

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**USO DO CLOROFILÔMETRO PORTÁTIL NA DETERMINAÇÃO DA
ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM CULTIVARES DE
FEIJOEIRO**

SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP

Fevereiro de 2011

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS

CAMPUS DE BOTUCATU

**USO DO CLOROFILÔMETRO PORTÁTIL NA DETERMINAÇÃO DA
ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM CULTIVARES DE
FEIJOEIRO**

SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA

Orientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da UNESP - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Agricultura)

BOTUCATU-SP
Fevereiro – 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M217u Maia, Suelen Cristina Mendonça, 1986-
Uso do clorofilômetro portátil na determinação da adubação nitrogenada de cobertura em cultivares de feijoeiro / Suelen Cristina Mendonça Maia. - Botucatu : [s.n.], 2011
viii, 86 f. : il. color., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2011

Orientador: Rogério Peres Soratto

Inclui bibliografia

1. Clorofila. 2. Índice relativo de clorofila. 3. Índice de suficiência de nitrogênio. 4. Nitrogênio na agricultura. 5. *Phaseolus vulgaris*. I. Soratto, Rogério Peres. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

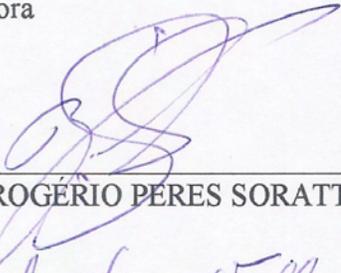
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

**TÍTULO: USO DO CLOROFILÔMETRO PORTÁTIL NA DETERMINAÇÃO DA
ADUBAÇÃO NITROGENADA DE COBERTURA EM CULTIVARES DE
FEIJOEIRO**

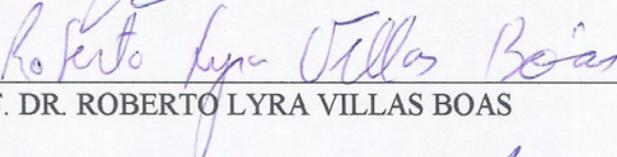
ALUNA: SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA

ORIENTADOR: PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO

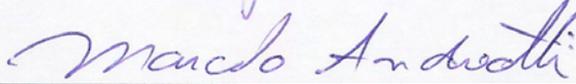
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. ROGÉRIO PERES SORATTO



PROF. DR. ROBERTO LYRA VILLAS BOAS



PROF. DR. MARCELO ANDREOTTI

Data da Realização: 18 de fevereiro de 2011.

Aos meus queridos pais *Orvanil* e *Suely*, pelo constante exemplo de vida, ensinamentos de persistência e dignidade e pelo sacrifício, amor e dedicação, durante toda minha vida.

Aos meus avós *José Júlio* e *Luzia*, pelo incentivo, carinho e apoio.

Ao *Lucas* pelo carinho, generosidade e compreensão em todos os momentos desses últimos anos.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida e todas as oportunidades que tem me proporcionado.
Aos meus pais e avós, pela confiança, incentivo, amor, dedicação e auxílio em toda minha vida.

Ao Lucas Barbosa de Freitas, pelo amor, incentivo e companheirismo em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Rogério Peres Soratto, pela valiosa orientação, paciência, amizade e pelo admirável exemplo de caráter.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo apoio financeiro, concedido por meio de bolsa de estudo e subvenção do trabalho de pesquisa.

Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal, pelo auxílio direto e indireto nos trabalhos, em especial aos funcionários de campo e a Dorival Pires de Arruda, Vera Lúcia Rossi, Ilanir Rosane R. Bocetto (Lana) e Valéria Giandoni.

Aos amigos Adalton M. Fernandes, Adriana Q. de Almeida e Aline de O. Matoso, pelo apoio, carinho e auxílio nos trabalhos de campo e processamento das amostras.

Às estagiárias Flávia de O. Biazotto, Jaqueline R. Gonsales e Beatriz Nastaro, pelo auxílio na realização desse trabalho.

A todo o corpo docente da pós-graduação, pelo conhecimento transmitido e incentivo.

Aos funcionários da biblioteca pela atenção.

A todos os colegas do curso de pós-graduação pela ótima convivência e companheirismo.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	VI
LISTA DE FIGURAS	VIII
1. RESUMO	01
2. SUMMARY	03
3. INTRODUÇÃO.....	05
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	07
5. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
5.1. Localização e caracterização edafoclimática da área experimental.....	17
5.2. Delineamento experimental e tratamentos	19
5.3. Caracterização dos cultivares de feijoeiro.....	20
5.4. Condução dos experimentos em campo.....	21
5.5. Avaliações realizadas	25
5.5.1. Índice relativo de clorofila	25
5.5.2. Análise do teor de nitrogênio na folha	25
5.5.3. Massa de matéria seca da parte aérea.....	26
5.5.4. Teor e quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea	26
5.5.5. Componentes de produção	26
5.5.6. Produtividade de grãos.....	27
5.5.7. Produtividade relativa	27
5.5.8. Eficiência de utilização do nitrogênio aplicado	27
5.5.9. Teor de proteína bruta nos grãos.....	28
5.5.10. Produtividade de proteína	28
5.6. Análise estatística.....	28
6. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
6.1. Safra “das águas”	29
6.2. Safra “da seca”	48
7. CONCLUSÕES	66
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67
9. APÊNDICE	81

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, antes da instalação dos experimentos. Botucatu, SP.	19
2 Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e cultivar, na safra “das águas”. Botucatu, SP.	22
3 Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e cultivar, na safra “da seca”. Botucatu, SP.	24
4 Matéria seca da parte aérea, teor de N foliar, teor de N na parte aérea e quantidade de N acumulada na parte aérea, no florescimento, em dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “das águas”. Botucatu, SP.	37
5 População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos de dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “das águas”. Botucatu, SP.	39
6 Produtividade de grãos, produtividade relativa, eficiência de utilização do N aplicado, teor de proteína bruta nos grãos e produtividade de proteína, em dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “das águas”. Botucatu, SP.	41
7 Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação e a massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado, produtividade de grãos e teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada, na safra “das águas”. Botucatu, SP.	45
8 Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação e a massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado, produtividade de grãos e teor de proteína nos grãos do cultivar Pérola, na safra “das águas”. Botucatu, SP.	47
9 Matéria seca da parte aérea, teor de N foliar, teor de N na parte aérea e quantidade de N acumulada na parte aérea, no florescimento, em dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “da seca”. Botucatu, SP.	55
10 População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos de dois cultivares de feijoeiro em função dos manejos de N, na safra “da seca”. Botucatu, SP.	57

- 11 Produtividade de grãos, produtividade relativa, eficiência de utilização do N aplicado, teor de proteína nos grãos e produtividade de proteína em dois cultivares de feijoeiro em função dos manejos de N, na safra “da seca”. Botucatu, SP. 59
- 12 Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação e a massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado, produtividade de grãos e teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada, na safra “da seca”. Botucatu, SP. 62
- 13 Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação e a massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado, produtividade de grãos e teor de proteína nos grãos do cultivar Pérola, na safra “da seca”. Botucatu, SP. 64

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Precipitação pluvial (), temperaturas máximas () e mínimas () registradas na área experimental durante os períodos de agosto a novembro de 2009 e de fevereiro a maio de 2010, bem como as datas de emergência (E), florescimento do cultivar IAC Alvorada (F-A) e do cultivar Pérola (F-P), e colheita do cultivar IAC Alvorada (C-A) e do cultivar Pérola (C-P).	18
2 Índice relativo de clorofila nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “das águas”.	31
3 Índice de suficiência de N determinado nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “das águas”.	32
4 Teor de N nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “das águas”.	35
5 Índice relativo de clorofila nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “da seca”.	50
6 Índice de suficiência de N determinado nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “da seca”.	52
7 Teor de N nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “da seca”.	53

1. RESUMO

Técnicas de manejo que possibilitem a maximização de absorção de N pelo feijoeiro são de extrema importância, em razão do alto custo dos fertilizantes nitrogenados e das perdas de N, que podem representar prejuízos aos produtores e riscos ao ambiente. Nesse sentido, a estimativa da necessidade de N pelo feijoeiro mediante a leitura indireta de clorofila, pelo clorofilômetro portátil, pode ser uma alternativa viável. Contudo, ainda existe a necessidade de estabelecimento de critérios para a utilização desse aparelho na cultura do feijão. Os objetivos do presente trabalho foram: a) verificar a correlação entre o índice relativo de clorofila (IRC), obtido mediante leituras do clorofilômetro portátil (SPAD-502), e o teor de N da folha de dois cultivares de feijão (IAC Alvorada e Pérola) em diversos estádios de desenvolvimento; b) verificar o comportamento do IRC e do índice de suficiência de N (ISN) em função dos manejos de N aplicado em cobertura; c) avaliar o ISN calculado com base nas medidas IRC nas folhas como indicador do momento de aplicação de N em cobertura na cultura do feijão e, d) verificar qual valor do ISN (90% e 95%) em relação ao tratamento referência é o mais adequado para indicar o momento da adubação nitrogenada em cada cultivar utilizado. O trabalho foi constituído de um experimento conduzido durante as safras “das águas” e “da seca” do ano agrícola 2009/2010, na Fazenda Experimental Lageado da FCA/UNESP - Botucatu-SP. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, em esquema de parcela subdivididas, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por dois cultivares de feijão (Pérola e IAC Alvorada) e as subparcelas por seis manejos do N **M1**: 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 80 kg ha⁻¹ de N aos 15 dias após a emergência (DAE) + 80 kg

ha⁻¹ de N aos 30 DAE; **M2**: 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 40 kg ha⁻¹ de N aos 15 DAE + 40 kg ha⁻¹ de N aos 30 DAE; **M3**: 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 20 kg ha⁻¹ de N aos 15 DAE + 20 kg ha⁻¹ de N aos 30 DAE; **M4**: 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ de N quando as leituras do clorofilômetro indicassem ISN <95%; **M5**: 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ de N quando as leituras do clorofilômetro indicassem ISN <90% e, **M6**: testemunha (sem aplicação de N). O IRC, obtido mediante as leituras do clorofilômetro, correlacionou-se de forma positiva com o teor de N na folha dos cultivares IAC Alvorada e Pérola, tanto no cultivo “das águas” como “na seca”. Na safra “das águas”, a avaliação do nível de N na planta, realizada através das leituras de IRC pelo clorofilômetro, nos estádios iniciais de desenvolvimento do feijoeiro foi mais precisa por apresentar os maiores valores de correlação com o teor de N foliar, fato não constatado na safra “da seca”. O IRC avaliado pelo clorofilômetro foi crescente com o tempo, e se estabilizou a partir do florescimento dos cultivares, tornando o uso do clorofilômetro, como indicador da necessidade da aplicação de N em cobertura a partir dessa fase, ineficiente. O ISN de 90%, baseado na medida do clorofilômetro e em uma área referência (com elevada disponibilidade de N) permitiu definir quando se deve aplicar o N em cobertura em ambos os cultivares de feijão, melhorando a eficiência do uso de nitrogênio (EUN), porém, não proporcionou os mesmos níveis de produtividade da área referência. A utilização do ISN de 95%, baseado na medida do clorofilômetro e em uma área referência, foi menos eficiente que o ISN de 90% para a definição de quando se deve aplicar o N em cobertura no feijoeiro, cultivares IAC Alvorada e Pérola, por proporcionar menor EUN.

USE OF PORTABLE CHLOROPHYLL METER TO DETERMINATION OF THE COMMON BEAN CULTIVARS SIDEDRESSING NITROGEN FERTILIZATION.

Botucatu, 2011. 86p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: SUELEN CRISTINA MENDONÇA MAIA

Adviser: ROGÉRIO PERES SORATTO

2. SUMMARY

Management techniques that allow the maximization of N uptake by bean crop are extremely important, because of high cost of nitrogen fertilizers and N losing, which may represent losses to producers and risks to the environment. In this sense, the estimation of N needs of common bean crop by indirect reading of chlorophyll can be a viable alternative. However, there is remains the need to establish criteria for using this device in the bean. The aims of this study were: a) determine the correlation between relative chlorophyll index (RCI), obtained by reading of chlorophyll (SPAD 502) and leaf N content of two bean cultivars (IAC Alvorada and Pérola) in various stages of development; b) verify the behavior of the RCI and N sufficiency index (NSI) for different sidedressing N management practices; c) evaluated the NSI calculated based on the measures RCI leaves as an indicator of time of N application in sidedressing on bean crop, and d) verify that value of NSI (90% and 95%) compared to the reference treatment is most appropriate to indicate the moment of fertilization in each cultivar. The work was composed of an experiment conducted in "rainy" and "dry" season of agricultural year 2009/2010 at the Experimental Lageado Farm FCA/UNESP - Botucatu-SP. A randomized block in split plot scheme, with four replications was used. Plots consisted of two bean cultivars (IAC Alvorada and Pérola) and subplots of six N managements **M1**: 40 kg ha⁻¹ N at sowing + 80 kg ha⁻¹ at 15 days after emergence (DAE) + 80 kg ha⁻¹ N at 30 DAE; **M2**: 20 kg ha⁻¹ N at sowing + 40 kg ha⁻¹ N at 15 DAE + 40 kg ha⁻¹ N at 30 DAE;

M3: 10 kg ha⁻¹ N at sowing + 20 kg ha⁻¹ N at 15 DAE + 20 kg ha⁻¹ N at 30 DAE; **M4:** 20 kg ha⁻¹ N at sowing + 30 kg ha⁻¹ N when chlorophyll meter readings indicated NSI <95%; **M5:** 20 kg ha⁻¹ N at sowing + 30 kg N ha⁻¹ N when chlorophyll meter readings indicated NSI <90% and, **M6:** control (without nitrogen). The RCI, obtained by the chlorophyll meter readings, correlated positively with leaf N content from IAC Alvorada and Pérola, both in dry season as rainy season. In the rainy season to gauge the degree of N in plant, realized through readings of the RCI by the chlorophyll, in the early stages of bean development was more accurate to present the highest values of correlation with the leaf nitrogen, was not observed in season dry. The RCI was determinate by the chlorophyll increased with time, and stabilized from cultivars flowering, making use of chlorophyll as an indicator of the need for N application in sidedressing from that stage, inefficient. The NSI of 90% based on the measurement of chlorophyll and a reference area (with high N availability) allowed to define when to apply N in both common bean cultivars, improving N use efficiency (NUE), however, did not provide the same levels yield of reference area. The use of NSI 95% based on the measurement of chlorophyll and a reference area, was less efficient than the NSI 90% for the definition when to apply the N sidedressing in common bean cultivars IAC Alvorada and Pérola, for provide lower NUE.

Keywords: *Phaseolus vulgaris* L., nitrogen, nitrogen management, chlorophyll, chlorophyll relative index, nitrogen sufficient index.

3. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada entre as demais do gênero *Phaseolus*. Considerando, porém, diversos gêneros e espécies, o feijão é cultivado em 117 países em todo mundo, com produção em torno de 19,7 milhões de toneladas, em área de 25,2 milhões de hectares (FAOSTAT, 2010).

No Brasil, o cultivo do feijoeiro é uma das principais explorações agrícolas, não apenas em área cultivada ou pelo valor de produção, mas, principalmente por ser um dos principais componentes da alimentação básica da população brasileira, como importante fonte de proteínas. Na safra 2008/2009, a produção nacional de feijão alcançou 3,5 milhões de toneladas, ocupando uma área de 4,2 milhões de hectares (IBGE, 2010), com produtividade média de 830 kg ha⁻¹, considerada baixa, uma vez que a cultura tem potencial para produtividades acima de 3.500 kg ha⁻¹.

O bom desenvolvimento do feijoeiro comum e a obtenção de altas produtividades de grãos dependem do emprego de tecnologias apropriadas, sendo que a suplementação adequada de nitrogênio (N) destaca-se. O N é o nutriente absorvido em quantidades mais elevadas pelo feijoeiro e, embora o feijoeiro supra parte da sua demanda de N, cerca de 20 a 30%, pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, a quantidade fornecida por esse processo normalmente é insuficiente. Assim, a adubação nitrogenada é considerada uma das principais práticas para se obter altas produtividades do feijoeiro, especialmente quando cultivado em áreas com uso de alta tecnologia. Contudo, por ser um

nutriente que apresenta grande dinâmica no sistema solo-planta, o manejo adequado do N (época de aplicação e a quantidade a ser aplicada), é tido como um dos mais difíceis.

Técnicas de manejo que possibilitem a maximização de absorção de N pelo feijoeiro são de extrema importância, em razão do alto custo dos fertilizantes nitrogenados e das perdas de N, que podem representar prejuízos aos produtores e riscos ao ambiente pela contaminação de mananciais de água.

O N é componente da molécula de clorofila, sendo assim a deficiência de N é imediatamente refletida em baixas concentrações de clorofilas as quais são registradas por baixos valores das leituras do clorofilômetro. O clorofilômetro é um aparelho portátil que permite obtenção de um índice relativo da clorofila na folha (IRC), com base na intensidade da coloração verde das folhas, o qual se correlaciona com o teor de clorofila e o de N na folha (GODOY et al., 2008). Assim, a determinação do IRC, por meio do clorofilômetro portátil, pode ser uma alternativa utilizada para prever a necessidade de adubação nitrogenada em várias culturas, sendo relatado à viabilidade de se utilizar o medidor portátil de clorofila como indicativo do estado nutricional em relação ao N, também na cultura do feijão. Contudo, ainda existe a necessidade de estabelecimento de critérios para a utilização desse aparelho na cultura do feijão, como: determinação de um índice relativo de clorofila e de suficiência de nitrogênio críticos e adequados para determinar o momento de adubação em cobertura com nitrogênio, folha diagnose adequada para indicar a necessidade de nitrogênio após as leituras e melhor posição do aparelho na folha durante as leituras dos índices relativos de clorofila.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram: a) verificar a correlação entre o IRC, obtido mediante leituras do medidor portátil, e o teor de N da folha de dois cultivares de feijão (Pérola e IAC Alvorada) em diversos estádios de desenvolvimento; b) verificar o comportamento do IRC e do índice de suficiência de N (ISN) em função dos diferentes manejos de N aplicado em cobertura; c) avaliar o ISN calculado com base nas medidas IRC nas folhas como indicador do momento de aplicação de N em cobertura na cultura do feijão e, d) verificar qual ISN (90% e 95%) em relação ao tratamento referência é o mais adequado para indicar o momento da adubação nitrogenada em cada cultivar utilizado.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Cultivado por pequenos, médios e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção e em todas as regiões brasileiras, o feijoeiro comum é de grande importância econômica e social (VALDERRAMA et al., 2009). A cultura do feijão do gênero *Phaseolus* tem especial importância para a agricultura brasileira, por ser o Brasil um dos maiores produtores e consumidores do mundo, e também por ser uma das principais fontes proteicas da população. Tal produto apresenta alto teor proteico na composição centesimal, é excelente fonte de carboidratos e fibra, apresenta baixo teor de lipídios, sódio e não contém colesterol, além de possuir vitaminas (principalmente do complexo B) e minerais. Seu teor de proteína varia de 15% a 33%, sendo que a maioria dos cultivares nacionais apresenta teores desses compostos entre 20% e 25% (FANCELLI, 1994).

O feijão é uma cultura que apresenta ciclos variando de 65 a 100 dias, dependendo do cultivar e da temperatura ambiente, e ampla adaptação edafoclimática que permite seu cultivo, durante todo o ano, em quase todos os estados da federação, compondo, desde sistemas agrícolas com baixo uso tecnológico, principalmente de subsistência, até aqueles intensivos e irrigados, altamente tecnificados (AIDAR, 2007), sendo explorada em três épocas diferentes, no mesmo ano, sendo elas: a safra "das águas", cujo cultivo é feito de agosto a novembro, com predominância na Região Sul; a safra "da seca" cultivada de janeiro a março, abrangendo a maioria dos estados produtores e a safra "de inverno", de abril a julho, com semeadura realizada principalmente nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste (EMBRAPA, 2010).

No Brasil, a produção total de feijão da safra 2008/2009 foi de aproximadamente 3,5 milhões de toneladas. A safra “das águas”, participou em cerca de 38,5% da produção total, a safra “da seca”, participou com 39,3% e a “de inverno” representou 22,2% da produção total (IBGE, 2010).

No estado de São Paulo normalmente o feijoeiro é cultivado nas três épocas. Na época das “águas”, as produtividades médias no ano de 2009 foram de 2.049 kg ha⁻¹ numa área total de 85.555 ha, com cultivos predominando nas regiões de Itapeva, Avaré e Itapetininga; o cultivo da “seca” apresentou produtividades médias em torno de 1.676 kg ha⁻¹, em uma área de 51.766 ha; já para o cultivo de “inverno” com irrigação, as produtividades médias obtidas foram em torno de 2.383 kg ha⁻¹, numa área de 28.283 ha, e nas áreas sem irrigação, com produtividades médias em torno de 1.183 kg ha⁻¹, numa área total de 17.126 ha, com predomínio de cultivo nas regiões de São José do Rio Preto, Barretos, Araçatuba e Presidente Prudente (IEA, 2010).

Para o melhor desenvolvimento do feijoeiro e, conseqüentemente, a obtenção de altas produtividades de grãos, é importante o emprego de tecnologias apropriadas, como o manejo adequado do solo, a escolha correta do cultivar, época de semeadura ideal para a região de cultivo, controle de plantas daninhas, pragas e doenças, e principalmente, a suplementação adequada de nutrientes. Com relação à nutrição mineral da planta, o N destaca-se, pois, mesmo que o feijoeiro consiga suprir parte da sua demanda de N pela associação com bactérias do gênero *Rhizobium*, a quantidade fornecida por esse processo é insuficiente, necessitando ser completada, o que via de regra é feito por meio de adubação mineral (SILVA, 1998).

Por ser um nutriente que apresenta grande dinâmica no sistema solo-planta, o manejo adequado do N é tido como um dos mais difíceis (SANTOS et al., 2003), sendo essencial, para a obtenção de altas produtividades que este nutriente seja colocado à disposição da planta em quantidade e tempo adequados (CARVALHO et al., 2001).

Em sistema convencional de preparo de solo, Carvalho et al. (1992) recomendam 90 kg ha⁻¹ de N, aplicados em cobertura, para alcançar a produtividade máxima. Silveira e Damasceno (1993) verificaram que a produtividade de grãos da cultura do feijão irrigado mostrou resposta quadrática à adubação nitrogenada, atingindo o máximo com a dose de 72 kg ha⁻¹ de N aplicados em cobertura. Diniz (1995) avaliando a resposta do cultivar

Carioca à aplicação de N em semeadura e em cobertura, em épocas distintas (“safra de inverno” e “safra das águas”), verificou que a aplicação de cobertura foi eficiente na dose de 30 kg ha^{-1} de N, aumentando o número de vagens por planta e massa de semente, resultando em acréscimo de produtividade da ordem de 19% a 30%, porém, correspondendo a produtividade de grãos de apenas 1.358 kg ha^{-1} .

Vem crescendo o cultivo de feijão no sistema plantio direto. Sob esse sistema, Soratto et al. (2001), Silva (2002), Meira et al. (2005), Gomes Júnior et al. (2008), Farinelli e Lemos (2010) e Kaneko et al. (2010) verificaram resposta linear da produtividade até a dose máxima testada, ou seja, de 100 a 180 kg ha^{-1} . Meira et al. (2005), avaliaram níveis de adubação nitrogenada, no feijoeiro, em sistema de plantio direto após arroz, e encontraram máxima produtividade com a aplicação da dose de 164 kg ha^{-1} de N. Para Soratto et al. (2004), no sistema de preparo convencional, a produtividade máxima foi alcançada com a dose estimada de 129 kg ha^{-1} de N em cobertura, enquanto no sistema de plantio direto, a dose estimada foi de 182 kg ha^{-1} de N. Farinelli e Lemos (2010) obtiveram acréscimos de produtividade do feijoeiro no sistema plantio direto até a dose máxima testada de 160 kg ha^{-1} de N em cobertura, e esses autores concluíram que a dose máxima não permitiu o alcance da produtividade máxima, que somente seria alcançada com a aplicação de 185 kg ha^{-1} de N, indicando maior exigência de N pela cultura nesse sistema de cultivo.

Como os cultivos foram realizados em sucessão a algumas gramíneas, a elevada quantidade de N exigida está relacionada à necessidade dos microrganismos presentes no solo. Essa grande quantidade de N é utilizada pelos microrganismos na decomposição dos restos culturais, de alta relação C/N, competindo, portanto, com o feijoeiro. Esses resultados subsidiam os pressupostos da necessidade de maiores quantidades de N para o feijoeiro em sistema de plantio direto (CARVALHO et al., 2003; SORATTO et al., 2004; MEIRA et al., 2005).

O sistema de plantio direto proporciona condições de menor estresse hídrico (ANDRADE et al., 2002; STONE et al., 2006), podendo causar uma melhora na eficiência de utilização do N aplicado em cobertura pelo feijoeiro (BORDIN et al., 2003), devido ao fato do nitrato entrar em contato com as raízes das plantas por fluxo de massa (ROSOLEM, 1996). Soratto et al. (2004) estudando a resposta do feijoeiro a doses de N em dois sistemas de manejo do solo (sistema plantio direto e sistema convencional), observaram

que a eficiência de utilização do N foi maior no sistema plantio direto, principalmente com a utilização de doses mais elevadas, que aumentaram a produtividade em aproximadamente três vezes, quando comparada ao sistema de preparo convencional do solo. Os autores atribuíram esses resultados a possível manutenção da maior quantidade de água no solo, decorrente da maior infiltração e menor evapotranspiração proporcionada pela cobertura do solo sob esse sistema de manejo. Farinelli e Lemos (2010) também observaram que em sistema de plantio direto houve aumento na eficiência do uso do N pelo feijoeiro à medida que as doses de N aplicadas em cobertura se elevaram, sendo o maior valor estabelecido com a aplicação da dose máxima de 160 kg ha^{-1} de N. Dessa forma, fica evidente a necessidade de N para obtenção de elevadas produtividade de grãos na cultura do feijão; no entanto, a definição da dose a se utilizar ainda é um assunto controverso.

A recomendação de adubação para o feijoeiro mais rotineiramente utilizada tem sido a aplicação de parte do N no sulco, junto ao fósforo e ao potássio por ocasião da semeadura, e parte em cobertura (AMBROSANO et al., 1997; BARBOSA FILHO et al., 2005). Segundo Ambrosano et al. (1997), a aplicação de N deve ser feita dos 15 aos 45 DAE, além de ser parcelada quando da utilização de doses elevadas. Com isso, as doses e as épocas de aplicação do N em cobertura são pré-definidas, sem considerar as necessidades e o momento de maior demanda do nutriente pela cultura. A consequência disso pode ser a sub ou superestimativa da dose de N utilizada, podendo acarretar, por um lado, redução da produtividade de grãos e, por outro, diminuição do lucro para o agricultor pelo uso desnecessário de fertilizantes (ARGENTA, 2003).

Miyasaka et al. (1963), em sistema convencional de preparo de solo, constataram que o fornecimento de N em cobertura para o feijoeiro deve ser realizado até 20 dias após a emergência das plântulas (DAE). Para Rosolem (1987), o aproveitamento do adubo pelo feijoeiro é maior quando a cobertura é realizada, no máximo, até 36 DAE. Tal afirmativa foi reformulada por Araújo et al. (1994), os quais, em experimento com doses e épocas de aplicação de N no feijoeiro irrigado, verificaram que a adubação nitrogenada parcelada, em cobertura, até os 30 DAE é vantajosa para a cultura do feijão. Soratto et al. (2001) verificaram em feijoeiro cultivado em sistema de plantio direto, após a cultura do milho, que a aplicação do N em cobertura aos 15 DAE proporcionou maior massa de matéria seca de plantas no florescimento e maior produtividade de grãos, quando comparado com a

aplicação aos 35 DAE. Soratto et al. (2006) verificaram maior produtividade de grãos do feijoeiro com a aplicação de pelo menos parte do N em cobertura aos 15 DAE, em comparação com a aplicação da dose total aos 30 DAE. Para Santi et al. (2006), em preparo convencional a maior produtividade de grãos foi obtida por meio da aplicação de 100% da adubação nitrogenada aos 21 DAE, sendo que a aplicação do N após os 28 DAE não apresentou resultados favoráveis à obtenção de elevadas produtividades de grãos.

Barbosa Filho et al. (2005), afirmaram que dentre as formas de aplicação de N, a de cobertura tem sido a mais eficiente (produtividade/unidade de N aplicado), pois, fornece o nutriente em época de maior exigência pela planta. Gomes Júnior et al. (2005) obtiveram maior produtividade de grãos do feijoeiro quando o N em cobertura foi aplicado até o estágio de sete folhas trifolioladas totalmente expandidas (35 DAE). Soratto et al. (2005), verificaram que a aplicação de N em cobertura no início da formação das vagens (R₇), aumentou a produtividade de grãos quando da ausência da aplicação de N em estádios anteriores, contudo, a aplicação no estágio V₄ (22 DAE) foi mais eficiente em aumentar a produtividade de grãos. Assim, pode-se estabelecer que o monitoramento e a consequente aplicação de N nas fases iniciais do desenvolvimento da cultura, ou seja, até o estágio V₄ (três folhas trifolioladas totalmente expandidas) é fundamental para a obtenção de altas produtividades de grãos na cultura do feijão.

A aplicação de N mineral nos solos tropicais pode resultar, às vezes, em baixa frequência de resposta pela cultura do feijão (VIEIRA, 1998; PIASKOWSKI et al., 2001). Dessa forma, técnicas de manejo que possibilitem a maximização de absorção de N pelo feijoeiro são de extrema importância, em razão do alto custo dos fertilizantes nitrogenados e das perdas de N por lixiviação, que podem representar riscos ao ambiente pela contaminação de mananciais de água (SANTOS et al., 2003).

Segundo Schröder et al. (2000), a disponibilidade do N mineral do solo afeta a taxa de formação e expansão foliar, tamanho final das folhas e a taxa de senescência das mesmas e de acordo com Sinclair et al. (1997), a área foliar está diretamente relacionada à disponibilidade de N e à produção das culturas. A conversão de radiação solar interceptada em biomassa também depende do conteúdo foliar de N (SCHRÖDER et al., 2000). Aumentos na eficiência de uso da radiação são relatados quando há mais de 2,0 g de N por metro quadrado de área foliar (SINCLAIR et al., 1997).

O N é necessário para síntese da clorofila e, como parte dessa molécula, está envolvido na fotossíntese. Na falta do N, a planta degrada a molécula de clorofila, retranslocando o N para regiões de crescimento ativo, onde ele realiza sua função estrutural. Por essa razão, plantas com deficiência de N demonstram os sintomas de deficiência primeiramente nas folhas mais velhas, as quais tornam-se de coloração verde pálido ou amarela (MENGEL e KIRKBY, 1987). Persistindo a deficiência de N e havendo a redução no teor de clorofila, as plantas não irão utilizar a luz do sol como fonte de energia para levar a efeito funções essenciais, como a absorção de outros nutrientes e a produção de carboidratos para o seu desenvolvimento (TAIZ e ZEIGER, 2004).

As recomendações para a aplicação da adubação nitrogenada são, geralmente, baseadas em curvas de resposta da planta ao N, obtidas em ensaios de campo, em que os dados de produtividade de grãos, absorção de N ou acúmulo de matéria seca pela planta são ajustados à equações matemáticas, que expressam a resposta da planta ao nutriente. Ou são feitas através da prática da observação de plantas atrofiadas e folhas com coloração entre verde pálido a amarelada, que se inicia pelas folhas mais velhas e relaciona-se com a participação do N na estrutura da molécula de clorofila (OLIVEIRA et al., 1996). Ainda não existe um método laboratorial que permita avaliar satisfatoriamente a capacidade do solo em fornecer N às plantas, dada à complexidade e às interações entre os processos de transformação do nutriente no solo e as condições climáticas, dificultando assim prever a necessidade de adubação nitrogenada para uma dada cultura (SILVEIRA et al., 2003).

O método mais utilizado para prever a necessidade de adubação é através do estado nutricional da planta (MALAVOLTA et al., 1997). A análise do teor de N no tecido vegetal é um método eficiente para indicar o nível de N na planta. No entanto, não permite a correção da deficiência do nutriente durante o ciclo da cultura (DOURADO NETO e FANCELLI, 2000) e também apresenta limitações, como o tempo gasto entre a coleta das amostras e a obtenção dos resultados.

As folhas de feijão sadias devem ter coloração verde-escura brilhante que indica altos níveis de clorofila, essenciais para captar a energia solar e para o desenvolvimento da planta (ALVAREZ et al., 2005). Utiliza-se o teor de clorofila na folha para prever o nível nutricional de N em plantas, pois a quantidade desse pigmento correlaciona-se positivamente com teor de N na planta (BOOIJ et al., 2000; ARGENTA et al.,

2001; 2002; ARGENTA, 2003). O teor de clorofila também é um indicador do nível de N na planta de feijão que está altamente correlacionado com a produtividade do feijão (BLACKMER e SCHEPERS, 1994; FURLANI JÚNIOR et al., 1996; SORATTO et al., 2004; BARBOSA FILHO et al., 2008).

O desenvolvimento do medidor portátil de clorofila, denominado clorofilômetro, que proporciona leituras instantâneas, de forma não destrutiva de folhas, surge como alternativa de indicação do nível de N na planta, além de apresentar facilidade de operação, permite avaliações *in situ* e que pode assim ser utilizado como ferramenta auxiliar na tomada de decisão sobre a adubação nitrogenada (GIL et al., 2002; BARBOSA FILHO et al., 2008; 2009; GODOY et al., 2008).

A determinação do teor relativo de clorofila, por meio do clorofilômetro portátil, tem sido utilizada para predizer a necessidade de adubação nitrogenada em várias culturas, dentre as principais: arroz (TURNER e JUND, 1991; PENG et al., 1993; HUSSAIN et al., 2000; STALIN et al., 2000; BALASUBRAMANIAN et al., 2000), algodão (WOOD et al., 1993; ROSOLEM e VAN MELLIS, 2010), café (GODOY et al., 2008), milho (PIEKIELEK e FOX, 1992; SMEAL e ZHANG, 1994; BLACKMER e SCHEPERS, 1995; WASKOM et al., 1996; VARVEL et al., 1997; ARGENTA et al., 2001; 2002; GODOY, 2002; ARGENTA, 2003; GODOY et al., 2006), sorgo (MARQUARD e TIPTON, 1987); soja (YADAVA, 1986) e trigo (FOLLET et al., 1992; REEVES et al., 1993; FOX et al., 1994; BREDEMEIER, 1999).

Furlani Júnior et al. (1996) correlacionaram leituras obtidas com o clorofilômetro nas folhas de feijoeiro, cultivar Carioca, cultivado com seis doses de N, em dois ensaios em casa de vegetação, um em solução nutritiva e outro em solo, e obtiveram correlações positivas entre as leituras e as doses de N fornecidas, bem como, das leituras com os teores de N nas folhas. Concluíram que havia boas perspectivas quanto ao uso desse equipamento para detectar deficiências de N em feijoeiro. Para Silveira et al. (2003) e Barbosa Filho et al. (2008; 2009), o clorofilômetro é eficiente na indicação da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro.

O princípio de funcionamento do medidor portátil de clorofila é simples e baseiam-se no uso diodos que emitem luz na faixa de 650 a 940 nm através da folha (transmitância), medindo indiretamente a concentração relativa de clorofila e expressa como

IRC (NUNES, 2003). O comprimento de onda de 650 nm situa-se próximo ao dos dois comprimentos primários de onda associadas com a atividade da clorofila (645 e 663 nm). O comprimento de onda de 940 nm serve como referência interna para compensar diferenças na espessura da folha e no teor de água. O clorofilômetro mede a diferença de atenuação da luz entre 650 e 940 nm como um índice de intensidade de cor ou de concentração de clorofila (YADAVA, 1986). As medidas são processadas e, no visor do clorofilômetro, é mostrado um valor denominado pela empresa fabricante do aparelho como SPAD (Soil Plant Analysis Development). No Brasil, este valor tem sido denominado como medida indireta de clorofila (MALAVOLTA et al., 1997) ou IRC (índice relativo de clorofila) (VILLAS BÔAS, 2001).

Os valores de IRC obtidos pelo clorofilômetro são proporcionais ao teor de clorofila presente na planta. Como cerca de 50 a 70% do N total na folha é constituinte da clorofila e está envolvido na carboxilação de enzimas presentes nos cloroplastos e nas reações fotossintéticas (CHAPMAN e BARRETO, 1997; PAN et al., 2004), o IRC, geralmente, correlaciona-se bem também com o teor de N na folha (MINOTTI et al., 1994; SHAAHAN et al., 1999), podendo indicar a deficiência de N na planta (WOOD et al., 1993). O IRC, medido pelo clorofilômetro, pode ser um indicativo da aplicação do N, desde que se conheça o IRC crítico abaixo do qual a planta estaria deficiente em N.

Segundo Argenta et al. (2002), a determinação do teor de clorofila pelo clorofilômetro apresenta algumas vantagens sobre o método de extração de clorofila, pois a leitura pode ser realizada em poucos minutos, oferecendo, portanto, facilidade de determinação, baixo custo de manutenção do aparelho, ao contrário de outros testes que exigem compras sistemáticas de produtos químicos (PIEKIELEK e FOX, 1992), não há necessidade de envio de amostras para laboratório, somando economia de tempo e dinheiro, e podem ser realizadas quantas amostras forem necessárias, sem implicar na destruição das folhas (MALAVOLTA et al., 1997). Além de ser um método não destrutivo, a determinação da clorofila pelo uso de clorofilômetro apresenta a vantagem de não ler o N absorvido como “consumo de luxo”, mas sim apenas o teor de N que se associa à molécula de clorofila.

Vidal et al. (1999), em experimento no Chile, constataram a efetividade no uso do clorofilômetro para prever a deficiência de N na cultura de trigo. Carvalho et al. (2003) verificaram boas perspectivas de detectar deficiências de N em feijão com o auxílio de clorofilômetro, bem como, a viabilidade de se corrigir adequadamente a

carência de N com base nas leituras realizadas. Os resultados indicaram a necessidade de estabelecimento de vários momentos de amostragem durante o ciclo da planta para detecção das variações de teores foliares de clorofila e sua correlação com os teores foliares de N, considerando as variações ocasionadas pela decomposição da palhada do sistema plantio direto.

Para viabilizar a utilização do IRC para a cultura do feijão, foi proposta por Barbosa Filho et al. (2008; 2009), a instalação de uma área de referência na lavoura onde se pretende manejar a adubação nitrogenada, mediante o monitoramento com o clorofilômetro. A dose a ser aplicada na área de referência deve ser alta, maior que a máxima recomendada para a cultura, para permitir o desenvolvimento da concentração máxima de clorofila nas folhas (MURDOCK et al., 1997), devendo estar entre 1,8 e 2,0 vezes a dose recomendada para a cultura (HUSSAIN et al., 2000). Para facilitar este manejo, é calculado um índice de suficiência de N (ISN) pela relação entre a medida do clorofilômetro (IRC) nas folhas das plantas da lavoura e nas folhas das plantas da área de referência (sem deficiência de N).

Na cultura do feijão cultivado na safra “das águas”, Barbosa Filho et al. (2008) verificaram que o manejo da adubação nitrogenada de cobertura, baseado em leituras do IRC a partir de 28 DAE e adotando o valor de 90% do ISN como critério para aplicar N, proporcionou maior eficiência de utilização do N aplicado, em relação ao tratamento que recebeu a dose recomendada. Contudo, estes autores obtiveram, no tratamento onde o N foi manejado com auxílio do clorofilômetro, produtividade significativamente menor que no tratamento referência (sem deficiência de N). Dois aspectos podem estar relacionados com a menor produtividade obtida no tratamento onde o N foi manejado com o auxílio do clorofilômetro: a) o valor de 90% do ISN pode ter sido baixo, fazendo com que não fosse indicada aplicação suplementar de N mesmo com as plantas em estado de deficiência do nutriente e, b) o início do monitoramento do IRC aos 28 DAE pode ter sido tardio, fazendo com que as plantas permanecessem sob condição de deficiência de N durante a fase em que é definido parte do seu potencial produtivo e, conseqüentemente, não se recuperando, mesmo com a aplicação de N suplementar a partir desse período.

Na cultura do arroz, Hussain et al. (2000) verificaram que o uso do ISN de 90% para indicar a necessidade de aplicação de N em cobertura proporcionou produtividade semelhante à parcela referência. Na cultura do milho, segundo Varvel et al.

(1997), se o ISN for menor que 90% no estágio de oito folhas a deficiência de N não pode ser corrigida com a adubação de cobertura a ponto de maximizar a produtividade. Já para Jemison e Lytle (1996), ISN abaixo de 93% indicam situações de deficiência de N na cultura do milho. Blackmer e Schepers (1994), Peterson et al., (1993), Piekielek et al. (1997) e Varvel et al. (1997) utilizaram o índice de suficiência igual a 95% para prever a deficiência de N no milho.

Silveira et al. (2003) observaram que cultivares de feijão apresentam diferenças na intensidade da cor verde da folha medida pelo clorofilômetro, na mesma idade. Assim, um aspecto que deve ser considerado no uso do clorofilômetro para prever a necessidade de N, é qual o cultivar que está sendo utilizado, já que as respostas em termos de intensidade da cor verde da folha também pode ser diferente entre cultivares.

Tendo conhecimento da importância da adubação com N na cultura do feijão, por ser o N o elemento mais requerido pela planta, justifica-se a iniciativa e o esforço de avaliar técnicas que facilitem o manejo desse nutriente, como o uso do clorofilômetro para avaliar o estado nutricional de N e indicar o momento de aplicação de N no feijoeiro, resultando no aumento da produtividade e na conservação ambiental.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Localização e caracterização edafoclimática da área experimental

O presente trabalho foi constituído de um experimento conduzido durante as safras “das águas” e “da seca”, do ano agrícola de 2009/2010, na Fazenda Experimental Lageado, pertencente à Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, Campus de Botucatu, localizada no município de Botucatu-SP, latitude 22° 51’S, longitude 48° 26’W e altitude de 740 m.

Segundo a classificação climática de Köeppen, o clima predominante na região é do tipo Cwa, caracterizado pelo clima tropical de altitude, com inverno seco e verão quente e chuvoso (LOMBARDI NETO e DRUGOWICH, 1994). Na Figura 1 estão contidos os dados de precipitação pluvial, temperaturas máxima e mínima, registrados na Estação Meteorológica da Fazenda Experimental Lageado, pertencente ao Departamento de Recursos Naturais – Setor de Climatologia, durante o período de condução do experimento.

Mediante levantamento detalhado realizado por Carvalho et al. (1983) e utilizando-se o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 1999), o solo da área experimental foi classificado como Nitossolo Vermelho distroférico.

Antes da instalação do experimento, em cada safra de cultivo, foram coletadas amostras de solo na camada de 0 a 0,20 m de profundidade, para a análise química conforme Raij et al. (2001), cujos resultados estão apresentados na Tabela 1.

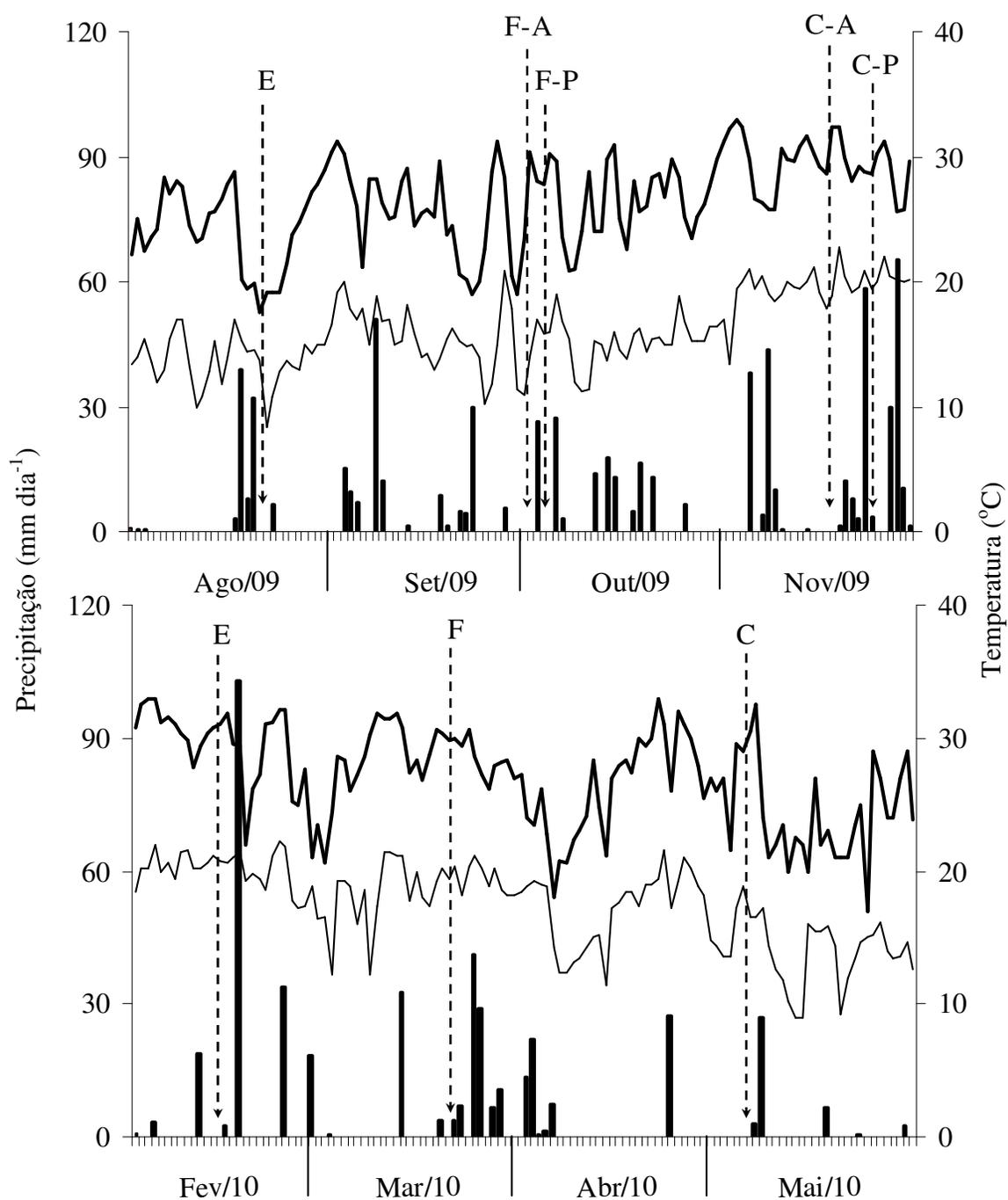


Figura 1. Precipitação pluvial (■), temperaturas máximas (—) e mínimas (—) registradas na área experimental durante os períodos de agosto a novembro de 2009 e de fevereiro a maio de 2010, bem como, as datas de emergência (E), florescimento do cultivar IAC Alvorada (F-A) e do cultivar Pérola (F-P), e colheita do cultivar IAC Alvorada (C-A) e do cultivar Pérola (C-P).

Tabela 1. Atributos químicos do solo, na profundidade de 0 a 0,20 m, antes da instalação do experimento nas safras “das águas” e “da seca”.

Safra	pH (CaCl ₂)	M.O. (g dm ⁻³)	P (resina) (mg dm ⁻³)	H+Al	K	Ca	Mg	CTC	V
				————— (mmol _c dm ⁻³) —————					(%)
Águas	4,7	27	61	53	3,3	24	10	90	41
Seca	5,0	30	32	73	2,2	30	17	98	50

5.2. Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema de parcela subdividida, com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por dois cultivares de feijão (IAC Alvorada e Pérola) e as subparcelas por seis manejos de N (**M1**: 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 80 kg ha⁻¹ aos 15 DAE + 80 kg ha⁻¹ aos 30 DAE; **M2**: 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 40 kg ha⁻¹ aos 15 DAE + 40 kg ha⁻¹ aos 30 DAE; **M3**: 10 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 20 kg ha⁻¹ aos 15 DAE + 20 kg ha⁻¹ aos 30 DAE; **M4**: 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicassem ISN <95%; **M5**: 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicassem ISN <90% e, **M6**: testemunha (sem aplicação de N)).

Cada unidade experimental foi constituída por oito fileiras de plantas espaçadas 0,45 m com 6 m de comprimento. Para as avaliações foram consideradas as quatro linhas centrais desprezando 0,5 m na extremidade de cada fileira de plantas e uma fileira de cada lado da unidade experimental.

O cálculo do ISN foi obtido através da relação das medidas dos valores das leituras do clorofilômetro (SPAD-502) em cada parcela (LA) e na parcela referência (LR) pela equação 1.

$$\text{ISN (\%)} = (\text{LA} / \text{LR}) \times 100 \dots\dots\dots (\text{Eq. 1})$$

Quando o ISN foi maior ou igual a 90% ou 95%, dependendo do tratamento (manejo), não foi aplicado N em cobertura e quando o ISN foi menor que 90% ou

95% aplicaram-se as doses anteriormente citadas, nas suas respectivas parcelas, aproximadamente 24 horas após a determinação do IRC.

Consideraram-se como áreas de referências as parcelas do tratamento M1 que receberam uma dose de 200 kg ha⁻¹ de N, sendo aplicados 40 kg ha⁻¹ de N na semeadura, 80 kg ha⁻¹ aos 15 dias após a emergência e 80 kg ha⁻¹ aos 30 dias após a emergência. A fonte de N utilizada nas aplicações em semeadura e cobertura foi o nitrato de amônio.

5.3. Caracterização dos cultivares de feijoeiro

Cultivar IAC Alvorada

O cultivar IAC Alvorada é originário do cruzamento realizado no Instituto Agronômico, em Campinas (SP) em 1996, entre os genótipos {(IAC Carioca Pyatã x A686) x [(IAC Maravilha x G2338) x (IAC Maravilha x And277)]}x L317-1. Apresenta um porte semi-ereto (tipo III), com resistência moderada à antracnose, grãos tipo carioca e de alta qualidade, ciclo médio da emergência à maturação fisiológica de 92 dias com vagens amarelo-palha, teor médio de 22% de proteína e massa de 100 sementes de aproximadamente 28 g (IAC, 2009).

Cultivar Pérola

O cultivar de feijão Pérola é proveniente de trabalho de seleção de linhas puras do cultivar Aporé, realizado pela Embrapa Arroz e Feijão. As características da planta são: hábito de crescimento indeterminado (entre os tipos II e III); porte semi-ereto; ciclo médio da emergência à maturação fisiológica de 95 dias; média de 46 dias para floração; flor branca; vagem verde, levemente rosada, na maturação; e vagem amarelo-areia na colheita. Classificado no grupo comercial carioca, o grão do cultivar Pérola é de cor bege-clara, com rajas marrom-claras, brilho opaco e massa de 100 sementes de aproximadamente 27 g. É resistente à ferrugem, ao mosaico comum e a uma raça de antracnose. Apresenta também resistência intermediária à murcha de fusário e à mancha angular (YOKOYAMA et al., 1999).

5.4. Condução do experimento em campo

Safra “das águas”

A instalação do experimento foi realizada em sistema plantio direto, ou seja, sem preparo convencional do solo, em área anteriormente ocupada pela sucessão milho/aveia branca/milho. O manejo da área foi realizado aproximadamente 15 dias antes da semeadura do feijão, com a utilização de herbicida glyphosate na dose de 1.440 g ha^{-1} do ingrediente ativo (i.a.). A semeadura foi realizada no dia 12/08/2009, com uma semeadora-adubadora tratorizada modelo Personale DRILL-13, marca Semeato, regulada com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e 16 sementes por metro. As sementes foram tratadas com o fungicida carboxin + tiram ($60 + 60 \text{ g}$ do i.a por 100 kg de sementes), com o inseticida tiametoxam (140 g do i.a. por 100 kg de semente) e cobalto + molibdênio ($4,5 + 45 \text{ g}$ por 100 kg de sementes). A adubação básica de semeadura constou da aplicação, em todos os tratamentos, de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 40 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio), seguindo as recomendações de Ambrosano et al. (1997). A quantidade de N aplicada em semeadura foi de acordo com os tratamentos. A emergência das plântulas ocorreu em 22/08/2009 (10 DAS (dias após a semeadura)).

A primeira aplicação do N em cobertura foi realizada aos 15 DAE para os seguintes manejos de N: M1, M2, M3 e M4 (ISN < 95%), nos dois cultivares, quando as plantas de feijão encontravam-se no estágio V_3 (primeira folha trifoliolada totalmente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986). O manejo M5, não apresentou deficiência de N, ou seja, o ISN foi maior que 90% do observado no tratamento referência, não necessitando de adubação de cobertura. Aos 22 DAE quando as plantas de feijão se encontravam no estágio V_4 (terceira folha trifoliolada totalmente expandida), foi aplicada cobertura de N nos dois cultivares de feijão, de acordo com o ISN < 95% para o manejo M4 e INS < 90% para o manejo M5. Aos 30 DAE, foi aplicada a segunda dose de N em cobertura para os manejos M1, M2 e M3, época na qual as plantas encontravam-se no estágio $V_{4.5}$ (quinta folha trifoliolada totalmente expandida). Aos 43 DAE foi realizada adubação de cobertura para o manejo M4, que apresentou ISN < 95%, nos dois cultivares de feijão. Nessa época as plantas encontravam-se no estágio R_6 (florescimento pleno). Assim, para ambos os cultivares, no manejo M4 foi aplicado um total de 110 kg ha^{-1} de N e no manejo M5 50 kg ha^{-1} de N (Tabela 2).

Tabela 2. Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e cultivar, na safra “das águas”.

Manejo do N	Épocas de aplicação em cobertura (DAE)	Total de N aplicado (kg ha ⁻¹)
IAC Alvorada		
M1	15 e 30	200
M2	15 e 30	100
M3	15 e 30	50
M4	15, 23 e 44	110
M5	23	50
M6	-	0
Pérola		
M1	15 e 30	200
M2	15 e 30	100
M3	15 e 30	50
M4	15, 23 e 44	110
M5	23	50
M6	-	0

DAE: dias após a emergência.

Para o controle de plantas daninhas foram realizadas aplicações dos herbicidas fluazifope-p-butílico + fomezafem (120 + 150 g ha⁻¹ do i.a.), nos dias 01 e 08/09/2009 e bentazon (550 g ha⁻¹ do i.a.) no dia 22/09/2009. Para o controle de pragas foram realizadas aplicações dos inseticidas metamidofós (600 g ha⁻¹ do i.a.), nos dias 01 e 08/09/2009 e tiametoxam + lambda-cialotrina (14,1 + 10,6 g ha⁻¹ do i.a.), no dia 25/09/2009. Para o controle de doenças foram utilizados os fungicidas propiconazol + trifloxitrobina (75 + 75 g ha⁻¹ do i.a.), no dia 08/09/2009 e azoxistrobina (50 g ha⁻¹ do i.a.) no dia 25/09/2009.

Quanto ao atendimento das exigências de água pela cultura, utilizou-se irrigação complementar de acordo com a fase e necessidade hídrica, pelo sistema convencional por aspersão.

O florescimento pleno do cultivar IAC Alvorada ocorreu no dia 02/10/2009 (42 DAE) e, para o cultivar Pérola, no dia 05/10/2009 (44 DAE).

A colheita dos grãos foi realizada manualmente, no dia 17/11/2009 para o cultivar IAC Alvorada, totalizando um ciclo de 87 dias e, no dia 23/11/2009 para o cultivar Pérola, totalizando um ciclo de 93 dias.

Safra “da seca”

O experimento foi instalado em área distinta da safra “das águas”, anteriormente ocupada pela sucessão milho/aveia preta/milheto, em sistema plantio direto, diferente da safra “das águas”. O manejo da área foi realizado aproximadamente 15 dias antes da semeadura do feijão, com a utilização de herbicida glyphosate na dose de 1.440 g ha^{-1} do i.a. A semeadura foi realizada no dia 09/02/2010, com uma semeadora-adubadora tratorizada modelo Personale DRILL-13, marca Semeato, regulada com espaçamento de 0,45 m entre fileiras e 16 sementes por metro linear. As sementes foram tratadas com o fungicida carboxin + tiram ($60 + 60 \text{ g}$ do i.a por 100 kg de sementes), com o inseticida tiametoxam (140 g do i.a. por 100 kg de semente) e cobalto + molibdênio ($4,5 + 45 \text{ g}$ por 100 kg de sementes). A adubação básica de semeadura constou da aplicação, em todos os tratamentos, de 40 kg ha^{-1} de P_2O_5 (superfosfato simples) e 40 kg ha^{-1} de K_2O (cloreto de potássio), seguindo as recomendações de Ambrosano et al. (1997). A quantidade de N aplicada em semeadura foi de acordo com os tratamentos. A emergência das plântulas ocorreu em 15/02/2010 (6 DAS).

A primeira aplicação do N em cobertura foi realizada aos 15 DAE para os seguintes manejos de N: M1, M2, M3 nos dois cultivares, e M4 (ISN < 95%) apenas no cultivar Pérola, quando as plantas de feijão encontravam-se no estágio V_3 (primeira folha trifoliolada totalmente expandida) (FERNANDEZ et al., 1986). Nessa época de avaliação, o manejo M5 não apresentou deficiência de N (ISN < 90%), não necessitando de adubação de cobertura, nos dois cultivares. Aos 30 DAE, foi aplicada a segunda dose de N em cobertura para os manejos M1, M2 e M3, na qual, as plantas de feijão encontravam-se no estágio R_5 (emissão dos botões florais). E aos 37 DAE foi realizada adubação de cobertura para o manejo M4 apresentando ISN < 95%, nos dois cultivares de feijão, quando as plantas encontravam-se no estágio R_6 (florescimento pleno). Assim, para o cultivar IAC Alvorada, o manejo M4 proporcionou a aplicação de 50 kg ha^{-1} de N, ou seja, 20 kg ha^{-1} na semeadura e 30 kg ha^{-1} em cobertura (37 DAE), já o manejo M5 permitiu a condução desse cultivar sem a necessidade de aplicação de N em cobertura (Tabela 3). No caso do cultivar Pérola, no manejo M4 foi necessária a aplicação de um total de 80 kg ha^{-1} de N e no manejo M5 não foi necessária a aplicação de N em cobertura.

Tabela 3. Épocas de aplicação e total de N aplicado em cada manejo e cultivar, na safra “da seca”.

Manejo do N	Épocas de aplicação em cobertura		Total de N aplicado (kg ha ⁻¹)
	(DAE)		
	IAC Alvorada		
M1	15 e 30		200
M2	15 e 30		100
M3	15 e 30		50
M4	37		50
M5	-		20
M6	-		0
	Pérola		
M1	15 e 30		200
M2	15 e 30		100
M3	15 e 30		50
M4	15 e 37		80
M5	-		20
M6	-		0

DAE: dias após a emergência.

Para o controle de plantas daninhas foi realizada a aplicação do herbicida fluazifope-p-butílico + fomezafem (120 + 150 g ha⁻¹ do i.a.) no dia 03/03/2010. Para o controle de pragas foram realizadas aplicações dos inseticidas metamidofós (600 g ha⁻¹ do i.a.), nos dias 03/03/2010 e 16/04/2010, e deltametrina (25g L⁻¹ do i.a.), no dia 26/03/2010. Para o controle de doenças foram utilizados os fungicidas propiconazol+trifloxitrobina (75 + 75 g ha⁻¹ do i.a.), no dia 03/03/2010 e azoxistrobina (50 g ha⁻¹ do i.a.) nos dias 26/03/2010 e 16/04/2010.

Quanto ao atendimento das exigências de água pela cultura, utilizou-se irrigação complementar de acordo com sua fase e necessidade hídrica, pelo sistema convencional por aspersão.

O florescimento pleno dos cultivares IAC Alvorada e Pérola ocorreu no dia 22/03/2010 (36 DAE). A colheita de ambos os cultivares foram realizadas manualmente no dia 08/05/2010, totalizando um ciclo de 82 dias.

5.5. Avaliações realizadas

5.5.1. Índice Relativo de Clorofila (IRC)

O IRC foi determinado utilizando um clorofilômetro portátil, modelo SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) da Minolta Co., Osaka, Japão (1989).

O aparelho possui duas LEDs (diodo emissor de luz) posicionadas na ponta do medidor que emitem luz na faixa do 600-700 nm (pico em 650 nm) e na faixa de 860 a 1060 (pico em 940 nm) em seqüência quando o medidor está fechado. A luz vinda destas LEDs passa pela janela de emissão, parte passa através da folha, parte é absorvida e parte é refletida. A luz que passa pela folha entra na janela de recepção constituída por um SPD (Fotodiodo de silicone) e é convertida em sinais elétricos, amplificados, convertidos de sinais analógicos para digitais e processados dando o valor lido em uma unidade denominada SPAD pela empresa como homenagem ao departamento que inventou o aparelho. A precisão do aparelho é de uma unidade SPAD para valores entre 0 e 50 unidades SPAD.

Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura (“reading checker”) de acordo com as recomendações do manual. Foi tomado o cuidado de não amostrar plantas não sadias (com ataque de pragas e ocorrência de doenças) e atípicas (fora de espaçamento).

As determinações do IRC foram realizadas no período da manhã sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar. As leituras foram iniciadas aos 15 DAE e, a partir desta data, foram tomadas, semanalmente, amostrando-se cinco plantas por unidade experimental, sendo que em cada planta foram realizadas duas leituras por trifólio da última folha trifoliolada completamente desenvolvida, em todo o limbo, exceto nervuras, somando assim, 30 leituras por parcela.

5.5.2. Análise do teor de nitrogênio na folha

Após a determinação do IRC, as folhas amostradas foram imediatamente coletadas, submetidas à lavagem com água destilada, acondicionadas em sacos de papel e levadas à estufa para secagem e posteriormente moídas para análise do teor de N

total, conforme metodologia descrita por Malavolta et al. (1997), para verificar a influência do manejo da adubação nitrogenada no teor de N e estabelecer correlações entre o teor de N foliar e os índices relativos de clorofila (leituras do clorofilômetro SPAD-502).

5.5.3. Massa de matéria seca da parte aérea

Esta avaliação foi realizada por ocasião do florescimento (R_6), coletando-se oito plantas sequenciais por unidade experimental, submetidas à lavagem com água destilada, sendo posteriormente colocadas para secagem em estufa de ventilação forçada de ar a 60-70 °C, por 72 horas, e posterior pesagem.

5.5.4. Teor e quantidade acumulada de nitrogênio na parte aérea

O material utilizado para determinação da matéria seca foi submetido à análise para determinação dos teores de N, segundo os métodos descritos por Malavolta et al. (1997). De posse desses resultados, foram estimadas as quantidades de N absorvidas por área, de acordo com os tratamentos, mediante a contagem do número de plantas em 3 m de duas linhas da área útil de cada unidade experimental.

5.5.5. Componentes da produção

- População final de plantas

A determinação da população final foi realizada na véspera da colheita, considerando duas fileiras dentro da área útil com comprimento de 3 m em cada unidade experimental, sendo os resultados convertidos em plantas ha^{-1} .

- Número de vagens por planta

Foi determinado mediante a contagem do número total de vagens com pelo menos um grão por planta, avaliado em 10 plantas coletadas dentro da área útil de cada área experimental.

- Número de grãos por vagem

Foi determinado mediante a relação entre número total de grãos e o número total de vagens, avaliados em 10 plantas coletadas dentro da área útil de cada área experimental.

- Massa de 100 grãos (g)

Foi determinada mediante a pesagem de quatro amostras, de 100 grãos cada uma, em cada unidade experimental. Os dados obtidos foram corrigidos para 13% de umidade (base úmida).

5.5.6. Produtividade de grãos

Para esta avaliação foram colhidas, manualmente, as plantas contidas em duas fileiras de 3 m de comprimento na área útil de cada unidade experimental. As plantas, após serem arrancadas, foram secadas ao sol e, posteriormente trilhadas mecanicamente. Os grãos, após abanação, foram pesados e posteriormente foi calculada a produtividade em kg ha^{-1} , corrigida para 13% de umidade (base úmida).

5.5.7. Produtividade relativa

Foi calculada definindo-se a porcentagem de aumento da média de produtividade de grãos em cada manejo do N em relação à média da testemunha (sem aplicação de N).

5.5.8. Eficiência de utilização do nitrogênio aplicado

Foi determinada mediante a relação kg ha^{-1} da produtividade incrementada / kg ha^{-1} de N aplicado em cada tratamento, em relação à testemunha (sem aplicação de N).

5.5.9. Teor de proteína bruta nos grãos

Uma amostra de grãos de cada unidade experimental foi seca em estufa com circulação forçada de ar a 45 °C, durante 24 h. Em seguida, os grãos foram moídos e submetidos à análise para determinação do teor de N, segundo Malavolta et al. (1997). O teor de proteína foi determinado mediante a multiplicação do teor de N pelo índice 6,25 (AOAC, 1990).

5.5.10. Produtividade de proteína

Com a multiplicação do teor de proteína bruta pelo valor de produtividade de grãos (em massa de matéria seca) da unidade experimental correspondente, obteve-se a produtividade de proteína, em kg ha⁻¹.

5.6. Análise estatística

Os dados obtidos em cada safra foram submetidos à análise de variância pelo teste F. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Foram estabelecidas correlações lineares como medida de dependência entre a leitura do clorofilômetro, teor de N na folha, teor de N na planta, massa de matéria seca na parte aérea, quantidade de N acumulada na parte aérea, produtividade de grãos e o teor de proteína nos grãos. Para verificar a significância do coeficiente de correlação utilizou-se o teste t.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Safra “das águas”

Os IRC dos cultivares IAC Alvorada e Pérola foram crescentes com o tempo, se estabilizando a partir dos 50 DAE, época em que a cultura se encontrava no estágio R₇ (Figura 2A e 2B). Isso pode indicar que após o início de formação das vagens (R₇) o teor de clorofila nas folhas do feijoeiro fica estável até o início de enchimento dos grãos (R₈). Silveira et al. (2003) verificaram nas folhas do cultivar Pérola valores de IRC crescentes até o estágio R₆ (florescimento pleno). Barbosa Filho et al. (2008; 2009) relataram que após o florescimento pleno as diferenças na coloração da folhas do feijoeiro, em função de doses de N foram pequenas, tornando o uso do clorofilômetro inadequado para indicar a necessidade da aplicação de adubação nitrogenada em cobertura a partir desta fase.

Na fase inicial de crescimento dos cultivares IAC Alvorada e Pérola, observou-se que os valores dos IRC do tratamento sem aplicação de N (M6) encontravam-se abaixo das leituras obtidas nas parcelas adubadas, porém, a partir dos 50 DAE, as plantas do M6 apresentaram valores de IRC muito próximos das leituras observadas nas parcelas adubadas com N (Figura 2A e 2B). Esse resultado pode ser explicado pela liberação de N decorrente da mineralização dos resíduos vegetais dos cultivos anteriores de aveia branca e milho ou pela fixação simbiótica do N₂. Além disso, como as leituras de IRC sempre foram realizadas na última folha trifoliolada totalmente expandida, com o passar do tempo pode ter ocorrido redistribuição do N das folhas mais velhas para as mais novas, já que o mesmo é

móvel na planta (MALAVOLTA et al., 1997), levando à redução na diferença entre os IRC no manejo M6 e os manejos que receberam N. Barbosa Filho et al. (2008) observaram que, a partir do florescimento, as plantas de feijão do tratamento testemunha (sem aplicação de N) apresentavam tonalidade verde mais intenso, resultando em valores de IRC muito próximos das leituras observadas nas parcelas adubadas com N e relataram que o fato de as plantas tornarem-se mais verdes com o tempo, em função da mineralização do N contido nos resíduos vegetais, é indicativo de que os IRC podem ser afetados, em função da quantidade e da qualidade dos resíduos vegetais antecedentes.

De maneira geral, o cultivar Pérola apresentou maiores valores de IRC que o cultivar IAC Alvorada (Figura 2A e 2B). O cultivar Pérola possui as folhas com um verde mais escuro e mais espessas quando comparado com o IAC Alvorada. Para Busato (2007), além da disponibilidade do N, o fator cultivar pode influenciar o teor de clorofila da planta, pois, as folhas de um dado cultivar tendem a ter algumas características próprias, como espessura, conteúdo de pigmentos e estrutura interna que são funções das diferenças morfofisiológicas entre os cultivares, que podem influenciar as propriedades espectrais das folhas (leituras SPAD) (MINOTTI et al., 1994).

Na avaliação realizada aos 15 DAE, no manejo M4, no qual a aplicação de N foi realizada mediante o monitoramento com o clorofilômetro (ISN < 95%), foram obtidos valores de ISN de 93% e 89% para os cultivares IAC Alvorada e Pérola, respectivamente (Figura 3A e 3B), indicando a necessidade da primeira cobertura, em ambos os cultivares. O manejo M5, baseado no ISN de 90%, não apresentou índice abaixo do limite mínimo definido, não necessitando de aplicação do N em cobertura. No tratamento testemunha (M6) foram observados os menores valores de IRC e ISN para ambos os cultivares, indicando que as doses de N aplicadas na semeadura influenciaram os valores desses índices já na primeira avaliação, quando as plantas apresentavam a primeira folha trifoliolada totalmente expandida (Figuras 2 e 3). Nos manejos M2 e M3, os valores de IRC e ISN foram intermediários. Destaca-se também que as diferenças nos valores de IRC e ISN na primeira avaliação foram bem maiores no cultivar Pérola do que no IAC Alvorada, o que pode estar relacionada com a exigência inicial do cultivar à disponibilidade de N no solo.

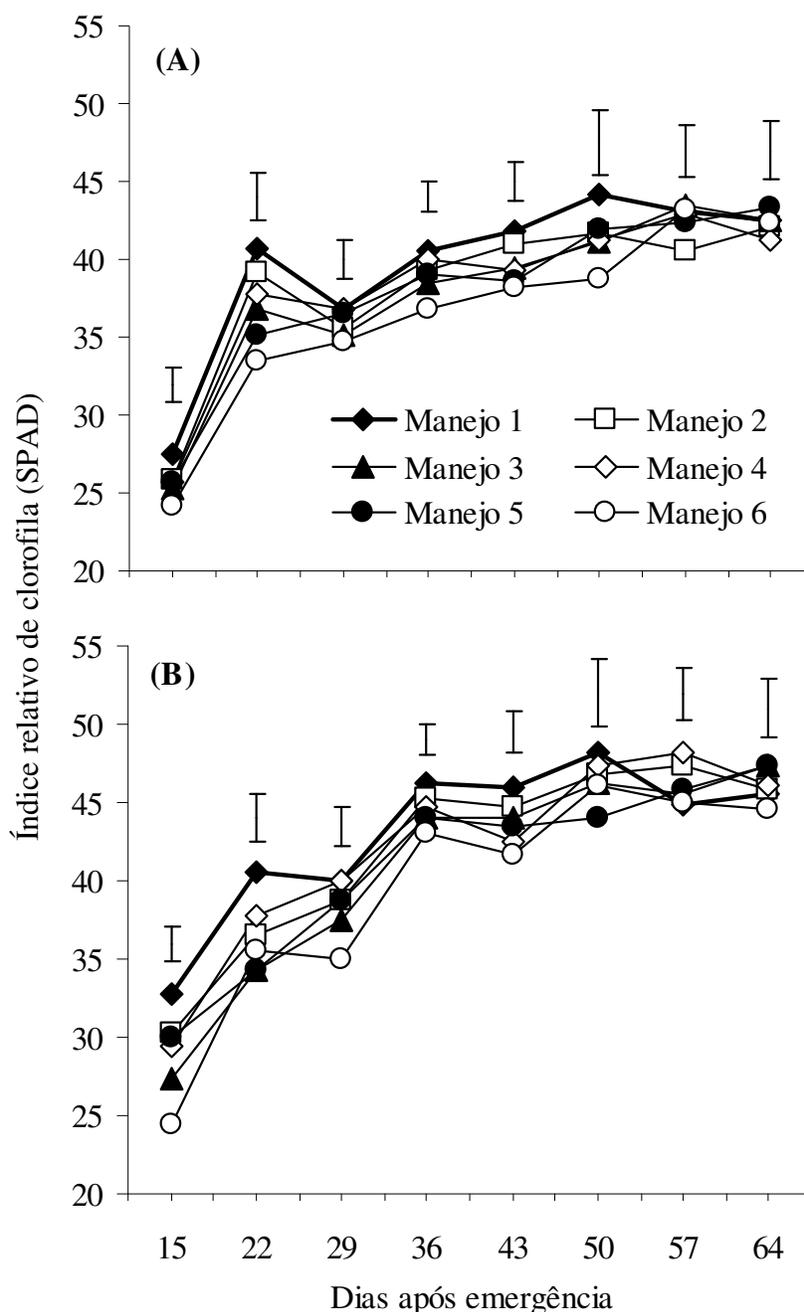


Figura 2. Índice relativo de clorofila nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “das águas”. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N. Barras verticais são indicativas do valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

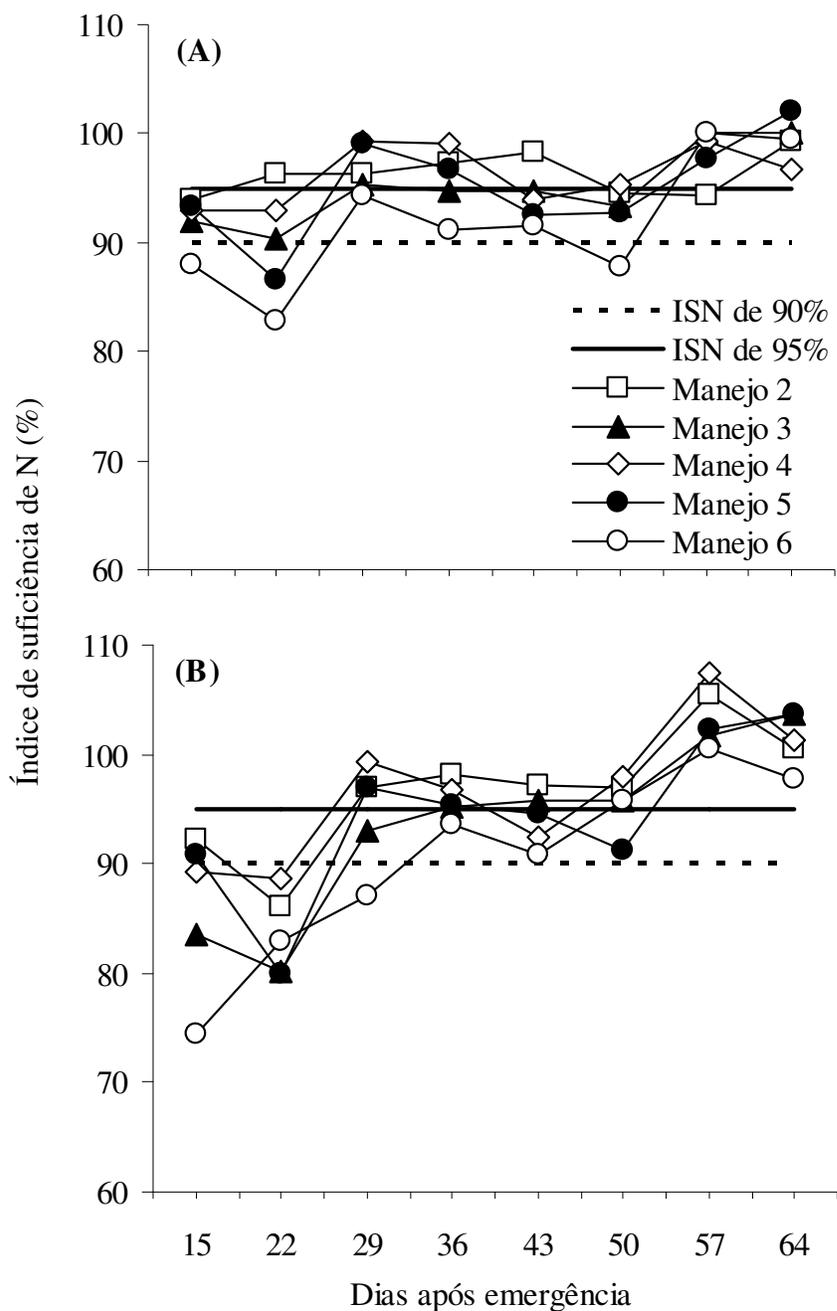


Figura 3. Índice de suficiência de N determinado nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “das águas”. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

Aos 22 DAE, foram observados valores de IRC superiores os observados aos 15 DAE em todos os tratamentos (Figura 2). O cultivar IAC Alvorada apresentou valores de ISN de 93% e 86%, nos tratamentos M4 e M5, respectivamente (Figura 3A). Já o cultivar Pérola, apresentou valores de ISN de 89 e 80% para os tratamentos M4 e M5, respectivamente (Figura 3B). Esses valores indicaram a necessidade da aplicação de cobertura com N, época em que foram aplicados os 30 kg ha⁻¹ de N nos dois manejos de ambos os cultivares.

Aos 29 e 36 DAE, os valores de IRC verificados no tratamento referência (M1) foram semelhantes aos observados nos demais manejos com aplicação de N (M2, M3, M4 e M5), para os dois cultivares (Figuras 2). Assim, os valores de ISN dos tratamentos M4 e M5 foram maiores que os índices pré-estabelecidos para cada um desses tratamentos (M4=95% e M5=90%), dispensando a adubação em cobertura nestas datas em ambos os cultivares (Figura 3A e 3B).

Com 43 DAE, foram constatados valores de ISN de 94% para o cultivar IAC Alvorada e de 93% para o cultivar Pérola no manejo M4 (ISN<95%), indicando a necessidade da aplicação de N, nos dois cultivares, época em que foram aplicados os 30 kg ha⁻¹ de N (Figura 3A e 3B). No manejo M5 (ISN<90%) os valores de ISN, observado nos dois cultivares, estavam acima do valor definido como limite mínimo para não aplicação de N em cobertura.

Os ISN calculados a partir dos 50 DAE para os manejos M4 e M5 não apresentaram valores abaixo dos estabelecidos como indicativo de necessidade de aplicação de N em cobertura nos cultivares em estudo (Figuras 3A e 3B), resultado explicado pela estabilização dos IRC a partir dos 50 DAE, ou seja, as diferenças nos valores de IRC entre os tratamentos, foram pequenas (Figuras 2A e 2B). Ressalta-se também que a partir de 50 DAE os valores de ISN de todos os tratamentos, inclusive da testemunha (M6) ficaram acima de 90% do observado no tratamento referência (M1). Esses resultados são indicativos de que com o passar do tempo deve ter aumentado a disponibilidade de N para as plantas de feijão, mesmo nas parcelas sem aplicação de N mineral, o que pode ter ocorrido em função da liberação do elemento decorrente da mineralização dos resíduos vegetais deixados na superfície do mesmo, ou pelo processo de fixação simbiótica de N₂, proporcionado por espécies nativas de *Rhizobium*, e, além disso, como as leituras dos IRC foram sempre realizadas na última folha

trifoliolada totalmente expandida, com o passar do tempo pode ter ocorrido redistribuição do N das folhas mais velhas para as mais novas, já que o mesmo é móvel na planta (MALAVOLTA et al., 1997), levando à redução na diferença entre os IRC de todos os tratamentos. Barbosa Filho et al. (2008) também observaram que, a partir do florescimento, as plantas de feijão do tratamento testemunha (sem aplicação de N) apresentavam tonalidade verde mais intenso, resultando em valores de IRC muito próximos das leituras obtidas nas parcelas adubadas com N e relacionaram o fato com a mineralização do N contido nos resíduos vegetais.

O teor de N foliar do cultivar IAC Alvorada no tratamento M1 (referência) apresentou acréscimos até 29 DAE, época em que o teor foliar determinado foi máximo e correspondente ao estágio V_{4.5} do cultivar, decrescendo a partir dessa época (Figura 4A). Os demais manejos apresentaram teores crescentes com o tempo, sendo que, os teores máximos foram observados aos 36 DAE, época correspondente ao início da fase reprodutiva (R₅), decrescendo a partir dessa data. Isto pode indicar que os teores máximos de N nas folhas do cultivar IAC Alvorada, durante a safra “das águas”, ocorreu durante a fase vegetativa. A diminuição do teor de N foliar a partir do início da fase reprodutiva pode indicar um efeito de diluição, que nessa fase ocorre grande acúmulo de matéria seca pelas plantas e/ou que o N é mobilizado das folhas para estruturas reprodutivas, uma vez que, a planta prioriza as suas sementes como forma de sobrevivência da espécie, diminuindo a sua concentração nas folhas. Reis et al., (2010) relataram que os estádios V₃ e V₄, são os de maior demanda em N pelo feijoeiro que, posteriormente é utilizado para a formação das vagens e dos grãos. Para Gallo e Miyasaka (1961), a absorção máxima de N pelo feijão ocorre no período entre 33 e 44 dias da cultura, época que corresponde ao final do período vegetativo e início do florescimento da cultura.

No caso do cultivar Pérola, o teor de N foliar no manejo M1 se manteve praticamente constante durante as avaliações iniciais e decresceram em todos os tratamentos após os 43 DAE (Figura 4B). Nos demais tratamentos os teores de N variaram bastante com passar o tempo, especialmente com as aplicações de N nos manejos M2, M3, M4 e M5, porém, também decresceram a partir do início da fase reprodutiva, semelhante ao ocorrido com o cultivar IAC Alvorada (Figura 4A).

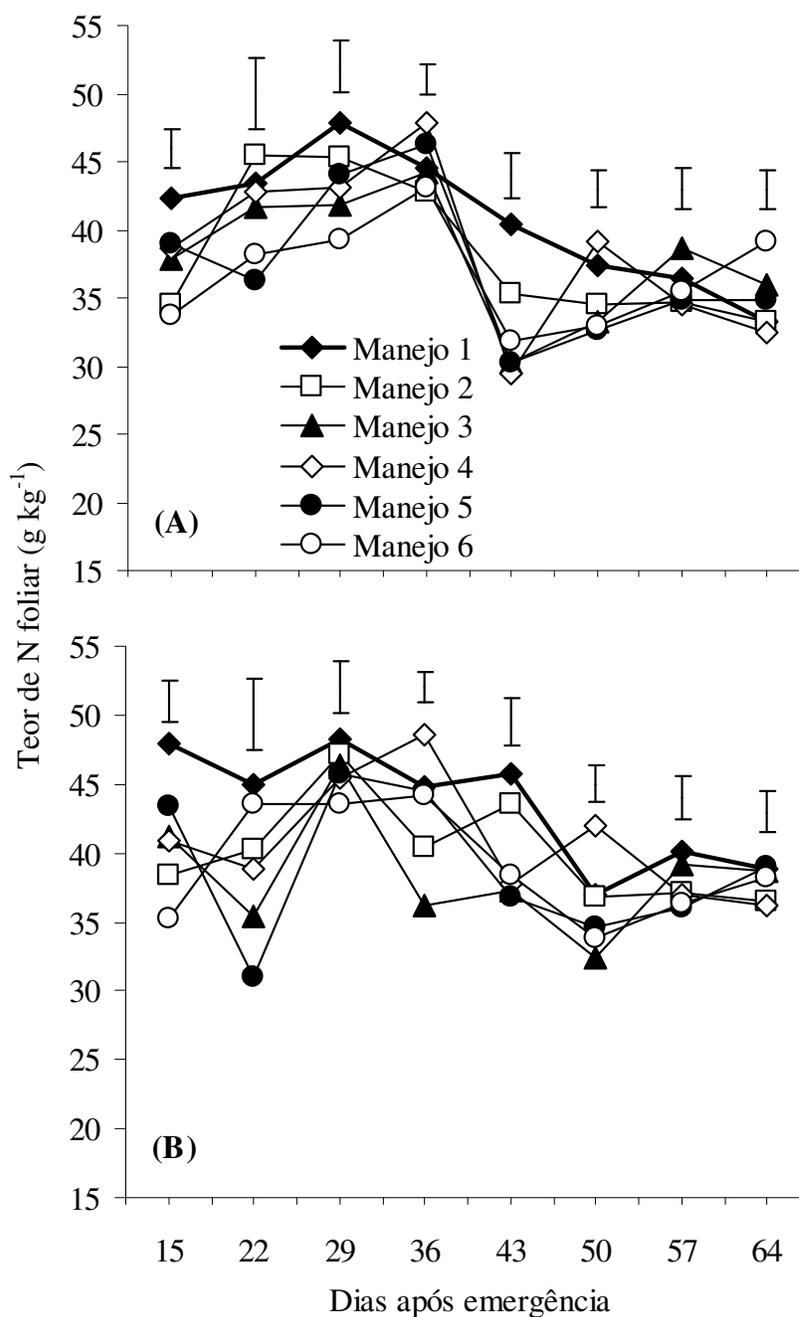


Figura 4. Teor de N nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “das águas”. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N. Barras verticais são indicativas do valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As aplicações de N em cobertura proporcionaram grandes variações nos teores de N foliar, especialmente nos manejos M4 e M5 (Figuras 4A e 4B). Contudo, é importante ressaltar que os teores de N nas folhas das plantas do tratamento testemunha (M6) em algumas épocas de avaliação estavam acima dos determinados em alguns tratamentos que haviam recebido N mineral, e praticamente iguais aos observados no tratamento referência (M1). Tais resultados estão relacionados a um provável efeito diluição, já que nos manejos que receberam N, a quantidade de matéria seca acumulada na parte aérea das plantas foi superior à da testemunha (Tabela 4).

O cultivar IAC Alvorada apresentou maiores valores de matéria seca acumulada na parte aérea (g planta^{-1}) nos manejos M1 e M4 (6,1 e 6,0 g planta^{-1} , respectivamente), porém, diferindo estatisticamente apenas do tratamento M6 (4,0 g planta^{-1}), sem aplicação de N (Tabela 4). A aplicação do adubo nitrogenado aumenta a disponibilidade de N no solo e, incrementa a absorção desse nutriente pelas raízes, aumentando assim a produção de matéria seca, uma vez que o nitrogênio tem influência direta na fotossíntese e crescimento da planta (SILVEIRA e DAMASCENO, 1993).

No caso do cultivar Pérola, assim com o IRC e o teor de N foliar nas fases iniciais de avaliação (Figuras 2 e 4), a quantidade de matéria seca na parte aérea foi influenciada de forma mais intensa pelos manejos de N que no cultivar IAC Alvorada (Tabela 4). Além disso, nesse cultivar o manejo M1 (referência) proporcionou maior produção de matéria seca que os tratamentos que receberam as menores doses de N (M3, M5 e M6). A matéria seca da parte aérea das plantas do tratamento referência (M1) foi 132% maior que das do tratamento sem aplicação de N (M6), enquanto no cultivar IAC Alvorada a diferença foi de apenas 55%. Os resultados são indicativos que o cultivar Pérola é mais exigente em N nos estádios iniciais de desenvolvimento que o IAC Alvorada, ou que nestes estádios o cultivar IAC Alvorada tem maior capacidade de crescer e acumular matéria seca com baixa disponibilidade de N que o Pérola.

Os manejos de N proporcionaram diferenças no teor de N nas folhas dos cultivares de feijão avaliado no florescimento pleno da cultura (Tabela 4). No cultivar IAC Alvorada, o maior teor de N foliar foi constatado no tratamento M1 (40,3 g kg^{-1}) que recebeu a maior dose de N, já os menores teores (aproximadamente 30,0 g kg^{-1}) ocorreram no tratamento testemunha (M6) e naqueles que receberam as menores doses de N (M3 e M5). No cultivar

Pérola, as doses de N, aplicadas nos tratamentos referência (M1) e M2, proporcionaram maior teor de N nas folhas que nos demais tratamentos. Contudo, em todos os manejos, nos dois cultivares, os teores estavam muito próximos ou dentro da faixa considerada como adequada (30-50 g kg⁻¹) para a cultura (AMBROSANO et al., 1997). Tal resultado pode ser explicado pela mineralização da palhada proveniente das culturas antecessoras ou pela fixação simbiótica de N₂, disponibilizando N suficiente para suprir as necessidades da cultura em época próxima ao início da fase reprodutiva.

Tabela 4. Matéria seca da parte aérea, teor de N foliar, teor de N na parte aérea e quantidade de N acumulada na parte aérea, no florescimento, em dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “das águas”.

Manejo do N	Matéria seca da parte aérea (g planta ⁻¹)	Teor de N foliar no florescimento (g kg ⁻¹)	Teor de N na parte aérea (g kg ⁻¹)	Quantidade de N acumulada (kg ha ⁻¹)
IAC Alvorada				
M1	6,1a	40,3a	42,5a	50,9a
M2	5,2ab	35,5b	37,6a	42,1ab
M3	4,8ab	30,5c	37,6a	37,8ab
M4	6,0a	32,0bc	33,9a	43,3ab
M5	4,3ab	30,0c	34,0a	30,6b
M6	4,0b	29,8c	33,3a	27,5b
Pérola				
M1	6,5a	45,7a	36,0a	58,7a
M2	4,9ab	43,6a	35,0a	40,6abc
M3	4,2bc	37,3b	35,5a	37,6bc
M4	4,8abc	37,7b	36,2a	46,7ab
M5	3,2bc	36,8b	32,5a	26,7c
M6	2,8c	38,3b	32,0a	23,5c
CV _{parcela} (%)	19,2	4,4	21,0	38,5
CV _{subparcela} (%)	24,6	5,3	13,1	18,0

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

Todavia, é importante destacar que, apesar de no estágio R_6 os teores de N nas folhas das plantas de todos os tratamentos estarem dentro da faixa considerada adequada por Ambrosano et al. (1997), a menor disponibilidade de N nas fases iniciais da cultura proporcionados por alguns tratamentos, acarretou em menores IRC, ISN, teor de N foliar (15 DAE) e, conseqüentemente, em menor crescimento vegetativo das plantas até o estágio R_6 (Tabela 4).

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de N na parte aérea de nenhum dos cultivares estudados, o que é decorrência de efeito diluição, já que os tratamentos com maior disponibilidade de N proporcionaram também maior acúmulo de matéria seca na parte aérea (Tabela 4). Alvarez et al. (2005) também verificaram que os teores de N na parte aérea do feijão cultivar Pérola, não foram influenciados com a aplicação da adubação nitrogenada em cobertura em sistema plantio direto.

A quantidade de N acumulado na parte aérea dos cultivares estudados foi influenciada pelos manejos de N (Tabela 4). Os menores valores foram observados nos manejos M6 e M5, porém, diferindo apenas do tratamento referência (M1), no cultivar IAC Alvorada, e dos manejos M1 e M4, no cultivar Pérola. Fica evidente que a maior disponibilidade de N, especialmente nos estádios iniciais da cultura, proporcionaram maior crescimento e absorção do nutriente pelas plantas. Soratto et al. (2001; 2006) também verificaram maior eficiência do N quando este foi aplicado nas fases iniciais da cultura do feijão comum.

A população final de plantas não foi influenciada pelos manejos de N em nenhum dos cultivares estudados (Tabela 5). Destaca-se que a maior dose utilizada na semeadura (40 kg ha^{-1}) não foi elevada, não influenciando o estabelecimento da cultura. Romanini Junior et al. (2007) e Binotti et al. (2010) também verificaram que a aplicação de N em cobertura em sistema plantio direto não influenciou a população final de plantas do feijoeiro.

Não houve diferenças significativas para o número de vagens por plantas nos cultivares IAC Alvorada e Pérola em função dos manejos de N aplicados (Tabela 5). Esses resultados corroboram Gomes Júnior et al. (2008) e Valderrama et al. (2009), que não obtiveram resposta quanto ao número de vagens por planta com a aplicação de N em cobertura no feijoeiro cultivar Pérola. Macedo et al. (2002) relataram que o número de vagens

por planta é uma característica bastante variável, podendo ser influenciada pelo ambiente de cultivo. Apesar das grandes diferenças na matéria seca da parte aérea das plantas no estágio R₆ proporcionadas pelos manejos do N, a ausência de efeito no número de vagens por planta pode ter sido devido a um efeito de compensação, ou seja, formação e pegamento de flores formadas mais tardiamente, já que ambos os cultivares possuem hábito de crescimento indeterminado (tipo II ou III). Para Gomes Júnior et al. (2008), a resposta ao uso do N sobre esta característica do feijoeiro cultivado em sistema de plantio direto ainda não se encontra plenamente esclarecida pela pesquisa.

Tabela 5. População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos de dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “das águas”.

Manejo do N	População final de plantas (plantas ha ⁻¹)	N ^o de vagens por planta (n ^o planta ⁻¹)	N ^o de grãos por vagem (n ^o vagem ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)
IAC Alvorada				
M1	194.629a	15,1a	4,2a	29,5a
M2	204.352a	13,4a	4,4a	30,0a
M3	213.241a	12,9a	4,0a	29,7a
M4	207.592a	14,5a	4,3a	28,6a
M5	207.129a	13,4a	4,3a	31,4a
M6	207.963a	12,2a	4,2a	30,6a
Pérola				
M1	228.703a	13,9a	4,5a	25,6a
M2	223.148a	12,9a	4,4a	24,7a
M3	223.148a	11,9a	4,5a	26,4a
M4	220.370a	13,5a	4,7a	23,8a
M5	226.852a	11,8a	4,4a	24,7a
M6	221.296a	9,8a	4,4a	24,4a
CV _{parcela} (%)	6,7	26,7	4,1	11,2
CV _{subparcela} (%)	5,0	15,9	6,6	6,0

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

O número de grãos por vagem também não foi influenciado significativamente pelos manejos de N nos dois cultivares (Tabela 5), provavelmente por ser uma característica varietal pouco influenciada pelo ambiente, de alta herdabilidade e, portanto mais relacionada com os cultivares analisados (ANDRADE et al., 1998), além disso, esta característica geralmente não apresenta correlação com a produtividade (BIZARI, et al., 2009). Soratto et al. (2004) também observaram que o número de grãos por vagem do feijoeiro IAC Carioca não foi influenciado pela aplicação de doses de N em cobertura e atribuíram esse resultado a alta herdabilidade genética desta característica.

A massa de 100 grãos não apresentou efeito dos manejos de N em ambos os cultivares (Tabela 5). Esses resultados encontram respaldo nos observados por Arf et al. (1999), que, trabalhando com doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão, em sistema plantio direto, verificaram que não houve efeito significativo para este parâmetro avaliado. Gomes Júnior et al. (2008) também não constataram diferença significativa para a massa de 100 grãos do feijoeiro quando submetido a doses e épocas de aplicação de N em sistema de plantio direto. Mesmo não havendo diferença significativa entre a massa de 100 grãos dos tratamentos avaliados, pode-se observar que entre os cultivares, o cultivar IAC Alvorada apresentou maiores valores de massa de 100 grãos. O cultivar IAC Alvorada apresenta grãos de maior tamanho e aspecto graúdo, sendo uma característica própria do cultivar (IAC, 2009).

A produtividade de grãos do feijoeiro IAC Alvorada não foi influenciada significativamente pelos manejos de N (Tabela 6). Porém, o manejo M1 proporcionou produtividade de grãos 24% superior à testemunha (M6). Os manejos de N baseados no clorofilômetro mostraram incrementos de 8% (M4) e 13% (M5) em relação à testemunha (M6). Deve-se ressaltar que o tratamento testemunha (sem aplicação de N) apresentou produtividades de grãos elevadas, fato que pode ser atribuído ao processo de mineralização dos resíduos vegetais das culturas antecessoras, ou ainda à fixação simbiótica do N₂, já que o feijoeiro comum apresenta capacidade de se beneficiar da associação com espécies de *Rhizobium* (HUNGRIA et al., 2000; SOARES et al., 2006), o que pode ter disponibilizar N suficiente para suprir as necessidades da cultura.

Tabela 6. Produtividade de grãos, produtividade relativa, eficiência de utilização do N aplicado, teor de proteína bruta nos grãos e produtividade de proteína, em dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “das águas”.

Manejo do N	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Produtividade relativa (%)	Eficiência de utilização (kg grãos kg de N ⁻¹)	Teor de proteína nos grãos (g kg ⁻¹)	Produtividade de proteína (kg ha ⁻¹)
IAC Alvorada					
M1	3.368a	124	3,3	210,0a	616,4a
M2	3.025a	112	3,1	206,0a	541,5a
M3	2.887a	107	3,5	205,0a	517,0a
M4	2.933a	108	2,0	214,4a	547,8a
M5	3.061a	113	7,0	209,1a	556,4a
M6	2.711a	100	-	201,0a	473,5a
Pérola					
M1	3.002a	160	5,6	217,2a	566,4a
M2	2.532ab	135	6,6	204,9a	453,6ab
M3	2.590ab	138	14,3	202,8a	457,5ab
M4	2.512ab	134	5,8	208,0a	451,7ab
M5	2.296ab	122	8,4	202,8a	404,7b
M6	1.875b	100	-	200,8a	324,9b
CV _{parcela} (%)	14,8	-	-	4,9	15,1
CV _{subparcela} (%)	15,0	-	-	4,7	19,0

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

Para o cultivar Pérola, a maior produtividade de grãos foi obtida no tratamento referência (M1), porém, diferindo significativamente apenas da testemunha (M6) (Tabela 6). O manejo M1 proporcionou produtividade 60% superior à testemunha (M6). Os demais manejos com aplicação de N, proporcionaram produtividades intermediárias, com incrementos em relação ao manejo M6 variando de 22% (M5) a 38% (M3). Os manejos baseados no clorofilômetro, apesar de terem proporcionado utilização de menores quantidades de N na adubação, também proporcionaram menores produtividades de grãos relativamente

inferiores ao tratamento referência (M1). Barbosa Filho et al. (2008; 2009), estudando o manejo do N em cobertura no feijoeiro comum baseando no monitoramento com clorofilômetro portátil e no $ISN < 90\%$ do tratamento referência (sem deficiência de N), verificaram que o manejo monitorado proporcionou economia de N em relação ao tratamento referência, porém, a produtividade de grãos também foi significativamente menor.

Quanto à eficiência de utilização do N aplicado (EUN), no cultivar IAC Alvorada, o manejo M5 (baseado no ISN de 90%) apresentou maior valor (Tabela 6). Nesse tratamento a aplicação de N em cobertura consumiu 90 kg ha^{-1} a menos do nutriente, em comparação com o manejo M1 (referência). A EUN, por definição, é maior quanto menor for à quantidade de N aplicada para uma maior produtividade de grãos. Portanto, o fato de a EUN ser maior no manejo M5 com menos N aplicado somente passa a ser importante se, comparado com o manejo M1, e quando não houver redução significativa de produtividade de grãos, fato este observado neste trabalho. Porém, deve-se destacar que a produtividade obtida no tratamento testemunha (M6) também não diferiu do tratamento referência (M1). Já os manejos do N em cobertura baseados em épocas pré-definidas (M2 e M3) e no ISN de 95% (M4) não foram adequados para o cultivar IAC Alvorada e as condições de cultivo em que foi realizado este estudo, já que, além de ter proporcionado menor produtividade de grãos que o tratamento referência (M1), não promoveram incremento na EUN.

No cultivar Pérola, o manejo M5 (baseado no ISN de 90%) apresentou maior valor, quando comparado com o manejo M4 (baseado no ISN de 95%) (Tabela 6). No tratamento M5 a aplicação de N em cobertura consumiu 150 kg ha^{-1} a menos, em comparação, com o manejo M1 (referência), e o manejo M4 consumiu 90 kg ha^{-1} a menos que o M1. Apesar do manejo M5 ter proporcionado maior EUN, a produtividade de grãos neste tratamento foi 590 kg ha^{-1} inferior ao tratamento referência (M1). O tratamento M3 (aplicação $10, 20, 20 \text{ kg ha}^{-1}$, respectivamente, na semeadura, aos 15 DAE e aos 30 DAE) foi o que proporcionou o maior valor de EUN, inclusive superior ao observado no manejo M5, o qual também recebeu 50 kg ha^{-1} de N, porém, parcelado apenas entre a semeadura e aos 23 DAE. Tais resultados confirmam os obtidos por Soratto et al. (2005), que também observaram que o momento de aplicação o N tem grande influência no EUN. Assim, pode-se considerar que a estratégia de usar o clorofilômetro portátil (Minolta SPAD 502), tendo o ISN de 90% como

indicador do momento para realizar a adubação de cobertura, pode melhorar a EUN, porém, necessita de ajustes, corroborando resultados obtidos por Barbosa Filho et al. (2008; 2009).

O teor de proteína bruta nos grãos dos cultivares IAC Alvorada e Pérola não foi afetado pelos manejos da adubação nitrogenada (Tabela 6). Os resultados variaram de 200,8 (manejo M6) a 217,2 g kg⁻¹ (manejo M1). Para Lajolo et al. (1996), o teor de proteína do feijoeiro pode ser variável mediante ao local de cultivo, condições climáticas e do próprio cultivar. Soratto et al. (2005) verificaram incremento nos valores dessa variável com a aplicação de N em cobertura no feijoeiro. Contudo, os resultados do presente trabalho corroboram com Pelegrin et al. (2009) e Silva et al. (2009), que estudando a resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada, não encontraram diferenças significativas para o teor de proteína nos grãos. A ausência de variação significativa no teor de proteína bruta nos grãos pode estar relacionada com o aumento da disponibilidade de N para as plantas na fase final do ciclo da cultura, mesmo no tratamento que não recebeu N (M6) (Figuras 4A e 4B), e com o efeito diluição, já que os manejos que receberam mais N, também proporcionaram produtividades de grãos relativamente maiores.

A produtividade de proteína não apresentou diferença significativa com a aplicação dos diferentes manejos de N no cultivar IAC Alvorada (Tabela 6), reflexo da ausência de efeito nos teores de proteína e produtividade dos grãos desse cultivar. Já o cultivar Pérola apresentou diferenças na produtividade de proteína quando submetido aos manejos de N, sendo os maiores valores obtidos com o uso no tratamento referência (M1), porém, diferindo apenas dos manejos M5 e M6, ou seja, aqueles que proporcionaram as menores produtividades de grãos. Soratto et al. (2005) também verificaram incremento significativo na produtividade de proteína pelo feijoeiro comum em função da aplicação de N em cobertura.

As leituras SPAD do feijoeiro cv. IAC Alvorada apresentaram correlação linear altamente significativa com o teor de N nas folhas, em todas as datas de leituras, exceto para as leituras realizadas aos 50 DAE (R₇) (Tabela 7), o que se deve provavelmente ao fato de no tratamento M4 ter sido realizada aplicação de N aos 44 DAE (Tabela 2), promovendo grande elevação nos teores de N nas folhas na avaliação seguinte (50 DAE), porém, sem alterar de forma expressiva o IRC (Figura 2A e 3A). A correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N é atribuída, principalmente ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas serem integrantes do conteúdo de clorofila das folhas (CHAPMAN e

BARRETO, 1997); contudo, quando as avaliações são realizadas poucos dias após o fornecimento de N, a planta pode apresentar grande alteração no conteúdo de N foliar, sem que este esteja incorporado às moléculas de clorofila. O IRC determinado até o florescimento pleno (43 DAE) do cultivar IAC Alvorada, apresentou correlações lineares mais altas com o teor de N na folha. A avaliação do teor de N pela clorofila tem a vantagem de se poder fazer a correção, quando necessária, na mesma safra (ROCHA et al., 2005), desde que haja uma boa correlação com o N foliar até o início da fase reprodutiva, fato observado nesse experimento. Esses resultados podem indicar que, após o florescimento a resposta do feijoeiro ao N é pequena. Assim, apesar de maior demanda do feijoeiro por N ocorrer entre os estádios de florescimento e meados do enchimento dos grãos (HUNGRIA et al., 1985), Carvalho et al. (2001), Soratto et al. (2004) e Soratto et al. (2005) relataram a importância da aplicação de N na fase vegetativa, ou seja, em época que promova crescimento da planta, pois, plantas mais robustas, com mais ramificações e que produzam maior número de estruturas reprodutivas, provavelmente acarretarão em maior produtividade de grãos.

Sabe-se que o clorofilômetro foi projetado para estimar o teor de N na folha (principalmente das plantas de arroz) e alguns pesquisadores já testaram a correlação da leitura do aparelho com o teor de N foliar em feijão (FURLANI JUNIOR et al., 1996; CARVALHO et al., 2003; SORATTO et al., 2004; BARBOSA FILHO et al., 2008) e em outras culturas como o algodão (WOOD et al., 1993; ROSOLEM e VAN MELLIS, 2010) e trigo (REEVES et al., 1993; FOX et al., 1994; BREDEMEIER, 1999), porém, é importante estabelecer esse tipo de correlação principalmente para os cultivares de feijão e condições brasileiras.

No cultivar IAC Alvorada, apenas os valores de IRC determinados até os 36 DAE apresentaram correlações significativas com a matéria seca da parte aérea no florescimento (Tabela 7). O IRC correlacionou-se significativamente com o teor de N na parte aérea apenas para as leituras realizadas aos 43 DAE, e com a quantidade de N acumulado apenas para as leituras realizadas aos 15, 22 e 36 DAE. De acordo com Silva et al. (2009), os valores de IRC estão representados pela leitura em uma única folha indicadora, enquanto que o N da matéria seca e N acumulado representam uma estimativa da quantidade total de N presente na fitomassa da parte aérea, o que pode resultar em baixos índices de correlação.

Tabela 7. Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação, massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado na parte aérea no estágio R₆, produtividade de grãos e teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada, na safra “das águas”.

Variável	Teor de N foliar	MS da parte aérea	Teor de N na parte aérea	Quantidade de N acumulado	Produtividade de grãos	Teor de proteína nos grãos
1ª leitura (15 DAE) – Estádio V ₃						
IRC	0,589**	0,659**	ns	0,563**	0,720***	ns
Teor de N	-	ns	0,410*	0,432*	0,599**	ns
2ª leitura (22 DAE) – Estádio V ₄						
IRC	0,769**	0,550**	ns	0,456*	0,554**	ns
Teor de N	-	0,484*	ns	ns	ns	ns
3ª leitura (29 DAE) – Estádio V ₄₋₅						
IRC	0,687**	0,429*	ns	ns	ns	0,496*
Teor de N	-	0,498*	ns	0,523**	0,604**	0,530**
4ª leitura (36 DAE) – Estádio R ₅						
IRC	0,532**	0,459*	ns	0,487*	0,473*	0,445*
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	0,501*
5ª leitura (43 DAE) – Estádio R ₆						
IRC	0,757**	ns	0,443*	ns	0,547**	ns
Teor de N	-	ns	0,508*	0,418*	0,511*	ns
6ª leitura (50 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	n.s	ns	ns	ns	0,470*	ns
Teor de N	-	0,494*	ns	ns	ns	ns
7ª leitura (57 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	0,551**	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
8ª leitura (64 DAE) – Estádio R ₈						
IRC	0,445*	ns	ns	-0,408*	ns	ns
Teor de N	-	-0,554**	-0,552**	ns	-0,513*	ns

*, **, *** e ns são, respectivamente, significativos a 5%, 1%, 0,1% e não-significativo pelo teste t.

Os valores IRC do cultivar IAC Alvorada determinados aos 29, 57 e 64 DAE não se correlacionaram significativamente com a produtividade de grãos, porém, nas demais datas houve correlações significativas (Tabela 7). O N é o nutriente que está altamente correlacionado com a molécula de clorofila, sendo assim, a adubação nitrogenada adequada do feijoeiro aumenta o crescimento das plantas e eleva a síntese de proteínas, fatores estes que estão diretamente ligados com a produtividade do feijoeiro. Furlani Júnior et al. (1996) e Soratto et al. (2004) observaram que o teor de clorofila, determinado no estágio R₆, é um indicador do nível de N na planta de feijão que está altamente correlacionado com a

produtividade do feijão. Houve correlação linear significativa entre o IRC e o teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada apenas para as medidas de IRC realizadas aos 29 e 36 DAE (Tabela 7).

Apenas os teores de N foliar do cultivar IAC Alvorada determinados aos 22, 29 e 50 DAE apresentaram correlações lineares com a matéria seca da parte aérea e com o teor de N na parte aérea, no florescimento pleno (Tabela 7). Já considerando as variáveis quantidade de N acumulado na parte aérea em R₆ e produtividade de grãos, apenas os teores de N foliar determinados aos 15, 29 e 43 DAE tiveram correlações positivas. O teor de N foliar determinado aos 64 DAE correlacionou-se negativamente com a matéria seca e com o teor de N na parte aérea das plantas no estágio R₆, bem como, com a produtividade de grãos, ou seja, plantas menores e que produziram menor quantidade de grãos, apresentavam maior teor de N nas folhas no estágio de enchimento dos grãos, provavelmente pela menor força de dreno. Apenas nas amostragens realizadas aos 29 e 36 DAE houve correlação linear significativa entre o teor de N foliar e o teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada.

No caso do cultivar Pérola, as leituras do IRC apresentaram correlação linear altamente significativa com o teor de N foliar em R₆ em todas as datas de leituras, exceto para as leituras realizadas aos 36 e 57 DAE (Tabela 8), em função de não haver variação significativa nos valores especialmente de IRC nessas épocas de avaliação (Figura 2B e 4B). A correlação entre as leituras do clorofilômetro e o teor de N é atribuída, principalmente ao fato de que 50 a 70% do N total das folhas serem integrantes do conteúdo de clorofila das folhas (CHAPMAN e BARRETO, 1997). O IRC determinado até o florescimento pleno (43 DAE) apresentou correlações mais elevadas com o teor de N foliar, fato também observado no cultivar IAC Alvorada, indicando que a estimativa do teor de N foliar pelo IRC tem como vantagem a possibilidade de se poder fazer a correção imediata da deficiência, porém, o método é mais eficiente quando utilizado até o estágio de florescimento pleno. Após o florescimento a resposta do feijoeiro ao N é baixa, além do que o IRC nas folhas se estabiliza (BARBOSA FILHO et al., 2008; 2009).

Possivelmente as altas correlações entre o IRC e teor de N foliar do feijoeiro durante a fase vegetativa (Tabelas 7 e 8), na safra “das águas”, indicam que boa parte do N absorvido nessa fase além de ser utilizado para produção de outras estruturas na planta, provavelmente foi utilizado para a formação de clorofila.

Tabela 8. Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação, a massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado na parte aérea no estágio R₆, a produtividade de grãos e o teor de proteína nos grãos do cultivar Pérola, na safra “das águas”.

Variável	Teor de N foliar	MS da parte aérea	Teor de N na parte aérea	Quantidade de N acumulado	Produtividade de grãos	Teor de proteína nos grãos
1ª leitura (15 DAE) – Estádio V ₃						
IRC	0,828***	0,546**	ns	0,550**	0,651**	0,434*
Teor de N	-	0,466*	ns	0,476*	0,525**	0,458*
2ª leitura (22 DAE) – Estádio V ₄						
IRC	0,698***	0,622**	ns	0,667***	0,506*	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
3ª leitura (29 DAE) – Estádio V ₄₋₅						
IRC	0,658**	0,595**	ns	0,609**	0,432*	ns
Teor de N	-	0,602**	ns	0,511*	0,499*	ns
4ª leitura (36 DAE) – Estádio R ₅						
IRC	n.s.	0,582**	ns	0,561**	0,456*	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
5ª leitura (43 DAE) – Estádio R ₆						
IRC	0,584**	0,438*	ns	ns	0,442*	ns
Teor de N	-	0,659**	ns	0,524**	ns	ns
6ª leitura (50 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	0,432*	0,466*	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	0,433*	ns	ns
7ª leitura (57 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	n.s.	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	0,489*	ns	0,450*	0,543*	0,423*
8ª leitura (64 DAE) – Estádio R ₈						
IRC	0,537**	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns

*, **, *** e ns são, respectivamente, significativos a 5%, 1%, 0,1% e não-significativo pelo teste t.

Os valores de IRC determinados até os 50 DAE do cultivar Pérola apresentaram correlações positivas com a matéria seca da parte aérea determinada no estágio R₆ (Tabela 8). Os valores de IRC de todas as datas de avaliação não se correlacionaram significativamente com os teores de N na parte aérea das plantas determinados em R₆ e apresentou correlação altamente significativa com a quantidade de N acumulado até os 36 DAE. Houve também correlação significativa dos valores de IRC determinados até o florescimento pleno do cultivar (43 DAE) com a produtividade de grãos. O N é o nutriente que está altamente correlacionado com a molécula de clorofila, sendo assim, a adubação

nitrogenada adequada no feijoeiro aumenta o crescimento das plantas e a síntese de proteínas, fatores estes que estão diretamente ligados com a produtividade do feijoeiro. O teor de proteínas nos grãos apresentou correlação apenas os valores de IRC determinados aos 15 DAE.

Os teores de N foliar do cultivar Pérola determinados aos 15, 29, 43 e 57 DAE apresentaram correlações lineares com a matéria seca da parte aérea no estágio R₆ (Tabela 8). Porém, os mesmos não se correlacionaram com o teor de N na parte aérea das plantas no estágio de florescimento. Não houve correlações entre os teores de N foliar determinados aos 22, 36 e 64 DAE e a quantidade de N acumulado na parte aérea das plantas, sendo que para as demais datas de amostragem os valores se correlacionaram positivamente. A correlação entre o teor de N foliar e a produtividade de grãos foi positivamente significativa aos 15, 29 e 57 DAE. Houve correlação linear significativa entre o teor de N foliar e o teor de proteína nos grãos do cultivar Pérola apenas para as amostragens realizadas aos 15 e aos 57 DAE, com valores de 0,458 e 0,423, respectivamente.

De maneira geral verificou-se que os valores de IRC, especialmente quando determinados até o estágio R₆, apresentam melhores correlações com a produtividade de grãos dos cultivares de feijão IAC Alvorada e Pérola que os teores de N foliar (Tabelas 7 e 8).

6.2. Safra “da seca”

Os valores de IRC dos cultivares IAC Alvorada e Pérola foram crescentes durante todo o período vegetativo até aos 36 DAE (Figura 5A e 5B), época em que a cultura se encontrava em pleno florescimento, resultado semelhante ao encontrado na safra “das águas”, indicando que após o florescimento do feijoeiro o teor de clorofila nas folhas se estabiliza, como também observado por Silveira et al. (2003) e Barbosa Filho et al. (2008; 2009).

Durante todo período de crescimento dos cultivares estudados, observou-se que os valores dos IRC do tratamento sem aplicação de N (M6) encontravam-se muito próximos das leituras observadas nas parcelas adubadas com N, diferindo do tratamento referência apenas nas avaliações realizadas aos 36 e 43 DAE, do cultivar Pérola (Figuras 5A e 5B). Isso pode ter ocorrido pelo processo de mineralização do N dos resíduos vegetais

deixados na superfície do solo pelo cultivo anterior de milho/aveia preta/milheto ou pelo processo de fixação simbiótica do N_2 . Barbosa Filho et al. (2008; 2009) observaram que a partir do florescimento as plantas do cultivar Pérola do tratamento testemunha (sem aplicação de N) adquiriram tonalidade verde resultando em valores de índices relativos de clorofila muito próximos das leituras observadas nas parcelas adubadas com N, e relataram que o fato de as plantas tornarem-se mais verdes com o tempo de mineralização do N contido nos resíduos vegetais é indicativo de que os IRC podem ser afetados, em função da quantidade e da qualidade dos resíduos vegetais antecedentes.

Segundo Piekielek e Fox (1992), o fornecimento de N às plantas, seja por meio de aplicações de fertilizantes ou pela mineralização da matéria orgânica pode, temporariamente, compensar eventual deficiência de N e aumentar o teor de clorofila nas folhas no momento da tomada de leituras no aparelho. Isso é particularmente importante em áreas de predominância do sistema plantio direto em que os resíduos vegetais de cultivos anteriores são mantidos na superfície do solo. Nessas condições, em algum momento durante o crescimento da cultura sucessora, poderá ocorrer a liberação temporária de N para essa cultura da decomposição e mineralização dos resíduos vegetais e influenciar nas leituras do clorofilômetro.

Observou-se, nesse experimento, que o cultivar Pérola apresentou maiores leituras SPAD (IRC) que o cultivar IAC Alvorada, na mesma data de avaliação (Figura 5A e 5B), fato também observado no experimento da safra “das águas” (Figura 2A e 2B). O cultivar Pérola possui as folhas com um verde mais escuro e folhas mais espessas quando comparado com a cor e espessura das folhas do cultivar IAC Alvorada. Silveira et al. (2003) verificaram que o cultivar Pérola apresentou valores de IRC maiores que os do cultivar Jalo Precoce, em plantas de mesma idade. Além da disponibilidade do N, o fator cultivar pode influenciar o teor de clorofila da planta, pois, as folhas de um dado cultivar tendem a ter algumas características próprias, como espessura, conteúdo de pigmentos e estrutura interna que podem influenciar as propriedades espectrais das folhas (leituras SPAD), aumentando ou diminuindo-as (MINOTTI et al., 1994; BUSATO, 2007).

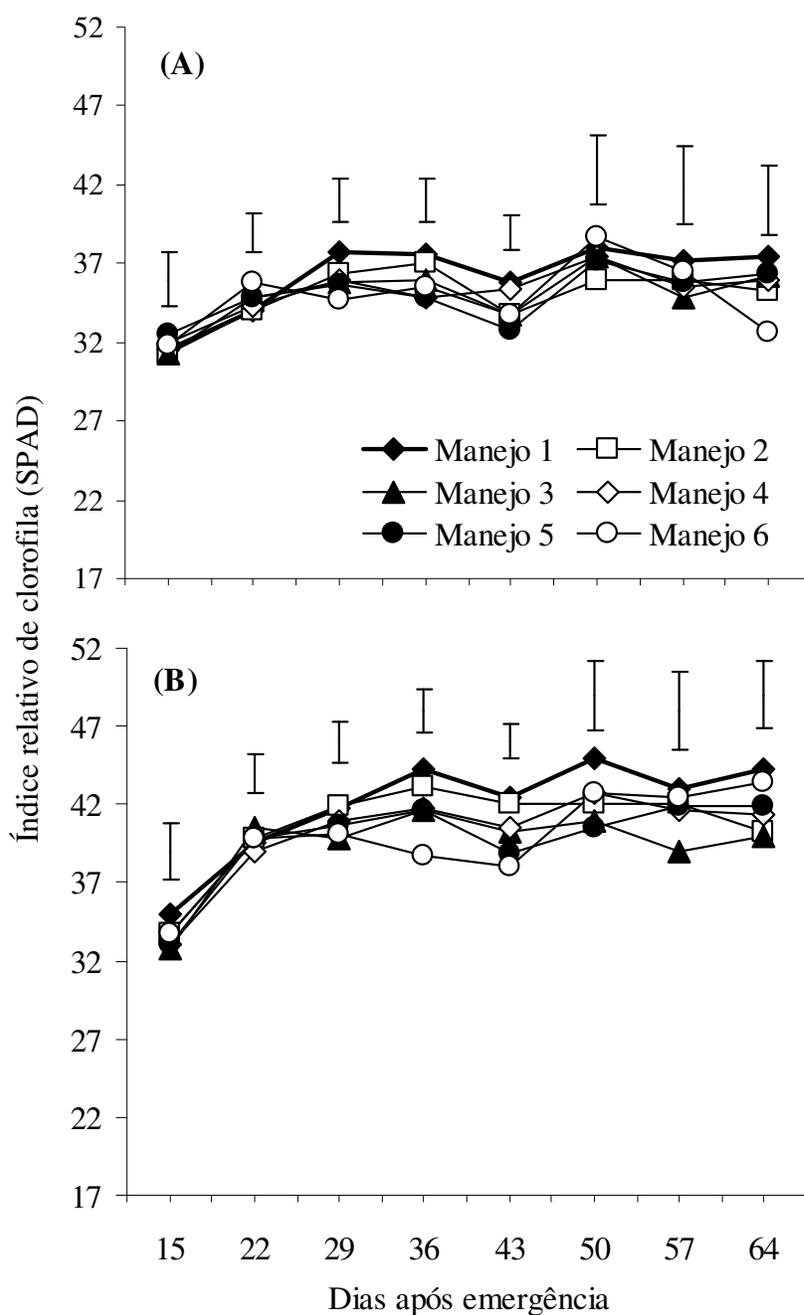


Figura 5. Índice relativo de clorofila nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “da seca”. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N. Barras verticais são indicativas do valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Na primeira data de leitura, aos 15 DAE, observa-se que os manejos monitorados pelo clorofilômetro no cultivar IAC Alvorada (Figura 6A) não determinaram ISN abaixo do limite mínimo estabelecido (manejo M4 = 95% e manejo M5 = 90%), dispensando a adubação em cobertura (Figura 6A). Porém, com relação ao cultivar Pérola, verificou-se, no tratamento M4, já aos 15 DAE, um valor de ISN igual a 94% do observado no tratamento M1 (Figura 6B), indicando a necessidade da primeira cobertura nitrogenada, a qual foi realizada no dia seguinte, no período da manhã, aplicando-se 30 kg de N ha⁻¹. Aos 36 DAE, ambos os cultivares apresentaram valores de ISN menores que 95% do observado no tratamento referência (M1), necessitando da aplicação de N em cobertura (Tabela 3).

O manejo M5 (ISN < 90%), de ambos os cultivares, não apresentou ISN abaixo do definido como mínimo em nenhuma das datas de avaliação (Figuras 6A e 6B), não necessitando de aplicação do N em cobertura (Tabela 3). Assim, nos dois cultivares o tratamento M5 recebeu apenas 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura.

Destaca-se que, mesmo no tratamento sem aplicação de N mineral (M6), os valores de ISN estavam acima de 90% dos observados no tratamento referência (M1) na maioria das épocas de avaliação (Figuras 6a e 6B). Isto pode ter ocorrido em função do processo de mineralização do N dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo ter disponibilizado N suficiente para as plantas ou pelo processo da fixação simbiótica do N₂, já que o feijoeiro apresenta capacidade de se beneficiar da associação com espécies de *Rhizobium* (HUNGRIA et al., 2000; SOARES, et al., 2006).

Os teores de N nas folhas dos cultivares em estudo foram crescentes até o início do estágio R₇ (43 DAE), decrescendo a partir dessa fase (Figura 7A e 7B). Nota-se que, especialmente entre 29 e 36 DAE (início da fase reprodutiva), os tratamentos que receberam maiores quantidades de N apresentaram maiores teores do elemento nas folhas.

Observa-se que apesar de uma diminuição do N contido nas folhas do cultivar Pérola entre 43 e 57 DAE, houve um aumento na quantidade do N foliar a partir dos 57 DAE, demonstrando que pode existir absorção do N nos estádios mais tardios para este cultivar em questão (Figura 7B). Rosolem (1987) relatou que o feijoeiro não absorve todo o N de que necessita nos primeiros 50 dias, hipótese reforçada pelo relato de Westermann et al. (1981), que determinaram uma absorção de até 3,5 kg de N ha⁻¹ dia⁻¹ no período de enchimento dos grãos.

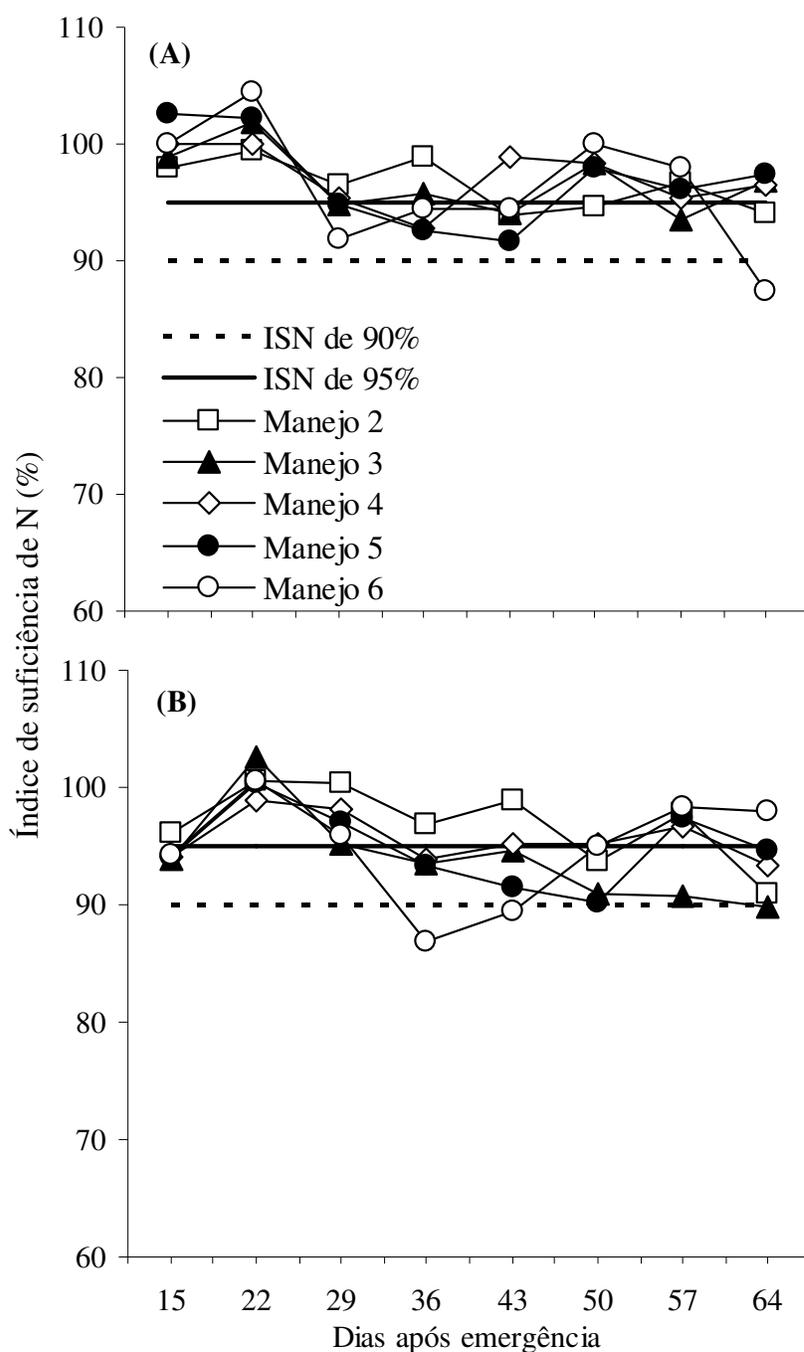


Figura 6. Índice de suficiência de N determinado nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “da seca”. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN < 90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

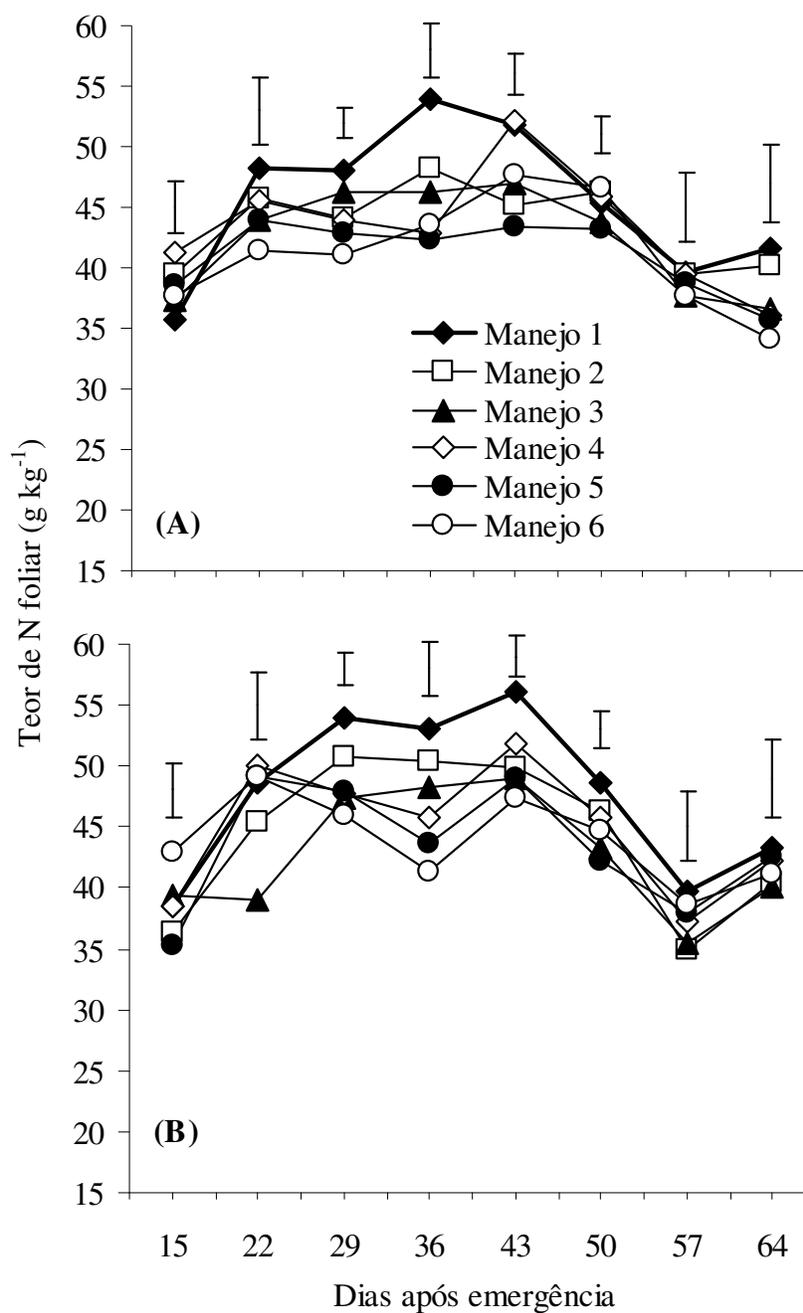


Figura 7. Teor de N nas folhas dos cultivares IAC Alvorada (A) e Pérola (B), em diferentes épocas de avaliação, em função do manejo da adubação nitrogenada de cobertura. Safra “da seca”. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha^{-1} , M2 = 20 + 40 + 40 kg ha^{-1} , M3 = 10 + 20 + 20 kg ha^{-1} ; M4 = 20 kg ha^{-1} de N na sementeira + 30 kg ha^{-1} quando as leituras do clorofilômetro indicaram $\text{ISN} < 95\%$; M5 = 20 kg ha^{-1} de N na sementeira + 30 kg ha^{-1} quando as leituras do clorofilômetro indicaram $\text{ISN} < 90\%$ e, M6 = testemunha, sem aplicação de N. Barras verticais são indicativas do valor de DMS pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

No manejo M1 (referência), os cultivares apresentaram os teores máximos de N foliar durante a fase de florescimento e início da formação de vagens (Figura 7A e 7B). Sant'Ana et al. (2010) verificaram que o teores de N nas folhas do feijoeiro, determinados durante o florescimento, apresentaram valores mais elevados com a aplicação das maiores doses de N. Vale ressaltar que, em ambos os cultivares, todos os tratamentos apresentaram valores acima do limite mínimo da faixa indicada como adequada por Ambrosano et al. (1997), ou seja, de 30 g kg^{-1} , em todas as épocas de avaliação. Isso se deveu, provavelmente, à elevada disponibilidade de N no solo, decorrente da mineralização dos resíduos vegetais deixados na superfície do solo pelos cultivos anteriores e/ou pelo processo da fixação simbiótica do N_2 .

Houve diferença significativa para produção de matéria seca da parte aérea das plantas dos cultivares IAC Alvorada e Pérola em função dos manejos de N aplicados (Tabela 9). O cultivar IAC Alvorada apresentou maior valor no manejo M1 ($7,5 \text{ g planta}^{-1}$) e menores nos manejos M6 ($5,5 \text{ g planta}^{-1}$) e M5 ($6,0 \text{ g planta}^{-1}$). Para o cultivar Pérola, a maior produção de matéria seca na parte aérea foi proporcionado pelo tratamento M4 ($7,3 \text{ g planta}^{-1}$), porém, que não diferiu significativamente dos tratamentos M1 e M5, sendo o menor valor também observado no tratamento M6 ($4,3 \text{ g planta}^{-1}$). O N tem extrema importância para a produção de matéria seca, por ser parte constituinte da molécula de clorofila e, portanto, ter influência na fotossíntese e promovendo o crescimento vegetativo do feijoeiro (SILVEIRA e DAMASCENO, 1993). Várias pesquisas confirmaram o aumento do acúmulo da massa de matéria seca na parte aérea do feijoeiro, com a aplicação de N em cobertura (ARF et al., 2004; SORATTO et al., 2005; FARINELLI et al., 2006; BINOTTI et al., 2010).

Os manejos de N proporcionaram diferenças nos teores de N nas folhas do feijão IAC Alvorada e Pérola (Tabela 9). Em ambos os cultivares, as maiores doses de N aplicadas proporcionaram maiores teores de N nas folhas. Deve-se salientar que mesmo no tratamento testemunha (sem aplicação de N), os valores encontrados estavam na faixa adequada para a cultura, ou seja, de 30 a 50 g kg^{-1} (AMBROSANO et al., 1997). Soratto et al. (2008) e Binotti et al. (2009) também destacaram que a aplicação de N aumentou o teor desse elemento nas folhas do feijoeiro.

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para o teor de N na parte aérea do cultivar IAC Alvorada (Tabela 9). Alvarez et al. (2005) relataram que a

aplicação de N em cobertura no segundo ano de cultivo em sistema plantio direto, não influenciou nos teores de N da parte aérea do feijoeiro. Contudo, no cultivar Pérola, houve diferença significativa entre os tratamentos, sendo que o menor valor foi proporcionado pelo tratamento testemunha M6 (27,0 g kg⁻¹). Carvalho et al. (2003) e Binotti et al. (2009) observaram influencia da aplicação de N em cobertura sobre o teor de N na parte aérea do feijoeiro.

Tabela 9. Matéria seca da parte aérea, teor de N foliar, teor de N na parte aérea e quantidade de N acumulada na parte aérea, no florescimento, em dois cultivares de feijoeiro, em função dos manejos de N, na safra “da seca”.

Manejo do N	Matéria seca da parte aérea (g planta ⁻¹)	Teor de N foliar no florescimento (g kg ⁻¹)	Teor de N na parte aérea (g kg ⁻¹)	Quantidade de N acumulado (kg ha ⁻¹)
IAC Alvorada				
M1	7,5a	54,0a	34,3a	87,0a
M2	7,3ab	48,2b	33,3a	81,8ab
M3	7,3ab	46,3ab	33,8a	74,4abc
M4	6,3bc	42,9b	34,3a	68,7abc
M5	6,0c	42,3b	31,3a	62,5bc
M6	5,5c	42,0b	32,5a	55,5c
Pérola				
M1	6,3ab	53,1a	36,8a	74,3ab
M2	5,8bc	50,4ab	38,0a	76,5a
M3	4,8cd	48,2bc	32,5ab	53,1bc
M4	7,3a	45,7cd	34,0a	81,2a
M5	6,8ab	43,7d	33,3a	75,8a
M6	4,5d	41,4d	27,0b	40,1c
CV _{parcela} (%)	9,3	4,5	8,9	14,4
CV _{subparcela} (%)	8,0	6,6	15,8	15,2

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

A quantidade de N acumulado na parte aérea dos dois cultivares foi influenciada pelos manejos estudados (Tabela 9). No cultivar IAC Alvorada, quanto maior a dose de N aplicada, maior a quantidade do elemento acumulada na parte aérea das plantas. O

cultivar Pérola apresentou maior valor para quantidade de N acumulado nos manejos M4 (81,2 kg ha⁻¹), M2 (76,5 kg ha⁻¹) e M5 (81,2 kg ha⁻¹). Já o menor valor, a semelhança do observado para o cultivar IAC Alvorada, também para o Pérola, foi obtido no manejo M6 (40,1 kg ha⁻¹). Esses resultados comprovam que o acúmulo máximo de nutrientes corresponde à disponibilidade e necessidade total do nutriente para a cultura e varia em função do cultivar. Stone e Moreira (2001) também verificaram incrementos na quantidade de N acumulada na parte aérea do feijoeiro com a aplicação da adubação nitrogenada.

A população final de plantas não foi influenciada pela aplicação dos manejos de N, em nenhum dos cultivares (Tabela 10). Em todos os tratamentos foram constatadas populações de plantas superiores aos valores mínimos recomendados para o feijoeiro comum por Del Peloso et al. (1996) e Fancelli e Dourado Neto (2007). Segundo Kaneko et al. (2010), o estabelecimento da população de plantas depende preponderantemente das reservas da semente, da umidade adequada do solo, do baixo impedimento da camada de solo que às cobrem e da ausência de ataque de patógenos e pragas de solo na fase inicial da cultura. Destaca-se também que os valores obtidos na safra “da seca” foram maiores que os da safra “das águas”, o que provavelmente está relacionado com o maior vigor das sementes e com as maiores temperatura na fase de estabelecimento das plantas da safra “da seca”.

Não houve diferenças significativas para o número de vagens por plantas no cultivar IAC Alvorada em função dos manejos de N aplicados (Tabela 10). Este resultado está de acordo com os encontrados por Silva et al. (2009). Já o cultivar Pérola apresentou diferença significativa para o número de vagens por planta em função dos tratamentos, sendo os maiores valores constatados nos tratamentos M1 e M2, porém, diferindo estatisticamente apenas dos manejos M5 e M6. Segundo Macedo et al. (2002), o número de vagens por planta é uma característica bastante variável, podendo ser influenciada pelo ambiente e características genéticas. Silva (2010) também observou para o cultivar de feijão Pérola, aumentos lineares, no número de vagens por planta, com o acréscimo de N aplicado em cobertura em sistema plantio direto.

O número de grãos por vagem não foi influenciado significativamente pelos manejos de N para os cultivares estudados (Tabela 10), talvez porque essa característica seja intrínseca ao cultivar (genótipo) utilizado, sofrendo pouca influência das práticas culturais. Além disso, esta característica geralmente não apresenta correlação com a

produtividade (SORATTO et al, 2004). Silva (2002), Soratto et al. (2004) e Binotti et al. (2009), não obtiveram efeitos significativos no número de grãos por vagem com a utilização de diferentes doses de N aplicada em cobertura. Embora o número de grãos por vagem seja considerado características de herdabilidade genética, várias pesquisas indicam que uma melhor nutrição em N pode aumentar o número de óvulos fertilizados por vagem, com os dados se ajustando a equações lineares crescentes (SANTOS et al., 2003; ARF et al., 2004; SORATTO et al., 2006).

Tabela 10. População final de plantas, número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos de dois cultivares de feijoeiro em função dos manejos de N, na safra “da seca”.

Manejo do N	População final de plantas (plantas ha ⁻¹)	N ^o de vagens por planta (n ^o planta ⁻¹)	N ^o de grãos por vagem (n ^o vagem ⁻¹)	Massa de 100 grãos (g)
IAC Alvorada				
M1	308.333a	7,8a	3,8a	33,0a
M2	315.741a	6,3a	4,8a	32,0a
M3	303.704a	8,0a	4,3a	33,8a
M4	285.185a	6,3a	4,3a	33,0a
M5	312.037a	6,5a	4,8a	33,3a
M6	309.259a	6,5a	4,3a	34,0a
Pérola				
M1	282.407a	10,5ab	3,8a	28,8a
M2	303.704a	11,0a	3,8a	29,8a
M3	306.481a	8,3bc	4,5a	29,0a
M4	283.333a	8,8abc	4,3a	28,5a
M5	296.296a	6,8c	4,8a	29,3a
M6	285.185a	7,3c	5,3a	29,8a
CV _{parcela} (%)	6,6	15,6	21,1	3,6
CV _{subparcela} (%)	10,5	16,9	25,6	8,2

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

A massa de 100 grãos também não teve influência dos manejos de N aplicadas em nenhum dos cultivares, porém, o cultivar IAC Alvorada apresentou valores maiores na massa de 100 grãos quando comparado ao cultivar Pérola (Tabela 10), semelhante ao observado na safra “das águas” (Tabela 5). O cultivar IAC Alvorada apresenta grãos de maior tamanho e aspecto graúdo, sendo uma característica própria do cultivar. Silva et al. (2009) também observaram que o N em cobertura não proporcionou efeito significativo na massa de 100 grãos. Para Soratto et al. (2004), doses de N não causam grande variação na massa de 100 grãos, e essa é uma das características que apresenta pequena variação, em função das alterações no meio de cultivo. Assim, em condições adversas, com restrição de N, a planta de feijão preferencialmente formará poucos grãos nas vagens fixadas ao invés de vários e mal formados grãos (SORATTO et al., 2005). Arf et al. (2008) citaram que a massa dos grãos está mais relacionada com as características genéticas do cultivar utilizado.

A produtividade de grãos dos cultivares IAC Alvorada e Pérola não foi influenciada significativamente pelos manejos de N (Tabela 11). Para o cultivar IAC Alvorada, o manejo M1 (referência) proporcionou produtividade de grãos apenas 13% superior à testemunha (M6). Os manejos de N baseados no clorofilômetro resultaram em incrementos de 16% (M4) e 10% (M5) superiores a testemunha (M6). Deve-se ressaltar que o tratamento testemunha (sem aplicação de N) apresentou produtividade de grãos elevada, fato que pode ser atribuído ao fornecimento do N pela fixação simbiótica do N_2 e/ou pela mineralização dos resíduos das culturas anteriores (milho/aveia preta/milheto). No cultivar Pérola, o manejo M1 promoveu produtividade de grãos 6% superior à testemunha (M6). Os manejos de N baseados no monitoramento com o clorofilômetro levaram a incrementos de apenas 4% (M4) e 9% (M5) superiores a testemunha (M6).

Quanto à EUN, para o cultivar IAC Alvorada, os maiores valores foram proporcionados pelos manejos baseados no monitoramento do IRC (M4 e M5) (Tabela 11). No manejo M5 aplicou-se apenas 20 kg ha^{-1} de N na semeadura, não necessitando a aplicação do N em cobertura, pelo fato das leituras dos índices de clorofila deste tratamento apresentarem valores de ISN maiores que 90% das observadas no tratamento M1. A EUN, por definição, é maior quanto menor for à quantidade de N aplicada e maior a produtividade de grãos. Portanto, o fato de a EUN ser maior no manejo M5 com menos N aplicado somente

passa a ser importante se, comparado com o manejo M1, e quando não houver redução de produtividade de grãos, fato este observado neste trabalho.

Tabela 11. Produtividade de grãos, produtividade relativa, eficiência de utilização do N aplicado, teor de proteína nos grãos e produtividade de proteína em dois cultivares de feijoeiro em função dos manejos de N, na safra “da seca”.

Manejo do N	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Produtividade relativa (%)	Eficiência de utilização (kg grãos kg de N ⁻¹)	Teor de proteína nos grãos (g kg ⁻¹)	Produtividade de proteína (kg ha ⁻¹)
IAC Alvorada					
M1	2.798a	113	1,6	258,0a	626,8a
M2	2.622a	105	1,5	234,0a	531,8ab
M3	2.498a	101	0,4	215,5bc	466,5b
M4	2.880a	116	8,1	215,5bc	538,8ab
M5	2.735a	110	13,0	203,0c	483,0b
M6	2.476a	100	-	219,3bc	474,0b
Pérola					
M1	2.556a	106	0,7	236,5a	526,5a
M2	2.558a	106	1,4	204,3b	454,3ab
M3	2.535a	105	2,4	177,0c	389,3b
M4	2.530a	104	1,4	198,0bc	434,5ab
M5	2.643a	109	11,3	197,5bc	455,8ab
M6	2.417a	100	-	205,8b	431,8ab
CV _{parcela} (%)	9,2	-	-	5,0	10,5
CV _{subparcela} (%)	8,0	-	-	14,6	12,8

Médias seguidas da mesma letra na coluna, dentro de cada cultivar, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. M1 = 40 + 80 + 80 kg ha⁻¹, M2 = 20 + 40 + 40 kg ha⁻¹, M3 = 10 + 20 + 20 kg ha⁻¹; M4 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<95%; M5 = 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura + 30 kg ha⁻¹ quando as leituras do clorofilômetro indicaram ISN<90% e, M6 = testemunha, sem aplicação de N.

No cultivar Pérola, o manejo M5 (baseado no ISN de 90%) também proporcionou maior valor de EUN (Tabela 11). O manejo M5 recebeu a aplicação de apenas 20 kg ha⁻¹ de N na semeadura, por não ter apresentado deficiências de N o longo do ciclo, consumindo assim, 180 kg ha⁻¹ a menos, que manejo M1 (referência).

Os resultados de EUN, obtidos no manejo M5 (ISN < 90%), são indicativo de que o monitoramento com o clorofilômetro portátil pode ser importante ferramenta para evitar a aplicação desnecessária de N em cobertura na cultura do feijoeiro cultivado durante a “safra da seca”.

O teor de proteína nos grãos dos cultivares IAC Alvorada e Pérola foi afetado pelo manejo da adubação nitrogenada (Tabela 11). O maior teor de proteína nos grãos foi obtido com a aplicação do manejo M1 nos dois cultivares, sendo de 258,0 g kg⁻¹ para o cultivar IAC Alvorada e 236,5 g kg⁻¹ para o Pérola. O menor valor do teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada foi obtido no manejo M5 (203,0 g kg⁻¹) e do cultivar Pérola no M3 (177,0 g kg⁻¹). A elevação do teor de N nas folhas pode ter proporcionado o aumento do teor de proteína nos grãos, pois como componente das moléculas de aminoácidos essenciais formadores de proteínas, o N é diretamente responsável pelo aumento do teor de proteínas nos grãos (PORTES, 1996; CARVALHO e NAKAGAWA, 2000; EPSTEIN e BLOOM, 2006). Soratto et al. (2005) e Silva et al. (2006), trabalhando com aplicação de N em cobertura no feijoeiro, em Botucatu/SP, e Silva et al. (2009), estudando a aplicação de N em cobertura em feijão “das águas”, semeado em sistema de plantio direto em Campo Grande/MS, observaram incremento significativo de proteína nos grãos com a aplicação do adubo nitrogenado.

A produção de proteína por área apresentou diferença significativa com a aplicação dos manejos de N nos dois cultivares (Tabela 11). As maiores produtividades de proteína foram proporcionadas pelo tratamento M1 (626,8 e 526,5 kg ha⁻¹, respectivamente, para os cultivares IAC Alvorada e Pérola). As maiores produtividades de proteínas proporcionadas pelos tratamentos que receberam maiores doses de N refletiram os incrementos proporcionados no teor de proteínas.

As leituras do IRC nas folhas do feijoeiro cultivar IAC Alvorada apresentaram correlação linear e positiva com o teor de N foliar em todas as datas de avaliação, com exceção da realizada aos 22 DAE (Tabela 12), provavelmente em função de não ter havido variação significativa nos valores de IRC entre os tratamentos estudados (Figuras 5A e 5B). Este comportamento indicou que na maioria das vezes, à medida que se aumenta o teor de N nas folhas, o teor de clorofila também é incrementado. Este resultado está de acordo com os resultados obtidos por Furlani Júnior et al. (1996), Caires e Rosolem (1999) e Carvalho et al. (2003). Essa correlação justifica-se uma vez que o N é o principal

constituente da clorofila que está ligada aos cloroplastos em um percentual de 50 a 70% do N total das folhas (CHAPMAN e BARRETO, 1997). Além disso, o teor relativo de clorofila na folha não está associado com o consumo de luxo de N, sob forma de nitrato (BLACKMER e SCHEPERS, 1995).

Os valores de IRC determinados entre o início do florescimento do (R₅) e o início do estágio R₇ cultivar IAC Alvorada, apresentaram correlações mais altas com o teor de N na folha (Tabela 12). Isso pode indicar que após o florescimento do feijoeiro a resposta da cultura ao N é pequena e que o teor de clorofila nas folhas se estabiliza, tornando o uso do clorofilômetro menos eficiente para indicar o estado nutricional do N a partir desta fase (SILVEIRA et al., 2003; BARBOSA FILHO et al., 2008; 2009). Argenta et al. (2001) trabalhando com a cultura do milho, encontraram melhores correlações entre o IRC e o teor de N na folha quando a leitura ocorreu no pendoamento do milho. A avaliação do teor de N pela leitura indireta do teor de clorofila tem como vantagem a possibilidade de se poder fazer a correção, quando necessária, na mesma safra (ROCHA et al., 2005), desde que haja uma boa correlação com o N foliar, especialmente até o início do estágio R₅ em feijoeiro.

As leituras de IRC nas folhas do cultivar IAC Alvorada, realizadas até aos 64 DAE, não apresentaram correlações com a matéria seca, teor de N e quantidade de N acumulada na parte aérea no estágio R₆ (Tabela 12). De acordo com Silva et al. (2009), os índices relativos de clorofila estão representados apenas pela leitura em uma única folha indicadora, enquanto o N da matéria seca e N acumulado representam uma estimativa da quantidade total de N presente na fitomassa da parte aérea, podendo não se relacionar com o índice relativo de clorofila da folha. A ausência de correlações se deve, provavelmente, as pequenas diferenças observadas entre os tratamentos (Figura 5 e Tabela 9).

Os valores de IRC do cultivar IAC Alvorada não apresentaram correlação linear significativa com a produtividade de grãos em nenhuma das épocas avaliadas (Tabela 12), provavelmente devido a ausência de variação na produtividade de grãos entre os tratamentos (Tabela 11).

Houve correlação linear significativa apenas entre os valores de IRC determinados aos 36 DAE e o teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada (Tabela 12).

Apenas os teores de N nas folhas do cultivar IAC Alvorada avaliados aos 22, 29 e 36 DAE correlacionaram-se positivamente com a matéria seca e com a quantidade de N acumulada na parte aérea das plantas no florescimento (Tabela 12). Os teores de N foliar não se correlacionaram com o teor de N na parte aérea.

Tabela 12. Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação, a massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado na parte aérea no estágio R₆, a produtividade de grãos e o teor de proteína nos grãos do cultivar IAC Alvorada, na safra “da seca”.

Variável	Teor de N foliar	MS da parte aérea	Teor de N na parte aérea	Quantidade de N acumulado	Produtividade de grãos	Teor de proteína nos grãos
1ª leitura (15 DAE) – Estádio V ₃						
IRC	0,414*	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
2ª leitura (22 DAE) – Estádio V ₄						
IRC	n.s	ns	ns	n.s	ns	ns
Teor de N	-	0,653**	ns	0,629**	ns	0,549**
3ª leitura (29 DAE) – Estádio R ₅						
IRC	0,743***	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	0,633***	ns	0,610**	ns	0,468*
4ª leitura (36 DAE) – Estádio R ₆						
IRC	0,826***	ns	ns	ns	ns	0,673***
Teor de N	-	0,518**	ns	0,575**	ns	0,778***
5ª leitura (43 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	0,887***	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
6ª leitura (50 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	0,605**	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
7ª leitura (57 DAE) – Estádio R ₈						
IRC	0,672***	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
8ª leitura (64 DAE) – Estádio R ₈						
IRC	0,636***	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	0,647***	ns	0,630***	ns	0,538***

*, **, *** e ns são, respectivamente, significativos a 5%, 1%, 0,1% e não-significativo pelo teste t.

Semelhante ao observado para o IRC, os teores de N nas folhas também não se correlacionaram com a produtividade de grãos do cultivar IAC Alvorada

(Tabela 12). Porém, houve correlação linear positiva entre os teores de N foliar, determinados aos 22, 29 e 36 DAE, e o teor de proteína nos grãos. As correlações significativas entre os teores de N nas folhas até a fase de florescimento pleno da cultura e o teor de proteína nos grãos, pode ter ocorrido pelo fato de que a maior parte do N é estocada nas folhas sob a forma de proteína até iniciar o processo de formação das vagens e grãos, com o início desses processos, o N estocado nas folhas na forma de proteína é mobilizado e translocados para os grãos (DIDONET, 2003). Normalmente, cerca de 80% do N encontrado nos grãos são provenientes do N estocado na parte vegetativa da planta, e o restante é proveniente do N assimilado após floração (DIDONET, 2003).

As leituras do IRC do cultivar Pérola, realizadas aos 22 DAE, também não apresentaram correlação linear significativa com o teor foliar de N (Tabela 13), o que está relacionado com a ausência de variação significativa, especialmente nos valores de IRC entre os tratamentos, fato também observado para o cultivar IAC Alvorada (Tabela 14). Os valores de IRC determinados entre o início do florescimento (29 DAE) e o estágio R₈ (64 DAE) do cultivar Pérola apresentaram correlações mais altas com o teor de N na folha, indicando que após o florescimento do feijoeiro a resposta desse cultivar ao N pode ser alta, demonstrando que pode existir absorção do N nos estádios mais tardios para este cultivar.

Talvez as baixas correlações entre leitura com clorofilômetro e teor de N nas folhas do feijão, no estágio V₃, e a falta de correlações no estágio V₄ (Tabelas 12 e 13), durante a safra “da seca”, indicam que boa parte do N absorvido nessa fase foi provavelmente utilizado para produção de outras estruturas na planta e não para formação de clorofila, visto que, nessa safra, a fase vegetativa dos cultivares de feijão foi menor quando comparada com a fase vegetativa dos cultivares durante a safra “das águas” (Tabelas 7 e 8). Assim, as leituras efetuadas com medidor portátil de clorofila, com objetivo de verificar o nível de N na planta, não foram muito precisas nos estádios iniciais de desenvolvimento do feijão durante “da seca”.

Os valores de IRC nas folhas do cultivar Pérola não apresentaram correlações significativas com a matéria seca da parte aérea no florescimento (Tabela 13). Os IRC obtidos aos 36, 43 e 50 DAE se correlacionaram significativamente com o teor de N na parte aérea. Já a quantidade de N acumulada na parte aérea apresentou correlações significativas com os valores de IRC determinados aos 36 e 43 DAE. A baixa correlação entre essas variáveis pode ser explicada pelo fato de a clorofila estar representada apenas pela

leitura em uma única folha indicadora, enquanto o teor de N na matéria seca e o N acumulado representam uma estimativa da quantidade total de N na parte aérea.

Tabela 13. Coeficientes de correlação linear simples entre o índice relativo de clorofila, teor de N foliar de cada época de avaliação, a massa de matéria seca da parte aérea, teor de N na parte aérea, quantidade de N acumulado na parte aérea no estádio R₆, a produtividade de grãos e o teor de proteína nos grãos do cultivar Pérola, na safra “da seca”.

Variável	Teor de N foliar	MS da parte aérea	Teor de N na parte aérea	Quantidade de N acumulado	Produtividade de grãos	Teor de proteína nos grãos
1ª leitura (15 DAE) – Estádio V ₃						
IRC	0,481*	ns	ns	ns	ns	0,479*
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
2ª leitura (22 DAE) – Estádio V ₄						
IRC	n.s	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
3ª leitura (29 DAE) – Estádio R ₅						
IRC	0,703**	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	0,520**
4ª leitura (36 DAE) – Estádio R ₆						
IRC	0,864**	ns	0,435*	0,546**	ns	ns
Teor de N	-	ns	0,592**	0,482*	ns	0,410*
5ª leitura (43 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	0,749**	ns	0,591**	0,593**	ns	ns
Teor de N	-	ns	0,410*	0,621**	ns	0,579**
6ª leitura (50 DAE) – Estádio R ₇						
IRC	0,798**	ns	0,573**	ns	ns	0,570**
Teor de N	-	ns	0,722***	0,502*	ns	0,719***
7ª leitura (57 DAE) – Estádio R ₈						
IRC	0,708**	ns	ns	ns	ns	ns
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns
8ª leitura (64 DAE) – Estádio R ₈						
IRC	0,799**	ns	ns	ns	ns	0,443*
Teor de N	-	ns	ns	ns	ns	ns

*, **, *** e ns são, respectivamente, significativos a 5%, 1%, 0,1% e não-significativo pelo teste t.

Não houve correlação significativa entre os valores de IRC e a produtividade de grãos (Tabela 13). Esses resultados discordam dos verificados por Silveira et al. (2003) e Sant’Ana et al. (2010), que obtiveram correlação linear entre o índice relativo de clorofila, determinado com o clorofilômetro, e a produtividade de grãos do feijoeiro.

Houve correlação entre o IRC e o teor de proteína nos grãos do cultivar Pérola para as leituras realizadas aos 15, 50 e 64 DAE, apresentando coeficientes de 0,479 e 0,570, respectivamente (Tabela 13).

Apenas os teores de N foliar do cultivar Pérola, avaliados aos 36, 43 e 50 DAE, apresentaram correlações apenas com o teor de N e quantidade de N acumulada na parte aérea das plantas (Tabela 13). A correlação entre o teor de N foliar e a produtividade de grãos não foi significativa. Houve correlações significativas entre os teores de N foliar determinados aos 29, 36, 43 e 50 DAE e o teor de proteína nos grãos.

7. CONCLUSÕES

O índice relativo de clorofila, obtido mediante as leituras do clorofilômetro, correlaciona-se de forma positiva com o teor de N na folha dos cultivares IAC Alvorada e Pérola, tanto no cultivo “das águas” quanto “da seca”.

Na safra “das águas”, a avaliação do nível de N na planta, realizada através das leituras do índice relativo de clorofila pelo clorofilômetro, nos estádios iniciais de desenvolvimento do feijoeiro é mais precisa por apresentar os maiores valores de correlação com o teor de N foliar, fato não observado na safra “da seca”.

O índice relativo de clorofila avaliado pelo clorofilômetro é crescente com o tempo, e se estabiliza a partir do florescimento dos cultivares, tornando o uso do clorofilômetro como indicador da necessidade da aplicação de N em cobertura a partir dessa fase ineficiente.

O índice de suficiência de nitrogênio de 90%, baseado na medida do clorofilômetro em uma área referência (com elevada disponibilidade de N), determinado durante a safra “das águas” e “da seca”, permite definir quando se deve aplicar o N em cobertura nos cultivares IAC Alvorada e Pérola, melhorando a eficiência de utilização do nitrogênio, porém, não proporciona os mesmos níveis de produtividade da área referência.

A utilização do índice de suficiência de nitrogênio de 95%, baseado na medida do clorofilômetro e em uma área referência, é menos eficiente que o ISN de 90% para a definição de quando se deve aplicar o N em cobertura no feijoeiro, cultivares IAC Alvorada e Pérola, por proporcionar menor eficiência de utilização do N.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIDAR, H. Características da cultura. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA ARROZ E FEIJÃO. **Cultivo do feijoeiro comum**. Goiânia, 2007. (Sistema de produção). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/CultivodoFeijoeiro/index.htm>>. Acesso em: 2 mar. 2009.

ALVAREZ, A. C. C. et al. Resposta do feijoeiro a aplicação de doses e fontes de nitrogênio em cobertura no sistema de plantio direto. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 69-75, 2005.

AMBROSANO, E. J. et al. Leguminosas e oleaginosas. In: RAIJ, B. van et al. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. **Boletim Técnico do Instituto Agrônomo de Campinas**, Campinas, n. 100, p. 187-203, 1997. 2. ed.

ANDRADE, M. J. B. 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.

ANDRADE, R. da S. et al. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 35-38, 2002.

ARAÚJO, G. A. A.; VIEIRA, C.; MIRANDA, G. V. Efeito da época de aplicação do adubo nitrogenado em cobertura sobre o rendimento do feijão, no período de outono-inverno. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 41, p. 442-450, 1994.

ARF, O. et al. Efeitos de doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura na cultura do feijão. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 6., 1999, Salvador. **Resumos...** Salvador: Embrapa, 1999. p. 790-793.

ARF, O. et al. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 131-138, 2004.

ARF, O. et al. Mecanismos de abertura do sulco e adubação nitrogenada no cultivo do feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 67, p. 499-506, 2008.

ARGENTA, G. 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. et al. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, p. 519-27, 2002.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v. 13, p. 158-167, 2001.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington, 1990. 684 p.

BALASUBRAMANIAN, V. et al. Adaptation of the chlorophyll meter (SPAD) technology for real-time N management in rice: a review. **International Rice Research Institute**, Makati, v. 5, p. 25-26, 2000.

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

BARBOSA FILHO, M. P. 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.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. Fontes, doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, p. 69-76, 2005.

BINOTTI, F. F. S. et al. Fontes e doses de nitrogênio em cobertura no feijoeiro de inverno irrigado no sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 26, p. 770-778, 2010.

BINOTTI, F. F. S. et al. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 473-481, 2009.

BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, p. 2073-2079, 2009.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Light reflectance compared with other nitrogen stress measurements in corn leaves. **Agronomy Journal**, Madison, v. 86, p. 934-938, 1994.

BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Use of chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. **Journal of Production Agriculture**, Madison, v. 8, p. 56-60, 1995.

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, 2000. p. 72-82.

BORDIN, L. et al. Sucessão de cultivo de feijão-arroz com doses de adubação nitrogenada após adubação verde, em semeadura direta. **Bragantia**, Campinas, v. 62, p. 417-428, 2003.

BREDEMEIER, C. **Predição da necessidade de nitrogênio em cobertura em trigo e aveia**. 1999. 101 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BUSATO, C. **Características da planta, teores de nitrogênio na folha e produtividade de tubérculos de cultivares de batata em função de doses de nitrogênio**. 2007. 142 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

CAIRES, E. F.; ROSOLEM, C. A. Efeitos da calagem, cobalto e molibdênio sobre a concentração de clorofila nas folhas de amendoim. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, p. 79-84, 1999.

CARVALHO, A. M. de et al. Influência da fertirrigação no rendimento de grãos e componentes de produção do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca. **Ciência e Prática**, Lavras, v. 16, p. 503-511, 1992.

CARVALHO, M. A. C. 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.

CARVALHO, M. A. C. et al. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamentos e fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, p. 617-624, 2001.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. **Sementes: ciência, tecnologia e produção**. Jaboticabal: FUNEP, 2000. 588 p.

CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da Fazenda Lageado: estação experimental "Presidente Médici". **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônomicas**, Botucatu, n. 1, p. 1-95, 1983.

CHAPMAN, S. C.; BARRETO, H. J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 557-562, 1997.

DEL PELOSO, M. J. et al. Cultivo irrigado em terras altas. In: ARAÚJO, R. S. et al. (Eds.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996. p. 571-588.

DIDONET, A. D. Fisiologia. In: MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; BIAVA, M. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2003. p. 22-27.

DINIZ, A. R. **Resposta da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à aplicação de nitrogênio (semeadura e cobertura) e de doses de molibdênio foliar**. 1995. 60 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1995.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. Nutrição, adubação e calagem. In: _____. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, 2000. cap. 2, p. 49-85.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Feijão**. Brasília, DF, 2009. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br>>. Acesso em: 26 fev. 2010.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF, 1999. 412 p.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Planta, 2006. 403 p.

FANCELLI, A. L. **Tecnologia para a produção do feijoeiro**. Piracicaba: SEBRAE, 1994. 154 p.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de feijão**. Piracicaba: Livrocere, 2007. 386 p.

FARINELLI, R. F. et al. Produtividade e qualidade fisiológica de sementes de feijão em função de sistemas de manejo de solo e adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, DF, v. 28, p. 102-109, 2006.

FARINELLI, R.; LEMOS, B. Produtividade, eficiência agrônômica, características nutricionais e tecnológicas do feijão adubado com nitrogênio em plantio direto e convencional. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 165-172, 2010.

FERNANDEZ, F.; GEPTS, P.; LOPES, M. **Etapas de desarrollo de la planta de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1986. 34 p.

FOLLETT, R. H.; FOLLETT, R. F.; HALVORSON, A. D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 23, n. 3, 1992, p. 687-697.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **FAOSTAT: crops**. Rome. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx>>. Acesso em: 10 dez. 2010.

FOX, R. H.; PIEKIELEK, W. P.; MACNEAL, K. M. Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 25, p. 171-181, 1994.

FURLANI JUNIOR, E. et al. Correlação entre leituras de clorofila e níveis de nitrogênio aplicados em feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, p. 171-175, 1996.

GALLO, J. R.; MIYASAKA, S. Composição química do feijoeiro e absorção de elementos nutritivos do florescimento à maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 20, p. 867-884, 1961.

GIL, P. T. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, p. 611-615, 2002.

GODOY, L. J. G. de et al. Índice relativo de clorofila e o estado nutricional em nitrogênio durante o ciclo do cafeeiro fertirrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 32, p. 217-226, 2008.

GODOY, L. J. G. de et al. Uso do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada para milho em sucessão a pastagem de *Brachiaria decumbens*. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, p. 38-44, 2006.

GODOY, L. J. G. de. **Manejo do nitrogênio em cobertura na cultura do milho (*Zea mays* L.) em solo arenoso baseado no índice relativo de clorofila**. 2002. 94 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

GOMES JÚNIOR, F. G. et al. Rendimento do feijoeiro de inverno em resposta à época de semeadura e adubação nitrogenada em cobertura em diferentes estádios fenológicos. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, p. 77-81, 2005.

GOMES JÚNIOR, F. G.; SÁ, M. E.; VALÉRIO FILHO, W. V. Nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto sobre gramíneas. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 30, p. 387-395, 2008.

HUNGRIA, M. et al. 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.

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.

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. **Cultivares de feijão**. Disponível em: <<http://www.iac.sp.gov.br/UniPesquisa/GraosFibras/Cultivares/Feijao.asp>>. Acesso em: 15 fev. 2009.

INSTITUTO BRASILEIRA DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/apps/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 2 dez. 2010.

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. **Banco de dados IEA**. Disponível em: <<http://www.iea.sp.gov.br/out/banco/menu.php>>. Acesso em: 6 dez. 2010.

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.

KANEKO, F. H. et al. Mecanismos de abertura de sulcos, inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro em sistema plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 69, p. 125-133, 2010.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes organominerais**. Piracicaba: O autor, 1993. 189 p.

LAJOLO, F. M. et al. Qualidade Nutricional. In: In: ARAÚJO, R. S. et al. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafos, 1996. p. 23-56.

LOMBARDI NETO, F.; DRUGOWICH, M. I. **Manual técnico de manejo e conservação de solo e água**. Campinas: CATI, 1994. v. 2, 168 p.

MACEDO, E. et al. Manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro irrigado sob plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 32, p. 1-5, 2002.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1997. 308 p.

MARQUARD, R. D.; TIPTON, J. L. Relationship between extractable chlorophyll and an *in situ* method to estimate leaf greenness. **HortScience**, Alexandria, v. 22, p. 1327, 1987.

MEIRA, F. A. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, p. 383- 388, 2005.

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. 4th ed. Worblaufen Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.

MINOLTA CAMERA. **Manual for chlorophyll meter SPAD-502**. Osaka: Minolta Radiometric Instruments Division, 1989. 22 p.

MINOTTI, P. L.; HALSETH, D. E.; SIECZKA, J. B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **HortScience**, Alexandria, v. 29, p. 1497-1500, 1994.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E. S.; MASCARENHAS, H. A. A. Modo e época de aplicação de nitrogênio na cultura do feijoeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 22, p. 511-519, 1963.

MURDOCK, L. et al. **Using a chlorophyll meter to make nitrogen recommendations on wheat**. Kentucky: Kentucky Cooperative Extension Service, 1997. 4 p.

NUNES, J. C. S. Efeito da palhada de sorgo localizada na superfície do solo em característica de plantas de soja e milho. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 50, p. 115-126, 2003.

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

PAN, Y. et al. Importance of foliar nitrogen concentration to predict forest productivity in the mid-Atlantic region. **Forest Science**, Bethesda, v. 3, p. 279-289, 2004.

PELEGRIN, R. 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.

PENG, S., GARCIA, F.V., LAZA, R.C., Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomy Journal**, Madison, v. 85, p. 987-990, 1993.

PETERSON, T. A.; BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. **Using a chlorophyll meter to improve N management**. Nebraska: University of Nebraska, Cooperative Extension, Institute of Agricultural and Natural Resources, 1993. 5 p. NebGuide.

PIASKOWSKI, S. R. et al. Adubação nitrogenada em cobertura para o feijoeiro em plantio direto na palha. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 2, p. 67-72, 2001.

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).

PIEKIELEK, W. P.; FOX, R. H. Use of a chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. **Agronomy Journal**, Madison, v. 84, p. 59-65, 1992.

PORTES, T. A. Ecofisiologia. In: ARAÚJO, R. S. et al. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 101-137.

RAIJ, B. van et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

RAIJ, B. van. **Avaliação de fertilidade do solo**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fósforo/Instituto Internacional da Potassa, 1981. 144 p.

REEVES, D. W. et al. Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 16, p. 781-796, 1993.

REIS, R. R. et al. **Produção de feijão em sucessão com milho em área de pivô central na região do Núcleo Rural São José-DF**. Planaltina: Faculdades Integradas da União Pioneira de Integração Social, 2010. 112 p. (Boletim técnico).

ROCHA, R. N. C. et al. Relação do índice SPAD, determinado pelo clorofilômetro, com teor de nitrogênio na folha e rendimento de grãos em três genótipos de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 4, p. 161-171, 2005.

ROMANINI JUNIOR, A. et al. Avaliação da inoculação de rizóbio e adubação nitrogenada no desenvolvimento do feijoeiro, sob sistema plantio direto. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 23, p. 74-82, 2007.

ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R. S. et al. (Coords.). **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, 1996. p. 353-390

ROSOLEM, C. A. **Nutrição e adubação do feijoeiro**. Piracicaba: Potafos, 1987. 93 p. (Boletim técnico, 8).

ROSOLEM, C. A.; VAN MELLIS, V. Monitoring nitrogen nutrition in cotton. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1601-1607, 2010.

SANT'ANA, E. V. P.; SANTOS, A. B. dos; SILVEIRA, P. M. Adubação nitrogenada na produtividade, leitura SPAD e teor de nitrogênio em folhas de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 40, p. 491-496, 2010.

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

SANTOS, A. B. et al. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 1265-1271, 2003.

SCHRÖDER, J. J. et al. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 66, p. 151-164, 2000.

SHAAHAN, M. M.; EL-SAYED, A. A.; ABOU EL-NOUR, E. A. A. Predicting nitrogen, magnesium and iron nutritional status of perennial crops using a portable chlorophyll meter. **HortScience**, Alexandria, v. 82, p. 339-348, 1999.

SILVA, C. C. da. **Influência de sistemas agrícolas em características do solo e na resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado à adubação nitrogenada em cobertura**. 1998. 116 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia)-Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 1998.

SILVA, M. P. **Espaçamentos entrelinhas e doses de nitrogênio em dois cultivares de feijoeiro irrigado no sistema plantio direto**. 2010. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Sistemas de Produção)-Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2010.

SILVA, R. V. M. M. et al. Relação entre o acúmulo foliar de nitrogênio e as leituras de um clorofilômetro, no capim Tifton 85. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 13.; ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 9., 2009, Paraíba. **Anais...** Paraíba: Universidade do Vale do Paraíba, 2009. p. 1-3.

SILVA, T. R. B. da. **Adubação nitrogenada e resíduos vegetais no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em sistema de plantio direto**. 2002. 56 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

SILVA, T. R. B. da; LEMOS, L. B.; TAVARES, C. A. Produtividade e característica tecnológica de grãos adubados com nitrogênio e molibdênio. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 45, p. 739-745, 2006.

SILVA, T. R. B. da et al. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto sobre diferentes coberturas vegetais. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 107-111, 2009.

SILVEIRA, P. M. da; 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, DF, v. 38, p. 1083-1087, 2003.

SILVEIRA, P. M. da; DAMASCENO, M. A. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, p. 1269-1276, 1993.

SINCLAIR, W. A.; WHITLOW, T. H.; GRIFFITHS, H. M. Heritable tolerance of ash yellows phytoplasmas in green ash. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 27, p. 1928-1935, 1997.

SMEAL, D.; ZHANG, H. Chlorophyll meter evaluation for nitrogen management in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 25, p. 1495-1503, 1994.

SOARES, A. L. L.; FERREIRA, P. A. A.; PEREIRA, J. P. Eficiência agronômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em Perdões (MG): II - feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, Viçosa, v. 30, p. 750-758, 2006.

SORATTO, R. P. et al. Aplicação tardia de nitrogênio no feijoeiro em sistema de plantio direto. **Bragantia**, Campinas, v. 64, p. 211-218, 2005.

SORATTO, R. P. et al. Épocas de antecipação do nitrogênio para feijoeiro no sistema plantio direto após milho solteiro ou consorciado com *Brachiaria brizantha*. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 28.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 12.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 10.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 7., 2008, Londrina. **Desafios para o uso do solo com eficiência e qualidade ambiental: resumos...** Londrina: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2008. 1 CD-ROM.

SORATTO, R. P. et al. Níveis e épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura no feijoeiro irrigado em plantio direto. **Cultura Agronômica**, Ilha Solteira, v. 10, p. 89-99, 2001.

SORATTO, R. P.; CARVALHO, M. A. C.; ARF, O. Nitrogênio em cobertura no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, p. 259-265, 2006.

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, DF, v. 39, p. 895-901, 2004.

STALIN, P. et al. Comparing management techniques to optimize fertilizer N application in rice in the Cauvery Delta of Tamil Nadu, India. **International Rice Research Institute**, Makati, v. 5, p. 25-26, 2000.

STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 577-582, 2006.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura, sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 473-481, 2001.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TURNER, F. T.; JUND, M. F. Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semidwarf rice. **Agronomy Journal**, Madison, v. 83, p. 926-928, 1991.

VALDERRAMA, M. et al. Fontes e doses de nitrogênio e fósforo em feijoeiro no sistema plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 39, p. 191-196, 2009.

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.

VIDAL, I.; LONGERI, L.; HÉTIER, J.M. Nitrogen uptake and chlorophyll meter measurements in Spring Wheat. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, Dordrecht, v. 55, p. 1-6, 1999.

VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1998. p. 123-152.

VILLAS BÔAS, R. L. **Doses de nitrogênio para o pimentão aplicadas de forma convencional e através da fertirrigação**. 2001. 123 f. Tese (Livre Docência)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

WASKOM, R. M. et al. Monitoring nitrogen status of corn with a portable chlorophyll meter. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, Philadelphia, v. 27, p. 545-560, 1996.

WESTERMANN, D. T. et al. Nitrogen sources for been seed production. **Agronomy Journal**, Madison, v. 73, p. 660-664, 1981.

WOOD, C. W.; REEVES, D. W.; HIMELRICK, D. G. Relationship between chlorophyll meter readings and leaf chlorophyll concentration, N status and crop yield: a review. **Proceedings of Agronomy Society of New Zeland**, Couterbury, v. 23, p. 19, 1993.

YADAVA, U. L. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. **HortScience**, Alexandria, v. 21, p. 1449-1450, 1986.

YOKOYAMA, L. P. et al. **Nível de aceitabilidade da cultivar de feijão Pérola**: avaliação preliminar. Brasília, DF: Embrapa Arroz e Feijão, 1999. 20 p. (Documentos, 98).

9. APÊNDICE



Apêndice 1. Leituras do índice relativo de clorofila em plantas de feijão utilizando o clorofilômetro portátil SPAD-502. Botucatu, SP.



Apêndice 2. Aplicação do adubo nitrogenado em cobertura. Botucatu, SP.



Apêndice 3. Visão geral do experimento da “safra da seca” aos 30 dias após a emergência: parcela experimental referente ao manejo M1 (referência) do cultivar IAC Alvorada (A); parcela experimental referente ao manejo M1 do cultivar Pérola (B); parcela experimental referente ao manejo M6 (testemunha) do cultivar IAC Alvorada (C); parcela experimental referente ao manejo M6 (testemunha) do cultivar Pérola (D). Botucatu, SP.



Apêndice 4. Visão geral da área experimental da safra “da seca”: na fase de emergência dos cultivares (A); aos 15 dias após a emergência (B); aos 30 dias após a emergência (C). Botucatu/SP.



Apêndice 5. Visão geral da área experimental da safra “das águas”: na fase de emergência dos cultivares (A); aos 15 dias após a emergência (B); aos 30 dias após a emergência (C). Botucatu/SP.