

**RESPOSTAS DO FEIJOEIRO ÀS  
LÂMINAS DE ÁGUA E ADUBAÇÃO  
NITROGENADA**

**MIGUEL ANGEL TOLEDO GARRIDO**

1998



[Faint, illegible text, likely bleed-through from the reverse side of the page. The text appears to be organized in a list or table format.]

[Faint, illegible text at the bottom left of the page, possibly a footer or a separate section of text.]

43021

MFN3Q135

**MIGUEL ANGEL TOLEDO GARRIDO**

**RESPOSTAS DO FEJJOEIRO ÀS LÂMINAS DE ÁGUA E ADUBAÇÃO  
NITROGENADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Prof. Antônio Marciano da Silva

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

1998

Ficha Catalográfica preparada pela Seção de Classificação e Catalogação da  
Biblioteca Central da UFLA

Garrido, Miguel Angel Toledo

Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada /  
Miguel Angel Toledo Garrido. -- Lavras:UFLA, 1998.  
205p. : il.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Tese (Doutorado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Feijão. 2. Irrigação. 3. Adubação nitrogenada. I. Universidade  
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.65287

-635.652894

**MIGUEL ANGEL TOLEDO GARRIDO**

**RESPOSTAS DO FEIJOEIRO ÀS LÂMINAS DE ÁGUA E ADUBAÇÃO  
NITROGENADA**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Fitotecnia , para obtenção do título de “Doutor “ .

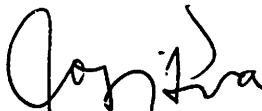
**APROVADA em 19 de fevereiro de 1998**

**Prof. Messias José Bastos de Andrade      UFLA**

**Prof. Manoel Alves de Faria                      UFLA**

**Prof. Elio Lemos da Silva                        UFLA**

**Dr. Francisco Nogueira                            EMBRAPA**



**Prof. Antônio Marciano da Silva**

**UFLA  
(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

*À minha esposa e aos meus  
filhos e filhas, pelo carinho,  
amor e compreensão.*

**DEDICO**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, sempre presente em minha vida, de quem tantas bênçãos tenho recebido.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida para a realização deste curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa de estudos.

Aos professores Dr. Antônio Marciano da Silva, Dr. Messias José de Bastos Andrade, pela confiança, amizade, orientação e sugestões.

Aos Departamentos de Agricultura, Engenharia, Biologia, Solos e Ciências Exatas, pelas facilidades no uso de equipamentos, instrumentos e aparelhos necessários para realização deste trabalho.

À engenheira agrícola MS. Fátima Conceição Resende, pela colaboração na coleta de dados biofísicos.

Ao engenheiro agrícola Miguel Angel Isaac Toledo del Pino, pela colaboração na coleta de dados no campo e laboratório e na elaboração de programa XPBasic para coletor de dados.

Meu mais profundo agradecimento aos colegas, professores e funcionários que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO .....	i
ABSTRACT .....	ii
1 INTRODUÇÃO .....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO .....	04
2.1 Micrometeorologia e estado hídrico interno das plantas .....	04
2.2 Crescimento e absorção iônica .....	08
2.3 Evapotranspiração do feijoeiro .....	12
2.4 Profundidade do sistema radicular do feijoeiro .....	15
2.5 O estresse hídrico no feijoeiro .....	15
2.6 Efeitos do nitrogênio sobre o feijoeiro .....	18
2.7 Efeitos das lâminas de água e adubação nitrogenada sobre o feijoeiro .....	20
2.8 Eficiência de uso de água .....	22
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	25
3.1. Caracterização da área experimental .....	25
3.2. Caracterização do solo .....	25
3.3. Experimentos .....	26
3.3.1 Experimento 1: estado hídrico interno do feijoeiro sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares .....	29
3.3.1.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	29
3.3.1.2 Determinação de parâmetros .....	29



3.3.2 Experimento 2: crescimento, absorção de nutrientes e produção de biomassa sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares .....	32
3.3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	32
3.3.2.2 Determinação de parâmetros .....	32
3.3.3 Experimento 3: evapotranspiração do feijoeiro sob a influência de cinco lâminas de irrigação e quatro cultivares .....	34
3.3.3.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	34
3.3.3.2 Parâmetros avaliados .....	36
3.3.4 Experimento 4: produção do feijoeiro e componentes sob a influência de quatro doses de nitrogênio, cinco lâminas de água e quatro cultivares .....	41
3.3.4.1 Delineamento experimental e tratamentos .....	41
3.3.4.2 Aplicação de lâminas de água .....	43
3.3.4.3 Características avaliadas .....	46
3.4 Condução da cultura .....	47
3.4.1 Preparo de solo e semeadura .....	47
3.4.2 Correção do solo e adubação .....	48
3.4.3 Controle de ervas daninhas, pragas e doenças .....	49
3.4.4 Manejo da irrigação .....	49
3.4.5 Colheita .....	51
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	52
4.1 Experimento 1: estado hídrico interno do feijoeiro sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares ...	52
4.1.1 Comportamento estacional do potencial hídrico foliar do feijoeiro .....	52
4.1.2 Comportamento do potencial hídrico ao longo do dia .....	55

4.1.3 Comportamento estacional da condutância estomática do feijoeiro .....	60
4.1.4 Comportamento da condutância estomática ao longo do dia .....	65
4.1.5 Condutância hidráulica total solo/folha .....	73
4.1.6 Correlação entre as variáveis de estado hídrico interno e ambientais ao longo do ciclo .....	75
4.1.7 Correlação entra as variáveis de estado hídrico interno e ambientais ao longo de um dia .....	79
4.2 Experimento 2: crescimento, absorção de nutrientes e produção de biomassa sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares .....	82
4.2.1 Taxa de crescimento do feijoeiro .....	82
4.2.2 Área foliar do feijoeiro .....	87
4.2.3 Acúmulo de matéria seca .....	90
4.2.4 Acúmulo de nutrientes pelo feijoeiro .....	91
4.3 Experimento 3: evapotranspiração do feijoeiro sob a influência de cinco lâminas de irrigação e quatro cultivares .....	93
4.3.1 Condutividade hidráulica não saturada .....	93
4.3.2 Drenagem na zona radicular .....	94
4.3.3 Evapotranspiração do feijoeiro .....	94
4.4 Experimento 4: produção do feijoeiro e componentes sob a influência de quatro doses de nitrogênio, cinco lâminas de água e quatro cultivares .....	118
4.4.1 Estádios fenológicos .....	118
4.4.2 Stand final .....	122
4.4.3 Rendimento de grãos .....	127
4.4.4 Número de grãos por vagem .....	133

4.4.5 Número de vagens por planta .....	137
4.4.6 Peso de 100 grãos .....	141
4.4.7 Eficiência de uso de água .....	145
5 CONCLUSÕES .....	151
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	153
ANEXOS .....	164

## RESUMO

GARRIDO, Miguel Angel Toledo. Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada. Lavras: UFLA, 1998. 205p. (Tese - Doutorado em Agronomia)\*

Para avaliar as respostas do feijoeiro ao efeito de diferentes lâminas de água, doses de nitrogênio e cultivares, experimentos foram conduzidos no campo experimental da UFLA, Lavras, Minas Gerais, sob delineamento de blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas com três repetições. Foram avaliados o estado hídrico interno do feijoeiro ao longo do ciclo da planta e de um dia, crescimento, área foliar, acúmulo de matéria seca, acúmulo de nutrientes, evapotranspiração, stand, rendimento e componentes e eficiência de uso de água. Os resultados obtidos permitiram verificar que durante o ciclo, sob alta demanda evaporativa, o nitrogênio só propiciou aumento do potencial hídrico foliar, não afetando a condutância estomática. A lâmina de água propiciou apenas o aumento da condutância estomática. As cultivares de feijoeiro afetaram o potencial hídrico foliar e a condutância. Sob condição de baixa demanda, o nitrogênio e as lâminas não afetaram o potencial hídrico foliar ou a condutância, e as cultivares afetaram apenas a condutância estomática. Na evolução ao longo de um dia, o nitrogênio, as lâminas de água e as cultivares afetaram a condutância estomática e o potencial hídrico foliar. Esses parâmetros mostraram alta correlação com o déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e temperatura foliar. A condutância hidráulica total solo-folha foi afetada pela dose de nitrogênio, lâmina de água e cultivares de feijoeiro. O nitrogênio propiciou o aumento da taxa de crescimento, stand final, rendimento e componentes e eficiência de uso de água. As lâminas de água afetaram a taxa de crescimento, área foliar, acúmulo de nutrientes e matéria seca e propiciaram o aumento da evapotranspiração, stand final, rendimento, número de grãos por vagem e número de vagens por planta e redução do peso de 100 grãos e da eficiência de uso de água. As cultivares afetaram a taxa de crescimento. A cultivar Ouro Negro foi a mais produtiva, com maior peso de grãos e maior produção por planta. A cultivar Roxo 90 foi a menos eficiente quanto à eficiência de uso de água.

---

\* Comitê Orientador: Antônio Marciano da Silva - UFLA (Orientador), Messias José Bastos de Andrade - UFLA

## ABSTRACT

### RESPONSES OF BEANS PLANTS TO WATER LEVEL AND NITROGEN FERTILIZATION<sup>1</sup>

With the objective of evaluating the responses of bean plants to different water levels, nitrogen fertilization and cultivars, a study was conducted at the UFLA Experimental Field located in Lavras, Minas Gerais, under randomized block design in the scheme of subdivided parcels with three replications. The internal water status of the bean plant along the plant cycle and of a day, growth, leaf area, dry matter accumulation, accumulation of nutrients, evapotranspiration, stand, yield, components and the water use efficiency were evaluated. The results obtained allowed to verify that during the cycle, under high evaporative demand, only nitrogen stimulated the increase in the leaf water potential without affecting the stomatic conductance. The water layer stimulated only the increase in the stomatic conductance. The bean cultivars affected both the plant water potential and the conductance. Under the condition of low demand, the nitrogen and water layers did not affect the leaf water potential or conductance and the cultivars affected only the stomatic conductance. In the evolution during a day, the nitrogen, water layers and cultivars affected the leaf water potential and stomatic conductance. These parameters showed high correlation with the lack of vapor pressure and air and leaf temperatures. The total soil-leaf hydraulic conductance was affected by the nitrogen level, water layers and cultivars of the bean plant. Nitrogen stimulated the increase in the growth rate, final stand, yield and components and the water use efficiency. The water layers affected the growth rate, leaf area, accumulation of nutrients and dry matter and stimulated the increase in evapotranspiration, final stand, yield, number of grains per pod and number of pods per plant, weight reduction of 100 grains and the water use efficiency. The *Ouro Negro* cultivar was more productive, with more weight per grain and higher production per plant. The *Roxo 90* cultivar was less efficient with respect to the water use efficiency.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Antônio Marciano da Silva - UFLA (Major Professor),  
Messias José Bastos de Andrade - UFLA

## 1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, apesar dos níveis de tecnologia existentes, não se observam ganhos substanciais na produtividade média brasileira de feijão que é um pouco mais de 600 kg/ha. Esse valor é muito baixo se comparado ao rendimento de 1800 kg/ha ou mais, que pode ser obtido com uso da irrigação tecnicamente conduzida.

As baixas produção e produtividade têm sido atribuídas ao uso de cultivares pouco produtivas, aos efeitos desfavoráveis do meio ambiente (principalmente baixa fertilidade do solo pela expansão da cultura para áreas marginais), às condições adversas de clima e à incidência de pragas e doenças.

No âmbito do clima, pelo fato da maior parte da produção de feijão corresponder ao plantio das águas, faz com que ela seja muito dependente da chuva, de distribuição muito irregular ou insuficiente, resultando em reduções importantes da produção e do rendimento. Isso é notório quando a insuficiência ocorre em períodos críticos para o desenvolvimento e produção da cultura.

Conseqüentemente, justificase o uso da irrigação como meio de garantir maior produtividade e maior estabilidade na produção de feijão. Todavia, irrigações mal conduzidas, com aplicação de água insuficiente ou em excesso, podem comprometer o desenvolvimento e a produtividade da cultura, haja vista que o feijoeiro é considerado sensível à falta ou ao excesso de água. Há necessidade, portanto, de maiores conhecimentos a respeito do requerimento hídrico do feijoeiro para adequar o manejo da água às suas necessidades, no intuito de propiciar condições ambientais mais favoráveis para otimizar a produtividade da cultura.

O microambiente determina as respostas do feijoeiro, sendo que, a médio ou longo prazo, muitos dos sintomas visuais de estresse hídrico são conseqüências de alterações nas respostas fisiológicas da planta, que podem ser detectáveis com antecedência. É importante, portanto, conhecer e monitorar essas respostas para viabilizar a aplicação de medidas corretivas em tempo oportuno.

Entre os fatores do solo, a fertilidade é particularmente importante, pois está diretamente relacionada à produtividade da cultura, principalmente ao suprimento de nitrogênio, elemento absorvido em maior proporção pelo feijoeiro. Devido à comprovada baixa eficiência do feijoeiro na obtenção de nitrogênio via fixação simbiótica atribuída, em parte, ao melhoramento genético prioritariamente voltado para a melhoria da eficiência da absorção de nitrogênio proveniente do solo e do fertilizante, há necessidade de se aplicar fertilizantes nitrogenados para suprir as necessidades da planta.

Pesquisas com o feijoeiro mostram que as cultivares podem responder de modo diferente à irrigação e adubação. Muitas vezes, contudo, o conhecimento da forma que as cultivares respondem a esses fatores é insuficiente, dificultando as recomendações de manejo da água e da adubação para a cultivar a ser utilizada.

Este trabalho foi planejado considerando-se a importância do manejo da água e da adubação nitrogenada sobre a produção do feijoeiro, bem como as respostas das cultivares a esses fatores. O objetivo foi avaliar a influência de diferentes lâminas de água, doses de nitrogênio e cultivares sobre o comportamento do estado hídrico interno do feijoeiro aliado a alguns fatores ambientais do solo e da atmosfera, diretamente relacionados com esse estado hídrico. Objetivou-se, também, avaliar a influência dos tratamentos sobre o crescimento, absorção iônica, fenologia, produção e componentes de produção, e sobre a eficiência de uso de água. Procurou-se, ainda, caracterizar a

evapotranspiração do feijoeiro sob a influência de diferentes lâminas de água e cultivares.



## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Micrometeorologia e estado hídrico interno das plantas

O estado hídrico interno das plantas, inclusive do feijoeiro, está muito relacionado aos processos fisiológicos de importância para o vegetal. Processos como transpiração, fotossíntese, respiração e crescimento são muito influenciados pelas mudanças ocorridas no estado hídrico das folhas (Slatyer, 1967; Hsiao, 1973; Zur, Boote e Jones, 1981). O estado hídrico interno é uma propriedade dinâmica da planta influenciada pelo balanço entre as perdas de vapor de água para a atmosfera por transpiração e a absorção de água pelas raízes (Slatyer, 1967).

O movimento da água através da planta, do solo até a atmosfera, ocorre devido às diferenças de potencial hídrico, resultado da perda de água pelas folhas no processo de transpiração. O ponto de menor potencial no sistema solo-planta ocorre nas folhas, que constituem, assim, um dreno para o fluxo do líquido (Slatyer, 1967).

Uma descrição do fluxo para a condição de absorção passiva de água, mecanismo predominante nas plantas, está representado pela equação seguinte (Jones, 1992):

$$q = (\Psi_p - \Psi_s) / R, \quad (1)$$

sendo  $q$ , a densidade de fluxo de água absorvida pela planta e que é igual à taxa transpiratória;  $\Psi_p$  e  $\Psi_s$  são os potenciais totais de água na planta e no solo, respectivamente; e  $R$ , a resistência total ao fluxo no sistema solo-planta.

A resistência total  $R$  corresponde à soma das resistências ao fluxo exercida pelo solo,  $R_s$ , e pela planta,  $R_p$ . Rescrevendo a equação (1), obtém-se:

$$q = (\Psi_p - \Psi_s) / (R_s + R_p) \quad (2)$$

Na maioria das vezes, a resistência do solo,  $R_s$ , é maior que a resistência da planta,  $R_p$ . A resistência do solo está relacionada basicamente à condutividade hidráulica do solo e à distribuição do sistema radicular (Rosemberg Blad e Verma, 1983), os quais são influenciados pela umidade do solo.

Qualquer fator que reduza o valor de  $\Psi_s$  propicia o desenvolvimento de estresse hídrico na planta. Assim, o deficit hídrico na planta é a manifestação da incapacidade do sistema solo-planta em satisfazer a demanda evaporativa imposta pelos fatores atmosféricos (Slatyer, 1967).

Kanemasu e Tanner (1969a) e Hsiao (1973) relatam que, assim que o potencial de água do solo,  $\Psi_s$ , permanecer acima de um valor crítico, que depende de cada espécie vegetal, o balanço hídrico interno da planta é afetado apenas pelas variáveis atmosféricas. Têm sido relatadas grandes variações no estado hídrico interno das plantas (Millar Gardner e Goltz, 1971a; Millar et al., 1971b; Zur Boote e Jones, 1981) e, em geral, esses estudos mostram grandes flutuações diárias, com reduções do potencial hídrico foliar ( $\Psi_f$ ) e da turgescência durante as horas da manhã, e posterior aumento após às 14 horas. Também têm-se desenvolvido estudos de flutuação sazonal do estado hídrico interno, como aquele realizado por Winkel e Rambal (1993) em videira. A redução do potencial

hídrico na parte da manhã é devida, provavelmente, a um desbalanço entre a transpiração e a absorção de água, conforme observou Slatyer (1967).

Na avaliação do estado hídrico interno das plantas, têm sido utilizadas diversas metodologias, entre as quais sobressaem-se a medida do teor relativo de água e do potencial hídrico foliar (Slatyer, 1967; Barrs, 1968; Hsiao, 1973; Lawn, 1982; Jones, 1992). Segundo Jones (1992), o teor relativo de água é de grande importância nos estudos dos efeitos metabólicos do estresse hídrico nas plantas. Já o potencial hídrico foliar é o parâmetro mais utilizado para avaliar o estado hídrico em estudos de movimento de água no sistema solo-planta-atmosfera.

Outras medidas do estado hídrico da planta, utilizadas para avaliar o grau de estresse hídrico, são a condutância estomática e a temperatura foliar (Millar, 1972; Berengena, 1987). Essa última baseia-se no princípio de que a transpiração provoca queda da temperatura foliar. Sob condição de estresse hídrico da planta, ocorre diminuição da condutância estomática e, portanto, da transpiração; como consequência, há um aumento da temperatura foliar.

Segundo Berengena (1987), o aumento da temperatura do ar, pelo seu efeito sobre a umidade relativa e sobre a pressão de vapor, contribui para o aumento do gradiente vertical da pressão de vapor. Segundo Rosemberg Blad e Verma (1983), quanto maior a temperatura, maior é a taxa de evaporação, desde superfícies vegetadas ou desde o solo. O aumento da temperatura influencia a transpiração e, portanto, o  $\Psi_f$ , pelo aumento do deficit de pressão de vapor entre o ar e a superfície evaporante. Também o ar quente e seco pode proporcionar energia para a superfície evaporante; assim, quanto mais quente está o ar, maior é o gradiente de temperatura e maior a taxa de evaporação. A temperatura também pode influenciar a evaporação através de sua influência na abertura estomática.

A manutenção da temperatura foliar igual ou ligeiramente inferior à temperatura do ar comprova a capacidade de refrigeração das diversas cultivares ou espécies, via transpiração, no intuito de manter a planta longe das faixas térmicas muito elevadas. Esse é um comportamento desejável e tem sido observado em várias espécies vegetais (Millar, 1972; Queiróz-Filho Millar e Alvim, 1975; Ludlow e Muchow, 1990).

As características morfológicas podem afetar a capacidade de refrigeração das mesmas, sendo que as de folhas maiores experimentam redução na eficiência da dissipação do calor e aumento da transpiração (Rosemberg Blad e Verma, 1983).

Tem sido sugerido que o comportamento da temperatura foliar em relação à temperatura do ar pode servir como indicador do estado hídrico da planta, o qual, devidamente calibrado, pode ser utilizado como indicador do momento de irrigar (Millar, 1972; Millar Rojas e Duarte, 1975; Berengena, 1987).

O comportamento da condutância estomática em relação ao potencial hídrico foliar tem-se mostrado contraditório e, em muitas ocasiões, a condutância não parece estar relacionada ao potencial hídrico. A desvinculação aparente entre condutância e potencial hídrico foliar já foi comentada por Jones (1992) e pode ser atribuída à influência de outros parâmetros ambientais como umidade do solo, umidade relativa e temperatura do ar, estas últimas determinantes no valor do deficit de pressão de vapor (Reichardt, 1990).

Winkel e Rambal (1993) observaram diferenças de comportamento entre o potencial hídrico foliar e a condutância, o que sugere, segundo eles, diferenças no comportamento da condutância hidráulica no sistema solo-planta. Também observaram que, em videira, com umidade do solo elevada, a condutância hidráulica apresentava poucas variações nos diversos tratamentos hídricos e que, no final da surto anual de crescimento, a condutância apresentava valores baixos

e semelhantes nos diversos tratamentos, o que foi atribuído às mudanças fisiológicas que acompanharam a senescência foliar. Em valores de potencial hídrico foliar maiores que -1,2 a -1,0 MPa, considerados como críticos em feijoeiro, tem sido observado comportamento discrepante da condutância estomática (Kanemasu e Tanner, 1969a; Hsiao, 1973; Jones, 1992).

Entre a condutância e o deficit de pressão de vapor, tem sido observada uma relação estreita em várias culturas (Schulze, 1986; Pereira-Neto Pinto e Rocha-Neto, 1991; Winkel e Rambal, 1993).

Quanto ao deficit de pressão de vapor, aparentemente constitui-se em um indicador sensível do potencial hídrico foliar, devido à sua influência direta no processo de evaporação (Millar et al, 1971b). Do ponto de vista da física da evaporação, o deficit de pressão de vapor está diretamente relacionado à evaporação de água, desde superfícies vegetais ou solo (Rosemberg Blad e Verma, 1983; Berengena, 1987).

Segundo Olitta (1977) e Bernardo (1989), a quantidade de água aplicada e o modo de aplicação propiciam mudanças na temperatura ambiente e na umidade relativa, os quais são determinantes para o valor do deficit de pressão de vapor. Segundo Santibañez (1987), as mudanças na temperatura ambiente e na umidade relativa têm relação com o balanço de energia e com a proporção de calor latente e de calor sensível existente num determinado intervalo de tempo, em função da água disponível para evaporação.

## **2.2 Crescimento e absorção iônica**

O crescimento, como outros processos fisiológicos importantes, é muito influenciado pelo estado hídrico interno da planta (Slatyer, 1967; Hsiao, 1973).

A transpiração das plantas, inclusive do feijoeiro, ocorre principalmente através dos estômatos das folhas e gera um gradiente de potencial hídrico dessas para as raízes. Esse gradiente é responsável pelo fluxo de água das raízes à superfície evaporante das folhas (Guimarães, 1988). O estado hídrico interno do feijoeiro depende do equilíbrio existente entre a transpiração e a absorção de água pelas raízes.

A absorção de  $\text{CO}_2$  ocorre através dos estômatos em forma simultânea ao processo transpiratório, o que faz com que a taxa transpiratória e a produção de biomassa vegetal sejam muito relacionadas entre si (Berengena, 1987).

Como o crescimento vegetal ocorre como consequência da alongação e divisão celular, a expansão celular ou alongação é altamente dependente do potencial hídrico foliar, em particular do componente de pressão ou turgescência (Jones, 1992; Berengena, 1987). O potencial hídrico foliar é constituído pelo potencial de pressão, potencial osmótico e potencial matricial, sendo que os mais importantes são os dois primeiros (Zur Boote e Jones, 1981).

Segundo Hsiao (1973), a redução do potencial hídrico foliar na faixa de zero até  $-1,2 \text{ MPa}$  ou  $-1,6 \text{ MPa}$ , é devida basicamente a uma redução do potencial de pressão. Esse autor relata, também, que em alguns estudos realizados observou-se redução da taxa de crescimento das folhas de milho, girassol e soja, quando ocorreu redução do potencial hídrico a valores próximos a  $-0,2 \text{ MPa}$ ; o crescimento foi impedido completamente quando o potencial hídrico reduziu-se para  $-0,4 \text{ MPa}$  em girassol,  $-0,7 \text{ MPa}$  em milho e  $-1,2 \text{ MPa}$  em soja.

Millar Gardner e Goltz (1971a) verificaram que, em cebola, a redução no crescimento relativo das folhas foi devido, basicamente, às reduções do potencial hídrico foliar, potencial de pressão e condutância estomática.

Taylor e Kepler (1974), citados por Power (1990), encontraram que a atividade e o crescimento radicular diminuíram rapidamente quando o potencial da água no solo atingiu ou ultrapassou  $-0,1$  MPa.

O aumento da taxa de crescimento, induzido por reguladores de crescimento, traz consigo maior demanda por nutrientes. Por outro lado, a síntese e a ação dos fitohormônios e reguladores de crescimento que influenciam a absorção, transporte e redistribuição de nutrientes nas plantas, são afetadas pela disponibilidade de água e nutrientes (Marschner, 1986; Baligar, Duncan e Fageria, 1990).

Power (1990), em um estudo conduzido com gramíneas para observar o efeito do estresse hídrico e nutricional por deficiência de nitrogênio, concluiu que, em muitos casos, os estresses na planta podem ser aditivos, ou seja, quando ambos os fatores são limitantes, há redução do crescimento da gramínea, mas há adição de um fator, sem a correspondente melhoria no outro fator, pode ser pouco vantajosa para a produção.

A taxa de crescimento vegetal também é afetada pelo excesso de água no solo, pela conseqüente redução da taxa de difusão de oxigênio, que afeta vários processos fisiológicos e metabólicos, provocando redução da condutância estomática, redução da fotossíntese e de todos os processos que dependem da utilização de fotossintatos, incluindo a absorção de nutrientes; provocando, também, redução da respiração radicular e queda da absorção de água (Baligar, Duncan e Fageria, 1990; Power, 1990).

O estresse hídrico, por excesso ou por deficit, não só afeta a disponibilidade de nutrientes no solo, mas também os processos fisiológicos dentro da planta, incluindo a absorção e translocação de nutrientes. Segundo O'Toole e Baldia (1982) e Yambao e O'Toole (1984), ocorre redução da absorção de nutrientes pelas plantas sob estresse hídrico, devido à redução da

transpiração. Hsiao (1973), analisando a absorção e o transporte de íons, concluiu que há pelo menos dois efeitos do estresse hídrico: o primeiro, propiciando redução da transpiração e, portanto, redução do transporte de íons pela redução do fluxo de água; e o segundo, agindo sobre o mecanismo de transporte ativo e sobre a permeabilidade da membrana celular.

Jordan (1983), citado por Power (1990), encontrou que sob deficit hídrico, a planta tem fechamento estomático e redução da fotossíntese afetando, portanto, a disponibilidade de energia para absorção de nutrientes e transformação desses. O comportamento dos estômatos sob estresse é complexo, devido à habilidade de algumas cultivares em ajustar o potencial osmótico das células-guardas.

Segundo Power (1990), o deficit hídrico reduz o fluxo de massa, a difusão e a interceptação radicular, pois age reduzindo o fluxo transpiratório, o volume da solução, e a mobilidade dos íons, o crescimento e a densidade radicular.

O deficit hídrico afeta, ainda, a disponibilidade de fósforo (Ruiz et al, 1988), reduzindo as taxas de fixação de nitrogênio, a amonificação, a nitrificação (pela redução da atividade dos microorganismos responsáveis por esse processo) e reduz também as taxas de mineralização de nitrogênio (Power, 1990).

Por outro lado, o excesso de água no solo provoca a redução da absorção de potássio e da nitrificação, aumento da desnitrificação e da lixiviação de nitratos desde o solo, e redução da absorção de nutrientes (Power, 1990).

Veen (1981) estimou que a respiração para absorção iônica e para processos de transporte representava aproximadamente 60% do total da respiração radicular. Assim, uma redução da aeração do solo por excesso de água aplicada provocará redução da absorção de nutrientes.



## 2.3 Evapotranspiração do feijoeiro

A evapotranspiração constitui um parâmetro importante, cujo conhecimento é básico para o manejo da irrigação, no intuito de restituir ao solo a água perdida pela cultura. Corresponde à soma da transpiração pela planta e a evaporação desde a superfície do solo, e é utilizado para descrever o processo total de transferência de água para a atmosfera desde superfícies vegetadas (Rosemberg Blad e Verma, 1983). Pavani (1985) salienta que a evapotranspiração é de grande importância para o planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação e no manejo de água em áreas irrigadas. A habilidade em estimar a evapotranspiração de forma precisa e, a partir dessa estimativa, determinar a quantidade de água disponível no solo, é de grande importância para estabelecer adequadamente o cronograma das irrigações. Irrigações deficientes e/ou frequências de irrigações mal estabelecidas resultam em rendimentos menores que o potencial atingível. Irrigação em excesso também é prejudicial, pois aumenta os custos de operação, podendo causar lixiviação de nutrientes e redução dos rendimentos (Rosemberg Blad e Verma, 1983).

Segundo Barros Ferraz (1972), os critérios para estimar a quantidade de água perdida com a evapotranspiração podem ser classificados em três grupos: no primeiro grupo encontram-se os métodos de medida direta, com destaque para os lisímetros; no segundo grupo, reúnem-se os métodos que empregam fórmulas teórico-empíricas, em função dos dados meteorológicos, e no terceiro grupo, encontram-se os métodos de medida indireta através da pesquisa de alguns parâmetros do solo, entre os quais, a medida da umidade do solo é muito utilizada.

Em relação à evapotranspiração, distinguem-se pelo menos três conceitos: evapotranspiração potencial (ETP), que depende exclusivamente das condições

atmosféricas, pois não tem restrições de umidade no solo; evapotranspiração atual ou real ( $E_{ta}$ ), que depende de fatores da planta, das condições meteorológicas e de fatores do solo, principalmente da disponibilidade de água, e evapotranspiração máxima ( $E_{tm}$ ), que depende do desenvolvimento e fisiologia da planta. A relação  $E_{ta}/ETP$  é uma expressão da disponibilidade de água em relação à demanda. A participação que a evaporação do solo tem na evapotranspiração decresce à medida que aumenta a cobertura vegetal sobre o solo. Assim, com maior índice de área foliar, a relação  $E_{ta}/ETP$  depende principalmente da umidade do solo e da capacidade do sistema radicular em extrair água disponível (Rosemberg Blad e Verma, 1983).

Ritchie, Burnett e Henderson (1972) e Ritchie e Jordan (1972) mostraram que a evapotranspiração em sorgo e algodão depende da umidade do solo após atingir o nível crítico de extração de água. Antes de atingir esse nível crítico, a razão fluxo de calor latente,  $LE$ , e radiação líquida,  $R_n$ , é próxima de 1. Depois de atingir o nível crítico, a razão  $LE/R_n$  cai rapidamente e a evapotranspiração praticamente cessa.

Em relação ao feijoeiro, a importância em conhecer os requerimentos de água dessa cultura fica demonstrada pela quantidade de trabalhos realizados, nos quais aplicaram-se diversas metodologias. O balanço hídrico, contudo, tem sido a metodologia mais utilizada.

Black, Gardner e Thurtell (1969) e Black, Gardner e Tanner (1970a), com uso de lisímetros, determinaram que o consumo de água pelo feijoeiro durante os primeiros 62 dias do ciclo foi de 170 mm, com uma evapotranspiração média de 2,74 mm/dia.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), o feijoeiro apresenta requerimentos hídricos de 300 a 500 mm de água.

Reichardt, Libardi e Santos (1974) realizaram um balanço hídrico em cultura de feijoeiro durante 48 dias, em Piracicaba, SP, e encontraram evapotranspiração média de 3,45 mm/dia e evapotranspiração máxima, durante a floração, de 5,3 mm/dia. Luchiari (1978), também em Piracicaba, SP, através de balanço hídrico, observou que a evapotranspiração média, do plantio à etapa de maturação dos frutos, foi de 3,06 mm/dia, enquanto na floração o valor foi de 3,4 mm/dia.

Garrido e Teixeira (1978a; 1978b), em Careaçú, Sul de Minas Gerais, obtiveram, pelo método do balanço hídrico, evapotranspirações médias para o feijoeiro de 3,34 e 4,17 mm/dia, respectivamente, em função das condições climáticas.

Em Piracicaba, SP, Azevedo (1984) realizou balanço hídrico em duas situações (lâmina de água de 417 mm e 30 Kg/ha de N ou 364 mm de água e 90 kg/ha de N), constatando consumos médios de água de 3,84 e 3,17 mm/dia, respectivamente, durante o período de estudo de 60 dias.

Trabalhando com um evapotranspirômetro, Encarnação (1979) encontrou valor médio de 4,37 mm/dia, também nas condições de Piracicaba, SP. Durante os períodos vegetativo, de floração, final de frutificação e maturação fisiológica, os valores de evapotranspiração encontrados foram de 3,8, 4,8, 4,2 e 3,8 mm/dia, respectivamente. A demanda total encontrada foi de 284 mm.

Silveira, Fonseca e Guimarães (1981a) e Steinmetz (1988) estudaram o consumo de água nas condições de Goiânia, GO. Os primeiros autores encontraram evapotranspiração média de 3,35 mm/dia e consumo total de 337,96 mm no ciclo, enquanto o segundo autor obteve evapotranspiração média de 4,5 mm/dia e um máximo, na floração, de 6,0 mm/dia.

Em geral, os resultados mostram que os maiores valores de evapotranspiração ocorrem na fase reprodutiva, ou seja, durante a floração e

frutificação do feijoeiro. São esses os valores que devem ser considerados para fins de planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação. No manejo de água nesta cultura, a lâmina de água aplicada é determinante na quantidade de água evapotranspirada e no nível de produção que pode ser obtido em função da evapotranspiração, quando outros fatores de produção não são limitantes.

#### **2.4 Profundidade do sistema radicular do feijoeiro**

A absorção de água pelo feijoeiro processa-se, em geral, na parte mais superficial do solo, devido ao fato do sistema radicular estar concentrado mais próximo da superfície. A esse respeito, vários autores realizaram estudos e observações do sistema radicular do feijoeiro que confirmam o anterior.

Reichardt Libardi e Santos (1974) constataram, após inspeção ao longo do ciclo do feijoeiro, que 90% das raízes estavam na camada de 0 a 30 cm de profundidade.

Silva (1983), em um estudo conduzido em condições de campo, em Lavras, MG, constatou que, durante o desenvolvimento pleno do feijoeiro, mais de 91% das raízes encontravam-se na camada superficial, isso é, até 40 cm de profundidade.

#### **2.5 O estresse hídrico no feijoeiro**

O feijoeiro é uma planta muito sensível ao estresse hídrico devido à sua baixa capacidade de recuperação após o déficit e ao seu sistema radicular pouco desenvolvido (Guimarães, 1988).

Segundo Guimarães (1988), a intensidade dos danos provocados pelo estresse depende da duração, intensidade, frequência e época de sua ocorrência. Na germinação, a falta de umidade provoca redução do estande. No período vegetativo, há redução da área foliar. Durante a floração, provoca aborto e queda de flores, com redução do número de vagens por planta. No enchimento de grãos, reduz o número de grãos ou peso das vagens.

Caracterizam-se, assim, vários períodos críticos durante o ciclo do feijoeiro, em função da disponibilidade de água. Vários trabalhos têm sido conduzidos para avaliarem o efeito do estresse em vários períodos do ciclo da cultura. Garrido, Purcino e Lima (1979), nas condições do Norte de Minas Gerais, verificaram que a deficiência de umidade no solo por ocasião da germinação, impediu a germinação e emergência das plantas. No mesmo trabalho, observaram que, em relação ao tratamento controle irrigado durante todo o ciclo, o deficit de umidade ocorrido no início e no final da floração, ou no início de formação e crescimento das vagens provocou, respectivamente, reduções de 16%, 42% e 58% na produção.

Robins e Domingo (1956) e Magalhães, Millar e Choudhury (1979) observaram que o efeito da deficiência hídrica foi mais crítico no período do início da floração à floração plena, quando provocaram as maiores reduções de produção, de 27% e 22%, respectivamente. Segundo Robins e Domingo (1956), as reduções de até 20% na produção ocorreram quando o estresse hídrico foi visível por 15 dias, ou seja, durante o período vegetativo e no final do período reprodutivo.

Magalhães e Millar (1978) quantificaram o efeito da duração do estresse hídrico durante o período reprodutivo sobre a produção do feijoeiro. Verificaram redução da produção de grãos de até 52% , com 20 dias de deficit em relação ao tratamento controle, irrigado a cada 3 dias. A redução da produção foi atribuída à

redução do potencial matricial da água do solo. Silveira et al (1981b), em um estudo de avaliação de resistência do feijoeiro à seca, observaram que houve redução da produção das cultivares com o aumento do número de dias de estresse hídrico, segundo uma relação linear.

Quanto ao estresse por excesso de umidade no solo, o feijoeiro é considerado sensível ao excesso de umidade no solo (Forsythe e Pinchinat, 1971; Silva, 1982). Silva (1982), trabalhando com várias frequências e tempos de inundação, constatou que períodos de inundação superiores a 2 dias tiveram efeito prejudicial significativo sobre a área foliar durante o período vegetativo do feijoeiro, e que a inundação na floração é muito prejudicial ao rendimento, sendo que o componente de rendimento mais afetado foi o número de vagens por planta.

Forsythe e Pinchinat (1971) concluíram que a inundação por 12 horas, a cada 7 dias, reduziu fortemente o rendimento do feijoeiro.

No manejo da cultura irrigada, o estresse hídrico manifesta-se também quando são utilizados turnos de rega inadequados, muito espaçados ou muito próximos, ou quando são aplicadas lâminas inadequadas, insuficientes ou excessivas. Nas situações de turno de rega muito espaçados e/ou lâminas de água insuficientes, ocorrerá deficiência hídrica. Por outro lado, quando são utilizados turnos de rega muito próximos e/ou lâminas de água em excesso, ocorrerá estresse por excesso de umidade.

Millar e Choudhury (1980), trabalhando num latossolo do projeto Bebedouro em Petrolina, PE, mostraram que são viáveis turnos de rega de 2 a 10 dias, dependendo do nível de produção desejado. O menor turno propiciaria rendimento potencial, todavia, a dificuldade operacional ou o resultado econômico possivelmente tornaria inviável a aplicação desse intervalo. Os autores mostraram também que há uma relação definida entre turno de rega e potencial matricial de manejo da cultura irrigada. Assim, intervalos maiores entre irrigações têm

implicações no potencial matricial da água no solo na profundidade radicular, o qual apresentará valores mais reduzidos.

Garrido e Teixeira (1978) propuseram, na condição de várzea sistematizada no Vale do Sapucaí, Sul de Minas Gerais, turnos de rega de 4 a 9 dias para o feijoeiro, resultando o maior intervalo em menor produção. Caixeta Purcino e Silva (1983) sugeriram irrigações do feijoeiro com turno de rega de 4 a 7 dias para os latossolos dos Cerrados.

Dessa forma, os resultados evidenciaram que, para alcançar boa produtividade no feijoeiro do ponto de vista de disponibilidade hídrica, são desejáveis baixas tensões de água no solo, as quais reduzem a intensidade do estresse hídrico.

## **2.6 Efeitos do nitrogênio sobre o feijoeiro**

O transporte de nutrientes desde a solução do solo até as raízes ocorre por dois mecanismos: fluxo de massa e difusão. Um terceiro mecanismo de aquisição de nutrientes é por interceptação radicular. O nitrogênio é absorvido basicamente por fluxo de massa, pois a água absorvida pelas raízes para atender a demanda transpiratória arrasta o nitrogênio para a superfície radicular da planta (Vale Guilherme e Guedes, 1993).

O nitrogênio é o elemento absorvido em maior quantidade pelo feijoeiro. A sua absorção, juntamente com a de outros nutrientes, seguem a curva de crescimento, ou mais precisamente a curva de produção de matéria seca. Assim, a produção de matéria seca depende do suprimento adequado desse nutriente (Moraes, 1988; Oliveira e Thung, 1988). Segundo Wilcox e Fageria (1976), a deficiência deste nutriente caracteriza-se pela redução geral do desenvolvimento

da planta e do sistema radicular, amarelecimento e desfolhamento precoce. Segundo Moraes (1988), o déficit hídrico restringe a absorção e translocação deste nutriente na planta.

Vários trabalhos têm sido conduzidos, visando a estabelecer os efeitos do nitrogênio sobre o feijoeiro. Meirelles Libardi e Reichardt (1980), trabalhando com a cultivar Rosinha em Piracicaba, SP, estudaram o efeito da adubação nitrogenada sobre a produção, absorção e lixiviação do nitrogênio. Observaram que o feijoeiro respondeu bem à adubação nitrogenada (2025 kg/ha com 100 kg/ha de nitrogênio, enquanto o tratamento sem adubo nitrogenado produziu 575 kg/ha, quase quatro vezes menos).

Os mesmos autores observaram que a absorção de nitrogênio foi crescente do 20<sup>o</sup> dia até o 60<sup>o</sup> dia após a germinação, estabilizando-se a partir daí. Concluíram que o aumento do nitrogênio total da planta nesse período foi resultado da exploração de maior volume do solo, devido ao desenvolvimento radicular. Até 50 dias após a germinação, houve bastante utilização do nitrogênio proveniente do adubo, mas depois desse período, a planta passou a absorver nitrogênio proveniente do solo. Também observaram que houve aumento da absorção de nitrogênio do solo com a aplicação de fertilizante nitrogenado, o que foi atribuído ao maior desenvolvimento radicular do feijoeiro. Concluíram, ainda que, no período de maior necessidade da planta e de maior eficiência no uso do fertilizante nitrogenado, o adubo deveria ser parcelado, colocando-se 1/3 da dose total no plantio, e os 2/3 restantes, dos 30 aos 45 dias após a germinação.

Silva (1988), estudando doses de nitrogênio e cultivares de feijoeiro em latossolo de Lavras, MG, encontrou que o íon amônio foi rapidamente convertido a nitrato e que a concentração deste no solo foi influenciada pela profundidade, cultivares e níveis de nitrogênio. Também constatou que as cultivares responderam diferentemente aos níveis de adubação nitrogenada: a cultivar



Carioca mostrou-se mais eficiente, porém menos responsiva na utilização do nitrogênio; o contrário ocorreu com a cultivar Rio Tibagi. A cultivar Eriparza, mais precoce, não respondeu à adubação nitrogenada. O autor concluiu que a recomendação de adubação nitrogenada para o feijoeiro deve levar em consideração a cultivar utilizada.

## **2.7 Efeitos de lâminas de água e adubação nitrogenada sobre o feijoeiro**

Na literatura são encontrados vários trabalhos que avaliam o efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubo nitrogenado sobre o feijoeiro.

Azevedo (1984) estudou em Piracicaba, SP, o efeito de seis lâminas de água (no intervalo de 320 mm a 431 mm) e quatro doses de nitrogênio (zero a 90 kg/ha), encontrando efeito significativo para ambos os fatores.

Frizzone (1986), trabalhando com a cultivar Carioca em Ilha Solteira, SP, estudou o efeito de seis lâminas de água no intervalo de 105 a 621 mm e seis doses de nitrogênio, de 0 até 150 kg/ha. Encontrou efeito altamente significativo das lâminas de água e doses de nitrogênio sobre a produção do feijoeiro. A resposta do rendimento em relação às lâminas de água foi quadrática, com máximo de 1871 kg/ha, correspondente a uma lâmina de 533 mm. A resposta ao nitrogênio também foi quadrática, com máximo de 1655 kg/ha na dose de 90 kg/ha. O efeito sobre os componentes do rendimento (número de grãos por vagem, número de vagens por planta e peso de 100 grãos) foi altamente significativo. A análise de regressão para os componentes mostrou que a resposta do feijoeiro foi de natureza também quadrática para ambos os fatores. O autor concluiu, ainda, que as variações dos componentes de produção sob a influência

das lâminas de água e doses de nitrogênio foram as responsáveis pelas variações no rendimento do feijoeiro.

Felipe (1991), em Lavras, MG, trabalhando com a cultivar Carioca, estudou o efeito de cinco lâminas totais de água, duas doses de nitrogênio e o parcelamento deste sobre a produção e componentes de produção do feijoeiro. As lâminas aplicadas estavam no intervalo de 169 a 283 mm e as doses de nitrogênio foram de 0 e 90 kg/ha. Foi encontrado efeito significativo das lâminas de água e do parcelamento do nitrogênio sobre a produção de sementes. A resposta do feijoeiro foi quadrática para as lâminas de água, com máximo suposto e estimado de 1436 kg/ha para uma lâmina (extrapolada) de 312 mm e observou acréscimo de rendimento de 229 kg/ha entre o tratamento com nitrogênio e o tratamento sem adubo nitrogenado. O número de grãos por vagem mostrou resposta quadrática ao efeito das lâminas de água e não foi afetado pelo nitrogênio. O número de vagens por planta foi linearmente afetado pelas lâminas de água e pelo parcelamento do nitrogênio. O peso de 100 grãos foi afetado significativamente pelas lâminas de água e pelo parcelamento do nitrogênio. A resposta da planta às lâminas foi diferenciada dentro das épocas de parcelamento.

Carvalho (1992), trabalhando com a cultivar Carioca em Sete Lagoas, MG, testou o efeito de quatro lâminas de água (no intervalo de 272 a 416 mm) e quatro formas de parcelamento do nitrogênio (de 10 kg/ha no plantio (P<sub>1</sub>) e 100 kg/ha (P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, e P<sub>4</sub>) distribuídos ao longo do ciclo do feijoeiro). Observou-se efeito significativo das lâminas e do nitrogênio sobre a produção de grãos. A análise de regressão mostrou resposta quadrática do feijoeiro às lâminas de água, com rendimento máximo estimado de 2112 kg/ha para uma lâmina de 360 mm para a forma de parcelamento P<sub>3</sub>. Em relação aos componentes de rendimento, houve efeito significativo das lâminas de água e das formas de parcelamento. A resposta do peso de 100 grãos foi quadrática para lâminas de água e também houve

resposta do número de vagens por plantas, quadrática em duas das formas de parcelamento e linear nas demais. Em relação ao número de grãos por vagens, a resposta do feijoeiro foi quadrática para lâminas de água dentro dos parcelamentos  $P_1$ ,  $P_2$ , e  $P_3$ , e linear para a forma de parcelamento  $P_4$ .

## 2.8. Eficiência de uso de água

Segundo Rosemberg, Blad e Verma (1983), a eficiência de uso de água tem-se constituído em um aspecto de muita importância na produção agrícola, devido à redução da água disponível em certas regiões do mundo, ao aumento dos custos de energia necessária para entregar a água onde é necessária, ao aumento da demanda por alimentos, rações, forragens e fibras, e ao aumento das pressões para expandir a produção para ambientes mais áridos.

A eficiência de uso de água (EUA) é definida como a razão entre fotossíntese e evapotranspiração, ou como a razão entre produção de biomassa e água consumida, ou como a razão entre produto econômico e água consumida (Jones, 1992; Ludlow e Muchow, 1990; Rosemberg, Blad e Verma, 1983).

Em nível da cultura, a EUA parece pouco sensível aos efeitos da seca, salinidade, fertilidade do solo, época de plantio e espaçamento (Rosemberg, Blad e Verma, 1983; Ludlow e Muchow, 1990).

Em nível da folha, existem vários mecanismos, tais como movimento da folha, aumento da reflectância foliar e do controle estomático (através do fechamento dos estômatos durante os períodos de maior demanda) que propiciariam aumentos da EUA. Isso, contudo, é limitado, devido ao fato de que o fechamento estomático provoca elevação da temperatura foliar, aumento da pressão de vapor na folha e aumento do gradiente de pressão de vapor entre a

folha e o ar. Paralelamente, pode aumentar a respiração de manutenção. Esses dois aspectos contribuem para a redução da eficiência, invalidando o aumento da EUA associada ao fechamento estomático (Ludlow e Muchow, 1990). Segundo esses autores, a aparente diferença em EUA entre cultivares de uma mesma espécie e entre espécies de leguminosas pode ser devida a diferenças na evaporação do solo e na composição química da matéria seca.

Wilson e Jamieson (1985), citados por Ludlow e Muchow (1990), verificaram que diferenças aparentes em EUA entre onze cultivares de trigo desapareciam, igualando-se ao comportamento das cultivares quando foram feitas correções para deficit de saturação do ar. Essa variável mostrou-se inversamente relacionada com a EUA.

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), o feijoeiro apresenta eficiência de uso de água de 0,3 a 0,6 kg por m<sup>3</sup> de água consumida para produção de grãos secos.

Felipe (1991), em estudo de lâminas de água e parcelamento do nitrogênio em feijoeiro em condições de campo, constatou que a eficiência de uso de água foi relacionada com a lâmina total de água aplicada, segundo uma relação funcional quadrática crescente, com EUA máximas estimadas de 0,410; 0,495; 0,584 e 0,586 Kg/m<sup>3</sup> para lâminas de água de 255,2; 258,2; 296,3 e 267,1 mm, respectivamente. O efeito do nitrogênio foi favorável até o nível N<sub>2</sub> de parcelamento, decrescendo em seguida.

Frizzone (1986), em estudo de lâminas de água e doses de nitrogênio em feijoeiro, verificou que a eficiência de uso de água decresceu com o aumento da lâmina de água aplicada, sendo que os menores valores ocorreram com as maiores lâminas.

Macedo Júnior (1993), em estudo de condições de casa de vegetação, avaliando o efeito de diferentes níveis de tensão matricial da água no solo sobre o

comportamento biofísico e agrônômico de plantas de feijoeiro, verificou que os maiores valores de eficiência de uso de água ocorreram nas tensões matriciais de -0,50 e -0,20 MPa para os genótipos Preto 60 dias e ESAL 688, respectivamente. Essas tensões foram intermediárias em relação aos outros tratamentos.

## **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### **3.1 Caracterização da área experimental**

O trabalho experimental foi conduzido na safra outono-inverno de 1994 no campo experimental da Universidade Federal de Lavras (UFLA), na área experimental do Departamento de Agricultura, no município de Lavras, MG, com coordenadas geográficas 21° 14' latitude Sul e 45°00' longitude Oeste e altitude de 910 m. O clima da região é caracterizado como sendo Cwb segundo Köeppen, temperado suave, mesotérmico, com verões brandos e invernos secos (Brasil, 1969). A temperatura e precipitação média anual são 19,3° C e 1400 mm, respectivamente (Vilela e Ramalho, 1979; Castro Neto e Silveira, 1981).

### **3.2 Caracterização do solo**

O solo da área experimental, conforme classificação de Freire (1979), é um latossolo roxo distrófico, o qual por ocasião da implantação deste trabalho, encontrava-se com resíduos de milho da cultura anterior. A caracterização física e química do solo foi realizada conforme metodologia padrão em uso pelo Departamento de Ciências do Solo da UFLA. As determinações da curva de retenção de umidade, granulometria e densidade de partículas foram realizadas em amostras deformadas para as camadas de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm. As

determinações de densidade global foram realizadas em amostras indeformadas, segundo a metodologia descrita por Blake (1965).

As características físicas do solo da área experimental encontram-se na Tabela 1. As curvas de retenção de umidade para as camadas de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm de profundidade, são apresentadas na Figura 01. Os limites superior e inferior de água disponível do solo foram obtidos da curva de retenção de umidade do solo para os potenciais matriciais de 0,006 MPa e 1,5 MPa, respectivamente.

A caracterização química do solo foi realizada em amostras coletadas na camada de 0 a 30 cm de profundidade. Os dados correspondendo ao pré-plantio e pós-colheita do feijoeiro podem ser observados na Tabela 2. Em relação ao pré-plantio, os dados de pós-colheita mostram um aumento da acidez em todos os tratamentos de adubação nitrogenada, bem como aumento dos teores de matéria orgânica, potássio, fósforo, alumínio e magnésio.

### **3.3 Experimentos**

O trabalho experimental foi conduzido através da execução de quatro experimentos relacionados a seguir.

TABELA 01. Características físicas de amostras do solo da área experimental.  
UFLA, Lavras - MG, 1994

Camada (cm)	Densidade global (g/cm <sup>3</sup> )	Densidade de partículas (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidade total *	Granulometria (%)			Classe textural
				Areia	Limo	Argila	
0 -30	1,22	2,86	57,3	24	16	60	Argila
30-60	1,22	2,78	56,1	22	12	66	Argila

(\*): Calculada

TABELA 02. Características químicas de amostras (0-30 cm) do solo da área experimental. UFLA, Lavras - MG, 1994

Característica	Pré-plantio	Pós-colheita			
		N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>
pH (em água)	5,6	4,8	4,2	4,4	4,5
K (mg/dm <sup>3</sup> )	56	81	61	56	67
P (mg/dm <sup>3</sup> )	15	18	16	21	21
Al (mmolc/dm <sup>3</sup> )	1	2	4	4	3
Ca (mmolc/dm <sup>3</sup> )	25	28	20	24	26
Mg (mmolc/dm <sup>3</sup> )	2	3	4	3	6
H+Al (mmolc/dm <sup>3</sup> )	36	63	63	70	63
M.O. (%)	2,7	3,3	3,3	3,7	3,5
V (%)	44	34	29	29	35



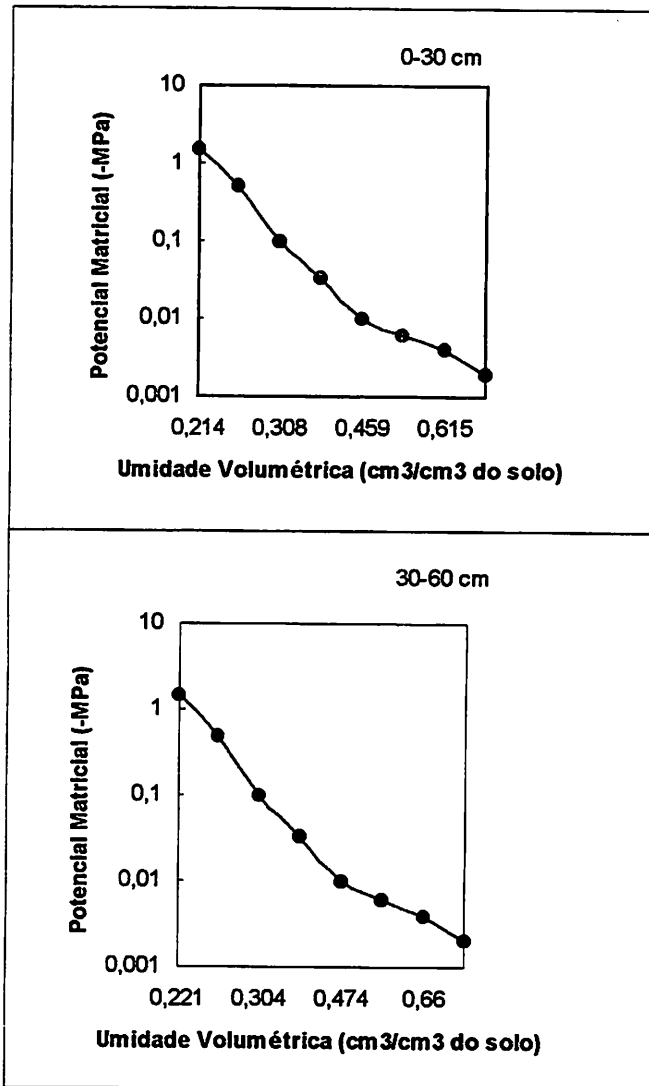


FIGURA 01. Características de retenção de água pelo solo da área experimental para 2 camadas (0 - 30 e 30 - 60 cm). UFLA, Lavras - MG, 1994

### **3.3.1 Experimento 1: estado hídrico interno do feijoeiro sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares**

#### **3.3.1.1 Delineamento experimental e tratamentos**

O trabalho foi conduzido sob delineamento experimental de blocos casualizados, com esquema de parcelas subdivididas e três repetições. Este delineamento foi escolhido devido à restrição à casualização imposta pelo sistema de aspersão em linha que restringiu a aplicação do esquema fatorial. Nas parcelas, os tratamentos foram constituídos por dois níveis de adubação nitrogenada:  $N_1$ , correspondendo à aplicação de 40 kg de N/ha (nível baixo) e  $N_3$ , correspondendo à aplicação de 120 kg de N/ha (nível elevado). Nas subparcelas, os tratamentos foram constituídos pelas lâminas de água  $W_1$  (lâmina deficitária),  $W_3$  (lâmina média) e  $W_5$  (lâmina em excesso), conforme Tabela 3. O tratamento  $W_3$  foi utilizado como controle para efeito de cálculo da lâmina de água a repor. Nas subsubparcelas foram estudadas quatro cultivares, Carioca-MG ( $C_1$ ), Ouro ( $C_2$ ), Roxo 90 ( $C_3$ ), e Ouro Negro ( $C_4$ ). A unidade experimental foi constituída por 4 fileiras de 2 m de comprimento.

#### **3.3.1.2 Determinação de parâmetros**

As amostragens para avaliação da umidade do solo foram realizadas nas subsubparcelas e as avaliações do estado hídrico interno do feijoeiro e dos fatores da atmosfera foram feitas em feijoeiros situados nas 2 linhas externas de cada

subsubparcela, durante 7 datas consecutivas ao longo do ciclo do feijoeiro, iniciando-se aos 31 dias após a emergência, em 24/09, 30/09, 03/10 (Período 1), 10/10, 19/10, 24/10 (Período 2) e 02/11/94, correspondendo a 31, 37, 40, 47, 56, 61 e 70 dias após a emergência, respectivamente. O comportamento estacional do estado hídrico interno e dos fatores ambientais foram avaliados desde 24/09/94 até 24/10/94. O comportamento ao longo do dia do estado hídrico interno e dos fatores ambientais foram avaliados em 02/11/94.

Todas as medidas realizadas na planta foram feitas em folhas desenvolvidas. O estado hídrico interno do feijoeiro foi avaliado em termos de potencial hídrico foliar ( $\psi_f$ ), e condutância estomática (COND). O potencial foi medido com bomba de pressão tipo Scholander (Soil Moisture Equipment Corp. - Sta. Barbara, CA, USA), segundo procedimento descrito na literatura (Scholander et al., 1965; Barrs, 1968; Jones, 1992). Para evitar a perda de água pelas folhas no processo prévio à determinação, essas foram envolvidas em papel alumínio e colocadas em caixa de isopor com gelo para transporte ao laboratório.

A temperatura foliar ( $T_f$ ), a condutância estomática (COND), a transpiração e os parâmetros ambientais: temperatura do ar ( $T_a$ ), radiação fotossintética ativa (RFA) e umidade relativa (UR), foram medidos com porômetro de difusão modelo LI-1600 M (LI-COR Inc., Nebraska, USA), equipado com sensores apropriados. A temperatura da cubeta foi considerada representativa da temperatura do ar. O déficit de pressão de vapor (DPV) foi calculado a partir dos dados de temperatura do ar e da umidade relativa (Reichardt, 1990). A velocidade do vento (V) foi estabelecida a partir de dados obtidos de um anemógrafo localizado na Estação Agrometeorológica de Lavras da rede oficial do MARA, a aproximadamente 300 m do experimento, a uma altura de 10 m. Os dados foram ajustados para a altura da cultura por meio de função logarítmica (Santibañez, 1987).

Durante o ciclo do feijoeiro, o potencial hídrico foliar foi avaliado no horário das 6 às 7 horas, seguindo recomendação de Jones (1992) e os parâmetros restantes, no horário das 12 às 13 horas. No estudo da evolução dos parâmetros ao longo do dia, realizado em 02/11/94, as determinações com porômetro de difusão foram realizadas às 6, 10, 12 e 16 horas. As avaliações de potencial hídrico foram realizadas às 6, 12 e 16 horas.

O potencial de água do solo ( $\psi_s$ ) foi determinado a partir de dados de umidade do solo, obtidos pelo método gravimétrico com 4 repetições, na camada de 0 a 30 cm de profundidade. De posse desses dados, junto com os dados de retenção de umidade do solo, determinaram-se os valores de potencial total.

A condutância hidráulica total solo-folha, foi avaliada com uso da equação (1) em que  $q$  é a densidade de fluxo de água absorvida pela planta ( $\text{mmol/m}^2.\text{s}$ ), que é igual à taxa transpiratória medida com porômetro de difusão;  $\Psi_p$  e  $\Psi_s$  são os potenciais de água na planta e no solo, respectivamente e  $R$ , a resistência total ao fluxo no sistema solo-planta. A condutância hidráulica  $C$  é o recíproco de  $R$ , ou seja,  $C=1/R$ .

Para satisfazer à condição de fluxo uniforme assumido pela equação (1), considerou-se o valor da transpiração e do potencial hídrico foliar obtidos ao meio-dia, quando é estabelecida uma condição de equilíbrio dinâmico entre absorção e transpiração, segundo metodologia proposta e testada por Winkel e Rambal (1993).

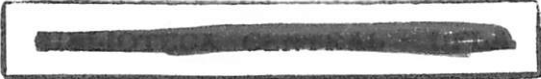
### **3.3.2 Experimento 2: crescimento, absorção de nutrientes e produção de biomassa sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares**

#### **3.3.2.1 Delineamento experimental e tratamentos**

Utilizou-se o delineamento de blocos casualizados, com esquema de parcelas subsubdivididas e três repetições. Os tratamentos das parcelas foram constituídos por dois níveis de adubação constituídos pela dose  $N_1$  de 40 Kg/ha de N (nível baixo) e pela dose  $N_3$  de 120 Kg/ha de N (nível alto). Nas subparcelas estavam as lâminas de água  $W_1$  (lâmina deficitária),  $W_3$  (lâmina média) e  $W_5$  (lâmina em excesso), que foram obtidas pela aplicação de lâminas diferenciadas via sistema de aspersão em linha, com frequência de irrigação de 7 dias (Tabela 3). O tratamento  $W_3$  foi utilizado como controle para cálculo de lâmina de água a aplicar. Nas subsubparcelas encontravam-se as cultivares de feijoeiro Carioca-MG ( $C_1$ ), Ouro ( $C_2$ ), Roxo 90 ( $C_3$ ), e Ouro Negro ( $C_4$ ).

#### **3.3.2.2. Determinação de parâmetros**

As avaliações de altura de plantas para estabelecer taxa de crescimento foram realizadas em 30 plantas por unidade experimental em 28/08/94, 09/10/94 e 23/10/94, medindo-se o comprimento da haste principal, conforme Silva (1981). Os dados observados foram armazenados em um coletor de dados XPTO modelo



CD-10 e, posteriormente, transferidos para o computador. A taxa de crescimento em cm/dia, correspondeu à diferença entre a altura final e inicial no período abrangido pelas datas, dividido pelo número de dias do período, segundo metodologia utilizada por Tanguilig et al (1987). Os períodos foram denominados de período 1 (28/08/94 - 09/10/94) e período 2 (09/10/94 - 23/10/94).

Em 16/10/94, aos 53 dias após a emergência do feijoeiro, que corresponderam, em média, ao início do enchimento de vagens, foi feito o corte da parte aérea de uma planta por unidade experimental, determinando-se, a área foliar, o índice de área foliar, a produção de biomassa e os teores de macronutrientes absorvidos pelo feijoeiro.

Para determinação da área foliar, utilizou-se um perfurador de discos de folhas, com 12 repetições por parcela, a fim de relacionar o peso seco da área conhecida do disco com o peso seco das folhas de cada planta, segundo Magalhães (1979). Para determinação do peso seco das plantas fez-se secagem do material em estufa com circulação de ar a 70<sup>o</sup> C, até atingir peso constante (Magalhães, 1979).

O índice de área foliar foi obtido pela razão entre a área foliar da planta e a área no terreno ocupada por esta planta, segundo Silva (1988).

Posteriormente, o material coletado, seco e moído, foi transportado para o laboratório de análise de tecidos vegetais do Departamento de Química da UFLA, para determinação dos teores de N, P, K, Ca, Mg e S. O nitrogênio foi analisado pelo método semi-micro-Kjeldahl. O restante dos nutrientes, após a obtenção do extrato pelo processo de digestão nitro-perclórica, foram analisados por colorimetria para fósforo; por fotometria de chama para potássio; por turbidimetria para enxofre e por espectrofotometria de absorção atômica para cálcio e magnésio, conforme procedimento padrão utilizado no Departamento de Química da UFLA.

### 3.3.3 Experimento 3: evapotranspiração do feijoeiro sob a influência de cinco lâminas de irrigação e quatro cultivares

#### 3.3.3.1 Delineamento experimental e tratamentos

O trabalho foi conduzido conforme metodologia descrita por Reichardt, Libardi e Santos (1974) e Reichardt (1985). Os tratamentos foram constituídos por cinco lâminas de água e quatro cultivares de feijoeiro. Para estimar a evapotranspiração foi utilizado o método do balanço hídrico.

O balanço hídrico de um solo com cultura, segundo Reichardt (1985), é dado pela expressão:

$$\int_{t_1}^{t_2} (p + i - d_s - q_e + q_z) dt = \int_0^z \int_{t_1}^{t_2} (\partial \theta / \partial t) dt dz \quad (3)$$

em que:

$t_2 - t_1$  é o intervalo de tempo considerado para o balanço (dias);  $p$  e  $i$ , correspondem aos fluxos de precipitação e irrigação, respectivamente;  $d_s$ , corresponde ao fluxo de escoamento superficial;  $q_e$ , corresponde ao fluxo de evapotranspiração; e  $q_z$ , corresponde ao fluxo na zona radicular. O valor de  $q_z$  sendo positivo, o fluxo é ascendente e sendo negativo, o fluxo é descendente (drenagem fora da zona radicular).

A expressão à direita da equação (3) corresponde à variação no armazenamento de água para uma determinada profundidade  $z$ , no intervalo de tempo  $t_2 - t_1$ . Da integração da equação anterior com respeito ao tempo e à profundidade, obtém-se a equação mais empregada em estudos de balanço hídrico (Reichardt et al, 1979; Reichardt, 1985):

$$P + I - ET - S \pm D = \Delta A_z \quad (4)$$

Nesta equação, cada termo representa quantidades de água em mm, sendo que  $P$  (precipitação pluviométrica) e  $I$  ( irrigação), são medidos com pluviômetros. O termo  $S$  (escoamento superficial) pode ser estimado ou pode ser considerado igual a zero, desde que haja justificativas. O termo  $\Delta A_z$  corresponde à variação no armazenamento de água no perfil do solo na profundidade de zero a  $Z$ , sendo estimado através da variação do teor de umidade do solo, medido pelo método gravimétrico (Gardner, 1965). O termo  $D$  ( drenagem ou fluxo ascendente) é a integral dos fluxos ocorridos num determinado período de tempo, os quais são obtidos através da equação de Darcy, dada pela expressão (Black, Gardner e Thurtell ,1969; Black, Gardner e Tanner, 1970; Gardner e Lambert, 1973; Reichardt, 1985; Libardi, 1995):

$$q = K_{(z)} \left( \frac{\partial \Psi}{\partial Z} \right) \quad (5)$$



em que:

$q$  é o fluxo de água na zona radicular ;  $K_{(e)}$  , a condutividade hidráulica não saturada, determinada previamente.  $\Psi$ , o potencial total da água do solo, correspondendo à soma do potencial matricial,  $\Psi_m$ , medido com tensiômetros, com o potencial gravitacional,  $\Psi_g$ .

Uma metodologia alternativa para avaliar o termo  $D$  é aquela proposta por Black Gardner e Thurtell (1969), a qual estabelece uma relação quantitativa definida entre drenagem na zona radicular ( $D$ ) e armazenamento de água no perfil do solo explorado pelo sistema radicular ( $A_z$ ). A expressão geral desta relação é:

$$D = r. \exp ( s.L ), \quad (6)$$

em que  $r$ , é o valor do intercepto  $s$ , o valor da declividade da reta obtida pela aplicação de logaritmos, e  $L$  é a lâmina de água armazenada na camada de solo considerada, conforme mostram Millar e Choudhury (1980).

O termo  $ET$  da equação 4 (evapotranspiração) é obtido por diferença, quando todos os outros termos são conhecidos.

### 3.3.3.2 Parâmetros avaliados

**Condutividade hidráulica não saturada do solo da área experimental:** Em área próxima à cultura irrigada foi delimitada uma parcela experimental de 5 x 5 m, no centro da qual foram instalados 4 tensiômetros, cada um dos quais

equipado com manômetro de mercúrio, nas profundidades de 15, 30, 45 e 60 cm. Foi aplicada água na parcela até saturação do perfil. Logo a seguir, a parcela foi coberta com filme plástico de cor preta e palha para prevenir a evaporação de água da superfície do solo. A partir daí, em intervalos de tempo preestabelecidos e por um período de 21 dias, foram feitas avaliações de umidade do solo pelo método gravimétrico (Gardner, 1965), com 4 repetições e leituras tensiométricas para o cálculo do potencial matricial e total. A condução do estudo para obter a condutividade e a análise dos dados seguiram a metodologia descrita por Hillel, Krentos e Stylianou (1972) e utilizada por Garrido e Silva (1989) para caracterizar um solo de várzea, em Careacú, Sul de Minas Gerais.

**Função de drenagem do solo:** A drenagem do solo foi estabelecida pelo uso da equação (6), com parâmetros obtidos para esse solo, em função do armazenamento de água na profundidade radicular, conforme metodologia proposta por Black Gardner e Thurtell (1969) e utilizada por Millar e Choudhury (1980) na caracterização de um latossolo em Petrolina, Pernambuco. O armazenamento de água foi calculado a partir dos dados de umidade do solo.

**Irrigação e precipitação pluvial:** As lâminas de água aplicadas nos diversos tratamentos, provenientes de irrigação ou chuva, foram medidas com pluviômetros instalados na área experimental.

**Armazenamento e variação do armazenamento de água no solo:** Na parcela correspondente à dose N<sub>3</sub> de nitrogênio (20 Kg/ha de N), procedeu-se ao estudo

do armazenamento de água no solo e da variação desse, para 5 lâminas de água e 4 cultivares. Foram instaladas baterias de 2 tensiômetros, nas profundidades de 40 e 60 cm, nas parcelas correspondentes às diversas lâminas de água para monitorar o potencial matricial da água no solo. Periodicamente foram realizadas leituras tensiométricas para estimativas do potencial matricial. Um dia antes e um dia após cada irrigação, foram coletadas amostras de solo nas camadas de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm de profundidade para determinação da umidade do solo pelo método gravimétrico.

De posse dos dados de umidade volumétrica, foram estabelecidos o armazenamento de água no solo (equação 7) e a variação no armazenamento (equação 8), conforme Reichardt (1985) e Libardi (1995):

$$A_z = \int_0^L \theta(z) dz \cong \bar{\theta} \cdot L \quad (7)$$

$$\Delta A_z = (\bar{\theta}_f - \bar{\theta}_i) \cdot L \quad (8)$$

em que  $A_z$  representa o armazenamento na camada 0-L cm,  $\Delta A_z$  é a variação de armazenamento na camada 0-L cm;  $\bar{\theta}$  é a umidade média do perfil 0-L cm,  $\bar{\theta}_f$  e  $\bar{\theta}_i$  são as umidades médias da camada 0-L cm, nos tempos  $t_f$  e  $t_i$ , respectivamente. O limite inferior,  $L$ , foi estabelecido em 50 cm de profundidade.

**Escoamento superficial:** O escoamento superficial foi analisado em função da capacidade de infiltração básica do solo e considerando as intensidades horárias de precipitação pluvial, obtidas de pluviogramas.

**Drenagem na zona radicular:** A componente de drenagem fora da zona radicular foi estimada em função do armazenamento de água no solo. Para tal, a partir dos dados de umidade, expressados como lâmina de água e de posse da relação funcional entre armazenamento de água e taxa de drenagem do solo, foi estimada a taxa de drenagem média ocorrida no intervalo de tempo em cada tratamento.

**Evapotranspiração do feijoeiro:** A evapotranspiração foi determinada pela equação 4, uma vez que eram conhecidos todos os outros componentes da equação do balanço hídrico.

**Coefficiente  $K_c$  para o feijoeiro:** De posse da informação de evapotranspiração do feijoeiro e dos dados de evaporação do tanque Classe A ( $E_v$ ), foram obtidos os valores de coeficiente da cultura,  $K_c$ . Portanto, foi adotado o procedimento detalhado a seguir (Berengena, 1987; Doorenbos e Kassam, 1994):

$$ET_0 = K_p \cdot E_v \quad (9)$$

em que  $ET_0$  é a evapotranspiração de referência,  $E_v$ , a evaporação do tanque Classe A e  $K_p$ , o coeficiente do tanque, cujo valor varia em função da umidade relativa, da velocidade do vento, do local onde está instalado o tanque, podendo ser vegetado ou não, sendo esse valor extraído de tabelas (Doorenbos e Kassam, 1994).

Segundo Bernardo (1989), a relação entre a evapotranspiração potencial de uma cultura (ETP) e a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é chamada de coeficiente da cultura ( $K_C$ ) e é dada pela expressão:

$$ETP = K_C \cdot ET_0 \quad (10)$$

Também, segundo o mesmo autor, a evapotranspiração real de uma cultura (ETa) está relacionada com a evapotranspiração potencial pelo coeficiente de umidade do solo ( $K_s$ ):

$$ETa = K_s \cdot ETP = K_s \cdot K_C \cdot ET_0 \quad (11)$$

$$K_s = \ln(Az + 1) / \ln(Az_t + 1) \quad (12)$$

$$ETa = K_s \cdot ETP = K_s \cdot K_C \cdot ET_0 \quad (11)$$

em que  $K_s$  é o coeficiente de umidade do solo,  $Az$  é o armazenamento atual de água do solo, determinado a partir de dados de umidade do solo e  $Az_t$  é o

armazenamento total de água do solo, correspondendo à lâmina entre capacidade de campo e ponto de murcha. Assim, conhecido os valores da evapotranspiração real, a qual é determinada pelo balanço hídrico, do coeficiente de umidade  $K_s$  e da evapotranspiração de referência, é possível obter o valor do coeficiente da cultura a partir da relação seguinte:

$$K_C = ET_a / (ET_0 \cdot K_s) \quad (13)$$

Esta relação foi aplicada à  $ET_a$  média das lâminas totais aplicadas, ao longo do ciclo do feijoeiro para estabelecer o valor de  $K_C$  em cada período de observação. Logo a seguir, foi estabelecida uma relação funcional entre  $K_C$  médio e o potencial matricial médio da água no solo, correspondente a cada lâmina de água aplicada.

### **3.3.4 Experimento 4: produção do feijoeiro e componentes sob a influência de quatro doses de nitrogênio, cinco lâminas de água e quatro cultivares**

#### **3.3.4.1 Delineamento experimental e tratamentos**

O delineamento experimental foi de blocos casualizados com esquema de parcelas subdivididas e três repetições. Na parcela foram colocados os níveis de nitrogênio, totalizando quatro níveis, sendo eles,  $N_0$  (0 Kg/ha de N),  $N_1$  (40

Kg/ha de N), N<sub>2</sub> ( 80 Kg/ha de N) e N<sub>3</sub> (120 Kg/ha de N). O maior nível foi estabelecido em função de resultados observados nesse e outros solos (Frizzone, 1986; Felipe, 1991).

Nas subparcelas foram testadas cinco lâminas totais de água sendo elas, W<sub>1</sub> (331 mm), W<sub>2</sub> (433 mm), W<sub>3</sub> (536 mm), W<sub>4</sub> (627 mm), e W<sub>5</sub> (701 mm), conforme Tabela 3. As lâminas estavam distribuídas espacialmente segundo o modelo de aspersão em linha (line source sprinkler system), o qual tem sido utilizado por vários pesquisadores para estudar os efeitos de lâminas de água e adubação, lâminas de água e cultivares, lâminas de água e salinidade (Hanks Keller e Bauder, 1974; Hanks et al, 1976; Silva et al, 1978; Hanks et al, 1980; Frizzone, 1986; Felipe, 1991).

O arranjo de aspersão em linha utilizado nos ensaios apresenta como grande vantagem a economia de área que promove pela não exigência de área buffer, além de permitir uma variação contínua da quantidade de água aplicada, indo desde o excesso até uma condição de não irrigado. Por outro lado, o sistema de aspersão em linha impõe restrições à casualização pois o arranjo é sistemático (Hanks et al, 1980). Este último aspecto, contudo, é contornável haja visto que estudos realizados por pesquisadores com uso da estatística não paramétrica revelaram que esta restrição não constitui uma limitação ao uso do delineamento experimental (Bauder et al, 1975; Faria, 1981; Frizzone, 1986; Felipe, 1991).

Nas subsubparcelas foram testadas quatro cultivares de feijoeiro sendo elas, Carioca-MG (C<sub>1</sub>), Ouro (C<sub>2</sub>), Roxo 90 (C<sub>3</sub>), e Ouro Negro (C<sub>4</sub>), recomendadas para o estado de Minas Gerais (Informativo, 1995).

A área da unidade experimental foi de 4 m<sup>2</sup>, com área útil, constituída pelas 2 fileiras centrais (de 2 m<sup>2</sup>).

### 3.3.4.2 Aplicação de lâminas de água

Devido à época de plantio, houve necessidade de irrigar as parcelas para proporcionar umidade para germinação e emergência. Aplicaram-se 77,7 mm em três irrigações com intervalo de 3 a 4 dias (Tabela 3).

As chuvas ocorridas durante o ciclo da cultura totalizaram 147,1 mm, e se concentraram no final do ciclo, ocorrendo a primeira delas durante a floração do feijoeiro e as seguintes, nas fases de enchimento de grãos e maturação.

O controle das lâminas de água diferenciadas iniciou-se em 01/09/94, aos 21 dias após a semeadura e aos 8 dias após a emergência do feijoeiro. As lâminas totais coletadas durante o ciclo da cultura, incluindo-se as chuvas, corresponderam a 330,9; 433,3; 536,4; 627,2 e 701,2 mm de água nos tratamentos  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ,  $W_4$ , e  $W_5$ , respectivamente (Figura 3).

As lâminas médias de água aplicadas nos tratamentos  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ ,  $W_4$ , e  $W_5$  durante as irrigações ao longo do ciclo do feijoeiro, corresponderam a 29,5%, 59,2%, 90,6%, 119,2% e 142,6%, respectivamente, das necessidades da cultura estabelecidas através do monitoramento da umidade do solo (Figura 4). As lâminas necessárias foram estabelecidas através de amostragens do solo para determinação de umidade. Observa-se que houve divergência em relação ao programado (100% das necessidades no tratamento  $W_3$ ), que pode ser atribuída a aspectos operacionais tais como vento, variação de pressão no sistema e, portanto, de vazão.



TABELA 03. Lâminas totais de água aplicadas em cada tratamento e frequência de irrigação durante a condução do experimento. UFLA, Lavras, MG- 1994

Frequência			Lâminas de irrigação (mm)						
DAS*	DAG**	Data	Pp. (mm)	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	Irr. (dias)
07	--	18/08	0	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	
11	--	22/08	0	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	04
14	01	25/08	0	31,7	31,7	31,7	31,7	31,7	03
21	08	01/09	0	11,8	22,5	32,3	40,5	47,3	07
28	15	08/09	0	8,4	15,3	21,2	26,2	31,8	07
35	22	15/09	0	2,4	9,7	25,4	46,0	64,0	07
42	29	22/09	0	13,6	23,5	31,3	36,5	40,4	07
49	36	29/09	0	18,6	37,0	53,9	66,1	75,5	07
56	43	06/10	41,0	21,8	37,4	48,3	56,2	63,0	07
63	50	13/10	0	16,9	30,1	41,2	50,0	57,1	07
70	57	20/10	12,2	7,8	21,4	39,2	56,2	68,7	07
77	64	27/10	28,3	4,8	11,6	18,8	24,7	28,6	07
78	71	03/11	51,5	0	0	0	0	0	
85	78	10/11	14,1	0	0	0	0	0	
<b>SOMA</b>			147,1	183,8	286,2	389,3	480,1	554,1	
<b>LÂMINA TOTAL (I+P)</b>				330,9	433,3	536,4	627,2	701,2	

(\*) : Dias após semeadura

(\*\*): Dias após emergência

Pp.: Precipitação no período

Irr.: Irrigação

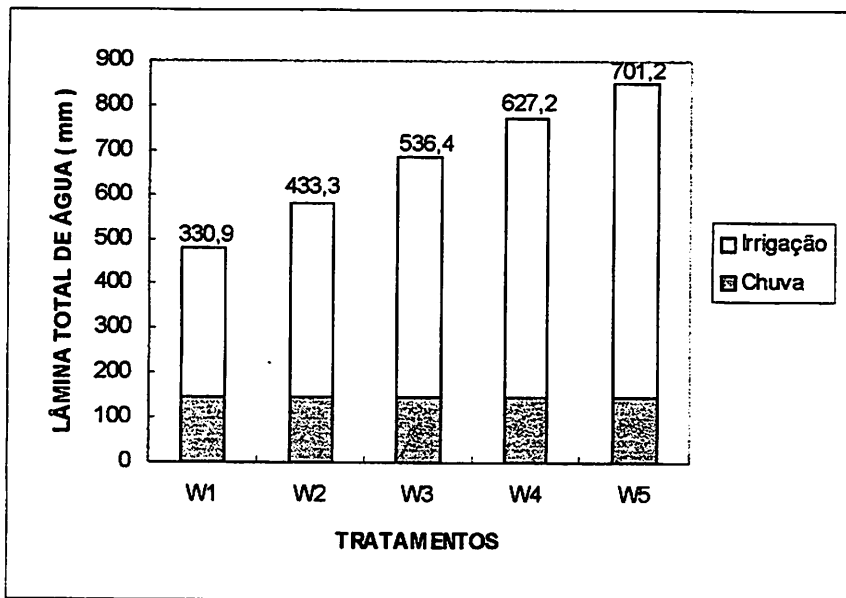


FIGURA 02. Lâminas totais de água aplicadas por tratamento durante o ciclo da cultura. UFLA, Lavras-MG, 1994

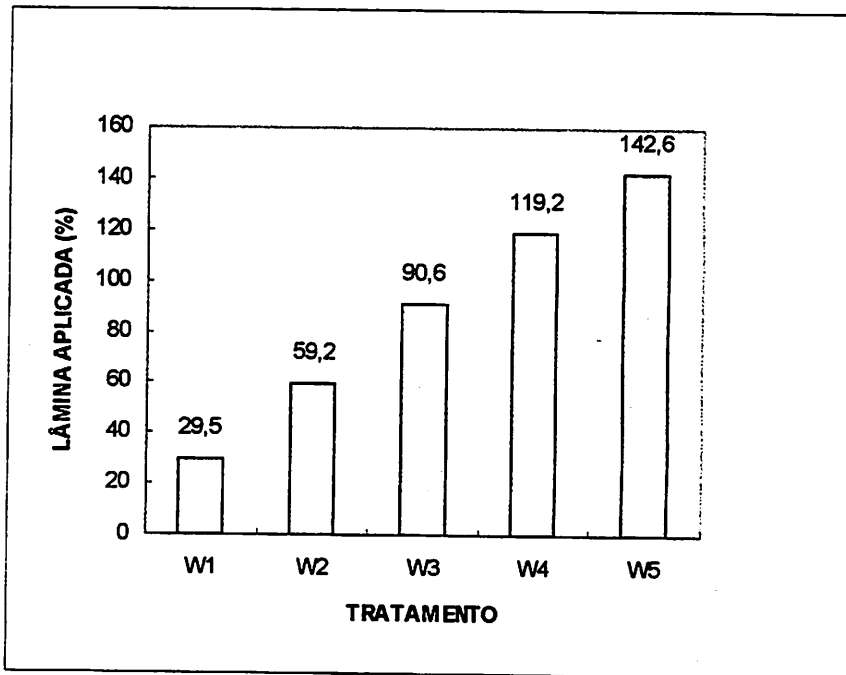


FIGURA 03. Perfil médio de aplicação do aspersor ZAD-30 3,8 x 3,8 mm em condições de campo, dado em porcentagem da lâmina de água necessária. UFLA, Lavras -MG, 1994

### 3.3.4.3 Características avaliadas

Durante o período experimental foram avaliadas as seguintes características:

- a) Fenologia incluindo emergência, início floração, início do enchimento de vagens e início da maturação, segundo os critérios indicados por Silva (1981) e Felipe (1991).

- b) Estande final, correspondendo à população de feijoeiros existente na área útil da subsubparcela e expressa como número de plantas por metro quadrado.
- c) Altura de plantas na colheita, correspondendo ao valor médio do comprimento da haste principal, que vai desde o colo até o ápice, sendo avaliado em 10 plantas tomadas ao acaso em cada subsubparcela.
- d) Número de vagens por planta, correspondendo ao valor médio de 10 plantas tomadas ao acaso em cada subsubparcela.
- e) Número de grãos por vagem, correspondendo ao valor médio de 30 vagens tomadas ao acaso em cada subsubparcela.
- f) Peso de grãos, correspondendo ao peso de 100 grãos, corrigido para 13% de umidade, conforme procedimento adotado por outros pesquisadores (Frizzone, 1986; Felipe, 1991).
- g) Rendimento de grãos, correspondendo à produção obtida por subsubparcela, corrigida para 13% de umidade, expresso em Kg/ha.
- h) Eficiência do uso de água, correspondendo à relação entre a produção e a água consumida. Foi utilizada a relação apresentada por Hillel (1972) e utilizada por Frizzone (1986) e Felipe (1991).

### **3.4 Condução da cultura**

#### **3.4.1 Preparo de solo e semeadura**

O preparo do solo foi iniciado em 22/07/94, quando foi feita uma aração com arado de discos. Posteriormente, em 25/07/94, foi realizada uma gradagem,

com grade niveladora. Antes da sementeira, em 10/08/94, foi feita mais uma gradagem com grade niveladora, para melhor destorroamento do solo e logo a seguir, o sulcamento com trator para o plantio. A sementeira foi realizada manualmente em 11/08/94. Para tal, foram utilizadas sementes das cultivares Carioca-MG, Ouro, Roxo 90, e Ouro Negro com teor de germinação, avaliado no Laboratório de Sementes da UFLA, igual ou superior a 98%. Foi utilizado o espaçamento de 50 cm entre fileiras, colocando-se 15 sementes por metro linear de sulco.

### 3.4.2 Correção do solo e adubação

Após avaliação da análise química do solo correspondente ao pré-plantio (Tabela 02), dispensou-se a calagem e no plantio foi realizada uma aplicação uniforme de adubos fosfatado e potássico, nas doses de 70 Kg/ha de  $P_2O_5$  e 45 Kg/ha de  $K_2O$ , respectivamente, seguindo as recomendações da Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1989). As fontes de fósforo e potássio foram o superfosfato simples e o cloreto de potássio, respectivamente.

Quanto ao adubo nitrogenado, na sementeira foi aplicado 1/3 da dose total de nitrogênio para os diversos níveis de adubação. A aplicação foi manual, no sulco de plantio, junto com os adubos fosfatado e potássico. Como fonte de nitrogênio foi utilizado o sulfato de amônio, com base nas observações feitas por Vitti, Malavolta e Coutinho (1984), os quais afirmam que o uso de fontes alternativas de nitrogênio tais como uréia, sulfato de amônio e nitrato de amônio, baseado nas recomendações de adubação, em condições normais de solo e de clima tendem, na maioria dos casos, a dar sempre resultados equivalentes.

A adubação nitrogenada de cobertura, correspondendo aos 2/3 da dose total, foi realizada também manualmente em 23/09/94, aos 30 dias da emergência do feijoeiro, seguindo a recomendação feita por Meirelles, Libardi e Reichardt (1980) e Oliveira e Thung (1988). Nesta oportunidade também foi utilizada a fonte sulfato de amônio.

### **3.4.3 Controle de ervas daninhas, pragas e doenças**

Na semeadura, junto com a adubação, foi aplicado o inseticida forate para controle das pragas iniciais da cultura. Durante o ciclo, foram feitas 4 aplicações de Madaldrin 400 PM e uma aplicação de isca Mirex para controle de saúvas.

As ervas daninhas foram controladas no início do ciclo do feijoeiro por meio de capina manual realizada em 09/09/94, aos 15 dias da emergência. Posteriormente, em 27/09/94, aos 34 dias da emergência, foi feito ainda um controle por meio de cultivador de tração animal.

Por se tratar de plantio de terceira época, normalmente com baixa incidência de doenças, não foi necessário o controle.

### **3.4.4 Manejo da irrigação**

As três primeiras irrigações por aspersão foram uniformes, aplicando-se a mesma lâmina de água em todos os tratamentos com intervalo de 3-4

dias. A finalidade destas irrigações foi garantir a germinação uniforme do feijoeiro. Aplicou-se, ao todo, 77,7 mm de água.

Os tratamentos de lâminas diferenciadas de água foram aplicados a partir de 01/09/94, 8 dias após a emergência, adotando-se um turno de rega de 7 dias. Utilizou-se o sistema de aspersão em linha descrito por Hanks, Keller e Bauder (1974). As irrigações, num total de nove, foram realizadas utilizando-se aspersores Asbrasil ZAD-30 com bocais de 3,8 x 3,8 mm espaçados de 6 m sobre a linha. A distribuição da precipitação destes aspersores em condições de campo, média de todas as aplicações, encontra-se na Figura 4.

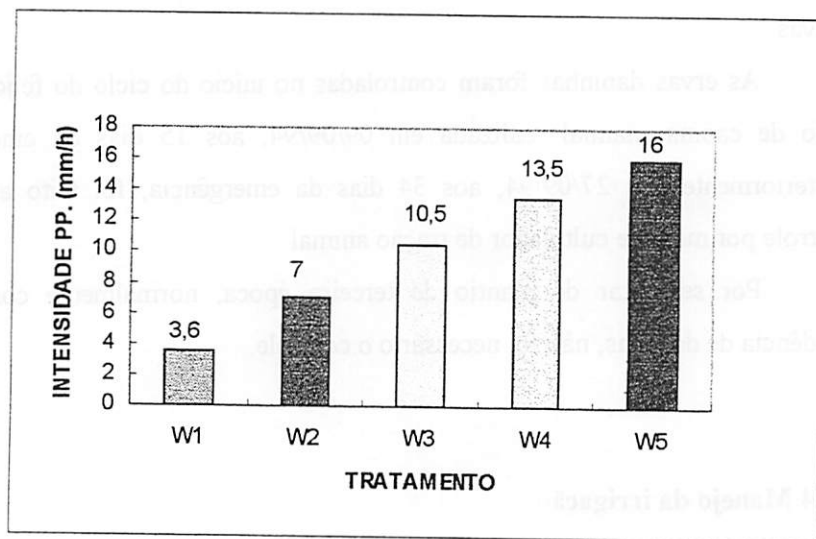


FIGURA 04. Intensidades médias de precipitação (mm/h) aplicadas pelo sistema de irrigação no campo nos diversos tratamentos durante o ciclo do feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Durante o período experimental ocorreram precipitações pluviais que totalizaram 147,1 mm, as quais foram consideradas para estabelecer a lâmina total aplicada por tratamento (Tabela 3). Tanto as lâminas de irrigação como as chuvas foram medidas em pluviômetros distribuídos uniformemente na área experimental, de modo a considerar todos os tratamentos de lâminas de água.

Para o cálculo da quantidade de água a ser aplicada em cada irrigação, foi feita avaliação da umidade do solo pelo uso do método gravimétrico (Gardner, 1965). Para tal, amostras de solo para determinação de umidade foram coletadas um dia antes da irrigação nas camadas de 0 a 30 cm e 30 a 60 cm. Os dados de umidade, junto com as constantes hídricas do solo (CC, densidade global), permitiram calcular a lâmina a ser aplicada para elevar a umidade do solo até capacidade de campo, na profundidade radicular. Quando ocorreu chuva após a amostragem de solo, antes da irrigação seguinte, a lâmina de água aplicada correspondeu à diferença entre a lâmina necessária e a precipitação pluvial.

### **3.4.5 Colheita**

Foi realizada manualmente nos dias 18/11/94 e 25/11/94, conforme a conveniência e observando a maturação das cultivares nos diversos tratamentos. Para tal, foram tomadas as 2 fileiras centrais de feijoeiro em cada subsubparcela. Posteriormente as plantas, uma vez secas, foram debulhadas e os grãos foram pesados para obter a produção por subsubparcela.



## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1 Experimento 1: estado hídrico interno do feijoeiro sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares**

#### **4.1.1 Comportamento estacional do potencial hídrico foliar do feijoeiro**

Conforme já foi mencionado, para maior facilidade de análise, o período de observação foi dividido em dois subperíodos. O primeiro incluiu as observações feitas em 24/09/94, 30/09/94 e 03/10/94, e o segundo, as observações feitas em 10/10/94, 19/10/94 e 24/10/94. Fenologicamente, o primeiro subperíodo abrangeu desde o final da fase vegetativa até o início da floração, e o segundo abrangeu desde a floração até o enchimento de vagens do feijoeiro. A análise envolveu o estudo do fator sob a influência dos tratamentos aplicados em uma data específica dentro de cada subperíodo, totalizando duas datas e a flutuação estacional média do fator.

Os valores médios de potencial hídrico foliar para duas datas estão apresentados na Tabela 4, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. Na Tabela 01A dos Anexos, encontra-se o resumo da análise de variância desta variável onde se observa o efeito significativo das doses de nitrogênio e das cultivares de feijoeiro no primeiro subperíodo.

Quanto ao nitrogênio, o efeito favorável deste sobre o potencial hídrico foliar no primeiro subperíodo, provavelmente foi devido ao efeito positivo do

nitrogênio sobre o crescimento e desenvolvimento da planta, particularmente sobre o sistema radicular (Wilcox e Fageria, 1976). Já em 19/10/94, no subperíodo 2, o comportamento do potencial hídrico foi similar para as doses de nitrogênio aplicadas.

Quanto às lâminas de água, observa-se que o potencial hídrico foliar foi similar para os diversos tratamentos aplicados, tanto no subperíodo 1 quanto no subperíodo 2 (Tabela 4). Esse equilíbrio no estado hídrico interno do feijoeiro, aparentemente foi conseguido pela regulação estomática, que determinou menores valores de condutância estomática e, portanto, menor transpiração, principalmente nos tratamentos que receberam menores lâminas de água, conforme poderá ser observado na Tabela 9.

Em relação às cultivares, observa-se que em 03/10/94, no subperíodo 1, a cultivar Carioca-MG foi a que mostrou potencial hídrico foliar mais reduzido. O maior potencial hídrico foliar foi observado na cultivar Ouro. As cultivares Roxo 90 e Ouro Negro mostraram-se intermediárias quanto a esse parâmetro. Em 19/10/94, no subperíodo 2, o comportamento das cultivares foi similar. O fato da cultivar Carioca-MG apresentar potencial hídrico foliar mais reduzido no subperíodo 1, pode ser devido a um sistema radicular menos desenvolvido, haja vista que os potenciais da água do solo mostraram-se similares. Isso poderá determinar maior resistência interna ao fluxo de água desta cultivar com respeito às outras, conforme analisaram alguns autores (Berengena, 1987; Ludlow e Muchow, 1990 ).

Em geral, o valor médio de potencial hídrico foliar obtido em 03/10/94, no subperíodo 1, foi 23,4% inferior àquele obtido em 19/10/94, no subperíodo 2 (Tabela 4), refletindo condições ambientais mais severas ocorridas no primeiro subperíodo.

A Figura 5 mostra o comportamento médio do potencial hídrico ao longo da estação de crescimento do feijoeiro. No subperíodo 1, o potencial hídrico foi mais reduzido, com grande flutuação nos valores, demonstrando a grande variação de estado hídrico interno do feijoeiro. No subperíodo 2, as flutuações foram menores, indicadoras de um melhor estado hídrico interno, e o potencial hídrico foliar foi mais elevado.

TABELA 04. Valores médios de potencial hídrico foliar para duas doses de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares de feijoeiro, obtidos em duas datas ao longo do ciclo da cultura. UFLA, Lavras-MG, 1994 <sup>(1)</sup>

Tratamento	Potencial hídrico foliar (MPa)	
	03/10/94	19/10/94
<b>Nitrogênio</b>		
N <sub>1</sub> - 40 kg/ha	0,655 A	0,432
N <sub>3</sub> - 120 kg/ha	0,430 B	0,525
<b>Lâmina de água</b>		
W <sub>1</sub> -Baixa	0,600	0,458
W <sub>3</sub> -Média	0,579	0,483
W <sub>5</sub> -Alta	0,592	0,494
<b>Cultivar</b>		
C <sub>1</sub> -Carioca MG	0,655 A	0,430
C <sub>2</sub> -Ouro	0,514 B	0,461
C <sub>3</sub> -Roxo 90	0,600 AB	0,489
C <sub>4</sub> -Ouro Negro	0,592 AB	0,533
<b>Média</b>	<b>0,590</b>	<b>0,478</b>

(1): Dentro de cada fator, letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

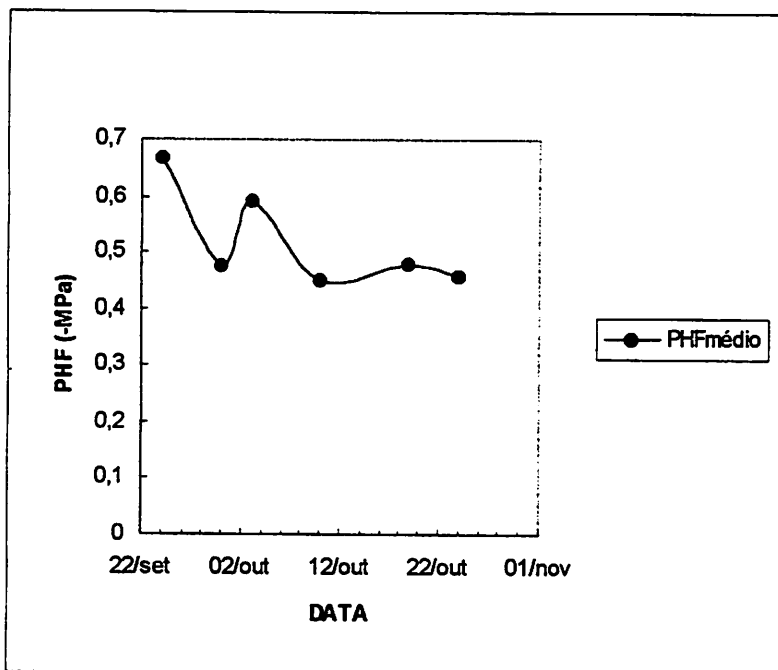


FIGURA 05. Comportamento do potencial hídrico foliar do feijoeiro ao longo do seu ciclo vegetativo (Valores médios). UFLA, Lavras-MG, 1994

#### 4.1.2 Comportamento do potencial hídrico foliar ao longo do dia

A análise da tendência diária deste fator foi realizada com base nas observações feitas em 02/11/94, aos 70 dias após a emergência do feijoeiro, que correspondeu ao final do período de enchimento de vagens.

Os valores médios de potencial hídrico foliar encontram-se nas Tabelas 5, 6, 7 e 8 e o resumo da análise de variância pode ser observado nas Tabelas 2A, 3A, 4A, 5A, 6A nos Anexos.

O potencial hídrico foliar nos dois níveis de N mostrou-se similar em todos os horários avaliados, não havendo efeito significativo das doses sobre este parâmetro (Tabelas 5 e 6).

Quanto às lâminas de água, o potencial hídrico foliar mostrou-se similar nos diversos tratamentos, coincidindo com o comportamento observado durante a estação de crescimento. No horário das 6 horas, entretanto, houve significância da interação  $N \times W$  (Tabela 2A dos Anexos) observando-se maior potencial hídrico foliar na dose  $N_3$  dentro da lâmina de água  $W_5$  (Tabela 5).

Quanto às cultivares de feijoeiro, o potencial hídrico foliar seguiu ao longo do dia a mesma tendência observada para as doses de nitrogênio e para as lâminas de água, não havendo efeito das cultivares sobre este parâmetro, exceto no horário das 12 horas, quando a interação tripla foi significativa, indicando que neste horário a análise detectou efeitos do N e das lâminas de água, os quais foram diferenciados em relação às cultivares utilizadas (Tabelas 8). Dentro da lâmina  $W_1$ , baixa, e para a cultivar Ouro Negro verificou-se efeito significativo na dose  $N_3$ , equivalente a 120 kg/ha de N, a qual apresentou maior potencial hídrico foliar (Tabela 8).

TABELA 05. Valores médios de potencial hídrico foliar (-MPa), no horário das 6 horas do dia 02/11/94, em função das doses de N e das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Nitrogênio	Lâminas			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
N <sub>1</sub>	0,612	0,583	0,712 A	0,636
N <sub>3</sub>	0,608	0,633	0,533 B	0,592
Médias	0,610	0,608	0,623	0,614

(1): Letras maiúsculas nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

TABELA 06. Valores médios de potencial hídrico foliar (-MPa) nos horários de 12 e 16 horas do dia 02/11/94 para duas doses de N e três lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994

Tratamentos	Potencial hídrico foliar (-MPa)	
	12 horas	16 horas
Nitrogênio		
N <sub>1</sub> - 40 kg/ha	1,287	0,793
N <sub>3</sub> -120 kg/ha	1,224	0,710
Lâminas de água		
W <sub>1</sub> -Baixa	1,298	0,796
W <sub>3</sub> -Média	1,265	0,712
W <sub>5</sub> -Excessiva	1,204	0,746
Média	1,255	0,751

TABELA 07. Valores médios de potencial hídrico foliar (-MPa) nos horários de 6 e 16 horas do dia 02/11/94 para quatro cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994

Cultivares	<u>Potencial hídrico foliar (-MPa)</u>	
	6:00	16:00
C <sub>1</sub> - Carioca MG	0,650	0,739
C <sub>2</sub> - Ouro	0,608	0,722
C <sub>3</sub> - Roxo 90	0,605	0,742
C <sub>4</sub> - Ouro Negro	0,592	0,803
Média	0,614	0,751

TABELA 08. Valores médios de potencial hídrico foliar (-MPa) no horário de 12 horas do dia 02/11/94, em função das doses de N, das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Tratamentos		Nitrogênio	
		N <sub>1</sub>	N <sub>3</sub>
<u>Lâminas</u>	<u>Cultivar</u>		
W <sub>1</sub>	C <sub>1</sub>	1,33	1,25
W <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	1,35	1,15
W <sub>5</sub>	C <sub>1</sub>	0,95	1,23
W <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	1,46	1,08
W <sub>3</sub>	C <sub>2</sub>	1,33	1,31
W <sub>5</sub>	C <sub>2</sub>	1,26	1,08
W <sub>1</sub>	C <sub>3</sub>	1,21	1,45
W <sub>3</sub>	C <sub>3</sub>	1,43	1,05
W <sub>5</sub>	C <sub>3</sub>	1,10	1,16
W <sub>1</sub>	C <sub>4</sub>	1,58A	1,00 B
W <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	1,35	1,13
W <sub>5</sub>	C <sub>4</sub>	1,28	1,55
Médias		1,28	1,22

(1): Letras maiúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

Aparentemente, a manutenção do estado hídrico da planta em condições semelhantes nos diversos tratamentos, manifestado pelo comportamento similar do potencial hídrico foliar, foi conseguido pela maior ou menor regulação estomática que ocorreu nos diversos tratamentos, manifestada pelo valor da condutância foliar.

Em geral, o potencial hídrico foliar mostrou decréscimo em seu valor inicial, em média, de -0,61 MPa, às 6 horas, para -1,25 MPa, às 12 horas. Na



parte da tarde, houve elevação do valor do potencial hídrico foliar, o qual atingiu, em média, -0,75 MPa. A redução do potencial hídrico na parte da manhã foi devida, provavelmente, a um desbalanço entre a transpiração e a absorção de água, conforme observou Slatyer (1967). A elevação na parte da tarde, possivelmente, foi devida a um melhor equilíbrio entre a transpiração e a absorção de água pelo feijoeiro.

Durante o dia, o valor mínimo observado de potencial hídrico foliar foi de -1,25 MPa. Esse valor está dentro da faixa encontrada em estudos de potencial hídrico foliar do feijoeiro (Kanemasu e Tanner, 1969a; Millar e Gardner, 1972; Macedo Jr, 1993).

#### **4.1.3 Comportamento estacional da condutância estomática do feijoeiro**

Os valores médios de condutância estomática em função das doses de nitrogênio, das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro são apresentados nas Tabelas 9, 10 e 11. Nas Tabelas 07A, 08A, 09A dos Anexos, encontram-se o resumo da análise de variância para este parâmetro.

Em relação ao nitrogênio, os resultados obtidos mostram que não houve efeito significativo deste sobre a condutância estomática, contrariando os dados de potencial hídrico foliar obtidos em 03/10/94, no subperíodo 1. Essa desvinculação aparente entre a condutância e o potencial hídrico foliar já foi analisada por Jones (1992) e pode ser atribuída à influência de outros parâmetros ambientais como umidade do solo, umidade relativa e temperatura, estas últimas determinantes do valor do déficit de pressão de vapor (Reichardt, 1990).

Quanto às lâminas de água, em 03/10/94, no subperíodo 1, a condutância foliar foi menor no tratamento  $W_1$ , que corresponde à menor lâmina. Esse resultado contraria aqueles obtidos para o potencial hídrico foliar e mostra que, para igual condição hídrica do feijoeiro, representada pelo potencial hídrico foliar, pode haver comportamento diferenciado da condutância e da transpiração, como resultado de diferenças na umidade do solo e no DPV nos diversos tratamentos. Essa diferença de comportamento entre o potencial hídrico foliar e a condutância tem sido observada por autores como Jones (1992) e Winkel e Rambal (1993), e sugere, segundo os dois últimos autores, diferenças no comportamento da condutância hidráulica no sistema solo-planta nos diversos tratamentos. Em 19/10/94, no subperíodo 2, a condutância estomática foi similar em todos os tratamentos. O comportamento da condutância observado em feijoeiro, dependendo mais das condições meteorológicas do que do potencial hídrico foliar, tem sido para valores de potencial maiores que o valor crítico, de -1,0 a -1,2 MPa (Kanemasu e Tanner, 1969a; Hsiao, 1973; Jones, 1992).

TABELA 09. Valores médios de condutância estomática para duas doses de nitrogênio e três lâminas de água, obtidos em duas datas ao longo do ciclo da cultura. UFLA, Lavras -MG, 1994

Tratamento	Condutância estomática (mmol/m <sup>2</sup> .s)	
	03/10/94	19/10/94
<b>Nitrogênio</b>		
N <sub>1</sub> - 40 kg/ha	35,6	127,5
N <sub>3</sub> -120 kg/ha	35,5	130,1
<b>Lâmina de água</b>		
W <sub>1</sub> -Baixa	22,0 B <sup>(1)</sup>	128,8
W <sub>3</sub> -Média	42,7 A	131,4
W <sub>5</sub> -Excessiva	42,1 A	126,1
<b>Média</b>	<b>35,6</b>	<b>128,8</b>

(1): Dentro de cada fator, letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

Em relação às cultivares, observaram-se diferenças no valor da condutância estomática entre as cultivares. Em 03/10/94, no subperíodo 1, o maior valor foi observado na cultivar Ouro, e o menor valor na cultivar Ouro Negro (Tabela 10). Em 19/10/94, no subperíodo 2, a maior condutância ocorreu nas cultivares Carioca-MG e Ouro Negro, e a menor condutância na cultivar Ouro. O comportamento da cultivar Carioca MG, contudo, foi afetado pelo nitrogênio (Tabela 11), mostrando maior valor de condutância na dose N<sub>3</sub>. Dentro da dose N<sub>3</sub>, a cultivar Carioca MG mostrou o maior valor de condutância estomática, e as cultivares Ouro e Roxo 90, os menores valores.

Em geral, a condutância foliar média em 03/10/94, no subperíodo 1 (Tabela 9), foi 3,6 vezes menor que a condutância do dia 19/10/94, no subperíodo 2, o que demonstra as condições ambientais mais severas a que esteve submetido o feijoeiro no primeiro subperíodo.

TABELA 10. Valores médios de condutância estomática ( $\text{mmol/m}^2 \cdot \text{s}$ ) durante o dia 03/10/94, no subperíodo 1, para quatro cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Cultivar	Condutância estomática ( $\text{mmol/m}^2 \cdot \text{s}$ )
C <sub>1</sub> - Carioca MG	34,9 AB
C <sub>2</sub> - Ouro	39,9 A
C <sub>3</sub> - Roxo 90	35,8 AB
C <sub>4</sub> - Ouro Negro	31,8 B
Médias	35,6

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

TABELA 11. Valores médios de condutância estomática ( $\text{mmol/m}^2.\text{s}$ ) durante o dia 19/10/94, no subperíodo 2, em função das doses de nitrogênio e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994

Nitrogênio	Cultivares				Médias
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
N <sub>1</sub>	126,4 B <sup>(1)</sup>	121,1	126,0	136,3	127,5
N <sub>3</sub>	153,5 Aa <sup>(2)</sup>	110,1 b	122,3 b	134,4 ab	130,1
Médias	140,0 A	115,7 B	124,2 AB	135,4 A	128,8

(1) : Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

(2) : Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

O comportamento da condutância estomática média do feijoeiro, ao longo da estação de crescimento, pode ser observada na Figura 6. Constata-se que durante o subperíodo 1, a condutância foi mais reduzida e mostrou tendência decrescente. No subperíodo 2, a condutância foi mais elevada com tendência crescente.

#### 4.1.4 Comportamento da condutância estomática ao longo do dia

Os valores médios de condutância estomática encontram-se nas Tabelas 12 a 20 e são correspondentes a 4 horários de observação ao longo do dia 02/11/94. O resumo da análise de variância encontra-se nas Tabelas 10A a 24A, nos Anexos. Em relação às doses de nitrogênio, a condutância foi maior na dose  $N_1$ , cedo às 6 horas da manhã (Tabela 12), como resultado dos maiores

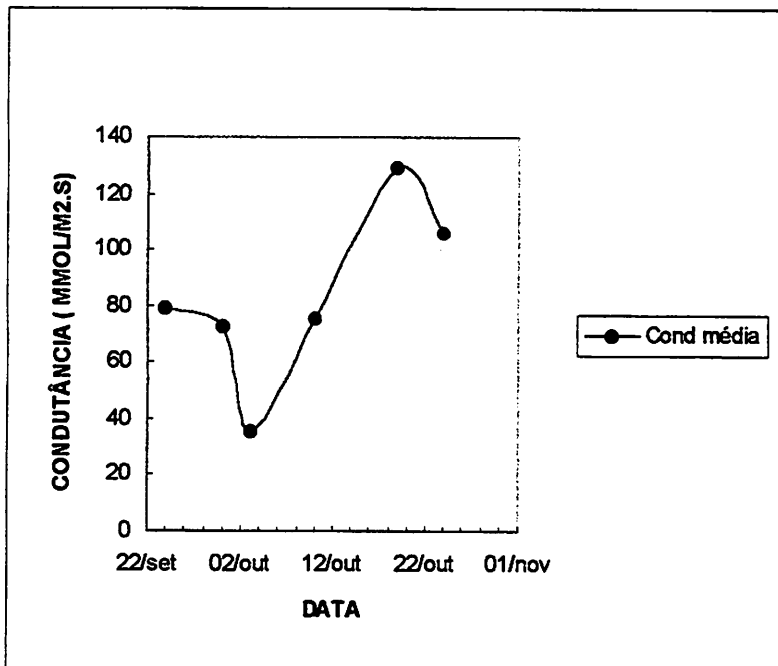


FIGURA 06. Comportamento da condutância estomática do feijoeiro ao longo do seu ciclo vegetativo (Valores médios). UFLA, Lavras-MG, 1994.

TABELA 12. Valores médios de condutância estomática (mmol/ m<sup>2</sup>.s) no horário de 6 horas do dia 02/11/94, em função das doses de N e das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Nitrogênio	Lâminas			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
N <sub>1</sub>	337,9Aa <sup>(2)</sup>	262,6Ab	251,4 b	284,0A
N <sub>3</sub>	216,0B	207,4B	216,9	213,4B
Médias	276,9A	235,0B	234,2B	248,7

(1): Letras maiúsculas, nas colunas, indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

(2): Letras minúsculas, nas linhas, indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

valores observados dentro das lâminas de água W<sub>1</sub> e W<sub>3</sub>. No horário das 10 horas mostrou-se similar para os 2 tratamentos (Tabelas 14), observando-se o efeito de interação NxW no horário de 12 horas onde, dentro da lâmina W<sub>1</sub>, obteve-se maior condutância no tratamento N<sub>3</sub> (Tabela 15). O comportamento da condutância no horário de 16 horas (Tabela 18), maior no tratamento N<sub>3</sub>, foi o inverso daquele observado no horário das 6 horas.

Quanto às lâminas de água, observou-se maior valor de condutância no tratamento W<sub>1</sub>, correspondendo à menor lâmina logo cedo, às 6 horas (Tabela 13) e no horário de 12 horas (Tabela 15). No horário das 10 horas a condutância foi similar para todos os tratamentos (Tabela 14). Na parte da tarde, às 16 horas, observou-se tendência inversa, com maior valor de condutância no tratamento W<sub>5</sub> (Tabela 17).

Em relação às cultivares, o comportamento da condutância foi similar ao longo do dia, com exceção do horário de 16 horas (Tabelas 13, 14, 16, 18, 19 e

20) quando observaram-se diferenças, com o maior valor sendo mostrado pelas cultivares Ouro e Roxo 90 e o menor valor, pela cultivar Carioca-MG. Assim, a cultivar Carioca-MG apresentou a maior regulação estomática de todas as cultivares.

A condutância estomática apresentou seu valor máximo médio de 248,7  $\text{mmol/m}^2 \cdot \text{s}$  às 6 horas, talvez em resposta ao estímulo da luz, conforme assinalam Kanemasu e Tanner (1969b) e Jones (1992). Por um lado, a partir desse horário, observou-se redução consistente da condutância foliar ao longo do dia, possivelmente em resposta ao aumento da demanda evaporativa, representada pelo aumento da temperatura, do DPV e do vento; por outro lado, pela redução do potencial hídrico foliar.

Neste estudo, o valor médio mínimo de potencial hídrico foliar, de -1,25 MPa, foi inferior a -1,0 MPa, apresentado por Kanemasu e Tanner (1969a) como valor limite para redução sustancial da condutância do feijoeiro.



**TABELA 13.** Valores médios de condutância estomática ( $\text{mmol/m}^2.\text{s}$ ) no horário de 6 horas do dia 02/11/94, em função das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Lâminas	Cultivares				Médias
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
W <sub>1</sub>	283,3A	287,0	293,3A	244,1	276,9A
W <sub>3</sub>	244,0AB	231,1	208,5B	256,5	235,0B
W <sub>5</sub>	190,6Bb <sup>(2)</sup>	227,8 ab	249,5Abab	268,6	234,2B
Médias	239,3	248,7	250,4	256,4	248,7

(1) : Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

(2) : Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

TABELA 14. Valores médios de condutância foliar para duas doses de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares de feijoeiro, obtidos no horário de 10 horas do dia 02/11/94. Lavras-MG, 1994

Tratamento	Condutância estomática (mmol/m <sup>2</sup> )
<b>Nitrogênio</b>	
N <sub>1</sub> - 40 kg/ha	140,4
N <sub>3</sub> - 120 kg/ha	129,9
<b>Lâmina de água</b>	
W <sub>1</sub> -Baixa	144,9
W <sub>3</sub> -Média	133,8
W <sub>5</sub> -Excessiva	126,8
<b>Cultivar</b>	
C <sub>1</sub> -Carioca MG	125,4
C <sub>2</sub> -Ouro	138,8
C <sub>3</sub> -Roxo 90	135,2
C <sub>4</sub> -Ouro Negro	141,2
<b>Média</b>	<b>135,1</b>

TABELA 15. Valores médios de condutância estomática (mmol/ m<sup>2</sup>.s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94, em função das doses de N e das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Nitrogênio	Lâminas			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
N <sub>1</sub>	130,5Ba <sup>(2)</sup>	109,3 b	136,1 b	125,3
N <sub>3</sub>	148,4Aa	123,0 b	120,3 b	130,6
Médias	139,5A	128,3AB	116,2B	128,0

(1): Letras maiúsculas nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

(2): Letras minúsculas nas linhas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

TABELA 16. Valores médios de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>.s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para quatro cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994

Cultivares	Condutância estomática (mmol/m <sup>2</sup> )
C <sub>1</sub> - Carioca MG	127,5
C <sub>2</sub> - Ouro	126,8
C <sub>3</sub> - Roxo 90	131,2
C <sub>4</sub> - Ouro Negro	126,2
Média	128,0

TABELA 17. Valores médios de condutância estomática (mmol/ m<sup>2</sup>.s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 em função das doses de N e das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Nitrogênio	Lâminas			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
N <sub>1</sub>	82,0Bc <sup>(2)</sup>	98,3 b	109,4Aa	96,6B
N <sub>3</sub>	122,8Aa	102,1 b	121,3Ba	115,4A
Médias	102,4B	100,2B	115,4A	106,0

(1): Letras maiúsculas nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

(2): Letras minúsculas nas linhas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

TABELA 18. Valores médios de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>.s ) no horário de 16 horas do dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Nitrogênio	Cultivares				Médias
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
N <sub>1</sub>	92,2Ba <sup>(2)</sup>	95,7Ba	98,3Ba	99,9Ba	96,6B
N <sub>3</sub>	105,2Ab	120,6Aa	121,8Aa	114,0Aab	115,4A
Médias	98,7B	108,2A	110,1A	107,0AB	106,0

(1) : Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

(2) : Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

**TABELA 19.** Valores médios de condutância estomática ( $\text{mmol/m}^2.\text{s}$ ) no horário de 16 horas do dia 02/11/94, em função das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Lâminas	Cultivares				Médias
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
W <sub>1</sub>	89,5Bb <sup>(2)</sup>	101,2 ab	104,9 a	114,0Aa	102,4B
W <sub>3</sub>	89,8Bb	111,0 a	109,1 a	90,9Bb	100,2B
W <sub>5</sub>	116,8A	112,3	116,3	116,0	115,4A
Médias	98,7B	108,2A	110,1A	107,0AB	106,0

(1) : Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

(2) : Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

TABELA 20. Valores médios de condutância estomática ( $\text{mmol/m}^2.\text{s}$ ) no horário de 16 horas do dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994<sup>(1)</sup>

Cultivares	N <sub>1</sub>			N <sub>3</sub>			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
C <sub>1</sub>	71,3B	93,1	112,3	107,8B	86,4B	121,3	98,7B
C <sub>2</sub>	77,1AB	100,7	109,3	125,3AB	121,3A	115,3	108,2A
C <sub>3</sub>	82,8AB	101,8	110,3	127,0AB	116,3A	122,3	110,1A
C <sub>4</sub>	96,6A	97,4	105,6	131,3A	84,3B	126,3	107,0AB

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

No caso presente, a condutância estomática, em média de  $128 \text{ mmol/m}^2.\text{s}$ , mostrou-se bem superior ao valor que poderia ser esperado para esse potencial. A explicação provável está ligada à relação observada entre a condutância e o DPV, o qual mostrou-se baixo nesse dia.

#### 4.1.5 Condutância hidráulica total solo/folha

Nas Tabelas 21 e 22 são apresentados os valores médios de condutância hidráulica total solo-plantas, observados no dia 02/11/94. O resumo da análise de variância encontra-se nas Tabelas 25A a 28A dos Anexos.

Em relação às doses de nitrogênio, observaram-se valores médios similares de condutância hidráulica (Tabela 21). Contudo, dentro da lâmina W<sub>1</sub>, observou-se efeito significativo do nitrogênio sobre este parâmetro.

As lâminas de água, em média, mostraram valores semelhantes de condutância hidráulica. Em relação às cultivares de feijoeiro, a análise detectou uma interação tripla N×W×C, a qual mostrou que, dentro da dose N<sub>3</sub> e da lâmina W<sub>1</sub>, a cultivar Ouro Negro apresentou maior condutância hidráulica e a cultivar Roxo 90, a menor condutância (Tabela 22).

Observaram-se comportamentos diferenciados da condutância hidráulica quanto ao N, água e cultivares, apesar do avançado do ciclo. Winkel e Rambal (1993) observaram em videira que com disponibilidade adequada de umidade, a condutância hidráulica apresentava valor mais ou menos constante. Também observaram que no final da estação anual de crescimento, a condutância apresentou valores semelhantes. Essas duas condições ocorreram por ocasião dessa observação. Contudo, comparando-se à videira, o feijoeiro mostrou-se sensível em relação a esse parâmetro.

TABELA 21. Valores médios de condutância hidráulica (mmol/ m<sup>2</sup>.s/MPa) no dia 02/11/94, em função das doses de N e das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994<sup>(1)</sup>

Nitrogênio	Lâminas			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
N <sub>1</sub>	2,14B	2,00	2,61	2,25
N <sub>3</sub>	2,69A	2,32	2,21	2,41
Médias	2,42	2,16	2,41	2,33

(1): Letras maiúsculas nas colunas indicam diferenças significativas entre os tratamentos ao nível de 1% pelo teste de Tukey

TABELA 22. Valores médios de condutância hidráulica ( $\text{mmol/m}^2 \cdot \text{s/MPa}$ ) no dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras- MG, 1994<sup>(1)</sup>

Cultivares	N <sub>1</sub>			N <sub>3</sub>			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
C <sub>1</sub>	2,26	1,91	2,93	2,52AB	2,50	2,16	2,38
C <sub>2</sub>	2,12	1,96	2,41	2,76AB	2,14	2,46	2,31
C <sub>3</sub>	2,38	1,98	2,75	2,18B	2,84	2,37	2,42
C <sub>4</sub>	1,80	2,15	2,34	3,31A	1,80	1,83	2,21

(1) : Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

#### 4.1.6 Correlação entre as variáveis de estado hídrico interno e ambientais ao longo do ciclo

No intuito de estabelecer a influência dos fatores ambientais sobre o estado hídrico interno do feijoeiro, sob o efeito das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro, foram realizados estudos de correlação linear simples entre esses fatores.

Em relação às doses de nitrogênio, na Tabela 23 encontram-se os coeficientes de correlação para o potencial hídrico foliar e a condutância foliar com os fatores ambientais em estudo. Quanto ao potencial hídrico foliar, observou-se correlação significativa com a temperatura do ar, temperatura foliar,



e DPV nos 2 tratamentos. Quanto à condutância estomática, observou-se correlação significativa com a temperatura do ar e com o DPV nos 2 tratamentos.

Em relação às lâminas de água, na Tabela 24 encontram-se os valores de correlação respectivos. Em relação ao potencial hídrico foliar, observou-se correlação significativa com temperatura do ar, temperatura foliar e DPV nos 3 tratamentos. Quanto à condutância estomática, observou-se correlação significativa com a temperatura do ar, temperatura foliar e com o DPV em todos os tratamentos.

Aparentemente, o déficit de pressão de vapor constitui-se em um indicador sensível do potencial hídrico foliar devido à sua influência direta no processo de evaporação (Millar et al, 1971). A temperatura, por sua vez, ao criar condições favoráveis para acréscimos do gradiente de pressão de vapor, favorece também o processo de evaporação e a redução do potencial hídrico foliar.

Em relação às cultivares de feijoeiro, encontram-se na Tabela 25 os dados de correlação simples respectivos. Observa-se que o potencial hídrico foliar mostrou correlação significativa com a temperatura do ar, temperatura foliar e DPV para todas as cultivares.

TABELA 23. Coeficientes de Correlação simples do potencial hídrico foliar ( $\psi_f$ ) e condutância estomática (COND) com fatores ambientais para duas doses de nitrogênio. Dados do ciclo do feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994

Fator	Unidade	N1		N3	
		$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND
T <sub>F</sub>	°C	-0,750 **	-0,273 *	-0,394 **	-0,716 **
T <sub>A</sub>	°C	-0,734 **	-0,337 **	-0,335 **	-0,724 **
RFA	$\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$	-0,079	-0,248	-0,094	-0,273
DPV	mm Hg	-0,722 **	-0,340 **	-0,429 **	-0,809 **
$\psi_s$	MPa	0,267	0,492 **	0,443 **	0,244
V	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	-0,497 **	-0,027	-0,152	-0,085

\*\* : Significativo ao nível de 1%, pelo teste de t

TABELA 24. Coeficientes de Correlação simples de potencial hídrico foliar e condutância foliar com fatores ambientais para três lâminas de água. Dados do ciclo do feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994

Fator	W1		W3		W5	
	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND
T <sub>F</sub>	-0,731 **	-0,698 **	-0,477 **	-0,430 **	-0,444 **	-0,417 **
T <sub>A</sub>	-0,698 **	-0,699 **	-0,452 **	-0,505 **	-0,396 **	-0,480 **
RFA	-0,097	-0,232	-0,025	-0,350	0,095	-0,321
DPV	-0,746 **	-0,820 **	-0,462 **	-0,407 **	-0,447 **	-0,445 **
$\psi_s$	0,619 **	0,436 **	0,242	0,317	0,265	-0,188
V	-0,286	-0,016	-0,353	-0,204	-0,400 **	-0,070

\*\* : Significativo ao nível de 1%, pelo teste de t

Quanto à condutância foliar, observou-se correlação significativa com a temperatura do ar, temperatura foliar e DPV em todas as cultivares.

Alguns estudos realizados com outras culturas mostram que a condutância estomática depende muito do déficit de pressão de vapor (Ludlow e Muchow, 1990; Pereira-Neto, Pinto e Rocha-Neto, 1991; Winkel e Rambal, 1993). Do ponto de vista da física da evaporação, isso se justifica pelo fato do déficit de pressão de vapor estar diretamente relacionado com a evaporação de água em superfícies, vegetais ou solo (Rosemberg, Blad e Verma, 1983; Berengena, 1987). Já o aumento da temperatura, pelo seu efeito sobre a umidade relativa e sobre a pressão de vapor, contribui para o aumento do gradiente vertical da pressão de vapor e, portanto, da evaporação (Berengena, 1987).

TABELA 25. Coeficientes de Correlação simples de fatores ambientais com o potencial hídrico foliar e condutância estomática para quatro cultivares. Dados do ciclo de feijoeiro. UFPA, Lavras -MG, 1994

Fator	C1		C2		C3		C4	
	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND
T <sub>F</sub>	-0,66**	-0,57**	-0,50**	-0,41**	-0,54**	-0,53**	-0,54**	-0,47**
T <sub>A</sub>	-0,64**	-0,59**	-0,45**	-0,46**	-0,50**	-0,56**	-0,51**	-0,51**
RFA	-0,11	-0,16	-0,13	-0,23	-0,03	-0,35	0,35	-0,35
DPV	-0,69**	-0,67**	-0,51**	-0,46**	-0,55**	-0,58**	-0,53**	-0,57**
$\psi_s$	0,28	0,25	0,40	0,33	0,38	0,36	0,42**	0,35
V	-0,39	-0,03	-0,22	-0,11	-0,32	-0,06	-0,39**	-0,09

\*\* : Significativo ao nível de 1%, pelo teste de t

Em geral, a cultivar Carioca-MG mostrou as maiores correlações entre as variáveis de estado hídrico e as variáveis micrometeorológicas mais significativas (DPV e temperatura).

As cultivares mostraram comportamento diferenciado quanto à radiação fotossintética ativa. As cultivares Roxo e Ouro Negro mostraram-se sensíveis à influência dessa variável sobre a condutância estomática. O mesmo não aconteceu com as cultivares Ouro e Carioca-MG. Rosemberg, Blad e Verma (1983), analisando a importância da luz, particularmente da radiação fotossintética ativa, comentam que esta tem um grande efeito sobre a condutância foliar, quando a densidade de fluxo de luz é de até  $200 \text{ W/m}^2$ . No caso presente, a influência não foi generalizada.

#### **4.1.7 Correlação entre as variáveis de estado hídrico interno e ambientais, ao longo de um dia**

Em relação às doses de nitrogênio, na Tabela 26 são apresentados os dados de correlação simples para o potencial hídrico e a condutância estomática com alguns fatores ambientais no dia 02/11/94 para dois níveis de nitrogênio.

Em relação ao potencial hídrico foliar, observou-se correlação significativa com temperatura foliar, temperatura do ar, DPV e velocidade do vento para os 2 tratamentos.

TABELA 26. Coeficientes de Correlação simples do potencial hídrico foliar e condutância estomática com alguns fatores ambientais, para dois níveis de adubação nitrogenada. Estudo de evolução dos fatores ao longo do dia 02/11/94. UFLA, Lavras -MG, 1994

Fator	Unidade	N1		N3	
		$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND
T <sub>F</sub>	°C	-0,727**	-0,791**	-0,794**	-0,606**
T <sub>A</sub>	°C	-0,750**	-0,813**	-0,796**	-0,614**
RFA	$\mu\text{mol.s}^{-1}.\text{m}^{-2}$	-0,504**	-0,096	-0,119	0,009
DPV	mm Hg	-0,572**	-0,925**	-0,698**	-0,843**
V	$\text{m.s}^{-1}$	-0,637**	-0,882**	-0,592**	-0,823**

\*\* : Significativo ao nível de 1%, pelo teste de t

Os valores negativos indicam ser esta uma relação inversa entre os parâmetros, refletindo, por um lado, aumento da temperatura, devido à perda de água pela evaporação, e por outro, redução do potencial hídrico foliar.

Quanto à condutância foliar, houve correlação significativa com temperatura foliar, temperatura do ar, DPV e velocidade do vento para os 2 tratamentos.

Em relação às lâminas de água, os dados da Tabela 27 mostram o comportamento das variáveis ambientais com o potencial hídrico foliar e a condutância foliar, em um estudo de comportamento dos fatores conduzido no dia 02/11/94 em cultura de feijoeiro. Quanto ao potencial hídrico foliar, observou-se correlação significativa com temperatura foliar, temperatura do ar, radiação fotossintética ativa, DPV e velocidade do vento para os 3 tratamentos.

Quanto à condutância foliar, observou-se correlação significativa com temperatura foliar, temperatura do ar, DPV e velocidade do vento para os 3 tratamentos.

Segundo Rosemberg, Blad e Verma (1983), quanto maior a temperatura, maior é a taxa de evaporação, desde superfícies vegetadas ou desde o solo. O modo pelo qual a temperatura influencia a transpiração e, portanto, o potencial hídrico foliar, é pelo aumento do DPV entre o ar e a superfície evaporante com o aumento da temperatura. Também o ar quente e seco pode proporcionar energia para a superfície evaporante. Assim, quanto mais quente está o ar, maior é o gradiente de temperatura e maior a taxa de evaporação. A temperatura também pode influenciar a evaporação através de sua influência na abertura estomática. O DPV é um fator que está diretamente relacionado com o calor latente, ou seja, com a evaporação (Santibáñez, 1987).

Assim sendo, para um maior valor de DPV, sem restrição hídrica, corresponde maior valor de calor latente e, portanto, maior será a quantidade de água evaporada com relação às folhas, isso provoca redução da turgescência das células-guardas dos estômatos e menor condutância, pois há um relacionamento com a turgescência dessas células. Isto explicaria a correlação inversa existente entre a condutância e o DPV.

TABELA 27. Coeficientes de Correlação simples do potencial hídrico foliar e condutância estomática com fatores ambientais para três lâminas de água. Estudo da evolução dos fatores ao longo do dia 02/11/94. UFLA, Lavras -MG, 1994

Fator	W1		W3		W5	
	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND
T <sub>F</sub>	-0,675**	-0,774**	-0,788**	-0,725**	-0,756**	-0,689**
T <sub>A</sub>	-0,707**	-0,809**	-0,792**	-0,729**	-0,757**	-0,696**
RFA	-0,356**	-0,015	-0,217*	-0,036	-0,240*	-0,177*
DPV	-0,554**	-0,899**	-0,649**	-0,903**	-0,640**	-0,890**
V	-0,622**	-0,802**	-0,594**	-0,867**	-0,606**	-0,864**

\*\* : Significativo ao nível de 1%, pelo teste de t

Em relação às cultivares de feijoeiro, os dados da Tabela 28 mostram o comportamento do potencial hídrico foliar e condutância, com as variáveis ambientais, no dia 02/11/94.

TABELA 28. Correlação simples do potencial hídrico foliar e condutância foliar com fatores ambientais para quatro cultivares de feijoeiro. Estudo de evolução ao longo do dia 02/11/94. UFLA, Lavras - MG, 1994

Fator	C1		C2		C3		C4	
	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND	$\psi_f$	COND
T <sub>F</sub>	-0,66**	-0,67**	-0,76**	-0,74**	-0,76**	-0,74**	-0,74**	-0,73**
T <sub>A</sub>	-0,71**	-0,75**	-0,76**	-0,75**	-0,76**	-0,74**	-0,75**	-0,73**
RFA	-0,24*	-0,06	-0,19	-0,005	-0,28*	-0,08	-0,45**	-0,14
DPV	-0,52**	-0,88**	-0,62**	-0,86**	-0,62**	-0,90**	-0,64**	-0,91**
V	-0,58**	-0,82**	-0,59**	-0,81**	-0,62**	-0,84**	-0,62**	-0,82**

\*\* : Significativo ao nível de 1%, pelo teste de t

Em relação ao potencial hídrico foliar e à condutância estomática, observou-se correlação significativa desse com a temperatura foliar, temperatura do ar, DPV e velocidade do vento.

Segundo Berengena (1987), um aumento da temperatura provoca aumento no gradiente de pressão de vapor e, portanto, aumento da demanda evaporativa e da evaporação. A perda de água nas folhas provoca redução do potencial hídrico. Conseqüentemente, a correlação entre temperatura do ar e DPV com potencial hídrico foliar e condutância estomática é elevada e inversa.

## **4.2 Experimento 2: crescimento, absorção de nutrientes e produção de biomassa sob a influência de dois níveis de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares**

### **4.2.1 Taxa de crescimento do feijoeiro**

As taxas de crescimento em altura, avaliadas em dois subperíodos de tempo, encontram-se nas Tabelas 29, 30 e 31. Em relação às doses de nitrogênio (Tabelas 29 e 30), observa-se que houve maior taxa de crescimento no nível N<sub>3</sub>, correspondendo à dose elevada nos 2 subperíodos de avaliação.

Segundo Wilcox e Fageria (1976) e Moraes (1988), esta diferença no crescimento pode ser atribuída ao efeito do nitrogênio. O aumento do crescimento, conforme Baligar, Duncan e Fageria (1990), traz consigo uma maior demanda de nutrientes pelas plantas, principalmente nitrogênio, o que explicaria a maior taxa no tratamento N<sub>3</sub>.

Quanto ao aumento da taxa média ocorrido no subperíodo 2, que foi de quase 100% em relação ao subperíodo 1 nos 2 níveis de adubação nitrogenada, este pode ser atribuído entre outros, a uma maior disponibilidade de água no solo no subperíodo 2, o que teria propiciado aumento da disponibilidade de nutrientes em geral, e de nitrogênio em particular (Tanguilig et al, 1987).

Quanto às lâminas de água, o maior crescimento observado no subperíodo 2 pode ser atribuído a uma maior disponibilidade de água para o feijoeiro, o que teria permitido, segundo Power (1990), maior desenvolvimento radicular, maior absorção de água e nutrientes, mais fotossíntese e fixação de carbono e, portanto, maior crescimento.



Observa-se que durante o subperíodo 1, a maior taxa de crescimento ocorreu no tratamento  $W_3$ , que correspondeu ao nível de irrigação médio. Essa taxa, em média, foi de 52%, e 25% maior que aquela dos tratamentos  $W_1$  e  $W_5$ , respectivamente.

A redução do crescimento observada no tratamento  $W_1$  com lâmina deficitária no subperíodo 1, pode ser atribuída à redução do potencial da água do solo e a um provável aumento da impedância mecânica, que provocaram redução no crescimento e extensão do sistema radicular do feijoeiro, segundo Baligar, Duncan e Fageria (1990).

Quanto ao tratamento  $W_5$ , a redução da taxa de crescimento no subperíodo 1 pode ser atribuída à soma dos efeitos temporários do excesso de água do solo, provocando redução da taxa de difusão de oxigênio e da intensidade de vários processos fisiológicos e metabólicos da planta, incluindo-se a fotossíntese, absorção de nutrientes e crescimento e a lixiviação de nitratos (Moraes, 1988; Baligar, Duncan e Fageria, 1990; Power, 1990).

Em geral, observou-se no feijoeiro uma elevada capacidade de recuperação do déficit hídrico, demonstrado pelo aumento substancial da taxa de crescimento observada no subperíodo 2, sob disponibilidade hídrica adequada, após ser submetido a condições de restrição hídrica e maior exigência ambiental no subperíodo 1.

Em relação às cultivares, durante o subperíodo 1, observou-se comportamento similar dessas quanto à taxa de crescimento (Tabela 29). Em geral, observou-se maior taxa de crescimento no subperíodo 2 ( Tabelas 30 e 31).

TABELA 29. Valores médios de taxa de crescimento em feijoeiro (cm/dia) durante o subperíodo I para duas doses de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares. UFLA, Lavras- MG, 1994

Tratamentos	Taxa de crescimento ( cm/ dia ) <sup>(1)</sup>
<b>Nitrogênio</b>	
N <sub>1</sub> - 40 kg/ha	0,637 B <sup>(2)</sup>
N <sub>3</sub> -120 kg/ha	0,775 A
<b>Lâmina de água</b>	
W <sub>1</sub> -Deficitaria	0,568 C
W <sub>3</sub> -Média	0,862 A
W <sub>5</sub> -Excessiva	0,689 B
<b>Cultivar</b>	
C <sub>1</sub> - Carioca MG	0,677
C <sub>2</sub> - Ouro	0,692
C <sub>3</sub> - Roxo 90	0,744
C <sub>4</sub> - Ouro Negro	0,712
<b>Média</b>	<b>0,706</b>

(1): Dados transformados segundo expressão  $\ln(X+K)$

(2): Dentro de cada fator, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre médias dos tratamentos, ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

TABELA 30. Valores médios de taxa de crescimento (cm/dia) durante o subperíodo 2, em função das doses de nitrogênio e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Nitrogênio	Cultivares				Médias
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
N <sub>1</sub>	1,13Bab	1,08 b	1,52 a	1,14 ab	1,22 B <sup>(1)</sup>
N <sub>3</sub>	1,85Aa	1,33 b	1,65 ab	1,26 b	1,52 A
Médias	1,49 ab <sup>(2)</sup>	1,21 b	1,59 a	1,20 b	1,37

(1) : Letras maiúsculas diferentes nas colunas, indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

(2) : Letras minúsculas diferentes nas linhas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

TABELA 31. Valores médios de taxa de crescimento (cm/dia) durante o subperíodo 2, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Cultivares	N <sub>1</sub>			N <sub>3</sub>			Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	W <sub>1</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>5</sub>	
C <sub>1</sub>	1,81	0,74AB	0,83	1,92	1,37	2,26 A	1,49 AB <sup>(1)</sup>
C <sub>2</sub>	1,49	0,70AB	1,05	1,52	1,19	1,28 B	1,21 B
C <sub>3</sub>	1,88	1,36A	1,32	2,10	1,15	1,71AB	1,59 A
C <sub>4</sub>	1,52	0,59B	1,31	1,54	1,18	1,05B	1,20 B

(1) : Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

Uma análise dos dados do subperíodo 2 (Tabela 30) mostra que o efeito do nitrogênio foi significativo só na cultivar Carioca-MG. Uma análise do comportamento das cultivares dentro dos níveis de nitrogênio mostra que no nível  $N_1$  baixo, a cultivar que mostrou maior taxa de crescimento foi a cultivar Roxo 90 e no nível  $N_3$  elevado, a cultivar que apresentou maior crescimento foi a cultivar Carioca-MG. Em média, a cultivar com maior taxa de crescimento foi a cultivar Roxo 90.

Analisando-se o comportamento das cultivares em função das doses de nitrogênio e das lâminas de água (Tabela 31), observa-se que, dentro do nível  $N_1$  de nitrogênio, as cultivares mostraram comportamento diferenciado apenas dentro da lâmina  $W_3$  média, em que a maior taxa de crescimento foi da cultivar Roxo 90. Dentro do nível de nitrogênio  $N_3$  elevado, observou-se comportamento diferenciado das cultivares apenas dentro da lâmina  $W_5$ , em que o maior crescimento foi observado na cultivar Carioca-MG.

#### **4.2.2 Área foliar do feijoeiro**

Os valores médios de área foliar do feijoeiro encontram-se na Tabela 32. Em relação aos níveis de adubação nitrogenada, os dados apresentados mostram que não houve diferenças significativas entre os tratamentos com respeito à área foliar, devido, provavelmente, ao delineamento experimental que da menor precisão à parcela. Todavia, observaram-se maiores valores de área no tratamento  $N_3$ , com dose elevada de nitrogênio. A mesma tendência, porém significativa, foi observada por Silva (1988) em um estudo sobre adubação

nitrogenada em feijoeiro. Segundo Wilcox e Fageria (1976), o nitrogênio é um nutriente necessário para o crescimento e desenvolvimento vegetal.

TABELA 32. Valores médios de área foliar e matéria seca de feijoeiro para duas doses de nitrogênio, três lâminas de água e quatro cultivares. UFLA, Lavras- MG, 1994

Tratamentos	Área foliar <sup>(2)</sup> ( cm <sup>2</sup> )	Matéria Seca <sup>(2)</sup> ( g /planta)
<b>Nitrogênio</b>		
N <sub>1</sub> - 40 kg/ha	435,3	3,47
N <sub>3</sub> -120 kg/ha	625,3	4,90
<b>Lâmina de água</b>		
W <sub>1</sub> -Deficitaria	540,1 AB <sup>(1)</sup>	4,12 AB
W <sub>3</sub> -Média	636,1 A	5,25 A
W <sub>5</sub> -Excessiva	413,5 B	3,24 B
<b>Cultivar</b>		
C <sub>1</sub> -Carioca MG	455,9	3,83
C <sub>2</sub> -Ouro	426,1	3,65
C <sub>3</sub> -Roxo 90	616,6	4,62
C <sub>4</sub> -Ouro Negro	618,7	4,46
<b>Média</b>	<b>521,8</b>	<b>4,12</b>

(1): Dentro de cada fator, letras maiúsculas diferentes indicam diferenças significativas entre médias dos tratamentos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

(2): Dados transformados segundo expressão  $\ln (X+K)$

Sendo assim, a menor área foliar no tratamento N<sub>1</sub> dose baixa, estaria refletindo uma deficiência deste nutriente.

Quanto às lâminas de água, os dados mostram que a maior área foliar ocorreu no tratamento W<sub>3</sub>, com lâmina média de água aplicada. Os menores valores corresponderam ao tratamento W<sub>5</sub>, com lâmina de água excessiva.

Em relação ao tratamento W<sub>5</sub> com lâmina excessiva, o crescimento foliar é afetado pelo excesso de água, ao ocorrer a redução da taxa de difusão de oxigênio do solo. Com isso, há redução da absorção de água e nutrientes pela planta, redução do crescimento radicular e redução da fotossíntese, entre outros processos (Baligar, Duncan e Fageria, 1990 e Power 1990). O excesso de água aplicada pode ter contribuído também para a redução da disponibilidade do nitrogênio para o feijoeiro, devido ao aumento da taxa de lixiviação deste. Silva (1988), trabalhando com feijão no mesmo solo do ensaio, observou transformação rápida do amônio para nitrato, e aumento do teor de nitratos nas camadas abaixo de 40 cm de profundidade, fora da profundidade radicular.

Quanto ao tratamento W<sub>1</sub>, com lâmina de água deficitária, valores reduzidos de área foliar, segundo Ludlow e Muchow (1990), são consequência da redução do crescimento foliar e aumento da senescência foliar. Stone, Portes e Moreira (1990), trabalhando com feijoeiro, encontraram que a redução de potencial da água do solo propiciou redução da área foliar.

Em relação às cultivares de feijoeiro, os dados mostram que houve diferenças significativas quanto à área foliar, onde os maiores valores foram observados nas cultivares Roxo e Ouro Negro, e o menor valor na cultivar Ouro.

### 4.2.3 Acúmulo de matéria seca

Os valores médios de acúmulo de matéria seca encontram-se na Tabela 32. Em relação aos níveis de adubação nitrogenada, os dados apresentados mostram que, mesmo não havendo diferença significativa, atribuída ao delineamento experimental, houve maior produção de matéria seca da parte aérea do feijoeiro no tratamento  $N_3$ , que correspondeu à dose elevada de nitrogênio, concordando com as observações feitas por Oliveira e Thung (1988).

Quanto às lâminas de água, o maior acúmulo de matéria seca correspondeu ao tratamento  $W_3$  da lâmina média. O menor acúmulo foi observado no tratamento  $W_5$ .

Em relação ao tratamento  $W_1$ , a redução do acúmulo de matéria seca pode ser explicada pela redução da umidade do solo e pela redução da área foliar (Tabela 32). Brandes et al (1973) verificaram que a produção de matéria seca do feijoeiro foi três vezes superior no período “das águas”, com maior disponibilidade de umidade do solo, que a do feijoeiro da “seca” e a diferença foi atribuída a diferenças no índice de área foliar.

Berengena (1987), analisando os efeitos do déficit hídrico, observou que há redução da fotossíntese pela diminuição da área foliar e pela redução do fluxo de  $CO_2$ . A integração desses efeitos conduz à diminuição do tamanho da planta, da área foliar e da produção.

Em relação ao tratamento  $W_5$ , a redução de acúmulo de matéria seca pode ser atribuída à redução significativa da área foliar (Tabela 32), que provocou, provavelmente, redução da fotossíntese e redução da absorção de nutrientes e água.

As cultivares apresentaram acúmulos similares de matéria seca, não diferindo estatisticamente entre elas (Tabela 32).

#### **4.2.4 Acúmulo de nutrientes pelo feijoeiro**

Os valores médios de macronutrientes absorvidos pelo feijoeiro encontram-se na Tabela 33. Em relação ao nitrogênio, observou-se que não houve aumento da absorção dos macronutrientes com o aumento da dose de nitrogênio. O contrário foi observado em um estudo sobre os efeitos da adubação nitrogenada na resposta do feijoeiro conduzido por Silva (1988) o qual atribuiu isso ao efeito do nitrogênio sobre o crescimento e desenvolvimento da planta, particularmente sobre o sistema radicular, o que teria favorecido a aquisição de nutrientes pelo feijoeiro.

Quanto às lâminas de água, observa-se que a maior absorção de nutrientes ocorreu no tratamento  $W_3$ , que correspondeu à lâmina média de água aplicada. A menor absorção foi observada no tratamento  $W_5$ , com aplicação de lâmina de água em excesso.



TABELA 33. Acúmulo total (g/planta) de N, P, K, Ca, Mg e S absorvidos pelo feijoeiro até o dia 16/10/94, aos 53 dias após a emergência. UFLA, Lavras, MG - 1994<sup>(1,2)</sup>

Tratamentos	Total ( g/planta)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
<b>Nitrogênio</b>						
N <sub>1</sub> - 40 kg/ha	8,29	0,76	6,09	4,46	0,69	1,35
N <sub>3</sub> -120 kg/ha	13,85	1,03	9,28	6,39	1,00	1,32
<b>Lâmina água</b>						
W <sub>1</sub> -Baixa	12,01A	0,94AB	7,78AB	6,35A	0,92A	1,30AB
W <sub>3</sub> -Média	12,96A	1,08A	9,75A	6,45A	1,03A	1,65A
W <sub>5</sub> -Excessiva	7,91B	0,67B	5,60B	3,72B	0,59B	1,09B
<b>Cultivar</b>						
C <sub>1</sub> -Carioca MG	10,01	0,89	6,55	4,86	0,83	1,15
C <sub>2</sub> -Ouro	9,53	0,79	6,95	4,82	0,71	1,41
C <sub>3</sub> -Roxo 90	11,95	0,99	8,88	6,35	0,97	1,50
C <sub>4</sub> -Ouro Negro	11,59	0,88	7,89	5,45	0,84	1,29
<b>Média</b>	<b>10,72</b>	<b>0,89</b>	<b>7,52</b>	<b>5,34</b>	<b>0,84</b>	<b>1,33</b>

(1) : Dentro de cada fator, letras diferentes indicam diferenças significativas entre médias dos tratamentos ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

(2) : Dados transformados segundo expressão  $\ln(X + K)$

A redução da absorção de nutrientes no tratamento W<sub>1</sub> pode ser atribuída à condição de déficit de umidade do solo, resultante da lâmina de água insuficiente que foi aplicada neste tratamento. Sob condição de déficit hídrico, os processos de transporte de nutrientes até as raízes das plantas são afetados, ocorrendo grande redução. Isso é devido à redução da transpiração (Tanguilig et

al,1987), redução do crescimento e densidade radicular da planta e redução do volume de íons e mobilidade destes (Power, 1990).

A redução da absorção de nutrientes no tratamento  $W_5$  pode ser explicada pelo efeito de que o excesso de água no solo, mesmo que temporário, tem sobre a atividade da planta. A redução da taxa de difusão de oxigênio é um dos aspectos mais importantes, a partir do qual desencadeiam-se outros processos que promovem redução da absorção de água e nutrientes (Baligar, Duncan e Fageria, 1990; Schumacher e Smucker, 1987; Veen, 1981).

Em relação às cultivares, observa-se na Tabela 33 que não houve efeito significativo dessas sobre a absorção de nutrientes.

Quanto à quantidade de nutrientes absorvidos, observa-se que a seqüência, em ordem decrescente, foi  $N > K > Ca > S > P > Mg$ , sendo o nitrogênio o nutriente absorvido em maior quantidade.

### **4.3 Experimento 3: evapotranspiração do feijoeiro sob a influência de cinco lâminas de irrigação e quatro cultivares**

#### **4.3.1 Condutividade hidráulica não saturada**

Nas Figuras 7 e 8 encontra-se a relação funcional entre condutividade hidráulica não saturada da área experimental e a umidade volumétrica do solo para as camadas de 0 a 30 e de 30 a 60 cm de profundidade, respectivamente. Observa-se que há um aumento do valor da condutividade com o aumento da umidade. O conhecimento deste parâmetro é de importância na caracterização

da dinâmica da água no solo e na realização de balanços hídricos para conhecer a evapotranspiração das culturas ( Libardi, 1995).

#### **4.3.2 Drenagem na zona radicular**

Nas Figuras 9 e 10 encontra-se a relação funcional do tipo exponencial entre drenagem e armazenamento de água no solo, para as camadas de 0 a 30 e de 0 a 50 cm de profundidade, respectivamente. Observa-se que a drenagem aumenta com a água armazenada no solo. A aplicação básica dessa informação é na realização de balanço hídrico visando a estabelecer a evapotranspiração do feijoeiro.

#### **4.3.3 Evapotranspiração do feijoeiro**

O período experimental de 71 dias foi dividido em 5 subperíodos, em cada um dos quais foi realizado um balanço para os diversos tratamentos.

**Subperíodo 1:** Foi um subperíodo seco, sem chuva, sendo o aporte de água propiciado pela irrigação. A variação no armazenamento foi negativa em todos os tratamentos, indicando que houve contribuição desde o solo para o processo de evapotranspiração (Tabela 34). Acredita-se que, neste subperíodo, as maiores perdas ocorridas foram por conceito de evaporação, já que o feijoeiro encontrava-se na fase inicial de desenvolvimento vegetativo, que caracteriza-se pelo crescimento lento da planta. A evapotranspiração apresentou valores que

oscilaram entre 40,20 e 52,13 mm, com média no período de 47,73 mm. A ET diária apresentou valor médio de 3,18 mm/dia.

**Subperíodo 2:** Foi um subperíodo seco, sem chuvas. Nos tratamentos que receberam as menores lâminas de água, a variação de armazenamento de água no solo foi negativa (Tabela 35) significando que, nestes tratamentos, houve retirada de água do solo para o processo da evapotranspiração. A evapotranspiração do período apresentou valores oscilando de 11,89 a 65,35 mm, com média de 34,63 mm. A ET média do período foi de 2,47 mm/dia.

**Subperíodo 3:** Também foi um subperíodo seco, sem chuvas. Neste subperíodo terminou a fase vegetativa do feijoeiro. A variação de armazenamento de água no solo foi negativa no tratamento  $W_1$ , o qual recebeu a menor lâmina de água, e positiva nos demais tratamentos. A ET do período oscilou entre 37,49 e 74,94 mm, com média de 56,96 mm. A ET diária apresentou valor médio de 4,07 mm/dia (Tabela 36).

**Subperíodo 4:** Neste subperíodo foi registrada precipitação pluvial. Fenologicamente, correspondeu à fase reprodutiva do feijoeiro, abrangendo do início da floração até início de enchimento de vagens. A variação no armazenamento de água no solo foi positiva, demonstrando que houve ganho de umidade em todos os tratamentos (Tabela 37). A ET oscilou de 64,87 a 122,22 mm, com média de 92,64 mm. A ET diária do período foi de 6,61 mm/dia.

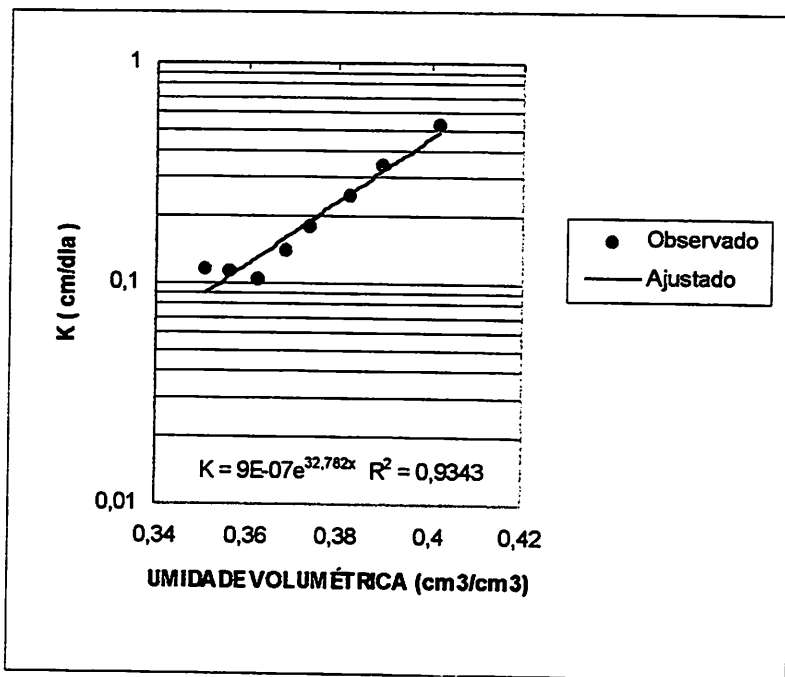


FIGURA 07. Conduividade hidráulica não saturada do solo da área experimental para a camada de 0 a 30 cm de profundidade. UFLA, Lavras-MG, 1994

Neste subperíodo, observaram-se os maiores valores de ET de todos os períodos, concordando com os resultados encontrados por Reichardt, Libardi e Santos (1974), Luchiari (1978), Guimarães et al (1982), Encarnação (1980), Azevedo (1984) e Steinmetz (1984). Entretanto, discordam daqueles encontrados por Felipe (1991) e Frizzone (1986), que observaram maiores valores de evapotranspiração do início de enchimento das vagens até início da maturação.

**Subperíodo 5:** Este subperíodo registrou chuvas em maior quantidade do que no subperíodo anterior. Fenologicamente, correspondeu à fase reprodutiva do feijoeiro, abrangendo do enchimento de vagens até o início da maturação. A

variação no armazenamento foi positiva em todos os tratamentos de lâminas de água. A evapotranspiração do período oscilou de 35,62 a 110,99 mm, com

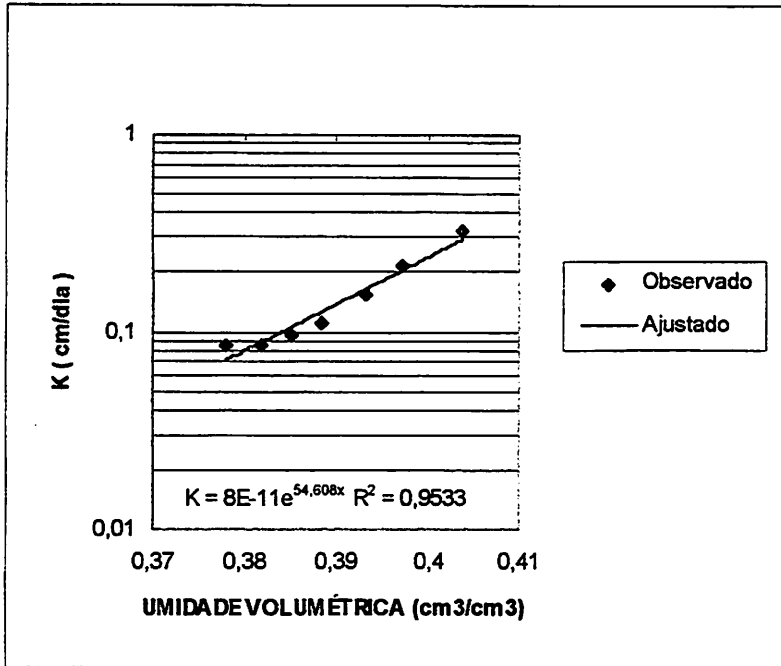


FIGURA 08. Conduividade hidráulica não saturada do solo da área experimental para a camada de 30 a 60 cm de profundidade. UFLA, Lavras-MG, 1994

média de 68,89 mm. A ET diária apresentou média de 4,92 mm/dia (Tabela 38). Observa-se que a evapotranspiração do subperíodo 1 foi maior do que a do subperíodo 2. Isso provavelmente ocorreu em consequência de um efeito advectivo, que pode ter adicionado energia, aumentando a demanda atmosférica, conforme indica Rosemberg, Blad e Verma (1983). O desenvolvimento reduzido

do feijoeiro neste período, e a existência de áreas não vegetadas próximas à área experimental parecem justificar esta assertiva.

A evapotranspiração média total, nos 71 dias de estudo, oscilou de 194,86 a 425,50 mm, com média de 300,8 mm, correspondendo a uma taxa média de 4,23 mm/dia (Tabela 39).

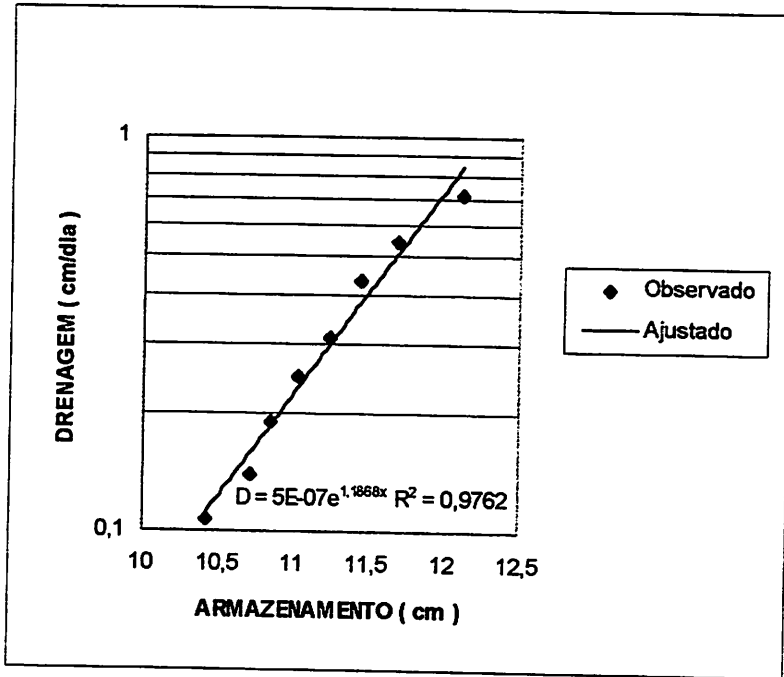


FIGURA 09. Drenagem na zona radicular em função do armazenamento de água no solo para a camada de 0 a 30 cm de profundidade. UFLA, Lavras-MG, 1994

Estudaram-se a variação da evapotranspiração diária e média das lâminas, ao longo do ciclo do feijoeiro, a partir da emergência. A equação que

explica a variação em função do tempo é de natureza cúbica, com o valor máximo estimado de 6,48 mm/dia, ocorrendo no 53º dia após a emergência do feijoeiro, que correspondeu ao período de enchimento das vagens (Figura 11).

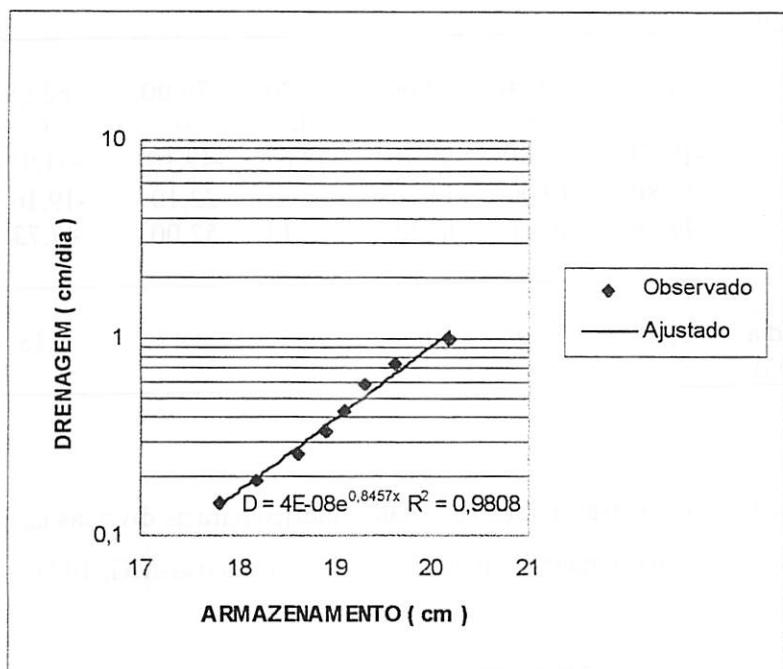


FIGURA 10. Drenagem na zona radicular em função do armazenamento de água no solo para a camada de 0 a 50 cm de profundidade. UFLA, Lavras-MG, 1994



TABELA 34. Evapotranspiração e balanço hídrico para as diversas lâminas de água durante o subperíodo 1. UFLA, Lavras -MG, 1994

Componente do balanço (mm)	Lâmina de água					Média
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
P + I	43,50	54,20	64,00	72,20	79,00	62,58
S	0	0	0	0	0	0
D	-16,31	-23,89	-38,10	-42,67	-49,10	-34,01
Δ A <sub>Z</sub>	-17,80	-19,00	-14,30	-22,60	-22,10	-19,16
ET	44,99	49,31	40,20	52,13	52,00	47,73
ET média (mm/dia)	3,00	3,29	2,68	3,47	3,47	3,18

TABELA 35. Evapotranspiração e balanço hídrico para as diversas lâminas de água durante o subperíodo 2. UFLA, Lavras-MG, 1994

Componente do balanço (mm)	Lâmina de água					Média
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
P + I	10,80	25,00	46,60	72,20	95,80	50,08
S	0	0	0	0	0	0
D	-5,31	-5,88	-20,31	-28,59	-26,75	-17,37
Δ A <sub>Z</sub>	-6,40	-5,30	-6,70	5,10	3,70	-1,92
ET	11,89	24,42	32,99	38,51	65,35	34,63
ET média (mm/dia)	0,85	1,74	2,36	2,75	4,66	2,47

TABELA 36. Evapotranspiração e balanço hídrico para as diversas lâminas de água durante o subperíodo 3. UFLA, Lavras-MG, 1994

Componente do balanço ( mm )	Lâmina de água					Média
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
P + I	32,20	60,50	85,20	102,60	115,90	79,28
S	0	0	0	0	0	0
D	-2,31	-9,84	-27,30	-31,21	-33,26	-20,78
$\Delta A_z$	-7,60	0,60	4,50	2,50	7,70	1,54
ET	37,49	50,06	53,40	68,89	74,94	56,96
ET média (mm/dia)	2,68	3,58	3,81	4,92	5,35	4,07

TABELA 37. Evapotranspiração e balanço hídrico para as diversas lâminas de água durante o subperíodo 4. UFLA, Lavras-MG, 1994

Componente do balanço ( mm )	Lâmina de água					Média
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
P + I	91,90	120,70	159,40	173,30	137,60	136,58
S	0	0	0	0	0	0
D	-12,73	-28,90	-38,35	-37,36	-42,88	-32,04
$\Delta A_z$	14,30	18,10	13,90	10,10	8,20	12,92
ET	64,87	73,70	90,45	111,94	122,22	92,64
ET média (mm/dia)	4,63	5,26	6,46	7,99	8,73	6,61

TABELA 38. Evapotranspiração e balanço hídrico para as diversas lâminas de água durante o subperíodo 5. UFLA, Lavras-MG, 1994

Componente do balanço (mm)	Lâmina de água					Média
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
P + I	92,40	112,80	137,80	160,70	177,10	136,16
S	0	0	0	0	0	0
D	-37,48	-56,37	-68,00	-56,01	-59,11	-55,39
$\Delta A_z$	19,30	10,70	13,20	9,20	7,00	11,88
ET	35,62	45,73	56,60	95,49	110,99	68,89
ET média (mm/dia)	2,54	3,27	4,04	6,82	7,92	4,92

A evapotranspiração total observada foi de 194,86; 243,22; 273,64; 366,96 e 425,50 mm, e a ET diária média foi de 2,74; 3,42; 3,85; 5,17 e 5,99 mm/dia para as lâminas W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>, e W<sub>5</sub>, respectivamente (Tabela 40). O valor de ET total correspondente à lâmina W<sub>1</sub> foi ligeiramente superior àquele obtido por Felipe (1991) para uma lâmina de 283 mm. Os valores diários médios obtidos com as diversas lâminas de água aplicada estão dentro do intervalo de valores apresentados por Reichardt, Libardi e Santos (1974), Garrido e Teixeira (1978a e b), Encarnação (1980), Azevedo (1984) e Steinmetz (1984).

Em relação às lâminas de água, observou-se um aumento da evapotranspiração com o aumento da lâmina de água aplicada (Tabela 41).

Uma análise do efeito da lâmina de água sobre a evapotranspiração total mostrou que houve uma relação linear, com acréscimos de 0,6188 mm de água evapotranspirada por cada mm de água aplicado (Figura 13).

TABELA 39. Evapotranspiração e balanço hídrico para as diversas lâminas de água durante 71 dias do ciclo do feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Componente do balanço (mm)	Lâmina de água					Média
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
P + I	270,80	373,20	476,30	567,10	641,10	465,70
S	0	0	0	0	0	0
D	-74,14	-124,88	-192,06	-195,84	-211,10	-159,60
$\Delta A_z$	1,80	5,10	10,60	4,30	4,50	5,26
ET	194,86	243,22	273,64	366,96	425,50	300,84
ET média (mm/dia)	2,74	3,42	3,85	5,17	5,99	4,23

TABELA 40. Evapotranspiração ocorrida nos diversos subperíodos em função das lâminas de água. UFLA, Lavras -MG, 1994

Data	Período	Lâmina de água					Média
		W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
24/08-08/09	1	44,99	49,31	40,20	52,13	52,00	47,73
08/09-22/09	2	11,89	24,42	32,99	38,51	65,35	34,63
22/09-06/10	3	37,49	50,06	53,40	68,89	74,94	56,96
06/10-20/10	4	64,87	73,70	90,45	111,94	122,22	92,64
20/10-03/11	5	35,62	45,73	56,60	95,49	110,99	68,89
<b>TOTAL</b>		194,86	243,22	273,64	366,96	425,50	300,84
<b>ET média (mm/dia)</b>		2,74	3,42	3,85	5,17	5,99	4,23

Estudou-se a variação da ET diária em vários períodos de tempo, ao longo do ciclo do feijoeiro, para as diversas lâminas de água. As equações que explicam o comportamento da evapotranspiração com o tempo são de natureza cúbica, com ET máxima estimada de 4,09; 4,83; 7,23; 8,05 e 8,11 mm/dia, e ocorrência nos dias 51,8; 50,6; 53,9; 54,8 e 55,9 do ciclo do feijoeiro, nos tratamentos W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub> e W<sub>5</sub>, respectivamente (Figura 12).

O conhecimento do comportamento da evapotranspiração diária com o potencial matricial da água no solo é de importância quando deseja-se extrapolar a informação da evapotranspiração para solos diferentes do solo da área experimental e sob outras condições de manejo da irrigação. Assim, procurou-se estabelecer uma relação funcional entre a ET e o potencial matricial. A relação encontrada foi de tipo potencial, com valores de ET decrescentes com a redução

do potencial matricial. Essa relação permite obter estimativas da evapotranspiração diária média, em função do potencial matricial médio da água no solo (Figura 14).

Quanto à obtenção dos coeficientes  $K_C$  da cultura, encontram-se na Tabela 41 os valores de evapotranspiração do feijoeiro, evaporação do tanque Classe A, evapotranspiração de referência, coeficientes de umidade do solo  $K_S$  e coeficientes  $K_C$  médios para o feijoeiro, para os diversos períodos. Observa-se que os valores do coeficiente  $K_C$  aumentaram ao longo do ciclo do feijoeiro acompanhando o desenvolvimento da cultura, com um máximo ocorrendo durante a floração e o enchimento de vagens, no período 4, e um decréscimo no período seguinte, correspondente ao enchimento das vagens e início da maturação.

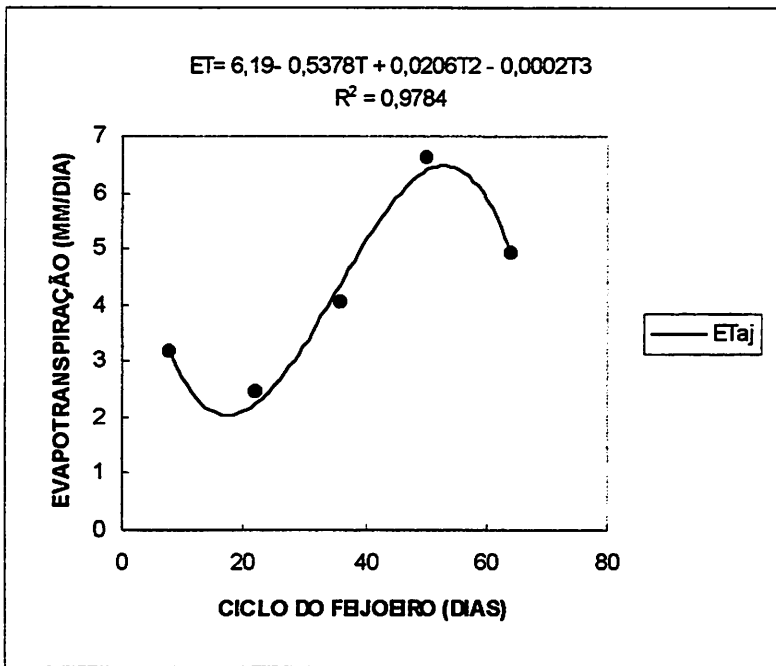


FIGURA 11. Evapotranspiração diária do feijoeiro. Média de todas as lâminas em função do dia do ciclo. UFLA, Lavras-MG, 1994

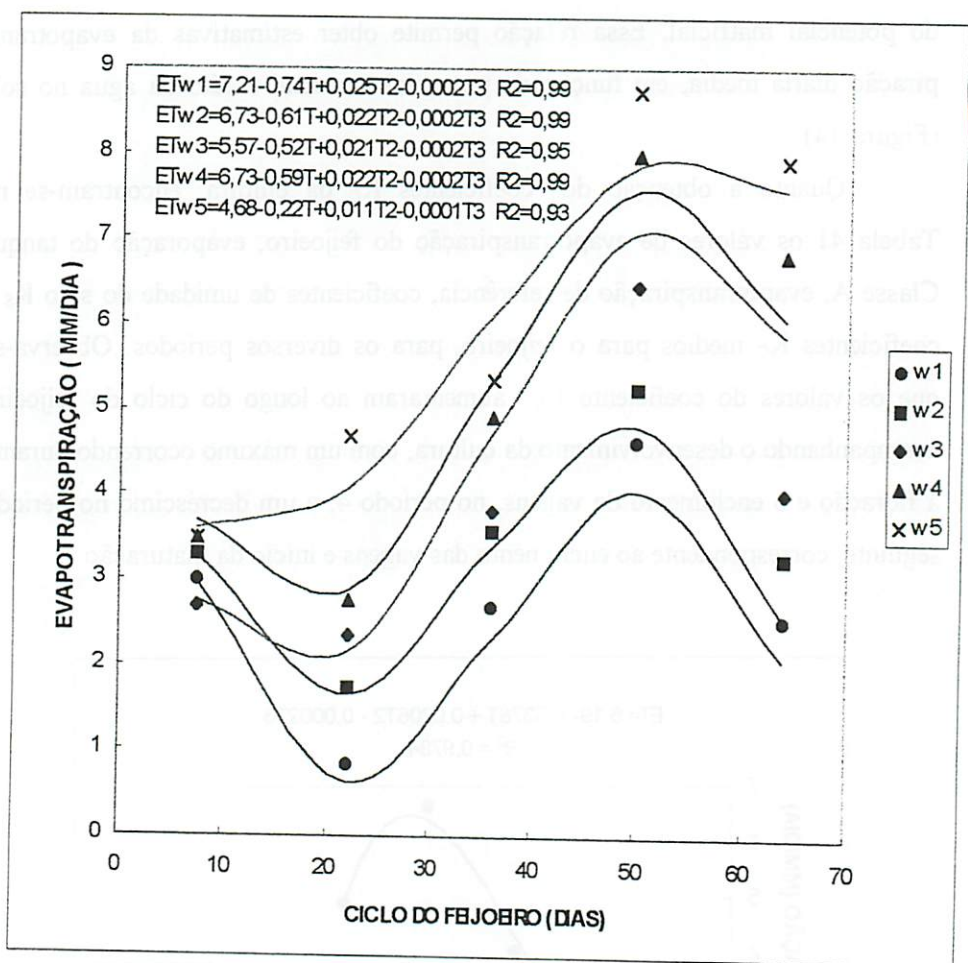


FIGURA 12. Evapotranspiração diária do feijoeiro ao longo do ciclo, para diferentes lâminas de água aplicadas. UFLA, Lavras - MG, 1994

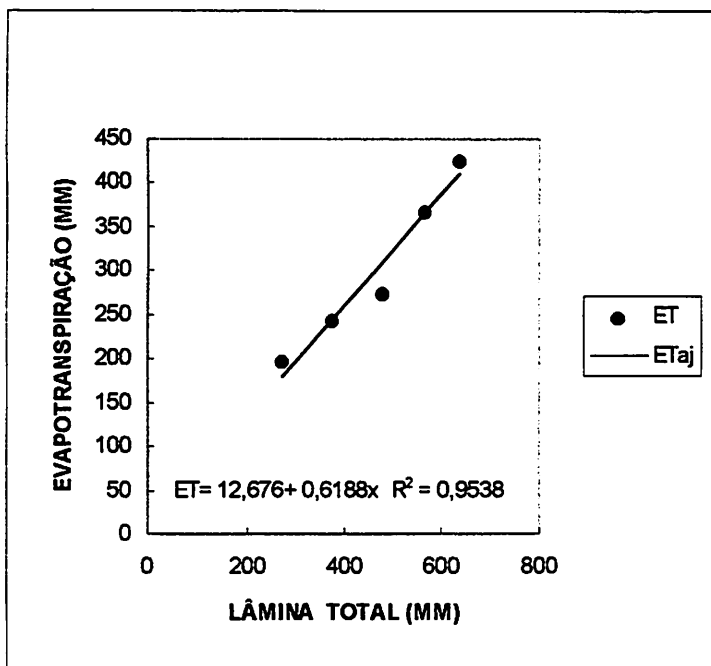


FIGURA 13. Evapotranspiração total do feijoeiro, em função da lâmina total de água aplicada. UFLA, Lavras-MG, 1994

O comportamento do coeficiente  $K_C$ , ao longo do ciclo do feijoeiro, foi comparável àquele apresentado por Doorenbos e Kassam (1994). Os valores médios, contudo, são superiores aos valores apresentados por esses autores para as fases do ciclo e para o período vegetativo total. Isso sugere a conveniência de ajustar os coeficientes da cultura  $K_C$  às condições locais, com o intuito de ajustar o manejo da irrigação às necessidades das culturas.

Foi estabelecida uma relação funcional entre o coeficiente da cultura,  $K_C$ , e o potencial matricial da água no solo. A relação funcional mostrou ser de tipo potencial, com comportamento similar àquele observado para a evapotranspiração diária, ou seja, mostrou-se decrescente com a redução do



potencial matricial (Figura 15). Essa informação permite estimar a evapotranspiração do feijoeiro em função do nível de manejo da irrigação, dado pelo potencial matricial, quando dispõe-se de dados de evapotranspiração de referência, obtidos a partir de dados de evaporação do tanque Classe A ou por outro método.

A avaliação da relação entre a evapotranspiração total com o potencial matricial é apresentada na Figura 16. A evapotranspiração mostrou uma relação quadrática com o potencial matricial, apresentando tendência decrescente com a redução do potencial matricial.

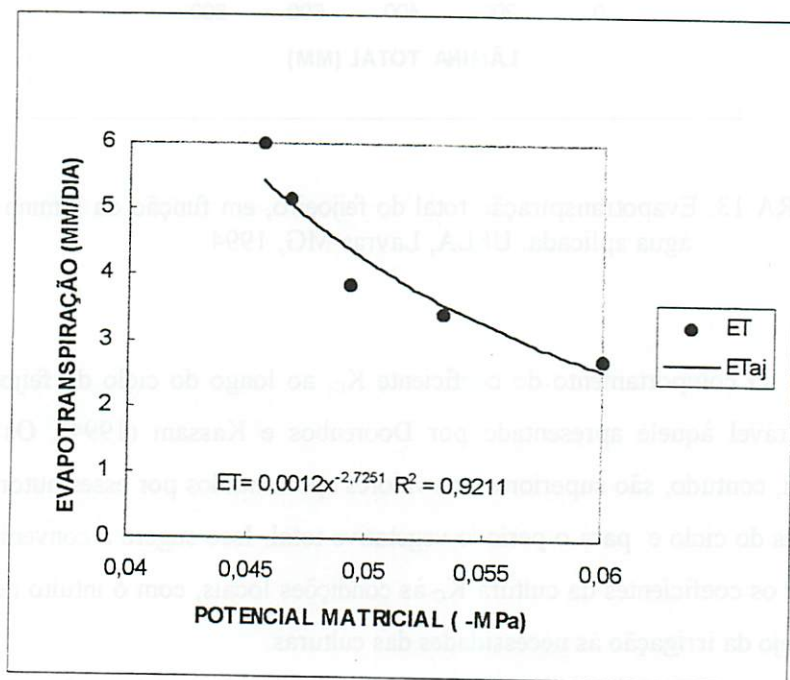


FIGURA 14. Evapotranspiração diária média, em função do potencial matricial médio da água do solo. UFLA, Lavras -MG, 1994

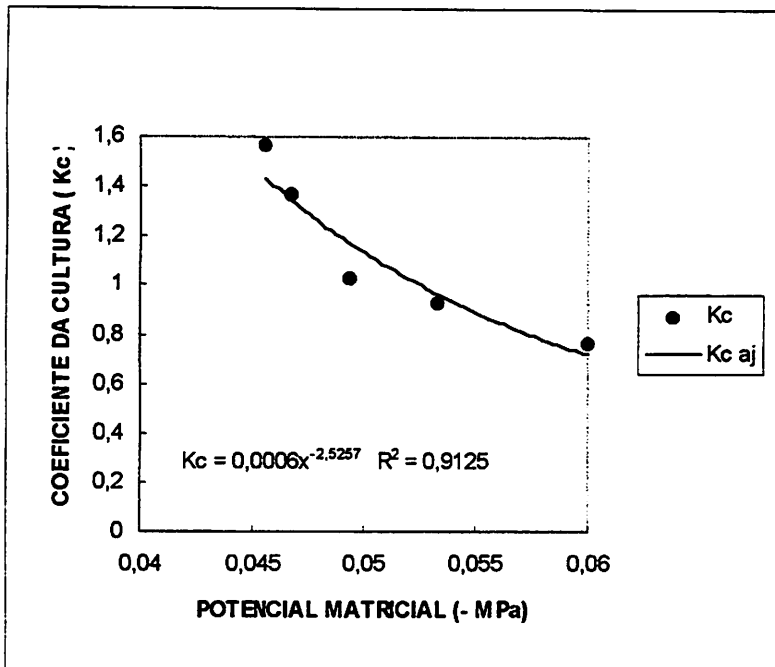


FIGURA 15. Coeficiente  $K_c$  do feijoeiro, em função do potencial matricial médio da água do solo. UFLA, Lavras -MG, 1994

Segundo Doorenbos e Kassam (1994), existe uma relação funcional definida entre a produção das culturas e a evapotranspiração, a qual mostra-se linear e crescente, ou seja, há aumento da produção com o aumento da evapotranspiração. Neste estudo, contudo, a relação observada foi cúbica, ou seja, houve aumento da produção com a lâmina, até atingir um máximo estimado de 2368,9 kg/ha, com uma lâmina de 252 mm de água aplicada e, a partir desse ponto, observou-se um decréscimo da produção com o aumento da evapotranspiração (Figura 17). Esse resultado, acredita-se é devido ao efeito das precipitações pluviais ocorridas durante a fase reprodutiva do feijoeiro, as

quais, nos tratamentos  $W_1$  e  $W_2$ , que correspondem às menores lâminas totais, supriram a cultura com a umidade necessária para um nível de produção adequado. Os outros tratamentos somaram as precipitações pluviais ocorridas às lâminas de água aplicadas, que iam desde a lâmina de água necessária até um excesso de 42,6% sobre o necessário, o qual, supõe-se, tenha contribuído para reforçar os efeitos do excesso de água, mesmo que temporário, sobre a produção, o que explicaria a redução de rendimentos nesses tratamentos. Quanto às cultivares, os valores de evapotranspiração para cada período e o balanço hídrico do período total estão apresentados nas Tabelas 42 e 43.

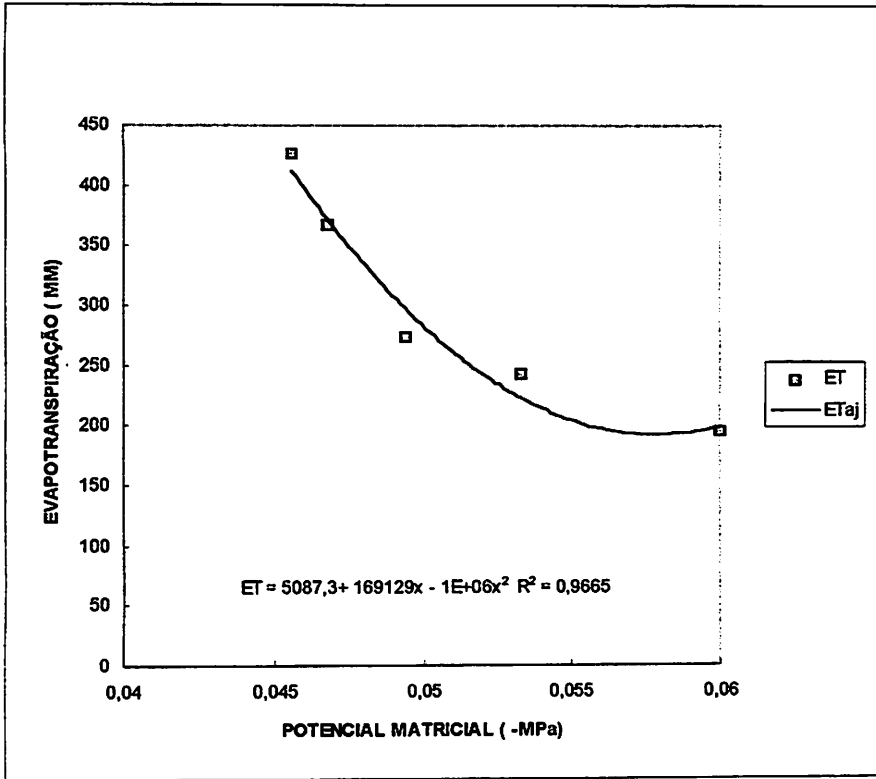


FIGURA 16. Evapotranspiração total do feijoeiro em função do potencial matricial médio da água no solo. UFLA, Lavras-MG, 1994

TABELA 41. Evapotranspiração do feijoeiro (ET), média das lâminas de água, evaporação do tanque Classe A ( $E_v$ ), ET de referência ( $ET_o$ ), coeficiente de umidade do solo  $K_s$  e coeficiente  $K_C$  médio da cultura para diversos períodos de tempo. UFLA, Lavras-MG, 1994

Data	Período	ET médio	$E_v$	$ET_o$	$K_s$	$K_C$
24/08-08/09	1	47,73	88,90	66,65	0,824	0,87
08/09-22/09	2	34,63	90,40	66,46	0,774	0,67
22/09-06/10	3	56,96	108,80	80,62	0,762	0,93
06/10-20/10	4	92,64	72,00	55,68	0,814	2,04
20/10-03/11	5	68,89	73,20	57,71	0,870	1,37
<b>TOTAL</b>		<b>300,84</b>	<b>433,30</b>	<b>327,12</b>		
<b>Média</b>		<b>4,23</b>	<b>6,10</b>	<b>4,60</b>	<b>0,809</b>	<b>1,14</b>

Observa-se que o subperíodo 4 (Tabela 43), correspondendo à floração e início de enchimento das vagens, foi o subperíodo que apresentou maior evapotranspiração, seguido pelo subperíodo 5, que correspondeu ao enchimento das vagens e início da maturação.

A cultivar Roxo mostrou a maior taxa de drenagem durante o período (Tabela 42). Isso, provavelmente, foi devido a um menor desenvolvimento radicular inicial e a um sistema radicular mais superficial e/ou menos denso que as outras cultivares, o que motivou menor evapotranspiração pela menor superfície de absorção radicular. A evapotranspiração total foi de 305,95; 303,46; 287,71 e 306,35 mm durante o ciclo para as cultivares Carioca-MG ( $C_1$ ), Ouro ( $C_2$ ), Roxo ( $C_3$ ) e Ouro Negro ( $C_4$ ), respectivamente. As taxas médias foram de 4,31; 4,27; 4,05 e 4,31 mm/dia, respectivamente (Tabela 42).

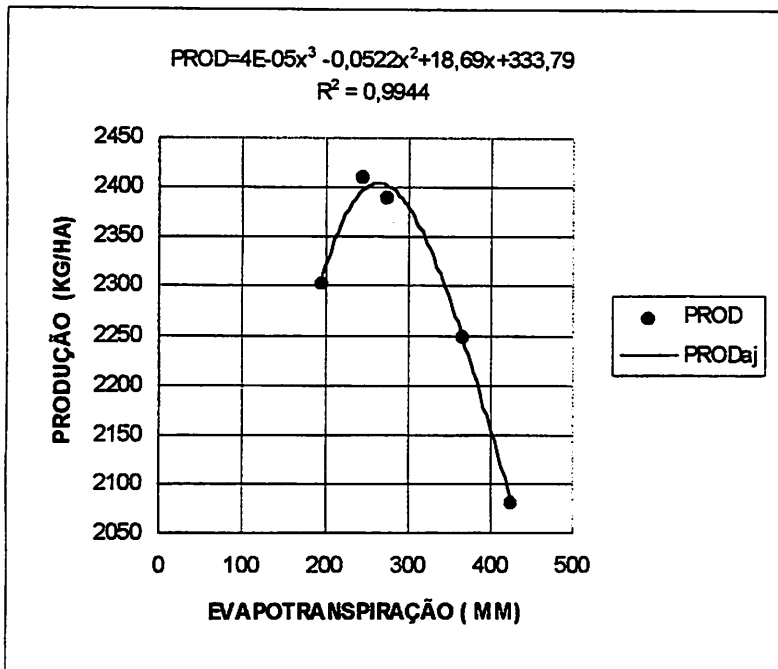


FIGURA 17. Produção do feijoeiro em função da evapotranspiração total ocorrida no ciclo da cultura para diversas lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994

Observa-se que, em relação à evapotranspiração, as cultivares apresentaram comportamento similar, com exceção da cultivar Roxo (C<sub>3</sub>), que apresentou menor ET total e média. Esse resultado, em relação à cultivar Roxo, pode ser melhor analisado, observando-se os valores de evapotranspiração ocorridos nos diversos períodos (Tabela 43). Verifica-se que a evapotranspiração dessa cultivar foi inferior às outras cultivares no subperíodo 1, que correspondeu ao início do desenvolvimento vegetativo; no subperíodo 4, que

correspondeu ao início da floração até o enchimento das vagens, e no subperíodo 5, que correspondeu ao enchimento de vagens até o início da maturação.

TABELA 42. Evapotranspiração e balanço hídrico para as diversas cultivares de feijoeiro durante 71 dias do ciclo do feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

Componente do balanço (mm)	Cultivares				Média
	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
P + I	465,70	465,70	465,70	465,70	465,70
S	0	0	0	0	0
D	-156,75	-157,14	-170,09	-154,45	-159,60
$\Delta A_z$	3,00	5,10	7,90	4,90	5,22
ET	284,69	282,20	266,45	285,09	300,80
ET média (mm/dia)	4,31	4,27	4,05	4,31	4,23

TABELA 43. Evapotranspiração ocorrida nos diversos subperíodos em função das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Data	Período	Cultivares				Média
		C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>	
24/08-08/09	1	49,64	48,90	42,06	46,64	46,81
08/09-22/09	2	31,82	37,95	34,14	36,58	35,12
22/09-06/10	3	60,65	56,94	61,14	61,50	60,06
06/10-20/10	4	91,91	92,45	89,49	93,92	91,94
20/10-03/11	5	71,93	67,22	60,88	67,71	66,94
<b>TOTAL</b>		<b>305,95</b>	<b>303,46</b>	<b>287,71</b>	<b>306,35</b>	<b>300,86</b>
<b>ET média (mm/dia)</b>		<b>4,31</b>	<b>4,27</b>	<b>4,05</b>	<b>4,31</b>	<b>4,23</b>

O comportamento da evapotranspiração diária, média de todas as cultivares, ao longo do ciclo do feijoeiro, encontra-se na Figura 18. A relação obtida foi de natureza cúbica. O valor máximo estimado de 6,47 mm/dia, correspondeu ao dia 52,5 após a emergência do feijoeiro, ou seja, ao início do enchimento das vagens. O comportamento da evapotranspiração diária ao longo do ciclo, para as diversas cultivares, está na Figura 19. As relações funcionais entre ET diária e o dia do ciclo foi cúbica para todas as cultivares. Os máximos estimados de 6,61; 6,39; 6,30 e 6,59 mm/dia correspondem aos dias 53,4; 52,7; 51,6 e 52,4 após a emergência para as cultivares Carioca-MG, Ouro, Roxo 90 e Ouro Negro, respectivamente.



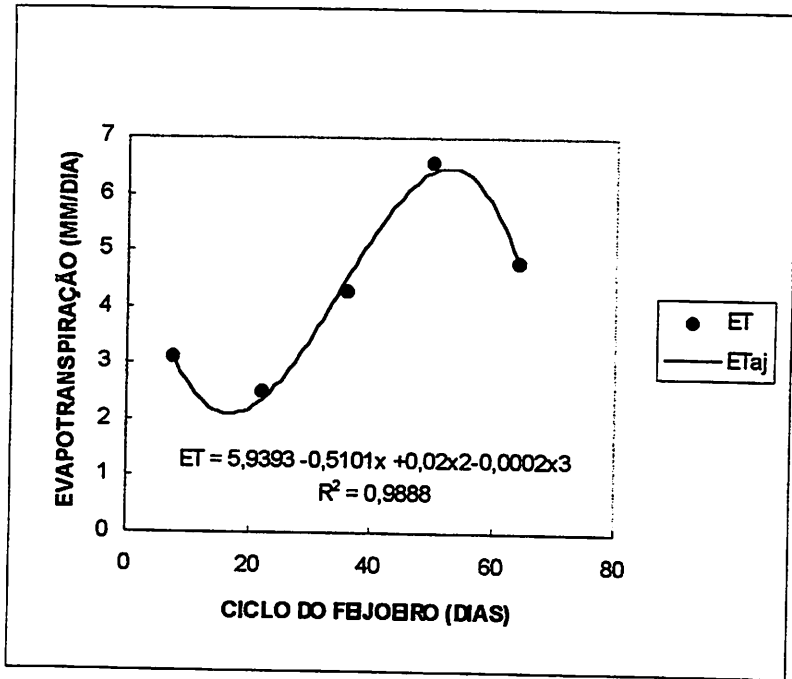


FIGURA 18. Evapotranspiração diária do feijoeiro, média de todas as cultivares, em função do dia do ciclo da cultura. UFLA, Lavras - MG, 1994

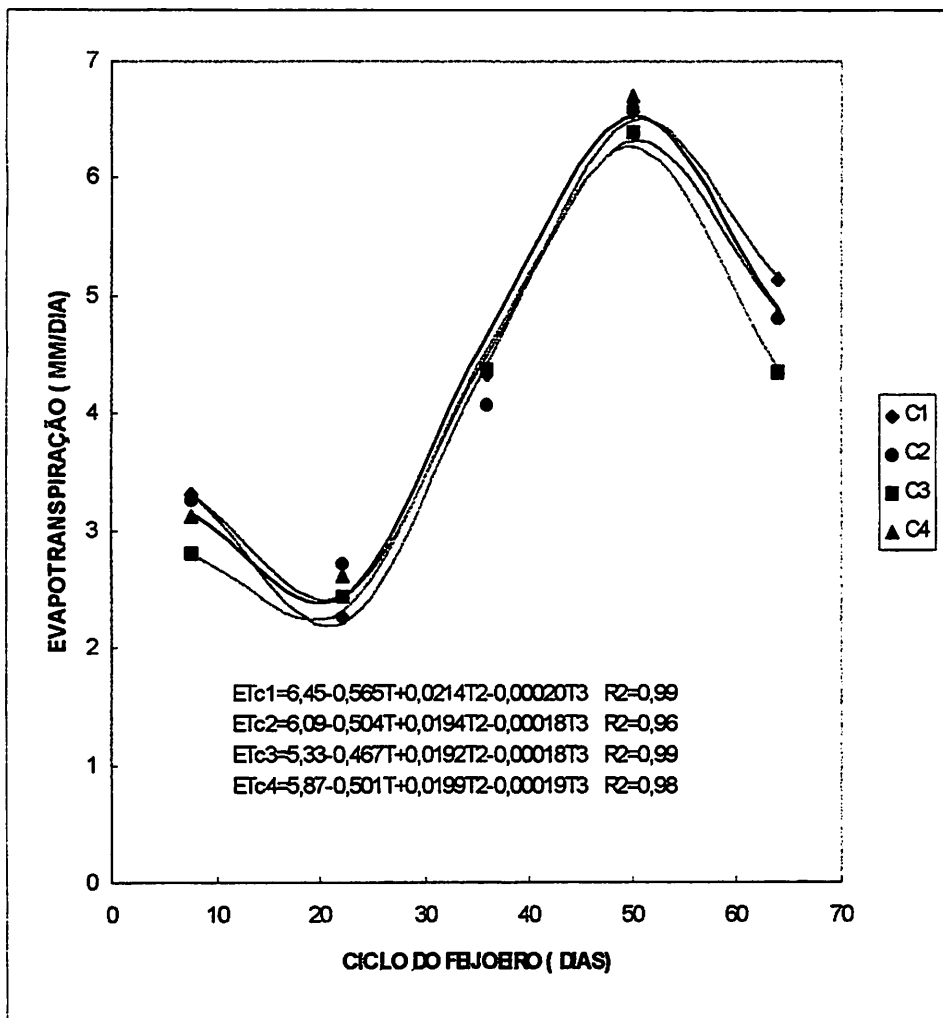


FIGURA 19. Evapotranspiração diária do feijoeiro, para várias cultivares, ao longo do ciclo da cultura. UFLA, Lavras-MG, 1994

Foi estudada a relação existente entre produção e evapotranspiração total para as diversas cultivares. Encontrou-se uma relação entre produção e evapotranspiração, coincidindo, assim, com o comportamento da produção das culturas com respeito à evapotranspiração, sugerido por Doorenbos e Kassam (1994). Verificou-se, também, que a cultivar Roxo 90 (C<sub>3</sub>), a qual apresentou o menor valor de evapotranspiração total e média, mostrou também o menor rendimento (Figura 20).

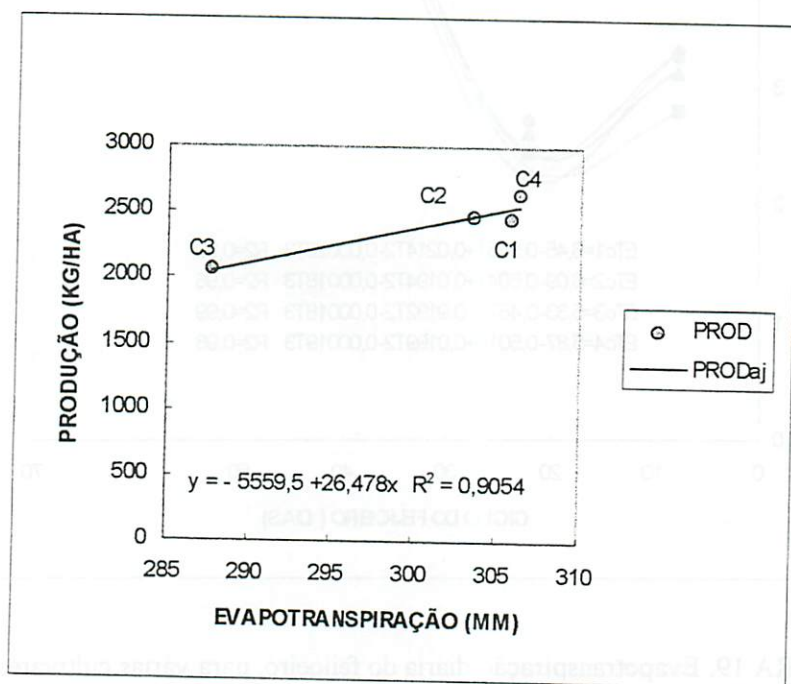


FIGURA 20. Produção do feijoeiro em função da evapotranspiração total para várias cultivares. UFLA, Lavras-MG, 1994

#### 4.4 Experimento 4: produção do feijoeiro e componentes sob a influência de quatro doses de nitrogênio, cinco lâminas de água e quatro cultivares

##### 4.4.1 Estádios fenológicos

Nas Figuras 21 e 22, são apresentados os estádios fenológicos da cultura e sua duração, em função dos tratamentos utilizados.

Foi observado que a floração iniciou-se mais cedo nos tratamentos com adubação nitrogenada (Figura 21), sendo que a floração mais precoce ocorreu na dose  $N_3$  (120 kg/ha de N), tratamento  $N_3C_4$ .

Em relação às lâminas de água (Figura 22), constatou-se que, em média, os tratamentos  $W_2$  e  $W_3$  (433 e 536 mm de água) foram os que apresentaram maior precocidade na floração. Observou-se, também, que as lâminas maiores provocaram um atraso no início da floração, concordando com Frizzone (1986). Com as lâminas menores, observou-se maior precocidade, concordando com Carvalho (1992), e contrariando os resultados apresentados por Frizzone (1986) e Felipe (1991).

Quanto às cultivares, a Ouro Negro ( $C_4$ ) foi a mais precoce no início da floração, e a Roxo ( $C_3$ ) foi a mais tardia.

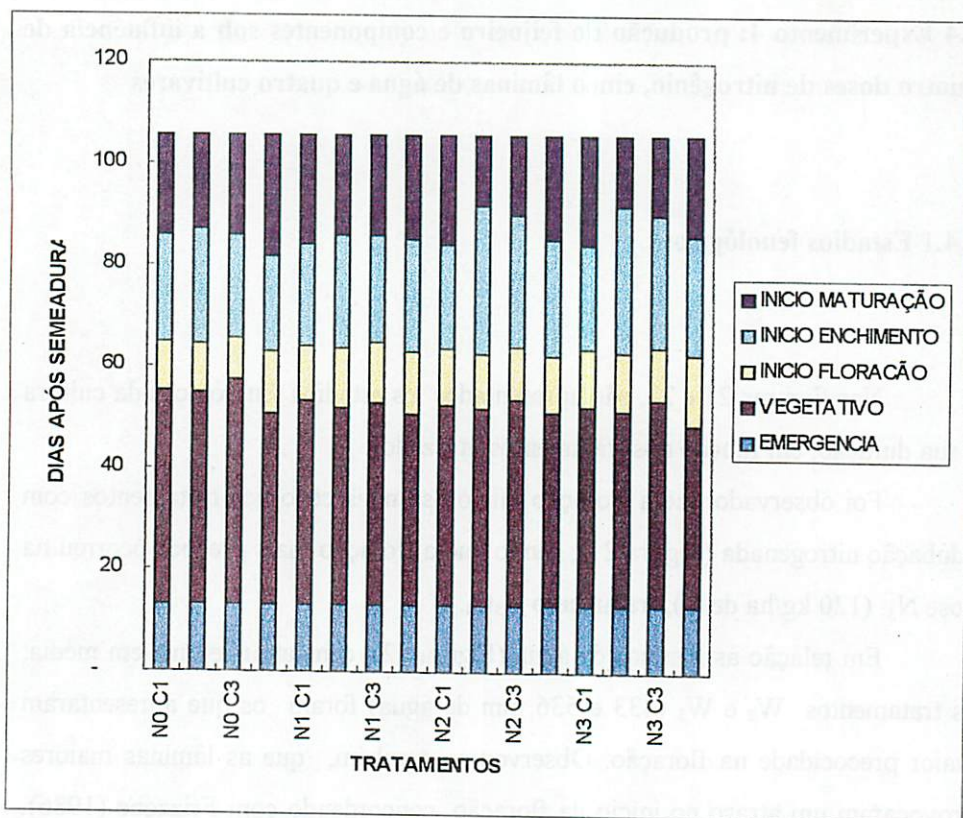


FIGURA 21. Estádios fenológicos do feijoeiro e sua duração, em função das doses de nitrogênio e das cultivares. UFLA, Lavras - MG, 1994

O estágio mais longo observado foi o que vai da emergência ao início da floração, com 40 dias, em média, similar àquele obtido em alguns tratamentos por Felipe (1991) e Frizzone (1986).

A seguir, o estágio de enchimento de vagens apresentou, em média, uma duração de 23 dias, inferior, portanto, aos valores apresentados por Frizzone (1986) de 27 dias, Felipe (1991) de 26 dias e Carvalho (1992) de 25 dias. Essa redução no período de enchimento de vagens pode ser atribuída às maiores

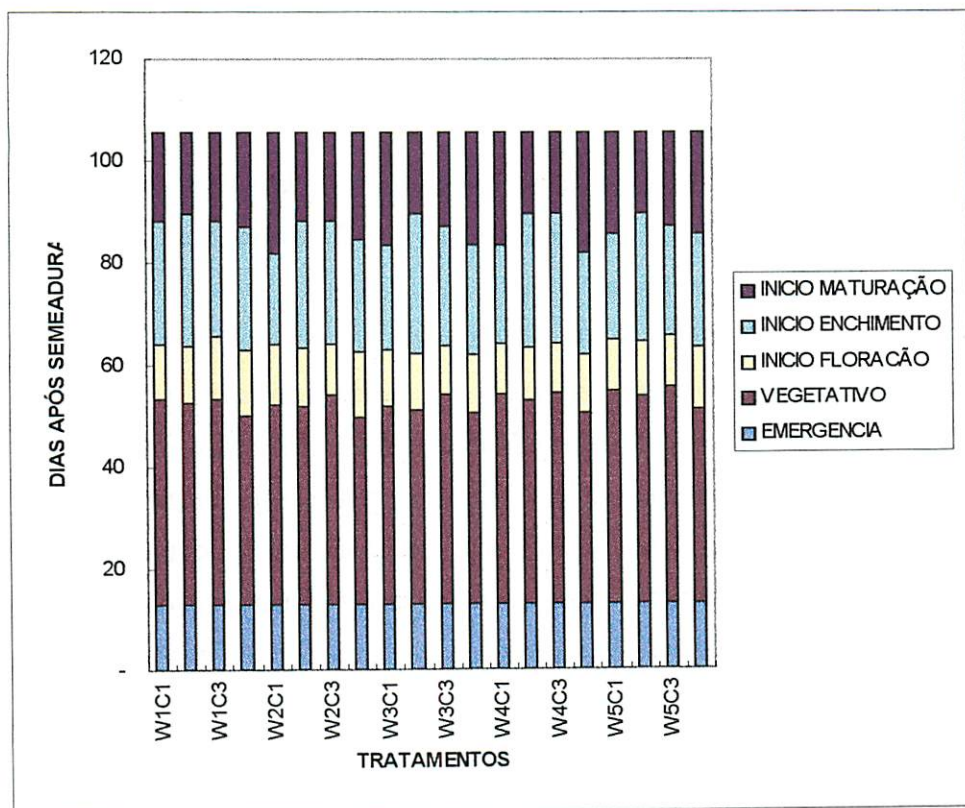


FIGURA 22. Estádios fenológicos do feijoeiro e sua duração, em função das lâminas de água e das cultivares. UFLA, Lavras - MG, 1994

maiores temperaturas observadas no período em relação às dos outros trabalhos.

As maiores doses de nitrogênio proporcionaram ciclos da cultura mais longos, observando-se atraso no início da maturação. O comportamento da menor lâmina de água quanto à maturação, neste estudo, foi de atraso no início desta, concordando, assim, com os resultados obtidos por Azevedo (1984).

#### 4.4.2 Stand final

Os valores médios de stand final em função das doses de nitrogênio encontram-se na Tabela 44, e nas Tabelas 01C a 03C, dos Anexos, encontra-se o resumo da análise de variância.

O menor stand foi obtido no tratamento  $N_0$  sem adubo nitrogenado. A aplicação de nitrogênio mostrou-se favorável para este parâmetro, conforme pode ser observado na Tabela 46. Segundo Moraes (1988) e Oliveira e Thung (1988), o nitrogênio é importante para os desenvolvimentos radicular e da parte aérea do feijoeiro. Assim, uma deficiência deste nutriente, como aquela do tratamento  $N_0$ , afetará o desenvolvimento da planta e, portanto, poderá comprometer o stand.

Os valores médios de stand final, em função das lâminas de água, encontram-se também na Tabela 46. As maiores populações foram obtidas nos tratamentos  $W_2$  e  $W_3$ , que corresponderam às lâminas de água médias. Os menores valores foram observados nos tratamentos extremos, sendo eles o  $W_1$ , correspondendo a lâmina de água deficitária, e o  $W_4$  e  $W_5$ , que receberam lâmina de água em excesso. O efeito da água sobre o crescimento e desenvolvimento vegetal tem sido salientado por diversos autores (Slatyer, 1967; Hsiao, 1973; White e Izquierdo, 1991), sendo que a deficiência ou o excesso dessa, provocará estresse no feijoeiro, afetando processos fisiológicos importantes. Estes efeitos somados traduzem-se em redução do crescimento e desenvolvimento do feijoeiro. Assim, as reduções de stand nos tratamentos extremos podem ser consideradas como uma resposta do feijoeiro à condição de estresse hídrico a que esteve submetido nesses tratamentos.

O desdobramento da interação dose de nitrogênio x lâmina de água, para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água, encontra-se na

Tabela 02C do Apêndice. Observa-se que o efeito do nitrogênio no stand final foi significativo dentro da lâmina de água  $W_1$  (baixa) e dentro das lâminas de água  $W_4$  e  $W_5$  (elevadas).

A regressão do stand final para efeito das doses de nitrogênio dentro das lâminas de água mostra que a resposta do feijoeiro foi quadrática dentro da lâmina  $W_1$ , com um máximo estimado de 26,6 plantas/m<sup>2</sup> para uma dose de 91,5 kg/ha de N, e linear dentro das lâminas  $W_4$  e  $W_5$ , com acréscimos de 0,024 e 0,027 plantas/m<sup>2</sup> por cada kg de N aplicado. O efeito do nitrogênio dentro das lâminas  $W_2$  e  $W_3$  não foi significativo ( Figura 23).

O desdobramento da interação dose de nitrogênio x lâmina de água, para efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio, encontra-se na Tabela 03C no Apêndice. Observa-se que este foi significativo para as lâminas de água dentro da dose  $N_0$  e  $N_1$ , que correspondem aos tratamentos com menor disponibilidade de nitrogênio.

Os valores médios de stand para lâminas de água dentro das doses de nitrogênio são apresentados na Tabela 44. Observa-se que o efeito das lâminas de água foi mais notório nas doses baixas de nitrogênio, correspondendo aos tratamentos  $N_0$  e  $N_1$ . Nessas condições, o melhor tratamento foi o da lâmina  $W_3$ , que propiciou maior população de plantas.

A Figura 24 mostra a regressão para lâminas de água dentro das doses de nitrogênio. Observa-se que a resposta foi cúbica dentro da dose  $N_0$ , com um máximo estimado de 26,9 plantas/m<sup>2</sup> com uma lâmina de 466,6 mm de água; e quádrupla dentro da dose  $N_1$ , com um máximo estimado de 26,2 plantas/m<sup>2</sup> para uma lâmina de 491,4 mm de água. Para as doses  $N_2$  e  $N_3$ , não houve efeito significativo das lâminas de água.

Uma análise das diversas combinações de tratamentos mostra que o maior stand, de 27,0 plantas/m<sup>2</sup>, foi obtido no tratamento  $N_1W_3$ , sem, contudo,



diferir de outros tratamentos. O menor stand, de 21,1 plantas/m<sup>2</sup>, foi observado no tratamento N<sub>0</sub>W<sub>1</sub>.

TABELA 44. Valores médios de stand final (plantas/m<sup>2</sup>), em função das doses de nitrogênio e das lâminas de água. UFLA, Lavras -MG, 1994

Lâminas de água	Doses de nitrogênio				Médias
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	
W <sub>1</sub>	21,1	25,1	26,4	26,2	24,7
W <sub>2</sub>	26,0	25,9	26,7	27,3	26,5
W <sub>3</sub>	27,2	27,3	26,0	27,0	26,9
W <sub>4</sub>	22,9	24,2	26,4	25,4	24,8
W <sub>5</sub>	23,4	26,0	26,3	27,0	25,7
Médias	24,1	25,7	26,4	26,6	25,7

Segundo Vieira (1978) e Chagas (1988), a produção do feijoeiro não será afetada substancialmente, se a população de plantas for superior a 200.000 plantas/ha, ou 20 plantas por metro quadrado. Neste estudo, a menor população de plantas observada foi de 21,1 plantas/m<sup>2</sup> (Tabela 46), acima, portanto, do valor considerado crítico.

Os valores médios de stand final, em função das cultivares, encontram-se na Tabela 45. O maior stand foi observado na cultivar Ouro Negro (C<sub>4</sub>) e os menores valores ocorreram nas cultivares Carioca-MG (C<sub>1</sub>) e Ouro (C<sub>2</sub>). Essas diferenças observadas, estima-se, sejam devidas a diferenças varietais quanto a características relacionadas com a tolerância à seca, como enraizamento,

densidade radicular e condutância radicular (Ludlow e Muchow, 1990) e com resistência ao excesso de umidade e má aeração, haja vista que a emergência foi uniforme.

TABELA 45. Valores médios de stand final (plantas/m<sup>2</sup>), em função das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Cultivares	Médias
C <sub>1</sub> - Carioca MG	24,9 B <sup>(1)</sup>
C <sub>2</sub> - Ouro	25,3 B
C <sub>3</sub> - Roxo 90	25,9 AB
C <sub>4</sub> - Ouro Negro	26,6 A
Médias	25,7

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

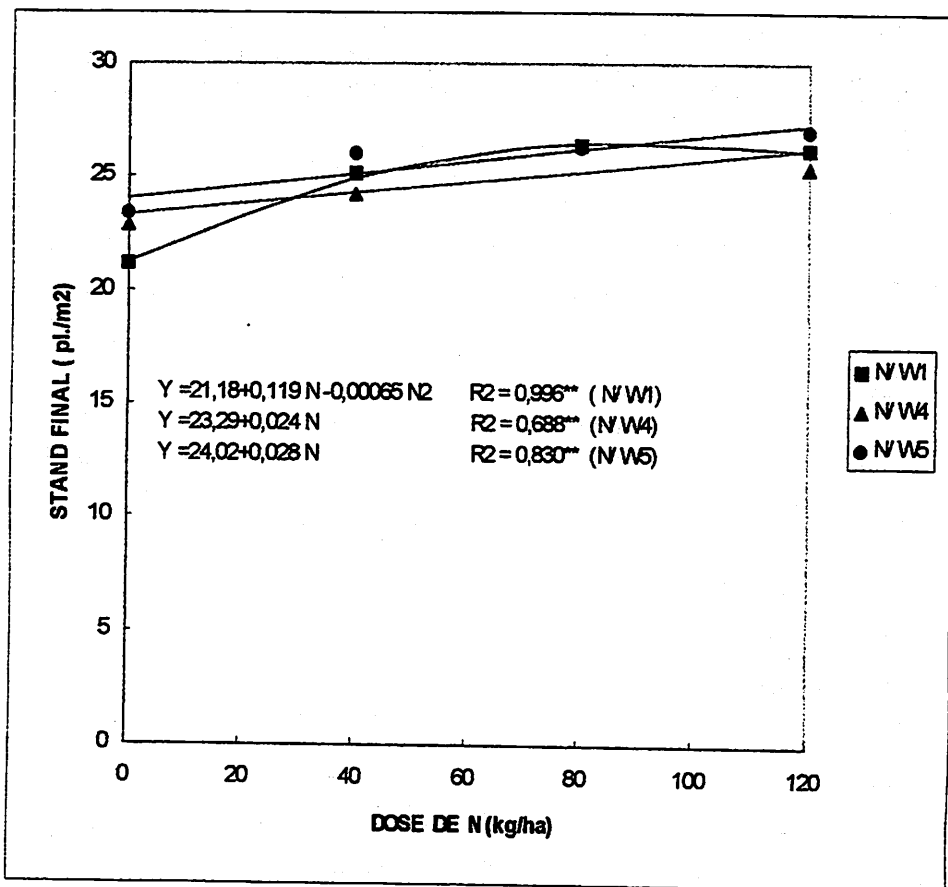


FIGURA 23. Stand final em função das doses de nitrogênio dentro das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994

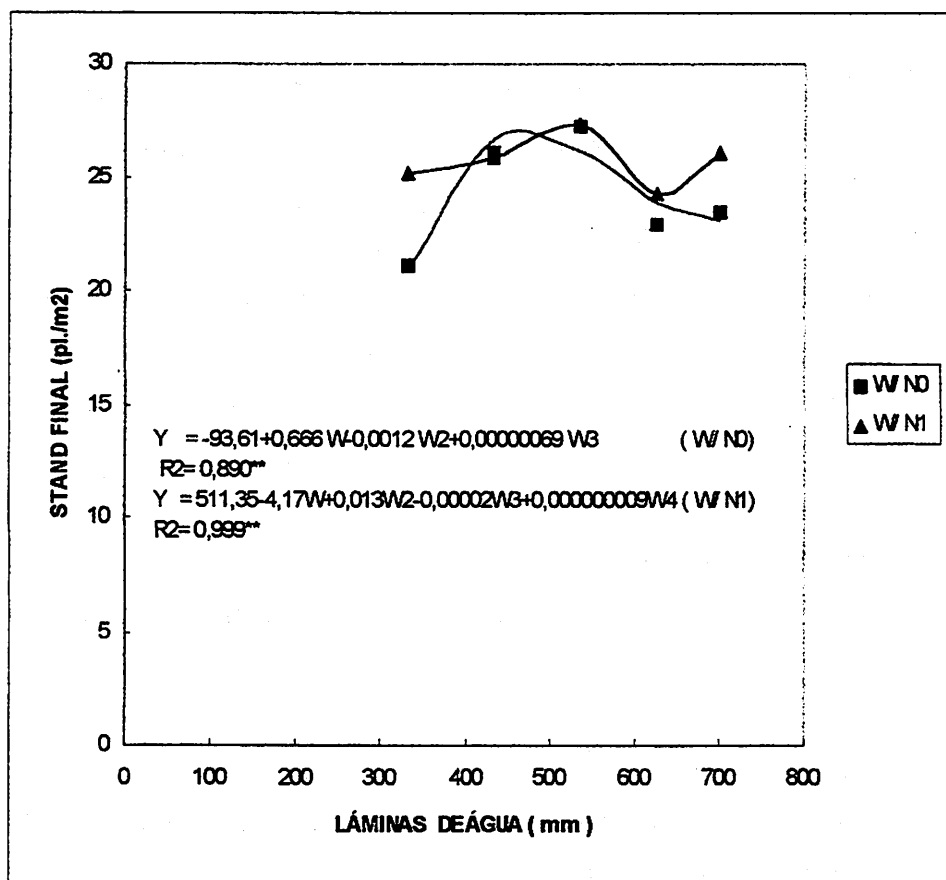


FIGURA 24. Stand final em função das lâminas de água dentro das doses de nitrogênio. UFLA, Lavras-MG, 1994

#### 4.4.3 Rendimento de grãos

O resumo da análise de variância, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro, encontra-se na Tabela 04C dos Anexos. Observa-se que houve efeito significativo das doses de nitrogênio, das lâminas de

água e das cultivares ao nível de 1% de probabilidade. A interação dose de nitrogênio x lâmina de água não foi significativa, concordando com os resultados apresentados por Azevedo (1984), relativos a um estudo de efeitos de lâminas de água e doses de nitrogênio sobre o feijoeiro, conduzido em Piracicaba, SP, e com Carvalho (1992), que realizou um estudo de efeitos de lâminas de água e formas de parcelamento do nitrogênio sobre o feijoeiro. Difere, contudo, dos resultados obtidos por Frizzone (1986) em Ilha Solteira, SP, que conduziu um estudo de lâminas de água e doses de nitrogênio em feijoeiro, e por Felipe (1991), em Lavras, MG, trabalhando com lâminas de água e épocas de parcelamento do nitrogênio, os quais encontraram efeito significativo para a interação dose de nitrogênio x lâmina de água.

Os valores médios de rendimento de grãos, em função das doses de nitrogênio, encontram-se na Tabela 46. O maior rendimento, 2286 kg/ha, foi obtido na dose N<sub>3</sub>, correspondendo a 120 kg/ha de nitrogênio, e o menor valor, de 490 kg/ha, foi observado na dose N<sub>0</sub>, correspondendo à dose zero de adubo nitrogenado. O efeito favorável do nitrogênio pode ser constatado pelos acréscimos de produção que propiciou quase 4 vezes mais, comparando-se ao tratamento não adubado. Nesse trabalho, os ganhos de produção obtidos foram superiores àqueles obtidos por Frizzone (1986), Azevedo (1984), Felipe (1991) e Carvalho (1992), e foram comparáveis àqueles obtidos por Meirelles, Libardi e Reichardt (1980).

Na Figura 25, verifica-se o efeito das doses de nitrogênio sobre o rendimento. Observa-se que houve acréscimos no rendimento de grãos com a aplicação de doses crescentes de nitrogênio, segundo uma relação linear, demonstrando que um eventual aumento da dose de nitrogênio permite um aumento da produção, ou seja, que o potencial de produção não foi obtido por limitação do nitrogênio empregado. Essa relação linear estima acréscimos de

14,805 kg/ha no rendimento por cada kg de nitrogênio aplicado. Esses resultados discordam daqueles obtidos por Frizzone (1986) e Azevedo (1984), que verificaram resposta quadrática ao efeito do nitrogênio. Todavia, há trabalhos que mostram haver variação na resposta do feijoeiro à adubação nitrogenada (Azevedo, 1984).

TABELA 46. Valores médios de rendimento de grãos (kg/ha) em função das doses de nitrogênio e das lâminas de água. UFLA, Lavras- MG, 1994

Lâminas de água	Doses de nitrogênio				Médias
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	
W <sub>1</sub>	535	1231	1783	2302	1463
W <sub>2</sub>	730	1385	1978	2411	1626
W <sub>3</sub>	508	1160	1758	2389	1454
W <sub>4</sub>	376	961	1448	2249	1258
W <sub>5</sub>	300	1049	1482	2081	1228
Médias	490	1157	1690	2286	1406

Os valores médios de rendimento de grãos, em função das lâminas de água, encontram-se na Tabela 46. O maior rendimento, 1626 kg/ha, foi obtido com o tratamento W<sub>2</sub>, correspondendo a uma lâmina de 433 mm de água, e o menor, 1228 kg/ha, foi obtido com o tratamento W<sub>5</sub>, que correspondeu a uma lâmina de 701 mm de água.

O rendimento correspondente à lâmina  $W_1$  (331 mm), a menor utilizada neste trabalho, foi apenas 10% menor que o máximo obtido. Essa lâmina, contudo, foi superior às lâminas aplicadas por Felipe (1991). Esse fato, aliado à ocorrência de chuvas durante a floração e enchimento das vagens, períodos em que o feijoeiro é muito sensível à deficiência de água no solo (Robins e Domingo, 1956; Magalhães, Millar e Choudhury, 1979; Garrido, Purcino e Lima, 1979), explicam o rendimento obtido nesse tratamento.

A redução de rendimento observada nos tratamentos  $W_3$  (536 mm),  $W_4$  (627 mm) e  $W_5$  (701 mm) está de acordo com os resultados obtidos por Magalhães, Millar e Choudhury (1979), Azevedo (1984), Frizzone (1986) e Carvalho (1992), constatando que o feijoeiro é uma cultura sensível ao excesso de umidade do solo que, entre outros aspectos, reduz a aeração deste.

A equação de regressão para rendimento de grãos, em função das lâminas de água, pode ser observada na Figura 25. A variação de rendimento ocorreu segundo um polinômio de terceiro grau ou cúbico. O rendimento máximo estimado segundo esta função será de 1630,7 kg/ha, com uma lâmina de 417,8 mm de água. Esse valor é inferior àquele encontrado por Frizzone (1986), 1871 kg/ha, com uma lâmina de 533 mm de água, e por Carvalho (1992), que encontrou um rendimento máximo estimado de 2112 kg/ha, com uma lâmina de 360 mm de água. O valor, contudo, é superior àquele encontrado por Azevedo (1984), 905 kg/ha, para uma lâmina de 394 mm de água, e por Felipe (1991), que encontrou um rendimento máximo estimado de 1436 kg/ha, para uma lâmina de 312 mm de água.

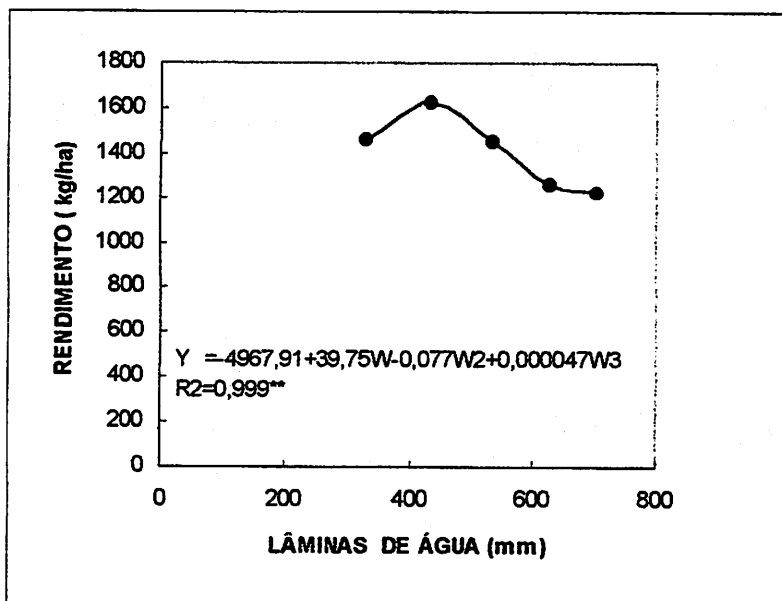
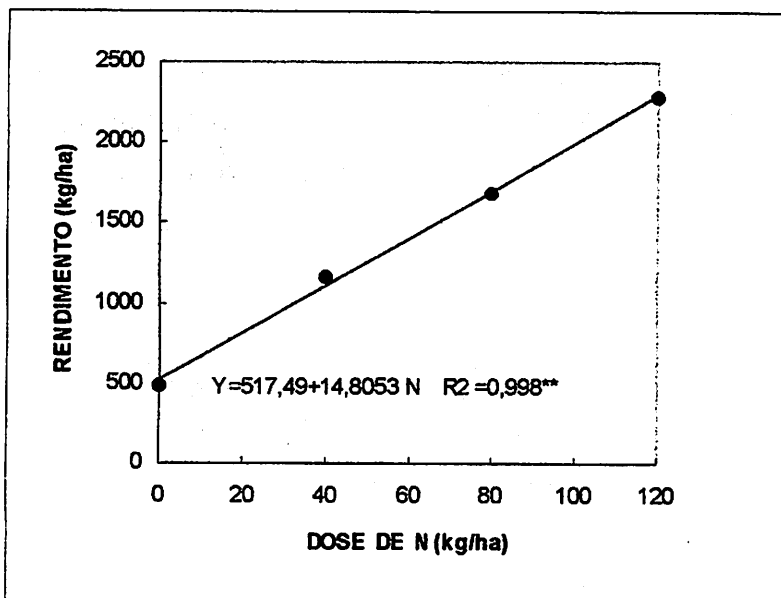


FIGURA 25. Rendimento de grãos em função das doses de nitrogênio e das lâminas de água. UFLA, Lavras- MG, 1994



Observa-se na Tabela 46, que os tratamentos  $N_3W_2$  e  $N_3W_3$  apresentaram os maiores rendimentos, de 2411 kg/ha a 2389 kg/ha, respectivamente. Esses resultados são comparáveis àqueles obtidos por Frizzone (1986). Os menores rendimentos, de 376 kg/ha e 300 kg/ha, ocorreram nos tratamentos  $N_0W_4$  e  $N_0W_5$ , respectivamente. Quando é comparado o rendimento correspondente à menor lâmina de água, 1463 kg/ha, com aquele obtido na dose zero de nitrogênio, 490 kg/ha, conclui-se que o fator limitante neste trabalho foi o nitrogênio. Todavia, para lâminas de água menores que as utilizadas neste estudo, o resultado poderá ser diferente, conforme mostraram, entre outros, Felipe (1991) e Frizzone (1986).

Os valores médios de rendimento de grãos, em função das cultivares de feijoeiro, encontram-se na Tabela 47. O maior rendimento, 1558 kg/ha, foi obtido com a cultivar Ouro Negro ( $C_4$ ) e o menor, 1228 kg/ha, foi obtido com a cultivar Roxo ( $C_3$ ). A maior produção média da cultivar Ouro Negro atribui-se à maior eficiência desta no aproveitamento do nitrogênio e ao fato de ter sido a cultivar mais responsiva às doses crescentes deste nutriente.

TABELA 47. Valores médios de rendimento de grãos (kg/ha) em função das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG-1994

Cultivares	Médias
C <sub>1</sub> - Carioca MG	1403 B <sup>(1)</sup>
C <sub>2</sub> - Ouro	1430 AB
C <sub>3</sub> - Roxo 90	1232 C
C <sub>4</sub> -Ouro Negro	1558 A
Médias	1406

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

Essa cultivar mostrou-se, também, como a mais produtiva sob disponibilidade adequada de água no solo e como a mais eficiente em produção sob condição de má aeração do solo por excesso de umidade (Tabela 47).

#### 4.4.4 Número de grãos por vagem

Na Tabela 05C dos Anexos, encontra-se o resumo da análise de variância para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. Observa-se que houve efeito significativo do nitrogênio, lâminas de água e das cultivares ao nível de 1% de probabilidades.

Os valores médios de número de grãos por vagem, em função das doses de nitrogênio, encontram-se na Tabela 48. Observa-se que houve aumento do

número de grãos por vagem com o aumento da dose de nitrogênio. O menor valor, 4,2 grãos/vagem, ocorreu no tratamento  $N_0$ , sem adubo nitrogenado.

A equação de regressão para efeito das doses de nitrogênio sobre o número de grãos por vagens encontra-se na Figura 26. Observa-se que a resposta foi de natureza quadrática com um máximo estimado de 4,9 grãos/ vagem, para uma dose de 136,1 kg/ha de N, valor que encontra-se fora dos limites deste estudo.

O efeito das lâminas de água sobre o número de grãos por vagem encontra-se na Tabela 48, que apresenta os valores médios para os diversos tratamentos. Observou-se efeito positivo das lâminas de água sobre este parâmetro, havendo aumento do número de grãos por vagens com o aumento da lâmina de água.

A Figura 26 mostra a equação de regressão para o efeito das lâminas de água sobre essa característica. Observa-se que a resposta foi linear, com acréscimos de 0,0011 grãos por vagem por cada mm de água aplicado.

O comportamento dessa característica com as doses de nitrogênio e as lâminas de água concorda com o comportamento observado por Frizzone (1986) e por Carvalho (1992). Entretanto, difere dos resultados encontrados por Azevedo (1984) e Felipe (1991), os quais só encontraram significância para o efeito das lâminas de água.

Os valores médios de grãos por vagem para as diversas cultivares de feijoeiro encontram-se na Tabela 49. O maior número de grãos por vagens ocorreu na cultivar Carioca - MG ( $C_1$ ), com 5,2 grãos/vagem, e o menor, na cultivar Ouro Negro ( $C_4$ ), com 4,1 grãos/vagens.

TABELA 48. Valores médios de número de grãos por vagem, em função das doses de nitrogênio e das lâminas de água. UFLA, Lavras- MG, 1994

Lâminas de água	Doses de nitrogênio				Médias
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	
W <sub>1</sub>	4,2	4,2	4,5	4,4	4,3
W <sub>2</sub>	4,2	4,4	4,6	5,0	4,5
W <sub>3</sub>	4,0	4,6	5,0	5,1	4,7
W <sub>4</sub>	4,3	4,7	5,0	5,1	4,8
W <sub>5</sub>	4,1	4,8	5,0	5,0	4,7
Médias	4,2	4,5	4,8	4,9	4,6

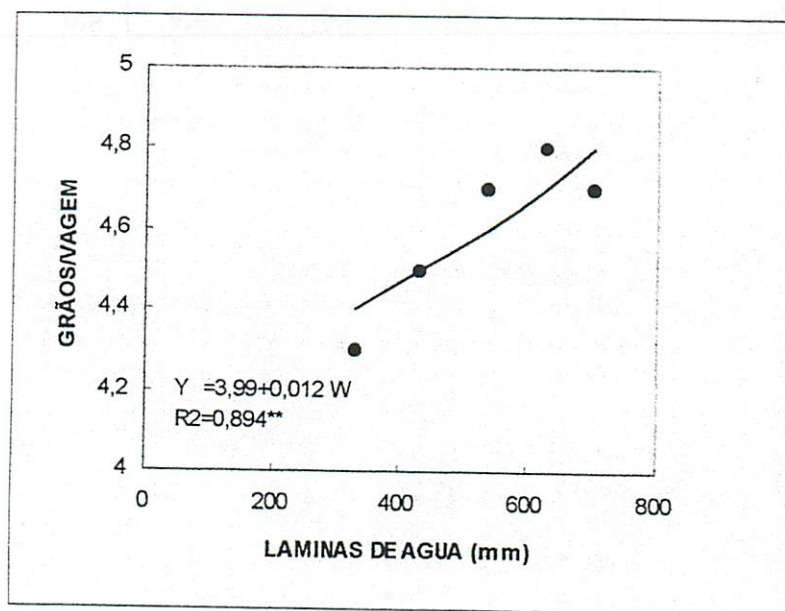
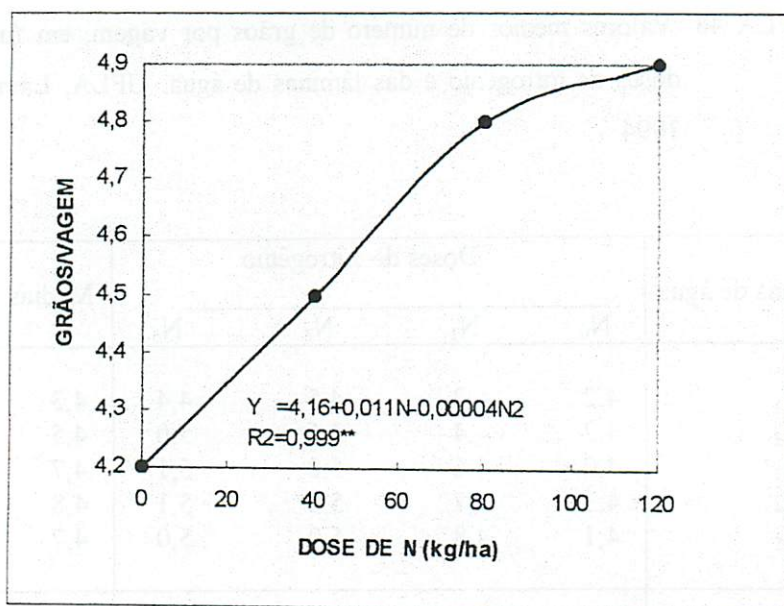


FIGURA 26. Número de grãos por vagem, em função das doses de nitrogênio e das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994

TABELA 49. Valores médios de número de grãos por vagens em função das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Cultivares	Médias
C <sub>1</sub> - Carioca MG	5,2 A <sup>(1)</sup>
C <sub>2</sub> - Ouro	4,5 B
C <sub>3</sub> - Roxo 90	4,6 B
C <sub>4</sub> - Ouro Negro	4,1 C
Médias	4,6

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

#### 4.4.5 Número de vagens por planta

O resumo da análise de variância para número de vagens por planta, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro, encontra-se nas Tabelas 06C a 08C dos Anexos. O efeito do nitrogênio, lâminas de água e cultivares, bem como da interação, dose de nitrogênio x cultivar foi significativo ao nível de 1% de probabilidade. Os resultados obtidos para doses de nitrogênio e lâminas de água concordam com aqueles encontrados por Frizzone (1986) e por Carvalho (1992), e contrariam os resultados apresentados por Azevedo (1984), que só encontrou efeito significativo para doses de nitrogênio.

Os valores médios de número de vagens por planta, em função das doses de nitrogênio, encontram-se na Tabela 50. Observa-se que o número de vagens por planta aumentou com a dose de nitrogênio.

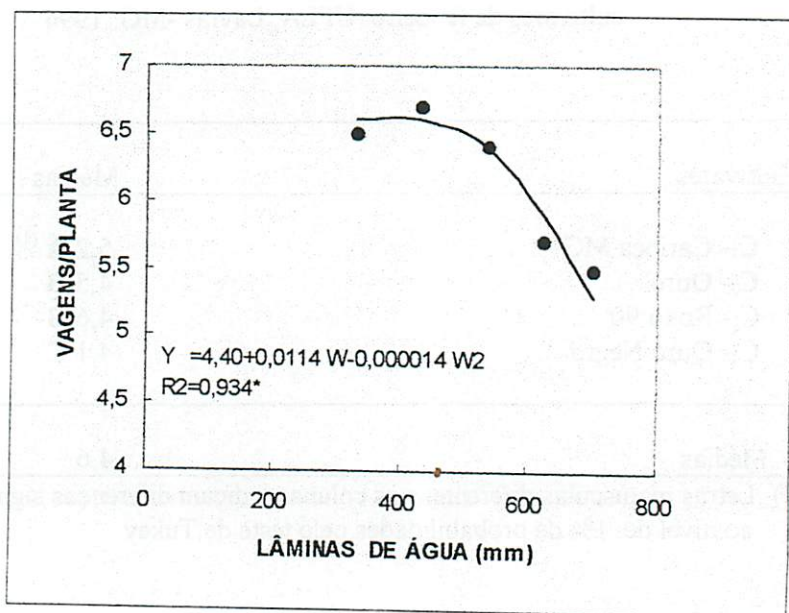


FIGURA 27. Número de vagens por planta em função das doses de nitrogênio e das lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994

A equação de regressão que relaciona lâminas de água e número de vagens por planta mostrou resposta quadrática ao efeito das lâminas de água, com um máximo estimado de 6,6 vagens/planta para uma lâmina de 397,9 mm de água.

Os valores médios de vagens por planta, em função das cultivares, encontram-se na Tabela 50. Os maiores valores corresponderam às cultivares Ouro e Ouro Negro.

O desdobramento da interação dose de nitrogênio x cultivar, para efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar, mostrou haver efeito significativo ao nível de 1% de probabilidades dentro das cultivares (Tabela 07C dos Anexos).

Os valores médios de vagens por planta, em função das doses de nitrogênio e das cultivares, estão apresentados na Tabela 50. Observou-se efeito positivo do nitrogênio sobre o número de vagens por planta em todas as cultivares.

TABELA 50. Valores médios de vagens/planta, em função das doses de nitrogênio e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

Cultivares	Doses de nitrogênio				Médias
	N <sub>0</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	
C <sub>1</sub>	2,8	4,7C	7,2AB	7,2B	5,5
C <sub>2</sub>	3,2	7,2A	8,2A	9,6A	7,1
C <sub>3</sub>	2,6	5,7BC	6,6B	7,9B	5,7
C <sub>4</sub>	3,1	6,7AB	7,6AB	8,3B	6,4
Médias	2,9	6,1	7,4	8,2	6,2

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey



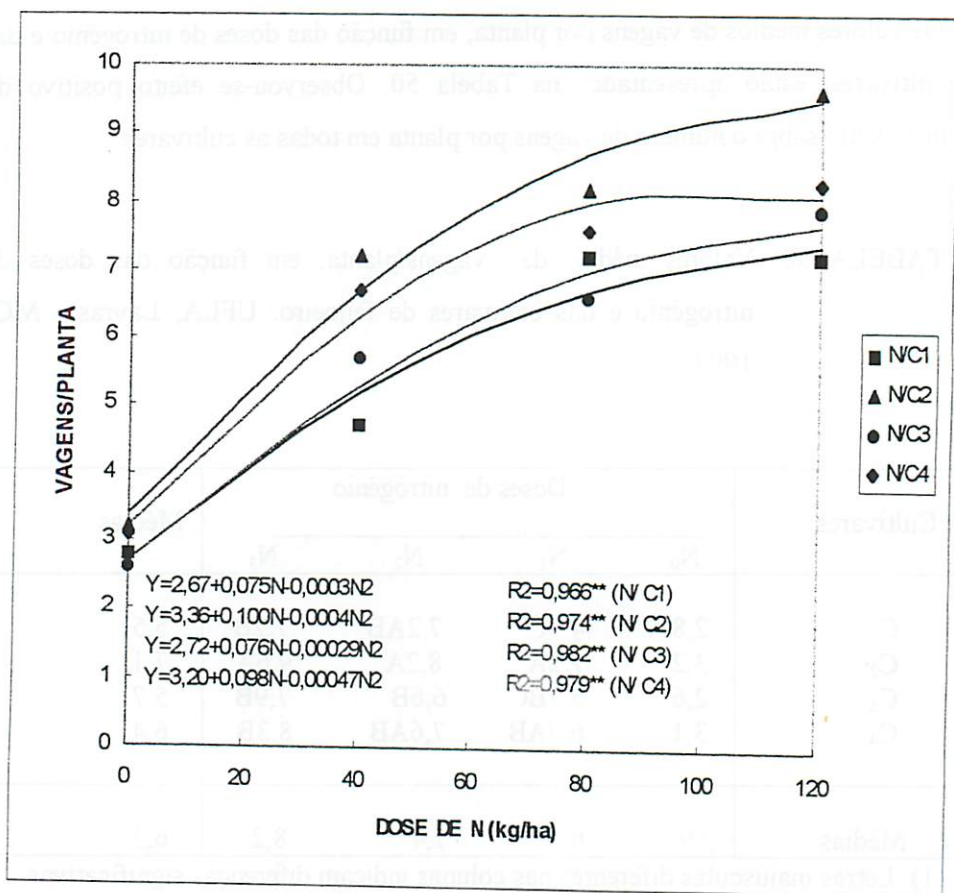


FIGURA 28. Número de vagens por planta, em função das doses de nitrogênio, para quatro cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994

A Figura 28 mostra as equações de regressão para doses de N dentro de cada cultivar. Em todos os casos, a resposta foi quadrática sendo que os máximos estimados foram de 7,4; 9,5; 7,8 e 8,3 vagens/planta, para as doses de 125,2; 122,3; 133,2 e 103,7 kg/ha de N, para as cultivares Carioca-MG, Ouro, Roxo e Ouro Negro, respectivamente. Para as cultivares Carioca-MG, Ouro e Roxo, as doses de N estão fora dos limites deste estudo.

O desdobramento da interação dose de nitrogênio x cultivar para o efeito das cultivares dentro de cada dose, mostrou-se significativo ao nível de 1% de probabilidade para o efeito das cultivares sobre o número de vagens por planta, nos tratamentos com adubo nitrogenado. Para a dose  $N_0$ , sem adubo nitrogenado, não houve efeito significativo (Tabela 08C, dos Anexos).

Os maiores valores ocorreram nos tratamentos  $N_3C_2$  e  $N_3C_4$ , com 9,6 e 8,3 vagens/planta, respectivamente; e são inferiores àqueles apresentados por Azevedo (1984), Frizzone (1986) e Carvalho (1992). Esses valores, contudo, são superiores aos apresentados por Felipe (1991). Os menores valores ocorreram nos tratamentos  $N_0C_3$  e  $N_0C_1$ , com 2,6 e 2,8 vagens/planta, respectivamente.

#### 4.4.6 Peso de 100 grãos

O resumo da análise de variância de peso de 100 grãos, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro, encontra-se na Tabela 09C dos Anexos. Pode ser observado que o efeito do nitrogênio, das lâminas de água e das cultivares, bem como da interação lâmina de água x cultivar foi significativo ao nível de 1% de probabilidade. Os resultados para doses de nitrogênio e lâminas de água são semelhantes aos resultados apresentados por Frizzone (1986) e por Carvalho (1992). Diferem, contudo, dos resultados apresentados por Azevedo (1984) e por Felipe (1991), que encontraram significância na interação dose de nitrogênio x lâminas.

Na Figura 29, verifica-se a equação de regressão para o efeito das doses de N sobre o peso de grãos. Verifica-se, também, que a resposta foi linear, com acréscimos de 0,034 g por cada kg de N aplicado.

O peso de 100 grãos em função das lâminas de água encontra-se na Tabela 51. Constata-se que houve uma diminuição do peso dos grãos com o aumento da lâmina de água.

O efeito das cultivares sobre o peso de grãos pode ser visualizado na Tabela 51. Em geral, o maior peso de 100 grãos ocorreu na cultivar Ouro Negro, e os menores ocorreram nas cultivares Ouro e Roxo.

Na Tabela 10C dos Anexos, encontra-se o desdobramento da interação lâmina de água x cultivar para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar. Esse foi significativo ao nível de 1% de probabilidade para a cultivar

TABELA 51. Valores médios de peso de 100 grãos (g), em função das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras -MG, 1994

Cultivares	Lâminas de água					Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
C <sub>1</sub>	21,0B	20,4B	19,2B	19,8B	19,2B	19,9
C <sub>2</sub>	19,0C	18,6B	17,7B	17,6C	17,4B	18,1
C <sub>3</sub>	19,4BC	19,7B	18,3B	18,3BC	19,5B	18,8
C <sub>4</sub>	25,8A	24,8A	21,2A	21,8A	22,6A	23,3
Médias	21,3	20,9	19,1	19,4	19,4	20,0

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de Tukey

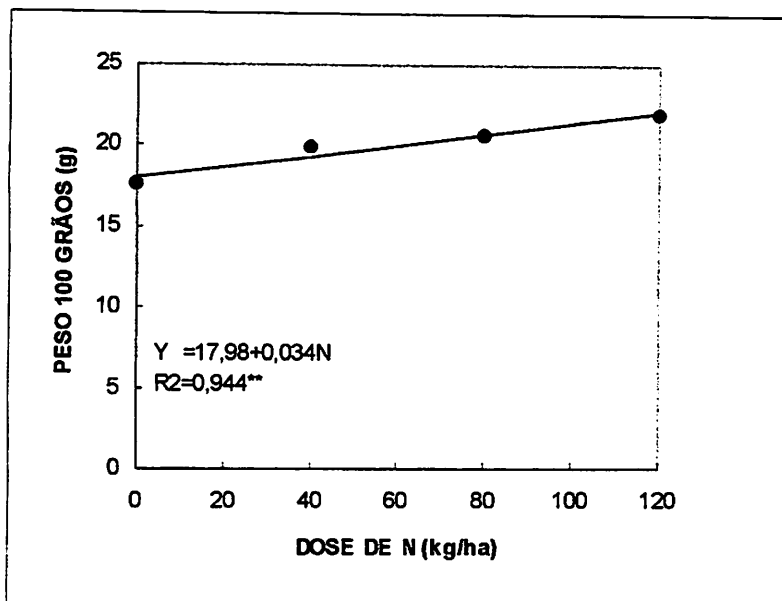


FIGURA 29. Peso de 100 grãos em função das doses de nitrogênio. UFLA, Lavras-MG, 1994

Ouro Negro. Verificou-se que não houve efeito significativo para lâminas de água dentro das outras cultivares.

A Figura 30 mostra que o efeito das lâminas de água dentro das cultivares, sobre o peso de 100 grãos, teve resposta linear, com decréscimos de - 0,004 g por cada mm de água aplicado nas cultivares Carioca-MG e Ouro. Na cultivar Ouro Negro, a resposta foi cúbica, com máximo estimado de 25,9 g para uma lâmina de 322,1 mm de água. Na cultivar Roxo, não houve efeito significativo das lâminas de água.

O desdobramento da interação lâmina de água x cultivar para efeito das cultivares dentro de cada lâmina de água (Tabela 11C dos Anexos), mostra que este foi significativo ao nível de 1% de probabilidade para as cultivares dentro de

todas as lâminas de água. Os valores médios de peso de 100 grãos mostram que a cultivar Ouro Negro foi a que apresentou maior peso de 100 grãos em todas as lâminas (Tabela 51).

Os tratamentos que apresentaram maior peso de 100 grãos foram os tratamentos  $W_1C_4$  e  $W_2C_4$ , com 25,8 e 24,8 g, respectivamente. Os tratamentos que mostraram menor peso de grãos foram o  $W_4C_2$  e o  $W_5C_2$ , com 17,6 e 17,4 g, respectivamente.

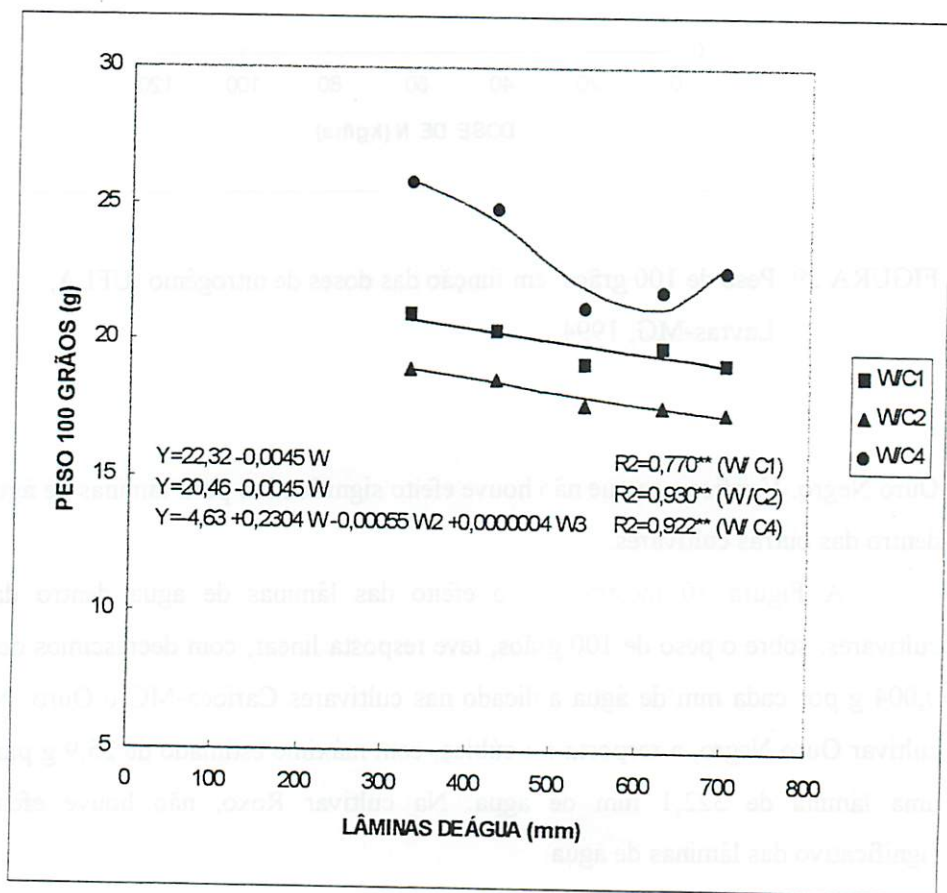


FIGURA 30. Peso de 100 grãos, em função das lâminas de água, para três cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras-MG, 1994

Observando-se a variação dos componentes de produção, número de grãos por vagens, número de vagens por planta, peso de 100 grãos e stand final, em função das doses de nitrogênio, verifica-se que as variações de produção são resultado das variações dos componentes de produção.

Quanto às lâminas de água, os parâmetros que mostraram variação semelhante àquela do rendimento, foram o número de vagens por planta e o peso de 100 grãos. Todavia, a combinação dos efeitos dos componentes: número de grãos por vagem, número de vagens por planta e peso de 100 grãos explicam a maior produção obtida com a lâmina  $W_2$  e a menor produção obtida com a lâmina  $W_3$ .

A cultivar Ouro Negro mostrou-se a mais produtiva por área, em função do maior peso de grãos, representado pelo peso de 100 grãos, e da maior produção por planta. A cultivar Roxo, por apresentar baixo peso de grãos e baixa produção por planta, mostrou-se a menos produtiva de todas as cultivares.

#### **4.4.7 Eficiência de uso de água**

Os valores médios de eficiência de uso de água, em função das doses de nitrogênio para 5 lâminas de água, encontram-se na Figura 31. A análise de variância encontra-se nas Tabelas 12C a 16C nos Anexos.

O desdobramento da interação dose, de nitrogênio x lâmina de água, para o efeito das doses de N dentro de cada lâmina é apresentado na Tabela 13C nos Anexos. O efeito das doses de N foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, dentro de todas as lâminas de água.

As equações de regressão para o efeito das doses de N, dentro de cada lâmina, mostram que a resposta foi linear, com acréscimos de 0,0044; 0,0032;

0,0029; 0,0024; 0,0020 kg/m<sup>3</sup> por cada kg de N aplicado, dentro das lâminas W<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, W<sub>3</sub>, W<sub>4</sub>, e W<sub>5</sub>, respectivamente (Figura 31).

O desdobramento da interação dose de nitrogênio x lâmina de água, para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio, mostra que o efeito das lâminas foi significativo ao nível de 1% de probabilidade, dentro de todas as doses de N (Tabela 14C nos Anexos).

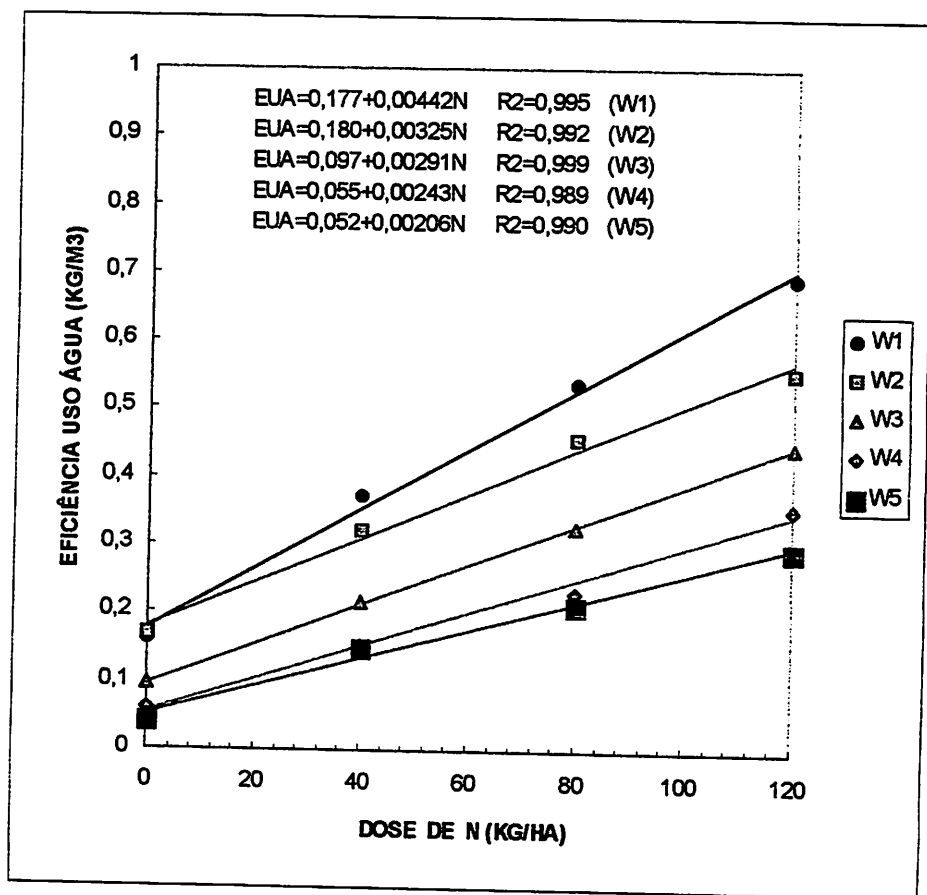


FIGURA 31. Eficiência de uso de água do feijoeiro, em função das doses de nitrogênio, para 5 lâminas de água. UFLA, Lavras-MG, 1994

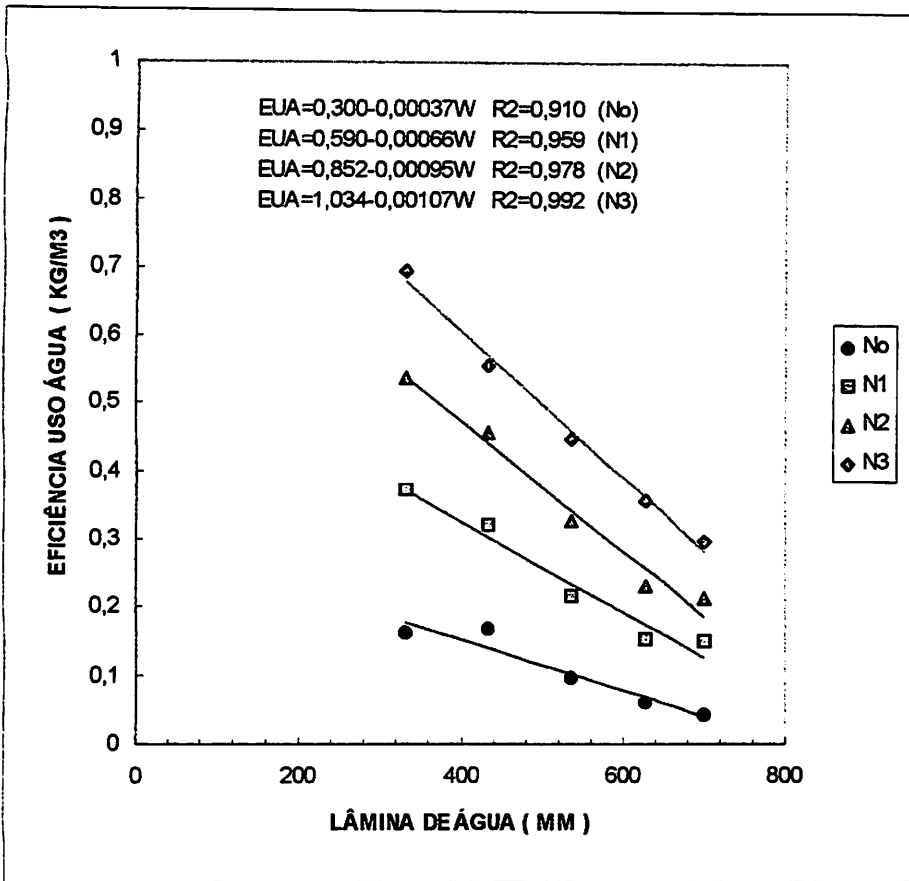


FIGURA 32. Eficiência de uso de água do feijoeiro, em função das lâminas de água, para 4 doses de nitrogênio. UFLA, Lavras-MG, 1994



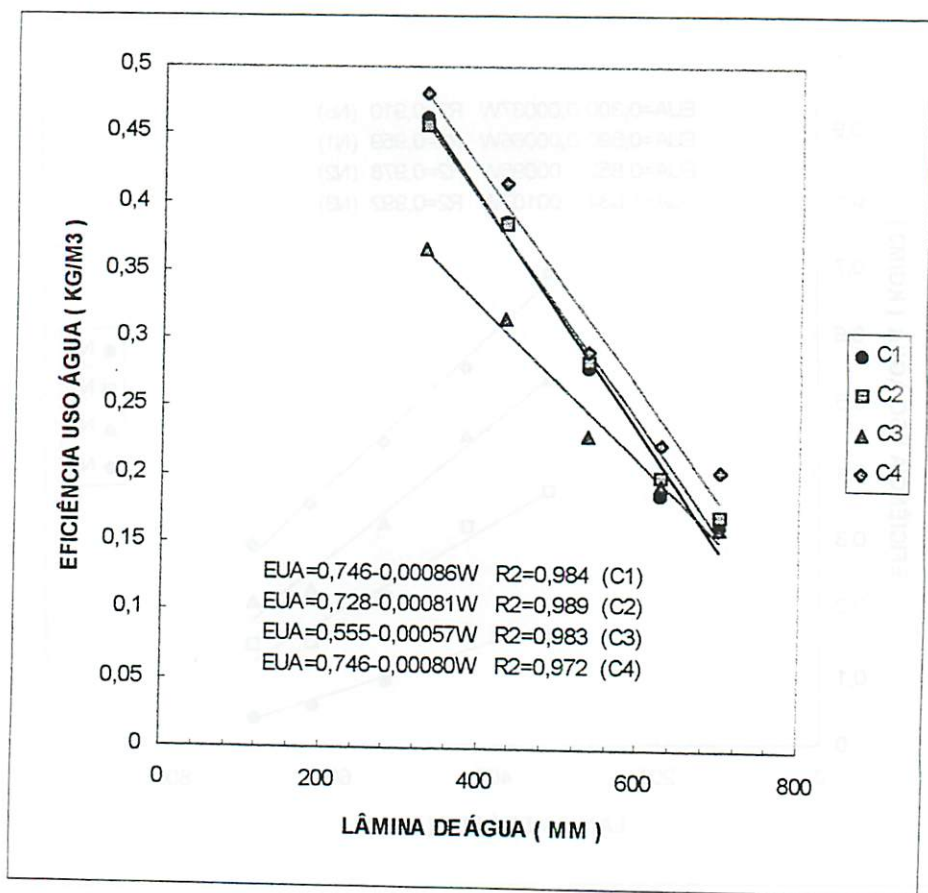


FIGURA 33. Eficiência de uso de água do feijoeiro, em função das lâminas de água, para 4 cultivares. UFLA, Lavras-MG, 1994

O efeito das lâminas dentro de cada dose de nitrogênio, ajustado pela análise de regressão, mostra que a resposta foi linear para o efeito das lâminas, com decréscimos de  $-0,00037$ ,  $-0,00066$ ,  $-0,00095$  e  $-0,00107 \text{ kg/m}^3$  por cada mm de água aplicado, para as doses  $N_0$ ,  $N_1$ ,  $N_2$ , e  $N_3$ , respectivamente (Figura 32).

TABELA 52. Valores médios de eficiência de uso de água ( kg/m<sup>3</sup> ), em função das lâminas de água e das cultivares de feijoeiro. Lavras, MG-1994

Cultivares	Lâminas de água					Médias
	W <sub>1</sub>	W <sub>2</sub>	W <sub>3</sub>	W <sub>4</sub>	W <sub>5</sub>	
C <sub>1</sub>	0,462A	0,386A	0,279	0,186	0,164	0,296
C <sub>2</sub>	0,457A	0,385A	0,284	0,199	0,171	0,299
C <sub>3</sub>	0,367B	0,316B	0,230	0,194	0,162	0,254
C <sub>4</sub>	0,481A	0,415A	0,292	0,224	0,204	0,323
Médias	0,442	0,375	0,271	0,201	0,175	0,293

(1): Letras maiúsculas diferentes nas colunas indicam diferenças significativas ao nível de 1% de probabilidades pelo teste de Tukey

O desdobramento da interação lâmina de água x cultivar, para os efeitos das lâminas de água dentro de cada cultivar, mostra que o efeito foi significativo ao nível de 1% dentro de todas as cultivares (Tabela 15C nos Anexos).

A eficiência de uso de água média para as lâminas de água, dentro de cada cultivar, mostra que houve diminuição da eficiência com o aumento da lâmina de água aplicada, dentro de todas as cultivares (Tabela 52).

As equações de regressão para o efeito das lâminas, dentro de cada cultivar, mostra que a resposta foi linear com decréscimos de -0,00085, -0,00081, -0,00057 e -0,0008 kg/m<sup>3</sup> para as cultivares Carioca-MG, Ouro, Roxo e Ouro Negro, respectivamente, por cada mm de água aplicado (Figura 33).

O desdobramento da interação lâmina de água x cultivar, para o efeito das cultivares dentro de cada lâmina, mostra que o efeito das cultivares foi

significativo ao nível de 1% de probabilidade dentro das lâminas  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$  e  $W_4$ . Para a lâmina  $W_5$ , o efeito não foi significativo ( Tabela 16C nos Anexos ).

As eficiências médias de uso de água, para as cultivares dentro de cada lâmina, encontram-se na Tabela 52. As cultivares comportaram-se de modo semelhante dentro de todas as lâminas quanto a essa característica, com exceção da cultivar Roxo, que mostrou menor eficiência de uso de água que as outras cultivares dentro das lâminas  $W_1$  e  $W_2$ .

## 5 CONCLUSÕES

Nas condições em que foi conduzido este trabalho e com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que:

Ao longo do ciclo, sob demanda evaporativa elevada, o nitrogênio só propiciou aumento do potencial hídrico foliar, não afetando a condutância estomática. A lâmina de água só propiciou aumento da condutância estomática. As cultivares de feijoeiro afetaram o potencial hídrico foliar e a condutância.

Sob condição de menor demanda, o nitrogênio e as lâminas não afetaram o potencial hídrico foliar ou a condutância, e as cultivares afetaram apenas a condutância estomática.

Na evolução, ao longo de um dia, o potencial hídrico foliar e a condutância estomática foram afetados pelo nitrogênio, as lâminas de água e as cultivares.

O potencial hídrico foliar e a condutância estomática mostraram alta correlação com os fatores ambientais, como déficit de pressão de vapor, temperatura do ar e temperatura foliar.

A condutância hidráulica total solo-folha foi afetada pela dose de nitrogênio, lâmina de água e pelas cultivares de feijoeiro.

O nitrogênio aumentou a taxa de crescimento, stand final, rendimento e componentes e eficiência de uso de água. As lâminas de água afetaram a taxa de crescimento, área foliar, acúmulo de nutrientes e matéria seca e propiciaram aumento da evapotranspiração, stand final, rendimento e componentes exceto peso de 100 grãos e eficiência de uso de água do feijoeiro. O excesso de água foi

mais prejudicial que o déficit para a área foliar, acúmulo de matéria seca e nutrientes no feijoeiro. As cultivares afetaram a taxa de crescimento e evapotranspiração. A cultivar Ouro Negro foi a mais produtiva, com maior peso de grãos e maior produção por planta. As cultivar Roxo 90 foi a menos eficiente quanto a eficiência de uso de água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AZEVEDO, H.J. Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Piracicaba: ESALQ/USP, 1984. 85p (Dissertação mestrado).
- BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R.; FAGERIA, N.K. Soil-plant interaction on nutrient use efficiency in plants: an overview. In: BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R. *Crops as enhancers of nutrient use*. San Diego: Academic Press, 1990, p.351-73.
- BARROS FERRAZ, E.S. Estudo da evapotranspiração real através da medição de umidade do solo por moderação de neutrons. Piracicaba: USP-CNEN/CENA, 1972. 40p (Boletim científico, 5).
- BARRS, H.D. Determination of water deficits in plant tissues. In: KOZLOWSKI, T.T. *Water deficits and plant growth*. Development, control and measurements. v.1. New York: Academic Press, 1968. p. 235-365.
- BAUDER, J.W.; HANKS, R.J.; JAMES, D.W. Crop production function determinations as influenced by irrigation and nitrogen fertilization using a continuous variable design. *Soil Science Society of American Proceeding*, v.39, p.1187-91, 1975.
- BERENGENA, J. *Fundamentos del riego y del drenaje: Necesidades de agua y programación de riegos*. Brasília: PRONI, 1987. 170p. (Curso de Especialização em Engenharia de Irrigação-Tema 5.1).
- BERNARDO, S. *Manual de irrigação*. 5ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1989.596p.

- BLACK, T.A.; GARDNER, W.R.; TANNER, C.B. Water storage and drainage under a row crop on a sandy soil. *Agronomy Journal*, v.62, p.48-51, 1970
- BLACK, T.A.; GARDNER, W.R.; THURTELL, G.W. The prediction of evaporation, drainage and soil water storage for a bare soil. *Soil Science Society of American Proceedings*, v.33, p.655-60, 1969.
- BLAKE, G.R. Bulk density. In: BLACK, C.A.(ed) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling**. 1ª ed. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. p.374-390
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). II. Análise de crescimento. *Experientiae*, Viçosa, v.15, n.1, p.1-21, 1973.
- BRASIL. Ministério da Agricultura . **Normais climatológicas (Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro)**. Rio de Janeiro, Min. Agric., 1969. 99p.
- CAIXETA, T.J.; PORCINO, J.R.C.; SILVA, L. Irrigação de algumas culturas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.9, n.100, p.65-76, 1983
- CARVALHO, A.M. de. **Efeitos de diferentes lâminas de água e formas de parcelamento de nitrogênio em cobertura, via fertirrigação, no rendimento de grãos da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), cv. Carioca**. Lavras: ESAL, 1992. 94p. (Dissertação mestrado).
- CASTRO NETO, P.; SILVEIRA, J.V. Precipitação provável para Lavras, região Sul de Minas Gerais, baseado na função de probabilidade Gama. I. Períodos mensais. **Ciência e Prática**, Lavras, v.5, n.2, p.144-151, 1981.
- CHAGAS, J.M. Plantio. In: ZIMMERMANN, M.J. de O. (ed); ROCHA, M. (ed); YAMADA, T. (ed). **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFÓS, 1988. p.303-316

- COMISSÃO ESTADUAL DE FERTILIDADE DO SOLO. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais; 4ª aproximação.** Lavras, CFSEMG, 1989. 176p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas.** Campina Grande-PB: UFPB, 1994.306p. (Estudos FAO Irrigação e Drenagem, 33).
- ENCARNAÇÃO, C.R.F. **Estudo da demanda de água do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)var. Goiano Precoce.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1979. 62p. (Dissertação mestrado).
- FARIA, R.T. **Estudo da lâmina de irrigação na cultura de trigo (*Triticum aestivum* L.) utilizando o sistema de aspersão em linha.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1981. 71p. (Dissertação mestrado).
- FELIPE, M. de P. **Efeitos de diferentes lâminas de água e épocas de parcelamento da adubação nitrogenada na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Lavras, ESAL, 1991. 105 p. (Dissertação mestrado).
- FORSYTHE, W.M.; PINCHINAT, M.A. **Tolerancia de la variedad de frijol "27-R" a la inundación.** Turrialba, v.21, p.228-31, 1971
- FREIRE, J.C. **Condutividade hidráulica e capacidade de campo de latossolo roxo distrófico não saturado.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.3, n.3, p.73-77, 1979.
- FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação.** Piracicaba, ESALQ, 1986. 133p ( Tese Doutorado).
- GARDNER, W.H. **Water content.** In: BLACK, C.A.(ed) **Methods of soil analysis: physical and mineralogical properties, including statistics of measurement and sampling.** 1ª ed. Madison, Am. Soc. Agron., 1965. p.82-127.



- GARDNER, W.R.; LAMBERT, J.L. Field water balance and water use efficiency. In: SOIL-MOISTURE AND IRRIGATION STUDIES, 2. Viena, 1973. **Proceedings...** Viena, FAO/IAEA, 1973, p.131-41.
- GARRIDO, M.A.T.; PURCINO, J.R.C.; LIMA, C.A.S. Efeito do déficit de água em alguns períodos do ciclo de crescimento sobre o rendimento do feijoeiro comum. In: EMPRESA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto Feijão: relatório 77/78**, Belo Horizonte, 1979. p 25-7.
- GARRIDO, M.A.T.; SILVA, A.M. da. Condutividade hidráulica não saturada de um solo de várzea. *Lavoura Arrozeira*, Porto Alegre, v.42, n.385, p.43-7, 1989.
- GARRIDO, M.A.T.; TEIXEIRA, H.A. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum, na região sul de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Projeto Feijão: relatório 75/76**, Belo Horizonte, 1978. p.36-42.
- GARRIDO, M.A.T.; TEIXEIRA, H.A. Efeito de diferentes níveis de umidade do solo sobre o rendimento do feijoeiro comum, na região Sul de Minas Gerais. In: EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUARIA DE MINAS GERAIS. **Projeto Feijão: relatório 76/77**, Belo Horizonte, 1978. p. 24-27.
- GUIMARÃES, C.M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. ed. **Cultura do feijoeiro**. Fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFÓS, 1988, p.157-74.
- HANKS, R.J.; KELLER, J.; BAUDER, J.W. **Line source sprinkler plot irrigator for continous variable water and fertilizer studies on small areas**. Logan, Utah Agricultural Experiment Station, Utah State University, 1974. 14p.
- HANKS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P.; WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation-crop production studies . **Soil Science Soc. Am. J.**, v.40, p.426-429, 1976.

HANKS, R.J.; SISSON, D.V.; HURST, R.L.; HUBBARD, K.G. Statistical analysis of results from irrigation experiments using the line-source sprinkler system. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, v.44, p.886-890, 1980.

HILLEL, D.(ed). Optimizing the soil physical environment toward greater crop yields. New York, Academic Press, 1972. 238p.

HILLEL, D.; KRENTOS, V.O.; STYLIANOU, Y. Procedure and test of an internal drainage method for measuring soil hydraulic characteristics in situ. *Soil Science*, v.114, p.395-400, 1972.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. *Annual Review of Plant Physiology*. v.24,p.519-70, 1973.

JONES, H.G. **Plants and microclimate**. A quantitative approach to environmental plant physiology. 2ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 428p.

KANEMASU, E.T. ; TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I. Influence of leaf water potentials. *Plant Physiology*, v.44, p.1547-52, 1969a.

KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. II . Effect of light. *Plant Physiology*, v.44, p.1542-46, 1969b.

LAWN, R .J. Response of four grain legumes to water stress in South-Eastern Queensland. I. Physiological response mechanisms. *Australian Journal of Agricultural Research*, v.33, p.481-96, 1982.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba: Paulo Leonel Libardi, 1995. 497p.

LUCHIARI, A. Determinação do coeficiente de cultura (Kc) para feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) pelo método do balanço hídrico. Piracicaba: ESALQ/USO, 1978. 59p (Dissertação mestrado).

- LUDLOW, M.M.; MUCHOW, R.C. A critical evaluation of traits for improving crop yields in water-limited environments. **Advances in Agronomy**, v.43, p.107-53, 1990.
- MACEDO JUNIOR, E.K. **Comportamento biofísico e agrônômico de plantas de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetidas a cinco níveis de tensão matricial da água no solo**. Lavras: ESAL, 1993. 103p. (Dissertação Mestrado).
- MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa do crescimento. In: FERRI, M.G. **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU, Editora da Universidade de São Paulo, 1979. p.331-50.
- MAGALHÃES, A.A. de; MILLAR, A.A. Efeito do déficit de água no período reprodutivo sobre a produção do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.13, n.2, p.55-60, 1978
- MAGALHÃES, A.A. de; MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. Efeito do déficit fenológico de água sobre a produção de feijão. **Turrialba**, v.29, n.4, p.269-73, 1979
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. New York: Academic Press, 1986. 874p.
- MEIRELLES, N.M.F; LIBARDI, P.L.; REICHARDT, K. Absorção e lixiviação de nitrogênio em cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.4, p.83-88, 1980.
- MILLAR, A.A. Thermal regime of grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, v.23, n.4, p.173-76, 1972.
- MILLAR, A.A.; CHOUDHURY, E.N. A model to define operational irrigation frequency for maximum crop yield of crops. **Turrialba**, v.30, n.4, p.391-98, 1980

- MILLAR, A.A.; GARDNER, W.R. Effect of the soil and water potentials on the dry matter production of snap beans. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, n.5, p.559-62, 1972.
- MILLAR, A.A.; GARDNER, W.R.; GOLTZ, S.M. Internal water status and water transport in seed onion plants. *Agronomy Journal*, Madison, v.63, p.779-84, 1971.
- MILLAR, A.A.; JENSEN, R.E.; BAVER, A.; NORUM, E.B. Influence of atmospheric and soil environmental parameters on the diurnal fluctuations of leaf water status of barley. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.8, p.93-105, 1971.
- MORAES, J.F.V. Calagem e adubação. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. ed. *Cultura do feijoeiro. Fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFÓS, 1988. p. 261-301.
- OLITTA, A.F.L. *Os métodos de irrigação*. São Paulo: Nobel, 1977. 267p.
- OLIVEIRA, I.P. de; THUNG, M.D.T. Nutrição mineral. In: ZIMMERMANN, M.J. de O.(ed); ROCHA, M.(ed); YAMADA, T.(ed). *Cultura do feijoeiro; Fatores que afetam a produtividade*. Piracicaba: POTAFOS, 1988. p.175-212.
- O'TOOLE, J.C.; BALDIA, E.P. Water deficits and mineral uptake in rice. *Crop Science*, v.22, p.1144-50, 1982.
- PAVANI, L.C. Evapotranspiração e produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) sob três níveis de potencial da água no solo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1985. 171p (Dissertação de mestrado).
- PEREIRA-NETO, A.B. de; PINTO, H.S.; ROCHA-NETO, O.G. da. Curso diário da resistência foliar à difusão de vapor de água em kudzu tropical sob baixa temperatura. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.26, n.2, p.179-82, 1991.

- POWER, J.F. Role of moisture stress in plant nutritional functions. In: BALIGAR, V.C.; DUNCAN, R.R. **Crops as enhancers of nutrient use**. San Diego: Academic Press, 1990, p.453-74.
- QUEIRÓZ FILHO, S.C. de ; MILLAR, A.A.; ALVIM, P. de T. **Micrometeorologia da videira sob condições de deficiência hídrica**. Petrolina: MINTER/IICA, 1975, 16 p.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: MANOLE LTDA., 1990. 188p.
- REICHARDT, K. **Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera**. Piracicaba: Cargill, 1985. 445p
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SAUNDERS, L.C.U.; CADIMA Z., A. Dinâmica da água em solo cultivado com milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.3, n.1, p.1-5, 1979.
- REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L.; SANTOS, J.M. dos. **An analysis of soil-water movement in the field:II. Water balance in a snap bean crop**. Piracicaba: CENA/ESALQ, 1974. 19p ( Boletim científico, 22 ).
- RITCHIE, J.T.; BURNETT, E.; HENDERSON, R.C. Dryland evaporative flux in a subhumid climate.III. Soil water influence. *Agronomy Journal*,v.64, p.168-73, 1972.
- RITCHIE, J.T.; JORDAN, W.R. Dryland evaporative flux in a subhumid climate.IV. Relation to plant water status. *Agronomy Journal*, v.64, p.173-76, 1972.
- ROBINS, J.S.; DOMINGO, C.E. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry beans. *Agronomy Journal*, Madison, v.48, n.2, p.67-70, 1956
- ROSEMBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate. The biological environment**. New York: John Wiley, 1983. 495p.

RUIZ, H.A.; FERNANDES, B.; NOVAIS, R.F.; ALVAREZ, V.H.; FERREIRA, P.A. Efeito do conteúdo de água sobre os níveis críticos de fósforo em dois latossolos. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 12, p.43-48, 1988.

SANTIBÁÑEZ, F. Aspectos físicos y modelación de la evapotranspiración de los cultivos. Brasília: PRONI, 1987. 49p.

SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; BRADSTREET, E.D.; HEMMINGSEN, E.A. Sap pressure in vascular plants *Science*, Washington, v.148, n.3668, p339-46, 1965.

SCHULZE, E. D. Carbon dioxide and water vapor exchange in response to drought in the atmosphere and in the soil. *Annual Review of Plant Physiology*, v.37, p.247-74, 1986.

SCHUMACHER, T.E.; SMUCKER, J.M. Ion uptake and respiration of dry bean roots subjected to localized anoxia. *Plant and Soil*, v.99, p.411-422, 1987.

SILVA, A. J. da. Resposta de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) à adubação nitrogenada. Lavras:ESAL, 1988. 85p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, A. M. da. Estudo do perfil de umidade do solo sob influência da evapotranspiração. São Carlos, S.P., EESC/USP, 1983. 168p (Tese Doutor).

SILVA, E.L. da. Suscetibilidade do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*) cv. Goiano Precoce, a inundações temporárias do sistema radicular em diferentes fases do seu ciclo vegetativo. Piracicaba: ESALQ/USP, 1982. 77p (Dissertação mestrado)

SILVA, H.T. da. Caracterização morfológica, agronômica e fenológica de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) comumente plantadas em diversas regiões do Brasil. Goiânia: EMBRAPA-CNPAP, 1981. 51p. (Circular técnica, 15).

- SILVA, M.A.; MILLAR, A.A.; BERNARDO, S.; CONDE, A. Efeito da lâmina de água e da adubação nitrogenada sobre a produção de feijão "Macassar", utilizando o sistema de irrigação por aspersão em linha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 4. Salvador, 1978. Anais... Salvador: ABID, 1978. 20p.
- SILVEIRA, P.M. da; FONSECA, J.R.; GUIMARÃES, C.M. Consumo de água pelo feijão de 3ª época irrigado por aspersão. Goiânia: EMBRAPA/CNPAP, 1981. 5p (Comunicado técnico, 9).
- SILVEIRA, P.M. da; GUIMARÃES, C.M.; STONE, L.F.; KLUTHCOUSKI, J. Avaliação de cultivares de feijão para resistência à seca baseada em dias de estresse de água no solo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.16, n.5, p.693-99, 1981.
- SLATYER, R.O. Development and significance of internal water deficits. In: SLATYER, R.O. *Plant-water relationship*. New York : Academic Press, 1967, cap.9, p275-309.
- STEINMETZ, S. Evapotranspiração máxima da cultura de feijão de inverno. In: REUNIÃO SOBRE FEIJÃO IRRIGADO (GO, DF, MG, ES, SP, RJ), 1, Goiânia, 1988. Anais...Goiânia, EMBRAPA/CNPAP, 1988. p.113
- STONE, L.F.; PORTES, T. de A.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. II.Crescimento. In: REUNIÃO SOBRE FEIJÃO IRRIGADO (GO, DF, MG, ES, SP, RJ); 1, 1988. Goiânia. Anais... Goiânia, EMBRAPA-CNPAP.1990.p.112.
- TANGUILIG, V.C.; YAMBAO, E.B.; O'TOOLE, J.C.; DE DATTA, S.K. Water stress effects on leaf elongation, leaf water potential, transpiration and nutrient uptake of rice, maize and soybean. *Plant and Soil*, v.103, p.155-68, 1987.
- VALE, F.R. do; GUILHERME, L.R.G.; GUEDES, G.A. de A. *Fertilidade do solo: dinâmica e disponibilidade dos nutrientes de plantas*. Lavras, ESAL/FAEPE, 1993. 171p.

- VEEN, B.W. Relation between root respiration and root activity. **Plant and Soil**, v.63, p.73-77, 1981.
- VIEIRA, C. **Cultura do feijão**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1978. 146p.
- VILELA, E. de A.; RAMALHO, M.A.P. Análise das temperaturas e precipitações pluviométricas de Lavras, Minas Gerais. **Ciência e Prática**, Lavras, v.3, n.1, p.71-79, 1979.
- VITTI, G.C.; MALAVOLTA, E.; COUTINHO, E.L.M. Uso eficiente de fertilizantes nitrogenados e portadores de enxofre. In: **SIMPÓSIO SOBRE FERTILIZANTES NA AGRICULTURA BRASILEIRA**, Brasília, 1984. **Anais...** Brasília, EMBRAPA-DEP, 1984.p205-253 (Documentos, 14).
- WHITE, J.W.; IZQUIERDO, J. Physiology of yield potential and stress tolerance. In: **SCHOONHOVEN, A. van (ed); VOYSEST, O. (ed). Common beans: Research for crop improvement**. Wallingford, UK, CAB/CIAT, 1991. p.287-382
- WILCOX, G.E.; FAGERIA, N.K. **Deficiências nutricionais do feijão, sua identificação e correção**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1976. 22p. (Boletim técnico, 5).
- WINKEL, T.; RAMBAL, S. Influence of water stress on grapevines growing in the field: from leaf to whole-plant response. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.20, p.143-57, 1993 .
- YAMBAO, E.B. ; O'TOOLE, J.C. Effects of nitrogen nutrition and root medium water potential on growth, nitrogen uptake and osmotic adjustment of rice . **Physiologia Plantarum**, v.60, p.507-515, 1984 .
- ZUR, B.; BOOTE, K.J.; JONES, J.W. Changes in internal water relations and osmotic proprieties of leaves in maturing soybean plants. **Journal of Experimental Botany**, v.32, n.131, p 1181-91, 1981.



1000 1A-158 1000

1000 1A-158 1000

1000 1A-158 1000

1000 1A-158 1000

1000 1A-158 1000

**ANEXOS**

1000 1A-158 1000

1000 1A-158 1000

1000 1A-158 1000

1000 1A-158 1000

## ANEXO A

### TABELA

### Página

1A	Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa) para duas datas, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994 .....	169
2A	Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa) para três horários, ao longo do dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994 .....	170
3A	Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (MPa) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	171
4A	Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-Mpa) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada doses de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	171
5A	Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa), no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	172
6A	Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito do nitrogênio dentro de cada lâmina de água e de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	172

7A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s ) para duas datas, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994 .....	173
8A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no dia 19/10/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	174
9A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m <sup>2</sup> /s) no dia 19/10/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	174
10A	Resumo da análise de variância de condutância foliar (mmol/ m <sup>2</sup> /s) para quatro horários, ao longo do dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994 ...	175
11A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário das 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	176
12A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada doses de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	176
13A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	177
14A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s), no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	177

15A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	178
16A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada doses de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	178
17A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	179
18A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	179
19A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	180
20A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	180
21A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	181
22A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	181

23A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito do nitrogênio dentro de cada lâmina de água e de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	182
24A	Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/ m <sup>2</sup> /s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	183
25A	Resumo da análise de variância de condutância hidráulica (mmol/m <sup>2</sup> .s/MPa) no dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	184
26A	Resumo da análise de variância de condutância hidráulica (mmol/m <sup>2</sup> /s/MPa) no dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	185
27A	Resumo da análise de variância de condutância hidráulica (mmol/m <sup>2</sup> /s/MPa) no dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	185
28A	Resumo da análise de variância de condutância hidráulica (mmol/m <sup>2</sup> /s/MPa) no dia 02/11/94 para o efeito das cultivares dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	186

TABELA 01A. Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa) para duas datas, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância	
		03/10/94	19/10/94
Bloco	2		
N	1	30,680	15,586
Resíduo (a)	2	0,680	4,857
Parcela	5		
Água (W)	2	0,264	0,795
N x W	2	3,180	1,628
Resíduo (b)	8	1,331	0,316
Subparcela	17		
Cultivar (C)	3	6,116**	3,429
N x C	3	0,930	1,902
W x C	6	1,588	0,513
NxWxC	6	1,097	1,318
Resíduo (c)	36	0,774	1,290
Total	71		
C.V. (a)		13,30	4,03
C.V. (b)		5,87	9,77
C.V. (c)		23,74	14,91

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%.

TABELA 02A. Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-Mpa) para três horários, ao longo do dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância		
		6:00	12:00	16:00
Bloco	2			
N	1	3,555	7,347	12,500
Resíduo (a)	2	0,670	5,066	5,656
Parcela	5			
Água (W)	2	0,149	5,420	4,222
N x W	2	8,608**	15,108	2,167
Resíduo (b)	8	0,910	3,425	1,496
Subparcela	17			
Cultivar (C)	3	1,139	3,657	2,245
N x C	3	0,694	3,505	0,972
W x C	6	2,219	5,216	1,870
NxWxC	6	2,233	16,293**	2,278
Resíduo (c)	36	1,869	3,082	2,450
Total	71			
C.V. (a)		3,85	5,17	9,14
C.V. (b)		7,77	7,37	8,14
C.V. (c)		22,27	13,98	20,83

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 03A. Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (MPa) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub>	1	0,01	0,01
N:W <sub>3</sub>	1	1,04	1,04
N:W <sub>5</sub>	1	19,26	19,26**

\*\* : Diferenças significativas pela estatística de F ao nível de 1%

TABELA 04A. Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada doses de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W:N <sub>1</sub>	2	11,01	5,50
W:N <sub>3</sub>	2	5,72	2,86



TABELA 05A. Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa), no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C: N <sub>1</sub> :W <sub>1</sub>	3	22,83	7,61
C: N <sub>1</sub> :W <sub>3</sub>	3	35,56	11,85
C: N <sub>1</sub> :W <sub>5</sub>	3	14,56	4,85
C: N <sub>3</sub> :W <sub>1</sub>	3	18,00	6,00
C: N <sub>3</sub> :W <sub>3</sub>	3	22,16	7,38
C: N <sub>3</sub> :W <sub>5</sub>	3	37,41	12,47

TABELA 06A. Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar (-MPa), no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito do nitrogênio dentro de cada lâmina de água e de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub> : C <sub>1</sub>	1	1,04	1,04
N:W <sub>3</sub> : C <sub>1</sub>	1	6,00	6,00
N:W <sub>5</sub> : C <sub>1</sub>	1	12,04	12,04
N:W <sub>1</sub> : C <sub>2</sub>	1	22,04	22,04
N:W <sub>3</sub> : C <sub>2</sub>	1	0,04	0,04
N:W <sub>5</sub> : C <sub>2</sub>	1	5,04	5,04
N:W <sub>1</sub> : C <sub>3</sub>	1	8,16	8,16
N:W <sub>3</sub> : C <sub>3</sub>	1	22,04	22,04
N:W <sub>5</sub> : C <sub>3</sub>	1	0,66	0,66
N:W <sub>1</sub> : C <sub>4</sub>	1	51,04	51,04**
N:W <sub>3</sub> : C <sub>4</sub>	1	7,04	7,04
N:W <sub>5</sub> : C <sub>4</sub>	1	10,66	10,66

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 07A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) para duas datas, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância	
		03/10/94	19/10/94
Bloco	2		
N	1	0,245	125,08
Resíduo (a)	2	2,933	399,27
Parcela	5		
Água (W)	2	3346,79 **	169,34
N x W	2	99,60	1176,44
Resíduo (b)	8	55,76	202,47
Subparcela	17		
Cultivar (C)	3	197,58**	2.175,96**
N x C	3	100,51	1.268,21**
W x C	6	23,06	547,81
NxWxC	6	25,64	741,66
Resíduo (c)	36	34,94	256,17
Total	71		
C.V. (a)		1,39	4,48
C.V. (b)		10,49	5,52
C.V. (c)		16,60	12,43

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 08A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no dia 19/10/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:C <sub>1</sub>	1	3.307,5	3.307,5**
N:C <sub>2</sub>	1	545,6	545,6
N:C <sub>3</sub>	1	60,5	60,5
N:C <sub>4</sub>	1	16,0	16,0

\*\* : Diferenças significativas pela estatística de F ao nível de 1%

TABELA 09A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no dia 19/10/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C:N <sub>1</sub>	3	1.092,2	364,0
C:N <sub>3</sub>	3	9.240,3	3.080,1**

\*\* : Diferenças significativas pela estatística de F ao nível de 1%

TABELA 10A. Resumo da análise de variância de condutância foliar (mmol/m<sup>2</sup>/s) para quatro horários, ao longo do dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância			
		6:00	10:00	12:00	16:00
Bloco	2				
N	1	89606**	1975	500	6405**
Resíduo (a)	2	676	29	42	55
Parcela	5				
Água (W)	2	14356**	1992	3257**	1609**
N x W	2	12517**	264	2025**	2277**
Resíduo (b)	8	1096	995	191	48
Subparcela	17				
Cultivar (C)	3	905	866	90	454**
N x C	3	532	923	227	175**
W x C	6	5651**	446	580	484**
NxWxC	6	1903	173	227	171**
Resíduo (c)	36	1145	717	256	57
Total	71				
C.V. (a)		3,02	1,15	1,46	2,01
C.V. (b)		6,66	11,67	5,40	3,25
C.V. (c)		13,60	19,81	12,49	7,13

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 11A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub>	1	89.182,04	89.182,04**
N:W <sub>3</sub>	1	18.315,37	18.315,37
N:W <sub>5</sub>	1	7.141,50	7.141,50

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 12A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada doses de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W:N <sub>1</sub>	2	53.085,50	26.542,75**
W:N <sub>3</sub>	2	659,05	329,52

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 13A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W:C <sub>1</sub>	2	25.957,3	12.978,6**
W:C <sub>2</sub>	2	13.258,3	6.629,1**
W:C <sub>3</sub>	2	21.598,1	10.799,0**
W:C <sub>4</sub>	2	1.800,7	900,3

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 14A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 6 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C:W <sub>1</sub>	3	8.909,4	2.929,8**
C:W <sub>3</sub>	3	7.561,1	2.520,3**
C:W <sub>5</sub>	3	20.146,3	6.715,4**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 15A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub>	1	1.924,2	1.924,2
N:W <sub>3</sub>	1	1.127,5	1.127,5
N:W <sub>5</sub>	1	1.497,8	1.497,8

TABELA 16A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada doses de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W:N <sub>1</sub>	2	4.808,1	2.404,0
W:N <sub>3</sub>	2	5.754,4	5.754,4

TABELA 17A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub>	1	10.020,5	10.020,5**
N:W <sub>3</sub>	1	87,0	87,0
N:W <sub>5</sub>	1	852,0	852,0**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 18A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W:N <sub>1</sub>	2	4.561,2	2.280,6**
W:N <sub>3</sub>	2	3.210,2	1.605,1**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%



TABELA 19A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:C <sub>1</sub>	1	752,7	752,7**
N:C <sub>2</sub>	1	2.792,5	2.792,5**
N:C <sub>3</sub>	1	2.492,1	2.492,1**
N:C <sub>4</sub>	1	891,8	891,8**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 20A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C:N <sub>1</sub>	3	303,1	101,0
C:N <sub>3</sub>	3	1.582,2	527,4**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 21A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W:C <sub>1</sub>	2	2.948,6	1.474,3**
W:C <sub>2</sub>	2	439,0	214,5
W:C <sub>3</sub>	2	399,2	199,6
W:C <sub>4</sub>	2	2.332,0	1.166,0**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 22A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C: W <sub>1</sub>	3	1.841,6	613,8**
C: W <sub>3</sub>	3	2.345,4	781,8**
C: W <sub>5</sub>	3	76,1	25,3

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 23A. Resumo da análise de variância e condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 16 horas do dia 02/11/94 para o efeito do nitrogênio dentro de cada lâmina de água e de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub> : C <sub>1</sub>	1	2.002,0	2.002,0**
N:W <sub>3</sub> : C <sub>1</sub>	1	68,0	68,0
N:W <sub>5</sub> : C <sub>1</sub>	1	121,5	121,5
N:W <sub>1</sub> : C <sub>2</sub>	1	3.475,2	3.475,2**
N:W <sub>3</sub> : C <sub>2</sub>	1	636,5	636,5**
N:W <sub>5</sub> : C <sub>2</sub>	1	54,0	54,0
N:W <sub>1</sub> : C <sub>3</sub>	1	2.921,6	2.921,6**
N:W <sub>3</sub> : C <sub>3</sub>	1	313,9	313,9
N:W <sub>5</sub> : C <sub>3</sub>	1	216,0	216,0
N:W <sub>1</sub> : C <sub>4</sub>	1	1.802,6	1.802,6**
N:W <sub>3</sub> : C <sub>4</sub>	1	257,4	257,4
N:W <sub>5</sub> : C <sub>4</sub>	1	640,6	640,6**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 24A. Resumo da análise de variância de condutância estomática (mmol/m<sup>2</sup>/s) no horário de 12 horas do dia 02/11/94 para o efeito das cultivares dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C: N <sub>1</sub> :W <sub>1</sub>	3	1.060,1	353,3**
C: N <sub>1</sub> :W <sub>3</sub>	3	962,5	320,8**
C: N <sub>1</sub> :W <sub>5</sub>	3	137,0	45,6
C: N <sub>3</sub> :W <sub>1</sub>	3	3.397,2	1.132,4**
C: N <sub>3</sub> :W <sub>3</sub>	3	70,2	23,4
C: N <sub>3</sub> :W <sub>5</sub>	3	186,0	62,0

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 25A. Resumo da análise de variância de condutância hidráulica ( $\text{mmol/m}^2.\text{s/MPa}$ ) no dia 02/11/94, em função das doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
Bloco	2	
N	1	0,445
Resíduo (a)	2	0,136
Parcela	5	
Água (W)	2	0,499
N x W	2	1,487**
Resíduo (b)	8	0,154
Subparcela	17	
Cultivar (C)	3	0,154
N x C	3	0,064
W x C	6	0,220
NxWxC	6	0,661**
Resíduo (c)	36	0,154
Total	71	
C.V. (a)		4,57
C.V. (b)		8,41
C.V. (c)		16,81

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 26A. Resumo da análise de variância de condutância hidráulica (mmol/m<sup>2</sup>/s/MPa) no dia 02/11/94 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub>	1	1,83	1,83**
N:W <sub>3</sub>	1	0,61	0,61
N:W <sub>5</sub>	1	0,96	0,96

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 27A. Resumo da análise de variância de condutância hidráulica (mmol/m<sup>2</sup>/s/MPa) no dia 02/11/94 para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W:N <sub>1</sub>	2	2,43	1,21
W:N <sub>3</sub>	2	1,54	0,77

TABELA 28A. Resumo da análise de variância de condutância hidráulica ( $\text{mmol/m}^2/\text{s/MPa}$ ) no dia 02/11/94 para o efeito das cultivares dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C: N <sub>1</sub> :W <sub>1</sub>	3	0,56	0,18
C: N <sub>1</sub> :W <sub>3</sub>	3	0,10	0,03
C: N <sub>1</sub> :W <sub>5</sub>	3	0,71	0,23
C: N <sub>3</sub> :W <sub>1</sub>	3	2,04	0,68**
C: N <sub>3</sub> :W <sub>3</sub>	3	1,81	0,60
C: N <sub>3</sub> :W <sub>5</sub>	3	0,69	0,23

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

## ANEXO B

<b>TABELA</b>		<b>Página</b>
1B	Resumo das análises de variância para taxa de crescimento em altura (cm/dia), doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. Lavras, MG - 1994 .....	188
2B	Resumo da análise de variância de taxa de crescimento (cm/dia) no período 2 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	189
3B	Resumo da análise de variância de taxa de crescimento (cm/dia) no período 2 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	189
4B	Resumo da análise de variância de taxa de crescimento (cm/dia) no período 2 para o efeito das cultivares, dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	190
5B	Resumo das análises de variância para área foliar (cm <sup>2</sup> ) e peso de matéria seca (g) da parte aérea do feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994 .....	191
6B	Resumo das análises de variância para total de N, P, K, Ca, Mg e S absorvidos pelo feijoeiro (g/planta). UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	192



TABELA 01B. Resumo das análises de variância para taxa de crescimento em altura (cm/dia), doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. Lavras, MG - 1994 (1)

Causas de G.L.	Período 1		Período 2	
	Quadrados médios e significância			
Variação				
Bloco	2			
N	1	0,3458**	1,6744	
Resíduo (a)	2	0,0001	0,0261	
Parcelas	5			
W	2	0,5230**	2,8277**	
N x W	2	0,0197	0,2065	
Resíduo (b)	8	0,0046	0,1968	
Subparcelas 17				
C	3	0,0155	0,7054**	
N x C	3	0,0022	0,3669**	
W x C	6	0,0090	0,0304	
N x W x C	6	0,0085	0,3229**	
Resíduo (c)	36	0,0037	0,0775	
Total	71			
C.V. (a) (%)	0,48		3,40	
C.V. (b) (%)	4,81		16,14	
C.V. (c) (%)	8,68		20,26	

\*\* : Significativo ao nível de 1%, pelo teste de F  
 (1) : Dados transformados segundo expressão  $\ln(X + K)$

TABELA 02B. Resumo da análise de variância de taxa de crescimento (cm/dia) no período 2 para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:C <sub>1</sub>	1	2,36	2,36**
N:C <sub>2</sub>	1	0,27	0,27
N:C <sub>3</sub>	1	0,07	0,07
N:C <sub>4</sub>	1	0,06	0,06

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%.

TABELA 03B. Resumo da análise de variância de taxa de crescimento (cm/dia) no período 2 para o efeito das cultivares de feijoeiro dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C:N <sub>1</sub>	3	1,14	0,39**
C:N <sub>3</sub>	3	2,09	0,69**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%.

TABELA 04B. Resumo da análise de variância de taxa de crescimento (cm/dia) no período 2 para o efeito das cultivares, dentro de cada doses de nitrogênio e de cada lâminas de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C: N <sub>1</sub> :W <sub>1</sub>	3	0,46	0,15
C: N <sub>1</sub> :W <sub>3</sub>	3	0,15	0,08
C: N <sub>1</sub> :W <sub>5</sub>	3	0,65	0,13
C: N <sub>3</sub> :W <sub>1</sub>	3	1,89	0,72**
C: N <sub>3</sub> :W <sub>3</sub>	3	1,60	0,46
C: N <sub>3</sub> :W <sub>5</sub>	3	0,48	0,32

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 05B. Resumo das análises de variância para área foliar (cm<sup>2</sup>) e peso de matéria seca (g) da parte aérea do feijoeiro. UFLA, Lavras, MG - 1994<sup>(1)</sup>

Causas de Variação	G.L.	Quadrados médios e significância	
		Área foliar	M. seca p. aérea
Bloco	2		
N	1	2,36128	2,15098
Resíduo (a)	2	0,21688	0,32957
Parcelas	5		
W	2	1,13430**	1,40906**
N x W	2	0,12281	0,08430
Resíduo (b)	8	0,02818	0,06242
Subparcelas	17		
C	3	0,69695**	0,23833
N x C	3	0,03919	0,12898
W x C	6	0,12979	0,07117
NxWxC	6	0,06910	0,12448
Resíduo (c)	36	0,12753	0,14524
Total	71		
C.V. (a) (%)		2,15	11,70
C.V. (b) (%)		1,34	8,82
C.V. (c) (%)		5,71	26,90

\*\* : Significativo ao nível de 1% pelo teste de F

(1) : Dados transformados segundo expressão  $\ln (X + K)$

TABELA 06B. Resumo das análises de variância para total de N, P, K, Ca, Mg e S absorvidos pelo feijoeiro (g/planta). UFPA, Lavras - MG, 1994<sup>(1)</sup>

Causa de Variação	G.L.	Quadrados médios e significância					
		N	P	K	Ca	Mg	S
<b>Bloco</b>							
N	2						
Resíduo (a)	1	4,74	0,35	3,20	2,34	0,53	0,002
<b>Parcelas</b>							
W	2	1,69**	0,30**	1,86**	2,36**	0,39**	0,33
N x W	2	0,13	0,02	0,10	0,24	0,02	0,06
Resíduo (b)	8	0,07	0,01	0,05	0,18	0,02	0,13
<b>Subparcelas</b>							
C	3	0,21	0,03	0,33	0,30	0,06	0,07
N x C	3	0,13	0,01	0,02	0,10	0,01	0,01
W x C	6	0,11	0,01	0,02	0,11	0,02	0,006
NxWxC	6	0,08	0,04	0,10	0,13	0,03	0,03
Resíduo (c)	36	0,18	0,03	0,26	0,15	0,03	0,06
<b>Total</b>							
	71						
C.V. (a) (%)		5,78	14,04	11,32	11,90	18,11	4,70
C.V. (b) (%)		5,88	10,57	5,90	12,68	13,01	21,83
C.V. (c) (%)		18,15	28,34	25,29	23,55	31,73	29,85

\*\* : Significativo ao nível de 1% pelo teste de F

(1) : Dados transformados segundo expressão  $\ln(X + K)$

## ANEXO C

### TABELA

### Página

1C	Resumo da análise de variância de stand final (plantas/m <sup>2</sup> ) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	195
2C	Resumo da análise de variância de stand final (plantas/m <sup>2</sup> ) para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	196
3C	Resumo da análise de variância de stand final (plantas/m <sup>2</sup> ) para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	196
4C	Resumo da análise de variância de rendimento (kg/ha) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	197
5C	Resumo da análise de variância de grãos por vagem para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	198
6C	Resumo da análise de variância de vagens por planta para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	199
7C	Resumo da análise de variância de vagens por planta para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	200
8C	Resumo da análise de variância de vagens por planta para o efeito das cultivares dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	200

9C	Resumo da análise de variância de peso de 100 grãos (g) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	201
10C	Resumo da análise de variância de peso de 100 grãos (g) para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	202
11C	Resumo da análise de variância de peso de 100 grãos (g) para o efeito das cultivares dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	202
12C	Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	203
13C	Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	204
14C	Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	204
15C	Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	205
16C	Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para o efeito das cultivares dentro de cada lâmina de água . UFLA, Lavras - MG, 1994 .....	205

TABELA 01C. Resumo da análise de variância de stand final (plantas/m<sup>2</sup>) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
Bloco	2	
N	3	72,03**
Resíduo (a)	6	4,00
Parcelas	11	
Água (W)	4	47,74**
N x W	12	16,49**
Resíduo (b)	32	4,22
Subparcelas	59	
Cultivar (C)	3	30,36**
N x C	9	5,67
W x C	12	4,23
N x W x C	36	3,01
Resíduo (c)	120	3,48
Total	239	
C.V. (a) - (%)		1,74
C.V. (b) - (%)		3,99
C.V. (c) - (%)		7,26

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%



TABELA 02C. Resumo da análise de variância de stand final (plantas/m<sup>2</sup>) para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub>	3	63,48**
N:W <sub>2</sub>	3	4,69
N:W <sub>3</sub>	3	4,46
N:W <sub>4</sub>	3	27,88**
N:W <sub>5</sub>	3	31,35**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 03C. Resumo da análise de variância de stand final (plantas/m<sup>2</sup>) para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
W: N <sub>0</sub>	4	73,08**
W: N <sub>1</sub>	4	17,52**
W: N <sub>2</sub>	4	1,96
W: N <sub>3</sub>	4	6,59

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 04C. Resumo da análise de variância de rendimento (kg/ha) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
Bloco	2	
N	3	35136173,06**
Resíduo (a)	6	178688,16
Parcelas	11	
Água (W)	4	1288003,38**
N x W	12	55117,98
Resíduo (b)	32	52754,23
Subparcelas	59	
Cultivar (C)	3	1073506,61**
N x C	9	65372,64
W x C	12	73026,73
N x W x C	36	49038,10
Resíduo (c)	120	49973,24
Total	239	
C.V. (a) - (%)		6,72
C.V. (b) - (%)		8,17
C.V. (c) - (%)		15,90

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível 1%

TABELA 05C. Resumo da análise de variância de grãos por vagem para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
Bloco	2	
N	3	6,87**
Resíduo (a)	6	0,07
Parcelas	11	
Água (W)	4	1,64**
N x W	12	0,31
Resíduo (b)	32	0,17
Subparcelas	59	
Cultivar (C)	3	12,70**
N x C	9	0,10
W x C	2	0,13
N x W x C	36	0,13
Resíduo (c)	119	0,11
Total	238	
C.V. (a) - (%)		1,25
C.V. (b) - (%)		4,42
C.V. (c) - (%)		7,07

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível 1%

TABELA 06C. Resumo da análise de variância de vagens por planta para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
Bloco	2	
N	3	330,32**
Resíduo (a)	6	1,58
Parcelas	11	
Água (W)	4	15,35**
N x W	12	1,71
Resíduo (b)	32	1,91
Subparcelas	59	
Cultivar (C)	3	31,00**
N x C	9	3,68**
W x C	2	1,94
N x W x C	36	2,09
Resíduo (c)	119	1,38
Total	238	
C.V. (a) - (%)		4,55
C.V. (b) - (%)		11,18
C.V. (c) - (%)		18,92

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível 1%

TABELA 07C. Resumo da análise de variância de vagens por planta para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
N:C <sub>1</sub>	3	68,56**
N:C <sub>2</sub>	3	115,59**
N:C <sub>3</sub>	3	75,95**
N:C <sub>4</sub>	3	81,25**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 08C. Resumo da análise de variância de vagens por planta para o efeito das cultivares dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C: N <sub>0</sub>	3	3,61	1,20
C: N <sub>1</sub>	3	41,41	13,80**
C: N <sub>2</sub>	3	19,25	6,41**
C: N <sub>3</sub>	3	36,80	12,27**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 09C. Resumo da análise de variância de peso de 100 grãos (g) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
Bloco	2	
N	3	196,51**
Resíduo (a)	6	4,71
Parcelas	11	
Água (W)	4	47,89**
N x W	12	2,48
Resíduo (b)	32	1,90
Subparcelas	59	
Cultivar (C)	3	313,37**
N x C	9	2,86
W x C	2	5,72**
N x W x C	36	2,35
Resíduo (c)	120	2,25
Total	239	
C.V. (a) - (%)		2,42
C.V. (b) - (%)		3,44
C.V. (c) - (%)		7,48

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível 1%

TABELA 10C. Resumo da análise de variância de peso de 100 grãos (g) para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W: C <sub>1</sub>	4	28,31	7,08
W: C <sub>2</sub>	4	23,24	5,81
W: C <sub>3</sub>	4	21,06	5,27
W: C <sub>4</sub>	4	187,64	46,91**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 11C. Resumo da análise de variância de peso de 100 grãos (g) para o efeito das cultivares dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C:W <sub>1</sub>	3	350,59	116,86**
C:W <sub>2</sub>	3	268,33	89,44**
C:W <sub>3</sub>	3	84,19	28,06**
C:W <sub>4</sub>	3	127,29	42,43**
C:W <sub>5</sub>	3	178,40	59,47**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 12C. Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para doses de nitrogênio, lâminas de água e cultivares de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	Q.M. e significância
Bloco	2	
N	3	1,458**
Resíduo (a)	6	0,007
Parcelas	11	
Água (W)	4	0,622**
N x W	12	0,028**
Resíduo (b)	32	0,002
Subparcelas	59	
Cultivar (C)	3	0,050**
N x C	9	0,002
W x C	2	0,005
N x W x C	36	0,002
Resíduo (c)	120	0,002
Total	239	
C.V. (a) - (%)		6,49
C.V. (b) - (%)		8,29
C.V. (c) - (%)		17,10

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%



TABELA 13C. Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para o efeito das doses de nitrogênio dentro de cada lâmina de água. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
N:W <sub>1</sub>	3	1,886	0,629**
N:W <sub>2</sub>	3	1,025	0,342**
N:W <sub>3</sub>	3	0,814	0,271**
N:W <sub>4</sub>	3	0,575	0,192**
N:W <sub>5</sub>	3	0,411	0,137**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 14C. Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água ( $\text{kg/m}^3$ ) para o efeito das lâminas de água dentro de cada dose de nitrogênio. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W: N <sub>0</sub>	4	0,722	0,180**
W: N <sub>1</sub>	4	0,479	0,120**
W: N <sub>2</sub>	4	0,970	0,242**
W: N <sub>3</sub>	4	1,216	0,304**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 15C. Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água (kg/m<sup>3</sup>) para o efeito das lâminas de água dentro de cada cultivar de feijoeiro. UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
W: C <sub>1</sub>	4	0,787	0,197**
W: C <sub>2</sub>	4	0,707	0,177**
W: C <sub>3</sub>	4	0,352	0,088**
W: C <sub>4</sub>	4	0,701	0,175**

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%

TABELA 16C. Resumo da análise de variância de eficiência de uso de água (kg/m<sup>3</sup>) para o efeito das cultivares dentro de cada lâmina de água . UFLA, Lavras - MG, 1994

C.V.	G.L.	S.Q.	Q.M. e significância
C:W <sub>1</sub>	3	0,093	0,031**
C:W <sub>2</sub>	3	0,064	0,021**
C:W <sub>3</sub>	3	0,029	0,010**
C:W <sub>4</sub>	3	0,099	0,033**
C:W <sub>5</sub>	3	0,013	0,004

\*\* : Diferenças significativas pelo teste de F ao nível de 1%