

FAUSTO MARCHIORI ANTUNES

**PARCELAMENTO DA FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO
FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)**

MARINGÁ

PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO – 2012

FAUSTO MARCHIORI ANTUNES

**PARCELAMENTO DA FERTIRRIGAÇÃO NITROGENADA NA CULTURA DO
FEJJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Maringá, como parte das exigências do programa de Pós-Graduação em Agronomia, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rezende

Co-orientador: Prof Dr. Paulo Sérgio L. de Freitas

MARINGÁ

PARANÁ – BRASIL

FEVEREIRO – 2012

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

(Biblioteca Central - UEM, Maringá – PR., Brasil)

Antunes, Fausto Marchiori

A636p Parcelamento da fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) / Fausto Marchiori Antunes. -- Maringá, 2012.

68 f. : il. col., figs., tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rezende.

Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio L. de Freitas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2012.

1. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) - Fertirrigação. 2. Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) - Adubação nitrogenada. I. Rezende, Roberto, orient. II. Freitas, Paulo Sérgio L. de, co-orient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias. Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 21.ed. 631.84

MN-0000481

A Deus, fonte inesgotável de conhecimento e sabedoria, que sempre guiou meus passos nos momentos difíceis e de indecisão.

Aos meus pais, Faustino e Ivani, minha estrutura e inspiração todos os dias da minha vida.

À minha irmã Claudia e seu marido Evandro pela maravilhosa convivência e pelo apoio no dia-a-dia.

Dedico

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pela vida que me concedeu, pela sabedoria em saber lidar com momentos difíceis, e pela alegria de poder comemorar os momentos felizes ao lado de pessoas que me fazem bem.

Agradeço a minha família, especialmente a meu pai, Faustino Ferreira Antunes e a minha mãe, Ivani Marchiori Antunes, pessoas pelas quais agradeço diariamente pela vida e pela saúde que Deus lhes deu, pelo relacionamento que temos e pelo orgulho que sinto em poder chamá-los de Pai e Mãe. Pessoas que sempre apoiaram as minhas decisões e são muito especiais para mim.

À minha irmã Claudia R.M. Antunes e seu marido Evandro José da Cruz Araújo pelo incentivo em todos os momentos.

Ao amigo, conselheiro, professor e orientador, Dr. Roberto Rezende, com quem tenho grande prazer em trabalhar, e que ensinou muito desde o primeiro ano de faculdade.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos professores Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves, Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas e Altair Bertonha.

Aos funcionários do Centro Técnico de Irrigação (CTI), pela amizade cultivada ao longo dos anos, e pela contribuição na implantação e condução do experimento: Eduardo e Amarildo.

Ao amigo e colega de pós-graduação Heraldo Takao, pela amizade e valioso auxílio na fase final do trabalho.

Por fim, agradeço a todos os amigos que contribuíram para a realização deste sonho.

Muito Obrigado!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	v
LISTA DE FIGURAS	vii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 A cultura do feijoeiro	4
2.2 Importância econômica	5
2.3 Exigências hídricas do feijão	6
2.4 Irrigação e uniformidade de aplicação	9
2.5 Nitrogênio no feijoeiro	12
2.6 Fertirrigação no feijoeiro.....	15
3 MATERIAL E METODOS	18
3.1 Caracterização do local	18
3.1.1 Solo	18
3.1.2 Clima.....	19
3.1.3 Condições Ambientais	20
3.2 Sistema de Irrigação	21
3.3 Fertirrigação	22
3.4 Uniformidade de Aplicação	23
3.5 Implantação do Experimento	25
3.6 Tratamentos.....	25
3.7 Variáveis Analisadas.....	28

3.7.1	Número de vagens por planta.....	28
3.7.2	Número de grãos por vagem	28
3.7.3	Massa de cem grãos	28
3.7.4	Rendimento de grãos.....	28
3.7.5	Análise dos Dados.....	29
3.8	Controle da irrigação e fertirrigação.....	29
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1	Variáveis de produção da cultura.....	33
4.1.1	Número de vagens por planta.....	37
4.1.2	Número de grãos por vagem	41
4.1.3	Peso de 100 grãos.....	43
4.1.4	Rendimento de grãos.....	45
5	CONCLUSÕES	50
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	51
7	REFERÊNCIAS.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultado da análise química do solo com macronutrientes, amostrado antes do plantio da cultura, em Março de 2011.	19
Tabela 2 - Resultados obtidos na análise de solo para os indicadores da fertilidade na amostra coletada antes do plantio, em Março de 2011.	20
Tabela 3 - Resultados da análise de solo para micronutrientes, amostrada antes do plantio, em Março de 2011.	20
Tabela 4 - Características do aspersor setorial utilizado, bocal, pressão de serviço, raio molhado, vazão, e espaçamento.	22
Tabela 5 - Concentração e quantidade de aplicações realizadas em cada um dos tratamentos.....	24
Tabela 6 - Classes de desempenho da uniformidade dos aspersores, de acordo com o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).	25
Tabela 7 - Coeficientes de uniformidade (CUC) das irrigações na área experimental, de acordo com as diferentes pressões de serviço utilizadas.	25
Tabela 8 - Estatística descritiva para as variáveis de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, Peso de 100 (cem) sementes e rendimento.....	34
Tabela 9 - Análise de variância para as variáveis de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, Peso de 100 (cem) sementes e rendimento.....	38

Tabela 10 - Valores médios obtidos para número de vagens por planta para cultura do feijão, de acordo com os diferentes tratamentos. Maringá, UEM, 2011.....	39
Tabela 11 - Valores médios do número de grãos por vagem para a cultura do feijão de acordo com os diferentes tratamentos. Maringá, UEM, 2011.....	42
Tabela 12 - Peso médio de 100 grãos de feijão, em gramas, em função dos tratamentos avaliados. Maringá, UEM, 2011.....	44
Tabela 13 - Rendimento médio de grãos da cultura do feijão, em kg ha ⁻¹ , relativos aos diferentes tratamentos propostos. Maringá, UEM, 2011.....	47
Tabela 14 - Eficiência do uso da água no campo, expressa em quantidade de grãos produzidos (kg ha ⁻¹) por lâmina de água recebida pela cultura do feijoeiro.....	49

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Temperatura média ao longo do ano na cidade de Maringá – PR nos últimos 10 anos, e as temperaturas mínimas e máximas ideais para a cultura do feijoeiro, de acordo com Vieira (1983).....21
- Figura 2 - Precipitação média verificada ao longo do ano na cidade de Maringá, nos últimos 10 anos.22
- Figura 3 - Coeficientes da cultura (K_c) de acordo com o ciclo do feijoeiro, no sistema convencional de plantio. Adaptado de Doorenbos e Pruitt. Boletim FAO 24, 1977.....23
- Figura 4 - Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos e do sistema de irrigação e fertirrigação.....28
- Figura 5 - Ocorrência de chuvas e irrigações realizadas e o K_c da cultura ao longo do seu ciclo. Maringá, UEM, 2011.....31
- Figura 6 - Valores de evapotranspiração de referência e da cultura (mm d^{-1}), ao longo do desenvolvimento da cultura do feijoeiro. Maringá, UEM, 2011.....32
- Figura 7 - Gráfico dos valores da quantidade de água no solo (Capacidade de Campo, Umidade Atual, Umidade de Segurança e Ponto de Murcha Permanente) ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro. Maringá, UEM, 2011.....33
- Figura 8 - Gráficos “box-plot” para as distribuições de valores de número de vagens por planta, número de grãos por vagem, Peso de 100 (cem) sementes e rendimento.....36

Figura 9 - Distribuição de probabilidade normal para as variáveis de produção: a) número de vagens por planta; b) número de grãos por vagem; c) Peso de 100 (cem) sementes; d) rendimento.....	37
Figura 10 - Número de vagens por planta obtidos para cada um dos tratamentos realizados.....	40
Figura 11 - Número de grãos por vagem obtidos de acordo com cada tratamento utilizado na cultura do feijão.....	43
Figura 12 - Peso médio de 100 grãos obtidos para a cultura do feijão de acordo com cada um dos tratamentos utilizados.....	45
Figura 13 - Rendimento médio de grãos obtido com os diferentes tratamentos utilizados na cultura do feijão (kg ha^{-1}).....	48

RESUMO

ANTUNES, F. M.; Universidade Estadual de Maringá, Fevereiro de 2012. **Efeitos do parcelamento da fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro** (*Phaseolus vulgaris* L.). Orientador: Prof. Dr. Roberto Rezende. Co-orientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio L. de Freitas.

Este trabalho teve o objetivo de estudar os efeitos da adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em sistema de plantio convencional, aplicada de maneira tradicional e via fertirrigação. Os experimentos foram conduzidos na área experimental do Centro Técnico de Irrigação, no campus da Universidade Estadual de Maringá. Os tratamentos utilizados foram: T1) Parcelas sem adubação de cobertura. T2) Adubação de cobertura aplicada manualmente em dose única de 60 kg ha⁻¹ aos 15 DAE. T3) Adubação nitrogenada realizada por fertirrigação em dose única de 60 kg ha⁻¹ aos 15 DAE. T4) Fertirrigação nitrogenada parcelada em duas aplicações de 30 kg ha⁻¹, aos 15 e 30 DAE. T5) Parcelamento da fertirrigação nitrogenada em três vezes, com doses equivalentes a 20 kg ha⁻¹, aos 15, 30 e 42 DAE. Foram avaliadas as variáveis número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), massa de 100 grãos (MC) e o rendimento dos grãos (RG). Para avaliar os efeitos dos tratamentos nestes índices de produtividade da cultura, os dados foram submetidos à análise de variância (Teste F), e os resultados avaliados através do teste de médias de Scott-Knott. Os resultados obtidos mostraram que a adubação nitrogenada proporciona incrementos significativos nas variáveis de produtividade da cultura, sendo fundamental nas recomendações para lavouras de alto rendimento, e quando aplicada por meio da fertirrigação parcelada em três vezes, apresentou os melhores resultados em relação às demais aplicações fertirrigadas e a aplicação manual em dose única.

Palavras - chave: Fertirrigação. Nitrogênio. *Phaseolus vulgaris* L.

ABSTRACT

ANTUNES, F. M., Universidade Estadual de Maringá, February 2012. **Effect of nitrogen fertigation parceling in the common bean crop** (*Phaseolus vulgaris* L.). Advisor: Prof. Dr. Roberto Rezende. Co-adviser: Prof. Dr. Paulo Sérgio L. de Freitas.

This work aimed to study the effects of nitrogen fertilization on bean crop (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in conventional tillage system, applied in the traditional manner and fertigation. The experiments were conducted in the experimental area of the Technical Irrigation Center on the campus of State University of Maringá. The treatments were: T1) Plots without coverage fertilization. T2) Coverage fertilization applied manually as a single dose of 60 kg ha⁻¹ at 15 DAE (Days After Emergence). T3) Nitrogen fertigation performed by a single dose of 60 kg ha⁻¹ at 15 DAE. T4) Nitrogen fertigation split in two applications of 30 kg ha⁻¹, at 15 and 30 DAE. T5) Fertigation nitrogen split three times at doses equivalent to 20 kg ha⁻¹ at 15, 30 and 42 DAE. Variables evaluated were number of pods per plant, number of grains per pod, 100-grain mass and grain yield. To evaluate the effects of treatments in these productivity indices of culture, the data were subjected to analysis of variance (F test), and the results evaluated using the mean test Scott-Knott. The results showed that nitrogen provides significant increases in productivity variables of culture, is fundamental in the recommendations for high-yield crops, and when applied through fertigation split in three times, the best results were obtained in relation to other applications fertigated and manual application as a single dose.

Key words: Fertigation. Nitrogen. *Phaseolus vulgaris* L.

1 INTRODUÇÃO

O feijão é um alimento básico e muito consumido pelos brasileiros, representando importante fonte de proteína para a população, em especial às classes menos favorecidas economicamente. A média de consumo do grão no país atualmente é de 12,7 kg por habitante ano⁻¹, consumo que vem decrescendo desde a década de 1960, quando o consumo era de 23 kg por habitante ano⁻¹. O plantio é estendido a todas as regiões do território nacional, sendo considerada uma cultura de subsistência em pequenas propriedades, porém também adotada em sistemas de produção que requerem o uso de tecnologias intensivas como a irrigação.

Com sistema radicular considerado pouco desenvolvido, o feijoeiro tem o rendimento fortemente afetado pelo déficit hídrico nas diferentes fases do ciclo da cultura, sendo o período mais crítico aquele entre o início da floração até o início da formação de vagens.

A técnica da irrigação tem se mostrado fator essencial para incrementos na produtividade, suprimindo a quantidade de água adequada para o crescimento e desenvolvimento da cultura. A irrigação por aspersão tem sido o método mais utilizado para o feijoeiro, principalmente pela vantagem de poder ser utilizado em pequenas áreas para produção de subsistência, assim como para grandes áreas com o uso de pivô central, também considerado um sistema de aspersão.

Com os custos envolvidos no projeto de instalação do sistema de irrigação, o sucesso econômico dessa atividade depende de dimensionamentos bem executados, e com critérios que se ajustem às condições específicas da propriedade e da cultura envolvida. Diagnósticos mal elaborados podem levar a investimentos injustificáveis, que não proporcionam o retorno financeiro esperado. Por isso, o conhecimento das técnicas de irrigação e seu manejo, assim como as necessidades da cultura, como os períodos de maiores exigências, são fundamentais para que o projeto seja rentável.

O plantio da cultura ocorre em três safras, sendo a primeira chamada de “safra das águas”, plantada principalmente nos Estados da região sul, no período de Agosto a Dezembro. A segunda conhecida como “safra da seca”, é a mais abrangente e se estende por todos os Estados brasileiros, sendo plantada entre Dezembro e Março. A terceira, denominada “safra de outono/inverno”, é mais praticada na região tropical, plantada de Abril até Julho.

No Brasil, a produtividade média da cultura do feijoeiro fica próximo dos 790 kg ha⁻¹, enquanto a média dos outros principais países produtores é de 1825 kg ha⁻¹ nos Estados Unidos, 1500 kg ha⁻¹ na China e 1000 kg ha⁻¹ na Indonésia.

Assim como a cultura da soja (*Glycine max* L.), e as demais leguminosas, o feijoeiro possui um mecanismo simbiótico com bactérias, que permite a fixação biológica do nitrogênio presente no ar atmosférico, porém a cultura apresenta baixa eficiência de fixação, o que exige que seja utilizado nitrogênio em adubação suplementar quando se buscam níveis elevados de produtividade.

O nitrogênio é o macronutriente absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro, representando um fertilizante fundamental para o desenvolvimento completo do seu ciclo. No Brasil, a uréia é a principal fonte de nitrogênio utilizado na agricultura, sendo responsável por cerca de 57% do consumo no país em 2009, principalmente por apresentar o menor custo em comparação as demais fontes nitrogenadas. Devido a predominância do plantio direto, uma prática muito comum é a aplicação da uréia em cobertura a lanço, técnica que também envolve as maiores perdas, que podem chegar a 80% do fertilizante aplicado.

Diversos estudos têm sido realizados a fim de aumentar a eficiência na utilização do fertilizante nitrogenado que proporcione menores perdas, seja por uma fonte alternativa do nutriente, por formas de manejar a uréia, como sua incorporação ou com a utilização de técnicas como a fertirrigação, que apesar de não ser recente, há apenas poucas décadas tem sido utilizada no Brasil em escala comercial.

A fertirrigação é a técnica que consiste na aplicação simultânea de fertilizantes e água pelo sistema de irrigação. O sistema apresenta diversas vantagens, como economia de mão-de-obra, distribuição uniforme e facilidade no parcelamento dos fertilizantes, além da maior eficiência na aplicação, entre diversos outros. Entre os pontos positivos levantados, destaca-se o parcelamento da aplicação de fertilizantes, que pode proporcionar maiores índices de absorção pela planta, resultando em benefícios a cultura. Entre as principais limitações da técnica pode se ressaltar o alto custo de instalação, entupimento da tubulação causado pela incompatibilidade de fertilizantes, que podem formar precipitados, e o aumento da salinidade da água de irrigação, entre outros.

A hipótese deste trabalho é que, o nitrogênio aplicado parceladamente junto da irrigação em cobertura (fertirrigação), disponibiliza o nutriente no momento de maior exigência da cultura e, além de evitar perdas de nitrogênio não absorvido pela planta, proporciona incrementos na produtividade do feijoeiro.

Este trabalho foi conduzido com a finalidade de avaliar os efeitos do parcelamento da fertirrigação nitrogenada sobre as variáveis de produção e na produtividade final do feijoeiro, buscando melhor entendimento das respostas da cultura sobre esta prática e assim possibilitar fornecer melhores recomendações técnicas aos produtores.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura do feijoeiro

A origem do feijão (*Phaseolus vulgaris*, L.) é muito discutida, com autores que a consideram Sul Americana, outros de origem Asiática e alguns até desconhecida (EMBRAPA, 2011).

Por ser uma cultura de ciclo curto, o feijoeiro é afetado de maneira mais intensa às variações ambientais. As altas temperaturas e os períodos de seca são os principais problemas ligados a cultura em diversas regiões do país (ARRUDA et al., 1980 e TÉRAM, SINGH, 2002).

A instabilidade climática que atinge as mais diversas regiões do país em que é cultivado o feijão provoca grandes oscilações na produtividade da cultura, desde a média nacional 981 kg ha^{-1} (CONAB, 2010) até produtores com alto nível tecnológico que alcançam produtividades acima dos 3000 kg ha^{-1} . O feijão é sensível à falta de água durante o período de desenvolvimento, principalmente nos estádios reprodutivos, e altas temperaturas no período de floração (SILVA et al., 2006).

Mariot (1989) apresenta que o feijoeiro é cultivado no Brasil em locais onde a temperatura varia entre 10 e 35°C, porém Vieira (1983) especifica que a faixa considerada ótima para a cultura esta na faixa entre 18 e 24° C. Temperaturas superiores a 29° C prejudicam a cultura, podendo provocar abortamento de flores, queda de vagens jovens e reduzir o número de grãos fecundados, da mesma forma temperaturas abaixo de 12°C dificultam a formação e o enchimento dos grãos (BALARDIN et al., 2000).

O sistema radicular do feijoeiro é formado por uma raiz principal ou primária, da qual se originam lateralmente, as raízes secundárias e terciárias, concentradas na base do caule, próximas a superfície do solo (SILVA, 1999).

A profundidade e distribuição das raízes no perfil do solo são determinadas por um conjunto de fatores ligados ao local do plantio, como por exemplo, a fase de desenvolvimento da cultura, resistência mecânica, aeração e fertilidade do solo. Estes fatores podem limitar o desenvolvimento pleno do sistema radicular, restringindo o crescimento das raízes e afetando a absorção e translocação de nutrientes (JUNG, 1978).

Avaliando o desenvolvimento do sistema radicular do feijoeiro em condições tropicais, Inforzato e Miyasaka (1963) observaram que, em média, 74% das raízes estão concentrados nos primeiros 0,10 m de profundidade, e grande parte do sistema radicular (83%), nos primeiros 0,20 m de profundidade. A profundidade máxima alcançada pelas raízes no mesmo experimento foi de 0,90 m, apesar de Fujiwara et al. (1994) relatarem que as raízes da cultura podem chegar a 1,5 m em condições ideais de cultivo.

Ao relacionar a profundidade efetiva das raízes com o desenvolvimento da parte aérea do feijoeiro Bizari et al. (2010) observaram que durante o desenvolvimento vegetativo a profundidade efetiva do sistema radicular esta de 0 a 0,15 m, para o florescimento/enchimento de grãos entre 0 e 0,20 m, e no início da maturação fisiológica as raízes se concentram na faixa de 0 a 0,25 m.

Daker (1984) define como profundidade efetiva a camada de solo onde se encontra a maior parte das raízes finas ou absorventes. Pires et al. (1991) determinaram que para o manejo adequado da irrigação, a profundidade efetiva do sistema radicular a ser considerado deve ser de 0,30 m para a cultura do feijoeiro.

Por se tratar de uma cultura de ciclo curto e com sistema radicular superficial, o feijoeiro é considerado uma planta exigente em nutrientes (ROSOLEM e MARUBAYASHI, 1994), portanto é necessário que estes nutrientes estejam a disposição da cultura no momento e quantidade adequados para que não haja déficit de absorção.

Mafra et al. (1974) e Moraes (1988) constataram que a taxa de absorção diária de nutrientes no início do desenvolvimento do feijoeiro é pequena, aumentando a partir do vigésimo dia, independente do ciclo do material utilizado. No intervalo entre 20 e 30 dias (imediatamente antes do florescimento) esses valores de absorção são os maiores encontrados em todo o ciclo (MAFRA et al., 1974). Desta forma, Moraes (1988) sugere que a disponibilidade dos nutrientes no solo antes dos primeiros 15 dias de crescimento da cultura tem pouca significância.

2.2 Importância econômica

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a mais cultivada entre todas as demais espécies de *Phaseolus*. Se considerados todos os gêneros e espécies de feijão que fazem parte das estatísticas da FAO publicadas em 2005, a produção mundial de feijão esta calculada em 18,7 milhões de toneladas, ocupando uma área de 26,99 milhões de hectares.

Os seis principais países produtores de feijão comum, que juntos são responsáveis por cerca de 64% da produção mundial, são: Brasil, Índia, Mianmar, China, EUA e México. Destes, o Brasil é o principal produtor com quase 3,5 milhões de toneladas produzidas em 2008 (SEAB, 2010).

O feijão mantém uma posição de destaque no agronegócio brasileiro, pois apesar da forte concorrência com produtos voltados para exportação, no período de 1990 a 2002, foi responsável por 5,2% da renda agrícola total, ocupando o oitavo lugar no ranking de renda, perdendo em participação apenas para soja (17,1%), milho (13,9%), cana-de-açúcar (13,5%), café (8,1%), laranja (7,4%), banana (7,08%) e arroz (7,05%) (FERREIRA et al., 2002).

A região Sul é a maior produtora brasileira de feijão, respondendo por aproximadamente 31,6% da produção nacional na safra 2009/2010, com destaque para o estado do Paraná, que foi responsável por 23% do total nacional (SEAB, 2010).

O Paraná participava efetivamente apenas da safra das águas (1ª safra) e da safra das secas (2ª safra), porém, a partir de 1985 a participação na 3ª safra também passou a ser considerada, sendo realizada principalmente nas regiões Norte e Nordeste do estado (Vale do Paranapanema) em sucessão as culturas do algodão, soja e milho (PERIN et al., 2005).

De 1985 a 2005, a terceira safra foi a responsável pela tendência de aumento na produção total de feijão, considerando que a primeira safra manteve a produtividade estável e o volume da segunda safra diminuiu. O maior produção da terceira safra, não atendeu a demanda do mercado interno, sendo necessário complementar a falta de produto com importações, que chegaram a 100 mil toneladas anuais no período de 1985 a 2005 (WANDER, 2007).

O Consumo anual por habitante, de acordo com Lollato et al. (2001), que na década de 70 ficava em torno de 27 kg, reduziu para 15 kg por habitante nos anos 80 e na década de 90 mostrava lenta recuperação, alcançando 17,3 kg habitante⁻¹ano⁻¹. Em 2009, o consumo anual por habitante no Brasil ficou em 16,5 kg (CONAB, 2010).

2.3 Exigências hídricas do feijão

A cultura do feijoeiro, assim como a agricultura em geral, quando implantados em ambientes não protegidos, apresentam fatores de risco ligados à planta, ao solo, clima e muitos outros, que podem inviabilizar a cultura. A disponibilidade de água pode ainda ser agravada pela irregularidade das chuvas e pelas diferentes capacidades do solo em armazenar

e distribuir água. Assim, a irrigação se mostra uma prática importante na busca por alternativas viáveis em adequar, ou ao menos minimizar, os efeitos com relação ao déficit hídrico, suprimindo a quantidade de água necessária ao adequado desenvolvimento da cultura.

De acordo com White (1993), o feijoeiro é considerado uma espécie com baixa tolerância a estresses hídricos severos, o que expõe cerca de 60% dos cultivos mundiais a tal fator, sendo o segundo maior responsável pela redução na produtividade, superado apenas pela ocorrência de doenças. O cultivo de outono – inverno coincide com o final do ciclo da soja, que pode ser hospedeira de doenças como o mosaico dourado, antracnose, entre outras.

Por se tratar de uma cultura muito importante comercialmente e a água ser um dos recursos fundamentais para o desenvolvimento dos vegetais, diversos experimentos tem sido realizados para avaliar as respostas das diferentes lâminas de irrigação associadas à cultura do feijoeiro. Até a década de 80, o plantio do feijão no inverno não obtinha bons resultados pela ocorrência de períodos secos, desde então a utilização da irrigação proporcionou resultados expressivos também no período de estiagem (COBUCCI et al., 1999).

De acordo com Moreira et al. (1988), a cultura varia o consumo de água ao longo de seu ciclo, de acordo com o estágio de desenvolvimento, a variedade utilizada, local de cultivo, condições de solo e época de plantio. Entre a sementeira e a maturação fisiológica (90 – 100 dias), as exigências hídricas do feijoeiro são sanadas quando a precipitação pluvial está entre 300 e 400 mm (BERGAMASCHI et al., (1989); FARIA et al., (1997)). Nas variedades com duração de ciclo entre 80 e 87 dias, os valores ideais ficam entre 230 e 360 mm (MATZENAUER et al.,1999). De forma mais abrangente, Doorenbos e Kassam (1994) constataram que para ciclos entre 60 e 120 dias, o consumo de água no feijoeiro varia entre 300 e 500 mm.

Frizzone (1986) verificou aumento de 23,4% no rendimento de grãos aumentando a lâmina aplicada de 350 para 530 mm, obtendo aumento linear da produção com o aumento da lâmina irrigada neste intervalo. Da mesma forma, Loureiro et al. (1990) e Pazzetti et al. (1993), verificaram relação do aumento da produção com aplicação de maiores lâminas, enquanto Carvalho et al. (1998), obteve redução na produção com aplicação de lâminas menores.

Dourado Neto e Fancelli (2000) destacam que a distribuição da precipitação ao longo do ciclo é mais determinante para a produtividade, do que a quantidade total de chuvas ocorridas no período. O feijoeiro exige uma boa distribuição pluvial ao longo de seu ciclo, pois de acordo com Andrade (1998), a profundidade efetiva do sistema radicular é inferior a

0,40 m, desta forma, o déficit hídrico nas camadas superficiais do solo, ocasionados por veranicos ou sistemas de irrigação mal dimensionados, pode ser suficiente para reduzir a água disponível à cultura, dificultando sua absorção.

A disponibilidade de água no solo afeta diretamente o rendimento do feijão, tanto a deficiência quanto o excesso hídrico, principalmente na fase de florescimento, podendo acumular perdas de até 60 % na produção de grãos (SILVA et al., 2006). Para Carlesso (1995), o déficit hídrico acarreta uma série de consequências que levam a diferenças na distribuição e atividades das raízes, reduzindo o volume de solo explorado, podendo variar a disponibilidade de água às plantas.

Para Guimarães et al. (1996), se o déficit acontecer no período de enchimento de grãos, a formação e peso destes pode ser comprometido. Se ocorrer na floração, o rendimento da cultura pode ser afetado pela redução no número de vagens ocasionado pelo abortamento e queda de flores, como constata Gomes et al. (2000) ao afirmar que o número de vagens por planta, quando comparado com os demais componentes de produção, foi o mais afetado pelo regime de irrigação. Para Silveira e Stone (1998) o déficit de água no período vegetativo reduz o crescimento das plantas de forma geral, que pode ser revertido se a irrigação for reiniciada, porém não apresentarão a mesma produtividade das plantas irrigadas adequadamente durante todo o ciclo.

Miranda et al. (2000) em experimento com o feijoeiro cultivar IAC Carioca, obtiveram os melhores índices de produtividade quando proporcionaram as condições adequadas de irrigação. Rezende et al. (2004) obtiveram produtividade média de 935 kg ha⁻¹ no cultivo sem irrigação complementar e alcançaram 1.239 kg ha⁻¹ com aplicação de 23,4 mm, este incremento se justifica pois não ocorreram precipitações antes do florescimento da cultura, e a aplicação da lâmina proporcionou os aumentos na produtividade.

A técnica da irrigação tem como objetivo central proporcionar as condições adequadas ao bom desenvolvimento da cultura em todos os seus estádios, mas principalmente naqueles com maiores demandas hídricas. O feijoeiro, devido as suas limitações anatômicas e fisiológicas, é uma espécie muito sensível a extremos ambientais, principalmente durante o florescimento em relação à temperatura e deficiência hídrica (BERGAMASCHI et al., 1988; FARIA et al., 1997; EMBRAPA, 2003).

2.4 Irrigação e uniformidade de aplicação

Gomes (1997) define a irrigação como uma prática agrícola que fornece água às culturas, quando outras formas naturais de fornecimento, como a chuva, não são suficientes para suprir as necessidades hídricas das plantas. A irrigação é uma técnica milenar que nos últimos anos tem se desenvolvido acentuadamente, apresentando equipamentos e sistemas para as mais distintas condições. A história da irrigação se confunde com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos (BERNARDO et al., 2006).

Diversos métodos são conhecidos para o controle e monitoramento da irrigação. As metodologias mais eficientes levam em consideração a evapotranspiração, que consiste na soma da perda de água do solo por evaporação com a perda de água da planta por transpiração, para determinar quando e quanto irrigar. De acordo com Miranda et al. (2001), a evapotranspiração pode ser quantificada por meio de métodos diretos ou estimada por meio de informações climáticas. Os métodos diretos de determinação necessitam da instalação de aparelhos que envolvem além de custos de instalação, a manutenção periódica dos instrumentos, o que desestimula a utilização da técnica pelos produtores rurais sendo mais utilizada para fins experimentais. Para fins práticos os métodos indiretos têm tido preferência pela facilidade na obtenção dos valores de K_c 's para as diferentes culturas, assim como os valores das estações climatológicas próximas a propriedade podem ser obtidos quase que instantaneamente, tornam os métodos indiretos viáveis na determinação da evapotranspiração.

Segundo Doorenbos e Kassam (1979), a ET_c é o resultado do produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura (K_c). A ET_o representa a evapotranspiração de um gramado verde, de altura uniforme, em crescimento vegetativo ativo, sem restrição hídrica e cobrindo totalmente a superfície (PEREIRA et al., 1997). Já o K_c relaciona seus valores com a planta, local de plantio, clima, práticas culturais, fase de desenvolvimento da cultura, disponibilidade de água no solo e condições de cultivo. Desta forma, a ET_c representa a quantidade de água que deve ser repostada ao solo para manter o crescimento e a produtividade em condições ideais (PEREIRA et al., 1997).

Entre as três safras praticadas no Brasil, o cultivo no inverno e sobretudo na região Centro-Sul do país tem uma média superior de três a cinco vezes com relação a safra das águas. Essa relação, de acordo com Silveira et al. (2001) é justificada pelas diferentes condições de cultivo aplicadas nas diferentes safras, já que no cultivo de inverno são aplicadas alta tecnologia e irrigação, diferentemente das demais safras.

A irrigação por aspersão tem como objetivo aplicar uma quantidade pré-determinada de maneira uniforme sobre a área irrigada. Como a maioria dos aspersores aplica água sobre área circular ou semicircular, a superposição das áreas molhadas são recomendadas para o aumento da uniformidade. De acordo com Bernardo et al., (1995) a disposição dos aspersores no campo nas formas de retângulo e quadrado é a mais utilizada.

No Brasil, em grande parte das áreas irrigadas, a falta de informação ou de manejo da irrigação, tem proporcionado baixa eficiência ao sistema implantado. Desta forma, levando em conta a questão ambiental e que a disponibilidade de água é um fator mais relevante a cada dia, a utilização da irrigação deve ser projetada de forma criteriosa, otimizando a eficiência da sua utilização principalmente por meio do aumento na uniformidade de aplicação.

Quando se utiliza a irrigação por aspersão, o método mais utilizado para avaliar a uniformidade da aplicação é o coeficiente de Christiansen (CUC). Christiansen (1942) foi o primeiro pesquisador a estudar a uniformidade de distribuição de água com os aspersores rotativos, caracterizando o efeito da pressão de serviço, do espaçamento e da rotação entre aspersores, e da velocidade do vento sobre a distribuição da água, criando o parâmetro que ficou conhecido como Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

Depois que Christiansen (1942) propôs seu parâmetro para quantificar a uniformidade de aplicação no sistema de irrigação por aspersão, diversos outros coeficientes foram apresentados, porém nenhum deles se mostrou tão completo quanto o anteriormente proposto.

Frizzone (1992) esclarece que a determinação da uniformidade de distribuição deve ser realizada utilizando-se um ou mais aspersores, dispondo ao seu redor uma quantidade suficiente de pluviômetros. Estes pluviômetros devem estar equidistantes e captar a lâmina aplicada em um tempo de funcionamento superior a uma hora ou suficiente para aplicação de 5 mm de lâmina. O mesmo autor afirma que a baixa eficiência de aplicação pelo método da aspersão se relaciona com a falta de uniformidade de distribuição de água, assim como as perdas de água por evaporação e deriva pelo vento.

Hermann et al. (1990) determina que os pluviômetros devem ter paredes finas, ser altos o suficientes para que evite respingos para fora do recipiente, além de estarem posicionados exatamente na vertical. Os valores de água evaporados durante a execução do teste devem ser considerados e adicionados às lâminas coletadas.

De acordo com Keller e Bliesner (1990), a uniformidade ótima é determinada principalmente pelo valor econômico da cultura, e pela sua resposta à água e ao déficit

hídrico. Os autores mesmo reconhecendo a relatividade das definições de “alta” e “baixa” uniformidade, informam que valores de CUC maiores que 85% seriam recomendados para culturas sensíveis e de raízes rasas, como no caso do feijoeiro; entre 75% e 83% para culturas com sistema radicular de média profundidade; e abaixo de 70% para culturas com sistemas radiculares profundos.

Em sistemas de irrigação que operam com baixa pressão, a uniformidade de aplicação é um item que deve ser verificado (GILLEY et al., 1983). Estes sistemas normalmente apresentam deficiência na sobreposição pela falta de pressão suficiente nos aspersores, ao contrário do que acontece em sistemas de alta pressão, nos quais o raio de alcance dos aspersores resulta em maior distância, e conseqüentemente maior sobreposição. Além de influenciar na sobreposição dos jatos, a pressão do sistema influencia no tamanho da gota produzida pelo aspersor. Se for muito baixa ocorre grande porcentagem de gotas grandes, e no caso de pressões superiores ao valor ótimo, pulverizam o jato, aumentando a precipitação próxima ao aspersor, facilitando o arraste pelo vento e evaporação (FRIZZONE et al., 2011). Em ambos os casos a uniformidade de distribuição de água é prejudicada.

A disposição espacial dos aspersores também é um item de grande influência na uniformidade de aplicação. Grandes espaçamentos levam a baixa uniformidade, e desta forma, resultam em baixos índices de produtividade, porém os custos envolvidos em grandes espaçamentos tendem a ser menores do que quando se utiliza maior quantidade de aspersores por área. Por isso, se a economia nos custos de implantação e manutenção compensar as reduções no lucro gerada pela menor produtividade, os espaçamentos maiores podem ser considerados (FRIZZONE et al., 2011). Da mesma forma Peri et al. (1979) e Walker (1979) complementam afirmando que sob o aspecto econômico, alguns níveis de desuniformidade são aceitáveis, devendo o irrigante decidir entre aplicar água para que a lâmina mínima seja igual a real necessária (neste caso parte da área irá receber água em excesso), ou aplicar a lâmina mínima com redução de custos, e aceitar a redução na produtividade.

Freitas et al. (2003) ao avaliarem o efeito de quatro uniformidades de aplicação (94,1; 85,6; 65,6 e 57, 9%) na cultura do feijão, obtiveram valores médios de produtividade para o tratamento com alta uniformidade (CUC>86%) de 2628 kg ha⁻¹, enquanto o valor médio para a baixa uniformidade foi de 1896 kg ha⁻¹, demonstrando o importante ganho no rendimento pela alta uniformidade de aplicação. Solomon (1984) apresentou uma análise que mostra como as medidas de uniformidade podem ser interpretadas para previsão de produção.

Avaliando a uniformidade da irrigação na cultivar de feijão Iapar, Rezende et al. (2002) observaram valores médios de rendimento de grãos de 2.759,1 kg ha⁻¹, número de vagens por planta igual a 10 (vagens planta⁻¹), número de grãos por vagem igual a 6,1 (grãos vagem⁻¹) e massa do grão de 0,22 gramas. Estes valores foram obtidos com alto coeficiente de uniformidade, sendo estatisticamente superiores aos coeficientes mais baixos, mostrando que a alta uniformidade é mais favorável ao desenvolvimento das variáveis de produção da cultura.

Contudo, justifica-se a cultura do feijoeiro ser uma das principais a utilizar irrigação no país, seja por pivô central, aspersão convencional ou até por irrigação localizada, em menor escala. A utilização do sistema de irrigação para aplicação de fertilizantes (fertirrigação) pode trazer redução nos custos com mão de obra e gastos operacionais, além de vantagens como a possibilidade de maior parcelamento de adubos, que pode reduzir as perdas comuns às formas tradicionais de adubação.

2.5 Nitrogênio no feijoeiro

Pesquisas relacionadas à adubação do feijoeiro têm mostrado que entre todos os nutrientes, o nitrogênio é o absorvido e extraído em maior quantidade. O manejo inadequado da fertilidade do solo, particularmente a deficiência na adubação nitrogenada, tem destaque entre as várias causas possíveis para a baixa média de produtividade nacional, que fica próximo dos 747 kg ha⁻¹, segundo o IBGE, 2010.

A baixa média de produtividade do feijão comum no Brasil, além do resultado de vários fatores, podem ser ligados diretamente ao uso de quantidade insuficiente de fertilizantes (ROSOLEM, 1987).

Entre as principais fontes de fornecimento de nitrogênio para o feijoeiro, podem se destacar a matéria orgânica decomposta, a aplicação de adubos químicos nitrogenados, além da fixação biológica de N₂ por meio da associação com bactérias do gênero *Rhizobium*. (HUNGRIA et al., 1997; MERCANTE et al., 1999)

Considerando que as perdas por lixiviação e volatilização relacionadas aos adubos nitrogenados estão em torno de 50%, podendo chegar a 80% em condições específicas, evidencia-se que o manejo representa um dos principais desafios observados. As aplicações em doses maiores para compensar estas perdas, além de aumentar o custo de produção, promovem riscos ao meio ambiente, já que o nutriente lixiviado pode ser transportado para o

lençol freático. Por outro lado, a utilização em doses menores pode ser fator limitante ao desempenho produtivo da cultura, mesmo que os demais fatores sejam otimizados (SANTO et al., 2003).

Cerca de 90% das raízes do feijoeiro situam-se até os 0,20 m de profundidade do solo (ARAÚJO et al., 1996), fato que associado ao ciclo relativamente curto, de 80 a 110 dias, evidenciam a importância do correto manejo da adubação na cultura (ROSOLEM e MARUBAYASHI, 1994). Contudo, a adubação deve ser feita de forma com que os nutrientes fiquem na camada superficial do solo, disponíveis às raízes quando houver necessidade.

O nitrogênio exigido pela cultura do feijoeiro pode ser oriundo do solo, especialmente pela mineralização da matéria orgânica, da utilização de fertilizantes nitrogenados e pela fixação biológica de N_2 , pela associação de bactérias do gênero *Rhizobium*, com as raízes dessas leguminosas (HUNGRIA et al., 1991., FRANCO et al., 2002). Entretanto a fixação de N_2 em feijão apresentava problemas causados pela instabilidade genética das estirpes de rizóbios, que era causada pelo rearranjo frequente do DNA (MARTINEZ et al., 1988), processo que tem efeito acelerado quando a temperatura do solo chega aos 35-40°C, o que ocorre com frequência nos solos brasileiros.

Para níveis de produtividade de até 1500 kg ha⁻¹ a inoculação de sementes, que resulta na fixação simbiótica de nitrogênio, pode ser a única fonte recomendada para suprir as necessidades do nutriente (FRANCO, 1995), porém para maiores produtividades, pelo fato da fixação biológica não suprir todas as necessidades da cultura, deve-se recomendar adubação com nitrogênio mineral em cobertura, após o estabelecimento da simbiose, proporcionando maior produtividade (PERES et al., 1994 e CANTARELLA et al., 2007).

Pesquisa mais recente publicada por Ferreira et al. (2000) mostra que a inoculação de estirpes eficientes de *Rhizobium* em cultivar nodulante de feijoeiro, pode possibilitar a não utilização de nitrogênio em cobertura na cultura, sem afetar a produtividade. Resultado semelhante foram apresentados por Pelegrin et al. (2009) ao mostrarem que apenas a inoculação com rizóbio selecionado promoveu rendimento de grãos equivalente à aplicação de 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio, e quando utilizaram adubação de 20 kg ha⁻¹ no plantio, os valores obtidos corresponderam ao rendimento proporcionado pela aplicação de 160 kg ha⁻¹.

Conforme apresentado Malavolta (1980), a cultura do feijoeiro apresenta melhores resultados com aplicações parceladas de fertilizantes, principalmente o nitrogenado. Buzetti et al. (1992) constataram aumento linear na produtividade de grãos da ordem de 4,33 kg de

grãos para cada kg de nitrogênio aplicado, e o parcelamento da aplicação aos 20 e 40 dias após emergência aumentou a massa e a produtividade de grãos.

Os resultados na literatura sobre os efeitos da adubação nitrogenada podem ser divergentes e às vezes contraditórios quanto a melhor época e método para aplicação para a cultura do feijão. Fornazieri Filho et al. (1992) mostram que o parcelamento da adubação nitrogenada aumenta a produção de grãos, peso das sementes e produção da matéria seca quando se compara com a aplicação de nitrogênio aplicada em dose única em cobertura. Laroche et al. (1967) observaram que cinco aplicações de nitrogênio com intervalo de 15 dias, resultou em maior rendimento do que três aplicações realizadas a cada 30 dias ou uma aplicação em dose única no plantio.

Por outro lado, Silva et al. (1977) e Urben Filho et al. (1980) não encontraram diferenças entre as épocas de aplicação do nitrogênio. Miyasaka et al. (1963) ao aplicarem o nitrogênio em dose única na emergência das plântulas, obtiveram rendimentos superiores do que ao parcelar as aplicações aos 22, 42 e 62 dias após a emergência, resultados semelhantes encontrados por Mascarenhas et al. (1960) com parcelamento aos 7, 14 e 21 dias e Kornelius et al. (1976) com aplicações aos 15 e 30 dias .

Malavolta (1980) e Moraes (1988) ressaltam que no plantio das culturas anuais, deve ser adicionada apenas uma parte da dose de nitrogênio exigida pela cultura, devendo o restante ser aplicado em cobertura, no período de maior exigência. Esse período que compreende os 15 dias entre o florescimento (35 DAE) e o período médio de enchimento dos grãos (50 DAE), de acordo com Meirelles et al. (1980) e Hungria et al. (1985), é responsável por absorver 60% do nitrogênio mineral total do feijoeiro, absorvendo de 2,0 a 2,5 kg ha⁻¹ dia⁻¹ de nitrogênio.

De acordo com Rosolem (1996), a disponibilidade de água na cultura tende a aumentar as respostas à adubação nitrogenada, já que o nitrato chega às raízes, principalmente por fluxo de massa. Na época da seca, ou quando a disponibilidade de água é menor, a probabilidade de resposta ao nitrogênio se torna menor. Um exemplo dessa menor disponibilidade foi apresentados por Calvache et al. (1995), mostrando que a máxima resposta à adubação nitrogenada somente foi alcançada quando o feijoeiro recebeu irrigação adequada, e quando ocorria algum déficit hídrico, diminuía também a resposta ao nitrogênio, chegando a não haver resposta quando o déficit ocorreu durante o florescimento.

Em trabalhos realizados com feijoeiro irrigado no inverno e com a aplicação do nitrogênio em dose única na semeadura, a produtividade encontrada tem sido semelhante

aquelas verificadas nos tratamentos com parcelamento desse nutriente (CARVALHO et al., 2001; VALÉRIO et al., 2003; BINOTTI et al., 2007). Resultados semelhantes foram apresentados por Binotti et al. 2009, onde o parcelamento da adubação nitrogenada não foi economicamente viável.

Avaliando o efeito do parcelamento de nitrogênio, em semeadura e cobertura, na produtividade do feijão de inverno, Carvalho et al. (2001) verificaram que a aplicação de 75 kg ha⁻¹ de nitrogênio proporcionou em média incrementos de 38% na produtividade da cultura, independente do parcelamento utilizado.

Alfaia (1997) constatou que aproximadamente apenas 1/3 dos adubos nitrogenados são aproveitados pelas plantas quando aplicados de maneira convencional, a outra parcela é perdida por lixiviação, escoamento superficial ou por volatilização. Por isso, de acordo com Malavolta (1980), quando se utiliza a uréia como fonte nitrogenada, seu uso deve ser realizado com incorporação ao solo, reduzindo tais perdas.

2.6 Fertirrigação no feijoeiro

A fertirrigação é uma técnica que consiste na aplicação de adubos e fertilizantes junto com a água de irrigação (FRIZZONE et al., 1985), prática que tem sido amplamente utilizada, pois permite um maior parcelamento de adubos, reduzindo as perdas relativas a aplicação convencional, pois os nutrientes são fornecidos na quantidade e no momento adequado, aumentando a eficiência na absorção do fertilizante.

A utilização da fertirrigação vem se mostrando muito promissora no Brasil, principalmente por produtores que utilizam sistemas de irrigação por métodos pressurizados, pois desta forma a solução de água e fertilizantes é conduzida e aplicada por tubulação fechada e pressurizada, permitindo melhor controle de fluxo e pressão (LEITE JÚNIOR, 2003).

Castellanos (1998) destaca que entre os diversos motivos que justificam a resistência dos agricultores na adoção da técnica, as principais seriam as razões econômicas e tecnológicas, pelos altos custos apresentados em relação aos sistemas tradicionais de adubação e a escassez de assistência técnica especializada que proporcione ao produtor a garantia de retorno do investimento em curto espaço de tempo, sem colocar em risco o capital fixo.

Poucas são as recomendações específicas para a utilização da fertirrigação no feijoeiro. A saída encontrada por grande parte dos produtores para solucionar deficiência de informações é utilizar a mesma recomendação aplicada na adubação convencional ou até mesmo a mudança nas dosagens com base nos conhecimentos do produtor, de forma empírica. Costa et al. (1986) apresentam que, embora a técnica seja utilizada em diversas áreas irrigadas no país, a falta de informações, não apenas sobre dosagens, mas também tipo de fertilizantes mais recomendados, prevenção na formação de precipitados, modo e época de aplicação, demonstram a importância de se realizar pesquisas e estudos sobre o tema, considerando as características de cada região em que será implantado o sistema.

Villas Boas et al. (2001) apresentam que o manejo inadequado da fertirrigação além de promover o desequilíbrio nutricional, que leva a redução na produtividade e qualidade do produto, outros pontos negativos podem ser apresentados como o aumento do custo de produção pela perda de água e insumos, salinização dos solos devido a aplicação excessiva de fertilizantes, e danos ambientais podendo causar contaminação de mananciais pela lixiviação dos nutrientes.

Costa et al. (1986) mostram que as doses na fertirrigação parcelada poderiam ser menores em comparação a outros métodos, já que a aplicação fracionada aumenta a assimilação pelas plantas e reduz as perdas por lixiviação, porém autores como Montag (2011), recomenda acréscimos nas doses utilizadas na fertirrigação com relação a adubação convencional, quando o esperado seria uma redução nas doses, justificado pela maior eficiência. Segundo Dias (2004) podem ser recomendadas as mesmas doses tanto para a aplicação convencional quanto para a fertirrigação, entretanto esta recomendação não deve ser generalizada, pois adubos aplicados com maior frequência e menor quantidade promovem maior eficiência na produtividade.

Uma das grandes vantagens apresentadas pela fertirrigação é a facilidade no parcelamento das aplicações de fertilizantes. Meireles et al. (1980), quantificando os teores de nitrogênio absorvido pela cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L), concluíram que aplicação do fertilizante deve ser 1/3 da dose total no plantio, momento em que a cultura apresenta baixa eficiência na utilização do nutriente, e os 2/3 restantes entre os 30 e 45 dias, período de maior necessidade e de maior eficiência de utilização. Após esse período a aplicação nitrogenada não é recomendada pois apesar de haver acréscimos dos teores totais na planta, a contribuição de nitrogênio no fertilizante é reduzida, ocasionando maiores perdas para o solo.

Maia (1989) afirma que a fertirrigação proporciona uma redução na volatilização do fertilizante nitrogenado por conduzir a solução com fertilizante a certa profundidade abaixo do solo, além de aumentar o acúmulo de matéria seca, reduzir a necessidade de mão de obra, e simplificar a aplicação do nitrogênio em cobertura. Coelho (1994) reforça que os nutrientes diluídos na água de irrigação são aplicados com objetivo da solução infiltrar no solo, ficando disponível às raízes, e não às folhas como fertilizante foliar.

As pesquisas relacionadas ao parcelamento do nitrogênio, porém, nem sempre respondem de forma positiva às diferentes épocas de aplicação. Estudando doses crescentes de duas fontes nitrogenadas (sulfato de amônio e uréia) em aplicações de cobertura aos 21 e 35 dias após emergência, Arf et al. (1990) concluíram que não houve diferenças significativas de produtividade quando se alterou a época de aplicação ou a fonte do adubo nitrogenado, diferenças obtidas apenas quando se aumentava as doses aplicadas.

De acordo com Pozzebon et al. (1996) não há efeito positivo do parcelamento do nitrogênio via fertirrigação sobre a concentração do nutriente nos tecidos foliares e talos das plantas, havendo uma estreita correlação entre a produtividade da cultura e a concentração dos nutrientes nos tecidos do feijoeiro.

Cruciani et al. (1998) estudando o efeito da adubação nitrogenada convencional e aplicada através de fertirrigação no feijoeiro, constataram que a aplicação do fertilizante aumentou significativamente a produção de grãos e a absorção de nitrogênio pela planta, e que a aplicação parcelada por meio da fertirrigação apresentou melhores resultados quando comparado a aplicação manual e a fertirrigação em dose única.

Souza et al. (2002) avaliando diferentes doses de nitrogênio aplicado por meio de fertirrigação, em comparação com a aplicação tradicional, determinaram que a dose do fertilizante a ser utilizada por meio da água de irrigação (fertirrigação) deve ser a mesma utilizada na aplicação convencional, não apresentando valores de produtividade significativos para as doses maiores ou menores do fertilizante.

No entanto, a grande maioria dos produtores que utilizam a técnica da fertirrigação não utiliza qualquer tipo de recomendação técnica ou estratégia no manejo dos nutrientes e da água na irrigação. Esta deficiência de informações mostra que a técnica da fertirrigação no feijoeiro deve ser estudada com objetivo não apenas de aumentar a produtividade e rentabilidade na propriedade, mas tornar o sistema agrícola mais eficiente e sustentável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do local

O experimento foi conduzido na área experimental do Centro Técnico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em Maringá, localizada geograficamente a 23°25' de latitude sul, 51°57' de longitude oeste, com altitude média de 542 metros. O relevo da área é suave ondulado, apresentando diferença de nível médio de 7%.

3.1.1 Solo

O solo da área experimental é caracterizado como Nitossolo Vermelho distroférrico, com horizonte A moderado, textura argilosa, fase florestal tropical subperenifólia (Embrapa, 1999). Foram coletadas amostras de solo das camadas de 0-5; 5-10; 10-20; 20-40 e 40-60 cm de profundidade para a caracterização química do solo, as amostras coletadas foram enviadas ao laboratório de solos do Departamento de Agronomia (DAG/UEM) e os resultados obtidos são apresentados a seguir.

Tabela 1 – Resultado da análise química do solo com macronutrientes, amostrado antes do plantio da cultura, em Março de 2011.

Profundidade (cm)	pH		Al ³⁺	H ⁺ Al ³⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	SB	CTC	P	C
	CaCl	H ₂ O									
0-5	4,8	5,8	0,0	4,28	4,39	1,02	0,42	5,83	10,11	8,9	16,11
5-10	4,7	5,5	0,1	4,61	4,36	0,92	0,44	5,72	10,33	9,2	13,43
10-20	4,8	5,5	0,1	4,28	4,04	0,88	0,25	5,17	9,45	2,8	10,36
20-40	4,9	5,5	0,0	3,42	3,86	0,93	0,11	4,90	8,32	1,5	4,60
40-60	5,2	5,7	0,0	3,17	3,75	0,72	0,05	4,52	7,69	1,7	5,37

Fonte: Laboratório de Solos (DAG/UEM).

Ca, Mg, Al - extraídos com KCL 1mol L⁻¹

SB - Soma de Bases

K - Extraídos com Mehlich1

H+Al - Método SMP

P - Extraído com Mehlich1

Tabela 2 – Resultados obtidos na análise de solo para os indicadores da fertilidade na amostra coletada antes do plantio, em Março de 2011.

Prof. (cm)	V	Ca	Mg %	K	m	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	$\frac{(Ca+Mg)}{K}$	$\frac{K}{(Ca+Mg)^{1/2}}$
0-5	57,67	43,42	10,09	4,15	0,00	4,30	10,45	2,43	12,88	0,18
5-10	55,37	42,21	8,91	4,26	1,72	4,74	9,91	2,09	12,00	0,19
10-20	54,71	42,75	9,31	2,65	1,90	4,59	16,16	3,52	19,68	0,11
20-40	58,89	46,39	11,18	1,32	0,00	4,15	35,09	8,45	43,55	0,05
40-60	58,78	48,76	9,36	0,65	0,00	5,21	75,00	14,40	89,40	0,02

Fonte: Laboratório de Solos (DAG/UEM).

Tabela 3 – Resultados da análise de solo para micronutrientes, amostrada antes do plantio, em Março de 2011.

Profundidade (cm)	Fe	Zn	Cu	Mn
	mg dm ⁻³			
0-20	11,00	2,00	2,00	n.d.

Fonte: Laboratório de Solos (DAG/UEM).

Fe, Zn, Cu, Mn - Extraídos com extrator Mehlich1

S-SO₄⁻² - Extraído pelo método Fosfato Monocálcico

n.d. – Não detectado

As análises de solo foram realizadas com o objetivo de indicar as adubações de base a serem realizadas, e apontar possíveis fatores que pudessem interferir nos resultados obtidos nos tratamentos do presente experimento, porém os teores e relações encontradas permitiram a realização dos testes de forma que os resultados representassem as respostas aos tratamentos realizados e não a características específicas do solo em questão.

3.1.2 Clima

Segundo o sistema de classificação climática de Koppen, que é baseado na vegetação natural, temperatura e pluviosidade, o município de Maringá – PR pode ser classificado como Cfa - Clima subtropical; temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, com verões quentes, geadas pouco frequentes, com precipitação média anual de 1.500 mm e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida.

3.1.3 Condições Ambientais

A distribuição de chuvas e ocorrência de extremos de temperatura são fatores importantes que afetam o bom desenvolvimento da cultura do feijão. A falta e/ou excesso de água no solo e as mudanças térmicas exercem grande influência nas diferentes fases da cultura. Portanto, a análise de balanços hídricos e de variações de temperatura do ar são fatores que devem sempre ser considerados para o estudo do desempenho da cultura e são apresentados nas Figuras 1 e 2.

A estação climatológica automática do Centro Técnico de Irrigação (CTI), localizada próxima ao experimento, forneceu dados importantes na detecção de possíveis influências e interferências do ambiente no experimento, além de ser ferramenta fundamental para a recomendação e manejo da irrigação. Para isso foram obtidos valores de precipitação, velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura. A estação registra os valores obtidos a cada 15 minutos, gerando dados que são armazenados em computador, na sede do CTI.

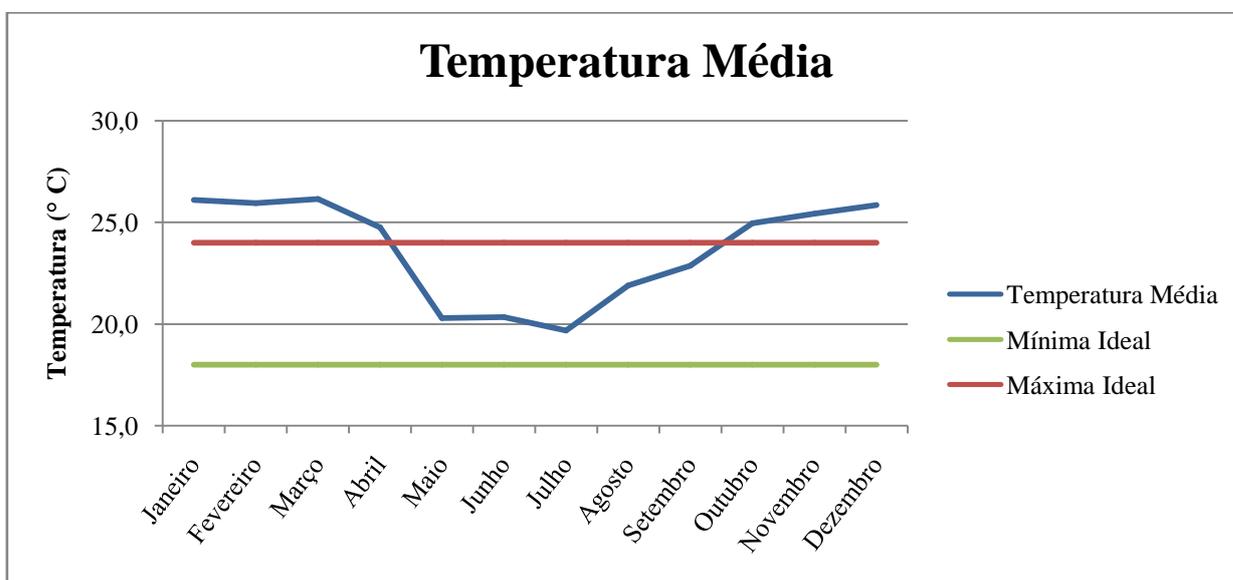


Figura 1–Temperatura média ao longo do ano na cidade de Maringá – PR nos últimos 10 anos, e as temperaturas mínimas e máximas ideais para a cultura do feijoeiro, de acordo com Vieira (1983).

Fonte: Estação climatológica de Maringá. Novembro/2011

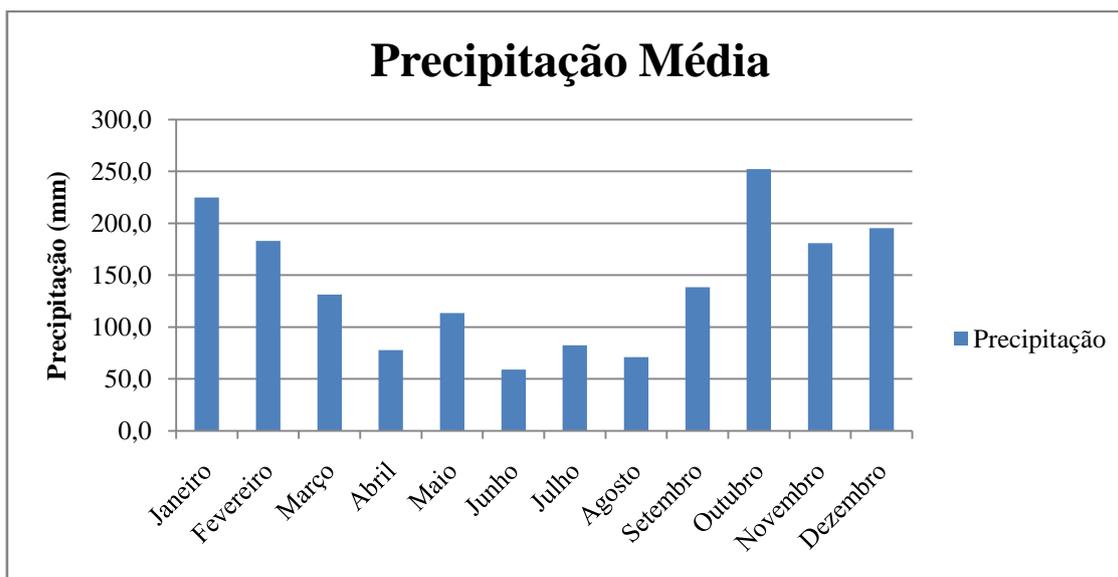


Figura 2 – Precipitação média verificada ao longo do ano na cidade de Maringá, nos últimos 10 anos.

Fonte: Estação climatológica de Maringá. Novembro/2011.

3.2 Sistema de Irrigação

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi composto por um conjunto motobomba que recalca a água até a área experimental, por meio de tubulação de PVC de 75 mm na linha principal, passando por filtro de discos, registros de gaveta e conexões. As linhas laterais, também com tubulação de PVC, com diâmetro de 50 mm.

A irrigação foi realizada utilizando aspersores modelo NY – 23 S, com bocal de diâmetro 3,5 mm, instalados em tubos de subida de 0,8 m e diâmetro de 19 mm, suas características operacionais são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Características do aspersor setorial utilizado, bocal, pressão de serviço, raio molhado, vazão, e espaçamento.

Bocal (mm)	Pressão de Serviço (mca)	Raio Molhado (m)	Vazão (m ³ /h)	Espaçamento (m)
3,5	20	12,4	0,609	12x12
	25	12,6	0,679	12x12
	30	12,6	0,741	12x12
	35	12,6	0,803	12x12

Para o manejo das irrigações utilizou-se turno de rega variável. Foram relacionados os valores obtidos na estação climatológica automática (temperatura, umidade relativa, precipitação, radiação e velocidade do vento) com os valores referentes à cultura e ao solo do local, obtendo desta forma os valores de Umidade Atual do solo (U.A) e Evapotranspiração da Cultura (ETc). Os dados foram coletados e atualizados diariamente e quando os valores de umidade atual atingiam 50% do valor entre a Capacidade de Campo (C.C.) e o Ponto de Murcha Permanente (PMP) foram realizadas irrigações para repor a quantidade de água evapotranspirada, elevando a umidade atual do solo novamente até a capacidade de campo. Os valores das lâminas aplicadas variaram de acordo com o desenvolvimento da cultura e com a profundidade efetiva do sistema radicular, que são representadas pelo coeficiente da cultura, apresentados na Figura 3.

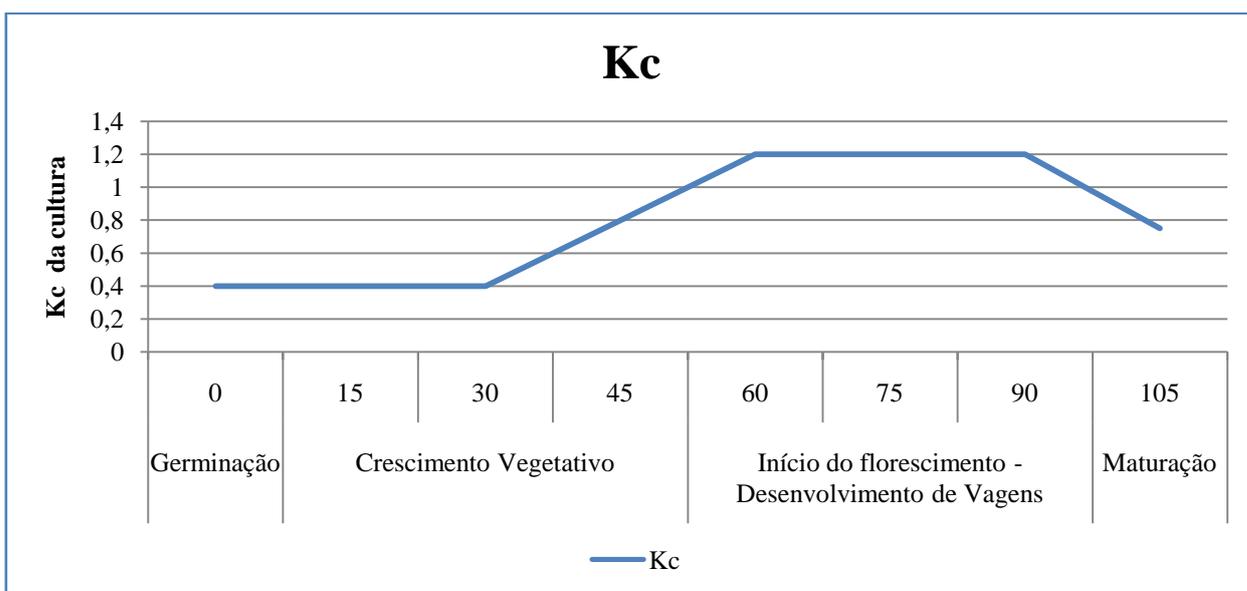


Figura 3 - Coeficientes da cultura (Kc) de acordo com o ciclo do feijoeiro, no sistema convencional de plantio. Adaptado de Doorenbos e Pruitt. Boletim FAO 24, 1977.

3.3 Fertirrigação

A uréia granulada (45% N) foi a fonte nitrogenada utilizada na fertirrigação. As doses de fertilizantes utilizados foram introduzidos na linha principal do sistema de irrigação, antes do sistema de filtragem, por meio de uma bomba injetora modelo MixRite 2504. A bomba injetora introduzia a solução de água mais fertilizante armazenada em um reservatório de 100

litros, onde era feita a mistura. A concentração e quantidade de aplicações realizadas em cada um dos tratamentos são apresentadas na Tabela 5.

Antes e depois da injeção dos fertilizantes junto com a água de irrigação (fertirrigação), o sistema era ligado e aplicava-se somente água por um período de 10 minutos, com objetivo de prevenir possíveis entupimentos nos aspersores, além de estabilizar a pressão no sistema.

Tabela 5 – Concentração e quantidade de aplicações realizadas em cada um dos tratamentos.

Tratamento	Doses de 60 kg ha ⁻¹		
	Concentração de Uréia por aplicação (g m ⁻²)	N (g m ⁻¹ linha)	Quantidade de aplicações
T1	–	–	0
T2	13,3	6,6	1
T3	13,3	–	1
T4	6,7	–	2
T5	4,4	–	3

3.4 Uniformidade de Aplicação

A importância da uniformidade fica ainda mais evidente quando, junto com a água de irrigação, são aplicados nutrientes (fertirrigação), desta forma, após a montagem do sistema de irrigação foram obtidos os Coeficientes de Uniformidade, conforme metodologia descrita por Christiansen (1942), que consiste na utilização de um conjunto de pluviômetros equidistantes em torno dos aspersores a serem testados. Os pluviômetros foram dispostos em malhas de 3x 3 m nas áreas compreendidas entre os 4 aspersores com espaçamento de 12 x 12 m, totalizando 16 coletores utilizados em cada um dos 5 tratamentos. O diâmetro dos pluviômetros era de 0,08 m, sendo fixados em hastes metálicas à altura de 0,5 m da superfície do solo.

Durante os testes mediu-se a pressão no bocal dos aspersores utilizando manômetros, e o volume de água coletada em cada pluviômetro, utilizando proveta graduada. O CUC (Coeficientes de Uniformidade de Christiansen) foi calculado com base na equação 1.

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \cdot \bar{x}} \quad (1)$$

Sendo:

CUC – Coeficiente de uniformidade de Christiansen, em %

x_i – Valores das lâminas, em mm;

\bar{x} – Média geral dos valores das lâminas, em mm;

n – Número de lâminas coletadas.

A Tabela 6 mostra as classes de desempenho do sistema de irrigação, de acordo com Bernardo (1995).

Tabela 6 – Classes de desempenho da uniformidade dos aspersores, de acordo com o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC).

Classe	CUC (%)
Excelente	Acima de 90
Bom	80 – 90
Razoável	70 – 80
Ruim	60 – 70
Inaceitável	Abaixo de 60

Tabela 7 – Coeficientes de uniformidade (CUC) das irrigações na área experimental, de acordo com as diferentes pressões de serviço utilizadas.

Pressão Utilizada (m.c.a.)	CUC (%)	Desempenho
20	89,0	Bom
25	86,3	Bom
30	91,7	Excelente

Como os resultados obtidos para a uniformidade mostraram os melhores resultados quando se utilizou a pressão de 30 m.c.a. nos aspersores, optou-se por trabalhar com esta pressão com objetivo de obter uniformidades altas na aplicação de água no decorrer da condução dos experimentos.

3.5 Implantação do Experimento

Aproximadamente um mês antes da instalação dos experimentos foi realizado o controle químico das plantas daninhas com aplicação pré plantio de herbicida não seletivo, conforme dosagem recomendada para a cultura. Antes do plantio utilizou-se herbicida em pré-emergência, que foi incorporado ao solo por meio de gradagem a 5 cm de profundidade.

Durante a condução da cultura, foram realizados os tratos culturais, e controle fitossanitário, sempre que necessário, para o controle e prevenção de pragas, doenças e plantas daninhas.

Foram utilizadas no experimento sementes de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), tipo carioca, cultivar IPR Tangará, adquirido na sede do IAPAR em Londrina. A cultivar apresenta hábito de crescimento indeterminado, com plantas de porte médio e ciclo médio de 87 dias da emergência até a colheita. Possui resistência ao mosaico comum, murcha de *curtobacterium*, murcha de *Fusarium* e ferrugem e resistência moderada ao oídio e mancha angular e suscetibilidade a antracnose e crestamento bacteriano comum.

No dia 15 Março de 2011 foi realizado o plantio na área experimental, utilizando espaçamento de 0,5 m entre fileiras. As sementes utilizadas apresentavam poder germinativo de 96%, e com o objetivo de obter 11 sementes viáveis por metro linear, foram semeadas um total de 12 sementes por metro linear, totalizando 220.000 plantas por hectare.

Com relação a adubação de plantio da cultura, toda a quantidade de fósforo e potássio recomendado para a cultura, de acordo com a análise de solo, foi aplicada na linha de plantio em todos os tratamentos utilizados. A fonte utilizada foi o adubo formulado NPK 04-14-08 na quantidade de 250 kg ha⁻¹. A adubação nitrogenada de cobertura foi realizada aplicando-se como fonte a uréia contendo 45% de nitrogênio.

3.6 Tratamentos

Conforme observado por Haag e Malavolta (1967) e recomendado por Oliveira (2003) a adubação nitrogenada de cobertura na cultura do feijão, adequada aos resultados das análises de solo, deve ser composta de 60 kg ha⁻¹ de nitrogênio, desta forma, nos tratamentos foi utilizada a quantidade recomendada de nitrogênio parcelada ou não, de acordo com os tratamentos definidos a seguir.

T1 – Sem adubação nitrogenada de cobertura (0 kg ha^{-1}).

T2 - Aplicação manual em dose única, de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio 15 dias após a emergência (DAE).

T3 – Aplicação por fertirrigação em dose única de 60 kg ha^{-1} de nitrogênio, 15 DAE.

T4 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes, divididas em 2 aplicações de 30 kg ha^{-1} de nitrogênio aos 15 e 30 DAE .

T5 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes, divididas em 3 aplicações de 20 kg ha^{-1} de nitrogênio aos 15, 30 e 42 DAE.

Os parcelamentos das doses de nitrogênio realizadas tiveram como base os experimentos realizados por Meireles et al.(1980) e Hungria et al.(1985), que constatam que cerca de 60% do nitrogênio mineral total do feijoeiro é absorvido nos 15 dias entre o florescimento (35 DAE) e o período médio de enchimento dos grãos (50 DAE), devendo a adubação em cobertura ser realizada antes do período de maior exigência da cultura. O layout dos tratamentos e do sistema de irrigação utilizados é apresentado na Figura 4.

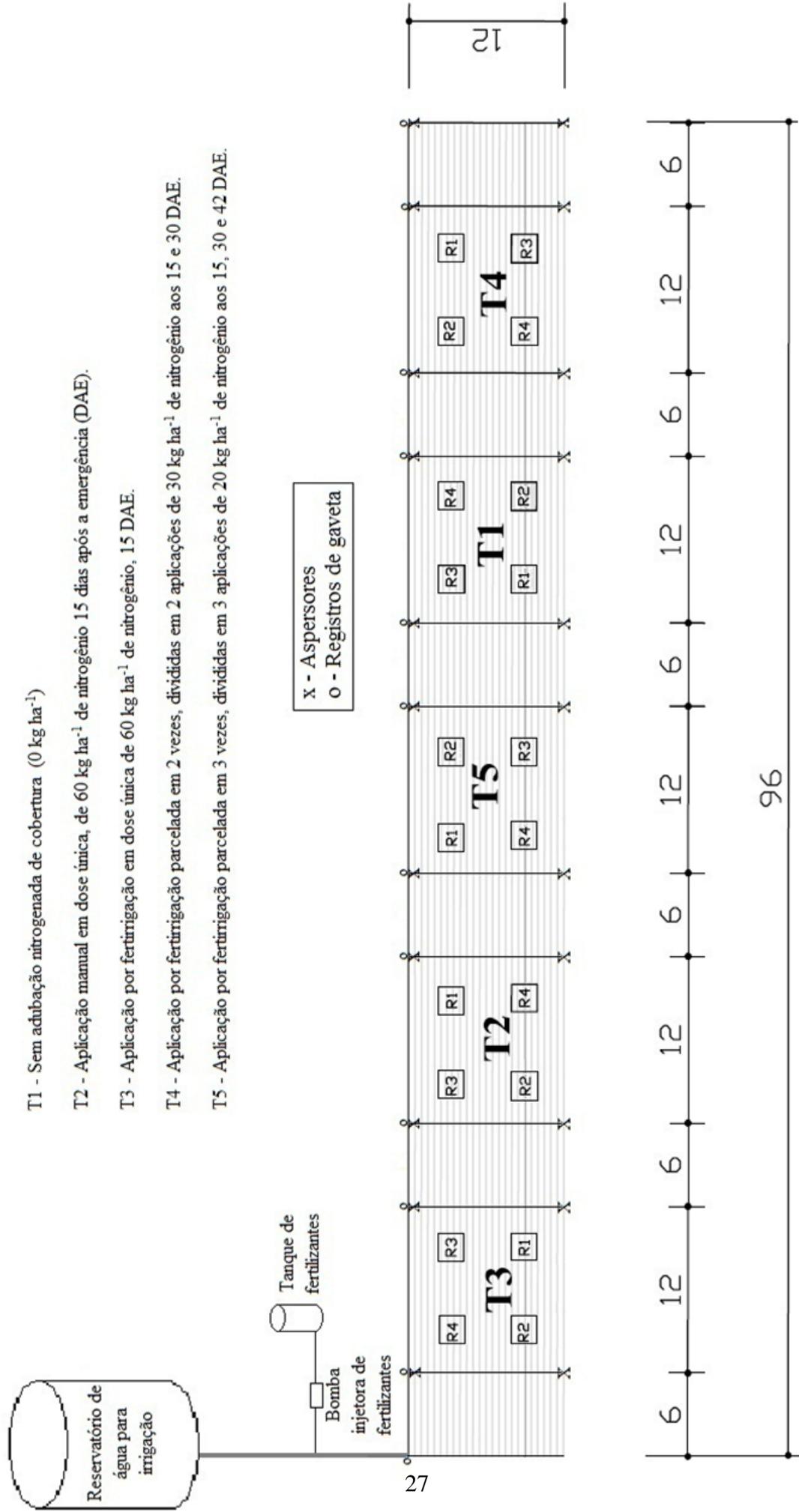


Figura 4 – Croqui da área experimental com a distribuição dos tratamentos e do sistema de irrigação e fertirrigação.

3.7 Variáveis Analisadas

Com o objetivo de avaliar a resposta da cultura do feijoeiro aos tratamentos propostos, foram coletadas quatro amostras para cada uma das repetições nos tratamentos, cada repetição com área igual a 9 m² e as variáveis avaliadas foram número de vagens por planta (NV), número de grãos por vagem (NG), massa de cem grãos (MC) e rendimento dos grãos (RG).

3.7.1 Número de vagens por planta

O número de vagens por planta foi obtido pela contagem de dez plantas escolhidas aleatoriamente dentro de cada repetição (R1, R2, R3 e R4) e posteriormente calculou-se a média para esta variável.

3.7.2 Número de grãos por vagem

A quantidade de grãos por vagem foi obtido utilizando todas as vagens das 10 plantas colhidas nas quais se obteve o número de vagem por planta.

3.7.3 Massa de cem grãos

Para a determinação desta variável foram coletados aleatoriamente 100 grãos das plantas de cada repetição, sendo as mesmas 10 plantas avaliadas para se obter o número de vagens e o número de grãos/vagem. Posteriormente o peso das amostras foi quantificado em balança de precisão

3.7.4 Rendimento de grãos

A colheita se iniciou no dia 28 de junho de 2011, quando a cultura completava um ciclo de 106 dias desde o seu plantio. Para obter o rendimento dos grãos, cada repetição teve toda sua área experimental colhida e debulhada manualmente, tomando os devidos cuidados para se evitar perdas. Posteriormente as quantidades obtidas foram pesadas em balança de precisão, a umidade dos grãos foi ajustada para 13% e os dados convertidos para kg ha⁻¹.

As parcelas foram coletadas e o rendimento de grãos obtidos com o objetivo de se detectar diferenças na produtividade da cultura, de acordo com cada tratamento proposto pelo experimento.

3.7.5 Análise dos Dados

Os dados obtidos de número de vagens, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e rendimento da cultura foram analisados utilizando os testes de Shapiro-Wilk e Levene para verificar o atendimento, respectivamente, das pressuposições de normalidade dos erros, homogeneidade de variâncias, em nível de 5% de probabilidade de erro. Foi realizada a comparação entre os tratamentos (repetições) por meio de análise de variância e teste de comparação de médias utilizando o software SISVAR, empregando o teste de Scott-Knott para comparação de médias.

3.8 Controle da irrigação e fertirrigação

A Figura 5 mostra que a ocorrência de chuvas ao longo do ciclo do feijoeiro foi intensa, especialmente na fase inicial de desenvolvimento da cultura e nos períodos próximos à realização das aplicações nitrogenadas, que ocorreram aos 15, 30 e 42 dias, de acordo com o cronograma apresentado.

Se essas precipitações por um lado podem contribuir com as perdas do nutriente por lixiviação, que é um dos tipos de perda mais associado ao nitrogênio, por outro, auxiliam na incorporação e absorção do nutriente, concordando com Olson (1984) que relata que a água disponível no solo é fundamental para que as plantas respondam a aplicação de nitrogênio.

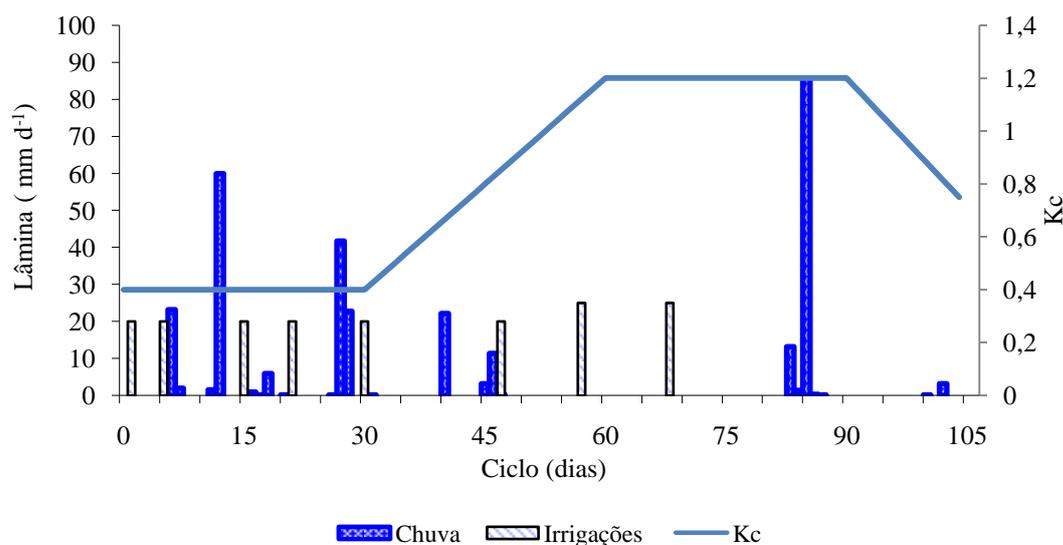


Figura 5 – Ocorrência de chuvas e irrigações realizadas e o Kc da cultura ao longo do seu ciclo. Maringá, UEM, 2011.

A precipitação acumulada durante todo o ciclo da cultura foi de 395 mm, sendo que de acordo com Doorenbos e Kassam (1994), para o máximo rendimento na cultura do feijoeiro, a exigência hídrica varia entre 300 e 500 mm ao longo do ciclo, dependendo das condições edafoclimáticas do local de implantação da cultura. Desta forma, somente as chuvas que ocorreram durante o cultivo seriam suficientes para que o máximo rendimento fosse alcançado, porém a irregularidade nas precipitações gerou a necessidade de realizar irrigações quando o intervalo de chuvas não supria a demanda de água necessária.

Se somadas o total de precipitações mais as lâminas aplicadas por meio de irrigação, a cultura utilizou um total de 545 mm ao longo do seu ciclo, uma lâmina média de 5,24 mm por dia.

A Figura 6 mostra que os valores de evapotranspiração de referência (ET_o) tendem a uma redução em seu valor ao longo do desenvolvimento do ciclo do feijão, isso acontece principalmente pela redução nos valores médios da radiação solar líquida associada a diminuição gradativa da temperatura média nos meses em que foi conduzido o experimento (Março, Abril, Maio e Junho). Na fase inicial do desenvolvimento, quando a cultura ainda não cobre totalmente o solo, a água evaporada supera a quantidade transpirada, sendo a evaporação o principal componente da evapotranspiração nesta fase (BERLATO E MOLION, 1981).

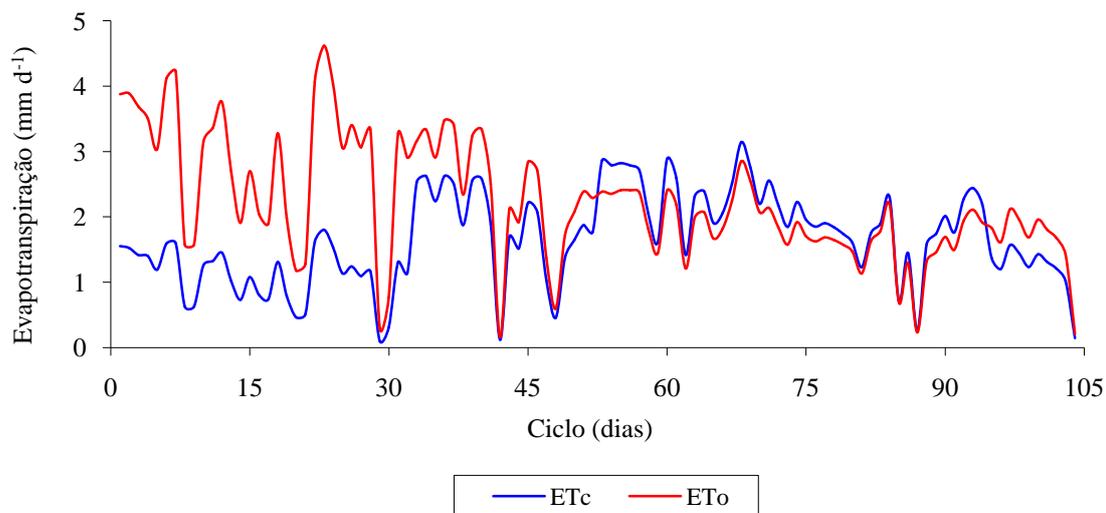


Figura 6 – Valores de evapotranspiração de referência e da cultura (mm d^{-1}), ao longo do desenvolvimento da cultura do feijoeiro. Maringá, UEM, 2011.

Verifica-se que a evapotranspiração da cultura (ETc) aos 18 dias atingiu valores próximos a $0,8 \text{ mm dia}^{-1}$, e com o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente da área foliar, aos 68 dias após o plantio, alcançou o valor máximo, em torno de $3,1 \text{ mm dia}^{-1}$. A partir desta data pode ser observada uma redução nos valores de evapotranspiração do feijoeiro, redução associada ao início da senescência das folhas no terço inferior da planta, seguindo essa tendência até o final do ciclo da cultura.

Ao longo do ciclo da cultura a ETc total ficou em $171,8 \text{ mm}$ o que representa um consumo médio de $1,6 \text{ mm dia}^{-1}$.

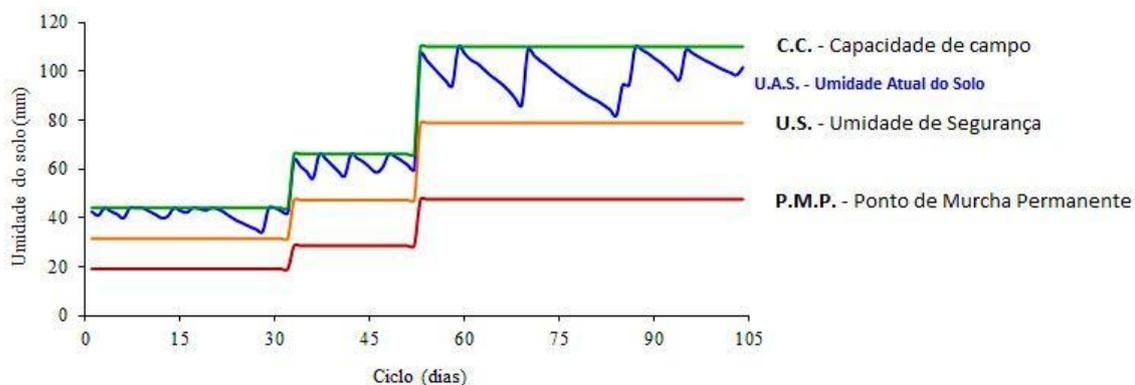


Figura 7 – Gráfico dos valores da quantidade de água no solo (Capacidade de Campo, Umidade Atual, Umidade de Segurança e Ponto de Murcha Permanente) ao longo do ciclo da cultura do feijoeiro. Maringá, UEM, 2011.

A Figura 7 do gráfico da umidade do solo apresentada acima foi gerada a partir dos dados obtidos para determinar o momento adequado para realizar as irrigações. Sempre que a umidade atual do solo (U.A.S.) se aproximava da umidade de segurança (U.S.), que é referente ao valor entre o ponto de murcha permanente (P.M.P.) e a capacidade de campo (C.C.), o sistema de irrigação era acionado até que o solo da área irrigada voltasse a capacidade de campo (C.C.).

Com a ocorrência das chuvas no início da condução do experimento, apenas duas irrigações iniciais foram utilizadas para a germinação das sementes, não sendo necessária a realização de novas aplicações até os 23 dias após o plantio, apesar disso, durante esses dias a umidade atual do solo se manteve sempre próximo da capacidade de campo, como pode ser observado pela Figura 7.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Variáveis de produção da cultura

Para interpretação das variáveis, foram obtidos os parâmetros estatísticos para o conjunto de dados de produção da cultura do feijoeiro. Os valores de número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de 100 (cem) sementes e rendimento, são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 - Estatística descritiva para as variáveis de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, Peso de 100 (cem) sementes e rendimento.

	Nº de Vagem.planta ⁻¹	Nº de Grão.vagem ⁻¹	Peso de 100 sementes (g)	Rendimento (Kg ha ⁻¹)
Média	14,220	5,422	25,246	3478,976
Mediana	14,500	5,445	25,236	3436,059
Erro padrão da média	0,427	0,047	0,147	92,071
Desvio padrão	1,909	0,208	0,659	411,753
Variância	3,645	0,043	0,434	169540,309
Curtose	-0,154	-0,829	-1,112	-0,947
Assimetria	-0,369	-0,030	-0,052	-0,411
Amplitude total	7,200	0,748	2,283	1250,833
Mínimo	10,000	5,050	23,994	2759,400
Máximo	17,200	5,797	26,277	4010,233
Soma total	284,400	108,448	504,914	69579,521
n	20	20	20	20
Teste de Shapiro-Wilk				
(p-valor)	0,8367	0,7042	0,3263	0,0651
Teste de Levene				
(p-valor)	0,6005	0,7225	0,0928	0,9420

Os valores de média e mediana para o número de vagens por planta assim como os obtidos para o rendimento apresentam valores próximos, e o número de grãos por vagem e peso de 100 (cem) sementes também apresentam valores de média e mediana semelhantes. Isto sinaliza para a simetria das distribuições dos dados. Costa Neto (1990) assegura que a proximidade entre esses valores pode caracterizar como normal a distribuição, já que esse tipo de distribuição deve apresentar valores iguais para estas medidas de posição. A normalidade da distribuição dos dados destas variáveis foi assegurada pelo teste de Shapiro-Wilk por meio do p-valor, ao nível de probabilidade de 5%, conforme mostrado na Tabela 8.

Para as variâncias dos erros, em todos os casos também não foram consideradas heterogêneas ($p > 0,05$) pelo teste de Levene.

Quanto a simetria das distribuições, pode-se considerá-las simétricas e mesocúrticas, o que é expresso pelos coeficientes de assimetria e curtose.

Na Figura 8 são mostrados os gráficos “box-plot” para as propriedades em questão. Como medida de posição foi usada a mediana, sendo identificados os valores extremos (máximo e mínimo) e os quartis inferior e superior. Por meio desta figura, torna-se possível verificar, visualmente, a assimetria negativa (cauda inferior mais alongada) para as variáveis de produção.

Outra forma de visualização da distribuição das variáveis em questão está apresentada por meio das retas de probabilidade normal, onde é possível verificar a sua distribuição normal (Figura 9).

Os gráficos do “Box-plot” e das distribuições de probabilidade normal confirmam o que já foi discutido na Tabela 8.

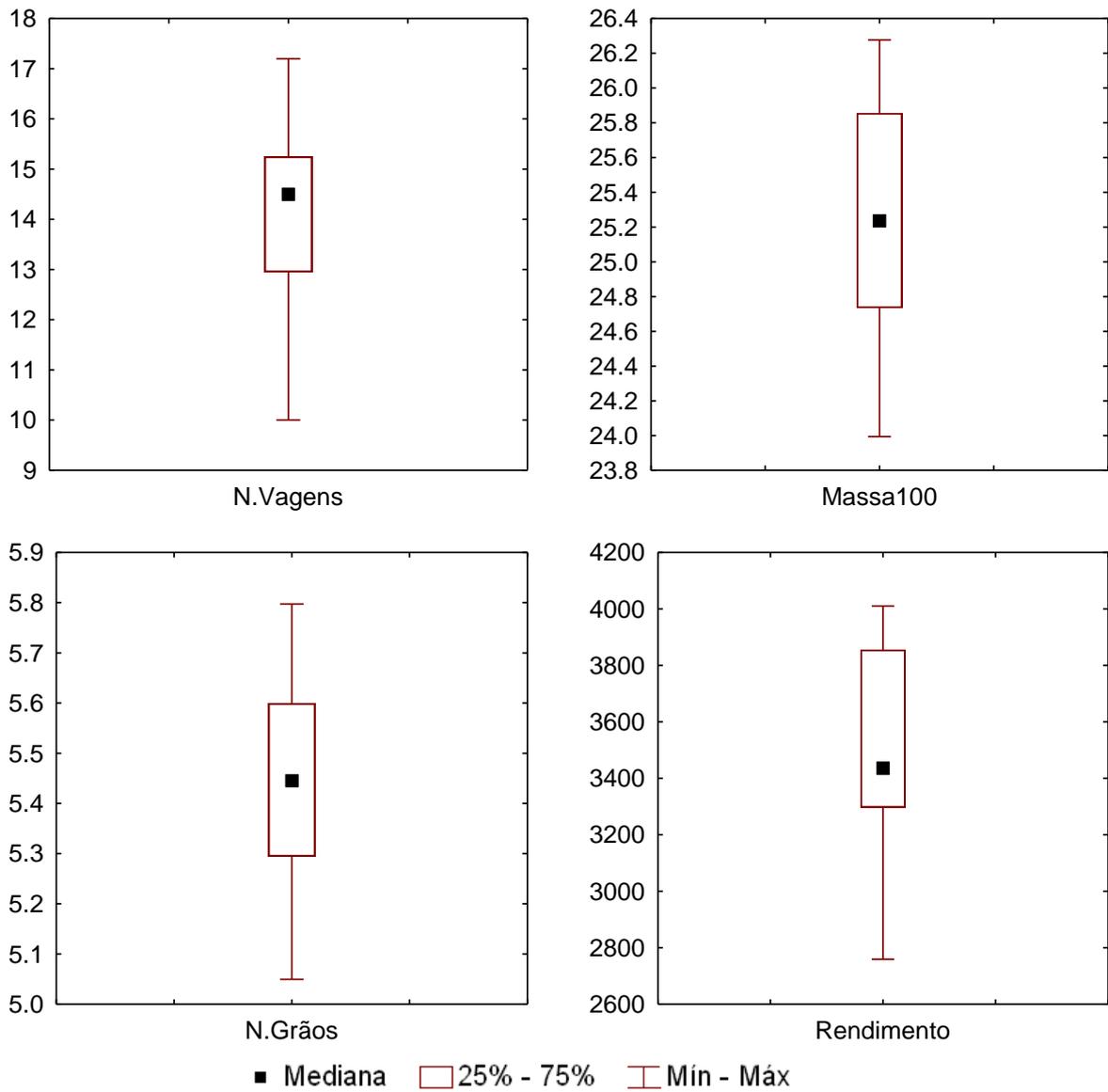


Figura 8 - Gráficos “box-plot” para as distribuições de valores de número de vagens por planta, número de grãos por vagem, Peso de 100 (cem) sementes e rendimento.

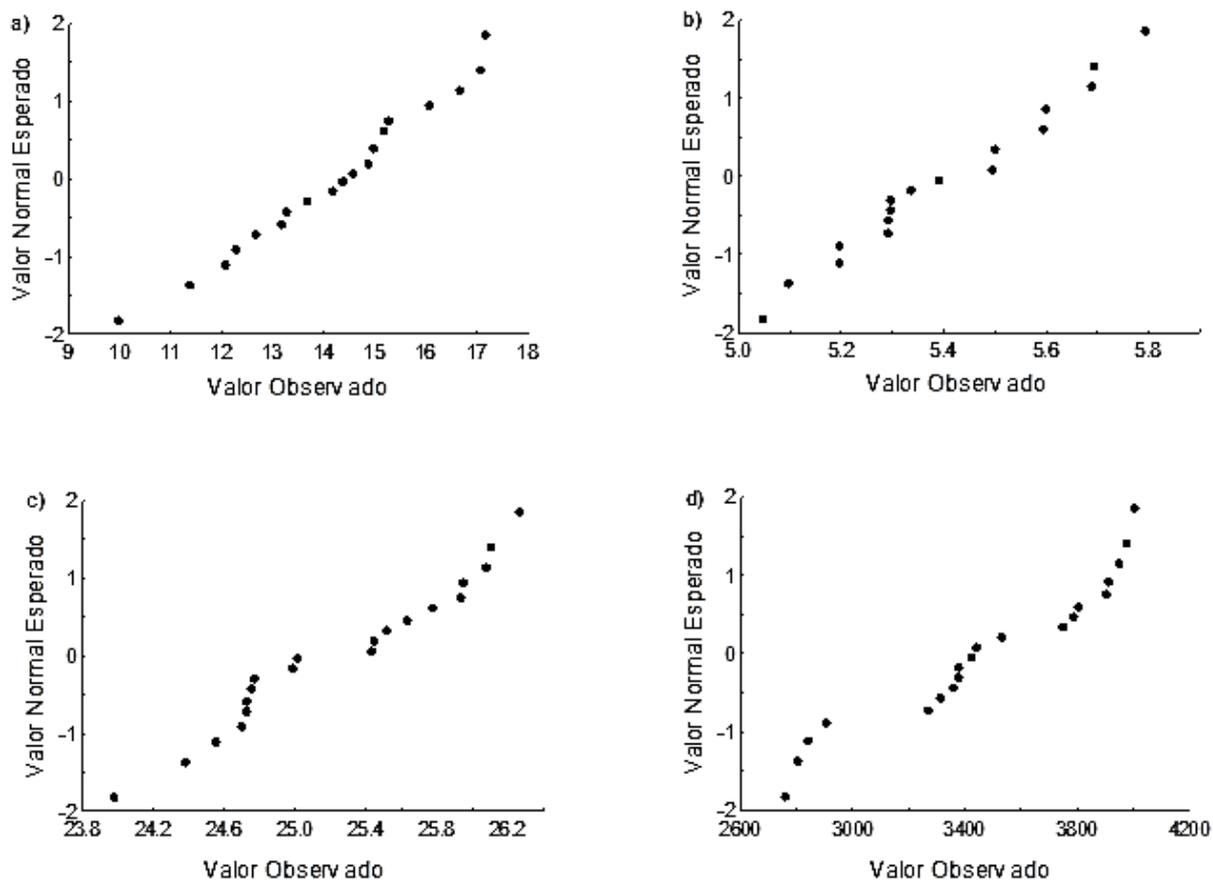


Figura 9 – Distribuição de probabilidade normal para as variáveis de produção: a) número de vagens por planta; b) número de grãos por vagem; c) Peso de 100 (cem) sementes; d) rendimento.

A análise de variância das variáveis de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, Peso de 100 (cem) sementes e rendimento é apresentada a seguir na Tabela 9.

Tabela 9. Análise de variância para as variáveis de produção: número de vagens por planta, número de grãos por vagem, Peso de 100 (cem) sementes e rendimento.

Variáveis	p-valor	CV (%)
Nº Vagem.planta ⁻¹	0.0052**	9.5
Nº Grão.vagem ⁻¹	0.0203*	2.99
Peso de 100 sementes	0.0001**	1.38
Rendimento	0.0000**	1.82

*Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

** Significativo pelo teste F a 1% de probabilidade.

Conforme apresentado na Tabela 9, pelo menos um dos tratamentos difere de outro, ou seja, há diferença entre os tratamentos para as variáveis.

4.1.1 Número de vagens por planta

Com objetivo de comparar as médias do número de vagens obtidas e identificar quais tratamentos foram significativos, os valores foram submetidos ao teste de Scott-Knott significativo a 5%.

Os resultados na Tabela 10 para o número de vagens por planta mostram que o parcelamento da fertirrigação em três vezes (T5), assim como a aplicação manual em dose única (T2) e o parcelamento da fertirrigação em duas vezes (T4), proporcionam resultados superiores aos demais tratamentos para esta variável.

Tabela 10 – Valores médios obtidos para número de vagens por planta para cultura do feijão, de acordo com os diferentes tratamentos. Maringá, UEM, 2011.

Tratamento	Média	Scott-Knott
T5	15,9	a
T2	15,4	a
T4	14,6	a
T3	13,4	b
T1	11,9	b

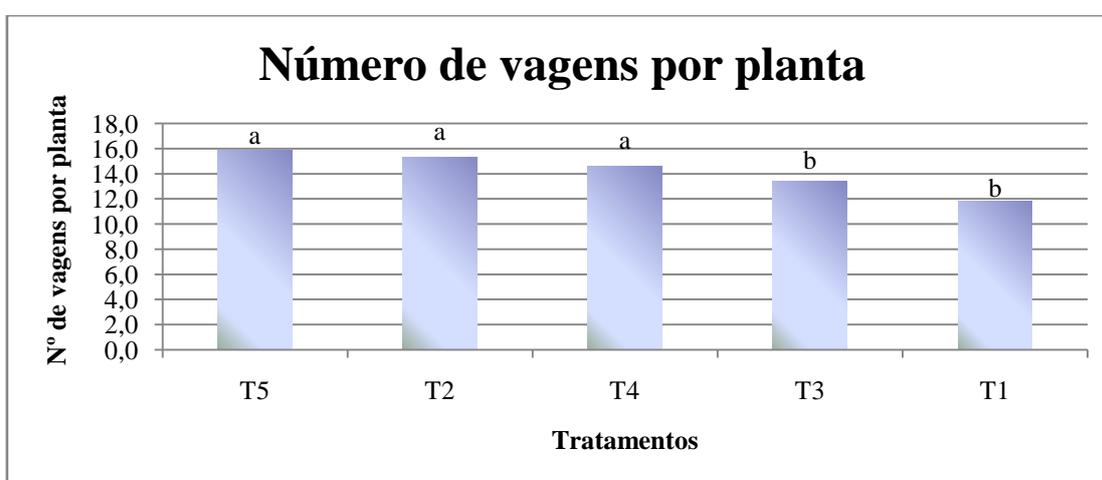
Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. **T1**- Sem adubação nitrogenada de cobertura; **T2** - Aplicação manual em dose única; **T3** – Aplicação por fertirrigação em dose única; **T4** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; **T5** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

O tratamento 3 (T3) no qual se utilizou a aplicação por fertirrigação em dose única, assim como o tratamento que não recebeu nitrogênio em cobertura (T1) obtiveram resultados inferiores aos demais. Esse resultado seria esperado para o caso de T1, pois conforme cita Andrade et al. (1998) o número de vagens por planta é influenciado positivamente com a utilização da adubação nitrogenado, porém o T3 apesar de receber o fertilizante não apresentou ganhos com sua utilização. Uma explicação aceitável para este resultado seria que, como este tratamento recebeu toda sua quantidade de nitrogênio em dose única aos 15 DAE junto da água de irrigação e, associado ao fato da ocorrência de chuvas em períodos seguintes a essa aplicação, é provável que o nitrogênio tenha se lixiviado, ficando fora da zona de absorção das raízes e proporcionando os baixos valores encontrados para este tratamento.

Melhores resultados para o número de vagens por planta são relacionados a uma melhor fixação de vagens no florescimento, proporcionado pela disponibilidade de nitrogênio no momento de maior exigência da planta. Souza (2005) reforça ao relatar que o nitrogênio é um importante componente da molécula da clorofila, dos aminoácidos e dos hormônios vegetais e, desta forma, está diretamente ligado a atividade fotossintética, assim como à fixação de vagens e ao enchimento de grãos. Barbosa Filho (2005) afirma que a aplicação na época mais apropriada e de maior demanda é o mais recomendado, pois o nitrogênio que não é absorvido, além de não proporcionar aumentos nas variáveis de produtividade, se perde de alguma forma, seja por lixiviação ou volatilização.

Esses autores justificam os resultados obtidos para os tratamentos em que se parcelou a adubação (T4 e T5), fornecendo nutrientes nos momentos de maior

exigência, porém como se observou na Tabela 10, o T2 em que se utilizou o fertilizante aplicado manualmente em dose única, também obteve os melhores resultados para esta variável. Da mesma forma que as chuvas após os 15 DAE da cultura podem ter favorecido a lixiviação do nitrogênio no T3, provavelmente contribuíram para a solubilização do fertilizante granulado (T2), porém não foram suficientes para causar sua perda por lixiviação, mais sim levar o nutriente para a zona radicular e aumentar a disponibilidade para a planta, resultando nos melhores valores apresentados para este tratamento.



Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. **T1**- Sem adubação nitrogenada de cobertura; **T2** - Aplicação manual em dose única; **T3** – Aplicação por fertirrigação em dose única; **T4** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; **T5** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

Figura 10 – Número de vagens por planta obtidos para cada um dos tratamentos realizados.

Os benefícios da aplicação em cobertura também foram descritos por Coelho et al. (2001), em que relatam que ao utilizar adubação nitrogenada foi observado um acréscimo no número de vagens por planta, que passou de 9,4 na ausência da aplicação, para 12,3 a quantidade de vagens ao se utilizar o fertilizante nitrogenado em cobertura, uma diferença de 30% entre os dois tratamentos. No presente trabalho a diferença entre o tratamento que apresentou os melhores índices (T5) e o que não recebeu uréia em cobertura (T1 e menores índices), chegou a 33,6%. É importante ressaltar os valores expressivos obtidos no presente trabalho, pois todos os tratamentos que receberam a aplicação de uréia em cobertura apresentaram valores superiores aos obtidos por Coelho et al. (2001).

Como indica a Figura 10, não foi possível apontar diferenças significativas entre o T5, que obteve o maior valor para esta variável, e os que utilizaram a aplicação tradicional em dose única (T2) e fertirrigação parcelada em 2 vezes (T4) o que representa que apesar de proporcionar os melhores resultados para esta variável, o parcelamento em 3 vezes produz respostas estatisticamente semelhantes aos tratamentos T2 e T4. Estes resultados devem ser interpretados com critérios, pois conforme descrito por Silva et al. (2007) e Souza et al. (2008), a variável número de vagens por planta é o componente primário que mais se relaciona com a produtividade de grãos, podendo pequenas diferenças no número de vagens por planta produzir efeitos representativos na produtividade final de grandes áreas.

Os menores valores de número de vagens por planta foram obtidos nos tratamentos T3 e T1, que consistem da fertirrigação aplicada em dose única e o que não recebeu adubação nitrogenada, respectivamente. Quando comparados os dois tratamentos, o T3 fica em desvantagem, pois apesar da aplicação de nitrogênio junto à água de irrigação, obteve resultados estatisticamente equivalentes ao T1, em que não foi utilizado o fertilizante em cobertura. Desta forma, os custos envolvidos no T3 não justificariam o investimento quando relacionado ao menor custo do T1.

Quando avaliado de forma isolada, o T1 contraria o proposto por autores que relatam o número de vagens por planta não responde a adubação nitrogenada (BINOTTI, 2009; SOUZA, 2006), sendo que os 3 tratamentos, que receberam adubação de cobertura, obtiveram resultados estatisticamente superiores ao que não recebeu a aplicação, ou seja, houve significativa resposta à cobertura com o fertilizante. Buzzetti et al. (1992) também mencionam que o feijoeiro requer um suprimento adequado de nitrogênio ao longo do ciclo, para o desenvolvimento da planta e para a formação de vagens e grãos.

Silva et al. (2002) descreveram que o número de vagens por planta é uma característica muito variável, que pode sofrer o chamado efeito de compensação entre o número de vagens por planta e número final de plantas por metro, ou seja, quando ocorre a redução na quantidade de plantas por metro, ocorre um aumento no número de vagens por planta, e da mesma forma, quando há uma grande quantidade de plantas por área, decresce a contagem de vagens por planta. Esta afirmação, que também foi apresentada por Coelho et al. (2001) não descartam que o T1, que obteve o menor desempenho para a quantidade de vagens, venha a obter melhores índices na variável de

grãos por vagem, compensando o mau desempenho para esta variável, conforme proposto pelos autores citados.

4.1.2 Número de grãos por vagem

Após a obtenção do número de grãos por vagem, foi calculada a média dos valores. Com os resultados obtidos procedeu-se o teste F da análise de variância, que foram descritos anteriormente na Tabela 8. A seguir, na Tabela 11 são apresentados os valores do teste de médias de Scott-Knott para esta variável.

Tabela 11 – Valores médios do número de grãos por vagem para a cultura do feijão de acordo com os diferentes tratamentos. Maringá, UEM, 2011.

Tratamento	Média	Scott-Knott
T4	5,6	a
T3	5,5	a
T5	5,5	a
T1	5,4	a
T2	5,2	b

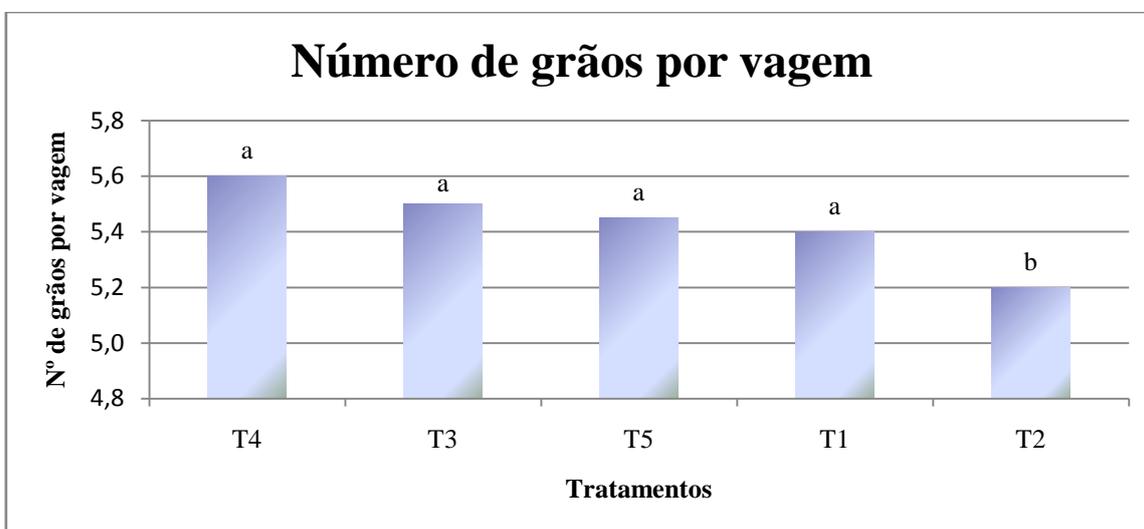
Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. **T1**- Sem adubação nitrogenada de cobertura; **T2** - Aplicação manual em dose única; **T3** – Aplicação por fertirrigação em dose única; **T4** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; **T5** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

Para o número de grãos por vagem, apenas o tratamento 2, que consiste na aplicação manual em dose única do fertilizante nitrogenado, apresentou resultados significativamente menores para esta variável, sendo a menos indicada neste caso. Os demais tratamentos tiveram resultados estatisticamente superiores, porém não foi possível apontar um único tratamento a ser indicado, uma vez que não houve diferenças significativas no número de grãos por vagem, inclusive o tratamento em que não foi utilizada adubação nitrogenada está no grupo com os melhores resultados.

O resultado obtido para o T2 apresentado na Tabela 11 e na Figura 11, não condiz com as respostas obtidas por diversos autores como Teixeira et al. (2000), Oliveira et al. (2004), Arf et al. (2004) que o número de grãos por vagem pode ser influenciado por uma melhor nutrição de nitrogênio e pela irrigação, porém outros autores como Andrade et al. (1998) citam que o número de grãos por vagem é uma característica de alta herdabilidade genética, que sofre pouca influência do ambiente, da

mesma forma Fernandes et al. (2005), reforçam que essa é uma característica mais relacionada com o cultivar utilizado, sofrendo pouca influência das práticas culturais utilizadas na cultura.

Avaliando a influência do parcelamento da fertirrigação nitrogenada no número de grãos obtidos para a cultura do milho, Antunes et al. (2009) concluíram que o fracionamento da fertirrigação em três vezes ao longo do desenvolvimento da cultura proporciona um incremento de 21,6% na quantidade de grãos produzidos quando comparado à aplicação convencional em dose única, o que mostra que mesmo em culturas diferentes o parcelamento do nitrogênio resulta em incrementos no número de grãos.



Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. T1- Sem adubação nitrogenada de cobertura; T2 - Aplicação manual em dose única; T3 – Aplicação por fertirrigação em dose única; T4 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; T5 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

Figura 11 – Número de grãos por vagem obtidos de acordo com cada tratamento utilizado na cultura do feijão.

Apesar da diferença entre o tratamento que obteve o melhor resultado (T4) e o que apresentou a menor quantidade de grãos por vagem (T2) ser de apenas 0,4 grãos, ou seja, uma diferença de 7%, esse incremento pode parecer de pouca significância, porém ao ser convertido para aumento de grãos por planta, e por sua vez no acréscimo de grãos por hectare, esses índices podem representar uma grande diferença na produtividade final da área. Resultados opostos foram registrados por Coelho et al. (2001) no qual a adubação nitrogenada de cobertura proporcionou redução de 0,4 grãos por vagem,

porém justifica que as plantas daninhas presentes na área também receberam o fertilizante, e assim tiveram maior competição com a cultura implantada pelos fatores de produção (luz, água, e outros nutrientes além do nitrogênio), o que não ocorreu no presente trabalho, em que se utilizou controle químico e mecânico no combate as plantas infestantes.

Os valores observados para T1 apresentam indícios de que a hipótese de compensação do tópico anterior, proposta por Silva et al. (2002), seja verdadeira, já que para o número de vagens por planta o tratamento apresentou baixo desempenho e na quantidade de sementes por vagem o T1 se igualou estatisticamente aos tratamentos que obtiveram os melhores resultados. Resta saber se a qualidade dos grãos produzidos não foi afetada, produzindo grãos pequenos, o que poderá ser verificado com o peso médio de 100 grãos avaliados.

4.1.3 Peso de 100 grãos

Os resultados obtidos na pesagem dos grãos e apresentados na Tabela 12, mostram que o parcelamento da fertirrigação em 2 e 3 vezes ao longo do ciclo da cultura proporcionou sementes com peso estatisticamente superior aos demais tratamentos. Sementes de maior tamanho e maior peso, geralmente indicam melhor qualidade fisiológica, o que pode proporcionar a cultura um melhor arranque inicial, com melhores condições para se desenvolver sob estresse hídrico ou competição com plantas daninhas (WHITE E GONZÁLEZ, 1990).

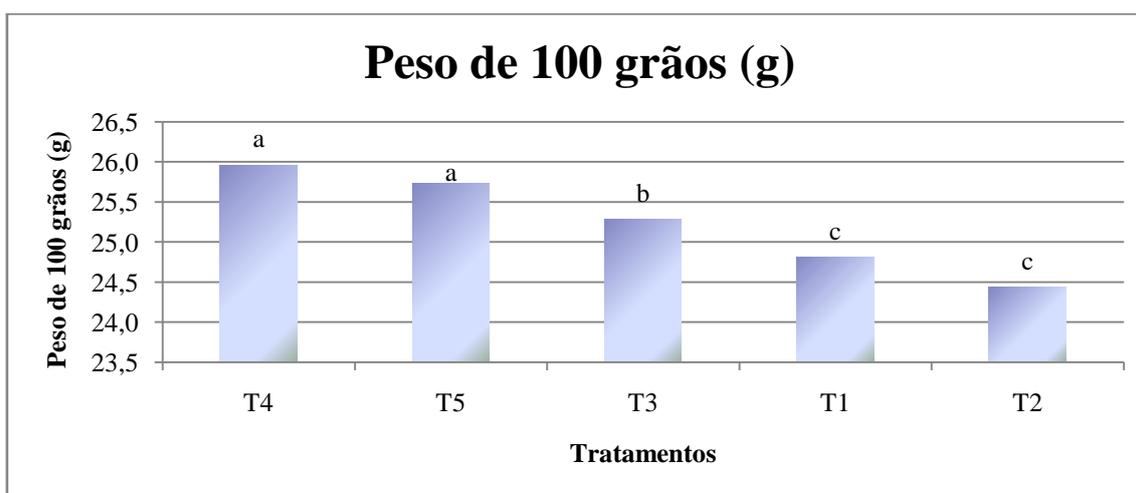
Tabela 12 – Peso médio de 100 grãos de feijão, em gramas, em função dos tratamentos avaliados. Maringá, UEM, 2011.

Tratamento	Média (g)	Scott-Knott
T4	26,0	a
T5	25,7	a
T3	25,3	b
T1	24,8	c
T2	24,4	c

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. **T1**- Sem adubação nitrogenada de cobertura; **T2** - Aplicação manual em dose única; **T3** – Aplicação por fertirrigação em dose única; **T4** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; **T5** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

Para esta variável, a adubação de cobertura utilizando a fertirrigação em dose única (T3), obteve o resultado menos expressivo entre os demais tratamentos fertirrigados, porém ainda superior ao tratamento tradicional e o que não recebeu adubação de cobertura.

Os tratamentos T4 e T5 que obtiveram respostas estatisticamente superiores aos demais tratamentos, tiveram suas aplicações de nitrogênio parceladas aos 15 e 30 DAE, e aos 15, 30 e 42 DAE, respectivamente. Este resultados mostram que a adubação parcelada, que aconteceu na fase vegetativa da cultura, contribuiu com o melhor desenvolvimento estrutural da planta, resultando num maior número de folhas e conseqüentemente maior área fotossintética. Hohmann e Carvalho (1983) confirma em seu trabalho que a quantidade de folhas realizando fotossíntese estão diretamente ligadas aos resultados obtidos para o peso de grãos na cultura do feijoeiro, e Galvez et al. (1977) complementam que a fase que a área foliar mais interfere nesses resultados é o início do florescimento e, principalmente durante o enchimento de vagens.



Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. T1- Sem adubação nitrogenada de cobertura; T2 - Aplicação manual em dose única; T3 – Aplicação por fertirrigação em dose única; T4 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; T5 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

Figura 12 – Peso médio de 100 grãos obtidos para a cultura do feijão de acordo com cada um dos tratamentos utilizados.

Como apresentado na Figura 12, o tratamento que recebeu a aplicação do nitrogênio de forma manual em dose única (T2) e o que não recebeu adubação nitrogenada (T1) foram os que obtiveram as menores médias para o peso de 100 grãos, sendo estatisticamente inferiores aos demais tratamentos. A diferença entre o maior e o

menor valor obtido é de 1,6 gramas para 100 sementes, o que representa 6,5% de aumento para esta variável.

Arf et al. (2004) avaliando diferentes doses de nitrogênio aplicado de forma tradicional em cobertura na cultura do feijoeiro obtiveram médias de 22,97 e 21,21 gramas para esta variável nos cultivos de 2001 e 2002, respectivamente, ao utilizarem a dose de 60 kg ha⁻¹, como no presente experimento. Os mesmos autores ao dobrarem a dose para 120 kg ha⁻¹ registraram médias de 23,31 e 21,40 gramas para os 100 grãos nas mesmas safras de 2001 e 2002, o que revela que no presente trabalho, mesmo a aplicação tradicional apresentando os menores valores para a massa de 100 grãos em relação aos demais tratamentos, ainda assim este foi maior que os valores obtidos por Arf et al. (2004) tanto para as doses de 60 kg ha⁻¹ quanto para 120 kg ha⁻¹. Esses resultados podem ter sido obtidos para esta variável pela ocorrência de precipitação nos períodos próximos a aplicação do nitrogênio em cobertura de forma tradicional, o que certamente contribuiu para que o nutriente entrasse na solução do solo, aumentando a eficiência de absorção da fonte nitrogenada pelas plantas.

É importante ressaltar que os resultados obtidos com estas variáveis são muito particulares à área específica em que foi implantado o experimento, o que pode trazer diferenças de valores para outros experimentos, dependendo das características do solo, variações climáticas, utilização de irrigação, época de cultivo, manejo de pragas e plantas daninhas, entre outros.

4.1.4 Rendimento de grãos

Os valores de rendimento de grãos apresentados na Tabela 13, mostram que a adubação nitrogenada proporcionou ganhos significativos em todos os tratamentos em que se utilizou este nutriente em cobertura, sendo o tratamento que não recebeu a aplicação (T1) o que apresentou a menor produtividade. Esse resultado concorda com diversos autores que relatam que a adubação nitrogenada proporciona incrementos na produtividade do feijoeiro como Cruciani et al. (1998); Binotti et al. (2009); Arf et al. (2004); Ambrosano et al. (1996) e Oliveira et al. (2004).

Tabela 13 – Rendimento médio de grãos da cultura do feijão, em kg ha⁻¹, relativos aos diferentes tratamentos propostos. Maringá, UEM, 2011.

Tratamento	Média (kg ha ⁻¹)	Scott-Knott
T5	3967,3	a
T4	3814,9	b
T2	3431,1	c
T3	3350,9	c
T1	2830,6	d

Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. **T1**- Sem adubação nitrogenada de cobertura; **T2** - Aplicação manual em dose única; **T3** – Aplicação por fertirrigação em dose única; **T4** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; **T5** – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

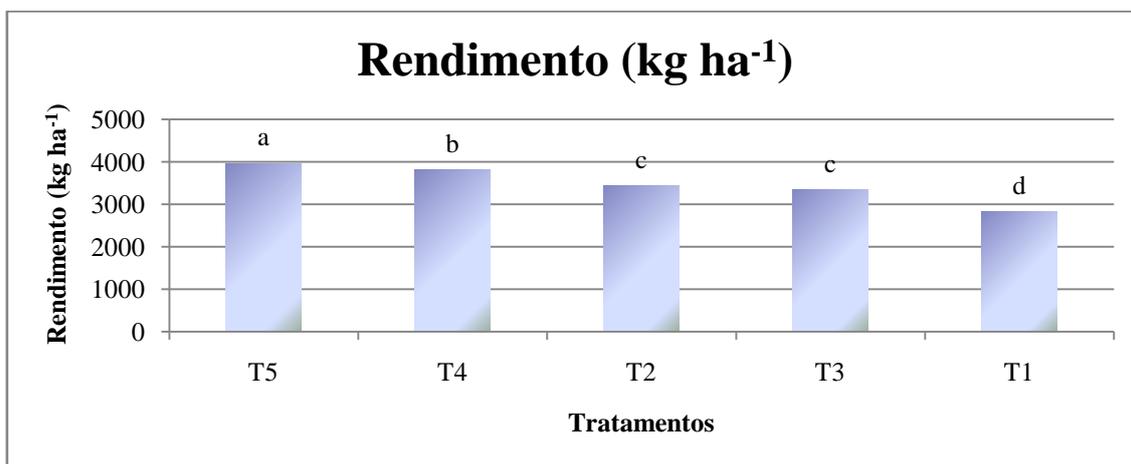
Os dois tratamentos em que se realizou a aplicação do nitrogênio em dose única, tanto para o fertirrigado (T3) quanto para o manual (T2) obtiveram resultados semelhantes, porém ainda superiores ao tratamento em que não se utilizou o fertilizante nitrogenado em cobertura (T1).

O parcelamento da aplicação deste macronutriente apresentou os melhores valores para o rendimento dos grãos de feijão em relação aos demais tratamentos, sendo que o parcelamento em 3 vezes durante o ciclo da cultura (T5) proporcionou os maiores valores, seguido da aplicação em que se parcelou a adubação nitrogenada em 2 vezes via fertirrigação (T4). O desempenho dos tratamentos pode ser observado na Figura 13.

O incremento na produtividade do T5 (Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes) que obteve o melhor rendimento, com relação ao T1 (Tratamento sem adubação nitrogenada de cobertura) que apresentou os menores valores, chegou a 40% de diferença, ou seja, quase 19 sacas de 60 kg de feijão produzidas a mais por hectare, um valor de grande importância para um país que tem como média nacional de produtividade 981 kg ha⁻¹ (CONAB, 2010). Um aspecto importante que vale ressaltar são os elevados rendimentos de grãos obtidos, o que demonstra o alto potencial produtivo da cultivar IPR Tangará, e sua capacidade de responder a adubação nitrogenada.

Em experimento realizado, Barbosa Filho et al. (2005) observaram respostas semelhantes aos obtidos no presente experimento, mostrando que o parcelamento de nitrogênio em cobertura em duas vezes, aos 15 e 30 DAE, e em 3 vezes, aos 15, 30 e 45 DAE das planta, apresentaram um rendimento de grãos significativamente maiores do que a aplicação em apenas uma vez, aos 30 DAE. Os rendimentos observados foram de 3848 kg ha⁻¹ para o parcelamento em três vezes e 3725 e 3535 kg ha⁻¹, para o

parcelamento em duas vezes e aplicação tradicional em dose única do nutriente, respectivamente. Os mesmos autores ainda descrevem que foi utilizada irrigação após a aplicação da uréia, para evitar perdas de NH_3 por volatilização do fertilizante, o que seria dispensável no caso da aplicação do nitrogênio junto da água de irrigação (fertirrigação), como realizado nas doses particionadas do presente trabalho.



Médias seguidas de letras iguais não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5%. T1- Sem adubação nitrogenada de cobertura; T2 - Aplicação manual em dose única; T3 – Aplicação por fertirrigação em dose única; T4 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 2 vezes; T5 – Aplicação por fertirrigação parcelada em 3 vezes.

Figura 13 – Rendimento médio de grãos obtido com os diferentes tratamentos utilizados na cultura do feijão (kg ha^{-1}).

A incorporação do nitrogênio ao solo por meio da fertirrigação, além de aumentar a disponibilidade do nutriente às plantas e conseqüentemente a sua capacidade de absorção, leva o fertilizante para a área abaixo da palhada deixada pelas culturas anteriores, ou das plantas daninhas dessecadas, isso evita que o nutriente seja imobilizado pela população microbiana, presente na palhada em decomposição, levando a uma menor disponibilidade de nitrogênio a cultura.

Binotti et al., (2009) descreveram que o parcelamento da adubação nitrogenada não proporcionou incrementos na produtividade de grãos do feijoeiro, porém revela que isso ocorreu pelo fato do experimento ter sido conduzido com fornecimento de água por sistema de irrigação por aspersão, o que minimizaria as possíveis perdas de nitrogênio. O que se pode notar é que quando o sistema de irrigação está disponível, o mesmo é acionado após a aplicação da adubação de cobertura, o que promove a solubilização do adubo químico, efeito semelhante se obtém quando aplicado por fertirrigação. Isso pode

justificar porque não houve diferenças significativas na produtividade obtida para o T2 e T3, em que se utilizou dose única convencional e fertirrigada, respectivamente, e que ocorreram precipitações nos dias próximos a aplicação convencional.

O custo de instalação do sistema de irrigação demanda um alto investimento inicial, que deve ser justificado pelo aumento na produção e rentabilidade da cultura, o que impõe a otimização do sistema de irrigação para que não se torne oneroso e se deprecie ao longo do tempo. Com os resultados positivos apresentados para a fertirrigação particionada, sua utilização se mostra vantajosa em relação aos demais tipos de aplicação, já que depois de instalado, o custo para se parcelar a aplicação em duas ou três vezes levaria em consideração apenas o custo de manutenção do sistema, sem levar em conta que caso haja a necessidade de irrigação, o fertilizante pode ser injetado do sistema, praticamente sem alterar os custos já praticados na lavoura irrigada.

Relacionando os valores de produtividade de grãos com a lâmina de água utilizada (precipitação + irrigação), é possível estabelecer um comparativo de eficiência de uso da água no campo (E.U.A.), verificando qual a quantidade de grãos produzidos por volume de água. Os dados referentes a E.U.A. são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 – Eficiência do uso da água no campo, expressa em quantidade de grãos produzidos (kg ha^{-1}) por lâmina de água recebida pela cultura do feijoeiro.

Tratamento	Produtividade (kg ha^{-1})	Lâmina utilizada (mm)	Lâmina utilizada ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$)	Eficiência (kg m^{-3})
T5	3967,3	544,8	5448	0,73
T4	3814,9	544,8	5448	0,70
T2	3431,1	544,8	5448	0,63
T3	3350,9	544,8	5448	0,62
T1	2830,6	544,8	5448	0,52

Considerou-se a eficiência do uso da água pela cultura (E.U.A.) como a razão entre o valor do rendimento (kg ha^{-1}) e a quantidade de água precipitada ao longo do ciclo do ciclo da cultura ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

Os valores de eficiência do uso de água no campo para o T1 está dentro dos valores citados por Doorenbos e Kassam (1979) para o feijoeiro, que estão na faixa entre 0,30 e 0,60 kg m^{-3} , o que mostra que os demais tratamentos, que receberam

adubação nitrogenada, apresentaram maior eficiência na conversão de água em grãos produzidos, obtendo valores entre 0,62 e 0,73 kg m⁻³ de água.

Os valores encontrados por Barros e Hanks (1993) se assemelham com os obtidos no presente experimento, variando entre 0,65 e 0,75 kg m⁻³. Já Calvache et al. (1997) obtiveram uma faixa maior variação, entre 0,46 e 0,92 kg m⁻³ com diferentes lâminas e dosagens de nitrogênio aplicados na cultura do feijão.

Os resultados apresentados na tabela 14 permitem afirmar que a aplicação de nitrogênio em cobertura promove melhor eficiência do uso de água na cultura do feijoeiro. O T5 que utilizou a fertirrigação particionada em três vezes foi o que obteve o melhor desempenho entre os tratamentos que receberam o fertilizante, com produtividade 40% maior quando comparada ao tratamento que não recebeu adubação de cobertura (T1).

5 CONCLUSÕES

No presente trabalho, para as condições estudadas e equipamentos utilizados, as análises e discussões apresentadas permitem as seguintes conclusões:

A uréia em cobertura proporciona importante incremento nos componentes de produtividade para a cultura do feijoeiro, se mostrando prática fundamental para se alcançar alta produtividade nas condições estudadas.

Para todas as variáveis analisadas neste trabalho (Número de vagens por planta, número de grãos por vagem, peso de 100 grãos e rendimento de grãos) os tratamentos com fertirrigação sempre estiveram entre os resultados significativamente superiores aos demais tratamentos, se mostrando como prática favorável ao desenvolvimento das variáveis avaliadas.

O rendimento máximo de grãos foi obtido com a aplicação do nitrogênio dividido em 3 vezes, o que faz deste parcelamento o mais indicado para melhores produtividades, obtendo rendimento de grãos 18% superior ao tratamento que também recebeu adubação nitrogenada na mesma quantidade, porém com menor frequência (T3).

A aplicação de nitrogênio em dose única não se mostrou eficiente para as variáveis analisadas, tanto para a aplicação tradicional quanto para a fertirrigada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme o trabalho realizado e de acordo com os resultados obtidos, vale ressaltar que o ciclo da cultivar Tangará utilizada no experimento, é de aproximadamente 87 dias de acordo com o IAPAR, porém foi observado que para que a cultura realizasse o ciclo completo, foram necessários 104 dias do plantio até a colheita, ou seja, aproximadamente 99 dias após a emergência das plantas. Desta forma, cabe em uma nova oportunidade a realização de novos experimentos com o intuito de identificar as possíveis relações da adubação nitrogenada por fertirrigação no prolongamento do ciclo da cultivar Tangará.

7 REFERÊNCIAS

ALFAIA, S. S. Destino de fertilizantes nitrogenados (15N) em um Latossolo Amarelo cultivado com feijão caupi (*Vigna unguiculata* L.). *Acta Amazonica*. Manaus. v.27, n.2. p. 65-72. 1997.

AMBROSANO, E. J.; WUTKE, E. B.; AMBROSANO, G. M. B.; BULISANI, E. A.; BORTOLETTO, N.; MARTINS, A. L. M.; PEREIRA, J. C. V. N. A.; SORDI, G. de. Efeito do nitrogênio no cultivo de feijão irrigado no inverno. *Sci. agric.* vol. 53 n. 2-3 Piracicaba May/Dec. 1996.

ANDRADE, M. J. B. Clima e solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A.(Ed.). *Feijão: aspectos gerais e cultura no estado de Minas Gerais*. Viçosa: UFV, 1998. 596p

ANDRADE, M. J. B. de; DINIZ, A. R.; CARVALHO, J. G. de; LIMA, S. F. Resposta da cultura do feijoeiro à aplicação foliar de molibdênio e às adubações nitrogenadas de plantio e cobertura. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.22, n.2, p.499-508, abr./jun. 1998.

ANTUNES, F. M.; COSTA, A. R. da.; REZENDE, R. Efeitos da adubação nitrogenada no número de grãos por espiga na cultura do milho, realizada via fertirrigação e de forma convencional em cobertura. V EPCC Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar. Maringá. 27 a 30 de outubro de 2009.

ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. *Cultura do feijoeiro comum no Brasil*. Piracicaba: Potafós, 1996. 786 p.

ARF, O.; RODRIGUES, R. A. F.; SÁ, M. E. de.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, v.39, n.2, p.131-138, fev. 2004

ARF, O.; FERNANDES, F. M. & JACOMINO, A.P. Comparação de fontes e doses de adubos nitrogenados na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado no sistema de plantio direto. In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 3., Vitória, 1990. Resumos. Vitória, EMBRAPA/CNPAF, 1990. p.225.

ARRUDA, F. B.; TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. Efeito da temperatura média diária do ar na produtividade do feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.15, n.4, p.413-417, abril, 1980.

BALARDIN, R. S.; COSTA, E. C. C. & RIBEIRO, N. D., eds. Feijão, recomendações técnicas para cultivo no Rio Grande do Sul. 2000. Santa Maria, Comissão Estadual de Pesquisa do Feijão – CEPEF, 2000. 80p.

BARBOSA FILHO, M. P. B.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. da.; Fontes doses e parcelamento da adubação nitrogenada em cobertura para feijoeiro comum irrigado. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 29, n. 1, p. 69-76, jan./fev. 2005.

BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. Agronomy Journal, v.85, p.692-697, 1993.

BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H. J.; OMETTO, J. C.; ANGELOCCI, L. R.; LIBARDI, P. L. Deficiência hídrica em feijoeiro. I. Análise de crescimento e fenologia. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.23, n.7, p.733-743, jul. 1988.

BERGAMASCHI, H.; VIEIRA, H. J.; LIBARDI, P. L.; OMETTO, J. C.; ANGELOCCI, L. R. Deficiência hídrica em feijoeiro. III. Evapotranspiração máxima e relação com a evapotranspiração calculada pelo método de Penman e com a evaporação do tanque "Classe A". Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 24, n. 4, p. 387-392, 1989.

BERLATO, M. A.; MOLION, L. C. B. Evaporação e evapotranspiração. Porto Alegre, n.7, 1981. 96p. (Boletim Técnico – IPAGRO).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 6 ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.

BINOTTI, F. F. S.; ARF, O.; ROMANINI JUNIOR, A.; FERNANDES, F. A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. Manejo do solo e da adubação nitrogenada na cultura de feijão de inverno e irrigado. *Bragantia*, Campinas, v.66, n.1, p.121-129, 2007.

BINOTTI, F. F. da S.; ARF, O.; SÁ, M. E. de; BUZETTI, S.; ALVAREZ, A. C. C.; KAMIMURA, K. M. Fontes, doses e modo de aplicação de nitrogênio em feijoeiro no sistema plantio direto. *Bragantia*, Campinas, v.68, n.2, p.473-481, 2009.

BINOTTI, F.F da S. Fontes, doses e parcelamento do nitrogênio em feijoeiro de inverno no sistema plantio direto. Dissertação de mestrado. Ilha Solteira. 2009.

BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; CHAMLET, J.; MESQUITA, M. SALVADOR, C. A. Profundidade efetiva de raízes e sua relação com a parte aérea da cultura do feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. Fortaleza - CE. v.4, nº. 3, p.172–183, 2010.

BUZETTI, S.; ROMEIRO, P. J. M.; ARF, O.; SÁ, M. E.; GUERREIRO NETO, G. Efeito da adubação nitrogenada em componentes da produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em diferentes densidades. *Cultura Agronômica*, v.1, p.11- 19, 1992.

CALVACHE, M.; REICHARDT, K.; SILVA, J. C. A.; PORTEZAN FILHO, O. Adubação nitrogenada no feijão sob estresse de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, Viçosa, 1995. Anais... Viçosa, SBCS, 1995. v. 2, p. 649-651.

CALVACHE, A. M.; REICHARDT, K. MALAVOLTA, E.; BACCHI, O. O. S. Efeito da deficiência hídrica e da adubação nitrogenada na produtividade e na eficiência do uso de água em uma cultura do feijão Scientia Agricola. v. 54 n. 3, 1997.

CANTARELLA, H.; (eds.) NOVAIS, R. F.; ALVAREZ, V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. Fertilidade do solo. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – SBCS. Viçosa. 2007. 1017p.

CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. Revista Ciência Rural, Santa Maria, v.25, n.1, p.183-188,1995.

CARVALHO, D.F.; PRUSKI, F.F.; CAIXETA, T.J. Desempenho econômico do cultivo do feijão em condições de irrigação adequada e deficiente. Revista Ceres, Viçosa, v. 45, n. 257, p.5-11, 1998.

CARVALHO, M. A. C.; ARF, O.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; SANTOS, N. C. B.; BASSAN, D. A. Z. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamentos e fontes de nitrogênio. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.25, p.617-624, 2001.

CASTELLANOS, J. Z. Princípios Básicos de Fertirrigacion. In: Seminário Internacional de Fertirrigacion, 1, 1998, Ecuador, Abstracts... Quito: Sociedade Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, 1998. p.65-80.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Berkley: University of California, 1942. 124 p.

COBUCCI, T.; STEFANO, J. G. di.; KLUTHCOUNSKI, J. Manejo de plantas daninhas na cultura do feijoeiro em plantio direto. Embrapa Arroz e Feijão. Circular técnica 35. Santo Antônio de Goiás - GO, 1999.

COELHO, F. C.; FREITAS, S. de P.; MONERAT, P. H.; DORNELLES. Efeitos sobre a cultura do feijão das adubações com nitrogênio e molibdênio e do manejo de plantas daninhas. Campo dos Goytacazes, RJ. Revista Ceres, 48 (278): 455-467, 2001.

COELHO, A. M. Fertirrigação. In: COSTA, E. F. da, VIEIRA, R. F., VIANA, P. A. Quimigação: Aplicação de produtos químicos e biológicos via água de irrigação. Brasília: EMBRAPA, 1994. p. 201-227.

CONAB. Safra 2010/2011 final. Disponível em http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_07_15_11_03_18_boletim_juho_-_2011..pdf. Acesso em 12/10/2011.

COSTA, E. F.; FRANÇA, G. E.; ALVES, V. M. Aplicação de fertilizantes via água de irrigação. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.12, n.39, p.63-8. 1986.

COSTA NETO, P. L. O. Estatística. São Paulo: Edgard Blucher, 1990, 10ª ed. São Paulo, 264p.

CRUCIANI, D. E.; MAIA, P. C. S.; PAZ, P. DA S.; FRIZZONE, J. A. Fertirrigação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) por sistema de irrigação por aspersão. Revista Brasileira Engenharia. Agrícola Ambiental, Campina Grande, v.2, p.63-67, 1998.

DAKER, A. A água na agricultura: irrigação e drenagem. 6.ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 1984, v.3, 543p.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Campina Grande: UFPB, 1994. (Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J; KASSAM, A. H. Yield response to water. (Irrigation and Drainage, peper 33), Rome, FAO; p. 193, 1979.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O.; FAO – Food and agriculture organization of the United States. Irrigation and drainage paper. Rome. 1977

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

DIAS, N. S. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade em solo cultivado com melão rendilhado sob ambiente protegido. 2004. 110p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

EMBRAPA. Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde. Brasília. Embrapa Informação tecnológica, 2003. 203p.

EMBRAPA – Origem e História do feijão. Disponível em:
<<http://www.cnpaf.embrapa.br/feijao/historia.htm>>. Acesso em 17 de maio de 2011.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPISO, 1999. 412p.

FAOSTAT, Base de dados. Disponível em <http://apps.fao.org>. Acesso em 27 de outubro de 2011. Publicada em 2005.

FARIA, R. T. de; FOLEGATTI, M. V.; OLIVEIRA, D. de. Crescimento e desenvolvimento do feijoeiro sob diferentes regimes térmicos e hídricos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10., 1997, Piracicaba. Anais... Piracicaba: Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1997. p. 659-661.

FERNANDES, F. A.; ARF, O.; BINOTTI, F. F. da S.; JUNIOR, A. R.; SÁ, M. E. de.; BUZETTI, S.; RODRIGUES, R. A. Molibdênio foliar e nitrogênio em feijoeiro cultivado no sistema plantio direto. Acta Scientiarum. Agronomy. Maringá, v.27, no. 1, p. 7-15, jan./March, 2005.

FERREIRA, C. M.; PELOSO M. D. D.; FARIA L.C. Feijão na economia nacional. Embrapa. Documento 135. Santo Antônio de Goiás, Agosto/2002.

FERREIRA, A. N.; ARF, O.; CARVALHO, M. A. C. de.; ARAÚJO, R. S.; SÁ, E. de.; BUZETTI, S. Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro. *Scientia Agricola*, v.57, n.3, p.507-512, jul./set. 2000

FORNAZIERE FILHO, O., VITTI, G. C., HORIZONTE, E. C. Influência da aplicação de micronutrientes e nitrogênio mineral sobre a fixação simbiótica do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS. 10, Piracicaba, São Paulo, 1992, Anais.... Piracicaba: SBCS, 1992. P. 428-429.

FRANCO. A. A. Nutrição nitrogenada na cultura do feijoeiro. *Informações Agronômicas*, n.70, p.4-5, dez. 1995.

FRANCO, M. C.; CASSINI, S. T. A.; OLIVEIRA, V. R.; VIEIRA, C. & TSAI, S. M. Nodulação em feijão dos conjuntos gênicos andino e meso-americano. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:1145-1150, 2002.

FREITAS, P. S. L. de.; REZENDE, R.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Viabilidade de inserção dos efeitos da uniformidade de irrigação em modelos de Crescimento de culturas. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, n.3, p.437-444, 2003.

FRIZZONE, J. A.; ZANINI, J. R.; PAES, L. A. D.; NASCIMENTO, V. M. do. Fertilização mineral. Ilha Solteira: UNESP, 1985. 31p. (Boletim Técnico, 2).

FRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. 1986. 133f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade do Estado de São Paulo, Piracicaba, 1986.

- FRIZZONE, J. A. Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53 p.
- FRIZZONE, J. A.; REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L. de.; Irrigação por aspersão. Maringá, Eduem, 2011. 271p.
- FUJIWARA, M.; KURACHI, S. A. H.; ARRUDA, F. B.; PIRES, R. C. M.; SAKAI, E. A Técnica de estudo de raízes pelo método do trado. Campinas, Instituto Agronômico, 10p., 1994 (Boletim 153).
- GALVEZ, G.E.; GALINDO, J.J.; ALVAREZ, G. Desfoliación artificial para estimar pérdidas por danos foliares en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Turrialba, Costa Rica, v.27, n.2, p.143-146, 1977.
- GILLEY, J. R.; MIELK, L. N.; WILHELM, W. W. Experimental center-pivot irrigation system for reduce energy crop production studies. Transactions of the ASAE, v.26, p.5, p.1375-1379, 1385. 1983.
- GOMES, A. A.; ARAÚJO, A. P.; ROSSIELO, R. O. P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira. vol.35 n°.10 Brasília Outubro, 2000.
- GOMES, H. P. Engenharia de irrigação. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1997.
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agronômicos. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.31, n.7, p.481-488, jul. 1996.
- HAAG, H. P.; MALAVOLTA, E. Absorção de nutrientes pela cultura do feijoeiro. Bragantia, Campinas, v.26, p.381-91. 1967.

HOHMANN, C. L.; CARVALHO, S. M. de.; Efeito da redução foliar sobre o rendimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, LINNAEUS, 1753). Soc. Entomol. Brasil, 12(1), 1983.

HEERMAN, D. F.; WALLENDER, W. W.; BOS, M. G.; SOLOMON, K. H. Management of farm irrigation systems. St. Joseph: ASAE, 1990, cap.6, p.125-146.

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, v.9, n.3, p.201-209, 1985.

HUNGRIA, M.; VARGAS, M. A. T. & ARAUJO, R. S. Fixação biológica de nitrogênio em feijoeiro. In: VARGAS, M. A. T. & HUNGRIA, M., eds. Biologia dos solos dos cerrados. Planaltina, Embrapa - CPAC, 1997. p.189-294.

HUNGRIA, M.; BARRADAS, C. A. & VALLSGROVE, R. M. Nitrogen fixation, assimilation and transport during the initial growth stage of *Phaseolus vulgaris* L. J. Exper. Bot., 42:839-844, 1991.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Disponível em http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1798&id_pagina=1, consulta realizada em 21/02/2011.

INFORZATO, R.; MIYASAKA, S. Sistema radicular do feijoeiro em dois tipos de solo do Estado de São Paulo. Bragantia, v.22, p.477-481, 1963.

JUNG, G. A.; Crop tolerance to suboptimal land conditions. Madison, American Society of Agronomy, 1978. 343p. (Special publication, 32)

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkle and trickle irrigation. New York, 1990. 652p.

KORNELIUS, E.; SOBRAL, L. F; GOMES, J. S.; RODRIGUES, E. M. Efeitos de doses e épocas de Aplicação de Nitrogênio na Produção de feijão In: CONGRESSO

BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 15, Campinas, 1975... Anais. Campinas, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1976. p.225-228.

LAROCHE, F. A; LUCAS, A. F; OLIVEIRA, A. A; BANDEIRA, E. V; SANTOS FILHO, D. C. Experimento de Fertilidade dos solos tabuleiros de: RESULTADOS dos Efeitos de calagem e adubação com uma Cultura do Feijão mulatinho, *Phaseolus vulgaris*. Recife, SUDENE, 1967. 16p. (Brasil, SUDENE, Agricultura, 7)

LEITE JÚNIOR, J. B. Fertirrigação por gotejamento e seu efeito na cultura do café em formação. Botucatu: UNESP, 2003. 108p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2003.

LOLLATO, M. A.; SEPULCRI, O.; DEMARCHI, M. Cadeia produtiva do feijão: diagnóstico e demandas atuais. Londrina: IAPAR, 2001. 48p.

LOUREIRO, B.T.; MACHADO, P.B.; DENÍCULI, W.; FERREIRA, P.A. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro-comum. Revista Ceres, Viçosa, v. 37, n. 211, p.215-226, 1990.

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

MAIA, P. C. S. Fertirrigação por sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba; ESALQ, 1989. 81 p. Dissertação (Mestrado) - ESAL, 1989.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo, Ed. Ceres, 1980. 252p.

MARIOT, E. J. Ecofisiologia do feijoeiro. In: O feijão no Paraná. Londrina: IAPAR, 1989. P.25-41. (Circular, 63)

MARTINEZ, E.; FLORES, E.; BROM, S.; ROMERO, D.; DAVILA, G. e PALACIOS, R. 1988. Rhizobium phaseoli - A molecular genetics view. Plant & Soil 108:179-184.

MASCARENHAS, H.A.A.; MIYASAKA, S.; IGUE, T.; VEIGA, A.A.; ALVES, S. Influência das formas de fertilizantes nitrogenados e suas épocas de aplicação na cultura do feijoeiro. Bragantia, v.25, n.9, p.151-153, 1960.

MATZENAUER, R.; MALUF, J. R. J.; BUENO, A.C. Relações entre a evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.7, n.2, p.173-178, 1999.

MERCANTE, F. M.; TEIXEIRA, M. G.; ABBOUD, A. C. S. & FRANCO, A. A. Avanços biotecnológicos na cultura do feijoeiro sob condições simbióticas. R. Univ. Rural: Sér. Ciênc. Vida, 21:127-146, 1999.

MEIRELLES, N. M.; LIBARDI, P. L.; REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em uma cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L). Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.4, p.83-8.1980.

MIRANDA, J. H. ; GONÇALVES, A. C. A.; CARVALHO, D. F. Água e solo. In: MIRANDA, J. H., PIRES, R. C. M. Irrigação. Piracicaba: FUNEP, v.1, p.1-62. 2001.

MIRANDA, L. N.; AZEVEDO, J. A.; MIRANDA, J. C. C.; GOMES, A. C. Produtividade do feijoeiro em resposta a adubação fosfatada e a regimes de irrigação em solos de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 35, n. 4, p.703-710, 2000.

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.

MONTAG, U.J.; Fertigation in israel. Ifa agricultural conference on managing plant nutrition 29 June - 2 July 1999, Barcelona, Spain. Disponível em:
<http://www.fertilizer.org/ifa/HomePage/LIBRARY/Publication_database.html/Nutrition-Practices-and-Foliar-Nutrition-in-Asia.html > Acesso em: 27/12/2011.

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

MOREIRA, J. A. A.; AZEVEDO, J. A.; STONE, L. F.; CAIXETA, T. J. Irrigação. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. Cultura do feijoeiro - fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p.317-340.

OLIVEIRA, E. L. de.; Sugestão de adubação e calagem para culturas de interesse econômico no Estado do Paraná. IAPAR. CIRCULAR N.º 128. Londrina. AGOSTO/2003.

OLIVEIRA, R. M. B.; OLIVEIRA, F. de A.; GUEDES, K. Fertilização nitrogenada e irrigação na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L) em casa de vegetação. Revista de biologia e ciências da terra. Volume 4- Número 2 - 2º Semestre 2004, Areia, Paraíba.

OLSON, R. A. Nitrogen use in dryland farming under semiarid conditions. In: HAUCK, R. D. (Ed.). Nitrogen in crop production. Madison: ASA/CSSA/SSSA, 1984. p.335-347.

PAZZETTI, G.A.; OLIVA, M.A.; LOPES, N.F. Aplicação da termometria ao infravermelho à irrigação do feijoeiro: (crescimento e produtividade). Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 28, n. 12, p.1371-1377, 1993.

PELEGRIN, R. de.; MERCANTE, F. M.; OTSUBO, I. M. N.; OTSUBO, A. A. Resposta da cultura do feijoeiro à adubação nitrogenada e a inoculação com rizóbio. Rev. Bras. Ciênc. Solo vol.33 nº.1 Viçosa Jan./Feb. 2009

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. Evapotranspiração. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PERES, J. R. R.; SUHET, A. R.; MENDES, I. C.; VARGAS, M. A. T. Efeito de inoculação com rizóbio e da adubação nitrogenada em sete cultivares de feijão em solo de Cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.18, n.3, p.415-520, 1994.

PERI, G.; HART, W. E.; NORUM, D. J. Optimal irrigation depths: a method of analysis. Journal of the irrigation and Drainage Division. ASCE, v.105, n.1R4, p.341-355, Dec.1979.

PERIN, E.; VIEIRA, J. A. N.; LOVATO, L. F.; MACHADO, M. L. da S.; BERTUOL, O. Referências modulares para a produção de feijão na região sudoeste do Paraná. Programa Paraná 12 meses. Londrina, 2005. 13p.

PIRES, R.C. de; ARRUDA, F.B.; FUJIWARA, M.; SAKAI, E.; BORTOLETTO, N. Profundidade do sistema radicular das culturas de feijão e trigo sob pivô central. Bragantia, Campinas, v.50, n.1, p.153- -162, 1991.

POZZEBON, E. J.; CARLESSO, R.; KELLING, C.; PESSOA A. C. dos S.; KONIG, O. Concentração de nitrogênio, fósforo e potássio na parte aérea do feijoeiro em resposta à irrigação, fertirrigação e micronutrientes. Ciência Rural, Santa Maria, v.26, n.2, p.191-196, 1996.

REZENDE, R.; FREITAS, P. S. L.; MANTOVANI, E. C.; FRIZZONE, J. A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. Acta Scientiarum. Agronomy, v. 26, n. 4, p. 503-511, 2004.

REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A. ; FRIZZONE, J. A. ; FREITAS, P. S. L. ; BERTONHA, A.; ANDRADE, C. A. de B. Uniformidade de aplicação de água, variáveis e índice de área foliar da cultivar de feijão Iapar 57. Acta Scientiarum (UEM), Maringá, v. 24, n. 5, p. 1569-1574, 2002.

ROSOLEM, C. A. Nutrição e adubação do feijoeiro. Piracicaba, Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, 1987. 93p. (Boletim Técnico, 8).

ROSOLEM, C. A.; MARUBAYASHI, O. M. Seja o doutor do seu feijoeiro. Piracicaba: POTAFOS, 1994. 4 p. (Informações Agronômicas, 68).

ROSOLEM, C. A. Calagem e adubação mineral. In: ARAUJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.) Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: POTAFOS, 1996. p.353-390.

SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; SILVA, O. F. & MELO, M. L. B. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. *Pesq. Agropec. Bras.*, 38:1265-1271, 2003.

SEAB - Secretaria da Agricultura e do Abastecimento. Feijão. Análise da conjuntura agropecuária safra 2010/11. Novembro de 2010. P. 5-6.

SILVA, M.I. et al. Efeito de níveis de aplicação de nitrogênio na produção de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência Rural*, Santa Maria, v.7, n.4, p.395-401, 1977.

SILVA, H. T. da. Análise da divergência genética do germoplasma de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) melhorado e tradicional (Crioulo) cultivado no Brasil, e das formas silvestres de origem Centro e Sul Americana. 1999. 111 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

SILVA, G. de M. e.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Manejo da adubação nitrogenada no feijoeiro irrigado sob plantio direto. Santo Antônio de Goiás, GO. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 32 (1): 1-5, 2002.

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação na temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura do feijão. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. v. 30, n. 3. p. 391-399. 2006.

- SILVA, A. O.; LIMA, E. A. & MENEZES, H. E. A. Rendimento de grãos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivado em diferentes densidades de plantio. Revista das Faculdades Integradas de Bebedouro, 3:1-5. (2007).
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. Irrigação. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Ed.). Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa, MG: UFV, 1998. p.181-220.
- SILVEIRA, P. M.; SILVA, O. F.; STONE, L. F. & SILVA, J. G. Efeito do preparo do solo, plantio direto e rotação de culturas sobre o rendimento e economicidade do feijoeiro irrigado. Pesq. Agropec. Bras., 36:257-263, 2001.
- SOLOMON, K.H. Yield related interpretations of irrigations uniformity and efficiency measures. Irrigation Science, v.5, n.3, p.161-172, July 1984.
- SOUZA, A. B.; ANDRADE, M. J. B.; VIEIRA, N. M. B & ALBUQUERQUE, A. Densidades de semeadura e níveis de NPK e calagem na produção do feijoeiro sob plantio convencional. Pesquisa Agropecuária Tropical, 38(2):39-43, 2008.
- SOUZA, E. D. Efeito de fontes, doses e épocas da adubação nitrogenada sobre os componentes de produção e a produtividade do feijoeiro irrigado em plantio direto. 2006. 26f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2006.
- SOUZA, F. F.; RAMALHO, A. R.; NUNES, A. M. L. Cultivo do feijão comum em Rondônia. Embrapa Rondônia. Sistemas de Produção. ISSN 1807-1805 Versão Eletrônica. Dez./2005.
- SOUZA, A. S.; FEITOSA FILHO, J. C.; CAVALVANTE, L. F.; PINTO, J. M.; CHAGAS, S. M. S.; ARAÚJO, H. C. Efeitos de doses de nitrogênio e potássio aplicadas via fertirrigação em feijão vagem (*Phaseolus vulgaris* L.). XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Salvador, 29 de julho a 02 de agosto de 2002

TEIXEIRA, I. R.; ANDRADE, M. J. B. de.; CARVALHO, J. G. de.; MORAIS, A. R. de. CORRÊA, J. B. D. Resposta do Feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Pérola) A diferentes densidades de semeadura e doses de nitrogênio. Ciênc. Agrotec., v.24, n.2, p.399-408, abr./jun.,2000.

TÉRAM, H.; SINGH, S. P. Comparison of sources and lines selected for drought resistance in common bean. Crop Science, Madison, v.42, n.1, p.64-70, 2002.

URBEN FILHO, G. et al. Doses e modos de aplicação do adubo nitrogenado na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Rev. Ceres, Viçosa, v. 27, n. 151, p.302-312, 1980.

VALÉRIO, C. R.; ANDRADE, M. J. B.; FERREIRA, D. F.; REZENDE, P. M. Resposta do feijoeiro comum a doses de nitrogênio no plantio e em cobertura. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.27, Edição Especial, p.1560-1568, 2003.

VIEIRA, C. Cultura do feijão. 2. Ed. Viçosa: Imprensa Universitária da UFV, 1983. P. 63 – 70: Nodulação radicular e fixação de nitrogênio.

VILLAS BOAS, R. L.; ANTUNES, C. L.; BOARETO, A. E.; SOUZA, V. F. de; DUENHAS, L. H. Perfil da pesquisa e emprego da fertirrigação no Brasil. In: FOLEGATTI, M. V.; CASARINI, E.; BLANCO, F. F.; BRASIL, R. P. C.; RESENDE, R. S. (Ed.). Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 2001. v.2, p.71-103.

WALKER, W. R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficiency model. Journal of irrigation and Drainage Division, ASCE, n.IR2, p.129-136, June 1979.

WANDER, A. E. Produção e consume de feijão no Brasil, 1975-2005. Informações Econômicas, SP, v.37, n.2, fev. 2007.

WHITE, J. W.; GONZÁLEZ, A. Characterization of the negative association between seed yield and seed size among genotypes of common bean. Field Crops Research, Amsterdam, v. 23, p. 159-175, 1990.

WHITE, J. W. Implications of carbon isotope discrimination studies for breeding common bean under water deficits. In: EHLRINGER, J. R.; HALL, A. E.; FARQUHAR, G. D.; SAUGIE, B. (Ed.). Stable isotopes and plant carbon-water relations. San Diego: Academic Press, 1993. p. 387-398.