



**RESPOSTA DO FEIJOEIRO COMUM AO NITROGÊNIO NO
PLANTIO, EM COBERTURA E EM DIFERENTES SAFRAS**

CLÁUDIO ROBERTO VALÉRIO

2002

54116
MFN046316

CLÁUDIO ROBERTO VALÉRIO

**RESPOSTA DO FEIJOEIRO COMUM AO NITROGÊNIO NO
PLANTIO, EM COBERTURA E EM DIFERENTES SAFRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Agronomia, área de
concentração em Fitotecnia, para a obtenção do
título de

Orientador

Prof. Dr.

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2002

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Valério, Cláudio Roberto

Resposta do feijoeiro comum ao nitrogênio no plantio, em cobertura e em diferentes safras / Cláudio Roberto Valério. – Lavras : UFLA, 2002.

62 p. : il.

Orientador: Messias José Bastos de Andrade.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Feijão. 2. Plantio. 3. Nitrogênio. 4. Cobertura. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.652894

CLÁUDIO ROBERTO VALÉRIO

**RESPOSTA DO FEIJOEIRO COMUM AO NITROGÊNIO NO
PLANTIO, EM COBERTURA E EM DIFERENTES SAFRAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 24 de junho de 2002

Prof. Dr. Luiz Arnaldo Fernandes

UFMG

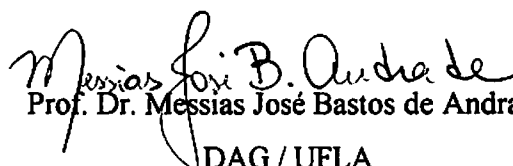
Pesq. Dra. Miralda Bueno de Paula

EPAMIG

Prof.^a Dra. Janice Guedes de Carvalho Prof. Dr. Daniel Furtado Ferreira

UFLA

UFLA


Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade

DAG / UFLA

(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Ao meu pai José Carlos Valério e meu irmão Sílvio César Valério (in memoriam), à minha mãe Helena Cafalquio Valério e meu irmão Luíz Carlos Valério, obrigado pelo apoio. De maneira muito especial e com muito amor a Tatiana Almeida Silveira agradeço o apoio nos momentos difíceis desta jornada.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me proporcionado sabedoria, saúde, estímulo, força e perseverança durante o curso, para superar todas as dificuldades que surgiram.

À Universidade Federal de Lavras pela oportunidade de realização de mais este curso.

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

Aos professores e colegas da Escola Estadual de Primeiro e segundo grau “Figueira de Toledo” e da Escola Estadual de Primeiro Grau do Bairro da Marmelada, em Natividade da Serra-SP, que sempre acreditaram que o esforço deste trabalho de base fosse peça fundamental na formação de um Doutor em agronomia, obrigado.

Ao meu orientador, professor Messias, pelo convívio, apoio, confiança e pelos exemplos diários de caráter, determinação e profissionalismo.

Ao professor Daniel pela amizade, ajuda e sugestões para melhoria deste trabalho.

Aos professores Luiz Arnaldo e Miralda, pela ajuda e sugestões ao trabalho, além da participação no comitê orientador.

À eterna madrinha do Departamento de agricultura, professora Janice Guedes, pelos conhecimentos transmitidos, pela colaboração no comitê orientador e pela prazerosa convivência.

Ao professor Arnaldo Junqueira, pela grande amizade, exemplo de comportamento e conhecimento técnico transmitido.

Ao amigo Denismar pela amizade e ajuda fundamental na realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 O N no solo.....	03
2.2 Resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada.....	06
2.3 Adubação nitrogenada no plantio.....	06
2.4 Adubação nitrogenada em cobertura convencional.....	09
2.5 Cobertura nitrogenada via fertigação	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	13
3.1 Local e características da área experimental.....	13
3.2 Delineamento estatístico, tratamentos e detalhes das parcelas...13	
3.3 Material genético.....	15
3.4 Condução dos experimentos.....	16
3.5 Características avaliadas.....	17
3.6 Análises estatísticas.....	17
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
4.1 Número de grãos por vagem.....	21
4.2 Peso médio de cem grãos.....	24
4.3 Número médio de vagens por planta.....	31
4.4 Rendimento de grãos.....	32
4.5 Abordagem econômica.....	42
5 CONCLUSÕES.....	48
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	49
ANEXOS.....	57

RESUMO

VALÉRIO, Cláudio Roberto. **Resposta do feijoeiro comum a doses de nitrogênio no plantio e cobertura.** 2002. 62 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. *

Com o objetivo de avaliar a resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) a diferentes doses de nitrogênio (N) no plantio e em cobertura, bem como à sua interação, visando fornecer subsídios para sistemas de produção mais eficientes, foram conduzidos três ensaios de campo (safras da seca 98, águas 98/99 e inverno-primavera 99) em um Latossolo Vermelho distroférico típico da Universidade Federal de Lavras. O delineamento estatístico foi blocos ao acaso com quatro repetições e esquema fatorial 4x4 envolvendo quatro doses de N no plantio (0, 40, 80 e 120 kg ha^{-1} de N) e quatro doses de N em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha^{-1} de N). Avaliaram-se o rendimento de grãos e os seus componentes primários (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso médio de cem grãos). Os dados foram submetidos à análise de variância individual e conjunta, além da análise de regressão simples ou múltipla (superfície de resposta), sempre que adequado. Os resultados mostraram que um mesmo rendimento de grãos pode ser obtido com diferentes combinações de doses de N no plantio e em cobertura. Quando se considera apenas o N no plantio, o rendimento de grãos do feijoeiro eleva-se com o incremento da dose de N até 80 kg ha^{-1} . Apesar da interdependência das doses de N aplicadas no plantio e em cobertura, maiores acréscimos de rendimento de grãos são observados em função das doses de N no plantio. É possível a obtenção de produtividades próximas do rendimento máximo, utilizando apenas N no plantio, com redução da dose total de N aplicada. Esta opção seria a mais econômica, embora em algumas situações de campo encontre dificuldades para ser adotada.

* Comitê Orientador: Prof. Dr. Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Orientador), Prof. Dr. Daniel Furtado Ferreira – UFLA (Co-orientador) e Prof. Dr. Pedro Milanez de Rezende – UFLA (Co-orientador).

ABSTRACT

VALÉRIO, Cláudio Roberto. **Response of the common bean plant to doses of nitrogen at planting and dressing.** 2002. 62p. Thesis (Crop Science Doctorate). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

The present work was intended to evaluate the response of the bean plant (*Phaseolus vulgaris* L.) to different doses of nitrogen (N) at planting and topdressing as well their interaction, aiming to afford subsidies to more efficient farming systems. Three field trials (1998 drought season, 1998/1999 rainy season and Winter /Spring crops) on a distroferric Red Latosol typical of the Universidade Federal de Lavras (Federal University of Lavras) were conducted. The statistical design was randomized blocks with four replicates and 4 x 4 factorial scheme involving four doses of N at planting (0, 40, 80 and 120 Kg ha⁻¹ of N) and four doses of N topdressing (0, 30, 60 and 90 kg ha⁻¹ of N). Grain yield and its primary components (number of pods per plant, number of grains per pod and average weight of one hundred grains). The data were submitted to the individual and joint analysis of variance, in addition to analysis of simple or multiple regression (response surface), whenever adequate. Grain yield, number of pods per plant and grain weight were influenced by the doses of N topdressing and mainly by the doses of N at planting. When considering only N at planting, grain yield of the bean plant raised with increase of the dose of N up to the dose of 80 kg ha⁻¹. A same grain yield, nevertheless, can be obtained from different combinations involving greater doses of N at planting and lower total doses of N topdressing. In general, the combinations involving higher doses of N at planting and lower doses of N topdressing tended to lowest total doses of N. The results still showed that it is possible to obtain good yield even close to the maximum yield by utilizing only N at planting with decrease of the total dose of N applied and cost of nitrogen fertilization.

*Guidance Committee: Messias José Bastos de Andrade – UFLA (Major Professor), Daniel Furtado Ferreira – UFLA (Major Professor) and Pedro Milanez de Rezende – UFLA (Major Professor).

1 INTRODUÇÃO

O Brasil está entre os maiores produtores e consumidores mundiais de feijão, o qual representa uma das principais fontes de proteína na dieta alimentar de significativa parcela da sua população. A produtividade média do feijoeiro, entretanto, tem se mostrado baixa, até o momento, devido à dependência climática, principalmente a relativa sensibilidade da cultura ao “déficit” hídrico, e à não adoção de técnicas modernas de produção.

O aumento da produtividade é a forma mais viável de garantir o abastecimento de produtos alimentares básicos como o feijão, porque apesar de requerer a adoção de tecnologias mais modernas, pode reduzir a incorporação de novas áreas ao processo produtivo, contribuindo para maior preservação ambiental.

Em lavouras empresariais, o feijoeiro vem sendo cultivado com elevado nível tecnológico, atingindo produtividades crescentes. O rendimento médio nacional das lavouras irrigadas supera 1500 kg ha^{-1} (Silveira & Stone, 1994), tendo alcançado 1612 kg ha^{-1} na safra agrícola 1996/1997, e superado os 2000 kg ha^{-1} na safra 1997/1998. Esses valores são bem superiores à média anual das lavouras de sequeiro, que atualmente se encontra em torno de 930 kg ha^{-1} (Tsunechiro, 1997).

A irrigação representa uma tecnologia de implantação e operação onerosas, tornando necessária a adoção de outras práticas que, a ela combinadas, aumentem a produtividade e o lucro das lavouras. Dentre essas práticas, o manejo racional da adubação nitrogenada no plantio e em cobertura assume especial importância, visto que o nitrogênio é o nutriente mais comumente aplicado nas lavouras irrigadas de feijão, muitas vezes em doses elevadas.

O nitrogênio normalmente é fornecido sob a forma de fertilizantes cuja assimilação pode ser lenta, o que resulta em perdas por lixiviação e/ou volatilização, tornando-o indisponível à planta. Além disso, a poluição das fontes de água pelo nitrogênio, tanto em superfície quanto em profundidade, representa sério problema ambiental. A redução desses fertilizantes, visando atender às reais necessidades das lavouras, implicaria na minimização dos riscos com o N lixiviado e na redução do custo final de produção. Estas e outras considerações sobre poluição com N são encontradas em Berton (1992).

As informações encontradas na literatura a respeito da dosagem e do parcelamento dos fertilizantes nitrogenados são controversas, generalizadas e muito influenciadas pelo sistema agrícola empregado, fatores que, via de regra, tornam as recomendações de adubação inadequadas para a cultura do feijoeiro (Silva, 1988). Os trabalhos realizados nesse sentido, principalmente os que se referem à interação entre a adubação nitrogenada em plantio e em cobertura, demonstram que o conhecimento desse assunto ainda é incipiente e carente de sistematização.

O objetivo do presente estudo foi avaliar, em três safras, a resposta do feijoeiro a diferentes doses de nitrogênio no plantio e em cobertura, bem como à sua interação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

O feijoeiro é atualmente uma das principais culturas em sistemas intensivos de produção agrícola no Brasil, o que se tornou realidade em função de alto grau de adoção de tecnologia. Face ao limitado sistema radicular e ao ciclo curto, é uma cultura altamente exigente em fertilidade, que necessita de adubação balanceada para expressar todo o seu potencial produtivo (Thung & Oliveira, 1998). Entre as tecnologias relacionadas à adubação para aqueles sistemas de cultivo, entretanto, a adubação nitrogenada é a que tem gerado maior número de questionamentos. As dúvidas vão desde reações e mecanismos controladores da disponibilidade do N no solo, características e reações no solo das diferentes fontes de N, até a prática da adubação quanto a fontes, doses, métodos de aplicação e, principalmente, quanto ao seu aspecto econômico (Barbosa Filho & Silva, 2001). Recentemente, indagações de natureza ambiental também têm sido levantadas.

2.1 O N no solo

Valiosos detalhes sobre o comportamento do nitrogênio no solo são apresentados por Fassbender (1975), Rajj (1987), Lopes (1989) e outros. De forma bem resumida, pode-se dizer que o N encontra-se no solo predominantemente em forma orgânica, e que o restante, pequena fração muito variável do teor total, encontra-se nas formas inorgânicas de NH_4^+ e, principalmente, NO_3^- . Sob boa aeração e pH adequado, o NH_4^+ é rapidamente convertido em NO_3^- .

Os teores de N inorgânico do solo são altamente dinâmicos no solo, sendo alterados constantemente em razão dos processos de mineralização

(amonificação e aminação) da matéria orgânica e da imobilização (fixação temporária em microrganismos), os quais atuam simultaneamente. Em um dado momento, a fração inorgânica representa a diferença entre o N mineralizado e o N imobilizado e caracteriza o N disponível do solo, do qual parte pode ser absorvida. As quantidades disponíveis, portanto, dependem de fatores relacionados à matéria orgânica (cultura anterior, relação C/N dos resíduos e teor de matéria orgânica do solo), bem como de fatores que afetam a mineralização (aeração, umidade, temperatura e reação do solo). De maneira geral, no sistema de plantio convencional há redução gradativa do teor de matéria orgânica do solo e proporcional aumento das respostas à adubação. Do mesmo modo, torna-se cada vez mais difícil a previsão do suprimento de N a partir da matéria orgânica. No caso da adubação nitrogenada, há também que se considerar as perdas que ocorrem por lixiviação e/ou volatilização.

A denitrificação não biológica ou volatilização passou a ter maior importância econômica com o forte incremento das doses de N na adubação, principalmente na forma de uréia (Fassbender, 1975; Lara Cabezas & Trevelin, 1990), a qual, juntamente com o sulfato de amônio, constitui a fonte nitrogenada mais utilizada na agricultura brasileira (Barbosa Filho & Silva, 2001). A uréia $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ se hidroliza, formando carbonato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, o qual é instável e se decompõe em amônia, NH_3 e CO_2 (Fassbender, 1975). As perdas de amônia volatilizada da uréia aplicada em cobertura (60 e 90 kg ha^{-1} de N) na cultura do trigo foram quantificadas por Spolidorio et al. (1997), os quais concluíram que aplicando 1/3 do N no plantio e 2/3 em superfície, aos 41 DAE, as perdas foram de 12 a 21% no trigo irrigado e de 48 a 49% no trigo sem irrigação.

Apesar dessas perdas, são encontrados na literatura trabalhos de pesquisa que demonstram que a uréia em cobertura pode ser tão eficiente quanto outras formas de N quando ocorre uma chuva ou se procede a uma irrigação após a sua

aplicação (Fox et al., 1986). Recentemente, Barbosa Filho & Silva (2001) verificaram que a aplicação de uréia fertilizante seguida de irrigação foi a opção mais econômica de adubação de cobertura do feijoeiro irrigado em área experimental da Embrapa, em Santo Antônio de Goiás-GO.

Tradicionalmente, a lixiviação tem sido considerada o principal tipo de perda de N no solo, servindo de importante argumento para o parcelamento da adubação nitrogenada. Entretanto, alguns trabalhos têm fornecido resultados que questionam a grande importância conferida à lixiviação de N até então.

Urquiaga et al. (1984), por exemplo, acompanhando a variação do N no solo e do N aplicado como fertilizante na cultura do feijoeiro em Terra Roxa Estruturada, concluíram que as perdas por lixiviação não são tão elevadas, pois mais de 86% do N ficaram acumulados nas camadas superficiais, entre 0 e 45cm. Este N pode, portanto, ainda ser reciclado por culturas de sistema radicular mais profundo, ou mesmo pelo feijoeiro, cujas raízes concentram-se até 20 cm, mas podendo alcançar 70-90 cm de profundidade (Inforzato & Miyasaka, 1963).

Coelho et al. (1991b), estudando o balanço do N no sistema solo-planta após aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N fonte uréia no milho (estágio 7-8 folhas), constataram que a perda por lixiviação abaixo dos 90 cm correspondeu a apenas 4% do N aplicado. Cerca de 56% foram extraídos pela cultura e 23% permaneceram no solo na camada de 0 – 90cm. O destino dos restantes 17% foi atribuído a outros processos não determinados no trabalho.

De acordo com Mengel (1996) e Yamada & Abdalla (2000), à exceção dos solos arenosos, as perdas de N por lixiviação não são tão importantes, não justificando excessivos parcelamentos, inclusive pela mão-de-obra requerida. Na cultura do milho, por exemplo, a pequena perda de N por lixiviação poderia explicar a falta de resposta ao parcelamento do nutriente em três ou mais vezes, comparado a uma única aplicação, conforme citam Coelho & França (1995).

2.2 Resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada

De acordo com Rosolem (1996), têm-se obtido respostas do feijoeiro ao nitrogênio (N) em todo o Brasil, embora a frequência e amplitude da resposta variem de região para região, e ainda dentro da mesma região, em função do clima e das condições fitossanitárias, além do possível mascaramento da resposta pela fixação simbiótica do nitrogênio (FBN). É importante mencionar, ainda, que diversas características do solo e de seu manejo também devem ser computadas entre os fatores modificadores da resposta das culturas à adição de fertilizantes nitrogenados.

Para Vieira (1998a), quantidades de N superiores a 100 kg ha^{-1} são necessárias para altas produtividades do feijoeiro, o que é compreensível face ao papel desempenhado pelo nutriente nas plantas, principalmente em se tratando de uma leguminosa, com 22% de proteína nos grãos, em média.

Levantamento realizado por Vieira (1998a), envolvendo 71 experimentos de campo com a cultura do feijoeiro, em 30 municípios do estado de Minas Gerais, mostrou que em 63% dos ensaios houve resposta positiva a aplicações do N. Em apenas dois casos (2,8%) a aplicação do adubo nitrogenado deprimiu o rendimento.

2.3 Adubação nitrogenada no plantio

Já na década de sessenta, Malavolta (1967) afirmava que em culturas de ciclo curto, no inverno, quando a nitrificação é muito atenuada, seriam possíveis resultados satisfatórios usando a uréia apenas no plantio. Deve-se ter em mente, entretanto, que doses elevadas de N no plantio, devido ao efeito salino do fertilizante sobre a semente e/ou plântula, podem reduzir a população de

feijoeiros, principalmente se associadas a doses também elevadas de K_2O (Silveira & Damasceno, 1993). Esta, aliás, tem sido outra argumentação a favor do parcelamento da adubação nitrogenada.

Rosolem (1996), citando resultados de vários autores, como Diniz et. al. (1995), deixa bem claro que o efeito da adubação na produtividade se dá principalmente via aumento do número de vagens por planta, razão pela qual considera que em qualquer situação a dose total já deve estar aplicada até o início do florescimento. Em sequeiro, o autor recomenda que o N seja aplicado todo na semeadura ou, no máximo, até 20 dias após a emergência; e em condições irrigadas, recomenda cobertura em até duas vezes.

Ainda segundo Rosolem (1996), os resultados disponíveis já permitiam inferir que o parcelamento excessivo da cobertura nitrogenada no feijoeiro leva à diminuição da resposta da planta, da eficiência, da mão-de-obra e, portanto, da economicidade da adubação. O autor conclui que pode ser interessante aumentar a dose de N aplicada no início do ciclo da cultura.

No período de 1989 a 1999, a recomendação oficial da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais para a cultura do feijoeiro era de 20 kg ha^{-1} de N no plantio e 20 a 40 kg ha^{-1} de N em cobertura, 20-25 dias após a emergência da cultura (Comissão ..., 1989). Entretanto, muitos resultados, como o de Andrade et al. (1998), obtidos a partir dos anos 90, indicaram que a dose de N no plantio poderia ser aumentada. Trabalhando em um Latossolo Vermelho distroférico típico, Andrade et al. (1998) verificaram que a produtividade do feijoeiro respondeu linearmente a doses de até 40 kg ha^{-1} de N na semeadura. Teixeira et al. (2000), testando doses de até 50 kg ha^{-1} de N (2/3 no plantio e 1/3 em cobertura, 20 dias após a emergência), também encontraram respostas lineares em três safras, destacando-se a do inverno-primavera irrigada com maior resposta. Garrido (1998), com o mesmo tipo de parcelamento, já havia encontrado resposta linear a doses de até 120 kg ha^{-1} . Rodrigues (2001),

trabalhando com doses de até 120 kg ha^{-1} de N no estudo da interação NP no feijoeiro, obteve resposta linear em duas safras e quadrática em outra (máxima produtividade estimada com $108,6 \text{ kg ha}^{-1}$ de N, correspondentes a $72,4 \text{ kg ha}^{-1}$ de N no plantio e $36,2 \text{ kg ha}^{-1}$ de N em cobertura). A partir de 1999, as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais para o feijoeiro passaram a considerar o patamar de profundidade, estabelecendo doses que variam de 20 a 40 kg ha^{-1} de N no plantio e de 20 a 60 kg ha^{-1} de N em cobertura (Chagas et al., 1999).

Dentre outros, os resultados apresentados parecem realmente apontar forte tendência de modificação da estratégia de adubação nitrogenada, aumentando-se as doses recomendadas no plantio. Contra esta estratégia poderiam ser levantados dois argumentos. O primeiro, já citado, seria o maior risco de efeito salino da mistura fertilizante, notadamente em situações de altas doses de N e K. O segundo seria o efeito depressivo de altas doses de N sobre a nodulação radicular e sobre a FBN.

Pormenores a respeito da infecção pelos rizóbios, nodulação das raízes e FBN no feijoeiro podem ser encontradas nas revisões de Araújo & Henson (1988), Oliveira et al. (1996), Cassini & Franco (1998) e Vieira et al. (2001). De maneira geral, quando a concentração de N-nitrato no solo excede determinado valor, tanto a adesão das bactérias às raízes quanto o processo de infecção e desenvolvimento nodular e a atividade da nitrogenase podem ser negativamente afetados, razão pela qual a adubação nitrogenada não é usualmente recomendada para leguminosas que podem fixar ativamente o N atmosférico. Por outro lado, deve-se salientar que baixas concentrações de nitrato podem até promover a nodulação por proporcionarem crescimento mais rápido da planta e desenvolvimento de um sistema radicular saudável. Essas concentrações, porém, dependem da espécie leguminosa em questão.

Na prática, entretanto, existem outras limitações mais fortes à FBN do feijoeiro (promiscuidade da espécie, baixa adaptação e competição do rizóbio inoculado, baixa tolerância do rizóbio a variações de temperatura, falta de coincidência da maior atividade da bactéria com o período de maior demanda do feijoeiro por N), o que diminui a importância da concentração de nitrato no solo. Os efeitos daqueles outros fatores têm sido tão atuantes, a ponto de o feijoeiro ser sempre utilizado como exemplo de resposta pobre de leguminosa à inoculação das sementes com rizóbio.

2.4 Adubação nitrogenada em cobertura convencional

De acordo com Moraes (1988), a adubação nitrogenada em cobertura visa assegurar o suprimento de N no período de máximo crescimento (ou de maior requerimento de N), o qual ocorre entre as etapas $V_3 - V_4$, primeira a terceira folha trifoliolada distendida, e R_6 , florescimento (Miyasaka et al., 1963; Haag et al., 1967; Cobra Neto, 1967; Cobra Neto et al., 1971; Mafra et al., 1974; Almeida & Bulisani, 1980).

Realmente, a grande maioria dos trabalhos de pesquisa aconselha que a cobertura nitrogenada convencional, em filete junto às linhas de plantio, deve ser aplicada antes do período de maior requerimento, se aplicada de uma única vez, ou antes e durante aquele período, se aplicada em mais de uma vez (Meirelles et al., 1980; Hungria et al., 1985; Caballero et al., 1985).

Rosolem (1996), com base em diversos trabalhos, como o de Diniz et al. (1995), considera que o componente do rendimento mais afetado pela calagem e adubação é o número de vagens por planta e argumenta que, de fato, seria difícil aumentar significativamente o rendimento de grãos apenas via maior número de grãos por vagem ou maior peso de 100 grãos, já que seria necessária uma

variação percentual muito grande nestes componentes para resultar em pequenos ganhos de produtividade total.

Desta forma, Rosolem (1996) recomenda que a adubação nitrogenada deve ser realizada de modo a propiciar uma boa nutrição da planta em época em que ainda é possível aumentar o número de vagens por planta, isto é, até o início do florescimento. O autor cita, dentre outros, o trabalho clássico de Miyasaka et al. (1963), os quais recomendam a cobertura nitrogenada aos 20 dias após a emergência das plantas. Várias outras referências também endossam que a melhor época para aplicação de N em cobertura vai até os 45 dias após a emergência (Araújo et al., 1994; Coelho et al., 1991a; Meirelles et al., 1980; Ambrosano et al., 1996).

No Brasil predomina a idéia de que aumentando o número de parcelamentos da adubação nitrogenada, aumenta a eficiência da utilização do N e reduzem as perdas deste nutriente. Em função dessa crença entre os agricultores, é freqüente o parcelamento da adubação nitrogenada em duas, três, quatro, ou até em maior número de vezes durante o ciclo cultural do feijoeiro (Coelho, 1994).

Segundo Rosolem (1996), entretanto, os resultados disponíveis na literatura permitem inferir que o parcelamento excessivo da cobertura nitrogenada leva à diminuição da resposta da planta, da eficiência e, portanto, da economicidade da adubação. Em função desta constatação, o autor recomenda que em condições de sequeiro (em que as doses são normalmente menores), o N deve ser todo aplicado no plantio ou, no máximo, no plantio mais uma única cobertura aos 20 dias da emergência. Em condições irrigadas, ou boa disponibilidade de água, com bom controle fitossanitário e maiores doses do fertilizante, poderia ser feita a cobertura em duas vezes, mas a dose total deve ser sempre aplicada até o início do florescimento. Esta última recomendação é

também a da 5ª Aproximação das Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes no Estado de Minas Gerais (Chagas et al., 1990).

2.5 Cobertura nitrogenada via fertigação

Preciosas informações sobre quimigação, especialmente fertigação (ou fertirrigação), são apresentadas por Vieira (1998b). Segundo este autor, o N é o nutriente com maior potencial de uso pela fertigação por se tratar de nutriente absorvido em grandes quantidades, muito móvel no solo e com disponibilidade de diferentes fontes para uso por este método de aplicação.

A aplicação de N via pivô pode se mostrar mais eficiente por proporcionar maior sincronia entre o N disponível no solo e a real capacidade de absorção das plantas, além de permitir parcial absorção de N pelas folhas. Isto, aliado à uniformidade de aplicação e imediata incorporação do N, pode resultar, inclusive, em redução da dose recomendada (Vieira, 1998b).

Por outro lado, existem desvantagens. Há poucos trabalhos de pesquisa e, conseqüentemente, pouca difusão de tecnologia. Apesar dos maiores riscos de contaminação ambiental, tais como a do lençol freático e das fontes de captação, a maioria dos agricultores tem negligenciado as pertinentes medidas de segurança. É grande a possibilidade de escoamento superficial, principalmente em pivôs com aspersores de baixa pressão instalados em áreas de topografia irregular, gerando perdas do fertilizante aplicado, ineficiência da adubação e novas contaminações no ambiente. Muitos fertilizantes são corrosivos e causam danos ao equipamento (Vieira, 1998b).

A fertigação é um método de aplicação a lanço, com a vantagem de proporcionar maior flexibilidade quanto à época de aplicação. No caso de nutrientes móveis no perfil do solo, como o N, a fertigação tem a vantagem de incorporá-los imediatamente ao solo, sendo, por isto, classificada como

aplicação em subsuperfície (Vieira, 1998b). Mesmo quando se aplica convencionalmente o fertilizante nitrogenado na superfície, a ocorrência de chuva ou uma irrigação após aplicação pode aumentar a sua eficiência (Fox et al., 1986), reduzindo as perdas por volatilização. Esta estratégia apresenta-se viável principalmente no plantio direto (Barbosa Filho & Silva, 2001), onde há necessidade de incorporação do adubo ao solo abaixo da camada de resíduos deixados pelas culturas anteriores.

Não foram encontrados, na literatura, resultados de pesquisa relacionados à fertigação com N pelo pivô central na cultura do feijoeiro. No entanto, resultados com outras culturas, principalmente milho, relacionados por Vieira (1998b), indicam que raramente é eficiente o parcelamento da adubação de cobertura em mais de três vezes. Segundo o autor, isto somente seria possível em período chuvoso, em solos arenosos e com utilização de altas doses de N. Com base neste argumento e considerando resultados de Maia (1989), Felipe (1991) e Carvalho et al. (1992), recomenda-se, na cultura do feijoeiro, fazer a primeira fertigação entre 18 e 25 dias após a emergência (60% da dose total de cobertura), a segunda entre 25 e 35 dias (30% de dose) e a terceira entre 35 e 45 dias após a emergência (10% da dose). Se a quantidade de N aplicada na primeira fertigação for superior a 35 kg ha^{-1} , normalmente tida como quantidade máxima por aplicação, ela pode ser dividida e aplicada dentro da mesma semana.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local e características da área experimental

O presente trabalho constou de três ensaios conduzidos a campo nas safras da seca (verão-outono) 98, das águas (primavera-verão) 98/99 e do inverno (inverno-primavera) 99, em áreas contíguas ao campo experimental do Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Lavras situa-se na região do Sul do estado de Minas Gerais, a 21°14' de latitude Sul e 45°00' de longitude Oeste, com altitude média de 918 metros em relação ao nível do mar. O clima dessa região caracteriza-se por apresentar temperatura média de 22,1°C no mês mais quente do ano e de 15,8°C no mês mais frio, com média anual de 19,4°C. A precipitação total anual é de 1.529,7 mm, a evapotranspiração média anual total é de 1.034,3 mm e a umidade relativa média anual é de 76,20 % (Brasil, 1992). As variações diárias de temperatura, umidade relativa do ar e precipitação pluvial observadas no decorrer da condução dos experimentos estão apresentadas na Figura 1.

Os solos das áreas utilizadas foram classificados originalmente como Latossolo Vermelho distroférico típico (EMBRAPA, 1999). Resultados de análises químicas de amostras desses solos estão apresentados na Tabela 1.

3.2 Delineamento estatístico, tratamentos e detalhes das parcelas

O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos casualizados, com 4 repetições, em esquema fatorial 4 x 4, envolvendo quatro doses de nitrogênio no plantio (0, 40, 80 e 120 kg ha⁻¹) e quatro doses em cobertura (0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹), totalizando 16 tratamentos. A fonte de N empregada foi

sempre a uréia fertilizante e a cobertura foi realizada de forma convencional, em filete, sem incorporação, entre os estágios V₃ (primeira folha trifoliolada) e V₄ (terceira folha trifoliolada).

Cada parcela foi constituída por quatro fileiras de 5m de comprimento, espaçadas 0,50m (10m² de área total) e com densidade de 15 sementes por metro. Somente as duas linhas centrais foram consideradas como área útil.

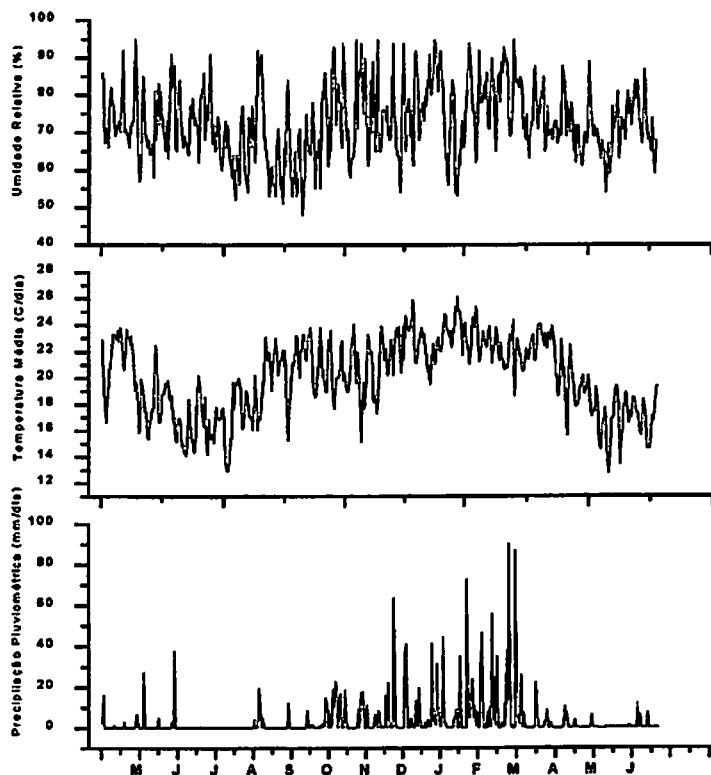


FIGURA 1. Representação gráfica da temperatura média, precipitação pluviométrica e umidade relativa do ar, diárias, no período de abril de 1998 a junho de 1999 (Dados fornecidos pela Estação Climatológica Principal de Lavras – MG, situada no campus da UFLA, em convênio com o Instituto Nacional de Meteorologia – INMET).

TABELA 1. Resultados de análises químicas de amostras do Latossolo Vermelho distroférico típico utilizado nos experimentos. UFLA, Lavras-MG, 1998/99⁽¹⁾.

Características	Seca 98	Águas 98/99	Inverno 1999
pH em água	4,8	5,5	5,5
P (mgdm ⁻³) ⁽²⁾	6,0	6,0	5,0
K(mgdm ⁻³) ⁽²⁾	70	31	56
Ca (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	3,0	2,6	2,0
Mg (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	1,0	1,2	1,1
Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽³⁾	0,0	0,0	0,0
H+Al (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁴⁾	3,2	4,3	3,2
S (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁵⁾	4,2	3,9	3,2
t (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁵⁾	4,2	3,9	3,2
T (cmol _c dm ⁻³) ⁽⁵⁾	7,4	8,4	6,4
m (%) ⁽⁵⁾	0,0	0,0	0,0
V (%) ⁽⁵⁾	57	47	50
M.O. (dag kg ⁻¹) ⁽³⁾	2,3	2,2	1,9

⁽¹⁾ Análises realizadas nos laboratórios do Departamento de Ciência do Solo (DCS) da UFLA e interpretação de acordo com Comissão... (1999).

⁽²⁾ Mehlich⁻¹

⁽³⁾ KCL 1molL⁻¹

⁽⁴⁾ Acetato de Ca 0,5 molL⁻¹ pH 7,0

⁽⁵⁾ S: soma de bases, t: CTC efetiva, T: CTC a pH 7,0; V: saturação por bases, m: saturação por Al e M.O.: matéria orgânica.

3.3 Material genético

A cultivar utilizada em todos os ensaios foi a 'Pérola' (anteriormente linhagem LR 720982COL53). Ela foi obtida no Centro Nacional de Pesquisa-Arroz e Feijão da EMBRAPA e vem sendo recomendada desde 1994 (EMBRAPA, 1997). Suas principais características são indicadas na Tabela 2.

TABELA 2. Características da cultivar Pérola, segundo EMBRAPA (1996).

Características da planta:

Hábito de crescimento:	Indeterminado (entre os tipos II e III)
Porte:	Semi-ereto a prostrado
Floração média:	46 DAE ¹
Ciclo:	90 DAE ¹
Cor da flor:	Branca
Cor da vagem na maturação:	Verde, levemente rosada
Cor da vagem na colheita:	Amarelo-areia
Resistente às doenças:	Ferrugem e Mosaico comum

Características do grão:

Cor:	Bege clara, com rajadas marrom-clara
Brilho:	Opaco
Peso de 100 sementes:	27 g
Grupo comercial:	Carioca

¹DAE: dias após a emergência

3.4 Condução dos experimentos

Nas três safras estudadas o preparo do solo consistiu de uma aração e duas gradagens. A calagem não foi necessária, segundo o método que se baseia nos teores de alumínio, cálcio e magnésio (Alvarez V. & Ribeiro, 1999).

As adubações fosfatada e potássica foram idênticas em todos os tratamentos, aplicando-se 90 kg.ha⁻¹ de P₂O₅ (fonte superfosfato triplo) e 60 kg.ha⁻¹ de K₂O (fonte cloreto de potássio) no plantio.

O ensaio do inverno-primavera foi conduzido sob irrigação por aspersão convencional e na seca houve irrigações complementares, com o mesmo equipamento.

3.5 Características avaliadas

Nos três ensaios conduzidos, foram avaliados o rendimento de grãos e seus componentes primários (número de vagens por planta, número de grãos por vagem e peso médio de cem grãos), estes últimos determinados a partir de amostra aleatória de 10 plantas, tomadas ao acaso na parcela útil.

O número médio de vagens por planta foi obtido considerando a contagem total das vagens presentes nas dez plantas amostradas. O número médio de grãos por vagem foi determinado a partir da média do número de grãos por vagem na amostra de dez plantas. Obteve-se o peso médio de 100 grãos a partir da pesagem de uma amostra de 300 grãos, expressando-o em gramas.

O rendimento de grãos, por sua vez, foi obtido pela pesagem dos grãos da área útil da parcela, sendo incluídos os obtidos com as 10 plantas amostradas. O rendimento de grãos foi expresso em kg ha^{-1} e corrigido para 13% de umidade através da equação:

$$P = P_c(100 - U_0); \quad (87)$$

em que:

P: peso corrigido;

P_c : peso de campo;

U_0 : umidade de campo;

3.6 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram inicialmente submetidos à análise de variância individual, utilizando o esquema de análise para ensaios fatoriais com dois fatores (Gomes, 2000) e verificando a homogeneidade das variâncias ($F_{\max.}$). Em seguida, foi realizada a análise de variância conjunta sugerida por Banzatto

& Kronka (1992), utilizando o programa estatístico SISVAR, versão 4.0 (Ferreira, 2000). O modelo adotado na análise de variância foi:

$$Y_{ijklm} = \mu + \beta_m(k) + p_i + c_j + (pc)_{ij} + e_k + (ep)_{ki} + (ec)_{kj} + (epc)_{kij} + e_{ijkl}$$

em que:

Y_{ijklm} : é a observação referente à adubação nitrogenada fornecida em plantio i , em cobertura j , na safra k , na parcela l ;

μ : é a média geral do experimento;

$\beta_m(k)$ é o efeito do bloco m dentro de cada safra k ($m = 1, 2, 3, 4$);

p_i : é o efeito da dose i de N fornecida no plantio ($i = 0, 40, 80$ e 120 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N);

c_j : é o efeito da dose j de N fornecida em cobertura ($j = 0, 30, 60$ e 90 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N);

$(pc)_{ij}$: é o efeito da interação da dose i em plantio com a dose j em cobertura;

e_k : é o efeito da safra k ($k =$ inverno/primavera, águas e seca);

$(ep)_{ki}$: é o efeito da interação da safra k com a dose de N fornecida no plantio i ;

$(ec)_{kj}$: é o efeito da interação da safra k com a dose de N fornecida em cobertura j ;

$(epc)_{kij}$: é o efeito da interação da safra k , com as doses de N fornecidas em plantio i e em cobertura j ;

e_{ijkl} : é o erro experimental, sendo $e_{ijkl} \cap (0, \sigma^2)$.

Os efeitos dos níveis de adubação nitrogenada, quando significativos pelo teste F na análise de variância, foram submetidos à análise de regressão.

Sempre que adequado, ajustaram-se equações de regressão múltipla, ou superfícies de resposta (Alvarez V., 1985), em função das doses de N no plantio e em cobertura. Para seleção das equações, foram usados os critérios de significância do modelo (teste F) e dos seus coeficientes (teste t) (Gomes, 2000).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Um resumo da análise de variância conjunta (três safras) é apresentado na Tabela 3. Verifica-se que houve boa precisão experimental na estimativa das características avaliadas no feijoeiro, pois os valores dos coeficientes de variação (CV%) foram inferiores aos normalmente obtidos na região. Abreu et al. (1994), avaliando o coeficiente de variação para rendimento de grãos em 78 experimentos de feijão nas regiões Sul e Alto Paranaíba, em Minas Gerais, nas décadas de 70 e 80, verificaram que houve variação de 7,5% a 44,3%, com uma média de 29,6%. Naquela oportunidade, os autores salientaram a necessidade de esforços no sentido de melhorar a precisão dos ensaios, de modo a permitir a detecção de diferenças cada vez menores entre os tratamentos. De certa forma, os dados obtidos (Tabela 3) satisfizeram esta necessidade.

O número de grãos por vagem foi significativamente influenciado pelas doses de N no plantio (NP) e em cobertura (NC), bem como pela interação NC x safras (SF). Estas mesmas fontes de variação também tiveram efeito significativo sobre o peso médio de 100 grãos, assim como as safras e a interação NP x NC. O número de vagens por planta e o rendimento de grãos, por sua vez, mostraram-se significativamente afetados pelas doses de N no plantio (NP) e em cobertura (NC), pela sua interação (NP x NC) e pela interação NP x SF. A interação tripla (NP x NC x SF) somente foi significativa no caso do número de vagens por planta (Tabela 3).

Na Tabela 4 é apresentado um resumo dos valores médios obtidos na análise conjunta das três safras. Observa-se que apenas no caso das safras as médias estão seguidas das letras correspondentes aos respectivos testes de médias, já que nos demais casos (doses de N no plantio ou cobertura) a discussão foi feita com base na análise de regressão.

TABELA 3. Resumo (quadrados médios) da análise de variância conjunta (três safras) dos dados relativos a características do feijoeiro cv. Pérola. UFLA, Lavras -MG, 1998/99.

F.V.	G.L.	Quadrados médios			
		Grãos por vagem	Peso médio 100 grãos	Vagens por planta	Rendimento de Grãos
Bloco d/ safra	9	0,51	1,13	2,17	114.489,77
N plantio (NP)	3	0,39*	34,20**	267,19**	10.879.478,81**
N cobertura (NC)	3	0,38*	3,25**	30,48**	982.243,95**
Safra (SF)	2	0,02	134,32**	189,07**	4.255.570,75**
NP x NC	9	0,15	1,68**	8,42**	218.824,69**
NP x SF	6	0,22	0,58	35,51**	436.389,83**
NC x SF	6	0,28*	1,28*	0,18	30.835,49
NP x NC x SF	18	0,09	0,73	1,89*	18.885,77
Erro médio	135	0,11	0,44	1,09	33.556,22
CV%		6,61	3,31	12,02	12,44
Médias					

* Significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

4.1 Número de grãos por vagem

Verifica-se, na Tabela 4, que os valores médios do número de grãos por vagem apresentaram pequena amplitude (4,89 a 5,09), com média de 5,02. A análise de variância da Tabela 3, entretanto, indicou que esta característica foi influenciada pelas doses de N no plantio e pelas doses de N em cobertura, sendo este último efeito modificado pelas safras. De fato, os valores médios do número de grãos por vagem cresceram ligeiramente com as doses de N no plantio (Tabela 4) e a análise de regressão revelou que eles cresceram linearmente, embora com incremento de pequena magnitude (Figura 2), o que de fato tem sido constatado com a mesma cv. Pérola em outros estudos, como o de Teixeira (1998), por exemplo.

TABELA 4. Valores médios (análise conjunta) dos componentes primários do rendimento e do rendimento de grãos do feijoeiro cv. Pérola em função de safras e de doses de N no plantio e cobertura. UFLA, Lavras -MG, 1998/99¹.

Fatores	Grãos por vagem	Peso médio 100 grãos (g)	Vagens por planta	Rendimento grãos (kg.ha ⁻¹)
Safras:				
Inverno 98	5,03	20,44 b	9,57 a	1318 b
Águas 98/99	5,02	22,98 a	6,69 b	1770 a
Seca 99	5,00	20,50 b	9,76 a	1329 b
N plantio (kg.ha⁻¹)				
0	4,89	20,20	5,50	867
40	5,04	21,11	8,27	1319
80	5,04	22,07	10,50	1855
120	5,09	21,84	10,43	1850
N cobertura (kg.ha⁻¹)				
0	5,06	21,00	7,89	1296
30	4,96	21,28	8,08	1425
60	4,94	21,63	9,33	1548
90	5,11	21,32	9,40	1622

¹Em cada coluna, médias seguidas por diferentes letras diferem significativamente pelo teste Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Como já mencionado, o efeito das doses de N em cobertura sobre o número de grãos por vagem foi dependente da safra (Tabela 3). De fato, o desdobramento da interação NC x SF revelou que pelo menos na safra das águas as doses de N em cobertura tiveram efeito significativo sobre aquela variável (Tabela 5). A análise de variância da regressão na safra das águas detectou efeito quadrático das doses de N em cobertura, com bom ajuste da equação selecionada. No modelo selecionado, ocorreu um ponto de mínimo na dose equivalente a 49 kg.ha⁻¹ de N em cobertura (Figura 3).

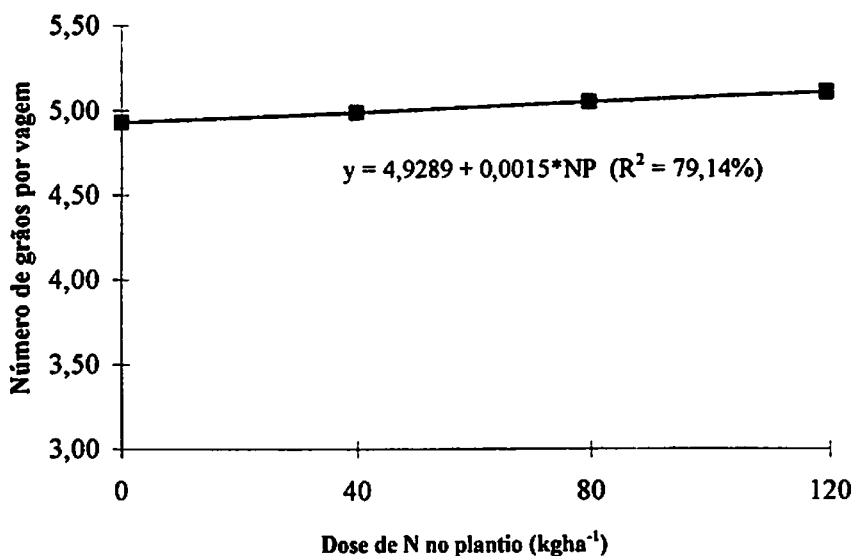


FIGURA 2. Representação gráfica e equação de regressão do número de grãos por vagem do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

TABELA 5. Resumo da análise de variância (número de grãos por vagem) do desdobramento de doses de N em cobertura dentro de safras. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

F.V.	G.L.	Q.M.
NC d/ inverno 98	3	0,0218 n.s.
NC d/ águas 98/99	3	0,8466 **
NC d/ seca 99	3	0,0231 n.s.
Resíduo	135	0,1099

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.
n.s. Não significativo.

Apesar da diferença estatística, também neste caso, a magnitude da variação do número de grãos por vagem foi de pequena importância prática, talvez por se tratar de uma característica varietal, que sofre menos influência do ambiente, conforme argumentou Teixeira (1998). Esse argumento parece corroborar Rosolem (1996), segundo o qual os aumentos de rendimento proporcionados pela adubação se dão via aumento do número de vagens por planta, devido à pequena sensibilidade do número de grãos por vagem e do peso médio de cem grãos.

É provável que, no presente estudo, a significância encontrada para as doses de N (tanto no plantio como em cobertura) tenha sido, pelo menos parcialmente, resultante da alta precisão alcançada na estimativa do número de grãos por vagem, haja vista o baixo valor encontrado para o CV, 6,61% (Tabela 3).

4.2 Peso médio de cem grãos

Esta característica hoje se reveste da maior importância, visto que a atual exigência do mercado de feijão tipo carioca inclui grãos de fundo claro (carioca leite), sem halo e pesando pelo menos 25g por cem grãos (Rodrigues, 2001). Como a descrição da cv. Pérola (Tabela 2) lhe atribui um peso da ordem de 27g por cem grãos, a princípio esta cultivar se encaixa perfeitamente no perfil exigido pelo mercado. Nota-se, entretanto, que este peso de grão não foi alcançado nem mesmo na safra das águas do presente estudo, quando se obteve o maior tamanho de grão, em torno de 23g por cem grãos. Nesta safra, a melhor disponibilidade de água para as plantas poderia ter conferido maior peso aos grãos. Nas demais safras, o peso de cem grãos situou-se entre 20 e 21 gramas (Tabela 4).

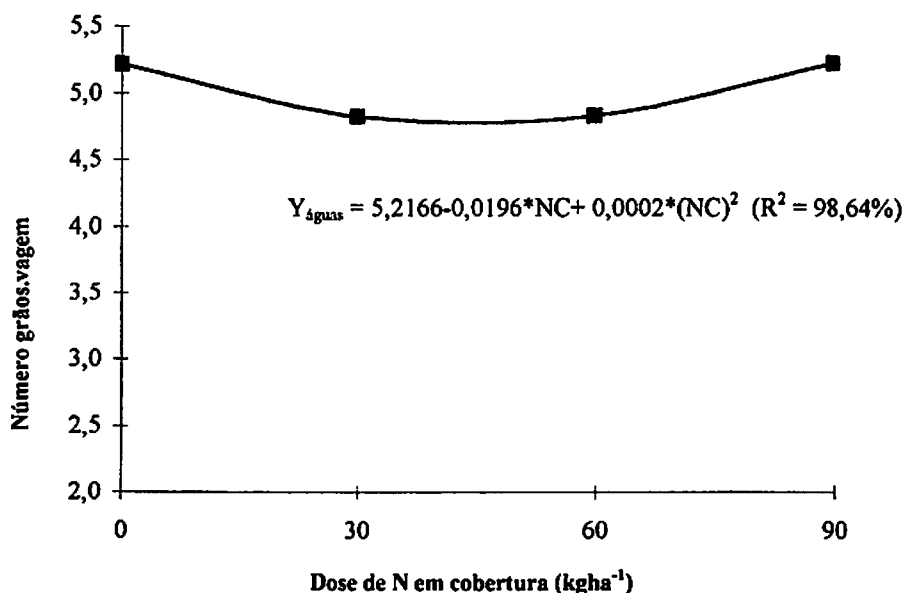


FIGURA 3. Representação gráfica e equação de regressão do número de grãos por vagem do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N em cobertura na safra das águas. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

Além da significância dos efeitos principais de safras (SF) e das doses de N no plantio (NP) e em cobertura (NC), a análise de variância revelou que as interações NC x SF e NP x NC também foram significativas (Tabela 3).

O desdobramento da interação NC x SF mostrou que, de fato, em pelo menos duas safras (inverno 98 e seca 99) o efeito das doses de N em cobertura foi significativo (Tabela 6). Nas águas, este efeito não foi significativo, o que poderia ser consequência de maior lixiviação do N aplicado em cobertura ou da

maior adição de N pelas chuvas nesta estação de plantio, já que ambos os processos poderiam mascarar o efeito das doses de N em cobertura.

TABELA 6. Resumo da análise de variância (peso médio de cem grãos) do desdobramento de doses de N em cobertura dentro de safras. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

F.V.	G.L.	Q.M.
NC d/ inverno 98	3	2,4200 **
NC d/ águas 98/99	3	0,5722 n.s.
NC d/ seca 99	3	2,8238 **
Resíduo	135	0,4419

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

n.s. Não significativo.

A análise de variância da regressão, por sua vez, revelou que o modelo quadrático ajustou-se melhor aos dados, com valores de R^2 acima de 97% (Figura 4). Em ambas as safras a resposta foi semelhante, alcançando pontos de máximo peso de cem grãos (entre 20,8 e 20,9g) com doses entre 50,16 e 56,5 kg ha^{-1} de N em cobertura, no inverno-primavera 98 e seca 99, respectivamente (Figura 4).

O decréscimo do peso de cem grãos com doses acima de 50 kg ha^{-1} de N poderia ser explicado pelo efeito das maiores doses no incremento do número de vagens por planta, conforme será discutido posteriormente. A partir de determinado número de vagens formadas, os recursos disponíveis começam a limitar o enchimento de grãos, levando à formação de grãos menores.

O fato de o efeito da cobertura mostrar-se significativo em apenas duas safras, e mesmo assim com pequena magnitude, reforça a opinião de Rosolem (1996) sobre a pequena sensibilidade da característica (peso de cem grãos) ao incremento da adubação nitrogenada.

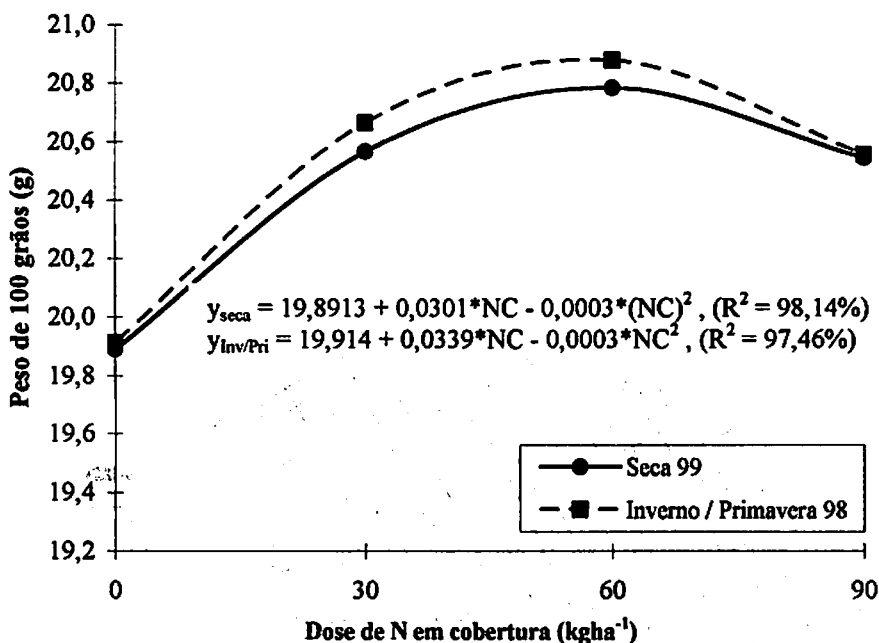


FIGURA 4. Representação gráfica e equação de regressão do peso médio de cem grãos do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N em cobertura nas safras das seca e inverno. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

Os efeitos da interação NP x NC sobre o peso médio de cem grãos podem ser observados na Figura 5, em que são apresentadas a equação de regressão desta variável e a superfície de resposta resultante. Verifica-se que as respostas foram de natureza quadrática e que, de forma geral, o incremento das doses de N no plantio foram mais eficientes que as doses em cobertura na elevação do peso médio do grão.

$$y = 19,838479 + 0,014317*NC + 0,034814*NP - 0,000172*(NP)^2 - 0,000109*(NC)^2 - 0,000590*NC*NP + 0,000007196*NC*(NP)^2 + 0,000008862*(NC)^2*NP - 0,000000105*(NC)^2*(NP)^2, (R^2 = 94,67\%)$$

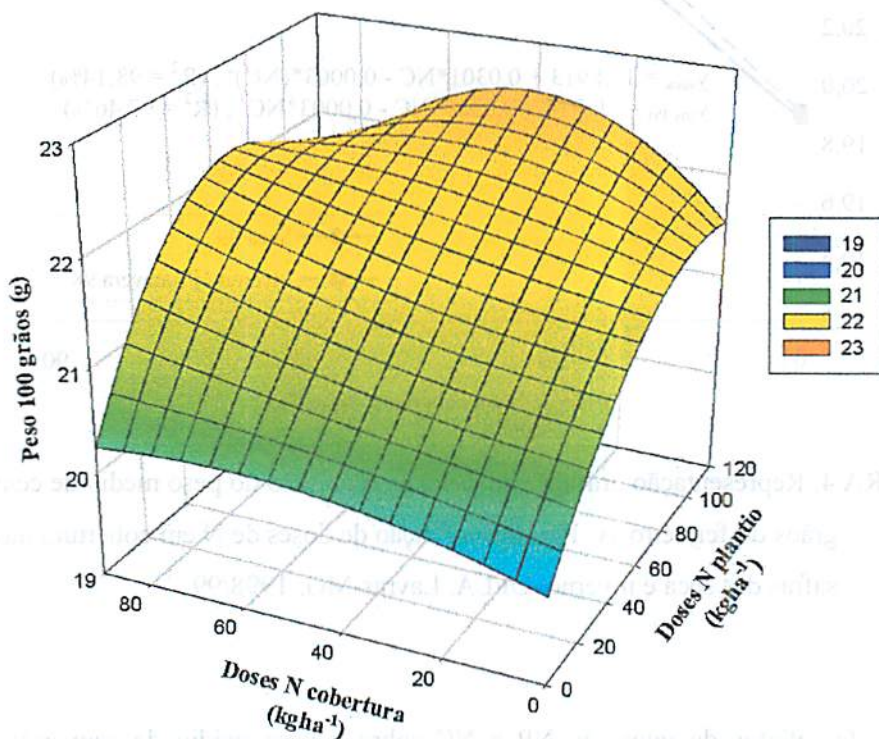


FIGURA 5. Superfície de resposta do peso de cem grãos do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

Sobre a superfície de resposta da Figura 5 existem vários pontos de mesma cota, ou seja, correspondentes a um mesmo peso de 100 grãos, embora obtidos com diferentes combinações de doses de N no plantio e em cobertura. A união destes pontos de mesma cota leva à obtenção de curvas de mesma cota ou isoquantas (Alvarez V., 1985), conforme mostrado na Figura 6. Nesta última figura observa-se, por exemplo, que o peso médio de 22,41g por 100 grãos na maior isoquanta representada poderia ser alcançado, indiferentemente, com diferentes combinações entre doses de 110 a 120 kg ha^{-1} de N no plantio com 30 a 60 kg ha^{-1} de N em cobertura. Desnecessário se torna dizer que as menores doses, de um e de outro, seriam as mais econômicas, já que a fonte de N foi a mesma nas duas aplicações, plantio e cobertura. Este aspecto econômico será melhor discutido em relação ao rendimento de grãos.

Deve ser mencionado, ainda, que a isoquanta de maior peso médio apresentada corresponde à isoquanta construída com 90% do valor máximo alcançado pela variável no estudo. De acordo com Alvarez V. et al. (1988), as doses correspondentes à máxima eficiência econômica são as que provocam 80 a 90% dos máximos obtidos.

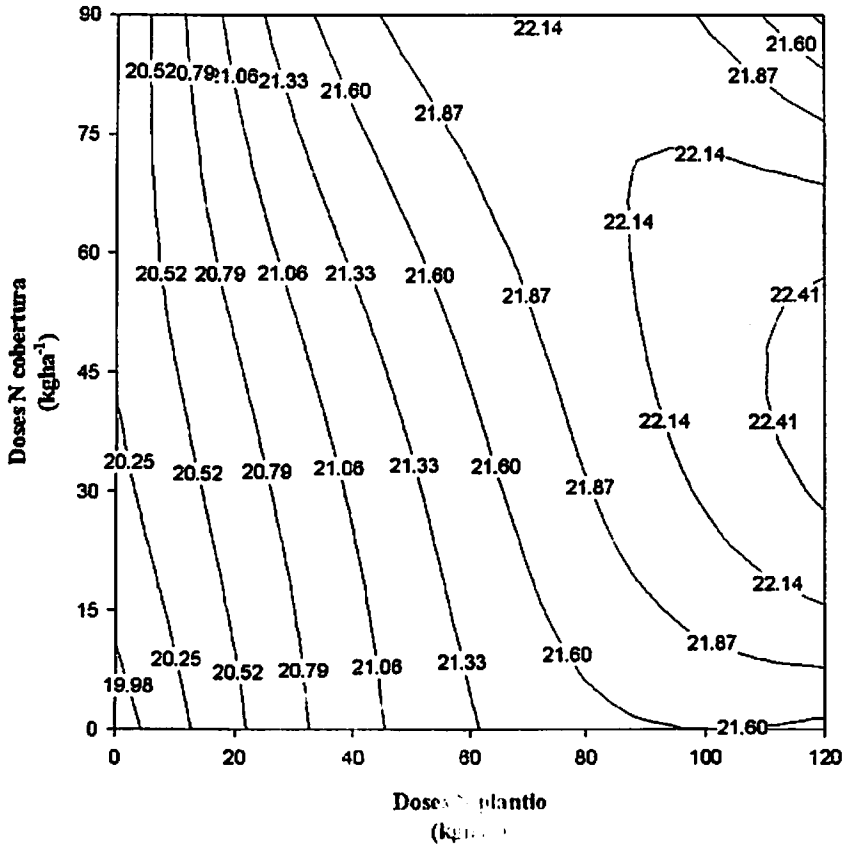


FIGURA 6. Algumas isoquantas assinaladas sobre a superfície de resposta relativa ao peso médio de cem grãos em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

4.3 Número médio de vagens por planta

O número de vagens por planta tem sido o componente primário que mais se correlaciona com o rendimento de grãos (Bennett et al., 1977) e também o mais sensível ao incremento da adubação nitrogenada (Rosolem, 1996).

Como o número de vagens por planta foi significativamente influenciado, dentre outras fontes de variação, pela interação tripla NP x NC x SF (Tabela 3), a discussão dessa variável será realizada com base nas Figuras 7 a 12 a seguir, as quais representam os efeitos da interação NP x NC em cada uma das safras estudadas.

Nas safras do inverno-primavera e seca (Figuras 7 e 11), nas quais se obtiveram melhores ajustes dos dados às equações (superfícies), com valores de R^2 superiores a 95%, os resultados foram mais coerentes e consistentes. Observa-se que os formatos das superfícies de resposta nestas duas safras (Figuras 7 e 11) foram bastante próximos, mostrando maior efeito das doses de N no plantio. Já na safra das águas (Figura 9), o ajuste dos dados à superfície foi menor ($R^2 = 76,91\%$) e os resultados não foram tão coerentes com os das demais safras. Entretanto, é importante salientar que nas três safras a associação das maiores doses de N no plantio e em cobertura levou à redução do número de vagens por planta, sendo esta “deflexão” mais acentuada na safra da águas.

O exame das isoquantas da superfície de resposta das águas (Figura 10) indica que os maiores números de vagens ficaram em torno de 8 vagens por planta, os quais somente foram obtidos com doses de N no plantio superiores a $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, associadas a doses de 30 a $70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ de N em cobertura. Nesta safra a alta temperatura, o excesso de umidade e a decorrente manifestação de doenças importantes do feijoeiro podem contribuir para maior aborto de flores e vagens (Andrade, 1998). Enquanto isso, nas safras do inverno (Figura 8) e seca (Figura 12), as isoquantas demonstram que o número máximo de vagens superou

12 vagens por planta, as quais puderam ser obtidas com doses inferiores de N no plantio, desde que associadas com doses intermediárias de N em cobertura.

Pode-se verificar, ainda, que o número de vagens equivalente ao obtido na seca, em torno de 8 vagens por planta, poderia ser obtido nas demais safras com doses de N bem inferiores, da ordem de 50 kg ha^{-1} de N no plantio, associadas a pequenas doses de N em cobertura (em torno de 10 kg ha^{-1} de N).

4.4 Rendimento de grãos

A análise de variância (Tabela 3) mostrou que além dos efeitos principais das safras (SF) e das doses de N no plantio (NP) e em cobertura (NC), também foram significativas as interações NP x SF e NP x NC.

O maior rendimento de grãos foi obtido na safra das águas, quando se alcançaram 1770 kg ha^{-1} (Tabela 4). Esta produtividade é bastante superior às médias mineira e brasileira. Nesta época de semeadura, em 2001, o rendimento médio mineiro situou-se em torno de 1040 kg ha^{-1} , e o brasileiro, na faixa de 892 kg ha^{-1} (CONAB, 2001). Na safra das águas, as altas temperaturas, a excessiva umidade do solo, as doenças, as pragas, as plantas daninhas e as chuvas freqüentes (principalmente na maturação e colheita) são fatores nocivos ao pegamento de flores e vagens e à qualidade do produto e aumentam as perdas, resultando em menores produtividades (Andrade, 1998). Excepcionalmente, as boas condições climáticas no ensaio da águas (Figura 1) favoreceram o crescimento e o desenvolvimento do feijoeiro, garantindo boa produtividade.

$$y = 3,8983 + 0,01861*NC + 0,11007*NP - 0,000337*(NP)^2 + 0,000097222*(NC)^2 + 0,000688*NC*NP - 0,000006542*NC*(NP)^2 - 0,000002083*(NC)^2*NP, (R^2 = 96,98\%)$$

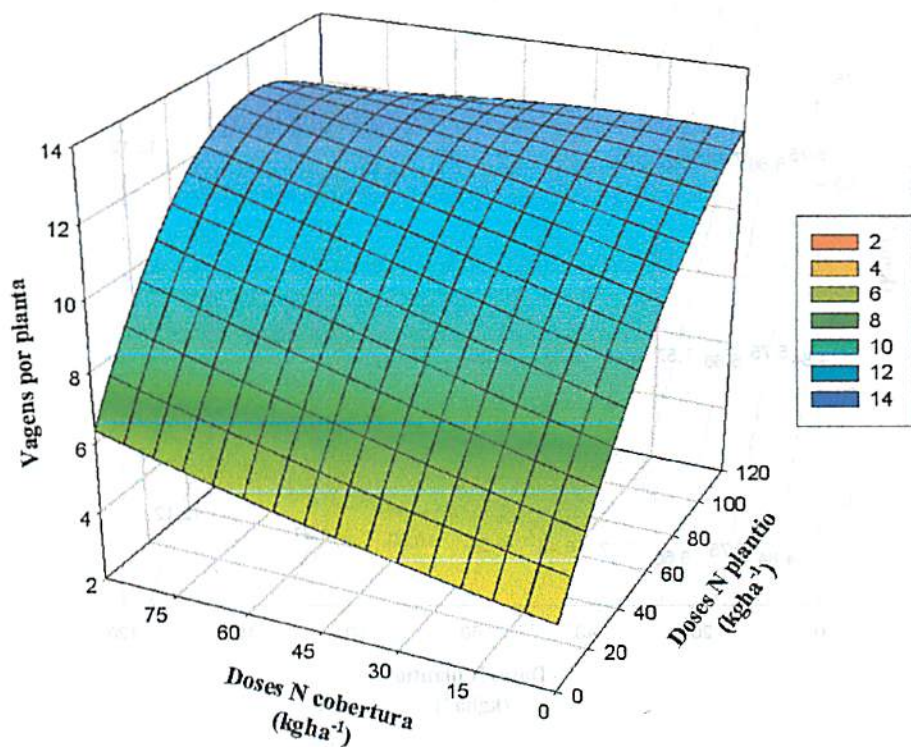


FIGURA 7. Superfície de resposta do número de vagens por planta do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99. Safra de inverno-primavera/98.

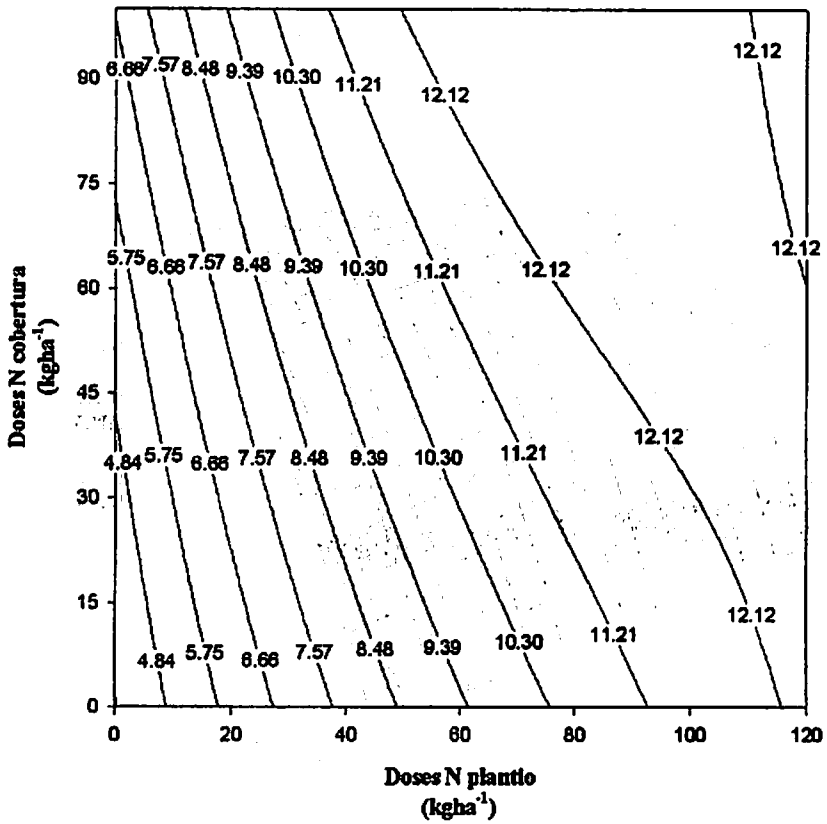


FIGURA 8. Algumas isoquantas assinaladas sobre a superfície de resposta relativa ao número de vagens por planta em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99. Safra de inverno-primavera/98.

$$y = 5,379625 - 0,035992*NC + 0,002116*NP + 0,000060937*(NP)^2 + 0,000656*(NC)^2 + 0,001198*NC*NP - 0,00002201*NC*(NP)^2 - 0,000012066*(NC)^2*NP, (R^2 = 67,91\%)$$

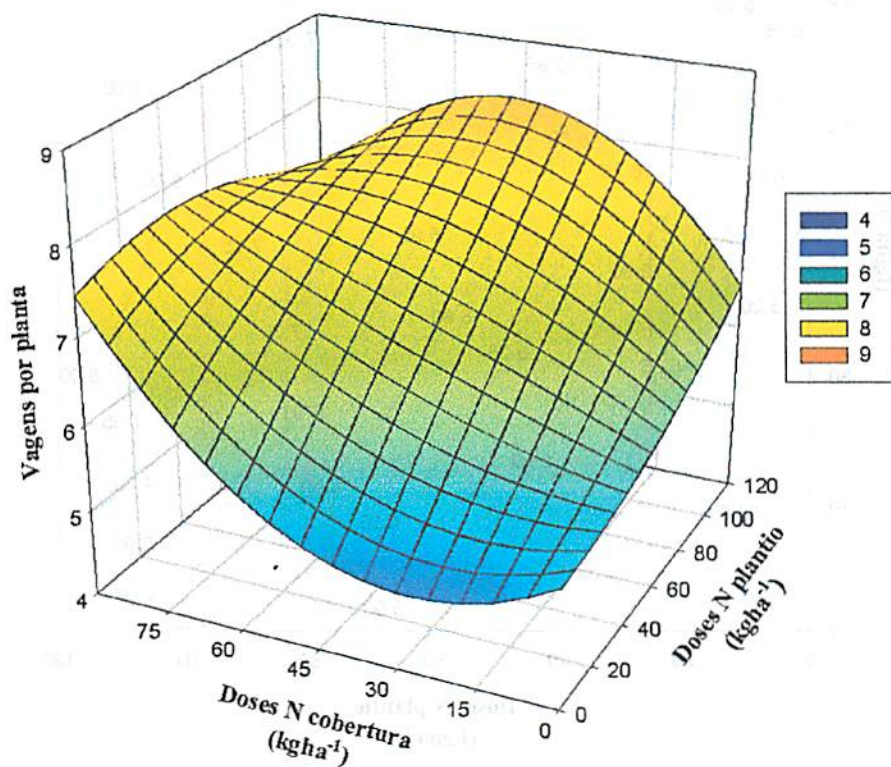


FIGURA 9. Superfície de resposta do número de vagens por planta do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99. Safra das águas.

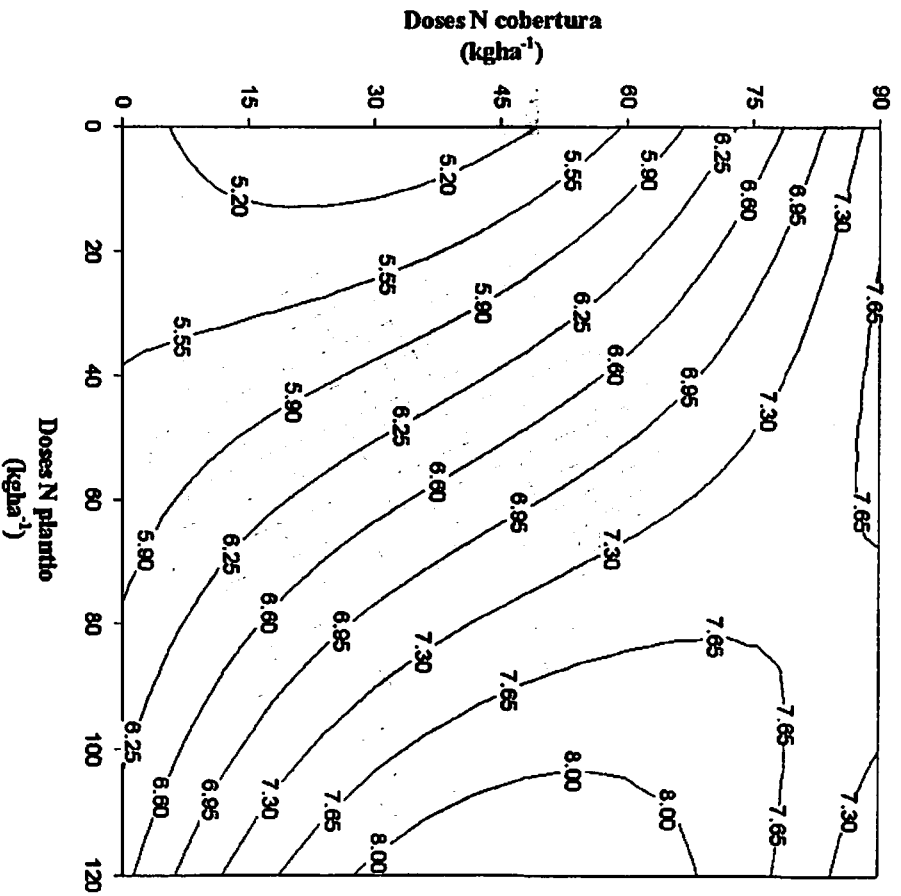


FIGURA 10. Algumas isoquantas assinaladas sobre a superfície de resposta relativa ao número de vagens por planta em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFPA, Lavras-MG, 1998/99. Safra das águas.

$$y = 4,055875 + 0,019842 * NC + 0,118834 * NP - 0,000410 * (NP)^2 + 0,000131 * (NC)^2 + 0,000515 * NC * NP - 0,000005534 * NC * (NP)^2 - 0,000002274 * (NC)^2 * NP, (R^2 = 95,06\%)$$

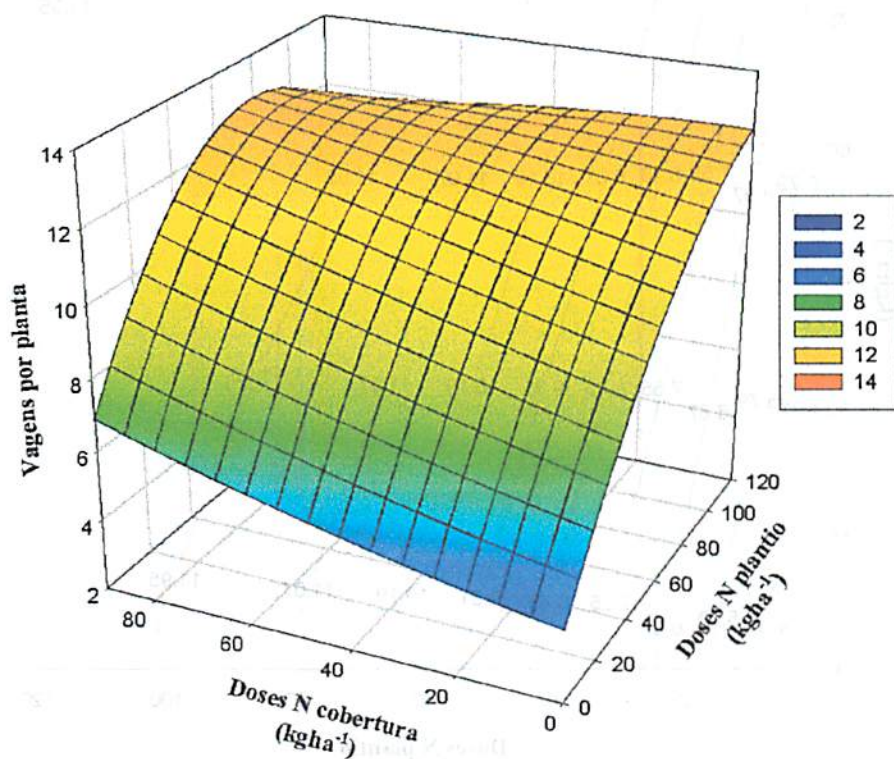


FIGURA 11. Superfície de resposta do número de vagens por planta do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99. Safra da seca.

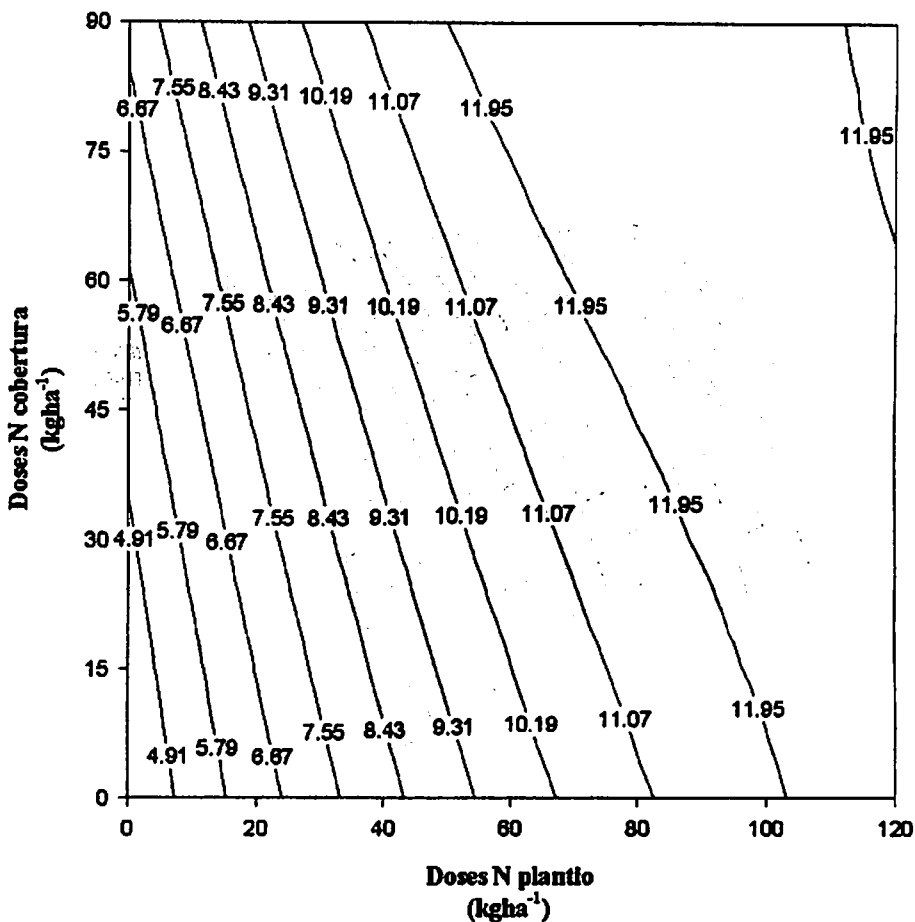


FIGURA 12. Algumas isoquantas assinaladas sobre a superfície de resposta relativa ao número de vagens por planta em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99. Safra da seca.

Na safra da seca, devido à irrigação complementar o rendimento médio de 1329 kg/ha⁻¹ (Tabela 4) também superou a expectativa e situou-se acima das médias mineira (860 kg/ha⁻¹) e brasileira (489 kg/ha⁻¹) de rendimento de grãos em

2001 (CONAB, 2001). Em lavouras de sequeiro, nesta época as chuvas podem cessar antes do completo enchimento dos grãos, causando frustração de safra (Andrade, 1998).

No inverno-primavera, entretanto, por se tratar de lavoura conduzida sob irrigação, a produtividade de 1318 kg ha^{-1} ficou aquém da esperada. Nesta época de semeadura são normalmente obtidas médias superiores a 1700 kg ha^{-1} , tanto em Minas Gerais (Santos & Braga, 1998) quanto no Brasil como um todo, onde foram alcançados 1892 kg ha^{-1} na safra 2001 (IBGE, 2002). No ensaio desta safra, a disponibilidade de água, insuficiente para manejo satisfatório da irrigação, pode ter sido o principal fator limitante da produtividade.

O desdobramento da interação NP x SF, ou seja, do efeito da doses de N no plantio nas diferentes épocas de semeadura, mostrou que houve efeito significativo em todas as três safras (Tabela 7).

TABELA 7. Resumo da análise de variância (rendimento de grãos) do desdobramento de doses de N no plantio dentro de safras. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

F.V.	G.L.	Q.M.
NP d/ inverno	3	5.294.640,4375 **
NP d/ águas	3	1.359.364,8541 **
NP d/ seca	3	5.098.253,1875 **
Resíduo	135	33.556,2153

** Significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade.

Os modelos que melhor se ajustaram aos dados em cada safra são apresentados na Figura 13. Verifica-se que os mesmos aproximam-se bastante do modelo linear descontínuo ou linear-platô, bastante utilizado para ilustrar as respostas das plantas à adubação (Alvarez V., 1985). Este modelo engloba duas seções, uma de acréscimos lineares e outra representada por um platô, ou seja,

sem alterações na variável dependente com o acréscimo da variável independente.

Assumindo esta proximidade dos modelos, verifica-se que as maiores doses, entre 80 e 120 kg ha^{-1} de N no plantio, situam-se no platô, com rendimentos constantes, da ordem de 1750 kg ha^{-1} , nas safras da seca e no inverno, e da ordem de 2000 kg ha^{-1} nas águas. Em outras palavras, poder-se-ia dizer que a máxima produtividade já poderia ser obtida com doses próximas a 80 kg ha^{-1} de N no plantio. Na faixa de 80 a 120 kg ha^{-1} não haveria resposta, havendo, portanto, um “consumo de luxo” de N (Alvarez V., 1985).

Do mesmo modo, nas três safras, no intervalo de 0 a 80 kg ha^{-1} de N, verifica-se que o acréscimo no rendimento é praticamente linear, caracterizando boas respostas, principalmente nas safras da seca e do inverno-primavera, quando a inclinação da curva é maior em relação à das águas. Nas águas, portanto, a resposta teria sido menor, devido às maiores adições de N pelas chuvas e à maior lixiviação e volatilização do N do solo ou do fertilizante.

Os efeitos da interação NP x NC sobre o rendimento médio de grãos podem ser observados na Figura 14, na qual são apresentadas a equação de regressão desta variável e a superfície de resposta resultante.

Assim como aconteceu nas superfícies relativas às demais características avaliadas no feijoeiro, verificaram-se maiores acréscimos de rendimento em função das doses de N no plantio (Figuras 14 e 15). Através das isoquantas da Figura 15, verifica-se ainda que as doses de N no plantio requeridas para uma dada produtividade sempre foram inferiores às doses de N em cobertura. Mesmo quando se associa uma dose menor de N no plantio com outra dose em cobertura, as quantidades totais de N para atingir uma mesma produtividade são sempre maiores.

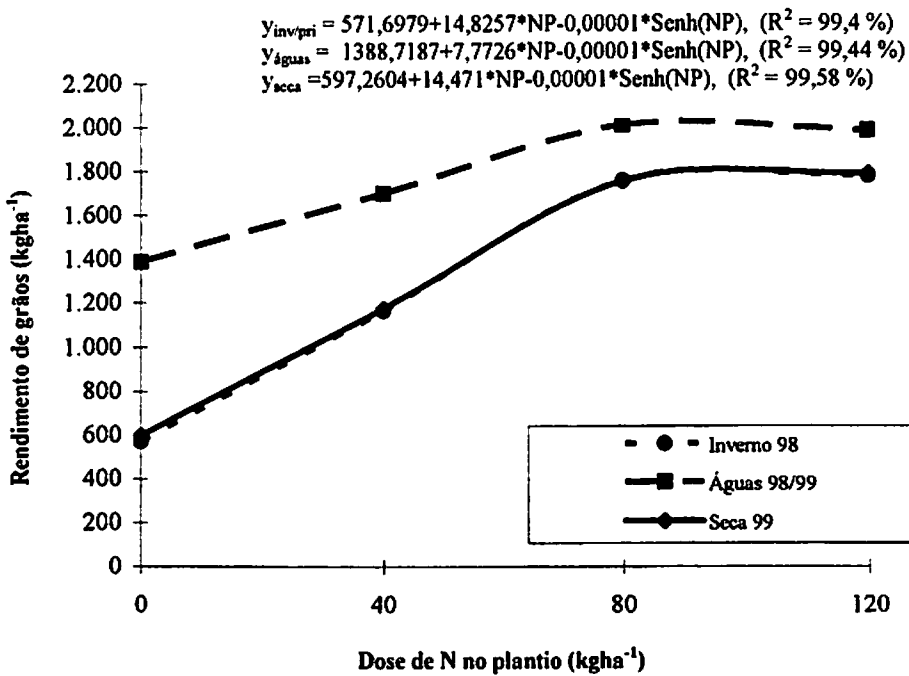


FIGURA 13. Representação gráfica e equação de regressão do rendimento médio de grãos do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

Tomando como exemplo a isoquanta de 1863 kg ha⁻¹, este mesmo rendimento pode ser obtido tanto com 120 + 0 (120 kg N totais) como com 55 + 90 (145 kg N totais). Entretanto, vale ressaltar que em patamares de rendimento mais elevados que os obtidos neste estudo, provavelmente os resultados seriam diferentes.

Esta maior eficiência das doses de N aplicadas no plantio podem corroborar resultados obtidos por alguns autores, como Urquiaga et al. (1984), para quem as perdas por lixiviação são bem menores que se imaginava, podendo

ser reduzidas com bom manejo da água de irrigação e da dose e época de aplicação do N.

É interessante observar, ainda, (Figura 14) que a resposta às doses de N no plantio na dose zero de N em cobertura foi perfeitamente linear até a dose máxima utilizada (120 kg ha^{-1} de N). Isto significa dizer que, provavelmente, esta dose máxima não foi capaz de causar injúrias à semente e prejuízos à emergência das plântulas, conforme observado por Silveira & Damasceno (1993).

4.5 Abordagem econômica

Com o intuito de discutir os resultados sob o enfoque econômico, foram realizados dois tipos de abordagem.

Na primeira delas (Tabela 8) foram tomadas as doses totais de N (plantio + cobertura) correspondentes a cada tratamento do fatorial, atribuindo a cada uma delas o seu custo, considerando o preço da tonelada de uréia na Bolsa de Insumos de Minas Gerais em 06/05/2002, correspondente a R\$ $0,46 \text{ kg}^{-1}$ (Mercadorias..., 2002). Com base no rendimento médio de grãos de cada tratamento, calculou-se o acréscimo de rendimento proporcionado em relação à testemunha (sem N no plantio e sem N em cobertura).

$$y = 679,580045 + 4,504221 * NC + 10,957055 * NP - 0,007724 * (NP)^2 - 0,014910 * (NC)^2 + 0,141350 * NC * NP - 0,001415 * NC * (NP)^2 - 0,000009607 * (NC)^2 * NP, (R^2 = 96,19\%)$$

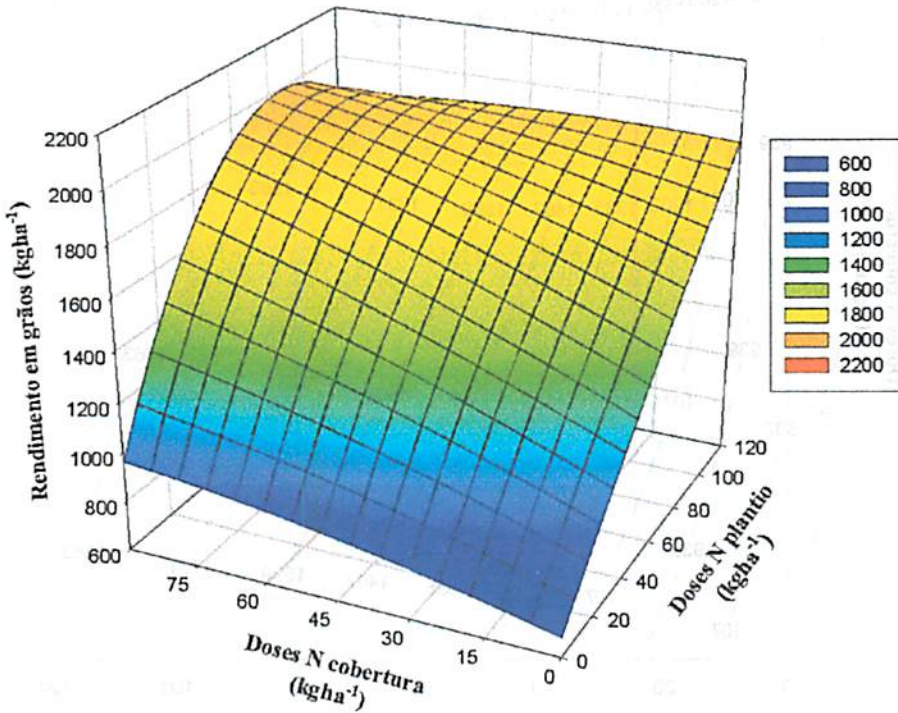


FIGURA 14. Superfície de resposta do rendimento médio de grãos do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

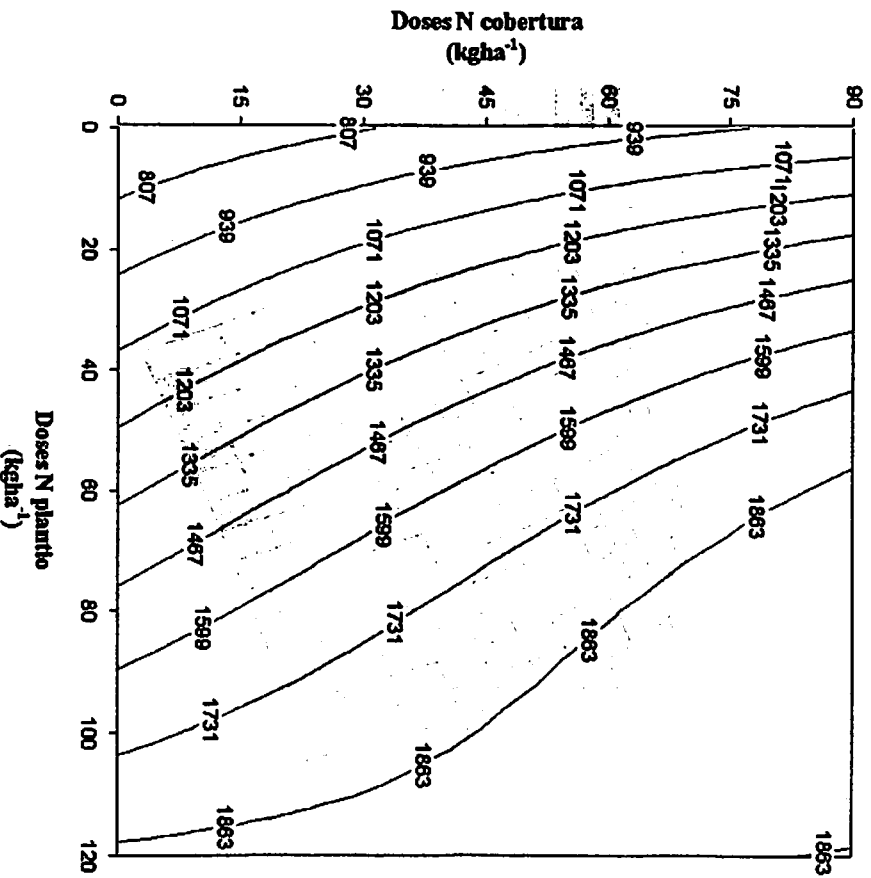


FIGURA 15. Algumas isoquantas assinaladas sobre a superfície de resposta relativa ao rendimento médio de grãos em função de doses de N no plantio e em cobertura. UFPA, Lavras-MG, 1998/99.

Utilizando a cotação do feijão no mercado atacadista de São Paulo no dia 06/05/2002 (Mercadorias..., 2002), obteve-se o valor da produção correspondente àquele acréscimo de rendimento e à respectiva margem bruta.

Pelos dados da última coluna da Tabela 8 verifica-se que as maiores margens brutas (R\$ 950,00 a R\$ 1150,00 ha⁻¹) foram obtidas com 80 kg ha⁻¹ de N no plantio. A maior margem bruta foi registrada na combinação 80 kg ha⁻¹ de N no plantio + 90 kg ha⁻¹ de N em cobertura (R\$ 1153,39 ha⁻¹).

Na segunda abordagem (Tabela 9) foram tomadas, sobre a isoquanta correspondente a 90% da produtividade máxima (Figura 15), diferentes combinações de doses de N no plantio e em cobertura, anotando-se a dose total de N empregada em cada situação. Esta dose foi transformada na quantidade de uréia correspondente, a qual teve o seu custo estimado. Com base na produtividade correspondente a 90% (1863 kg ha⁻¹) e no preço do feijão no mercado atacadista de São Paulo em 06/05/2002 (Mercadorias..., 2002), calculou-se o valor da produção, que foi igual a R\$ 2018,25 por hectare. Subtraindo-se deste valor o custo do fertilizante nitrogenado, chegou-se aos valores da margem bruta (última coluna da Tabela 9).

Deve-se observar que neste caso, por se tratarem de doses correspondentes à obtenção de 90% do rendimento máximo, as margens brutas foram bem superiores às detectadas na primeira abordagem. Este fato, das doses equivalentes a 90% do rendimento máximo corresponderem à máxima eficiência econômica, é apontado por alguns autores como Alvarez V. (1985).

Nesta abordagem, portanto, as margens brutas variaram de R\$ 1883,97 a R\$ 1914,82 por hectare. Considerando o custo médio de produção obtido por Rodrigues (2001), da ordem de R\$ 873,55 por hectare, as margens líquidas seriam bem maiores, variando de R\$ 1010,42 a R\$ 1041,27 por hectare. Cabe, entretanto, uma indagação. Qual das diferentes combinações da Tabela 9 seria a recomendada? A julgar pela margem líquida, a combinação selecionada seria a

primeira, ou 100 kg de N no plantio, sem cobertura nitrogenada (Tabela 9). Ocorre que, em determinadas condições, uma dose elevada de N no plantio poderia comprometer parcialmente a germinação e emergência dos feijoeiros, conforme detectou Rodrigues (2001). Outro aspecto relevante diz respeito à dificuldade de aplicação de doses de N elevadas juntamente com os fertilizantes fosfatados e potássios via semeadoras, face à natureza altamente higroscópica da uréia.

TABELA 8. Doses e custos da adubação nitrogenada, rendimento de grãos e acréscimo no rendimento devido à adubação nitrogenada, acréscimo financeiro e margem devidos à adubação. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

Plantio	Dose de N		Custo ¹ uréia R\$	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})	Acréscimo (kg ha^{-1})	Acréscimo (R\$) Valor da Produção	Margem Bruta (R\$)
	Cobertura	Total					
0	0	0	0	720	-	-	-
0	30	30	61,33	880	159	172,25	110,92
0	60	60	122,67	883	162	175,50	52,83
0	90	90	184,00	982	261	282,75	98,75
40	0	40	40,89	946	225	243,75	202,86
40	30	70	102,22	1154	433	469,08	366,86
40	60	100	163,55	1522	801	867,75	704,20
40	90	130	224,89	1562	841	911,08	686,19
80	0	80	81,78	1682	961	1041,08	959,30
80	30	110	143,11	1818	1097	1188,42	1045,31
80	60	140	204,44	1889	1168	1265,33	1060,90
80	90	170	265,78	2031	1310	1419,17	1153,39
120	0	120	122,67	1826	1105	1197,08	1074,41
120	30	150	184,00	1828	1107	1199,25	1015,25
120	60	180	245,33	1849	1128	1222,00	976,67
120	90	210	306,67	1898	1177	1275,08	968,41

¹ Preço da uréia (R\$ 0,46 kg⁻¹), baseado na Bolsa de Insumos de Minas Gerais, no dia 06/05/2002 (Mercadorias...,2002).

² Baseado no preço do feijão no mercado atacadista de São Paulo, valor médio carioca tipo 1 no dia 06/05/2002, R\$ 65,00 por saca de 60kg (Mercadorias..., 2002).

Estas dificuldades poderiam ser contornadas pela aplicação do fertilizante imediatamente anterior à semeadura, em operação específica com a própria semeadora ou via pivô.

Nos casos em que isto não for possível, restaria ainda a alternativa de reduzir a dose de plantio e fazer uma ou mais coberturas. De qualquer forma, entretanto, constata-se, na Tabela 9, que as melhores margens líquidas foram obtidas com doses mais elevadas de N no plantio.

TABELA 9. Doses de N e uréia, custo da uréia e margem bruta correspondentes a 90% do rendimento máximo (1863 kg ha^{-1} e R\$ 2018,85 ha^{-1}). UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

Dose Plantio (kg ha^{-1})	Dose Cobertura (kg ha^{-1})	Dose Total		Custo da uréia (R\$)	Margem Bruta (R\$)
		N (kg ha^{-1})	Uréia (kg ha^{-1})		
101,18	0	101,18	224,84	103,43	1914,82
96,02	10	106,02	235,60	108,38	1909,87
89,60	20	109,60	243,56	112,04	1906,21
81,97	30	111,97	248,82	114,46	1903,79
73,64	40	113,64	252,53	116,16	1902,09
65,41	50	115,41	256,47	117,98	1900,27
57,91	60	117,91	262,02	120,53	1897,72
51,41	70	121,41	269,80	124,11	1894,14
45,93	80	125,93	279,84	128,73	1889,52
41,36	90	131,36	291,91	134,28	1883,97

É interessante ainda ressaltar que ambas as abordagens apresentadas utilizaram preços de R\$ 1,08 kg^{-1} de feijão e R\$ 0,46 kg^{-1} de uréia, ou seja, numa relação de preços feijão:uréia de 2,35. Para averiguar as respectivas margens brutas em diferentes relações de preço, bastaria realizar as mesmas operações descritas na confecção das Tabelas 8 e 9.

5 CONCLUSÕES

O número de grãos por vagem foi o componente do rendimento menos influenciado pelas doses de N no plantio e cobertura.

O peso médio do grão e o número de vagens por planta, da mesma forma como o rendimento de grãos, foram influenciados pelas doses de N no plantio e pelas doses de N em cobertura, cujos efeitos foram interdependentes.

O efeito das doses de N no plantio sobre o número de vagens por planta e sobre o rendimento foi, em geral, maior que o efeito das doses de N em cobertura, e foi ainda influenciado pelas diferentes safras.

Quando se considerou apenas a interação safras x dose de N no plantio, o rendimento de grãos do feijoeiro elevou-se com o incremento da dose de N no plantio até à dose de 80 kg ha^{-1} .

Um mesmo rendimento de grãos, entretanto, pode ser obtido com diferentes combinações de doses de N no plantio e em cobertura.

De forma geral, as combinações envolvendo maiores doses de N no plantio e menores doses de N em cobertura tenderam a menores doses totais de N.

É possível a obtenção de boas produtividades, até mesmo próximas a 90% do rendimento máximo, utilizando apenas N no plantio, com redução da dose total de N aplicada. Esta opção seria a mais econômica.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, A. F. B.; RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B.; MARTINS, L. A. Progresso do melhoramento genético do feijoeiro nas décadas de setenta e oitenta nas regiões Sul e Alto Paranaíba em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 1, p. 105-112, jan. 1994.
- ALMEIDA, L. D.; BULISANI, E. A. Técnicas para aumentar a rentabilidade do feijoeiro. **Correio Agrícola**, São Paulo, n. 1, p. 236-243, 1980.
- ALVAREZ, V., V. H. Avaliação da fertilidade do solo: superfícies de resposta. Modelos aproximativos para expressar a relação fator – resposta. Viçosa: UFV, 1985. n. 228, 75 p.
- ALVAREZ, V., V. H.; NOVAIS, R. F. de; BRAGA, J. M.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F.; RIBEIRO, A. C.; DEFELIPO, D. V. Avaliação da fertilidade do solo: metodologia. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA DAUFV, 1., 1988, Viçosa. **Resumos**. . . Viçosa: UFV, 1988. p. 68-69.
- ALVAREZ, V., V. H.; RIBEIRO, A. C. Calagem. In: SIMPÓSIO DA PESQUISA DAUFV, 1., 1988, Viçosa. **Resumos**. . . Viçosa: UFV, 1988. p.
- AMBROSANO, E. J. Feijão. In: RAIJ, B. van. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: IAC, 1996. p. 194-195. (IAC. Boletim, 100).
- ANDRADE, M. J. B. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JR., T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: Editora UFV, 1998. p. 83-97.
- 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, n. 236, p. 442-450, jul./ago. 1994.
- ARAÚJO, R. S.; HENSON, R. A. Fixação biológica de nitrogênio. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 213-227.

- BANZATO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 1992. 247 p.
- BARBOSA FILHO, M. P.; SILVA, O. F. Adubação em cobertura do feijoeiro irrigado com uréia fertilizante em plantio direto: um ótimo negócio. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 93, p. 1-5, mar. 2001.
- BERTON, R. S. Fertilizantes e poluição. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 20., 1992, Piracicaba. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1992. p. 299-313.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretária Nacional de Irrigação. Departamento de Meteorologia. **Normais climatológicas – 1961-1990**. Brasília: MARA, 1992. p. 159.
- CABALLERO, S. V.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; MATSUI, E.; VICTORIA, R. L. Utilização do fertilizante nitrogenado aplicado a uma cultura de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 9, p. 1031-1040, set. 1985.
- CARVALHO, A. M.; SILVA, A. M.; COSTA, E. F.; COUTO, L. 1992. Efeitos de lâminas de água e épocas de parcelamento de nitrogênio em cobertura via fertilização no rendimento de grãos de feijão carioca. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Relatório Técnico Anual do Centro Nacional de Pesquisa do Milho e Sorgo 1988-1991**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1988/1991. v. 5, p. 43-44.
- CASSINI, S. T. A.; FRANCO, M. C. Fixação biológica de nitrogênio. Tn: VIEIRA, C.; PAULA JR. , T. J.; BOREM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: Editora UFV, 1998. p. 153-180.
- CHAGAS, J. M.; BRAGA, J. M.; VIEIRA, C.; SALGADO, L. T.; JUNQUEIRA NETTO, A.; ARAÚJO, G. A. A.; ANDRADE, M. J. B.; LAA, R. M. Q.; RIBEIRO, A. C. Feijão. In: COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 306-309.
- COBRA NETO, A. **Absorção e deficiência dos macronutrientes pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. var. roxinho)**. 1967. 69 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

COBRA NETO, A.; ACCORSI, W. R.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) var. Roxinho. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 28, p. 251-271, 1971.

COELHO, A. M. Fertirrigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 201-228.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E. Seja o doutor do seu milho. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 71, p. 1-9, set. 1995.

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA-FILHO, A. F. C. Nutrição e adubação do milho forrageiro. In: EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo. **Milho para silagem: tecnologias, sistemas, sistemas e custo de produção**. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, 1991a. p. 29-33. (EMPRAPA-CNPMS. Circular Técnica, v. 14).

COELHO, A. M.; FRANÇA, G. E.; BAHIA-FILHO, A. F. C.; GUEDES, G. A. A. Balanço de nitrogênio (^{15}N) em um Latossolo Vermelho-Escuro, sob vegetação de cerrado, cultivado com milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, n. 2, p. 187-193, maio/ago. 1991b.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação**. Lavras, 1989. 176 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Lavras, 1999. 359 p.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. 2001. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/politica-agricola/safra/avalia.html>>. Acesso em: 12 abr. 2002.

DINIZ, A. R.; ANDRADE, M. J. B.; BUENO, L. C. S.; CARVALHO, J. G. Resposta da cultura do feijão à aplicação de nitrogênio (semeadura e cobertura) e de Mo foliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25., 1995, Viçosa, MG. **Resumos expandidos...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1995. v. 3, p. 1225-1227.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa Arroz, Feijão (Goiânia, GO). **Cultivares de feijão recomendados para plantio no ano agrícola 1996/97**. Goiânia, 1997. 24 p. (Informativo Anual das Comissões Técnicas Regionais de Feijão, 4).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa Produção de Informação. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. **Pérola**. Goiânia, 1996. Folder.

FASSBENDER, H. W. **Química de suelos com ênfasis em suelos de América Latina**. Turrialta: Editorial IICA, 1975. 398 p.

FELIPE, M. P. **Efeitos de diferentes lâminas de água e épocas de parcelamento da adubação nitrogenada na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1991. 105 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

FERREIRA, D. F. **Análise estatística por meio do SISVAR para Windows versão 4. 0**. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Programa e Resumo**. . . São Carlos: UFSCar, 2000. p. 235.

FOX, R. H.; KERN, J. M.; PIEKIELEK, W. P. Nitrogen fertilizer source, and method and time of application effect on non-till corn yields and nitrogen uptakes. *Agronomy Journal*, Madison, v. 78, n. 4, p. 741-746, July/Aug. 1986.

GARRIDO, M. A. T. **Resposta do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. 1998. 205 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2000. 467 p.

HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E.; GARGANTINI, H.; BLANCO, H. G. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. *Bragantia*, Campinas, v. 26, n. 30, p. 380-391, set. 1967.

HUNGRIA, M.; NEVES, M. C. P.; VICTORIA, R. L. Assimilação de nitrogênio pelo feijoeiro. II. Absorção e translocação do N mineral e do N₂ fixado. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 9, n. 3, p. 201-209, set./dez. 1985.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [on line]: 2002.
Disponível em: <<http://www.ibge.net/home/esta...dores/agropecuaria/lspa02200206.shtml>>. Acesso em: 12 abr. 2002.

INFORZATO, R.; MIYASAKA, S. Sistema radicular do Feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, v. 22, n. 38, p. 477- 481, set. 1963.

LARA CABEZAS, W. A. R.; TREVELIN, P. C. O. Eficiência de um coletor semi-aberto estático na quantificação de N-NH₃ volatilizado da uréia aplicada ao solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 14, n. 3, p. 345-352, set./dez. 1990.

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153 p.

MAFRA, R. C.; VIEIRA, C.; BRAGA, J. M.; SIQUEIRA, C.; BRANELES, D. Efeito da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). IV. Absorção de nutrientes. *Experientiae*, Viçosa, v. 17, n. 9, p. 217-239, maio 1974.

MAIA, P. C. S. **Fertirrigação por sistema de irrigação por sistema de irrigação por aspersão convencional na cultura do feijoeiro** (*Phaseolus vulgaris* L.). 1989. 80 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

MALAVOLTA, E. Adubos nitrogenados. In: **Manual de química agrícola: adubos e adubações**. 2. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1967. P. 11-53.

MEIRELLES, N. M. F.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 4, n. 2, p. 83-88, maio/ago. 1980.

MENGEL, D. Manejo de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 73, p. 4-6, mar. 1996

MERCADORIAS. *Gazeta Mercantil*, São Paulo, 06 maio 2002. Finanças & Mercados, p. B-13, c. 2-3.

MIYASAKA, S.; FREIRE, E. S.; MASCARENHAS, H. A. A. Modo e época de aplicação de nitrogênio na cultura do feijoeiro. *Bragantia*, Campinas, v. 22, n. 40, p. 511-519, set. 1963.

MORAES, J. F. V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (Ed.). *Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p. 261-301.

OLIVEIRA, I. P.; ARAÚJO, R. S.; DUTRA, L. G. Nutrição mineral e fixação biológica de nitrogênio. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Ed.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 169-221.

RAIJ, B. van. *Avaliação da fertilidade do solo*. Piracicaba: POTAFOS, 1987. 142 p.

RODRIGUES, J. R. M. *Resposta do feijoeiro (cvs. Carioca e Pérola) a doses de nitrogênio e fósforo*. 2001. 124 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação mineral. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Ed.). *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p. 353-385.

SANTOS, M. L.; BRAGA, M. J. Aspectos econômicos. In: VIEIRA, C.; PAULA JR.; T. J.; BORÉM, A. (Ed.). *Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas*. Viçosa: Editora UFV, 1998. p. 19-53.

SILVA, A. J. da. *Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) à adubação nitrogenada*. 1988. 85 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

SILVEIRA, P. M.; DAMASCENO, M. A. Estudo de doses e parcelamentos de K e de doses de N na cultura do feijão irrigado. In: REUNÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 4., 1993, Londrina. *Resumos...* Londrina: IAPAR, 1993. p. 161.

- SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. Irrigação do feijoeiro por aspersão. **Manejo da irrigação do feijoeiro com uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. 46 p.
- SPOLIDORIO, E. S.; BOARETTO, A. E.; BOARETTO, R. M.; OCHEUZE, T. Perdas de N-NH₃ por volatilização de uréia aplicada ao solo na cultura do trigo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1977, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1977. p. 291.
- TEIXEIRA, I. R. **Comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) submetido a diferentes densidades de semeadura e níveis de adubação nitrogenada**. 1998. 68 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- TEIXEIRA, I. R.; ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, J. G.; MORAIS, A. R.; CORRÊA, J. B. D. Resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) a diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 2, p. 399-408, abr./jun. 2000.
- THUNG, M. D.; OLIVEIRA, I. P. **Problemas abióticos que afetam a produção do feijoeiro e seus métodos de controle**. Santo Antônio de Goiás: EMBRAPA-CNPAP, 1998. 172 p.
- TSUNECHIRO, A. Prognóstico agrícola 1997/98: algodão, arroz, feijão, milho e soja. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 27, n. 8, p. 25-85, 1997.
- URQUIAGA, C. S.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K.; MORAES, S. O.; VICTORIA, R. L. Variação do nitrogênio nativo e do proveniente do fertilizante, em terra roxa estruturada, durante o desenvolvimento de uma cultura de feijão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 223-227, maio/ago. 1984.
- VIEIRA, C. Adubação mineral e calagem. In: VIEIRA, C.; PAULA JR.; T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: Editora UFV, 1998a. p. 123-151.
- VIEIRA, R. F. Quimigação e fertilização. In: VIEIRA, C.; PAULA JR.; T. J.; BORÉM, A. (Ed.). **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa: Editora UFV, 1998b. p. 221-266.
- VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; VIEIRA, R. F. **Leguminosas graníferas**. Viçosa: Editora UFV, 2001. 206 p.

YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. Como melhorar a eficiência da adubação nitrogenada do milho. Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 91, p. 1-5, set. 2000.

ANEXOS

TABELA 1A. Resumo da análise de variância da regressão entre o número de grãos por vagem (variável dependente) e doses de N no plantio (variável independente). Análise conjunta (três safras).

FV	GL	QM
Linear	1	0,8748 **
Quadrático	1	0,1334 n.s.
Desvio	1	0,0972 n.s.
Resíduo	135	0,1099

TABELA 2A. Resumo da análise de variância da regressão entre o número de grãos por vagem (variável dependente) e doses de N em cobertura (variável independente). Safra da seca. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

FV	GL	QM
Linear	1	0,0010 n.s.
Quadrático	1	2,5043 **
Desvio	1	0,0344 n.s.
Resíduo	135	0,1099

TABELA 3A. Resumo da análise de variância da regressão entre o peso médio de cem grãos (variável dependente) e doses de N em cobertura (variável independente). Safras da seca e inverno. UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

FV	GL	QM	
		Seca	Inverno
Linear	1	3,7758 **	3,6551 **
Quadrático	1	3,3489 **	4,6010 **
Desvio	1	0,1353 n.s.	0,2152 n.s.
Resíduo	135	0,4419	0,4419

TABELA 4A. Resumo da análise de regressão (superfície de resposta) entre o peso de cem grãos (variável dependente) e doses de N no plantio (P) e em cobertura (C) (variável independente). Análise conjunta (três safras).

FV	GL	QM	Coefficientes Estimados
-	-	-	19,8385
NP	1	83,39 **	0,0348
(NP) ²	1	15,69 **	-0,000172
Desvio	1	3,53 **	-
NC	1	4,15 **	0,0143
(NC) ²	1	4,22 **	-0,000109
Desvio	1	1,37 n.s.	-
NP*NC	1	1,69 n.s.	-0,00059
(NP) ² *NC	1	2,80 *	0,0000072
NP*(NC) ²	1	4,34 **	0,0000089
(NP) ² *(NC) ²	1	4,39 **	-0,00000105
Desvio	5	0,38 n.s.	-
Resíduo	135	59,66	-

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.
 ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.
 n.s. não significativo.

TABELA 5A. Quadrados médios da análise de regressão (superfície de resposta) entre o número de vagens por planta (variável dependente) e doses de N no plantio (P) e em cobertura (C) (variáveis independentes).

FV	GL	Águas	Seca	Inverno
NP	1	441,1422 **	23,1663 **	397,6090 **
(NP) ²	1	65,2864 **	0,2377 n.s.	71,1914 **
Desvio	1	8,6826 **	0,6753 n.s.	6,6413 **
NC	1	30,9756 **	21,9975 **	26,7382 **
(NC) ²	1	0,0400 n.s.	0,2377 n.s.	0,0014 n.s.
Desvio	1	1,9469 **	5,6978 n.s.	4,8758 **
NP*NC	1	11,6759 **	3,3215 n.s.	18,0412 **
(NP) ² *NC	1	7,8877 **	0,8925 n.s.	5,6445 **
NP*(NC) ²	1	0,4500 n.s.	15,0945 n.s.	0,5362 *
Desvio	6	1,0671 *	24,3203 **	15,5106 **
Resíduo	135	0,2357	2,1917	0,1099

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

n.s. não significativo.

TABELA 6A. Coeficientes estimados para as equações de regressão (superfície de resposta) entre o número de vagens por planta (variável dependente) e doses de N no plantio (P) e em cobertura (C) (variáveis independentes).

FV	Coeficientes Estimados		
	Águas	Seca	Inverno
Intercepto	3,89830	5,3796	4,0558
NP	0,11007	0,002116	0,1188
(NP) ²	-0,000337	0,00006094	-0,00041
NC	0,0186	-0,0360	0,0198
(NC) ²	0,000097	0,000656	0,000131
NP*NC	0,000688	0,0001198	0,000515
(NP) ² *NC	-0,000006542	-0,000002201	-0,000005534
NP*(NC) ²	-0,000002083	-0,00001207	-0,000002274

TABELA 7A. Resumo da análise de variância (QM) da regressão entre o rendimento de grãos (variável dependente) e doses de N em cobertura (variável independente). Três safras.

FV	Águas(1)	Seca(2)	Inverno(3)
NC	14.221.411,2500 **	3.504.519,2000 **	13.806.234,4500 **
Sen(NC)	1.566.938,8020 **	550.604,2687 **	1.424.303,3520 **
Desvio	95.571,2604 n.s.	22.971,0937 n.s.	64.221,7604 n.s.
Resíduo	33.556,2152	33.556,2152	33.556,2152

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

n.s. não significativo.

TABELA 8A. Resumo da análise de regressão (superfície de resposta) entre o rendimento médio de grãos (variável dependente) e doses de N no plantio (P) e em cobertura (C) (variável independente). Análise conjunta (três safras). UFLA, Lavras-MG, 1998/99.

FV	GL	QM	Coefficientes Estimados
-	-	-	679,5800
NP	1	29.195.940,0000 **	10,9570
(NP) ²	1	2.505.732,0000 **	-0,0077
Desvio	1	936.764,4375 **	-
NC	1	2.905.104,0000 **	4,5042
(NC) ²	1	37.297,4190 n.s.	-0,0149
Desvio	1	4.330,4352 n.s.	-
NP*NC	1	371.292,0000 **	0,1413
(NP) ² *NC	1	1.107.180,0000 **	-0,0014
NP*(NC) ²	1	28,7069 n.s.	-0,0000096
Desvio	6	81.820,2468 *	-
Resíduo	135	33.556,2153	-

* significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

n.s. não significativo.

TABELA 9A. Valores médios (análise conjunta) dos componentes primários do rendimento e do rendimento de grãos do feijoeiro cv. Pérola em função de doses de N no plantio e cobertura. UFLA, Lavras -MG, 1998/99.

Dose de N		Grãos por vagem	Peso médio 100 grãos (g)	Vagens por planta	Rendimento de grãos (kg ha^{-1})
Plantio	Cobertura				
0	0	4,80	19,95	4,51	720
0	30	4,84	20,13	4,79	880
0	60	4,79	20,44	5,75	883
0	90	5,13	20,28	6,93	982
40	0	5,04	20,82	6,77	946
40	30	4,92	20,61	8,00	1154
40	60	5,09	21,55	8,48	1522
40	90	5,13	21,49	9,80	1562
80	0	5,17	21,76	9,90	1682
80	30	5,00	22,03	9,23	1818
80	60	4,85	22,18	11,60	1889
80	90	5,16	22,32	11,27	2031
120	0	5,22	21,48	10,39	1826
120	30	5,08	22,34	10,31	1828
120	60	5,02	22,37	11,47	1849
120	90	5,05	21,19	9,57	1898