionando o equipamento a distância de um metro, entre o sensor e a parte aérea do dossel vegetativo, o valor do NDVI de cada parcela é fornecido pelo equipamento por meio da média das leituras realizadas. Os resultados tanto de IC quanto de NDVI são apresentados como índices, e, portanto, são adimensionais.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F ( $p \leq 0,05$ ) e, quando significativos, os valores médios de dose de N foram avaliados pela análise de regressão polinomial, e as médias de época de aplicação e de época avaliação

comparadas pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ). Na sequência, visando quantificar a relação entre as variáveis os dados foram submetidos à matriz de correlação linear de Pearson ( $p \leq 0,05$ ). Todas as análises foram realizadas por meio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2011).

### Resultados e Discussão

Dentre as variáveis estudadas, houve interação tripla apenas para o N mineral do solo (Tabela 1). Ocorreu interação dupla entre os fatores de variação época de avaliação e doses de N, para a variável concentração de N foliar. Para os fatores de variação, época de avaliação e época de aplicação do N ocorreu interação para as variáveis IC e concentração de N foliar. Os valores das leituras de NDVI apresentaram significância apenas frente aos fatores de variação isolados.

**Tabela 1.** Análise de variância do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), índice de clorofila (IC), concentração de nitrogênio no tecido foliar (N foliar) do feijoeiro e teor de nitrogênio mineral no solo (N mineral) em função das doses, épocas de aplicação de N e época de avaliação, Frederico Westphalen, RS, 2012.

Fonte de Variação	GL	Valores de p			
		NDVI	ICF	N foliar	N mineral
Época de Avaliação (A)	3	0,000 *	0,000 *	0,000 *	0,001 *
Dose (B)	7	0,000 *	0,000 *	0,000 *	0,000 *
Época de Aplicação (C)	4	0,000 *	0,012 *	0,000 *	0,000 *
A * B	21	0,956 ns	0,193 ns	0,000 *	0,142 ns
A * C	12	0,310 ns	0,000 *	0,000 *	0,000 *
B * C	28	0,083 ns	0,764 ns	0,393 ns	0,000 *
A * B * C	84	1,000 ns	0,994 ns	0,581 ns	0,004 *
Bloco	2	0,000 *	0,000 *	0,000 *	0,466 ns
CV %		7,690	5,770	7,430	29,780
Média		0,670	42,160	49,110	29,570

ns e \*, não significativo e significativo, respectivamente, pelo teste de F a 5 % de probabilidade de erro.

Os teores de N mineral do solo nos tratamentos submetidos às doses de 0 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N (Tabela 2), não apresentaram diferenças entre as épocas de aplicação em nenhuma das

datas avaliadas. A média dos valores obtidos na dose 0 kg ha<sup>-1</sup> em todas as avaliações foi de 8,25 mg kg<sup>-1</sup> de N. Dessa forma, observa-se que o solo em estudo detinha teores de N mineral

adequados ao desenvolvimento da cultura. Em estudo conduzido por Grohs et al. (2009) avaliando o N mineral do solo em 61 áreas produtoras de cevada, os autores concluíram que o solo com níveis de N mineral, entre 8 e 13 mg kg<sup>-1</sup>, são suficientes para a obtenção de 40 a 60% de rendimento, do potencial produtivo das cultivares. Esses valores foram determinados para a cultura da cevada que é uma gramínea, logo se pode inferir que o valor crítico seja menor para plantas leguminosas, como é o caso do feijoeiro, que têm o potencial de realizar associações simbióticas com bactérias fixadoras de N<sub>2</sub> atmosférico. Esta hipótese é comprovada no trabalho em que estudou os efeitos dos fatores de variação deste estudo nas variáveis morfológicas e componentes de rendimentos do feijoeiro, aonde se observou que as doses de N não influenciaram a produtividade da cultura (MENEGOL et al., 2015).

Para as demais doses de N aplicadas (> 40 kg ha<sup>-1</sup>), ocorreram diferenças significativas das épocas de

aplicação em pelo menos alguma das datas de avaliação (Tabela 2). Os maiores teores de N mineral ocorreram nos tratamentos, com as aplicações de N, mais próximas da época de avaliação, sendo que, conforme se distancia a data de aplicação do N da época de avaliação do N mineral do solo, os valores tiveram tendência de reduzir. De maneira geral, a aplicação de N aos 15 DAE resultou no aumento dos teores de N mineral do solo em todas as avaliações. Em contraste a aplicação de N na semeadura foi a que apresentou os resultados mais baixos de N mineral no solo, podendo este resultado ser justificado pela alta precipitação (193,4 mm) que ocorreu entre a aplicação do N e os 15 DAE em que ocorreu a primeira avaliação (Figura 1). A ocorrência de altas precipitações após a aplicação de fertilizantes nitrogenados potencializa as suas perdas, seja ela por escoamento superficial da água, lixiviação e/ou desnitrificação (HEATHWAITE et al., 2000).

**Tabela 2.** Valores médios do teor de N mineral do solo (mg kg<sup>-1</sup>) em função das épocas de aplicação de N em cobertura do feijoeiro e épocas de avaliação do N mineral em cada uma das doses de N aplicadas, Frederico Westphalen, RS, 2012.

Época de avaliação	Épocas de Aplicação do N				
	Semeadura	10 DAE	15 DAE	20 DAE	30 DAE
-----Dose de N (0 kg ha <sup>-1</sup> )-----					
15 DAE <sup>(1)</sup>	7,44 A a	12,97 A a	9,75 A a	6,87 A a	7,81 A a
25 DAE	9,70 A a	8,92 A a	10,14 A a	10,99 A a	8,03 A a
35 DAE	3,46 A a	5,12 A a	5,41 A a	6,82 A a	7,68 A a
45 DAE	7,71 A a	9,91 A a	6,75 A a	8,37 A a	11,34 A a
-----Dose de N (40 kg ha <sup>-1</sup> )-----					
15 DAE	14,40 A a	14,74 A a	13,88 A a	11,34 A a	12,16 A a
25 DAE	9,87 A a	8,60 A a	8,73 A a	31,19 A a	8,10 A a
35 DAE	6,37 A a	8,22 A a	9,76 A a	11,83 A a	11,13 A a
45 DAE	13,96 A a	14,04 A a	14,43 A a	14,01 A a	10,90 A a
-----Dose de N (80 kg ha <sup>-1</sup> )-----					
15 DAE	25,68 AB a	45,37 A a	11,85 AB a	12,05 AB a	9,17 B a
25 DAE	8,01 A a	13,10 A ab	34,15 A a	34,72 A a	7,98 A a
35 DAE	3,54 B a	6,31 AB b	27,00 A a	17,13 AB a	12,08 AB a
45 DAE	13,55 A a	19,66 A ab	34,28 A a	29,85 A a	20,06 A a

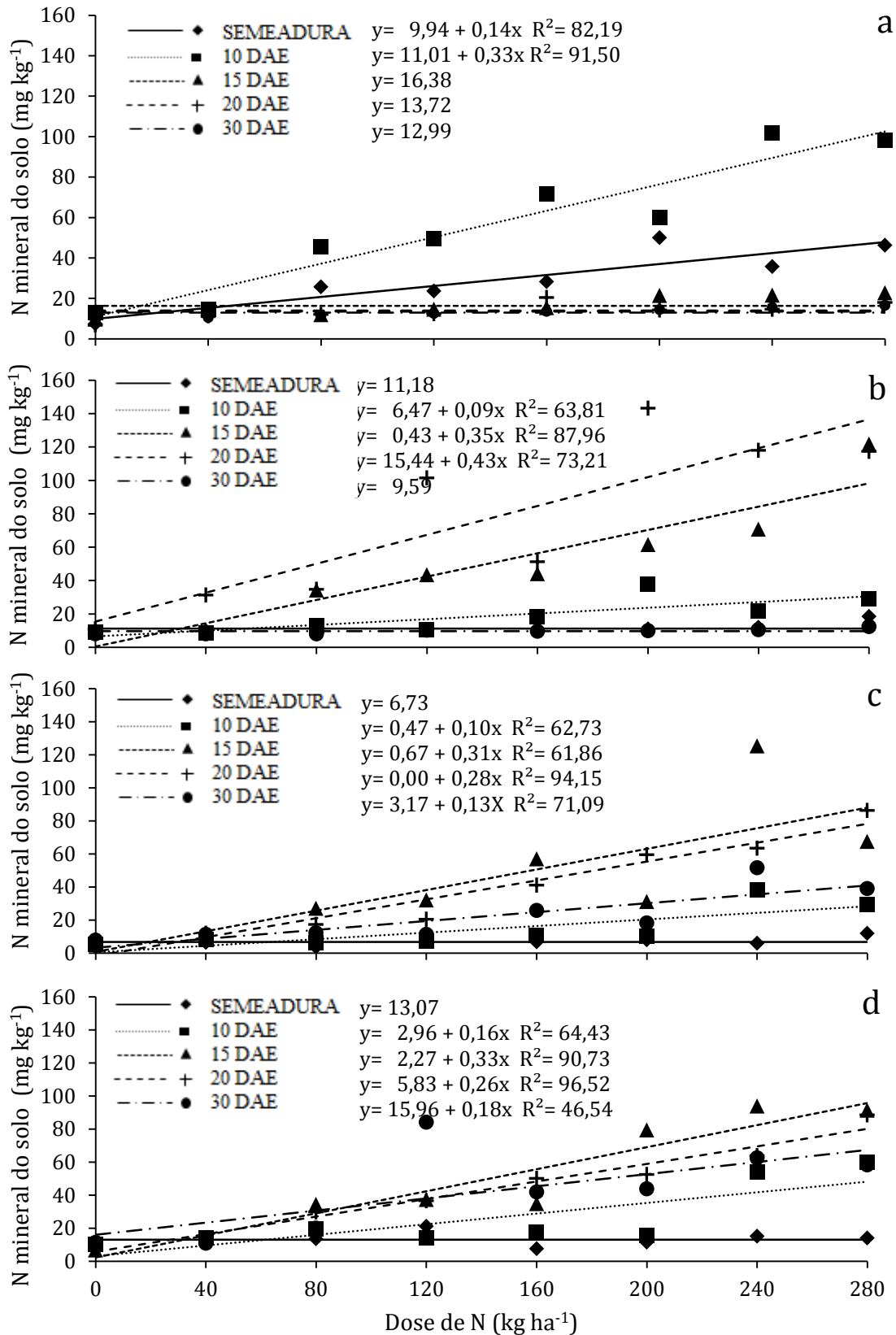
-----Dose de N (120 kg ha <sup>-1</sup> )-----										
15 DAE	23,63	A a	49,41	A a	14,60	A a	12,43	A b	12,23	A b
25 DAE	10,49	BC a	10,59	BC b	43,45	B a	101,37	A a	10,14	C b
35 DAE	8,30	A a	6,99	A b	32,04	A a	20,37	A b	11,26	A b
45 DAE	21,07	B a	14,14	B ab	37,28	B a	36,62	B b	84,17	A a
-----Dose de N (160 kg ha <sup>-1</sup> )-----										
15 DAE	28,26	B a	71,48	A a	15,32	B b	20,37	B a	14,97	B ab
25 DAE	10,09	BC a	18,20	ABC b	44,08	AB ab	51,27	A a	9,59	C b
35 DAE	6,58	C a	10,67	BC b	56,94	A a	41,03	AB a	25,73	ABC ab
45 DAE	7,63	B a	17,33	AB b	34,86	AB ab	50,04	A a	41,95	A a
-----Dose de N (200 kg ha <sup>-1</sup> )-----										
15 DAE	50,04	AB a	60,05	A a	21,66	ABC b	14,20	C c	19,76	BC ab
25 DAE	10,93	C b	37,72	BC ab	61,47	B ab	143,25	A a	9,86	C b
35 DAE	7,84	B b	10,31	B b	30,99	AB b	59,44	A b	18,19	B ab
45 DAE	11,52	C b	15,65	BC b	79,32	A a	52,45	AB b	43,82	AB a
-----Dose de N (240 kg ha <sup>-1</sup> )-----										
15 DAE	35,65	B a	101,86	A a	21,52	B c	14,56	B c	13,94	B b
25 DAE	11,90	C ab	21,53	C b	70,66	B b	117,99	A a	10,58	C b
35 DAE	5,83	C b	38,10	BC b	125,24	A a	63,33	B b	51,46	B a
45 DAE	15,11	B ab	54,88	AB b	93,85	A ab	63,74	A b	62,49	A a
-----Dose de N (280 kg ha <sup>-1</sup> )-----										
15 DAE	46,19	B a	98,13	A a	22,69	B c	17,92	B b	13,85	B b
25 DAE	18,48	B a	29,24	B b	121,63	A a	117,35	A a	12,46	B b
35 DAE	11,88	C a	29,18	BC b	67,44	AB b	86,09	A a	38,95	BC ab
45 DAE	14,04	B a	59,95	A ab	91,34	A ab	88,55	A a	58,36	A a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha, e letra minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a um nível de 5 % de probabilidade de erro. <sup>(1)</sup>Dias Após a Emergência (DAE).

Avaliando-se o efeito do fator época de avaliação dentro de cada dose e época de aplicação das doses de N, para a variável N mineral do solo (Tabela 2), observou-se que não ocorreram diferenças no decorrer do tempo para as doses de 0 e 40 kg ha<sup>-1</sup> de N. No entanto, com a aplicação das doses de N superiores a 80 kg ha<sup>-1</sup>, houve comportamento distinto do N mineral do solo na maioria das datas de avaliação, não sendo possível caracterizar um comportamento padrão da variável no decorrer do ciclo do feijoeiro. Sendo que de maneira geral, ocorreu elevação nos teores de N mineral nas avaliações posteriores à aplicação, com tendência de rápida redução. Esse resultado corrobora com a afirmação de Grohs et al. (2009) em que citam que o N mineral do solo é uma variável bastante instável ao longo do tempo, sendo seus resultados

extremamente dependentes de fatores ambientais, e das características intrínsecas do solo. Essa alta variação temporal do N mineral do solo dificulta a sua utilização como parâmetro auxiliar na definição de estratégias de manejo do N, principalmente por a sua determinação exigir considerável trabalho de laboratório.

Os resultados do N mineral do solo, em função das doses de N aplicadas em cobertura dentro de cada época de aplicação de N e de avaliação, são apresentados na Figura 2. Na avaliação aos 15 DAE (Figura 2a) apenas os tratamentos das aplicações de N na semeadura e aos 10 DAE apresentaram significância, não obstante, apenas esses tratamentos haviam recebido as doses de N, sendo que ambos os tratamentos obtiveram aumento linear de seus valores com o incremento das doses de N.



**Figura 2.** Teor médio de N mineral do solo em função das doses de N aplicadas em cobertura no feijoeiro dentro de cada época de aplicação (semeadura, 10 DAE; 15 DAE; 20 DAE e 30 DAE) avaliado aos 15 DAE (a), 25 DAE (b), 35 DAE (c) e 45 DAE (d), Frederico Westphalen, RS, 2012.



A média dos tratamentos que iriam receber as aplicações de N aos 15, 20 e 30 DAE, na avaliação aos 15 DAE, foram de 16,38, 13,72 e 12,99 mg kg<sup>-1</sup> de N mineral no solo, respectivamente. Meneghin et al. (2008), estudando doses de N que variaram de 0 a 350 kg ha<sup>-1</sup> para a produção trigo, encontraram como sendo o teor crítico para a cultura teores que variam de 6,66 a 8,70 mg kg<sup>-1</sup> de N no solo. A alta concentração de N do solo mesmo no tratamento controle pode estar relacionada à alta fertilidade do solo e a qualidade da condução do sistema de plantio direto, o qual proporciona uma alta taxa de biomassa circulando no sistema.

Na época de avaliação aos 25 DAE (Figura 2b), o tratamento que recebeu N na semeadura não apresentou diferença entre as doses de N aplicadas, podendo-se inferir que toda a adubação aplicada já havia lixiviado para camadas inferiores a avaliada, este resultado pode ser explicado pela excessiva precipitação (332 mm) que ocorreu entre a semeadura e a avaliação aos 25 DAE (Figura 1). Para os demais manejos com exceção da aplicação aos 30 DAE, que ainda não havia recebido as doses de N, todos tiveram aumentos lineares dos teores de N mineral.

Nas avaliações aos 35 e 45 DAE (Figura 2c e 2d), os teores de N mineral do solo em todos os manejos apresentaram crescimento linear com o aumento das doses de N aplicadas, com exceção da aplicação de N na semeadura. Diante do exposto, pode-se inferir que o N mineral do solo responde linearmente às aplicações de N em cobertura e que as suas perdas de N no sistema solo estão intimamente ligadas às condições climáticas, corroborando com os resultados relatados por Rambo et al. (2007) e Meneghin et al. (2008), demonstrando assim a importância de parcelamento das doses de N,

principalmente quando se utiliza altas doses afim de minimizar as perdas de N e maximizar a produtividade da cultura.

Independente das épocas de aplicação de N o IC seguiu um padrão específico, sendo que ocorreu tendência de redução dos valores de IC até a segunda avaliação (25 DAE), e nas avaliações subsequentes os valores aumentaram (Tabela 3). Os valores médios mais altos de IC aos 15 DAE ocorreram nos tratamentos que receberam N na semeadura e aos 10 DAE, este resultado é recorrente de apenas estes tratamentos terem recebido as doses de N até esta fase. Já aos 25 DAE as maiores médias foram observadas para as épocas de aplicações aos 10 e 15 DAE, no entanto, seus valores não diferiram do tratamento que recebeu a aplicação de N na semeadura. Aos 35 DAE as parcelas que receberam a aplicação de N na semeadura e aos 20 DAE apresentaram as maiores médias, sendo a menor média observada para a aplicação de N aos 30 DAE, em que havia recebido as doses de N há apenas cinco dias antes da avaliação.

Na época de avaliação aos 45 DAE os tratamentos não diferiram estatisticamente. Este resultado está de acordo com os obtidos por Barbosa Filho e Silva (2000) e Barbosa Filho et al. (2008) em que citam que a cultura do feijoeiro absorve nutrientes durante todo o seu ciclo, porém após o florescimento ( $\pm 45$  DAE) a taxa de crescimento da cultura é reduzida, gerando uma menor demanda por nutrientes e havendo conseqüentemente, acúmulo de clorofila nas folhas a partir desse estágio fenológico, sendo que na sequência esse N é utilizado para o enchimento de grãos. Sendo assim, a utilização do clorofilômetro próximo ou após o florescimento apresenta baixa eficiência (BARBOSA FILHO et al., 2008).

**Tabela 3.** Valores médios do Índice de Clorofila (IC) e de concentração de nitrogênio (N) foliar do feijoeiro obtidos nas diferentes épocas de avaliação em função das épocas de aplicação das doses de N, Frederico Westphalen, RS, 2012.

Época de Aplicação	Épocas de avaliação			
	15 DAE <sup>(1)</sup>	25 DAE	35 DAE	45 DAE
-----IC-----				
Semeadura	41,89 B a	39,01 C ab	43,27 B a	45,96 A a
10 DAE	42,33 B a	40,72 B a	41,11 B bc	45,68 A a
15 DAE	39,93 C b	40,72 C a	42,91 B ab	45,72 A a
20 DAE	40,42 B ab	38,69 C b	43,20 B a	45,96 A a
30 DAE	40,91 B ab	38,39 C b	40,29 B c	46,06 A a
-----N foliar (g kg <sup>-1</sup> )-----				
Semeadura	49,81 A a	48,79 AB cd	48,23 AB ab	46,92 B a
10 DAE	51,42 A a	50,84 A bc	49,71 AB a	47,95 B a
15 DAE	48,65 B a	54,36 A a	49,73 B a	48,41 B a
20 DAE	48,71 B a	52,91 A ab	47,72 B ab	48,07 B a
30 DAE	48,63 A a	47,02 AB d	45,41 B b	49,02 A a

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha e minúscula na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % de probabilidade de erro. <sup>(1)</sup>Dias Após a Emergência.

Os valores médios de concentração de N foliar do feijoeiro aos 15 e 45 DAE não diferiram entre as épocas de aplicação de N (Tabela 3). Aos 25 DAE a maior média foi observada para as parcelas que receberam aplicação de N aos 15 DAE (54,36 g kg<sup>-1</sup>) e a média mais baixa ocorreu com a aplicação de N aos 30 DAE (47,02 g kg<sup>-1</sup>). Na avaliação aos 35 DAE as parcelas que receberam N aos 10 e 15 DAE se sobressaíram, com valores médios de 49,71 e 49,73 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Na avaliação aos 45 DAE observa-se que a aplicação de N aos 30 DAE já não diferiu das que receberam na semeadura e aos 20 DAE, havendo, portanto, aumento de seus valores em virtude da recepção das doses de N aos 30 DAE. Este resultado demonstra a ocorrência de rápida recuperação da concentração do N foliar, mesmo com aplicações tardias de N em cobertura. Bragagnolo et al. (2013) obtiveram resultados similares para a cultura do milho, e concluíram que a cultura recupera os seus níveis de N no tecido foliar ao longo do ciclo, porém, o

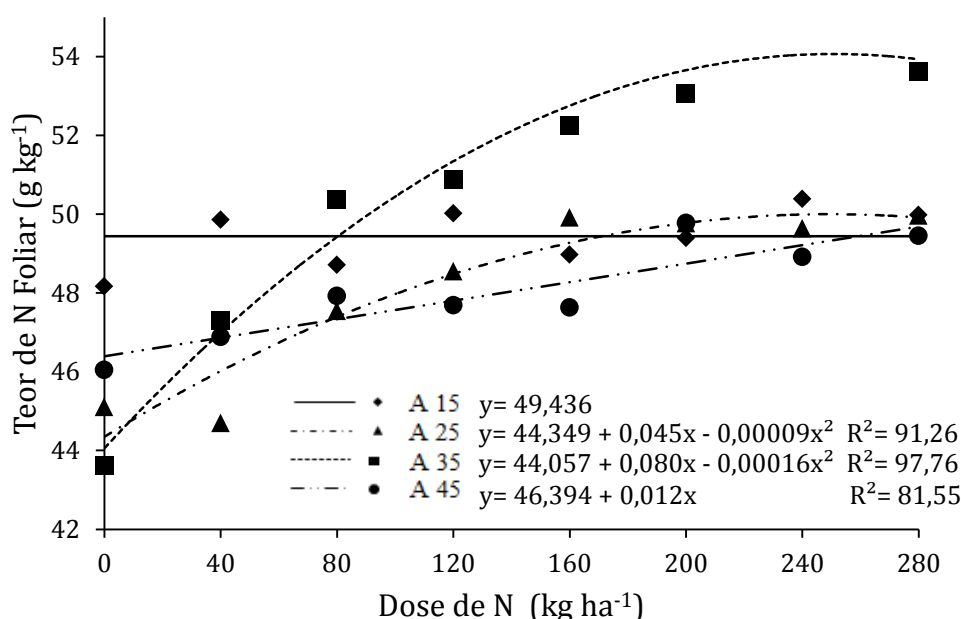
atraso das aplicações nitrogenadas repercute negativamente na produtividade da cultura. Já nesse experimento foi observado no trabalho de Menegol et al. (2015) que as doses de N independentemente da época de aplicação não aumentaram a produtividade do feijoeiro, caracterizando, portanto, esse aumento da concentração de N foliar nas maiores doses de N aplicadas um “consumo de luxo” das plantas.

Avaliando-se o comportamento da concentração de N foliar ao longo do período vegetativo do feijoeiro, em função das doses de N, observa-se que as aplicações na semeadura e aos 10 DAE, resultaram na tendência de redução de seus valores nas avaliações finais. As aplicações de N aos 15 e 20 DAE obtiveram comportamentos semelhantes, sendo que ambas reduziram seus valores até a ocorrência das aplicações das doses de N. E a partir destas datas de aplicação do N, as parcelas aumentaram as concentrações de N nas folhas. No tratamento que

recebeu a aplicação de N aos 30 DAE, observa-se a ocorrência de redução da concentração de N na planta a partir dos 15 DAE, sendo que na sequência, em virtude da aplicação das doses aos 30 DAE, as concentrações de N adquiriram aumentos significativos.

Observaram-se três comportamentos distintos da variável concentração de N foliar nas diferentes épocas de avaliação em função das doses de N aplicadas (Figura 3). Sendo que os tratamentos que não receberam N, ou foi aplicado apenas 40 kg ha<sup>-1</sup> em cobertura,

a concentração de N foliar apresentou redução nas primeiras avaliações, porém, com a aproximação do estágio reprodutivo as suas médias aumentaram. Já para as doses de 80 e 120 kg ha<sup>-1</sup> não ocorreram diferenças significativas das concentrações médias de N foliar durante todo o período de avaliação. Para as demais doses de N testadas (> 120 kg ha<sup>-1</sup>), todas proporcionaram elevação das concentrações de N foliar durante as avaliações.



**Figura 3.** Concentração de nitrogênio (N) foliar do feijoeiro em função de doses de N aplicadas em cobertura avaliado aos 15, 25, 35 e 45 DAE, Frederico Westphalen, RS, 2012.

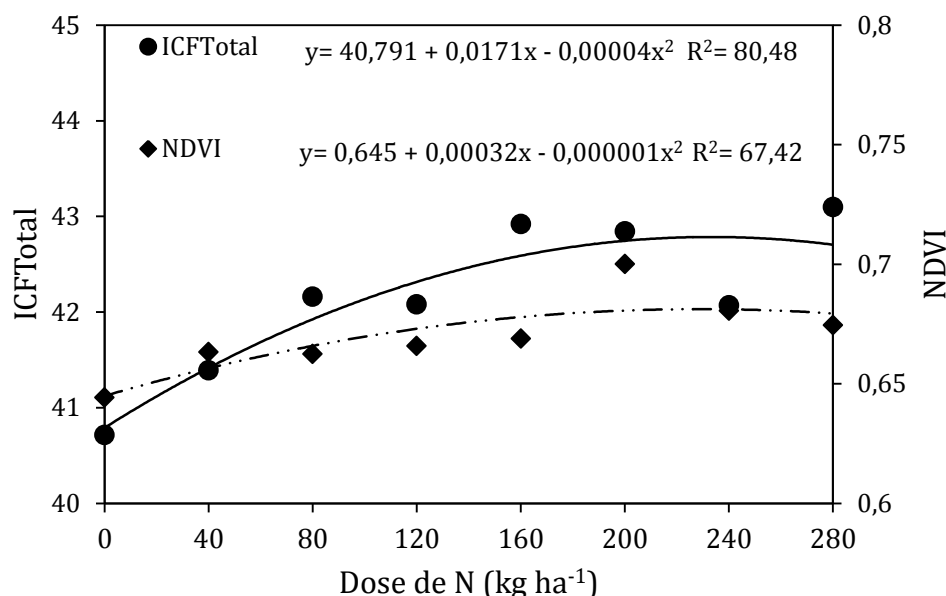
A concentração de N foliar na avaliação aos 15 DAE, não apresentou diferenças em função das doses de N aplicadas (Figura 3). Na avaliação aos 35 DAE foram observadas as maiores diferenças entre as doses testadas sendo que a concentração de N foliar respondeu de forma quadrática, sendo o ponto de máxima eficiência técnica obtido com a aplicação de 250 kg ha<sup>-1</sup> de N. Para as avaliações aos 25 e 45 DAE ocorreu significância estatística à aplicação das doses, no entanto, visualmente observa-se baixa amplitude

da variabilidade dos valores, sendo os modelos obtidos, ajustes de segundo grau e linear para os 25 e 45 DAE, respectivamente. Maia et al. (2012), estudando doses de N no feijoeiro variando de 50 a 200 kg ha<sup>-1</sup>, observaram que os valores de concentração de N foliar com a aplicação de 50 kg ha<sup>-1</sup> de N não diferiram das demais doses testadas. A concentração média de N foliar, dos tratamentos que receberam a aplicação de N aos 35 e 45 DAE foi de 48,7 g kg<sup>-1</sup>, podendo-se inferir que este valor está adequado

para a cultura, pois segundo a CQFS-RS/SC (2016), a faixa de suficiência de N no tecido foliar da cultura do feijoeiro, situa-se entre 30 e 50 g kg<sup>-1</sup>.

O comportamento dos valores do IC e NDVI foram bastante similares (Figura 4), sendo que ambos se ajustaram a equações polinomiais de

segundo grau em resposta às doses de N aplicadas em cobertura na cultura do feijoeiro, sendo o ponto de máxima eficiência técnica obtido com a aplicação de 214 e 160 kg ha<sup>-1</sup> para o IC e NDVI, respectivamente.



**Figura 4.** Índice de Clorofila (IC) e índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI) do feijoeiro comum em função de doses de nitrogênio aplicadas em cobertura, Frederico Westphalen, RS, 2012.

Os resultados do NDVI do feijoeiro frente às diferentes épocas de aplicação de N e das épocas de avaliação são apresentados na Tabela 4. Pode-se observar que o tratamento em que se obteve a menor média foi o que recebeu as doses de N aos 30 DAE, no entanto, este não se diferenciou da aplicação na

semeadura. Nas demais épocas de aplicação não houve diferenças dos valores de NDVI. Os valores de NDVI aumentaram ao longo do decorrer do período vegetativo do feijoeiro, sendo que este resultado está relacionado ao aumento de área foliar da cultura (BRAGAGNOLO et al., 2013).

**Tabela 4.** Índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI) do feijoeiro comum em função de épocas de aplicação do nitrogênio (N) em cobertura e de épocas de avaliação, Frederico Westphalen, RS, 2012.

Época de Avaliação	NDVI	Época de aplicação de N	NDVI
15 DAE	0,47 d	Semeadura	0,66 ab
25 DAE	0,70 c	10 DAE	0,68 a
35 DAE	0,74 b	15 DAE	0,68 a
45 DAE	0,77 a	20 DAE	0,68 a
-	-	30 DAE	0,65 b

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % de probabilidade de erro. Dias Após a Emergência (DAE).

Houve correlações positivas entre os valores de NDVI com o IC das folhas e com o N mineral do solo (Tabela 5). Já O IC apresentou correlação apenas com as leituras de NDVI, divergindo dos resultados obtidos por Carvalho et al. (2003) e Maia et al. (2012) que observaram correlação entre os índices de clorofila e o N foliar. Esse resultado está atrelado à alta disponibilidade de N

no solo que permitiu que a planta realizasse um consumo de luxo de N. Quando a planta absorve excesso de N, a estocagem do N absorvido é realizada na forma de nitrato, não estando, portanto, associado às moléculas de clorofila, e conseqüentemente, não é detectado pelo clorofilômetro (ARGENTA et al., 2001).

**Tabela 5.** Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de clorofila (IC), teor de nitrogênio mineral no solo (N mineral) e teor de nitrogênio no tecido foliar (N foliar) obtido na cultura do feijoeiro comum, Frederico Westphalen, RS, 2012.

Variáveis	IC	N mineral	N foliar
NDVI	0,195*	0,105*	0,063
IC	-	0,167	-0,079
N mineral	-	-	0,340*

\*Correlação linear de Pearson significativa ( $p < 0,05$ ). n=480

O N mineral do solo correlacionou-se positivamente com os teores de N foliar do feijoeiro. Pode-se observar que foram baixas as correlações entre as variáveis estudadas, no entanto, este resultado pode estar relacionado à ausência de respostas lineares para a maioria das variáveis avaliadas. Além disso, o incremento nas doses de N, promove pouca variação nos dados de IC e NDVI, sendo este uma limitação dos sensores, quando a variação dos dados é baixa, os valores de correlação entre conjuntos de dados tendem a ser baixos (BRAGAGNOLO et al., 2013).

### Conclusões

O N mineral do solo responde linearmente ao incremento das doses de N aplicadas, contudo, a sua persistência no solo não segue um padrão definido, dependendo da precipitação ocorrida.

Os valores de IC e o NDVI se ajustaram a uma equação quadrática frente às doses de N aplicadas, sendo as

doses de 214 e 160 kg ha<sup>-1</sup> de N as que proporcionaram as maiores médias.

Houve correlação positiva entre os valores de NDVI e IC, e entre os valores de N mineral do solo com a concentração de N foliar e NDVI, vislumbrando-se, portanto, a possibilidade da utilização conjunta dessas estratégias no manejo do N na cultura do feijoeiro.

### Referências

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; BORTOLINI, C. G. Clorofila na folha como indicador do nível de nitrogênio em cereais. *Ciência Rural*, v. 31, n. 4, p.715-722, 2001.

ARGENTA, G.; SILVA, P. R. F.; FOSTHOFER, E. L.; STRIEDER, M. L.; SUHRE, E.; TEICHMANN, L. L. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.27, n.1, p.109-119, 2003.

BARBIERI JUNIOR, E.; ROSSILLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M.; RIBEIRO, R. C.; MORENZ, M. J. F. Um novo clorofilômetro para estimar teores de clorofila em folhas de capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v.42, n.12, p.2242-2245, 2012.

BARBOSA FILHO, M. P.; COBUCC, T.; FAGERIAI, N. K.; MENDES, P. N. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, v.38, n.7, p.1843-1848, 2008.

BARBOSA FILHO, M.P.; SILVA, O.F. da. Adubação e calagem para o feijoeiro irrigado em solo de cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.7, p.1317-1324, 2000.

BRAGAGNOLO, J.; AMADO, T. J. C.; NICOLOSO, R. S.; JASPER, J.; KUNZ, J.; TEIXEIR, T. G. Optical crop sensor for variable-rate nitrogen fertilization in corn: I plant nutrition and dry matter production. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, n.5, p.1288-1298, 2013.

CARVALHO, M. A. C.; FURLANI-JUNIOR, E.; ARF, O.; SÁ, M. E.; PAULINO, H. B.; BUZETTI, S. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, n.3, p.445-450, 2003.

Comissão de Química e Fertilidade do Solo – CQFS-RS/SC. **Manual de calagem e Adubação para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 11ª ed. Santa Maria, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Núcleo Regional Sul; 2016.

CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B. Can the synchrony of nitrogen supply and crop

demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystem? A review. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v.72, n.2, p.101-120, 2005.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v.35, n.6, p.1039-1042, 2011.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Teores de nitrogênio mineral do solo para predição do potencial produtivo de cevada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.33, n.6, p.1745-1754, 2009.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; POLETTO, N.; MUNDSTOCK, C. M. Validação de modelo para predição do potencial produtivo de trigo com sensor óptico ativo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.46, n.4, p.446-449, 2011.

HEATHWAITE, A. L.; SHRPLAY, A.; GBUREK, W. Conceptual approach for integrating phosphorus and nitrogen management at watershed scale. **Journal of Environmental Quality**, v.29, n.27, p.158-166, 2000.

MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; FREITAS, L. B. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.1, p.183-191, 2012.

MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.8, n.1, p.141-150, 2000.

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; RIBEIRO JUNIOR, W. Q.; AMABILE, R. F. Avaliação da

disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em Latossolo vermelho do distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, n.5, p.1941-1948, 2008.

MENEGOL, D. R.; PIAS, O. H. C.; SANTI, A. L.; CHERUBIN, M. R.; BERGHETTI, J.; SIMON, D. H. Índice de suficiência de clorofila no manejo da adubação nitrogenada do feijoeiro comum. **Revista Agro@ambiente**, v.9, n.2, p.119-128, 2015.

MEROTTO J. R.; BREDEMEIER, A.; VIDAL, R. A.; GOULART, I. C. G. R.; BORTOLI, E. D., ANDERSON, N. L. Reflectance indices as a diagnostic tool for weed control performed by multipurpose equipment in precision agriculture. **Planta Daninha**, v.30, n.2, p.437-447, 2012.

POVH, F. P.; MOLIN, J. P.; GIMENEZ, L. M.; PAULETTI, V.; MOLIN, R.; SALVI, J. V. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, n.8, p.1075-1083, 2008.

RAMBO, L.; MA, B. L.; XIONG, Y.; SILVA, P. R. F. Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. **Journal of Plant Nutrition and soil science**, v.173, n.3, p.434-443, 2010.

RAMBO, L., SILVA, P. R. F., BAYER, C., ARGENTA, G., STRIEDER, M. L., SILVA, A. L. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, n.4, p.731-738, 2007.

SANTOS, H. G., ALMEIDA, J. A., OLIVEIRA, J. B., LUMBRERAS, J. S., ANJOS, L. H. C., COELHO, M. R., JACOMINE, P. K. T., CUNHA, T. J. F., OLIVEIRA V. A. **Sistema**

**Brasileiro de Classificação de Solos**. 3. Ed. EMBRAPA, 2013. 353 p.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5° ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 918 p.

TEDESCO, M. J., GIANELLO, C., BISSANI, C. A., BOHNEN H., VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174 p.