

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR NORTE - RS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA:
AGRICULTURA E AMBIENTE**

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO
FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.)
BASEADAS NO ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA DE
CLOROFILA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Diego Ricardo Menegol

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2014

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO FEIJOEIRO
COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) BASEADAS NO ÍNDICE DE
SUFICIÊNCIA DE CLOROFILA**

Diego Ricardo Menegol

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de
Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente, da Universidade
Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Luis Santi

Frederico Westphalen, RS, Brasil.

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Central da UFSM, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

Menegol, Diego Ricardo
ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO FEIJOEIRO COMUM
(Phaseolus Vulgaris L.) BASEADAS NO ÍNDICE DE
SUFICIÊNCIA DE CLOROFILA / Diego Ricardo Menegol.-2014.
68 p.; 30cm

Orientador: Antônio Luis Santi
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, CESNORS-FW, Programa de Pós-Graduação em Agronomia -
Agricultura e Ambiente, RS, 2014

1. Manejo da adubação nitrogenada 2. Índice de
vegetação por diferença normalizada I. Santi, Antônio Luis
II. Título.

© 2014

Todos os direitos autorais reservados a Diego Ricardo Menegol. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita mediante a citação da fonte.

Endereço: Linha Sete de Setembro, s/nº, BR 386 km 40, Frederico Westphalen, RS. Caixa Postal 54, CEP: 98400-000

Fone (55) 3744-8964; E-mail: menegoldr@gmail.com

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Educação Superior Norte - RS
Programa de Pós-Graduação em Agronomia:
Agricultura e Ambiente**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO FEJÓEIRO COMUM
(*Phaseolus vulgaris* L.) BASEADAS NO ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA DE
CLOROFILA**

elaborado por
Diego Ricardo Menegol

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Agronomia

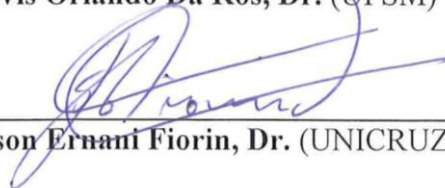
COMISSÃO EXAMINADORA



Antônio Luis Santi, Dr.
(Presidente/Orientador)



Clóvis Orlando Da Ros, Dr. (UFSM)



Jackson Ernani Fiorin, Dr. (UNICRUZ)

Frederico Westphalen, 17 de março de 2014.

Aos meus queridos pais, Ilmo e Eredi, pelo incentivo, carinho e confiança.

DEDICO...

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente (PPGAAA) pela oportunidade de cursar o Mestrado, propiciando-me o acesso à Pós-Graduação pública, gratuita e de qualidade.

Ao professor Eng. Agr. Dr. Antônio Luis Santi, pela orientação, incentivos à pesquisa, confiança, paciência e amizade.

Aos demais professores e coordenação do PPGAAA, pela contribuição na minha formação pessoal e profissional, baseada nos ensinamentos transmitidos, exemplos e convivência durante o período que se passou e ao professor Clóvis Orlando da Ros pela disponibilidade do laboratório para realização das análises.

Ao colega de trabalho e mestrado Lucindo Somavilla, pela amizade e incentivo.

Aos colegas da primeira e segunda turma de mestrado do PPGAAA, pela amizade, companheirismo, contribuições, convivência e momentos de descontração vivenciados.

Aos colegas e amigos do Laboratório de Agricultura de Precisão do Sul (LAPSul): Maurício R. Cherubin, Mateus T. Eitelwein, Osmar H. Pias (incansável nas extensas jornadas no laboratório e pelo incentivo e colaborações na elaboração da dissertação), Diego H. Simon, Júnior M. Damian, Juliano Berghetti, Mateus B. Bisognin, Ronei Gaviraghi, Danimar M. Castro, Dejales Fioresi, Luana Bottezini, Bianca e Diandra P. Della Flora, André L. Vian e Geomar Corassa e aos colegas de apartamento Aleixon H. Giacomeli e Fabiano Alba pela amizade, apoio, incentivo e contribuições na execução da pesquisa.

Ao professor do Colégio Agrícola de Frederico Westphalen Adão L. M. Corcini e ao funcionário André Batalin, pelo empréstimo de máquinas e auxílio nas atividades de campo.

Em especial, aos meus pais, Ilmo V. Menegol e Eredi E. Menegol e irmã Lidiane L. Menegol, pelo incentivo ao conhecimento, ajudando até o momento em que sabiam e apoiando a busca-los quando este não estava mais ao seu alcance, pelos exemplos de vida, de família, de trabalho com amor a “terra”, nosso valioso solo.

A minha namorada, Camila Peruzzo, pelas alegrias, confiança, compreensão e apoio em todos os momentos desta caminhada.

Enfim, a todos aqueles não citados, contribuíram diretamente e indiretamente para que eu vencesse mais esta importante etapa de minha vida.

A todos vocês, **MUITO OBRIGADO.**

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Agronomia: Agricultura e Ambiente
Universidade Federal de Santa Maria

ÉPOCAS DE APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO NO FEIJOEIRO COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) BASEADAS NO ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA DE CLOROFILA

AUTOR: DIEGO RICARDO MENEGOL
ORIENTADOR: ANTÔNIO LUIS SANTI
Frederico Westphalen, RS 17 de março de 2014.

Devido à elevada importância econômica e social do feijoeiro para o Brasil, ainda persistem dúvidas quanto a o modo e uso de fertilizante nitrogenado em cobertura visando à obtenção de altas produtividades, a preocupação com o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados, associado ao desenvolvimento de novas ferramentas para avaliar o estado nutricional das culturas de maneira rápida e precisa. Nesse sentido este estudo tem como objetivos avaliar a utilização do Índice de Suficiência de Clorofila (ISC) como ferramenta para identificar a necessidade de aplicação e estimar qual a dose de nitrogênio (N) a ser aplicada em cobertura, obter a produtividade do feijoeiro comum e seus componentes de rendimento e monitorar o comportamento do índice de clorofila falker (ICF), do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), do teor de N no tecido foliar e do N mineral no solo, com a aplicação de diferentes doses de N e épocas de aplicação do N em cobertura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, num arranjo fatorial de 8 x 5 x 4 (doses de N x épocas da aplicação do N em cobertura 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⁻¹, aplicados em cobertura. As épocas de avaliação foram aos 15, 25, 35 e 45 dias após a emergência (DAE). As épocas de aplicação do N foram os seguintes: E1: aplicação das doses no dia da semeadura; E2: aplicação das doses de N aos 10 DAE; E3: aplicação das doses de N quando o ISC ≤ 95%; E4: aplicação das doses de N aos 20 DAE e E5: aplicação das doses de N quando ISC ≤ 90%. A partir dos resultados obtidos concluiu-se que o ISC foi eficiente para identificar diferenças nos teores de ICF dos 15 aos 40 DAE, porém não foi possível estimar qual a dose de N que deveria ser aplicada em função dos ISC, pois a produtividade não apresentou diferença para as fontes de variação dose e manejo, a média da produtividade foi de 2.061 kg ha⁻¹. Com o incremento das doses de N ocorre um aumento linear do número de legumes planta⁻¹ e uma redução linear do número de grãos legume⁻¹. O Teor de N mineral no solo apresentou incremento linear com o aumento das doses, mas não repercutiu em mesmo comportamento das variáveis ICF, NDVI e N no tecido foliar, os quais apresentam variação pouco significativa em função das doses. O NDVI aumentou com o passar dos DAE, atingindo valor mais elevado entre 35 e 45 DAE e aos 45 DAE o ICF não diferiu entre os tratamentos.

Palavras-chaves: Manejo da adubação nitrogenada. Índice de vegetação por diferença normalizada.

ABSTRACT

Master Dissertation
Graduate Program in Agronomy: Agriculture and Environment
Federal University of Santa Maria

NITROGEN APPLICATION TIMING IN COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) BASED IN THE SUFFICIENCY CHLOROPHYLL INDEX

AUTHOR: DIEGO RICARDO MENEGOL

ADVISOR: ANTÔNIO LUIS SANTI

Frederico Westphalen, RS, March 17, 2014.

Due to the high economic and social importance of the common bean in Brazil, still has doubts regarding the manner mode and use of topdressing nitrogen fertilizer aiming to obtain high yields, concern about the excessive use of nitrogenous fertilizers, associated with the development of new tools to assess quickly and accurately the nutritional status of crops. In this sense, the study aimed to evaluate the use of Sufficiency Chlorophyll Index (SCI) as a tool to identify the necessity for application and estimate the top dress nitrogen rate (N) should be applied, to obtain the common bean yield and its yield components and monitor the behavior of the index Falker chlorophyll (IFC), the normalized difference vegetation index (NDVI), the N content in the leaf tissue and available N in the soil with different N rates application and nitrogen topdressing application timing. The experimental design was randomized blocks in a factorial arrangement of 8 x 5 x 4 (N rates x topdressing application timing x evaluation periods), with three repetitions. N rates evaluated were: 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 and 280 kg ha⁻¹, topdressing application. The evaluation periods were: 15, 25, 35 and 45 days after emergence (DAE). The application timing were as follows: E1: application of N rates on seeding; E2: application of N rates at 10 DAE; E3: application of N rates when the SCI ≤ 95%; E4: application of N rates at 20 DAE and E5: application of N rates when SCI ≤ 90%. From the results obtained it was concluded that the SCI was efficient to identify differences in IFC levels of 15 to 40 DAE, however, it was not possible to estimate the N rates that should be applied according to the SCI, because the yield showed no significance differences due to N rates and application timing. The mean yield was 2,061 kg ha⁻¹. With increasing of N rates occurs linear increase in the number of pods plant⁻¹ and a linear decrease in the number of grain legume⁻¹. Soil mineral N content showed linear increase with increasing N rates, but were not showed the same behavior to IFC, NDVI and leaf tissue N values, which showed low significant variation depending of the N rates. NDVI increased over DAE, reaching the highest value between 35 and 45 DAE and in 45 DAE the IFC values did not differ among treatments.

Keywords: Nitrogen fertilization management. Normalized difference vegetation index.

LISTA DE TABELAS

ARTIGO I

- Tabela 1** - Índice de Clorofila Falker (ICF) e Índice de Suficiência de Clorofila (ISC) observado nas épocas de avaliação, em função das épocas de aplicação das doses de nitrogênio. Frederico Westphalen, ano 2012/13.21
- Tabela 2** - Resumo da análise de variação para as variáveis de características morfológicas, componentes de rendimento e produtividade em função de diferentes dose e manejos da adubação nitrogenada. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.24
- Tabela 3**- Número de hastes laterais em cada dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura em função dos diferentes manejos da aplicação. Frederico Westphalen, RS, 2012/1325
- Tabela 4** - Comportamento da variável morfológica altura da base do legume em relação aos solo (ALBASE), e dos componentes de rendimento, número de grãos por planta (NGRP), número de legumes por planta (NLEGP) e número de grãos por legume (NGRLEG) em função do manejo da adubação nitrogenada. Frederico Westphalen, ano 2012/13.30

ARTIGO II

- Tabela 1** - Resumo da análise de variação das variáveis; índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), índice de clorofila Falker (ICF), teor de nitrogênio (N) no tecido foliar (N foliar) e teor de nitrogênio no disponível no solo (N mineral) frente aos fatores de variação doses de N, época da aplicação do N e época das avaliações, obtidos na cultura do feijão. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.42
- Tabela 2** - Comparação múltipla de média para o teor de N mineral no solo (mg kg^{-1}) nas diferentes épocas da aplicação de N em cobertura e épocas de avaliação, na cultura do feijoeiro em cada uma das doses. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.43
- Tabela 3** - Comparação do Índice de Clorofila Falker (ICF) e teor de nitrogênio (N) foliar obtidos nas diferentes épocas de avaliação e em função das épocas de aplicação das doses de N. Frederico Westphalen, RS 2012/13.48
- Tabela 4** - Índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI) em função de épocas de aplicação do nitrogênio (N) em cobertura e das épocas de avaliação, realizadas na cultura do feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.52
- Tabela 5** - Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de clorofila Falker (ICF), teor de nitrogênio no mineral no solo (N_{mineral}), teor de nitrogênio no tecido foliar (N_{foliar}) e produtividade (Prod) obtido na cultura do feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.52

LISTA DE FIGURAS

ARTIGO I

- Figura 1-** Temperaturas, máximas e mínimas diárias, precipitação diária e linha 30 °C, no período de duração do experimento. Frederico Westphalen – RS, 2012/13.23
- Figura 2-** Número de hastes laterais (NHLAT) nas diferentes épocas de aplicação de N, em função da dose de N aplicada em cobertura no feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.26
- Figura 3 –** Índice de área foliar (IAF), peso de mil sementes (PMS), número de grãos por planta (NGRP), número de legumes por planta (NLEGP), número de grãos por legume (NGRLEG) e produtividade (PROD), da cultivar IPR Tuiuiú, em função das doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.27
- Figura 4 -** Comportamento das variáveis: altura de planta (ALPL), altura de inserção do primeiro legume em relação ao solo (ALISER), altura da base do primeiro legume em relação ao solo (ALBASE), número de nós na haste principal (NOSHPR), número de nós nas hastes laterais (NOSHPLAT) em função da dose de N aplicada em cobertura. Frederico Westphalen, ano 2012/13.30

ARTIGO II

- Figura 1 -** Teores de N mineral no solo em função das doses de aplicadas em cobertura no feijoeiro dentro de cada época de aplicação e épocas de avaliação: a) 15 DAE, b) 25 DAE, c) 35 DAE e d) 45 DAE. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.46
- Figura 2 -** Teor de nitrogênio (N) foliar nas épocas de avaliação, 15 DAE, 25 DAE, 35 DAE e 45 DAE, em função das doses de N aplicadas em cobertura na cultura do feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.50
- Figura 3 -** Índice de Clorofila Falker (ICF) e índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI) em função da dose de nitrogênio aplicada na cultivar de feijoeiro comum, IPR Tuiuiu. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.51

LISTA DE APÊNDICE

Apêndice A - Doses de nitrogênio, (a) 200 kg ha⁻¹ e (b) 40 kg ha⁻¹, aplicadas em cobertura sobre o solo logo após a semeadura, na forma de ureia. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.	64
Apêndice B - Determinação do NDVI com o sensor remoto Greenseeker[®] aos 15 dias após a emergência, na cultura do feijoeiro comum, RS, Frederico Westphalen, 2012/13.	65
Apêndice C - Determinação do ICF com o equipamento ClorofiLOG[®] aos 25 dias após a emergência, na cultura do feijoeiro comum, com detalhe da folha sendo posicionada na câmara de leitura, no canto superior direito da imagem, RS, Frederico Westphalen, 2012/13.	66
Apêndice D - Coleta de amostra de solo para determinação do teor de nitrogênio disponível no solo aos 35 dias após a emergência da cultura do feijoeiro, RS, Frederico Westphalen, 2012/13.	67
Apêndice E - Algumas das pessoas que auxiliaram na condução do experimento e análises, RS, Frederico Westphalem, 2012/13.	68

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL.....	12
2 ARTIGO I: ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA DE CLOROFILA COMO ALTERNATIVA PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NA CULTURA DO FEIJOEIRO COMUM	16
2.1 Resumo	16
2.2 Abstract	16
2.3 Introdução	17
2.4 Material e Métodos.....	19
2.5 Resultados e Discussão	24
2.6 Conclusões	31
2.7 Referências Bibliográficas	31
3 ARTIGO II: DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SOLO E NO TECIDO FOLIAR DO FEIJOEIRO COMUM EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA	36
3.1 Resumo	36
3.2 Abstract	36
3.3 Introdução	37
3.4 Material e Métodos.....	40
3.5 Resultados e Discussão	41
3.6 Conclusão	53
3.7 Referências Bibliográficas	54
4 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
APÊNDICES.....	64

1 INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura brasileira vem passando por um intenso processo de modernização e especialização dos sistemas produtivos, e por consequência, tornando-se cada vez mais competitiva economicamente em escala global (CHERUBIN, 2013), sendo assim, se faz necessário o estudo e implementação de sistemas agrícolas mais produtivos e mais eficientes na utilização dos recursos naturais, capazes de atender as atuais e futuras demandas mundiais por alimentos (ALEXANDRATOS & BRUINSMA, 2012; NAÇÕES UNIDAS, 2012).

A cultura do feijoeiro é de suma importância econômica e social, pois é um constituinte básico da dieta humana em âmbito mundial, principalmente em países de terceiro mundo, desempenhando, nas classes sociais menos favorecidas, o papel de principal fonte de proteína, além de auxiliar na composição da receita, principalmente de pequenos produtores (BARBOZA, 2007).

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada entre as do gênero *Phaseolus*. Considerando todos os gêneros e espécies de feijão englobadas nas estatísticas da Organização para a Alimentação e Agricultura das Nações Unidas (FAO, 2012) a produção mundial de feijão foi de 23,6 milhões de toneladas, ocupando uma área de 29,3 milhões de hectares. Do total dessa produção, cerca de 89,2% são produzidos por países subdesenvolvidos, como o Brasil, o qual é considerado o maior produtor mundial, que, na safra de 2012/13 produziu 2,83 milhões de toneladas em uma área de 3,11 milhões de hectares (CONAB, 2013)

A produtividade média da cultura, no Brasil, na safra de 2012/13, segundo a CONAB, (2013), foi de 910 kg ha⁻¹ sendo que no estado do Rio Grande do Sul a produtividade média atingiu 1.330 kg ha⁻¹. A produtividade da cultura no estado de Goiás foi de 2.184 kg ha⁻¹ e, no Distrito Federal a produção média de 2.917 kg ha⁻¹, sendo a maior média de produtividade já registrada entre os estados.

Estes resultados demonstram a alta capacidade produtiva da cultura, a qual, não está sendo alcançada na região sul do país devido a uma série de fatores, dentre eles: a baixa tecnologia empregada nos cultivos, uso de grãos ao invés de sementes certificadas, condições climáticas nem sempre favoráveis, ineficiência no controle de doenças, pragas e plantas daninhas e carência de informações compatíveis com as cultivares utilizadas, principalmente

no que se refere à necessidade, quantidade e época de aplicação da adubação nitrogenada de cobertura (SANTI et al., 2006).

A cultura do feijoeiro, pertencente à família Fabaceae (leguminosas) e, conseqüentemente, possui a capacidade de realizar fixação biológica de nitrogênio (N) por meio da simbiose com bactérias do gênero *Rhizobium*, (PELEGLIN et al., 2009), no entanto o feijoeiro não é considerado, por alguns autores, como eficiente na fixação biológica de N (HUNGRIA et al., 1997), portanto, vários estudos ressaltam à necessidade de se realizar a suplementação deste nutriente via fertilização com N mineral quando se deseja a obtenção de elevadas produtividades (ARF et al., 2011; SANT'ANA et al., 2011; SANTI et al., 2013). A adubação com N na cultura do feijoeiro é importante pelo fato de ser o nutriente mais absorvido pela cultura e estar envolvido em inúmeros processos fisiológicos (OLIVEIRA et al., 1996; ARF et al. 2011), neste sentido este deve ser disponibilizado em tempo hábil para a realização de tais eventos.

O uso da adubação nitrogenada em altas doses, maiores que a demanda da cultura, pode representar um sério risco para o meio ambiente devido à lixiviação deste nutriente do solo para as águas (ANDRASKI et al., 2000). Estão disponíveis na literatura vários trabalhos demonstrando a resposta do feijoeiro a adubações nitrogenadas em cobertura (CARVALHO et al., 2003; SORATTO et al., 2004; BARBOSA-FILHO et al., 2008; CAMPOS, 2009; ARF et al., 2011; SANT'ANA et al., 2011), contudo os seus resultados diferem em vários aspectos não sendo possível se obter definitivas conclusões. De uma maneira geral estas diferenças entre os experimentos ocorrem principalmente devido ao uso de diferentes cultivares, solos, condições climáticas e técnicas de manejos (BURATTO et al., 2007). O rendimento produtivo (fenótipo) de qualquer cultivar é determinado pela soma do seu potencial (genótipo) e às condições ambientais proporcionadas a esta (ELIAS et al., 1999). Diante do exposto se faz necessário a realização de estudos regionalizados para a obtenção de uma maior confiabilidade nas recomendações das adubações.

No Brasil, nos últimos anos, elevou-se a utilização de fertilizantes nitrogenados, despertando a atenção dos pesquisadores, principalmente pela utilização de grandes doses de N em espécies leguminosas como o feijão (CERETTA et al., 2003; PORT et al., 2003). O aumento da concentração de nitrato (NO_3^-) no solo, proporciona a elevação dos níveis destes nas águas superficiais e subterrâneas (VANOTTI & BUNDY, 1994), devido aos efeitos da lixiviação (ANDRASKI et al., 2000) tornando-se uma ameaça para o meio ambiente e à saúde humana de uma maneira geral. Sendo assim torna-se fundamental a determinação do teor de N mineral no solo visando estimar o impacto deste nutriente na natureza.

Visando o aperfeiçoamento do manejo da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro, tem sido estudada a utilização de novas técnicas, que possam auxiliar nesse processo, tais como o uso das ferramentas de agricultura de precisão (JURADO-EXPOSITO et al., 2004). Neste contexto, destaca-se a utilização de clorofilômetros que tem demonstrado resultados satisfatórios para o monitoramento dos índices de clorofila das folhas e determinação das doses de N a serem aplicadas sobre as culturas (HUSSAIN et al., 2000; ARGENTA et al., 2003; CARVALHO et al., 2003, BARBOSA FILHO et al., 2008; MAIA et al., 2012). Outra opção é o uso de equipamentos de monitoramento remoto como o Greenseeker[®] (WRIGHT et al., 2004; POVH et al., 2008; MEROTTO et al., 2012), que realiza a estimativa do estado nutricional das plantas pelo aferimento da reflectância do dossel vegetativo em tempo real, possibilitando a prescrição das doses de N para as culturas (SEMBIRING et al., 2000; LIU et al., 2006). Este aparelho apresenta alta praticidade na aquisição dos dados, possibilitando a obtenção de um alto número de leituras, contudo, não se tem registro da sua utilização e eficiência na cultura do feijoeiro.

Na literatura é possível encontrar diversos trabalhos realizados com diferentes culturas, como o arroz (HUSSAIN et al., 2000), milho (JEMISON & LYTLE, 1996), (PIEKIELEK et al., 1997; VARVEL et al., 1997) e feijão (BARBOSA FILHO et al., 2008; 2009; MAIA et al., 2012), que utilizam os valores de Índice Relativo de Clorofila (IRC), para calcular o Índice de Suficiência de N (ISN), pois o teor de clorofila se correlaciona positivamente com o teor de N no tecido foliar (BOOIJ et al., 2001; ARGENTA et al., 2001a; 2001b; ARGENTA et al., 2003; MAIA 2011). No presente trabalho foi utilizado o clorofilômetro de produção nacional, ClorofiLOG[®] modelo CFL 1030 (FALKER, 2008), este aparelho fornece resultados em unidades adimensionais chamados valores Índice de Clorofila Falker (ICF), o ICF se correlaciona positivamente com o teor de clorofila extraído com acetona (BARBIERI JUNIOR et al., 2012) e com o teor de N no tecido foliar (HAIM et al., 2012).

Outra linha de estudo, com resultados promissores para várias culturas, é a utilização dos valores de N mineral do solo para prever os potenciais de rendimento e as necessidades de aplicações de N para as culturas (RAHN & JOHNSON, 2001; RAMBO et al., 2007; MENEGHINN et al., 2008; GROHS et al., 2009b). Estes estudos, independente da linha de pesquisa, buscam auxiliar as futuras tomadas de decisão, visando minimizar o risco ao meio ambiente, maximizar a produção e a lucratividade da atividade agrícola.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar a utilização do ICF para calcular o índice de suficiência de clorofila (ISC) e utilizar este como parâmetro para estabelecer o

momento de aplicação de dose de N em cobertura. Os objetivos secundários deste trabalho foram avaliar as respostas produtivas do feijoeiro, estudar o comportamento do N disponível no solo, dos teores de N foliar e do ICF nas folhas do feijoeiro.

2 ARTIGO I: ÍNDICE DE SUFICIÊNCIA DE CLOROFILA COMO ALTERNATIVA PARA O MANEJO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA NA CULTURA DO FEIJOEIRO COMUM

2.1 Resumo

Devido à elevada importância econômica e social do feijoeiro para o Brasil, e as dúvidas persistentes quanto a metodologia do uso de fertilizante nitrogenado em cobertura visando à obtenção de altas produtividades, realizou-se este estudo com o objetivo de avaliar a utilização do Índice de Suficiência de Clorofila (ISC), calculado a partir do Índice de Clorofila Falker (ICF), como ferramenta para verificar as diferenças entre os teores foliares de clorofila e estimar qual a dose de nitrogênio (N) a ser aplicada em cobertura em função dos ISC, bem como avaliar a produtividade do feijoeiro comum e seus componentes de rendimento em função de diferentes doses de N e das épocas de aplicação do N em cobertura. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, num arranjo bifatorial de 8 x 5 (doses de N x épocas de aplicação do N em cobertura), com três repetições. As doses de N avaliadas foram de 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 e 280 kg ha⁻¹, aplicados em cobertura, no momento referente aos tratamentos de época. As épocas de aplicação do N em cobertura foram os seguintes: E1: aplicação das doses de cobertura logo após a semeadura; E2: aplicação das doses de N em cobertura aos 10 dias após a emergência (DAE); E3: aplicação das doses de N em cobertura quando o ISC ≤ 95%; E4: aplicação das doses de N em cobertura 20 DAE e E5: aplicação das doses de N em cobertura quando ISC ≤ 90%. A partir dos resultados obtidos concluiu-se que a determinação do ISC é uma alternativa para identificar e quantificar as variações do ICF durante o estágio vegetativo da cultura do feijoeiro; contudo não foi possível estabelecer uma recomendação de adubação de cobertura a partir dos ISC. Com o incremento das doses de N ocorre um aumento linear do NLEGP e uma redução linear do NGRLEG do feijoeiro, a utilização da dose de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura proporcionou a obtenção de bom nível de produtividades, sendo que, nas condições do experimento a produtividade não apresenta diferença significativa para as diferentes doses e épocas de aplicação de N.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*, índice de clorofila, época de aplicação, doses de nitrogênio, produtividade de grãos.

2.2 Abstract

Due to the high economic and social importance of the common beans in Brazil, still has doubts regarding the manner mode and use of topdressing nitrogen fertilizer aiming to obtain

high yields. This study aimed to evaluate the use of the Sufficiency Chlorophyll Index (SCI), calculated from the chlorophyll Falker index (CFI) as a tool to verify the differences in leaf chlorophyll content and to estimate the topdressing nitrogen rate (N) should be applied depending of the SCI, as well as to evaluate the common bean yield and its yield components for different N rates and the topdressing application timing. The experimental design was a randomized blocks in factorial arrangement of 8 x 5 (N rates x topdressing application timing) with three repetition. The N rates applied were: 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 and 280 kg ha⁻¹. The topdressing application timing were as follows: E1: application of N rates on seeding; E2: application of N rates at 10 DAE; E3: application of N rates when the SCI ≤ 95%; E4: application of N rates at 20 DAE and E5: application of N rates when SCI ≤ 90%. From the results obtained it was concluded that the determination of SCI is an alternative to identify and quantify changes in CFI during the vegetative stage of common bean crop, however, it was not possible to establish a topdressing fertilizer recommendation based in ISC. With increasing of N rates occur linear increase in NLEGP and linear decrease in NGRLEG of common bean crop. The use of 20 kg N ha⁻¹ rate at sowing obtaining satisfactory yields, although, in these experimental conditions the yield showed no significant differences depending of the N rates and topdressing application timing.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*, chlorophyll index, topdressing application timing, nitrogen rates, yield.

2.3 Introdução

A cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L) é um dos constituintes básicos da dieta alimentar da população brasileira (BONETT et al., 2006), na safra de 2012/13 a cultura ocupou uma área de 3,11 milhões de hectares, com uma produtividade média de 909 kg ha⁻¹ (CONAB, 2013), esta produtividade média segundo Cabral et al. (2011) é considerada baixa e ocorre principalmente devido ao reduzido uso de sementes certificadas e ao baixo uso de tecnologias nos cultivos, por ocasião do feijão ser mais produzido em pequenas propriedades. As condições adversas do clima e a falta de informações precisas para as principais cultivares utilizadas pelos produtores com relação à quantidade e o momento de se realizar as adubações nitrogenadas, também são alguns dos entraves produtivos (SANTI et al., 2006).

A cultura do feijoeiro apresenta uma alta capacidade de estabelecer associações simbióticas com bactérias do gênero *Rizobium* (PELEGLIN et al., 2009), no entanto pelo seu ciclo curto, não permite que toda a sua demanda de nitrogênio (N), seja fornecida pela fixação biológica de N, se fazendo necessário a aplicação de fertilizantes nitrogenados quando se

almeja a obtenção de altas produtividades (ARF et al., 2011; SANT'ANA et al., 2011; SANTI et al., 2013). O manejo das adubações nitrogenadas, merecem destaque pois o N é o nutriente absorvido em maiores quantidades pela cultura do feijoeiro e caracterizar-se como um dos fatores produtivos de maior influência na produtividade da cultura (CRUSCIOL et al., 2007; ALBUQUERQUE et al., 2012). Plantas com deficiência de N apresentam caracteristicamente baixa produção de fitomassa, senescência prematura de folhas e baixa produção de grãos (SANTOS & FAGERIA, 2007).

Visando reduzir os custos do cultivo do feijoeiro comum, alguns produtores tem procurado estratégias para substituir parcial ou totalmente a adubação nitrogenada. Resultados demonstram que apenas com o processo de fixação biológica de N, podem ser alcançadas produtividades de grãos acima de 2.500 kg ha⁻¹ (Hungria et al., 2000). Deve-se, contudo, considerar que o sucesso da inoculação do feijoeiro, com estirpes de rizóbio, está associado à habilidade competitiva de tais estirpes e adaptação às condições ambientais (MERCANTE et al., 1999; STRALIOTTO et al., 2002). Sob condições ambientais adequadas, o N atmosférico fixado pela simbiose pode atender à maior parte das necessidades do feijoeiro (HUNGRIA et al., 1985) sendo que doses de N que correspondam a 15 mg de N por kg de solo, podem favorecer a combinação do feijão comum com o rizóbio (BRITO et al., 2011). Pelegrin et al. (2009) com a aplicação de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura, com e sem inoculação, obteve produção de grão semelhante a obtida com a aplicação de 160 kg ha⁻¹ de N em cobertura, a qual diferiu dos tratamento sem aplicação de N na semeadura, com e sem inoculação.

A Comissão de Química e Fertilidade do Solo – RS/SC (2004) recomenda a aplicação de 10 a 20 kg ha⁻¹ de N no momento da semeadura e para avaliar a necessidade de adubação com N em cobertura, sugere que sejam contados o número de nódulos ativos por planta, quando encontrado mais de 20 nódulos ativos por planta a aplicação de N não é recomendada e se encontrados menos de 20 nódulos ativos recomenda-se a aplicação com base no teor de matéria orgânica do solo e expectativa de rendimento da cultura.

Devido à alta complexidade das interações que ocorrem com o N (BARBOSA-FILHO et al., 2008), não existe um método que permita inferir satisfatoriamente a capacidade do solo em fornecer esse nutriente para as plantas. Neste sentido uma alternativa que vem sendo citada por vários autores para otimizar o uso de fertilizantes nitrogenados é o monitoramento dos teores de clorofila das folhas, a partir do uso de clorofilômetros portáteis, que na maioria dos estudos apresentam razoáveis correlações com a produtividade dos grãos (HUSSAIN et al., 2000; ARGENTA et al., 2003; CARVALHO et al., 2003; BARBOSA-FILHO et al., 2008). De acordo com LOBO et al. (2012) a relação entre a determinação dos teores de clorofila e a

concentração de N nas folhas depende do estágio fisiológico e da cultivar utilizada. Sendo assim, as épocas da aplicação dos fertilizantes precisam ser ajustadas em função das leituras obtidas in loco na lavoura, visando haver um maior sincronismo entre as necessidades específicas das plantas e as quantidades de fertilizantes disponibilizados para elas (SOUZA et al., 2011).

Diversos trabalhos realizados com diferentes culturas, como o arroz (HUSSAIN et al., 2000), milho (JEMISON & LYTLE, 1996; PIEKIELEK et al., 1997; VARVEL et al., 1997) e feijão (BARBOSA FILHO et al., 2008; 2009; MAIA et al., 2012), utilizaram os valores de Índice Relativo de Clorofila (IRC), para calcular o Índice de Suficiência de N (ISN), pois o teor de clorofila se correlaciona positivamente com o teor de N no tecido foliar (BOOIJ et al., 2001; ARGENTA et al., 2001a; 2001b; 2003; MAIA 2011). Sendo que nestes estudos o IRC foi obtido com o clorofilômetro SPAD 502 (MINOLTA et al., 1989). Já para o clorofilômetro ClorofiLOG[®] modelo CFL 1030 (FALKER, 2008), que possui princípio de funcionamento semelhante ao SPAD 502 e fornece resultados em unidades adimensionais chamados valores Índice de Clorofila Falker (ICF), não se tem na literatura estudos publicados. Contudo o ICF demonstra ser uma potencial ferramenta no manejo das adubações nitrogenadas, pois apresentou satisfatória correlação com o teor de clorofila das folhas (BARBIERI JUNIOR et al., 2012) e com o teor de N no tecido foliar (HAIM et al., 2012).

Neste sentido, o objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização do ICF para calcular o índice de suficiência de clorofila (ISC) e utilizar este como fator de decisão para estabelecer a época de aplicação de doses de N, no intuito de estabelecer a dose de N a aplicar em função do ISC, a partir da produtividade e das características produtivas e morfológicas da cultura do feijoeiro, obtida em cada situação.

2.4 Material e Métodos

O experimento foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Santa Maria, campus de Frederico Westphalen, situada entre a latitude 27°23'45" S e a longitude 53°25'45" O, com altitude de 488 m, localizada na região do Planalto Médio do Rio Grande do Sul, Brasil. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distrófico típico, com textura argilosa (EMBRAPA, 2006) e o clima, segundo a classificação de Maluf (2000), é do tipo ST

PU (subtropical com primavera úmida), com temperatura média anual de 18,1 °C e precipitação pluvial anual próxima a 1.900 mm.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso em arranjo bifatorial, 8 x 5 (doses de N x épocas de aplicação do N em cobertura), com três repetições. As doses de N avaliadas foram de 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 e 280 kg ha⁻¹ de N aplicados em cobertura, no momento referente aos tratamentos de épocas. Das cinco épocas de aplicação, três foram pré-definidas e aplicadas nos seguintes momentos: E1: aplicação das doses de N em cobertura após a semeadura; E2: aplicação das doses de N em cobertura aos 10 dias após a emergência (DAE) e E4: aplicação das doses de N em cobertura aos 20 DAE, as outras duas épocas de aplicação foram estabelecidas com base no ISC. Foram elas: E3: aplicadas quando foram obtidos $ISC \leq 95\%$ e E5: aplicadas quando obtido $ISC \leq 90\%$, os quais ocorreram aos 15 DAE e aos 30 DAE, respectivamente.

O ISC representa, de forma percentual, o ICF de uma parcela com menor ICF em relação à outra com ICF mais elevado. Para o cálculo do ISC foi utilizada a seguinte equação: $ISC = ((< ICF) / (> ICF)) \times 100$, obtendo-se os valores em porcentagem. Em cada época de avaliação foi utilizado como referencia ($ISC = 100\%$) o maior ICF obtido entre os tratamentos de época de aplicação, a partir deste foram calculados os demais ISC (Tabela 1). Os ISC que são apresentados em negrito (94,35 % e 88,94 %) na tabela 1 são referentes aos momentos em que foram obtidos os $ISC \leq 95\%$ e $ISC \leq 90\%$, aos 15 e 30 DAE, respectivamente.

A determinação do ICF, foi realizada por meio da utilização de um clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG[®] modelo CFL 1030. Este equipamento trabalha com leituras de três comprimentos de onda, dois dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila ($\lambda=635$ e 660nm) e outro no infravermelho próximo ($\lambda=880\text{nm}$). Um sensor inferior recebe a radiação transmitida através da estrutura foliar. A partir desse dado, o aparelho fornece resultados em unidades adimensionais chamados valores ICF (FALKER, 2008).

As leituras de ICF foram efetuadas a cada cinco dias, iniciando aos 15 DAE e se estenderam até os 45 DAE. Para as avaliações foram utilizadas três plantas por parcela, em cada planta, foram realizadas cinco leituras nas folhas do último trifólio totalmente expandido, tomando cuidados na utilização de folhas que não apresentassem danos em seu limbo foliar, somando assim, 15 leituras repetição⁻¹. O índice de área foliar (IAF) foi avaliado as 45 DAE, utilizando seis plantas por unidade experimental, seguindo a metodologia proposta por Benincasa (1988).

Tabela 1 - Índice de Clorofila Falker (ICF) e Índice de Suficiência de Clorofila (ISC) observado nas épocas de avaliação, em função das épocas de aplicação das doses de nitrogênio. Frederico Westphalen, ano 2012/13.

Época de avaliação	Época de aplicação				
	E1	E2	E3	E4	E5
	ICF				
15 DAE*	41,89	42,33	39,94	40,42	40,91
20 DAE	41,21	42,28	41,56	40,64	39,98
25 DAE	39,01	40,72	40,71	38,69	38,39
30 DAE	43,96	44,61	46,67	46,29	41,51
35 DAE	43,27	41,11	42,91	43,2	40,29
40 DAE	42,28	42,3	42,82	41,82	40,88
45 DAE	45,96	45,72	45,68	45,96	46,06
	ISC (%)				
15 DAE	98,96	100,00	94,35	95,49	96,65
20 DAE	97,47	100,00	98,30	96,12	94,56
25 DAE	95,80	100,00	99,98	95,01	94,28
30 DAE	94,19	95,59	100,00	99,19	88,94
35 DAE	100,00	95,01	99,17	99,84	93,11
40 DAE	98,74	98,79	100,00	97,66	95,47
45 DAE	99,78	99,26	99,17	99,78	100,00

*DAE (dias após emergência).

As unidades experimentais utilizadas foram formadas por cinco linhas espaçadas 0,45 m, com comprimento de três metros, compreendendo 6,75 m². A área útil para as avaliações de produtividade, dos componentes de rendimento e das demais variáveis morfológicas, foi de 1,5 m lineares, das três linhas centrais de cada unidade.

A fertilidade do solo foi avaliada por meio que análise química do solo, procedendo-se a coleta aleatória de 15 sub amostras da camada de 0,00 a 0,20 m de profundidade, para compor uma amostra composta. Os resultados obtidos foram os seguintes: teor de argila de 790 g kg⁻¹, pH em água, na relação 1:1 de 5,9, teor de matéria orgânica de 29 g kg⁻¹ de solo, teor de fósforo de 17,5 mg dm⁻³, teor de potássio de 219,5 mg dm⁻³, teor de alumínio trocável de 0,0 cmol_c dm⁻³, acidez potencial de 3,3 cmol_c dm⁻³, teor de cálcio de 6,0 cmol_c dm⁻³, teor de magnésio de 2,8 cmol_c dm⁻³; capacidade de troca de cátions (CTC) de 12,7 cmol_c dm⁻³, saturação da CTC por bases de 73,9 % e saturação da CTC por alumínio de 0,0 %.

A adubação de base foi realizada de forma incorporada, no momento da semeadura. Foram utilizados 400 kg ha⁻¹ de fertilizante da fórmula comercial 05-20-20, que corresponde a 20 kg ha⁻¹ de N, 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e 80 kg ha⁻¹ de K₂O. A quantidade de fertilizante aplicada

na linha, no momento da semeadura, foi determinada com o objetivo manter boa disponibilidade de fósforo e potássio no solo, para que estes não fossem limitantes á produtividade e a dose de N foi estabelecida com base na recomendação do manual de adubação e calagem para os estados do RS e SC (CQFS-RS/SC, 2004).

A cultivar utilizada foi a IPR Tuiuiú, do grupo das cultivares de grãos preto, registrada para cultivo a partir de abril de 2010 e indicada para cultivo para os estados do PR e SP e em fase de extensão de registro para os estados do RS, SC e GO. A cultivar apresenta hábito de crescimento indeterminado, tipo II e porte ereto, características que facilitam a colheita mecanizada. A semeadura ocorreu no dia 28 de setembro de 2012, em sistema de semeadura direta, sem a utilização de inoculante, a emergência das plântulas da cultura ocorreu no dia 08 de outubro de 2012, o pleno florescimento no dia 21 de novembro de 2012, aos 39 DAE e a maturação dia 04 de janeiro de 2013, aos 89 DAE. A área já havia sido cultivado com o feijoeiro na safra passada, a cultura antecessora ao feijão foi o trigo, dessecado 30 dias antes da semeadura, quando se encontrava na fase de enchimento de grãos. A população de plantas obtida foi de 235.000 plantas por hectare. No decorrer do desenvolvimento da cultura foram realizadas duas aplicações de fungicida (Piraclostrobina 66,5 g ha⁻¹ + Epoxiconazol 25 g ha⁻¹) de forma preventiva, uma no início do florescimento e outra 20 dias depois.

Os dados de temperatura e precipitação pluvial, durante o experimento, são apresentados na Figura 1, os dados foram obtidos da estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada a aproximadamente 600 m do experimento. No dia 15 de novembro de 2012, foi realizada irrigação das parcelas com 22,79 mm de lâmina de água, devido a ausência de chuvas no período entre os dias 2 à 18 de novembro de 2012, pois no dia 11 de novembro as plantas começaram a apresentar murchamento foliar, devido a deficiência hídrica ocorrida neste período.

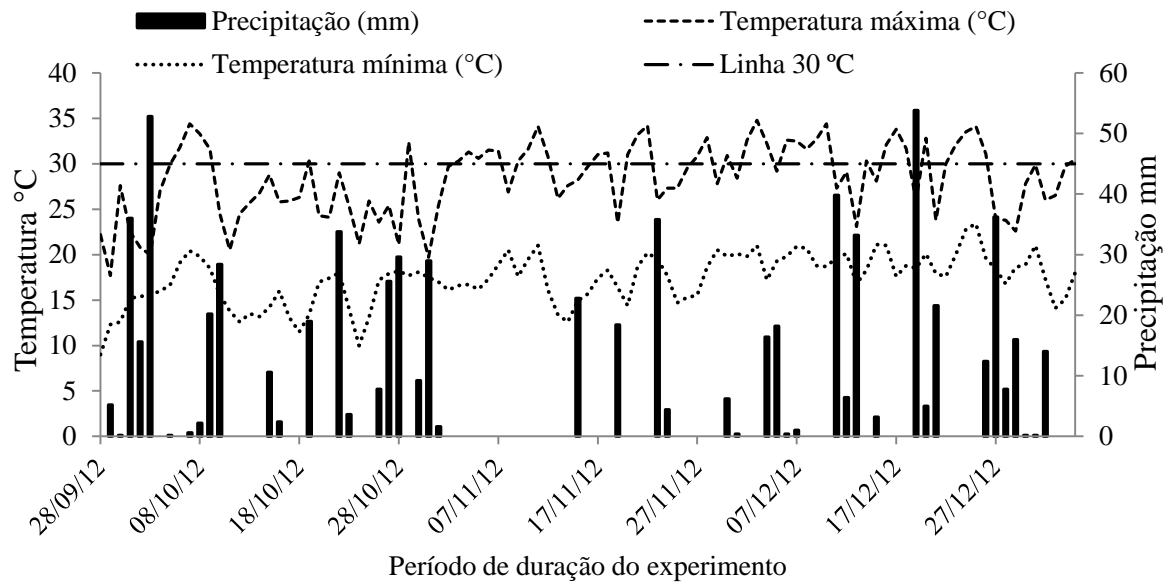


Figura 1 - Temperaturas, máximas e mínimas diárias, precipitação diária e linha 30 °C, no período de duração do experimento. Frederico Westphalen – RS, 2012/13.

Quando a cultura atingiu o estágio de maturação fisiológica, visando a avaliação dos componentes de rendimento, foram coletadas 10 plantas, aleatoriamente na parcela, onde foram analisados os seguintes parâmetros: altura de planta (ALPL), altura de inserção do primeiro legume em relação ao solo (ALISER), altura da base do primeiro legume em relação ao solo (ALBASE), número de nós na haste principal (NOSHPR), número de nós nas hastes laterais (NOSHPR), número de hastes laterais com mais de dois nós (NHLAT), número de grãos por planta (NGRP), número de legumes por planta (NLEGP) e número de grãos por legume (NGRLEG), para determinação do peso de mil sementes (PMS) e produtividade (PROD) procedeu-se a colheita de toda a área útil da parcela.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F (5%) de probabilidade de erro e quando significativos, submetidos à análise de regressão polinomial ou comparação de médias por Tukey, por meio do *software* SISVAR (FERREIRA 2011).

2.5 Resultados e Discussão

O resumo da análise de variância das variáveis morfológicas, componentes de rendimento e produtividade em função de diferentes doses e épocas de aplicação de N são apresentados na tabela 2. Pode-se observar que ocorreu interação significativa entre as duas fontes de variação a um nível de 5% de probabilidade de erro pelo teste de F, apenas para o NHLAT. Carvalho et al. (2003) também não encontrou interação entre épocas e doses de N aplicadas no feijoeiro, para as variáveis estudadas.

Tabela 2 - Resumo da análise de variação para as variáveis de características morfológicas, componentes de rendimento e produtividade em função de diferentes dose e manejos da adubação nitrogenada. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Fontes de Variação	GL	Valores de F					
		ALPL	ALISER	ALBASE	NOSHPRI	NOSHLAT	NHLAT
Dose	7	0,018 *	0,826 ^{ns}	0,724 ^{ns}	0,008 *	0,024 *	0,583 ^{ns}
Época	4	0,611 ^{ns}	0,144 ^{ns}	0,032 *	0,209 ^{ns}	0,289 ^{ns}	0,008 *
Dose*Época	28	0,745 ^{ns}	0,788 ^{ns}	0,996 ^{ns}	0,928 ^{ns}	0,641 ^{ns}	0,010 *
Bloco	2	0,551	0,143	0,187	0,456	0,057	0,117
Média	-	67,86	21,27	14,26	13,15	14,54	3,43
CV (%)	-	10,20	14,89	23,53	8,55	29,36	25,50
		PROD	PMS	NGR	NLEGP	NGRLEG	IAF
Dose	7	0,059 ^{ns}	0,000 *	0,291 ^{ns}	0,045 *	0,002 *	0,115 ^{ns}
Época	4	0,795 ^{ns}	0,678 ^{ns}	0,012 *	0,047 *	0,001 *	0,058 ^{ns}
Dose*Época	28	0,151 ^{ns}	0,671 ^{ns}	0,559 ^{ns}	0,286 ^{ns}	0,442 ^{ns}	0,307 ^{ns}
Bloco	2	0,000	0,002	0,055	0,328	0,055	0,626
Média	-	2061,45	217,95	60,89	15,56	3,93	22,98
CV (%)	-	21,05	483,00	18,04	17,48	8,35	3,56

* e ^{ns}: significativo e não significativo, respectivamente, em nível de 5 % de probabilidade de erro. (ALPL) altura de planta, (ALISER) altura de inserção do primeiro legume, (ALBASE) altura da base do primeiro legume, (NOSHPRI) número de nós na haste principal, (NOSHLAT) número de nós na haste lateral, (NHLAT) número de hastes laterais, (PROD) produtividade, (PMS) peso de mil sementes, (NGR) número de grãos por planta, (NLEG) número de legumes por planta, (NGRLEG) número de grãos por legume e (IAF) índice de área foliar.

Para os demais atributos analisados, devido à inexistência de significância entre os fatores, partiu-se para a análise dos efeitos simples (Tabela 2). Para a fonte de variação dose,

as variáveis que apresentaram significância foram a ALPL, o NOSHPRI, o NOSHLAT, o PMS, o NLEGP e o NGRLEG. Para os tratamentos de épocas de aplicação apresentaram significância as variáveis, ALBASE, NHLAT, NGRP, NLEGP e NGRLEG. As variáveis IAF, ALISER e PROD não apresentaram diferença significativa perante as fontes de variação. O IAF médio foi de 3,56 e a ALISER de 0,21 m. A média de produtividade do experimento foi de 2.061 kg ha⁻¹. Essa produtividade é considerada satisfatória se comparada com a média nacional, de 909 kg ha⁻¹, no ano de 2013 (CONAB, 2013).

O desdobramento da interação das épocas de aplicação nas doses de N aplicadas para a variável NHLAT é apresentado na tabela 3. Ocorreu diferença significativa entre as épocas de aplicação apenas nas doses de 40 e 80 kg ha⁻¹ de N, sendo as maiores médias obtidas aos 30 e 20 DAE, respectivamente. Esse resultado demonstra que as épocas de aplicação das doses influenciam pouco no NHLAT na cultura do feijoeiro, e que mesmo aplicações tardias de N podem contribuir para o aumento desta variável.

Tabela 3- Número de hastes laterais em cada dose de nitrogênio (N) aplicada em cobertura em função dos diferentes manejos da aplicação. Frederico Westphalen, RS, 2012/13

Época de aplicação	Dose de N kg ha ⁻¹							
	0	40	80	120	160	200	240	280
E1	2,53 ns	3,43 ab	2,63 b	3,75 ns	3,63 ns	4,77 ns	2,65 ns	3,30 ns
E2	3,53	2,83 b	3,00 b	2,30	3,30	2,27	3,00	3,27
E3	3,40	2,60 b	2,73 b	2,47	3,20	3,60	2,83	4,48
E4	3,70	3,77 ab	5,00 a	4,03	3,27	3,85	4,13	2,80
E5	3,33	4,83 a	4,00 b	3,57	3,83	3,37	3,87	3,70

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5% de probabilidade de erro. DAE (dias após emergência). ns= não significativo

O NHLAT em função das doses em cada época de aplicação é apresentado na figura 2. Observa-se que apenas as E1 e E3 apresentaram diferença significativa para o NHLAT em relação às doses de N aplicada, ambos apresentaram equações de segundo grau, no entanto uma negativa e a outra positiva, respectivamente. A dose que apresentou o maior desenvolvimento do NHLAT foi de 150 kg ha⁻¹ de N, aplicada no momento da semeadura, a aplicação da dose de 102 kg ha⁻¹ de N, aos 15 DAE, acarretou em menor NHLAT.

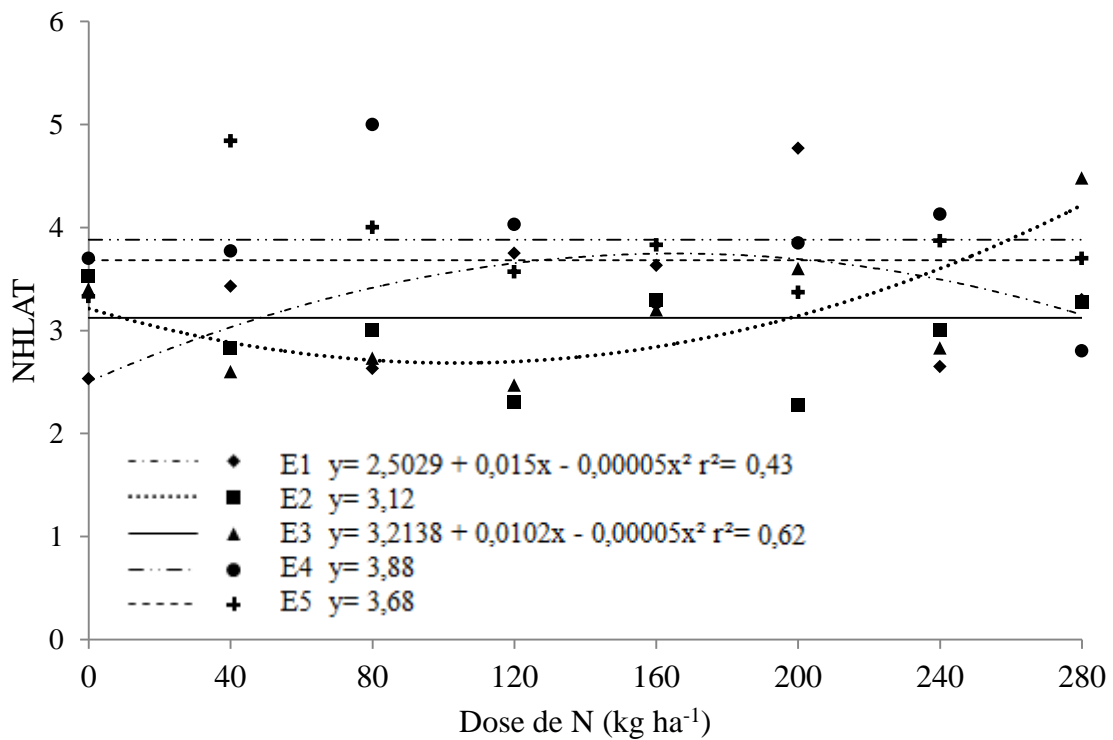


Figura 2 - Número de hastas laterais (NHLAT) nas diferentes épocas de aplicação de N, em função da dose de N aplicada em cobertura no feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Na figura 3 são apresentados os resultados da variável PROD e dos componentes de rendimento em função das doses de N aplicadas. Como não se constatou diferenças entre a produtividade para dose e época de aplicação, pode-se inferir que a aplicação de N, na dose de 20 kg ha⁻¹ na base, aliada a outras fontes de nutriente para o feijoeiro, foram suficiente para o desenvolvimento da cultura. As épocas de aplicação de N também não influenciaram a produtividade, contudo, foi possível observar diferenças nos ICF que permitiram identificar os $ISC \leq 90\%$ e $ISC \leq 95\%$. Maia et al. (2012) utilizando a cultivar Pérola, concluiu que a utilização do ISN de 90 % e aplicação de 30 kg ha⁻¹ quando este for obtido, é eficiente para determinar a necessidade de aplicação de N, pois aumenta a eficiência na utilização do N, quando comparado a recomendação convencional de 80 kg ha⁻¹ de N, sem ocorrer diminuição da produtividade, mas sendo superior a testemunha que não recebeu N. Já a cultivar IAC alvorada (MAIA, 2011) não apresentou o mesmo comportamento, sendo que esta não apresentou diferença de produtividade em relação a testemunha, na mesma safra.

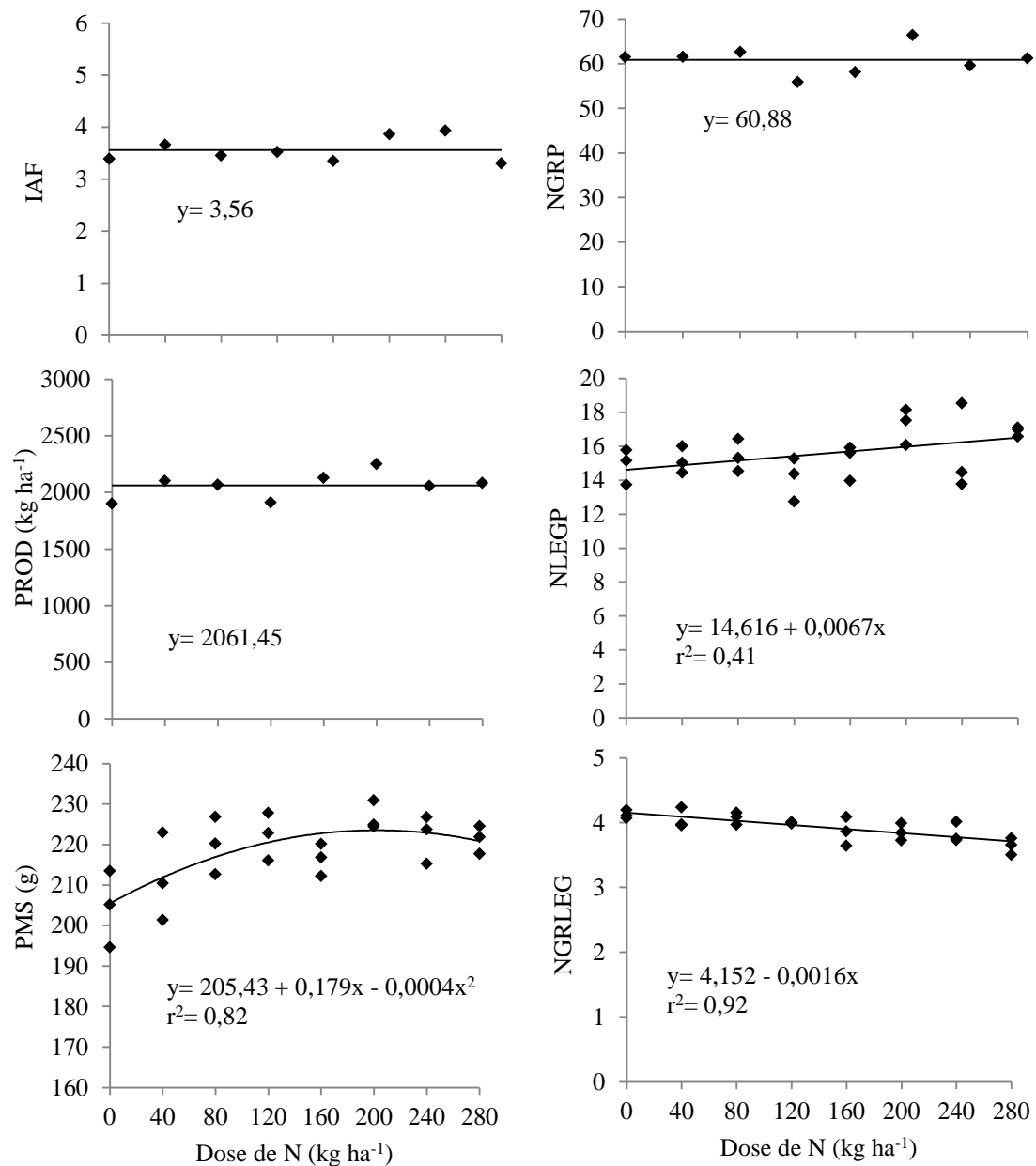


Figura 3 – Índice de área foliar (IAF), peso de mil sementes (PMS), número de grãos por planta (NGRP), número de legumes por planta (NLEGP), número de grãos por legume (NGRLEG) e produtividade (PROD), da cultivar IPR Tuiuiú, em função das doses de nitrogênio (N) aplicadas em cobertura. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Dalastra et al. (2011) e Arf et al. (2011) estudando várias fontes e épocas de aplicação de N não encontraram efeito das épocas de aplicação na produtividade do feijoeiro. Estes resultados mostram como a resposta a adubação N é diferente entre as cultivares de feijoeiro comum e influenciada pelas condições ambientais e do solo local.

Para a variável PMS observou-se um comportamento quadrático frente às doses de N aplicadas, sendo que o ponto de máxima eficiência técnica para essa variável foi à dose de 180 kg ha^{-1} de N, sendo seus valores situados entre 195 até 230g, valores são similares aos encontrados por Sorato et al. (2004) com PMS entre 196 e 210 g.

O NLEGP apresentou um aumento linear com o incremento nas doses de N aplicado na cultura, variando seus valores 13,9 a 18,1 NLEGP. Esse resultado está de acordo com os encontrados por Maia et al. (2012) que também observou crescimento linear do NLEGP, no entanto seus valores são menores que o do presente trabalho, esses mesmos autores afirmam que o NLEGP é o componente produtivo que mais responde ao incremento das doses de N. No entanto com o aumento das doses de N reduziu-se o NGRLEG do feijão, em função deste motivo, não se observou significância das doses de N para os atributos NGRP e PROD, pois ocorreu uma compensação entre o aumento de NLEGP e a redução do NGRLEG.

Cabral et al. (2011) trabalhando com a análise de trilha para os componentes do rendimento do feijão concluíram que o NGRP foi o atributo de maior efeito sobre a PROD, na sequência, as variáveis PMS e NGRLEG apresentam elevados efeitos indiretos sobre o NGRP. O efeito da aplicação de N frente à produtividade é amplamente estudado em diferentes locais e variedades do feijoeiro. Carvalho et al. (2003), Soratto et al. (2004), e Barbosa-Filho et al. (2008), encontraram aumento linear da PROD com o incremento das doses de N fornecida, no entanto se analisar o solo em que foram realizados os respectivos trabalhos todos apresentam valores inferiores de matéria orgânica que os níveis do presente estudo.

Resultados contrastantes como os apresentados pelos demais autores, e de acordo com o presente estudo, são apresentados por Campos (2009) que estudando o efeito de diferentes doses de N em solos com alta e baixa fertilidade observou incrementos em produtividade apenas no solo de baixa fertilidade. No mesmo sentido, Arf et al. (2011) testando diferentes produtos fornecedores de N e épocas para aplicação de 80 kg ha^{-1} de N em dois anos de estudo, observou que em apenas um dos anos os tratamentos com aplicação de N apresentaram maior produção do que a parcela testemunha (0 kg ha^{-1} de N). Salgado et al. (2012) estudando diferentes variedades em dois sistemas de produção; um perante a aplicação de um alto nível de N (120 kg ha^{-1}) e outro com baixo nível de N (20 kg ha^{-1}), observou diferença das respostas às doses de N entre as cultivares, sendo que algumas responderam aos incrementos, aumentando sua produtividade, outras mantiveram a sua produção e outras, denominada pelos autores mais rústicas, reduziram a sua produtividade. Sant'Ana et al. (2011) estudando a eficiência agrônômica no uso de diferentes doses de N em cobertura no

feijoeiro, concluíram que mesmo o feijão respondendo às doses de N a eficiência agrônômica é reduzida de forma linear com o incremento das doses.

Maia et al. (2012) estudando durante dois anos, diferentes doses de N aplicadas em três momentos durante o ciclo do feijão comum, constatou em um dos anos ausência de resposta da produtividade com o incremento de N e no segundo ano com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N já não se observou diferença significativa entre os demais tratamentos. Araujo et al. (2007) estudando a produção do feijão com inoculação, testemunha (sem nenhum tratamento) e uso da ureia (100 kg ha⁻¹) observaram a maior média de produção nas parcelas apenas inoculadas. São várias as hipóteses levantadas para a obtenção de altas produtividades do feijoeiro sem aplicação de N, dentre elas; uma eficiente relação simbiótica com bactérias fixadoras de N (ARAUJO et al., 2007; MAIA et al., 2012), mineralização de resíduos de culturas anteriores (ARF et al., 2011; MAIA et al., 2012), solos com elevada fertilidade (CAMPOS, 2009) e genética da cultivar (SALGADO et al., 2012). A aplicação de N incorporado na semeadura somado a estes fatores pode ter contribuído para a não existência diferença de produtividade. Segundo Brito et al. (2011) a dose de N de 15 mg kg⁻¹ de solo pode favorecer a inoculação, a dose aplicada na semeadura, no presente trabalho, corresponde a aproximadamente 12 mg kg⁻¹, na camada de 0,0 a 0,1 m de profundidade do solo.

Na tabela 4 são apresentados os resultados dos atributos que apresentaram diferença significativa entre as épocas de aplicação da adubação com N. Observa-se que o NGRP apresentou o maior valor aos 30 DAE, já o NGRP mais baixo foi observado na aplicação de N aos 15 DAE (E3). O NLEGP apresentou a maior média na aplicação aos 20 DAE (E4), porém não diferiu da aplicação aos 30 DAE (E5), os menores valores deste atributo ocorreram quando o N foi aplicado na SEMEADURA (E1) e aos 10 DAE (E2), segundo Andrade et al. (1998) essa variável apresenta alta herdabilidade e maior variabilidade entre cultivares, que em relação a doses ou manejos do N.

O comportamento das variáveis morfológicas do feijão em relação às doses de N aplicadas é apresentado graficamente na figura 4. A ALPL, NNHLA e NNHP apresentaram um aumento linear com o incremento das doses de N. Resultados similares foram reportados por Furtini et al. (2006), em que citam que o incremento em doses de N pode levar a um maior desenvolvimento da parte vegetativa em detrimento da reprodutiva resultando em um não aumento de PROD e até redução da mesma. A ALISER e da ALBASE, não apresentou significância frente às doses, sendo seus valores médios de 0,21 e 0,14 m, respectivamente.

Tabela 4 - Comportamento da variável morfológica altura da base do legume em relação aos solo (ALBASE), e dos componentes de rendimento, número de grãos por planta (NGRP), número de legumes por planta (NLEGP) e número de grãos por legume (NGRLEG) em função do manejo da adubação nitrogenada. Frederico Westphalen, ano 2012/13.

Época de aplicação	NGRP	NLEGP	NGRLEG	ALBASE
E1	60,63 ab	15,04 c	4,10 a	13,41 a
E2	57,04 ab	14,72 c	3,89 ab	14,66 ab
E3	56,59 b	15,16 bc	3,76 b	16,05 b
E4	64,51 ab	16,89 a	3,85 ab	13,8 ab
E5	65,63 a	16,00 ab	4,06 a	13,33 a

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey em nível de 5 % de probabilidade de erro.

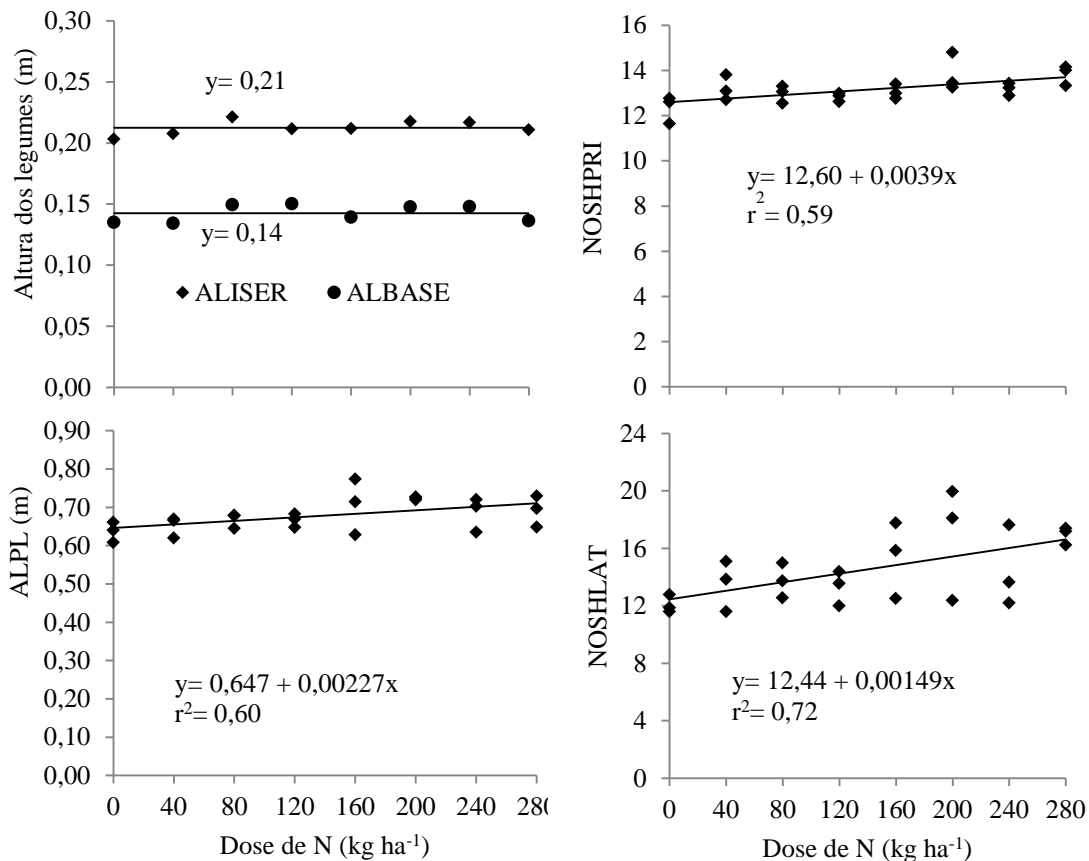


Figura 4 – Comportamento das variáveis: altura de planta (ALPL), altura de inserção do primeiro legume em relação ao solo (ALISER), altura da base do primeiro legume em relação ao solo (ALBASE), número de nós na haste principal (NOSHPR), número de nós nas hastes laterais (NOSHLAT) em função da dose de N aplicada em cobertura. Frederico Westphalen, ano 2012/13.

O NGLEG e a ALBASE apresentaram um mesmo comportamento de suas médias sendo seus maiores valores observados nas aplicações do N na semeadura e aos 20 DAE, porém estes diferiram apenas da aplicação aos 15 DAE, menores valores observados. Esses valores discordam com os encontrados por Arf et al. (2011) que não encontrou diferença para os valores de NGRP, NLEGP e NGLEG quando da utilização de diferentes manejos de aplicação do N em cobertura no feijoeiro.

2.6 Conclusões

A determinação do ISC é uma alternativa para identificar e quantificar a variação do ICF durante o estágio vegetativo, da cultura do feijoeiro.

Não foi possível estabelecer uma recomendação de adubação de cobertura a partir dos ISC.

Com o incremento das doses de N ocorre um aumento linear do NLEGP e uma redução linear do NGRLEG , resultando em não alteração da produtividade do feijoeiro comum.

A utilização da dose de 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura, aliada a solo de alta fertilidade proporciona a obtenção de produtividade satisfatória para a cultivar IPR Tuiuiú.

Nas condições do estudo a produtividade do feijoeiro não apresenta diferença significativa em função das diferentes doses e épocas de aplicação de N.

2.7 Referências Bibliográficas

ALBUQUERQUE, H. C.; PEGORARO, R. F.; VIEIRA, N. M. B.; et al. Capacidade nodulatória e características agronômicas de feijoeiros comuns submetidos à adubação molíbdica parcelada e nitrogenada. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 2, p. 214-221, 2012.

ANDRADE, M. J. B., DINIZ, A. R., CARVALHA, J. G., et al. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 22, p. 499-508, 1998.

ARAÚJO, F. F.; CARMONA, F. G.; TIRITAN, C. S.; et al. Fixação biológica de N₂ no feijoeiro submetido a dosagens de inoculante e tratamento químico na semente comparado à adubação nitrogenada. **Acta scientiarum**, Maringá, v.29, n.4, p.535-540, 2007.

ARF, M. V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; et al. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.430-438, 2011.

ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., BORTOLINI, C. G., et al. Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003.

ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., MIELNICZUK, J., et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 519-27, 2001a.

ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., BORTOLINI, C. G., et al. Relação entre teor de clorofila extraível e leitura do clorofilômetro na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001b.

BARBIERI JUNIOR, E.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. M.; et al. Um novo clorofilômetro para estimar teores de clorofila em folhas de capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.12, p. 2242-2245, 2012.

BARBOSA FILHO, M. P., COBUCC, T.; FAGERIAI, N. K.; et al. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 425-431, 2009.

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

BENINCASA, M. M. P., **Análise de crescimento de plantas: noções básicas**. Jaboticabal, UNESP-FCAV, p.41, 1988.

BONETT, L. P.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SCHUELTER, A. R.; et al., Divergência genética em germoplasma de feijoeiro comum coletado no estado do Paraná, Brasil. **Semina**, Londrina, v. 27, n. 4, p. 547-560, 2006.

BOOIJ, R.; VALENZUELA, J. L.; AGUILERA, C. Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods. In: HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. L. (Eds.). **Management of nitrogen and water in potato production**. Wageningen: Wageningen Pers, 2001. p. 72-82.

BRITO, M. M. P.; MURAOKA, T.; SILVA, E. C. Contribuição da fixação biológica de nitrogênio, fertilizante nitrogenado e nitrogênio do solo no desenvolvimento de feijão e caupi. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 1, p.206-215, 2011.

CABRAL, P. D. S.; SOARES, T. C. B.; LIMA, A. B. P.; et al. A. Análise de trilha do rendimento de grãos de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) e seus componentes. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.42, n.1, p.132-138, 2011.

CAMPOS, D. S. **Resposta espectral do feijoeiro a diferentes doses de nitrogênio**. Viçosa: UFV, 2009. 185 p. Dissertação (Doctor Scientiae), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

CARVALHO, M. TA. C.; FURLANI-JUNIOR, E.; ARF, O.; et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.445-450, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO. **Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10.ed. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo - Núcleo Regional Sul, 2004. 400p.

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento, 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcm_sconteudos. Acessado em: 28/01/14.

CRUSCIOL, C. A. C.; SORATTO, R. P.; SILVA, L. M.; et al. Fontes e doses de nitrogênio para o feijoeiro em sucessão a gramíneas no sistema plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, n. p.1545-1552, 2007.

DUQUE, F. F.; NEVES, M. C. P.; FRANCO, A. A.; et al. The response of field grown *Phaseolus vulgaris* L. to *Rhizobium* inoculation and qualification of N₂ fixation using ¹⁵N. **Plant and Soil**, v.88, p.333-343, 1985.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa em Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda, **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**, Porto Alegre, Falker Automação Agrícola, 2008, 33p.

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

FURTINI, I. V.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B.; et al. Resposta diferencial de linhagens de feijoeiro ao nitrogênio. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.36, n.6, p.1696-1700, 2006.

HAIM, P. G.; ZOFFOLI, B. C.; ZONTA, E.; et al. Diagnose nutricional em folhas de feijoeiro pela análise digital de imagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.10, p. 1546-1549, 2012.

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; CHUEIRE, L. M. O., Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 1515-1528, 2000.

- HUNGRIA, M.; NEVES, M. C. P.; VICTORIA, R. L. Assimilação do nitrogênio pelo feijoeiro II: absorção e translocação do N mineral e do N₂ fixado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 9, p. 201-209, 1985.
- HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAUJO, R. S., **Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M.; *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, p.189-293, 1997.
- HUSSAIN, F. et al. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 875-879, 2000.
- JEMISON, J. M.; LYTLE, D. E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. **Journal Production Agriculture**, Madison, v. 9, p. 108-13, 1996.
- LOBO, V. S.; FILIPPI, M. C. C.; SILVA, G. B.; et al. Relação entre o teor de clorofila nas folhas e a severidade de brusone nas panículas em arroz de terras altas. **Tropical Plant Pathology**, Viçosa, v.37, n. 1, p. 83-87, 2012.
- MAIA, S. C. M., **Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.
- MAIA, S. C. M.; SORATTO, R. P.; NASTARO, B.; et al. The nitrogen sufficiency index underlying estimates of nitrogen fertilization requirements of common bean. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.36, p.183-191, 2012.
- MALUF, J. R. T. Nova classificação climática do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, p.141-150, 2000.
- MERCANTE, F.M.; TEIXEIRA, M.G.; ABBOUD, A.C.S.; et al. Avanços biotecnológicos na cultura do feijoeiro sob condições simbióticas. **Revista Ciências da Vida**, Seropédica, v. 21, p. 127-146, 1999.
- MINOLTA CAMERA. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Division, 1989. 22 p.
- PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; et al. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 219-226, 2009.
- PIEKIELEK, W. P. et al. **The early-season chlorophyll meter test for corn**. Pennsylvania: Pennsylvania State University, Penn State Cooperative Extension, 1997. 8 p. (Agronomy facts, n. 53).
- SALGADO, F. H. M.; SILVA, J.; OLIVEIRA, T. C.; et al. Eficiência de genótipos de feijoeiro em resposta à adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.42, n.4, p.368-374, 2012.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.458-462, 2011.

SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; LAMEGO, F. P.; et al. Épocas e parcelamentos da adubação nitrogenada aplicada em cobertura na cultura do feijoeiro, grupo comercial preto e carioca, em semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.5, 2013.

SANTI, A. L.; DUTRA, L. M. C.; MARTIN, T. N.; et al. Adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro em plantio convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, p. 1079-1085, 2006.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K. Manejo do nitrogênio para eficiência de uso por cultivares de feijoeiro em várzea tropical. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.42, n. 9, p.1237-1248, 2007.

SILVA, R. T.; SOUZA-NETA, M. L.; MEDEIROS, R. C. A.; MARTINS, D. C.; SOUZA, W. L. Índice de clorofila na cultura do feijão-caupi cultivado em solo com resíduos de fertilizantes. **Anais. CONAC**, 2012. Disponível em: <http://www.conac2012.org/resumos/pdf/058b.pdf>. Acessado em: 28/01/14.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.895-901, 2004.

SOUZA, E. F. C.; SORATTO, R. P.; PAGANI, F. A. Aplicação de nitrogênio e inoculação com rizóbio em feijoeiro cultivado após milho consorciado com braquiária. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.46, n.4, p.370-377, 2011.

STRALIOTTO, R.; TEIXEIRA, M.G. & MERCANTE, F.M. **Fixação biológica de nitrogênio**. In: AIDAR, H.; KLUTHCOUSKI, J. & STONE, L.F. Produção de feijoeiro comum em várzeas tropicais. Santo Antônio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão, 2002. p.122-153

VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1233-1239, 1997.

3 ARTIGO II: DINÂMICA DO NITROGÊNIO NO SOLO E NO TECIDO FOLIAR DO FEIJOEIRO COMUM EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA

3.1 Resumo

Na busca por maior eficiência das adubações nitrogenadas, tem-se recomendado o uso de algumas ferramentas da agricultura de precisão para o monitoramento dos níveis nutricionais das plantas, possibilitando um melhor diagnóstico das reais necessidades de aplicação de N nas culturas. Neste sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica do nitrogênio (N) mineral do solo, do N nas folhas, do índice de clorofila, do NDVI e da produtividade do feijoeiro comum em função de diferentes doses de N e de épocas de aplicação, determinados a partir do índice de clorofila das folhas, assim como avaliar as correlações entre estes atributos. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, num arranjo fatorial de 8 x 5 x 4 (doses de N x épocas de aplicação do N em cobertura x época de avaliação), com três repetições. As doses de N avaliadas foram de 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 e 280 kg ha⁻¹, aplicados em cobertura, no momento referente aos tratamentos de épocas. As épocas de aplicação do N em cobertura foram as seguintes: E1: aplicação das doses de cobertura na semeadura, E2: aplicação das doses de N em cobertura aos 10 dias após a emergência (DAE), E3: aplicação das doses de N em cobertura quando o ISC ≤ 95%, E4: aplicação das doses de N em cobertura 20 DAE e E5: aplicação das doses de N em cobertura quando ISC ≤ 90%. As épocas de avaliação das variáveis foram aos 15, 25, 35 e 45 DAE. A partir dos resultados concluiu-se o ICF e o NDVI apresentam comportamento quadrático frente às doses de N aplicadas, sendo a dose de 240 kg ha⁻¹ de N a que proporciona as maiores médias. O NDVI e o ICF apresentaram comportamentos distintos frente as épocas de avaliação. Os valores de N mineral do solo aumentam linearmente com as dose e são positivamente relacionados com o N foliar do feijoeiro e com o NDVI.

Palavras-chave: NDVI, ICF, Greenseeker, ClorofiLOG, doses de N, épocas de aplicação de N .

3.2 Abstract

In the search for greater efficiency of nitrogen (N) fertilization, has been recommended the use agriculture precision tools for monitoring the nutritional status of plants, allowing better diagnosis of the real needs of N application on crops. In this sense, the study aimed to evaluate the dynamics of soil mineral N, leaf tissue N, chlorophyll index, NDVI and yield of common bean crop due to different N rates and topdressing

application timing, based in the chlorophyll index from the leaves. In addition, the study aimed to evaluate the correlations among these attributes. The experimental design was a randomized blocks in a factorial arrangement of 8 x 5 x 4 (N rates x topdressing application timing x evaluation periods), with three repetitions. N rates evaluated were: 0, 40, 80, 120, 160, 200, 240 and 280 kg ha⁻¹, topdressing application. The evaluation periods were: 15, 25, 35 and 45 days after emergence (DAE). The application timing were as follows: E1: application of N rates on seeding; E2: application of N rates at 10 DAE; E3: application of N rates when the SCI ≤ 95%; E4: application of N rates at 20 DAE and E5: application of N rates when SCI ≤ 90%. The evaluation of the variables occurred at 15, 25, 35 and 45 DAE. From the results it was concluded that ICF and NDVI values showed quadratic response to N rates, wherein 240 kg ha⁻¹ of N that gives the highest mean values. NDVI and ICF values showed different response depending on the evaluation period. Soil mineral N values increased linearly by rate and has positive relationship with leaf tissue N and NDVI

Keywords: NDVI, CFI, Greenseeker, ClorofiLOG, N rates, topdressing application timing

3.3 Introdução

O nitrogênio (N) é o principal nutriente para a cultura do feijoeiro, sendo o elemento absorvido em maiores quantidades (OLIVEIRA et al., 1996; ARF et al. 2011). A deficiência de N pela cultura é caracterizada pelo amarelecimento das folhas, iniciando pelas mais velhas, reduzindo as atividades fotossintéticas, por conseguinte, afetando a produtividade (OLIVEIRA et al., 1996; CARVALHO et al., 2003). De maneira geral, as eficiências das adubações nitrogenadas no Brasil são consideradas ainda muito reduzidas (LOPES et al., 2004; BARBOSA FILHO et al., 2008). Segundo Barbosa Filho et al., (2008) devido a complexidade e às interações do N no solos ainda não se desenvolveu um método laboratorial que permita avaliar de forma satisfatória a capacidade dos solos em fornecer N para as plantas cultivadas.

As recomendações, em sua maioria, são realizadas baseadas em curvas de respostas das plantas, do teor de matéria orgânica do solo e dos resíduos vegetais presentes na superfície do solo (ARGENTA et al., 2003). Dessa forma as adubações são pré-definidas, não sendo consideradas as reais necessidades das plantas, assim como o momento de maior demanda pelo nutriente. Em virtude disso, as doses de N aplicadas estão sempre acompanhadas de uma percentagem de erro, superestimado ou subestimando a capacidade dos solos em fornecer o N para as plantas. Isso por um lado pode reduzir a produtividade do feijoeiro pela subestimação das doses, ou caso contrário

pela superestimação acarretar em um maior custo de produção e severos danos ao meio ambiente (SILVEIRA et al., 2003; ARGENTA et al., 2003).

Com o objetivo de potencializar o uso do N nas lavouras tem se estudado vários métodos para a obtenção de um maior sincronismo entre a capacidade do solo em fornecer N, as épocas de maior demanda do nutriente pelas plantas e as épocas de aplicação do fertilizante (CREWS & PEOPLES, 2005; BARBOSA FILHO et al., 2008).

Neste contexto, os princípios e ferramentas da agricultura de precisão têm sido estudados e destacados como potenciais no manejo das adubações nitrogenadas. Várias tecnologias estão sendo desenvolvida para o manejo do N em taxa variada e ou aplicações em sítios específicos para várias culturas (JURADO-EXPOSITO et al., 2004; LÓPEZ-GRANADOS, 2011). Dentre essas potenciais tecnologias uma das mais estudadas e recomendadas atualmente, é a utilização de clorofilômetros para o monitoramento dos índices de clorofila das folhas e determinação das doses de N a serem aplicadas sobre as culturas (HUSSAIN et al., 2000; ARGENTA et al., 2003; CARVALHO et al., 2003, BARBOSA FILHO et al., 2008; MAIA et al., 2012).

Para o feijoeiro, estudos tem demonstrado que o índice de clorofila inferido por clorofilômetros apresenta correlações satisfatórias com o N nas folhas e com a produtividade dos grãos (SORATTO et al., 2004; CARVALHO et al., 2003; BARBOSA FILHO et al., 2008; MAIA et al., 2012). Dessa maneira têm favorecido o manejo do N, mantendo ou elevando os níveis de produtividade e reduzindo as quantidades de fertilizantes dispostos sobre a cultura (BARBOSA FILHO et al., 2008; MAIA et al. 2012).

Outra tecnologia disponibilizada no Brasil mais recentemente (GROHS et al., 2011) utilizada para prever as necessidades de N pelas plantas é o uso de aparelhos de monitoramento remoto como o Greenseeker[®], que é um determinador radiométrico multiespectral que fornece como resposta de suas leituras o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (WRIGHT et al., 2004; POVH et al., 2008; MEROTTO et al., 2012). O NDVI estima o estado nutricional das plantas através da refletância do dossel vegetativo (SEMBIRING et al., 2000; LIU 2006) podendo-se, conseqüentemente, a partir de seus resultados calcular as necessidades de N e estimar a dose do mesmo a serem aplicadas para cada cultura.

Dentre as vantagens deste aparelho em relação ao uso de clorofilômetros, está a maior praticidade na aquisição dos dados, assim como melhores estimativas das condições nutricionais da lavoura, pois o aparelho utiliza uma área mais representativa

para aquisição de seus dados (WRIGHT et al., 2004), enquanto os clorofilômetros utilizam pequena quantidade de amostras da planta, para determinar da condição nutricional da cultura (POVH et al., 2008).

Atualmente, a utilização deste sensor vem sendo amplamente estudado para aplicações de N em taxas variadas (RAUN et al., 2005; GROHS et al., 2011; RAMBO et al., 2010). Os resultados tem sido promissores na recomendação de doses de N a serem aplicadas e na predição dos rendimentos produtivos para as culturas do trigo, triticale, cevada (GROHS et al., 2009a; POVH et al., 2008) e milho (BRAGAGNOLO et al., 2013). Para a cultura do feijoeiro, no Brasil, não foi encontrado na revisão bibliográfica nenhuma pesquisas realizadas utilizando o equipamento Greenseeker® no manejo da cultura.

Outro aspecto importante para a recomendação da adubação nitrogenada nas plantas é a determinação dos valores de N mineral do solo, pois, a determinação do teor crítico de N mineral no solo é um método amplamente utilizado para predição de possíveis perdas de rendimento, quando esses se encontram em níveis reduzidos, principalmente nas épocas de maior demanda por esse nutriente nas plantas (RAMBO et al., 2004; BUNDY & ANDRASKI, 1995). Neste sentido vários estudos estão sendo realizados buscando determinar os valores de N mineral do solo para predizer os potenciais de rendimento e as necessidades de aplicações de N para as culturas do trigo (RAHN & JOHNSON, 2001; MENEGHINN et al., 2008), cevada (GROHS et al., 2009b) e milho (RAMBO et al., 2007).

Outra linha de pesquisa do N mineral do solo é com relação ao impacto do N na natureza, pois o aumento da concentração de nitrato (NO_3^-) no solo, (VANOTTI & BUNDY, 1994), promove a elevação dos níveis destes nas águas devido aos efeitos da lixiviação no solo (ANDRASKI et al., 2000). No Brasil devido ao elevado aumento da utilização de fertilizantes nitrogenados, este fenômeno tem despertado a atenção dos pesquisadores, principalmente quando são utilizadas elevadas doses de N em espécies leguminosas como o feijão (CERETTA et al., 2003; PORT et al., 2003).

Diante do exposto acima, o objetivo deste estudo foi avaliar a dinâmica do nitrogênio (N) mineral do solo, do N nas folhas, do índice de clorofila, do NDVI e da produtividade do feijoeiro comum em função de diferentes doses de N e de épocas de aplicação, determinados a partir do índice de clorofila das folhas, assim como avaliar as correlações entre estes atributos.

3.4 Material e Métodos

As características referentes ao solo, clima e as informações referente a implantação e tratos culturais da cultura do feijão são descritos no Artigo I, no item 2.4 Material e Métodos. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso em arranjo fatorial, 8 x 5 x 4 (doses de N x épocas de aplicação do N em cobertura 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⁻¹ de N aplicados no momento referente aos tratamentos de épocas. Das cinco épocas de aplicação, três foram pré-definidas e aplicadas em cobertura nos seguintes momentos: E1: aplicação das doses de N na semeadura; E2: 10 dias após a emergência (DAE) e E4: 20 DAE, as outras duas épocas de aplicação foram estabelecidas com base no ISC, sendo os valores críticos os utilizados por MAIA *et al.* (2012), as doses de N foram aplicadas quando foram obtidos $ISC \leq 95\%$ (E3) e $ISC \leq 90\%$ (E5), os quais ocorreram aos 15 e aos 30 DAE, respectivamente.

As avaliações do teor de N mineral no solo, teor de N no tecido foliar, ICF e NDVI foram realizadas aos 15, 25, 35 e 45 DAE. Para a determinação do teor de N mineral do solo foram coletadas três sub amostras de solo por parcela, na entre linha das plantas, as quais foram misturadas e homogeneizadas para formar uma amostra, da camada de 0 a 0,10 m de profundidade, colocadas em caixa térmica com gelo e em seguida congeladas para posterior determinação do teor de N mineral em laboratório. Para a determinação do teor de N no tecido foliar, foi coletado um folíolo de três plantas por parcela, do último trifólio totalmente expandido, totalizando três folíolos, os quais foram levados para o laboratório, secos a temperatura de 65 °C em estufa, até peso constante. A determinação do teor de N mineral no solo e N no tecido foliar foram realizadas com base na metodologia descrita por Tedesco, et al. (1995). Os dados de produtividade do trigo utilizados neste estudo são apresentados no artigo I

A determinação do ICF, foi realizada por meio da utilização de um clorofilômetro portátil marca ClorofiLOG[®] modelo CFL 1030. Este equipamento trabalha com leituras de três comprimentos de onda, dois dentro da banda do vermelho, próximos aos picos de cada tipo de clorofila ($\lambda=635$ e 660 nm) e outro no infravermelho próximo ($\lambda=880$ nm). Um sensor inferior recebe a radiação transmitida através da estrutura foliar. A partir desse dado, o aparelho fornece resultados em unidades adimensionais chamados valores ICF (FALKER, 2008). Para as avaliações foram

utilizadas três plantas por parcela. Para cada planta, foram realizadas cinco leituras na folha do último trifólio totalmente expandido, tomando cuidados na utilização de folhas que não apresentassem danos em seu limbo, somando assim, 15 leituras repetição⁻¹.

As determinações do NDVI, foram realizadas com o equipamento Greenseeker[®], foram realizadas cinco leituras por parcela a uma distância de um metro entre o sensor e a parte aérea do dossel vegetativo, o valor do NDVI de cada parcela foi calculado com base na média das leituras realizadas na parcela. Os equipamentos que estimam o NDVI possuem dois emissores de ondas, um na região do vermelho (p_{red}) ($\lambda=600$ nm) e outro infravermelho próximo (p_{nir}) ($\lambda=800$ nm), os comprimentos de onda na região do vermelho são absorvidos pelos pigmentos fotossintetizantes presentes nas folhas e as ondas no espectro do vermelho são refletidas pelo dossel vegetativo, portanto o NDVI é calculado em função da diferença entre a reflectância dos dois comprimentos de onda, dividido pela soma das reflectância, sendo então $NDVI = (p_{nir} - p_{red}) / (p_{nir} + p_{red})$ (TOWNSHEND et al., 1994).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de correlação linear de Pearson ($p < 0,05$) e de variância pelo teste F ($p < 0,05$) de probabilidade de erro e quando significativos, os dados quantitativos foram submetidos à análise de regressão polinomial, e os qualitativos à comparação múltipla de médias por Tukey ($p < 0,05$). Todas análises foram realizadas por meio do *software* SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.5 Resultados e Discussão

A partir dos resultados da análise de variância detectou-se que ocorreu interação tripla significativa entre os fatores de variação apenas para o N mineral do solo (Tabela 1). Interações duplas significativas foram observadas entre os fatores de variação época de avaliação e dose de N, para a variável N foliar, para os fatores de variação, época de avaliação e época de aplicação do N, para a variável ICF e N foliar. A variável NDVI apresentou significância apenas frente aos fatores isolados, época de avaliação, dose e época de aplicação.

Tabela 1 - Resumo da análise de variação das variáveis; índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), índice de clorofila Falker (ICF), teor de nitrogênio (N) no tecido foliar (N foliar) e teor de nitrogênio no disponível no solo (N mineral) frente aos fatores de variação doses de N, época da aplicação do N e época das avaliações, obtidos na cultura do feijão. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Fonte de Variação	GL	Valores de F			
		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
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 no solo nas doses de 0 e 40 kg ha⁻¹ de N (Tabela 2), não apresentaram diferenças entre os manejos em nenhuma das datas de avaliação. A média dos valores obtidos na dose 0 kg ha⁻¹ em todas as épocas avaliadas foi de 8,25 mg kg⁻¹ de N no solo. Esse resultado demonstra que o solo em estudo apresentava teores de N mineral adequado ao desenvolvimento das culturas.

Em estudo conduzido por Grohs et al., (2009b) que avaliaram o N mineral do solo em 61 áreas produtoras de cevada, concluíram que o solo com níveis de N mineral entre 8 e 13 mg kg⁻¹ são suficientes para a obtenção de um potencial de rendimento de 40 a 60% do máximo de potencial produtivo das cultivares, sendo esses valores determinados para a cevada que é uma gramínea, logo se espera que estes níveis críticos sejam mais reduzidos para plantas leguminosas como o feijão, que pode obter N atmosférico via fixação biológica. Outro resultado interessante obtido pelos mesmos autores foi que a produção da cevada apresentou correlação com o N mineral do solo apenas até a dose de 10 mg kg⁻¹ de N no solo, sendo que a partir desse valor acredita-se

Tabela 2 - Comparação múltipla de média para o teor de N mineral no solo (mg kg^{-1}) nas diferentes épocas da aplicação de N em cobertura e épocas de avaliação, na cultura do feijoeiro em cada uma das doses. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Época de avaliação	Épocas de Aplicação				
	E1	E2	E3	E4	E5
Dose de N (0 kg ha^{-1})					
15 DAE	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^{-1})					
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^{-1})					
15 DAE	25,68 A ab	45,37 A a	11,85 A ab	12,05 A ab	9,17 A b
25 DAE	8,01 A a	13,10 AB a	34,15 A a	34,72 A a	7,98 A a
35 DAE	3,54 A b	6,31 B ab	27,00 A a	17,13 A ab	12,08 A ab
45 DAE	13,55 A a	19,66 AB a	34,28 A a	29,85 A a	20,06 A a
Dose de N (120 kg ha^{-1})					
15 DAE	23,63 A a	49,41 A a	14,60 A a	12,43 B a	12,23 B a
25 DAE	10,49 A bc	10,59 B bc	43,45 A b	101,37 A a	10,14 B c
35 DAE	8,30 A a	6,99 B a	32,04 A a	20,37 B a	11,26 B a
45 DAE	21,07 A b	14,14 AB b	37,28 A ab	36,62 B ab	84,17 A b
Dose de N (160 kg ha^{-1})					
15 DAE	28,26 A ab	71,48 A a	15,32 B b	20,37 A b	14,97 AB b
25 DAE	10,09 A bc	18,20 B abc	44,08 AB ab	51,27 A a	9,59 B c
35 DAE	6,58 A c	10,67 B bc	56,94 A a	41,03 A ab	25,73 AB abc
45 DAE	7,63 A b	17,33 B ab	34,86 AB ab	50,04 A a	41,95 A a
Dose de N (200 kg ha^{-1})					
15 DAE	50,04 A ab	60,05 A a	21,66 B abc	14,20 C c	19,76 AB bc
25 DAE	10,93 B c	37,72 AB bc	61,47 AB b	143,25 A a	9,86 B c
35 DAE	7,84 B b	10,31 B b	30,99 B ab	59,44 B a	18,19 AB b
45 DAE	11,52 B c	15,65 B bc	79,32 A a	52,45 B ab	43,82 A ab
Dose de N (240 kg ha^{-1})					
15 DAE	35,65 A b	101,86 A a	21,52 C b	14,56 B b	13,94 B b
25 DAE	11,90 AB b	21,53 B b	70,66 B a	117,99 A a	10,58 B b
35 DAE	5,83 B c	38,10 B bc	125,24 A a	63,33 A b	51,46 A b
45 DAE	15,11 AB b	54,88 AB ab	93,85 AB a	63,74 A a	62,49 A a
Dose de N (280 kg ha^{-1})					
15 DAE	46,19 A ab	98,13 A a	22,69 B b	17,92 B b	13,85 B b
25 DAE	18,48 AB b	29,24 B b	121,63 A a	117,35 A a	12,46 B b
35 DAE	11,88 C c	29,18 B bc	67,44 A ab	86,09 A a	38,95 AB abc
45 DAE	14,04 AB b	59,95 AB a	91,34 A a	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 em nível de 5 % de probabilidade de erro. Dias Após a Emergência (DAE),

que outros fatores que não o N disponível no solo causaram maior impacto sob a produção.

Para todas as demais doses de N aplicadas, ocorreram diferenças significativas das épocas de aplicação em pelo menos alguma das datas de avaliação. De uma maneira geral, pode-se observar que os valores que se sobressaíram perante os demais tratamentos em quase todos os casos, foram nas épocas de aplicação em que as doses de N foram aplicadas no período mais próximo que antecedeu a avaliação, sendo que conforme se distancia a data de aplicação do N da avaliação do N mineral do solo, os valores apresentam tendência de reduções.

No entanto, pode-se observar que a E3 (aplicação de N aos 15 DAE) apresentou resultados elevados dos teores de N no solo, mesmos aos 45 DAE, última avaliação. Em contraste a E1 (aplicação na semeadura) foi a que apresentou os resultados mais baixos de N mineral, podendo este resultado ser justificado por possíveis perdas de N do sistema solo, por escoamento superficial da água, erosão, lixiviação e volatilização (HEATHWAITE, et al., 2000), sendo que a ocorrência destes processos estão intimamente interligadas as condições meteorológicas do momento das aplicações de N e após este procedimento, até que o mesmo não tenha sido utilizado pela cultura.

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), Pode-se observar que não ocorreram diferenças significativas no decorrer do tempo para as doses de 0 e 40 kg ha⁻¹. No entanto, com a aplicação das doses de N superiores a 80 kg ha⁻¹ observa-se comportamento distinto do N mineral do solo na maioria das épocas de avaliação, sendo que de maneira geral, ocorre uma elevação nos teores de N disponível nas avaliações posteriores a aplicação, com uma tendência de rápida redução. Esse resultado corrobora com a afirmação de Grohs et al. (2009b) em que cita que o N mineral do solo é bastante instável ao longo do tempo, sendo extremamente dependente dos fatores ambientais e das características intrínsecas do solo.

Os resultados do N mineral do solo em função das doses de N aplicada em cobertura, dentro de cada época de aplicação de N e das épocas de avaliação são apresentados na figura 1. Pode-se observar na avaliação aos 15 DAE (Figura 1a) que apenas os tratamentos das E1 e E2 apresentaram significância, não obstante, apenas esses tratamentos haviam recebido as doses de N, sendo que ambos os tratamentos apresentaram aumento linear de seus valores com o incremento das doses de N. A média das E3, E4 e E5, aos 15 DAE, ou seja, sem a aplicação de N, foram de 16,38,

13,72 e 12,99 mg kg⁻¹ de N mineral no solo, respectivamente. Esses valores médios são bastante superiores aos encontrados por Rambo et al. (2007) em que aplicando doses de N variando de 0 a 300 kg ha⁻¹ para a cultura do milho em um Argissolo Vermelho com 29% de argila, obteve um valor médio, durante o desenvolvimento da cultura de aproximadamente 3 mg kg⁻¹ de N mineral no solo. Este resultado demonstra a importância de se avaliar o tipo de solo e as características nutricionais deste para a determinação das adubações nitrogenadas. Meneghin et al. (2008) estudando doses de N para a produção trigo encontrou como sendo o valor ideal à cultura de 6,66 a 8,70 mg kg⁻¹ de N no solo.

Na época de avaliação aos 25 DAE, pode-se observar que a E1 de aplicação de N já não apresentou significância frente as doses de N, podendo-se inferir que toda a adubação aplicada já havia sido perdido (Figura 1b), esse resultado esta atrelado principalmente as excessivas perdas de N por lixiviação, pois durante o intervalo entre a semeadura e a segunda avaliação aos 25 DAE ocorreram altas precipitações pluviométrica sobre a área, sendo o acumulado durante este período de 333,6 mm. Perdas de N por lixiviação, erosão e escoamento superficial em decorrência de altas precipitações pluviométricas também foram observadas por Bragagnolo et al. (2013). Para as demais épocas de aplicação, com exceção da E5, que ainda não havia recebido as doses de N, todos apresentaram equações significativas e lineares.

Nas avaliações aos 35 (Figura 1c) e 45 DAE (Figura 1d), respectivamente, os teores de N no solo de todas as épocas de aplicação apresentaram crescimento linear com o aumento das doses de N, com exceção da E1, em que as doses foram aplicadas na semeadura. Diante do exposto, pode-se afirmar, de maneira geral, que o N mineral do solo responde linearmente as aplicações de N em cobertura, corroborando com os resultados relatados por Rambo et al., (2007) e Meneghin et al. (2008), sendo que as suas perdas no sistema solo estão intimamente ligadas às condições climáticas.

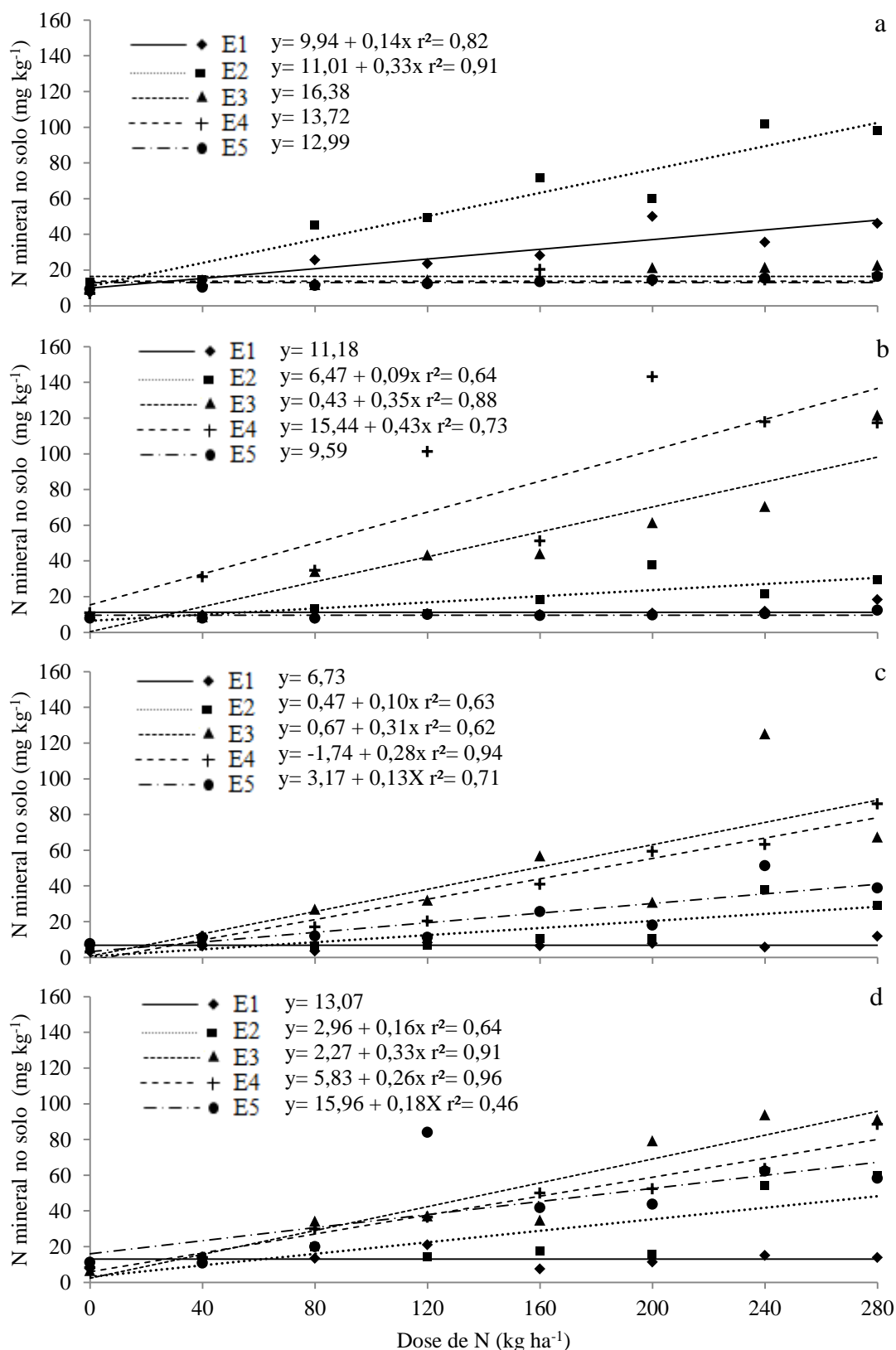


Figura 1 - Teores de N mineral no solo em função das doses de aplicadas em cobertura no feijoeiro dentro de cada época de aplicação e épocas de avaliação: a) 15 DAE, b) 25 DAE, c) 35 DAE e d) 45 DAE. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Independente das épocas de aplicação de N, a variação do ICF seguiu um padrão específico (Tabela 3), observa-se tendência de redução dos valores até a segunda época de avaliação (25 DAE), nas demais avaliações os valores voltam a se elevar, ficando os mesmos semelhantes aos 45 DAE. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Barbosa-Filho et al. (2008), os quais descrevem que aos 49 DAE o feijão se encontra em estágio de florescimento, em virtude disso, reduz as respostas da cultura às adubações nitrogenadas, em razão da menor demanda pelo nutriente, ocorrendo a estabilização dos teores de clorofila nas folhas, tornando-se portanto ineficaz o uso do clorofilômetro após essa fase.

Os teores médios mais elevados de ICF aos 15 DAE são observados nos E1 e E2 (Tabela 3), este resultado é devido à apenas estes tratamentos terem recebido as doses de N, até esta fase, já aos 25 DAE as maiores médias são observadas para a E2 e E3 (aplicação aos 10 e 15 DAE), no entanto seus valores não diferiram da E1. Aos 35 DAE as parcelas das E1 e E4 apresentaram as maiores médias, sendo o resultado menor o da E5, que havia recebido as doses apenas cinco dias antes das avaliações, aos 45 DAE os tratamentos novamente não diferiram estatisticamente.

Analisando os valores obtidos na E4 e E5 nota-se que eles tiveram menores médias de ICF perante os demais tratamentos aos 25 DAE, mas aumentaram de maneira expressiva, se equiparando as demais épocas de aplicação aos 45 DAE. No entanto, pode-se observar que os valores médios de ICF aos 25 DAE sempre foram superiores a 38, sendo que Silva et al. (2012) trabalhando com diferentes doses de N observou maior produtividade do feijoeiro quando este apresentou valores de ICF de 36,8. Este resultado demonstra que mesmo as plantas com menores valores de ICF apresentava níveis de clorofila adequados.

Observando os valores médios de N foliar (Tabela 3), observa-se que aos 15 e 45 DAE os teores não diferem entre as épocas de aplicação. Aos 25 DAE a maior média é observada para a E3 ($54,36 \text{ g kg}^{-1}$) e a média mais baixa foi para o E5 ($47,02 \text{ g kg}^{-1}$). Aos 35 DAE as E2 e E3 foram sobressaíram, com valores médios de 49,71 e 49,73 g kg^{-1} respectivamente, aos 45 DAE observa-se que a E5 já não difere da E1 e E4 mostrando um aumento de seus valores em virtude da recepção das doses de N aos 30 DAE, verificando-se rápida recuperação dos teores foliares de N, mesmo com aplicações tardias, Bragagnolo et al. (2013) obteve resultados similares para a cultura do milho e concluiu que a cultura recupera os seus níveis de N no tecido foliar ao longo do

ciclo, mas o atraso das aplicações nitrogenadas repercutiram negativamente na produtividade da cultura.

Tabela 3 – Comparação do Índice de Clorofila Falker (ICF) e teor de nitrogênio (N) foliar obtidos nas diferentes épocas de avaliação e em função das épocas de aplicação das doses de N. Frederico Westphalen, RS 2012/13.

	Época avaliação			
	15 DAE	25 DAE	35 DAE	45 DAE
Época de Aplicação	ICF			
E 1	41,89 B a	39,01 C ab	43,27 B a	45,96 A a
E 2	42,33 B a	40,72 B a	41,11 B bc	45,68 A a
E 3	39,93 C b	40,72 C a	42,91 B ab	45,72 A a
E 4	40,42 B ab	38,69 C b	43,20 B a	45,96 A a
E 5	40,91 B ab	38,39 C b	40,29 B c	46,06 A a
Época de Aplicação	Nfoliar (g kg ⁻¹)			
E 1	4,98 A a	4,87 AB cd	4,82 AB ab	4,69 B a
E 2	5,14 A a	5,08 A bc	4,97 AB a	4,79 B a
E 3	4,86 B a	5,44 A a	4,97 B a	4,84 B a
E 4	4,87 B a	5,29 A ab	4,77 B ab	4,80 B a
E 5	4,86 A a	4,70 AB d	4,54 B b	4,90 A a
Dose	Nfoliar (g kg ⁻¹)			
0	4,82 A	4,36 B	4,51 AB	4,60 AB
40	4,98 A	4,73 AB	4,47 B	4,69 AB
80	4,87 A	5,04 A	4,75 A	4,79 A
120	5,00 A	5,09 A	4,85 A	4,77 A
160	4,90 AB	5,22 A	4,99 AB	4,76 B
200	4,94 B	5,31 A	4,98 AB	4,98 AB
240	5,04 B	5,51 A	4,96 B	4,89 B
280	5,00 B	5,36 A	5,00 B	4,94 B

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. Dias Após a Emergência (DAE).

O teor de N foliar nas épocas de avaliação para cada época de aplicação das doses de N (Tabela 3) demonstrou que a E1 e E2 tiveram tendência de redução de seus valores no decorrer dos DAE, esse resultado é o esperado, pois esses foram os primeiros tratamentos a receberem as aplicações de N. A E3 e E4 apresentaram comportamentos semelhantes sendo que ambas reduziram seus valores até a ocorrência das aplicações das doses de N, respectivamente aos 15 e 20 DAE. A partir destas datas as parcelas elevaram seus níveis de N nas folhas. Para a E5 observa-se que a partir dos 15 DAE os

níveis de N na planta começaram a reduzir até o momento da aplicação das doses de N (30 DAE), quando seus valores obtiveram aumentos significativos.

Observaram-se três comportamentos distintos da variável teor de N nas folhas nas diferentes épocas de avaliação em função das doses de N aplicadas (Tabela 3), quando não se aplicou ou foi aplicado apenas 40 kg ha⁻¹ de N os teores de N na folha diminuíram durante as avaliações e voltaram a obter boas médias com a aproximação do estágio reprodutivo. Já para as doses de 80 e 200 kg ha⁻¹ não ocorreram diferenças significativas dos teores médios durante todo o período de avaliação. Para as demais doses testadas acima de 120 kg ha⁻¹ de N, todas apresentaram elevação dos seus teores de N durante as avaliações atingindo um pico máximo e com o passar do tempo reduziram os teores de N nas folhas. Isso pode estar associado ao processo de fixação biológica de N (FBN), na literatura podemos verificar que elevados teores de N no solo inibem a FBN, no caso das doses acima de 80 kg ha⁻¹, os teores de N foliar se mantiveram elevados enquanto o teor de N disponível no solo permanecia elevada, reduzindo em função da redução dos mesmos, já nas doses de 0 e 40 kg ha⁻¹ de N, na fase inicial (até 15 DAE) as plantas utilizaram o N disponibilizado na semeadura, reduzindo os teores foliares no decorrer dos DAE, mas possivelmente a efetivação da FBN, elevou os teores de N foliar posteriormente. (HUNGRIA et al., 2000).

O desdobramento para o teor de N das folhas e das épocas de avaliação dentro de cada dose de N é apresentada na figura 2. Pode-se observar que aos 15 DAE as doses de N não se diferenciaram quanto ao teor de N nas folhas. Na avaliação aos 25 DAE foram observadas as maiores diferenças entre as doses sendo que o teor de N foliar respondeu de forma quadrática, sendo a maior média observada com a aplicação de 240 kg ha⁻¹ de N. Para os 35 e 45 DAE ocorreu significância estatística à aplicação das doses, no entanto visualmente observa-se uma baixa amplitude da variabilidade dos valores, demonstrando que a planta já está com os teores de N pré-estabilizados, sendo os modelos obtidos equações de segundo grau e linear para os 35 e 45 DAE, respectivamente. Maia et al. (2012) trabalhando com doses de N observou que a aplicação de 50 kg ha⁻¹ já não diferiu das demais doses, visualizando os valores de teor médio de N nas folhas deste tratamento foi de 38,7 g kg⁻¹. Segundo a CQFS-RS/SC (2004), a faixa de suficiência de N no tecido foliar da cultura do feijoeiro, situa-se entre 30 e 50 g kg⁻¹.

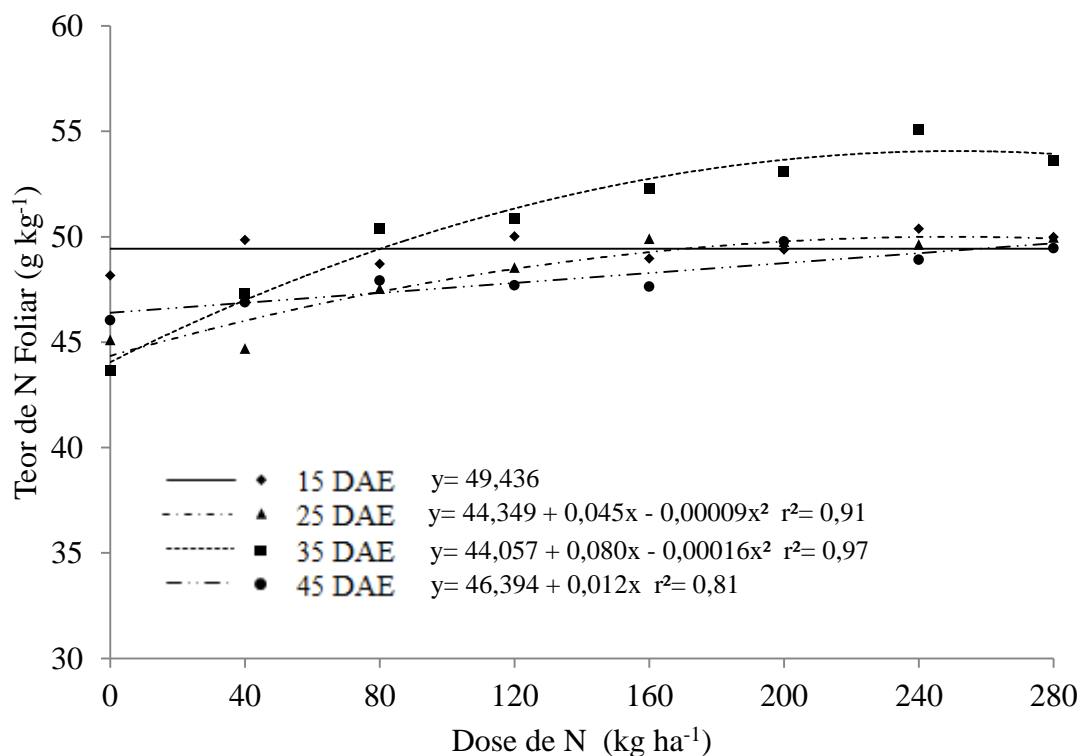


Figura 2 – Teor de nitrogênio (N) foliar nas épocas de avaliação, 15 DAE, 25 DAE, 35 DAE e 45 DAE, em função das doses de N aplicadas em cobertura na cultura do feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Da mesma maneira Carvalho et al (2003) testando até a dose de 140 kg ha^{-1} de N obteve na maior dose a média de 43 g kg^{-1} , no presente trabalho pode-se visualizar que na dose 0 kg ha^{-1} de N, os valores médios do N nas folhas independente dos tratamentos e das épocas de avaliação são superiores a 43 g kg^{-1} . Resultados similares são apresentados por Bragagnolo et al., (2013), em que avaliando o uso de sensores ópticos na cultura do milho, encontrou áreas em que as testemunhas (sem aplicação de N) apresentaram altos índices de clorofila, esses autores justificam o resultado devido a correta utilização do sistema de plantio direto, à o elevado teor de matéria orgânica no solo, e as condições climáticas favoráveis para a atividade biológica do solo.

O ICF e o NDVI demonstraram comportamentos bastante similares (Figura 3), ambos apresentaram equações polinomiais em resposta às doses de N aplicadas em cobertura na cultura do feijoeiro, sendo a dose que proporcionou os maiores valores a de aproximadamente 240 kg ha^{-1} . Liu (2006) afirma ser comum a obtenção de funções exponenciais dos valores do NDVI em função dos fatores de variação, sendo que essas

funções são mais eficientes, em comparação às lineares, pois nesta é possível à detecção de patamares (Ponto de máxima eficiência técnica).

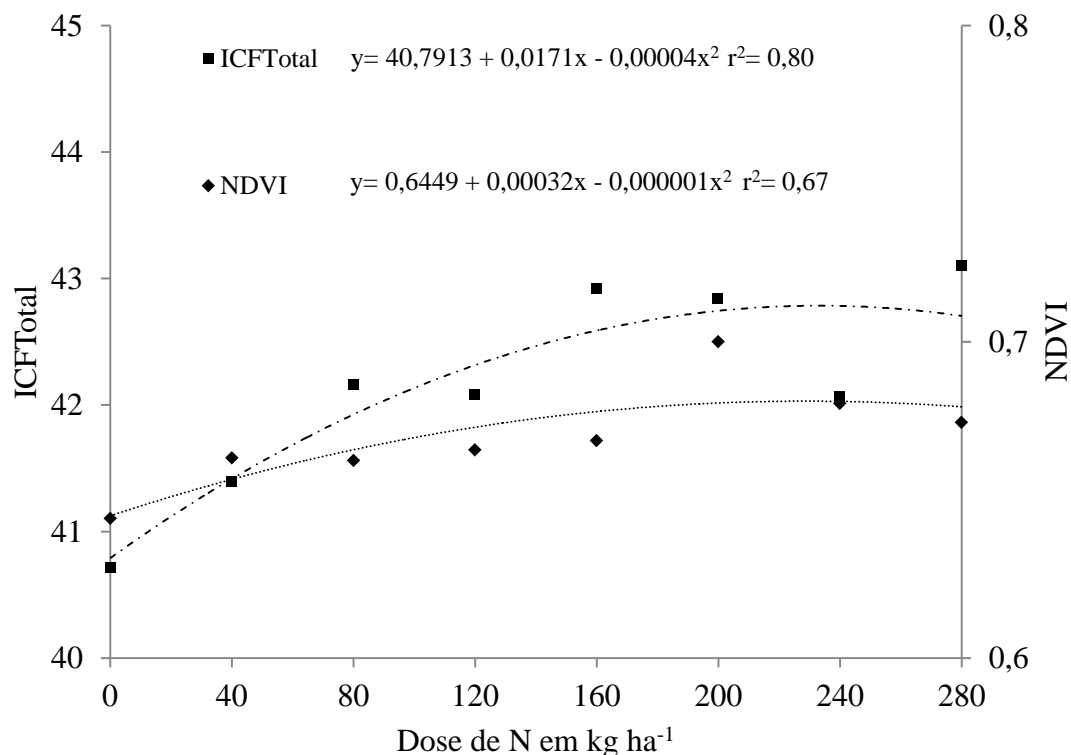


Figura 3 – Índice de Clorofila Falker (ICF) e índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI) em função da dose de nitrogênio aplicada na cultivar de feijoeiro comum, IPR Tuiuiu. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Na tabela 4 é apresentado os resultados do NDVI frente aos diferentes épocas de aplicação da adubação nitrogenada do feijoeiro. Pode-se observar que o tratamento em que se obteve média mais reduzida foi a E5, aplicação das doses de N aos 30 DAE, no entanto este não se diferenciou da E1 em que o N foi aplicado na hora da semeadura. As demais E2, E3 e E4 não apresentaram diferenças com relação aos valores de NDVI. Na tabela 4 podemos observar que o NDVI aumenta no período entre os 15 e 45. Bragagnolo et al., (2013), avaliando o uso de sensores ópticos na cultura do milho encontrou maiores variações no estágio vegetativo V8, possibilitando a aplicação de taxa variada de N em cobertura na cultura.

Tabela 4 – Índice de diferença de vegetação normalizada (NDVI) em função de épocas de aplicação do nitrogênio (N) em cobertura e das épocas de avaliação, realizadas na cultura do feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Época de Avaliação	NDVI	Época de aplicação	NDVI
15 DAE	0,47 d	E 1	0,66 ab
25 DAE	0,70 c	E 2	0,68 a
35 DAE	0,74 b	E 3	0,68 a
45 DAE	0,77 a	E 4	0,68 a
		E 5	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).

Tabela 5 – Coeficientes de correlação linear simples de Pearson entre índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), Índice de clorofila Falker (ICF), teor de nitrogênio no mineral no solo (Nmineral), teor de nitrogênio no tecido foliar (Nfoliar) e produtividade (Prod) obtido na cultura do feijoeiro comum. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.

Variáveis	Variáveis				
	NDVI	ICF	Nmineral	Nfoliar	Prod
NDVI	1,00	0,195*	0,105*	0,063	-0,027
ICF		1,00	0,167	-0,079	0,046
Nmineral			1,00	0,340*	-0,033
Nfoliar				1,00	0,001
Prod					1,00

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

Os valores de NDVI apresentaram correlações positivas com o ICF das folhas e com o N mineral do solo (Tabela 5). Já O ICF apresentou correlação apenas com NDVI, divergindo dos resultados obtidos por Carvalho et al. (2003) e Maia et al., (2012) em que observaram correlação entre os índices de clorofila e o N foliar. O N mineral do solo correlacionou-se positivamente com os teores de N foliar do feijoeiro.

Nenhuma variável apresentou correlação com a produtividade do feijoeiro, no entanto este resultado possivelmente está relacionado ao não efeito das doses de N na produtividade, conforme discutido no artigo 1 deste trabalho. Isso se verifica, pois a maioria das variáveis, entre elas a produtividade, não apresentaram uma tendência linear, estando os valores situados em uma pequena faixa de variação, apresentando

baixos valores de correlação, mesmo quando as mesmas são significativas, exceto para os teores de N mineral no solo.

3.6 Conclusão

N mineral do solo responde linearmente ao incremento das doses de N, e a sua persistência no sistema do solo é dependente das condições climáticas.

O ICF e o NDVI apresentam comportamento quadrático frente às doses de N aplicadas, sendo a dose de 240 kg ha^{-1} de N a que proporciona as maiores médias.

O NDVI e o ICF apresentaram comportamentos distintos frente as épocas de avaliação.

Os valores de N mineral do solo são positivamente relacionados com o N foliar do feijoeiro e com o NDVI.

3.7 Referências Bibliográficas

ANDRASKI, T. W.; BUNDY, L. G. & BRYE, K. R. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.29, p.1095-1103, 2000.

ARF, M. V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; et al. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.430-438, 2011.

ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., BORTOLINI, C. G., et al Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003..

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

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

BUNDY, L. G.; ANDRASKI, T. W. Soil potential yield effects on performance of soil nitrate tests. **Journal of Production Agriculture**, Madison v.8, n.4, p.61-568, 1995.

CARVALHO, M. TA. C.; FURLANI-JUNIOR, E.; ARF, O., et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.445-450, 2003.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.729-735, 2003.

COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – CQFS-RS/SC. **Manual de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina**. 10 ed. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Regional Sul, 2004. 400 p.

CREWS, T. E.; PEOPLES, M. B.; Can the synchrony of nitrogen supply and crop demand be improved in legume and fertilizer-based agroecosystems? 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**, Lavras, v. 35, n.6, p. 1039-1042, 2011.

GROHS, D. S.; BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C. M.; POLETTO, N. Modelo para estimativa do potencial produtivo em trigo e cevada por meio do sensor Greenseeker. **Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.101-112, 2009a.

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

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

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

HUNGRIA, M.; ANDRADE, D. S.; CHUEIRE, L. M. O., Isolation and characterization of new efficient and competitive bean (*Phaseolus vulgaris* L.) rhizobia from Brazil. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 32, p. 1515-1528, 2000.

HUSSAIN, F.; BRONSON, K. F.; PENG, S. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v.92. n.5, p.875-879, 2000.

JURADO-EXPÓSITO, M.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L., et al.. Spatial and temporal analysis of *Convolvulus arvensis* L. populations over four growing seasons. **Europa Journal Agronomy**, v.21, n. 3, p. 287-296, 2004.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

LOPES, A. S.; WIETNÖLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; et al. A. **Sistema plantio direto: base para o manejo de fertilidade do solo**. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos, 2004.

LÓPEZ-GRANADOS, F. Weed detection for site-specific weed management: mapping and real-time approaches. **Weed Research**, v.51, n.1, p.1-11, 2011.

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

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; et al. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em Latossolo vermelho do distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1941-1948, 2008.

MEROTTO J. R.; BREDEMEIER, A.; VIDAL, R. A.; et al. 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.

OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p.169-221.

PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.857-865, 2003.

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

RAHN, C. R.; JOHNSON, P. A. Previous cropping and soil mineral nitrogen as predictors of yield of winter wheat to nitrogen on silt soils in United Kingdom. **Soil Use Management**, v.17, n.3, p.203-207, 2001.

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**, v.173, n.3, p.434-443, 2010.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; ARGENTA, G.; et al. Testes de nitrato no solo como indicadores complementares no manejo da adubação nitrogenada em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1279-1287, 2004.

RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; BAYER, C.; et al. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.731-738, 2007.

RAUN, W. R.; SOLIE, J. B.; STONE, M. L.; et al. Optical sensor-based algorithm for crop nitrogen fertilization. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.36, n.19/20, p.2.759-2.781, 2005.

SEMBIRING, H. H. L.; LEES, H. L.; RAUN, W. R.; et al. Effect of growth stage and variety on spectral radiance in winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, n.1, p.141-149, 2000.

SILVA, R. T.; SOUZA-NETA, M. L.; MEDEIROS, R. C. A.; et al. Índice de clorofila na cultura do feijão-caupi cultivado em solo com resíduos de fertilizantes. **Anais. CONAC**, 2012. Disponível em: <http://www.conac2012.org/resumos/pdf/058b.pdf>. Acessado em: 28/01/14.

SILVEIRA, P. M.; BRAZ, A. J. B. P., DIDONET, A. D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.9, p.1083-1087, 2003.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.895-901, 2004.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C; BISSANI, C. A; et al. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).

TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C. O.; SKOLE, D. The 1 km resolution global data set: needs of the International Geosphere Biosphere Programme. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, p.3417-3441, 1994.

VANOTTI, M. B.; BUNDY, L. G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.2, p.243-249, 1994.

WRIGHT, D. L.; RASMUSSEN, V. P.; RAMSEY, R. D.; et al. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. **GIScience and Remote Sensing**, v.41, n.4, p.287-300, 2004.

4 DISCUSSÃO E CONSIDERAÇÕES

Os resultados apresentados no presente trabalho são de elevada importância para se conhecer os comportamentos das variáveis estudadas na cultura do feijoeiro. No artigo 1 pode-se constatar que em solos com elevada fertilidade conduzido em sistema plantio direto, no período de safra, utilizando-se 20 kg ha⁻¹ de N na linha de semeadura é o suficiente para a cultura do feijoeiro atingir bom nível de produtividades quando comparadas as médias atuais obtidas no Brasil. Este resultado demonstra que a afirmação de que para se obter elevadas produtividades se faz necessário a aplicação de fertilizantes nitrogenados em cobertura (ARF et al., 2011; SANT'ANA et al., 2011; SANTI et al., 2013), não se aplica a todos os tipos de solo e cultivares, e condições edafoclimáticas de cultivo, se fazendo necessário a realização de estudos regionalizados. Outra constatação foi a alta capacidade de compensação do feijoeiro, sendo que as doses de N influenciaram a maioria dos componentes de rendimento, porém devido á alguns fatores responderem positivamente e outros negativamente, a produtividade se manteve estável.

Este trabalho caracteriza-se como pioneiro na utilização do sensor óptico Greenseeker e da avaliação dos níveis de N mineral do solo no Brasil para estudar as aplicações de fertilizante nitrogenado na cultura do feijoeiro comum. Pode-se observar que o N mineral do solo respondeu linearmente as doses de N aplicada corroborando com outros estudos (RAMBO et al., 2004; BUNDY & ANDRASKI, 1995), assim como o ICF e o NDVI até a dose de 240 kg ha⁻¹. Contudo apesar de suas significâncias frente as doses, não se observou influência na produtividade, discordando da constatação de vários autores para o uso de clorofilômetros em feijoeiro (ARGENTA et al., 2003; CARVALHO et al., 2003, BARBOSA FILHO et al., 2008; MAIA et al., 2012). Este resultado pode estar associado a vários fatores, dentre eles as características da cultivar, solo e clima em que o experimento foi conduzido. O estudo demonstrou que a produtividade do feijoeiro apresenta correlação com o ICF e o teor de N foliar e não se correlaciona com a disponibilidade de N no solo. Essa constatação nos leva a inferir que fatores que não foram avaliados influenciaram a produtividade, ou seja não foi a disponibilidade de N no solo o fator restritivo para a obtenção de maior produtividade da cultura.

Não foi possível definir os valores críticos das variáveis ICF, NDVI e teor de N no solo para a obtenção das maiores produções, porém observou-se que eles responderam a doses

e as épocas de aplicação do N. Diante disso se faz necessário a realização de outros trabalhos em solos menos férteis, ou perante a situação que vem sendo bastante observada, na região, que é a implantação da cultura do feijoeiro na safrinha, após a cultura do milho, onde provavelmente, ocorrem menores teores de N disponível no solo devido aos processos de imobilização e exportação do mesmo pelos grãos produzidos. Os valores obtidos neste estudo poderão servir de suporte para traçar os tratamentos de trabalhos subsequentes e consequentes discussões dos resultados. Outra sugestão que pode ser de grande importância para o conhecimento da dinâmica do N, é a avaliação da produtividade do feijoeiro em diferentes teores de matéria orgânica do solo, pois este atributo normalmente é citado como uma das principais variáveis que representam a qualidade do solo e a avaliação da fixação biológica de N também é muito importante para melhorar a compreensão deste processo e estimar a sua contribuição para o aporte de N para a cultura.

Devido a não resposta da produtividade do feijoeiro às doses de N aplicadas, consequentemente não se pode inferir sobre quais as épocas de aplicação mais adequadas. Bragagnolo et al. (2013) citam que quando não ocorre interação entre os fatores de estudo ou a variabilidade da variável principal em estudo é baixa, se reduz a eficiência das aplicações das ferramentas de agricultura de precisão no manejo da lavoura. Porém, a utilização das ferramentas de agricultura de precisão, permitem a obtenção de um maior conhecimento da área produtiva e das condições nutricionais das plantas, podendo ser de grande valia para a obtenção de uma maior eficiência nas adubações nitrogenadas, necessitando para isso, maior informações para a obtenção de parâmetros que possam nortear a utilização das mesmas na cultura do feijoeiro comum.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO. 2012. 160p.
- ANDRASKI, T. W.; BUNDY, L. G. & BRYE, K. R. Crop management and corn nitrogen rate effects on nitrate leaching. **Journal Environmental Quality**, Madison, v.29, p.1095-1103, 2000.
- ARF, M. V.; BUZETTI, S.; ARF, O.; et al. Fontes e épocas de aplicação de nitrogênio em feijoeiro de inverno sob sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.41, n.3, p.430-438, 2011.
- ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., BORTOLINI, C. G., et al Adubação nitrogenada em milho pelo monitoramento do nível de nitrogênio na planta por meio do clorofilômetro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 109-119, 2003.
- ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., MIELNICZUK, J., et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, p. 519-27, 2001a.
- ARGENTA, G., SILVA, P. R. F., BORTOLINI, C. G., et al. Relação entre teor de clorofila extraível e leitura do clorofilômetro na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001b.
- BARBIERI JUNIOR, E.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. M.; et al. Um novo clorofilômetro para estimar teores de clorofila em folhas de capim Tifton 85. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.42, n.12, p. 2242-2245, 2012.
- BARBOSA FILHO, M. P., COBUCC, T.; FAGERIAI, N. K.; et al. Época de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado monitorada com auxílio de sensor portátil. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, p. 425-431, 2009.
- BARBOSA-FILHO, M. P.; COBUCC, T.; FAGERIAI, N. K.; et al. Determinação da necessidade de adubação nitrogenada de cobertura no feijoeiro irrigado com auxílio do clorofilômetro portátil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.38, n.7, p.1843-1848, 2008.
- BARBOZA, L. Feijão com arroz e arroz com feijão: o Brasil no prato dos brasileiros. **Horizontes Antropológicos**, v. 13, n. 28, p. 87-116, 2007.
- BOOIJ, R.; VALENZUELA, J. L.; AGUILERA, C. Determination of crop nitrogen status using non-invasive methods. In: HAVERKORT, A. J.; MACKERRON, D. K. L. (Eds.). **Management of nitrogen and water in potato production**. Wageningen: Wageningen Pers, 2001. p. 72-82.

BURATTO, J. S., MODA-CIRINO, V., FONSECA FILHO, N. S., et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva do feijão no estado do Paraná. **Semina**, Londrina, v. 28, n. 3, p. 373-380, 2007.

CAMPOS, D. S. **Resposta espectral do feijoeiro a diferentes doses de nitrogênio**. Viçosa: UFV, 2009. 185 p. Dissertação (Doctor Scientiae), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG.

CARVALHO, M. TA. C.; FURLANI-JUNIOR, E.; ARF, O.; et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio e teores foliares deste nutriente e de clorofila em feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.445-450, 2003.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.729-735, 2003.

CERETTA, C. A.; DURIGON, R.; BASSO, C. J.; et al. Características químicas de solo sob aplicação de esterco líquido de suínos em pastagem natural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, p.729-735, 2003.

CHERUBIN, M. R.; **Eficiência de malhas amostrais utilizadas na caracterização de atributos químicos em Latossolos manejados com agricultura de precisão**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS, 2013.

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento, 2013. Disponível em: http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=&Pagina_objcmsconteudos=2#A_objcm_sconteudos. Acessado em: 28/01/14.

ELIAS, H.T.; HEMP, S.; FLESCHE, R.D. **Ganho genético na produtividade das cultivares de feijão recomendadas para Santa Catarina – 1979/1999**. In: Reunião Nacional de Pesquisa de Feijão, 1999, Goiânia. Anais Goiânia: Embrapa, 1999. p.373-375.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA Ltda, **Manual do medidor eletrônico de teor clorofila (ClorofiLOG / CFL 1030)**, Porto Alegre, Falker Automação Agrícola, 2008, 33p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Base de dados FAOSTAT**. 2012. Disponível em: <<http://www.faostat.fao.org>> acessado em 05 mar 2014.

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

HAIM, P. G.; ZOFFOLI, B. C.; ZONTA, E.; et al. Diagnose nutricional em folhas de feijoeiro pela análise digital de imagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.47, n.10, p. 1546-1549, 2012.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T.; ARAUJO, R. S., **Fixação biológica do nitrogênio em feijoeiro**. In: VARGAS, M. A. T.; HUNGRIA, M.; *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, p.189-293, 1997.

HUSSAIN, F. et al. Use of chlorophyll meter sufficiency indices for nitrogen management of irrigated rice in Asia. **Agronomy Journal**, Madison, v. 92, p. 875-879, 2000.

JEMISON, J. M.; LYTLE, D. E. Field evaluation of two nitrogen testing methods in maize. **Journal Production Agriculture**, Madison, v. 9, p. 108-13, 1996.

JURADO-EXPÓSITO, M.; LÓPEZ-GRANADOS, F.; GONZÁLEZ-ANDÚJAR, J. L., et al.. Spatial and temporal analysis of *Convolvulus arvensis* L. populations over four growing seasons. **Europa Journal Agronomy**, v.21, n. 3, p. 287-296, 2004.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: UNIDERP, 2006. 908 p.

MAIA, S. C. M., **Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro**. 2011. 86 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2011.

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

MENEGHIN, M. F. S.; RAMOS, M. L. G.; OLIVEIRA, S. A.; et al. Avaliação da disponibilidade de nitrogênio no solo para o trigo em Latossolo vermelho do distrito federal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.32, p.1941-1948, 2008.

MEROTTO J. R.; BREDEMEIER, A.; VIDAL, R. A.; et al. 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.

NAÇÕES UNIDAS. **World Urbanization Prospects: The 2011 Revision**. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. ESA/P/WP/224, 2012. 50p.

OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p.169-221.

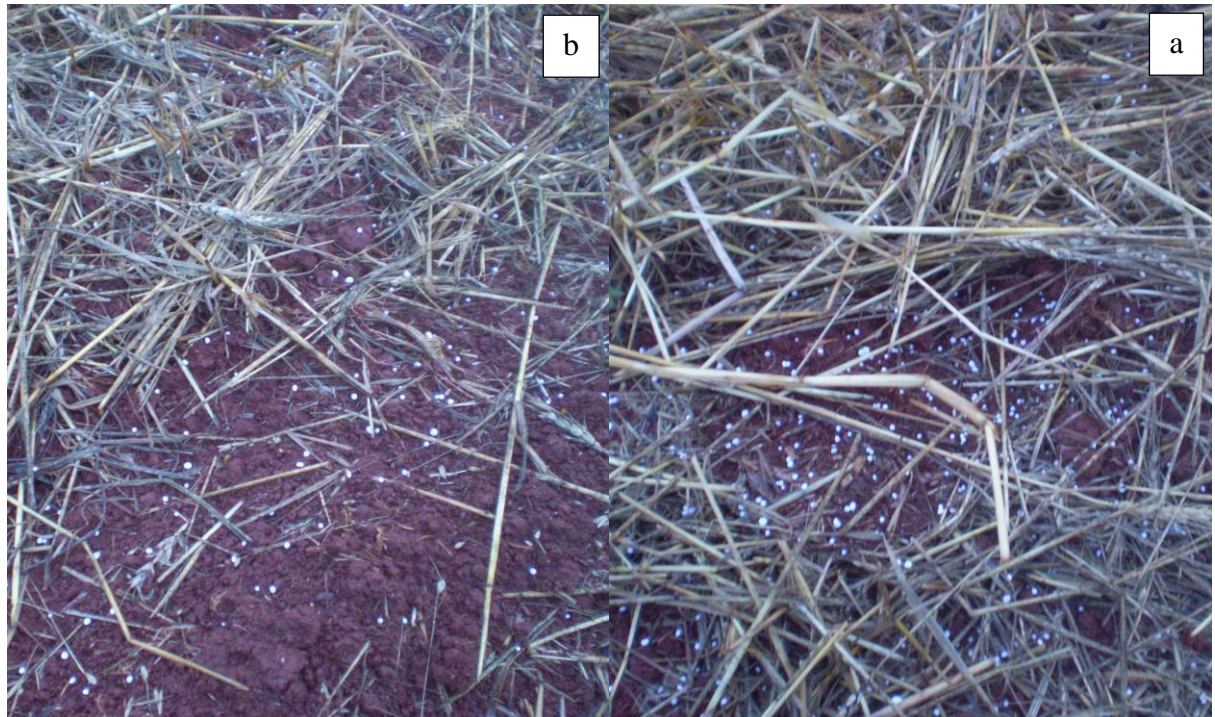
PELEGRIN, R.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; et al. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e à inoculação com rizóbio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 33, p. 219-226, 2009.

PIEKIELEK, W. P. et al. **The early-season chlorophyll meter test for corn**. Pennsylvania: Pennsylvania State University, Penn State Cooperative Extension, 1997. 8 p. (Agronomy facts, n. 53).

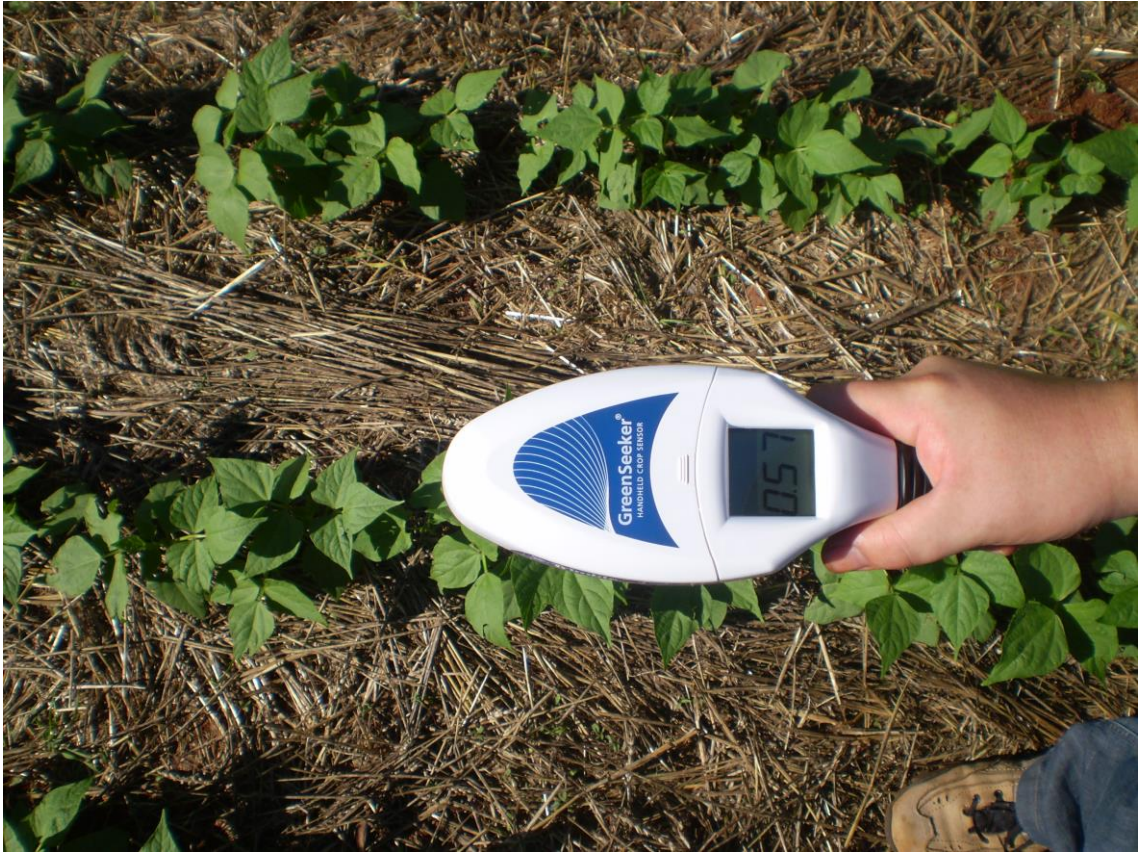
- PORT, O.; AITA, C.; GIACOMINI, S. J. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia com o uso de dejetos de suínos em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.38, n.857-865, 2003.
- POVH, F. P.; MOLIN, J. P. GIMENEZ, L. M.; et al. Comportamento do NDVI obtido por sensor ótico ativo em cereais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.8, p.1075-1083, 2008.
- RAHN, C. R.; JOHNSON, P. A. Previous cropping and soil mineral nitrogen as predictors of yield of winter wheat to nitrogen on silt soils in United Kingdom. **Soil Use Management**, v.17, n.3, p.203-207, 2001.
- RAMBO, L.; SILVA, P. R. F.; BAYER, C.; et al. Teor de nitrato como indicador complementar da disponibilidade de nitrogênio no solo para o milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.31, p.731-738, 2007.
- SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B.; SILVEIRA, P. M. Eficiência de uso de nitrogênio em cobertura pelo feijoeiro irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.5, p.458-462, 2011.
- SANTI, A. L.; BASSO, C. J.; LAMEGO, F. P.; et al. Épocas e parcelamentos da adubação nitrogenada aplicada em cobertura na cultura do feijoeiro, grupo comercial preto e carioca, em semeadura direta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.5, 2013.
- SEMBIRING, H. H. L.; LEES, H. L.; RAUN, W. R.; et al. Effect of growth stage and variety on spectral radiance in winter wheat. **Journal of Plant Nutrition**, v.23, n.1, p.141-149, 2000.
- SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Teor de clorofila e produtividade do feijoeiro em razão da adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.39, n.9, p.895-901, 2004.
- VANOTTI, M. B.; BUNDY, L. G. An alternative rationale for corn nitrogen fertilizer recommendations. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v.7, n.2, p.243-249, 1994.
- VARVEL, G. E.; SCHEPERS, J. S.; FRANCIS, D. D. Ability for in-season correction of nitrogen deficiency in corn using chlorophyll meters. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 61, p. 1233-1239, 1997.
- WRIGHT, D. L.; RASMUSSEN, V. P.; RAMSEY, R. D.; et al. Canopy reflectance estimation of wheat nitrogen content for grain protein management. **GIScience and Remote Sensing**, v.41, n.4, p.287-300, 2004.

APÊNDICES

Apêndice A - Doses de nitrogênio, (a) 200 kg ha⁻¹ e (b) 40 kg ha⁻¹, aplicadas em cobertura sobre o solo logo após a semeadura, na forma de ureia. Frederico Westphalen, RS, 2012/13.



Apêndice B - Determinação do NDVI com o sensor remoto GreenSeeker® aos 15 dias após a emergência, na cultura do feijoeiro comum, RS, Frederico Westphalen, 2012/13.



Apêndice C - Determinação do ICF com o equipamento ClorofiLOG[®] aos 25 dias após a emergência, na cultura do feijoeiro comum, com detalhe da folha sendo posicionada na câmara de leitura, no canto superior direito da imagem, RS, Frederico Westphalen, 2012/13.



Apêndice D - Coleta de amostra de solo para determinação do teor de nitrogênio disponível no solo aos 35 dias após a emergência da cultura do feijoeiro, RS, Frederico Westphalen, 2012/13.



Apêndice E - Algumas das pessoas que auxiliaram na condução do experimento e análises, RS, Frederico Westphalem, 2012/13.

