



**RELAÇÕES HÍDRICAS E CRESCIMENTO DE  
PLANTAS JOVENS DE CAFÉ SOB  
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E DOSES  
DE N E K**

**MARCELA APARECIDA FROIS DE ANDRADE**

**2011**

**MARCELA APARECIDA FROIS DE ANDRADE**

**RELAÇÕES HÍDRICAS E CRESCIMENTO DE PLANTAS JOVENS  
DE CAFÉ SOB DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS E DOSES DE N  
E K**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia, para obtenção do título de Mestre.

VITÓRIA DA CONQUISTA – BA  
BAHIA - BRASIL  
2011

A568r

Andrade, Marcela Aparecida Frois de.

Relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e dose de N e K / Marcela Aparecida Frois de Andrade, 2011.

55f.: il.

Orientador (a): Paulo Araquém Ramos Cairo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Vitória da Conquista, 2011.

Referências: f. 43-51.

1. Cafeeiro – Fertirrigação (Nitrogênio e Potássio). 2. *Coffea arabica*. 3. Café – Nutrição mineral. I. Cairo, Paulo Araquém Ramos. II. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Programa de Pós- Graduação em Agronomia. III. T.

CDD: 633.73

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
Área de Concentração em Fitotecnia

Campus de Vitória da Conquista - BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

Título: **RELAÇÕES HIDRICAS E CRESCIMENTO DE  
PLANTAS JOVENS DE CAFÉ SOB DIFERENTES  
REGIMES HIDRICOS E DOSES DE N e K**

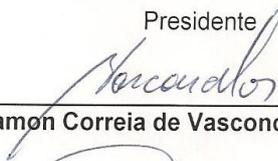
Autor: Marcela Aparecida Frois de Andrade

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de  
MESTRE EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM  
FITOTECNIA, pela Banca Examinadora:



Prof. Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc., UESB

Presidente



Prof. Ramon Correia de Vasconcelos, D.Sc., UESB



Prof. Clóvis Pereira Peixoto, D.Sc., UFRB

Data de realização: 02 de dezembro de 2011.

Estrada do Bem Querer, Km 4 – Caixa Postal 95 – Telefone: (77) 3425-9383 – Fax: (77)  
3424-1059 – Vitória da Conquista – BA – CEP: 45031-900  
e\_mail: mestradoagronomia@uesb.edu.br

À minha mãe, pelo amor incondicional.

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, pela oportunidade de realizar este curso;

Ao Profº Drº Paulo Araquém Ramos Cairo, pelos conhecimentos transmitidos e orientação;

Ao Coordenador do Curso de Pós-graduação em Fitotecnia, Profº.Drº Ramon Correia de Vasconcelos, pelo empenho e dedicação em prol do curso;

Ao Laboratório de Melhoramento e Produção Vegetal, na pessoa do Profº Drº Anselmo Eloy Silveira Viana, pela utilização da casa de vegetação coordenada por esse laboratório e por grande colaboração na análise estatística;

Aos demais professores da UESB, que colaboraram, quando solicitados;

À Prefeitura Municipal de Planalto-Ba e à Prefeitura Municipal de Poções-Ba pela dispensa do trabalho nos momentos solicitados, para dedicação ao curso de mestrado;

Aos meus irmãos, Eduardo e Vagner, que sempre estiveram ao meu lado;

À minha mãe, pelo amor incondicional, que sempre vibrou a cada conquista em minha vida;

Aos colegas do curso de pós-graduação: Gabriela, Cristiane, Tássio, Maurício, Augusto, Alexandre, Thaisi, Cláudia, Gleice, Leilane e Milton, pelo carinho e companheirismo durante as disciplinas, e pela amizade conquistada;

Aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal, em especial a Jerffson Lucas, pela colaboração nas avaliações;

À Diretoria do Campo Agropecuário da UESB (DICAP), em especial, a Juliano, pelo auxílio na condução do experimento;

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

Na hora da luta, a sabedoria vale mais que a força  
bruta para conseguirmos a vitória.

Pv. 21.22

## RESUMO

ANDRADE, M.A.F. **Relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K.** Vitória da Conquista - BA: UESB, 2011. 55p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia, Área de Concentração em Fitotecnia)\*

A adubação NK, em doses mais elevadas, poderá amenizar distúrbios fisiológicos no crescimento do cafeeiro sob restrição hídrica. Por esta razão, este trabalho de pesquisa teve como objetivo avaliar as relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K. Utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) e os tratamentos foram distribuídos em arranjo fatorial 3x3x2 (três níveis de N, três níveis de K e dois regimes hídricos), com três repetições, e uma planta por parcela. Foram utilizadas mudas com seis meses de idade, do cultivar catuaí vermelho IAC 144. As avaliações do experimento foram feitas quando as plantas estavam com 11 meses de idade e no momento em que as plantas do tratamento não irrigado começaram a manifestar sinais visíveis de estresse hídrico, como murchamento e enrolamento das folhas, os quais ocorreram aos 10 dias após a suspensão da irrigação. Foram avaliadas características fisiológicas, tais como potencial hídrico foliar, teor relativo de água, condutância estomática, transpiração e fotossíntese; e as seguintes características morfológicas: altura de planta (ALT), diâmetro da copa (DCO) e matéria seca total (MST). Após a coleta dos dados, foi realizada a análise de variância e, para as médias em que foram detectadas diferenças significativas, empregou-se o método de estudo da regressão, adotando-se os níveis de 5 e 1%, com a utilização do programa SAEG 9.1. Os aumentos nas doses de nitrogênio e potássio contribuíram para amenizar os prejuízos ao estado hídrico dos cafeeiros jovens, com base no potencial hídrico foliar e no teor relativo de água, em plantas submetidas a restrições no fornecimento de água. A deficiência hídrica causou redução na condutância estomática, na transpiração e na fotossíntese líquida das plantas não irrigadas, independentemente dos níveis de adubação com nitrogênio e potássio. Doses de potássio acima da recomendação convencional causaram reduções na condutância estomática e na transpiração das plantas, independentemente do regime hídrico. Doses de nitrogênio e potássio acima da recomendação convencional sinalizaram tendência de redução da fotossíntese líquida e causaram menor crescimento às plantas, em termos de ALT, DCO e MST, independentemente do regime hídrico.

**Palavras Chaves:** *Coffea arabica*, estresse hídrico, nutrição mineral, nitrogênio, potássio

---

\* Orientador: Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc., UESB

## ABSTRACT

ANDRADE, M.A.F. **Water relations and growth of young coffee plants under different water regimes and doses of N and K.** UESB, 2011. 55p. (Dissertation – Master's in Agronomy, Phytotechny Concentration Area)\*

Doses of nitrogen (N) and potassium (K) higher than conventional recommendation could mitigate physiological damages on coffee plant growth under water restriction. This work proposed to evaluate the water relationships and growth of young coffee plants under different water regimes and doses of N and K. The treatments were arranged in factorial 3x3x2 (three doses of N, three doses of K and two water regimes), with three repetitions, one plant for parcel, completely randomized statistical design. Plants of cultivar red catuaí IAC 144 were selected for this work when they were six months old. The evaluations were started at 11 months old, when the plants from water restricted treatment showed visual signs of water stress, like leaf wilting and rolling (10 days after stoppage irrigation). Physiological characteristics (leaf water potential, water relative content, stomatal conductance, transpiration and photosynthesis) and morphological characteristics [plant height (ALT), canopy diameter (DCO) and total dry matter (MST)] were evaluated. The results were submitted to SAEG 9.1 statistical analysis program. Regression study method was applied (5% and 1% levels) for averages, when significative differences were detected. Some water stress effects, like observed in leaf water potential and water relative content, were mitigated in plants under water restrictions, as a consequence to growth of N and K doses, but the water stress caused reductions in transpiration, stomatal conductance and net photosynthesis, independently of N and K doses. The increase of K dose caused reductions in transpiration and stomatal conductance, independently of the water regime. The increase of N and K doses suggested a possible net photosynthesis reduction and caused reductions in plant growth, in terms of ALT, DCO and MST, independently of the water regime.

**Keywords:** *Coffea arabica* / water stress / nitrogen / mineral nutrition / potassium

---

\* Adviser: Paulo Araquém Ramos Cairo, D.Sc., UESB

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 Efeito da interação entre as doses de potássio (A) e nitrogênio (B) e da interação entre regimes hídricos (I: irrigado; NI: não irrigado) e nitrogênio (C) para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos..... 29
- Figura 2 Efeito do potássio (A) e da interação entre regimes hídricos (I: irrigado; NI: não irrigado) e nitrogênio (B) sobre o teor relativo de água (TRA) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos..... 32
- Figura 3 Efeito do potássio na condutância estomática ( $g_s$ ) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos. Dados originais em  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  transformados pela expressão:  $\sqrt{(x)}$ ..... 36
- Figura 4 Efeito do potássio na transpiração foliar ( $E$ ) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos. Dados originais em  $\text{mmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  transformados pela expressão:  $\sqrt{(x)}$ ..... 36
- Figura 5 Efeito da interação entre as doses de potássio (A) e nitrogênio (B) sobre a fotossíntese líquida ( $A$ ) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos. Dados originais em  $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$  transformados pela expressão:  $\sqrt{(x)}$ ..... 37

Figura 6 Efeito da interação entre as doses de potássio (A) e nitrogênio (B) para a altura [ALT: (1A e 1B)], o diâmetro da copa [DCO: (2A e 2B)], e a matéria seca total [MST: (3A e 3B)], de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos em casa de vegetação com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos. Dados originais transformados pela expressão:  $\log(x)$ ..... 41

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Resumo do quadro de análise de variância e coeficiente de variação para os valores de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e teor relativo de água (TRA), no período antemanhã, em cafeeiros cultivados sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K, em casa de vegetação.....	27
Tabela 2	Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cafeeiros jovens submetidos aos regimes irrigado e não irrigado (RH), em função de doses de nitrogênio (N).....	28
Tabela 3	Teor relativo de água (TRA) em cafeeiros jovens submetidos aos regimes irrigado e não irrigado (RH), em função de doses de nitrogênio (N).....	30
Tabela 4	Resumo do quadro de análise de variância e coeficiente de variação para os valores de condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e fotossíntese ( $A$ ) em cafeeiros jovens cultivados sob diferentes regimes hídricos (RH) e doses de N e K, em casa de vegetação.....	33
Tabela 5	Condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e fotossíntese líquida ( $A$ ) em função do regime hídrico (RH) em cafeeiros cultivados sob diferentes RH e doses de N e K, em casa de vegetação.....	34
Tabela 6	Resumo do quadro de análise de variância e coeficiente de variação para os valores do diâmetro da copa (DCO), altura (ALT) e matéria seca total (MST) em cafeeiros cultivados sob diferentes regimes hídricos (RH) e doses de N e K, em casa de vegetação.....	38

Tabela 1A	Desdobramento da interação nitrogênio (N) x potássio (K) para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) no período antemanhã.	53
Tabela 2A	Desdobramento da interação nitrogênio (N) x regime hídrico (RHD) para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ).....	53
Tabela 3A	Desdobramento da interação nitrogênio (N) x regime hídrico (RH) para o teor relativo de água (TRA).....	53
Tabela 4A	Desdobramento da interação nitrogênio(N) x potássio (K) para a fotossíntese. ....	53
Tabela 5A	Desdobramento da interação nitrogênio (N) x potássio (K) para o diâmetro da Copa (DCO).....	54
Tabela 6A	Desdobramento da interação nitrogênio (N) x potássio (K) para a altura de plantas (ALT).....	54
Tabela 7A	Desdobramento da interação nitrogênio(N) x potássio (K) para a matéria seca total (MST).....	54
Tabela 8A	Resultado da análise foliar de cafeeiros cultivados sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K, em casa de vegetação.....	55
Tabela 9A	Resultado da análise química da amostra de solo coletada em área experimental da UESB.....	55

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

A	Fotossíntese líquida
ALT	Altura de planta
CC	Capacidade de campo
CTC	Capacidade de troca catiônica
DCO	Diâmetro da copa
K	Potássio
m%	Índice de saturação de alumínio trocável
MST	Matéria seca total
N	Nitrogênio
RH	Regime hídrico
t	Capacidade de troca efetiva de cátions
T	Capacidade de troca de cátions a pH 7,0
TRA	Teor relativo de água
V%	Índice de saturação de bases trocáveis
$\Psi_p$	Potencial de pressão
$\Psi_s$	Potencial de solutos
$\Psi_w$	Potencial hídrico foliar

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
3.1 Material vegetal, tratos culturais e fitossanitários e delineamento experimental.....	22
3.2 Adubações de plantio e pós-plantio.....	23
3.3 Regimes hídricos.....	24
3.4 Características avaliadas.....	24
3.4.1 Potencial hídrico foliar.....	24
3.4.2 Teor relativo de água.....	25
3.4.3 Condutância estomática, transpiração e fotossíntese líquida.....	25
3.4.4 Altura das plantas.....	25
3.4.5 Diâmetro da copa.....	25
3.4.6 Matéria seca.....	26
3.5 Análise foliar.....	26
3.6 Análise estatística.....	26
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>27</b>
4.1. Potencial hídrico e teor relativo de água.....	27
4.2. Condutância estomática, transpiração e fotossíntese líquida.....	33
4.3. Altura de planta, diâmetro da copa e matéria seca total.....	38
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>42</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>52</b>

## INTRODUÇÃO

A cafeicultura tem elevada importância econômica para o Brasil, com uma área estimada em 2.280,6 mil ha, sendo o estado da Bahia responsável por 6,6% da produção nacional (CONAB, 2011). No sudoeste da Bahia, encontra-se a região do Planalto de Vitória da Conquista, composta por 12 municípios produtores de café – Vitória da Conquista, Barra do Choça, Poções, Planalto, Encruzilhada, Ribeirão do Largo, Itambé, Caatiba, Iguaiá, Nova Canaã, Boa Nova e Ibicuí –, onde a área cultivada com “café arábica” é de aproximadamente 50.000ha (DUTRA NETO, 2004).

O nitrogênio é o nutriente que mais limita a produção, em razão da sua alta demanda pelo cafeeiro e da pobreza da maioria dos solos brasileiros em relação a esse elemento (MALAVOLTA, 1993), enquanto o potássio é o segundo elemento mais requerido (NOGUEIRA e outros, 2001).

Nazareno e outros (2003), trabalhando com o cultivar Rubi 1192, sob diferentes doses de NPK e regimes hídricos, durante o primeiro ano após o transplante, verificaram alteração na distribuição de matéria seca da parte aérea da planta, que leva ao aumento na proporção de massa de gemas/frutos nos tratamentos não-irrigados. Fahl e outros (2001a,b) constataram que aplicações de doses crescentes de nitrogênio aumentaram linearmente o número de frutos, o comprimento de internódios e o diâmetro da copa no cafeeiro em formação. Sanzonowicz e outros (2003) concluíram que a resposta à aplicação de nitrogênio foi influenciada pelo estresse hídrico e que houve interação positiva entre os regimes hídricos e a aplicação de fósforo e potássio.

No município de Vitória da Conquista há uma grande variabilidade temporal da precipitação, tanto dentro de um mesmo ano, como de um ano para outro (MATSUMOTO, 2004). Em geral, nessa região, ocorrem veranicos que costumam coincidir com as temperaturas anuais mais elevadas. Tais características climáticas influem decisivamente na formação

inicial do cafeeiro, sobretudo ao se fazer o transplante de mudas do viveiro até o local definitivo, quando são exigidas condições adequadas, tais como boa nutrição e disponibilidade de água.

A umidade do solo, além de influenciar a disponibilidade de elementos essenciais, afeta também o processo de absorção radicular, visto que a água é o veículo natural de entrada dos nutrientes na planta. Assim, a precipitação pluviométrica ou níveis de irrigação, utilizados na área agrícola, podem influenciar a absorção dos nutrientes pelas culturas (PRADO, 2008). Por outro lado, é importante levar em conta que, respeitando-se certos limites, o aumento na disponibilidade de nutrientes para as plantas, medido pelo incremento na concentração do nutriente na solução do solo, resulta em aumento na quantidade absorvida, por unidade de tempo (MARSCHNER, 1995).

A adubação NK em doses mais elevadas poderá amenizar distúrbios fisiológicos no crescimento do cafeeiro sob restrição hídrica. Por esta razão, este trabalho de pesquisa teve como objetivo avaliar as relações hídricas e crescimento de plantas jovens de café sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K.

## REFERENCIAL TEÓRICO

O cafeeiro é um arbusto da família das rubiáceas, gênero *Coffea*, do qual são conhecidas cerca de 70 espécies. No entanto, destas espécies – *Coffea arabica* L. e *Coffea canephora* – têm importância econômica, as quais são designadas comumente de “café arábica” e “café robusta” (MENDES e GUIMARÃES, 1996).

A estimativa de produção de café (arábica e robusta), para a safra 2011, indica que o país deverá colher entre 41,89 e 44,73 milhões de sacas de 60 quilos do produto beneficiado. O resultado representa uma redução entre 12,9 % e 7,0 %, quando comparado com a produção obtida na safra anterior. Essa redução deve-se ao ano de baixa bialidade. Diferentemente das safras anteriores de baixa bialidade, a produção de café no Estado da Bahia apresenta, nesta nova safra, uma produção superior (entre 8,9 % e 15,8 %) à obtida em 2010, passando de 2.292,7 mil sacas para uma produção entre 2.495,8 e 2.655,6 mil sacas de café beneficiadas (CONAB, 2011).

A produção de café na Bahia encontra-se distribuída em 57 municípios das regiões do Planalto e Cerrado, que cultivam *Coffea arabica*, e em 36 municípios da região da Mata Atlântica, que cultivam *Coffea canephora*. Os cafeeiros cultivados na região sudoeste da Bahia são, na sua maioria, dos cultivares “Catuaí” e “Mundo Novo” (DUTRA NETO, 2004), cultivados em áreas em que 50 % dos solos possuem níveis adequados de pH (SOUZA e outros, 2000).

O cultivar Catuaí é uma planta de porte baixo, com internódios curtos e ramificação secundária abundante, sendo susceptível à ferrugem. Os frutos podem ser vermelhos ou amarelos, de maturação média a tardia, cujos grãos produzem bebida de ótima qualidade. Esse cultivar é indicado para plantios adensados e /ou em renque. Já o cultivar Mundo Novo possui porte alto, é vigorosa, com frutos vermelhos e de maturação média, também susceptível à ferrugem e com ótima qualidade de bebida. Esses dois cultivares

são os mais plantados no Brasil (MATIELLO e outros, 2005; GUERREIRO FILHO, 2006).

Além da escolha criteriosa e adequada do cultivar a ser explorado, outro fator importante na produtividade do cafeeiro é a disponibilidade hídrica no solo, pois a água é de vital importância no ciclo de qualquer planta, uma vez que ela atua na manutenção e preservação de suas funções vitais. A irrigação tem propiciado um melhor estado hídrico no cafeeiro no período seco (COELHO, 2002; MANTOVANI, 2002), conferindo-lhe maior potencial hídrico (SILVA e outros, 2000; OLIVEIRA e outros, 2002) e maior desenvolvimento do sistema radicular no sentido horizontal (SOARES e outros, 2005), mas no período seco e frio, mesmo irrigado, o cafeeiro reduz suas taxas de crescimento (ANTUNES e outros, 2001; NAZARENO e outros, 2003).

O cafeeiro se enquadra no grupo de plantas mesófitas, as quais, segundo definição de Marengo e Lopes (2009), crescem normalmente em solos bem drenados e em locais que apresentam grandes variações de umidade do ar e tem a regulação da perda de água por meio da abertura e do fechamento dos estômatos. O fechamento estomático tem sido frequentemente considerado como o indicador primário do déficit hídrico no cafeeiro (DA MATTA e RENA, 2002). Em clones tolerantes de *Coffea canephora* houve um substancial fechamento dos estômatos em resposta ao déficit hídrico (DA MATTA, 2000b; RONCHI e outros, 2005).

Pequenas reduções na disponibilidade de água podem diminuir substancialmente o crescimento do cafeeiro, ainda que não se observe murcha nas folhas ou quaisquer outros sinais visíveis de déficit hídrico (DA MATTA e RENA, 2002).

Quando o déficit hídrico está muito elevado, o cafeeiro começa apresentar os seguintes sintomas: murcha, desfolha, secamento dos ramos, morte das raízes e aparecimento de deficiências induzidas de nutrientes. A consequência desses sintomas é a queda na produção, uma vez que a planta, normalmente, necessita encontrar umidade no solo durante todo período de

vegetação e frutificação (ASSAD e outros, 2000a). Nos sistemas de produção de regiões propensas à seca, os cultivares com maior estabilidade de rendimento sob estresse hídrico, ou seja, maior capacidade de sobreviver a episódios de seca, podem ser de maior valor que os cultivares com alto potencial de rendimento selecionados para ambientes melhorados (DA MATTA, 2004).

Guerra Neto e outros (2007) estudaram o déficit hídrico em cafeeiro e concluíram que os efeitos da seca afetaram em maior intensidade os níveis de reservas orgânicas das plantas e o crescimento de radículas do que a carga pendente da cultura, com redução do comprimento e massa fresca e seca dos ramos plagiotrópicos (SILVA e outros, 2001).

De acordo com Matiello (2005), para o sucesso na formação da lavoura cafeeira é necessário realizar a suplementação com água pós-plantio das mudas, sempre que necessário, permitindo assim o bom pegamento das mesmas, evitando as replantas. Fialho e outros (2007) avaliaram o desenvolvimento inicial do cafeeiro com baixa disponibilidade de água e constataram que um período de déficit hídrico fixo de 30 dias, causou perdas significativas nas plantas recém transplantadas, promovendo expressiva redução na produção de matéria seca da parte aérea, da área foliar, do diâmetro da copa e da altura das plantas do cafeeiro.

Os tipos de recipiente e substrato em que as mudas são produzidas também influenciam no desenvolvimento do cafeeiro, depois de transplantado (VALLONE e outros, 2009; VALLONE e outros, 2010a), e também quando passam por déficit hídrico (VALLONE e outros, 2010b). Caramori (2002) verificou que mudas de café submetidas a baixas temperaturas e a estresse hídrico moderado apresentaram maior frequência de plantas não danificadas e menor frequência de plantas com danos severos; em contrapartida, plantas muito hidratadas sofreram danos severos com maior frequência.

A redução ou interrupção completa do ritmo de crescimento é considerada a primeira e mais séria consequência fisiológica para as plantas quando estas estão submetidas a uma baixa disponibilidade de água no solo

(CAIRO, 1995). Embora seus efeitos dependam da duração, intensidade e estágio fenológico da cultura, o déficit hídrico limita o crescimento vegetativo, formação e maturação dos grãos em cafeeiro (MAIA, 2004).

Segundo Assad e outros (2000b), o ciclo fenológico do cafeeiro no sudoeste da Bahia é bem definido, com florescimento na primavera, frutificação no verão, maturação no outono e colheita no inverno. Melo Filho (2005) avaliou o balanço hídrico do solo para a cultura do café na região sudoeste da Bahia e verificou que a distribuição das chuvas foi bastante irregular em relação ao ciclo reprodutivo do café, porém, atendeu parte da demanda da evapotranspiração real da cultura e que a armazenagem de água pelo solo esteve sempre abaixo da capacidade de campo, sendo necessário o fornecimento de água suplementar para o cafeeiro nos meses de outubro, novembro e abril.

Kobayashi (2008) avaliou o potencial de água nas folhas do cafeeiro ao longo do ano, nas condições climáticas de Mococa-SP, e verificou que o período de estresse hídrico coincidiu com a fase de indução (fevereiro a junho) e maturação das gemas florais, bem como o período de maiores volumes de precipitação pluvial com a granação e maturação dos frutos. Silva e outros (2008) concluíram que o potencial hídrico foliar mostrou-se um indicador fisiológico que guarda relação direta com a produtividade, podendo-se recomendar o seu emprego no manejo da irrigação.

Para o pleno desenvolvimento e a máxima produção, é necessária uma interação entre a disponibilidade de água e a nutrição mineral. De modo geral, os solos brasileiros não se encontram com quantidade suficiente dos elementos minerais necessários, tornando-se obrigatória a adubação dos cafezais (MATIELLO, 2005).

Considerado como o elemento mais requerido pelo cafeeiro, o nitrogênio é responsável pelo aumento do índice da área foliar, com consequente aumento da fotossíntese e dos compostos fundamentais, como proteínas, ácidos nucleicos e constituintes de membrana. A nutrição nitrogenada adequada, desde que não haja outros fatores limitantes, é

evidenciada no desenvolvimento rápido, no aumento da ramificação dos galhos frutíferos e na formação de folhas verdes e brilhantes.

O nitrato e o amônio são as principais fontes de nitrogênio inorgânico absorvido pelas raízes de plantas superiores. A maior parte do amônio é incorporada em compostos orgânicos nas raízes, enquanto que o nitrato é provavelmente móvel no xilema e também pode ser armazenado nos vacúolos das raízes, brotos e órgão de armazenamento (MARSCHNER, 1995). Reichardt (2009), avaliando o nitrogênio aplicado ao solo, verificou que, dos 630 Kg ha<sup>-1</sup> de N aplicados em dois anos, ao final, 180 Kg ha<sup>-1</sup> se encontravam na planta (parte aérea mais raiz), 150 Kg ha<sup>-1</sup> ficaram disponíveis para os anos seguintes (solo e serapilheira) e apenas 20 Kg ha<sup>-1</sup> foram efetivamente perdidos (volatilização e lixiviação).

Freitas e outros (2003) estudaram o crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas inter-relações com fontes de nitrogênio e verificaram que o crescimento mínimo coincidiu, no tempo, com médias de temperaturas mínimas relativamente baixas. O reinício do crescimento ativo ocorreu no início da elevação das médias das temperaturas mínimas no mês de setembro e o N suplementar não modificou esse padrão de crescimento, mas suavizou as quedas no crescimento em abril e maio, bem como induziu maiores taxas de crescimento nas estações subsequentes. Sanzonowicz e outros (2000) também não encontraram efeito da aplicação das doses de nitrogênio na flutuação bienal na produção de grãos do cafeeiro.

As exigências do cafeeiro em potássio são equivalentes às de nitrogênio, sendo este último mais exigido no crescimento foliar. O potássio aparece em maior concentração nos frutos, em particular na polpa do café, mas sem participar de moléculas orgânicas (MALAVOLTA, 1993), sendo que grande parte do potássio é encontrada na seiva da célula na forma solúvel (NOGUEIRA e outros, 2001).

As plantas dependem também do potássio para regular a abertura e fechamento dos estômatos. O próprio funcionamento dos estômatos depende de um suprimento adequado de potássio, o qual se move para dentro das

células-guarda. Estas acumulam água e intumescem, causando abertura dos estômatos, permitindo o movimento livre dos gases para dentro e para fora da célula. Quando o suprimento de água é baixo, o potássio é bombeado para fora das células-guarda e os poros se fecham firmemente para evitar perda de água. Se o suprimento de potássio é inadequado, os estômatos ficam lentos, demoram a responder e o vapor d'água é perdido (TAIZ E ZEIGER, 2009).

O potássio exerce também uma função maior no transporte de água e nutrientes no xilema, em todas as partes da planta. Quando o suprimento de potássio é reduzido, a translocação de nitrato, fósforo, cálcio, magnésio e aminoácidos diminui. Por outro lado, o sistema de transporte no xilema está, muitas vezes, ligado a enzimas específicas e aos hormônios de crescimento da planta e, em ambos os sistemas de transporte (xilema/floema), um suprimento maior de potássio é essencial (NOGUEIRA e outros, 2001). As quantidades de potássio detectadas nas partes vegetativas são suficientes para mostrar que este nutriente desempenha um papel importante na nutrição dessa cultura. Em geral, altos teores de potássio estão correlacionados a produções elevadas (MALAVOLTA, 1993).

Clemente e outros (2008) encontraram faixas críticas para os teores de nitrogênio (de 19,24 a 23,16 g.kg<sup>-1</sup>) e potássio (de 17,39 a 19,02 g.kg<sup>-1</sup>) nas folhas de cafeeiros de primeiro ano pós-plantio. Moura (2007), avaliando cultivares de café em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio e potássio, verificou que a maioria dos cultivares avaliados mostrou-se responsiva às variações nas disponibilidades de N e K e que alguns cultivares destacaram-se por apresentar altos valores de área foliar e produção de matéria seca da parte aérea e total, em função da disponibilidade de N e K.

Antunes e outros (2000a) avaliaram a influência da fertirrigação com nitrogênio e potássio nos componentes vegetativos do cafeeiro arábica em formação e verificaram que os tratamentos com níveis superiores de fertirrigação evidenciam a possibilidade de um aumento das necessidades nutricionais de cafeeiros fertirrigados em formação, mas não são encontrados

nas folhas teores mais elevados dos elementos de N e K no tratamento que recebeu maiores quantidades destes nutrientes (ANTUNES e outros, 2000b).

Nazareno e outros (2003) estudaram níveis de adubação sob regimes hídricos e constataram que o desenvolvimento das gemas em frutos altera a distribuição de matéria seca da parte aérea da planta, favorecendo os tratamentos não-irrigados, em termos de massa de gemas/frutos.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, no campo agropecuário da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, *campus* de Vitória da Conquista. A área experimental está localizada a uma latitude 14°53'16.13"S e longitude 40°47'44.04"O, numa altitude de 885 m. O clima da região é do tipo CFC – tropical de altitude, segundo a classificação de Köppen (OMETTO, 1981). A precipitação média anual é 733,9mm, concentrada nos meses de novembro a março, e as médias de temperaturas máximas e mínimas são, respectivamente, 25,3°C e 16,1°C.

#### **3.1 Material vegetal, tratos culturais e fitossanitários e delineamento experimental**

Foram utilizadas mudas com seis meses de idade, do cultivar catuaí vermelho IAC 144, obtidas em viveiro devidamente credenciado pelo Ministério da Agricultura, no município de Barra do Choça – BA, reconhecido como importante pólo produtor de café.

As mudas foram aclimatadas por um período de 15 dias, após a saída do viveiro, permanecendo quatro dias em cobertura telada com sombrite com 40% de restrição da luz solar, quatro dias com 30% de restrição de luz solar, cinco dias com 20% de restrição de luz solar e, por fim, dois dias a pleno sol.

Os tratos fitossanitários foram uniformes em todo o experimento e consistiram de duas pulverizações: uma com o produto comercial AMISTAR 500 WG, para prevenção de Mancha-de-olho pardo, Ferrugem e Phoma (doenças comuns na cultura do cafeeiro); e outra com o produto comercial ABAMECTIM DVA 18 EC, para o controle de pulgão e ácaro branco, logo após o aparecimento dos primeiros sintomas de ataque dessas pragas.

O transplântio foi realizado quando as mudas estavam com seis meses de idade em vasos pretos, que absorvem os raios solares, com capacidade para 16 litros. Os tipos de recipiente em que as mudas são

produzidas também influenciam no desenvolvimento do cafeeiro (VALLONE e outros, 2010a). Para implementar os tratamentos experimentais, utilizou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC), o qual consistiu de um fatorial com 18 tratamentos, sendo três doses de nitrogênio (1, 2 e 3 vezes a dose convencional recomendada), três doses de potássio (1, 2 e 3 vezes a dose convencional recomendada) e dois regimes hídricos (irrigado e não-irrigado). Foram estabelecidas três repetições por tratamento e uma planta por parcela.

### **3.2 Adubações de plantio e pós-plantio**

A adubação de plantio nos vasos foi feita com fósforo (super fosfato simples) (100g) e potássio (cloreto de potássio) (16g), conforme quantidade requerida na análise de solo, com base em recomendação convencional do Instituto Agronômico de Campinas (IAC). O solo utilizado foi classificado como Latossolo amarelo com textura franco argilo arenosa. Segundo metodologia adotada pela Embrapa (1997), determinaram-se as características químicas do solo (Tabela 9A).

Utilizaram-se três níveis de adubação NK: 1, 2, 3 vezes em relação à dose recomendada para o campo (adubação pós-plantio) com base no Boletim 100 do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) para o potássio (16g/planta) e recomendação regional para o nitrogênio (50g/planta). Como em condições de campo o volume da cova é de 64 litros, utilizou-se regra de três para se determinar a quantidade de adubo para o volume do vaso (16 litros), permanecendo a dose mínima de 12g e 4g para o nitrogênio e potássio, respectivamente. A adubação de cobertura constituiu os tratamentos com nitrogênio e potássio, fornecidos com ureia (45% de N) e KCl (60% de  $K_2O$ ), respectivamente, juntamente com a diferenciação dos regimes hídricos. A adubação de cobertura foi parcelada em quatro vezes, com intervalos de 30 dias. Na primeira e na última adubação de cobertura, as plantas estavam com 7 e 10 meses de idade, respectivamente.

### **3.3 Regimes hídricos**

A irrigação foi realizada com o propósito de manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo. Esta, por sua vez, foi determinada pelo método gravimétrico direto, com a utilização de quatro vasos, contendo o equivalente a 16 kg de solo seco em estufa. Nos vasos, o solo foi umedecido até a saturação, sendo posteriormente submetido à drenagem, por um período de 24 h, até cessar totalmente a drenagem livre. A superfície do solo foi coberta, para evitar a evaporação, e então determinou-se o conteúdo de água retida. Aos 11 meses de idade, após 30 dias da última adubação de cobertura, as plantas foram separadas em dois grupos com regimes hídricos distintos: em um dos grupos, as plantas permaneceram irrigadas, com a umidade do solo próxima à capacidade de campo; no outro grupo, suspendeu-se totalmente a irrigação.

### **3.4 Características avaliadas**

As avaliações sobre características fisiológicas e fitotécnicas foram realizadas no momento em que as plantas do tratamento não irrigado começaram a manifestar sinais visíveis de estresse hídrico, tais como murchamento e enrolamento das folhas, os quais ocorreram aos dez dias após suspensão da irrigação.

#### **3.4.1 Potencial hídrico foliar**

Para determinação do potencial hídrico foliar, foram coletadas folhas completamente expandidas, localizadas no terço médio de cada planta, às 5 h da manhã. As folhas foram envolvidas em envelopes de alumínio, os quais foram imediatamente acondicionados em caixa de isopor com gelo e transportados até o laboratório, para evitar riscos de desidratação dos tecidos foliares. O potencial hídrico foi determinado com o uso de uma câmara de pressão (Modelo 1000, PMS), conforme metodologia descrita por Scholander e outros (1965).

### **3.4.2 Teor relativo de água (TRA)**

Para avaliar o TRA, 10 discos foliares foram retirados do centro do limbo foliar (evitou-se a nervura central) e verificou-se o peso da sua massa fresca (PF). Os discos foliares foram, então, colocados em placas de Petri, onde permaneceram submersos em água destilada, durante um período de 24 h, a fim de se obter o peso de sua massa túrgida (PT). Em seguida, os discos foliares foram submetidos à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 70 °C, durante 48 h, a fim de se obter o peso de sua massa seca (PS). Após esses procedimentos, o TRA foi calculado segundo a fórmula abaixo, cujos resultados foram expressos em valores percentuais (%):

$$\text{TRA} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \cdot 100$$

### **3.4.3 Condutância estomática, transpiração e fotossíntese**

A condutância estomática, a transpiração e a fotossíntese foram medidas por meio da avaliação de trocas gasosas, com um medidor portátil de fotossíntese, do tipo analisador infravermelho de gases (Infra-red Gas Analyser) (IRGA LI-6400, LI-COR®, Nebraska/USA).

### **3.4.4 Altura das plantas**

A altura das plantas foi determinada com uma régua graduada, colocada paralelamente ao caule, medindo-se a altura a partir do solo até a gema apical do ramo ortotrópico.

### **3.4.5 Diâmetro da copa**

O diâmetro da copa foi avaliado no terço médio, com régua graduada, colocada transversalmente ao ramo ortotrópico, no sentido leste oeste.

### **3.4.6 Matéria seca**

Ao final do experimento, as plantas foram retiradas dos vasos e levadas ao Laboratório de Fisiologia Vegetal, para determinação da matéria seca. As raízes foram lavadas para retirada de solo e colocadas para secar nas bancadas em papel absorvente. Estas plantas foram submetidas à estufa de circulação e renovação de ar – SL 102 / 480 à temperatura de 65 °C por 48 horas, até obtenção de peso constante.

### **3.5 Análise foliar**

Para avaliação do estado nutricional dos cafeeiros, foram coletados em cada parcela o terceiro par de folhas, localizado no terço médio das plantas, a partir da extremidade dos ramos (MALAVOLTA e outros, 1989). Após as coletas, as folhas foram acondicionadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar, com temperatura de 60 a 70° C, até registrarem peso constante. Em seguida, as plantas foram acondicionadas em sacos de papel e, posteriormente, enviadas ao Laboratório de Nutrição Mineral da Universidade Federal de Lavras, para determinação dos teores de N e K, conforme metodologia descrita por Malavolta e outros,. (1989).

### **3.6 Análise estatística**

As análises estatísticas foram realizadas com o uso do programa SAEG, versão 9.1, procedendo-se a análise de variância por meio do teste F. As médias que não se enquadraram dentro do princípio da normalidade, foram transformadas com as expressões:  $\log(x)$  ou  $\text{raiz}(x)$ . Nas comparações de médias em que foram detectadas diferenças significativas, empregou-se o método de estudo da regressão e os modelos de regressão foram escolhidos com base na significância do teste F, adotando-se os níveis de 5 e 1%.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e teor relativo de água (TRA)

O resumo da análise de variância para as características potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e teor relativo de água (TRA) está apresentado na Tabela 1. Houve diferenças significativas nos valores de  $\Psi_w$  a 1% de probabilidade pelo teste F para os regimes hídricos (RH), níveis de nitrogênio (N) e níveis de potássio (K) e interações significativas a 5% de probabilidade entre os níveis de N e K, e entre os níveis de N e os regimes hídricos. Em relação aos valores de TRA, houve diferença significativa em níveis de 1% para os regimes hídricos e níveis de K, e de 5% para níveis de N e para a interação entre os níveis de N e os regimes hídricos.

**Tabela 1 - Resumo do quadro de análise de variância e coeficiente de variação para os valores de potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) e teor relativo de água (TRA), no período antemanhã, em cafeeiros cultivados sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K, em casa de vegetação.**

FV	GL	Quadrados médios	
		$\Psi_w$	TRA
RHD	1	0,2744907**	278,8017**
N	2	0,4351389**	9,890556*
K	2	0,4050000**	80,23500**
N*K	4	0,02284722*	3,702222
N*RHD	2	0,02782407*	11,62389*
K*RHD	2	0,007962963	1,507222
N*K*RHD	4	0,01775463	1,296111
Resíduo	36	0,007500000	2,691667
CV(%)		7,3704	2,2880

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

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

Antes de qualquer análise comparativa sobre as respostas de  $\Psi_w$  e TRA das plantas, em relação aos tratamentos aplicados, cabe destacar que em ambientes como o utilizado neste trabalho, em que as plantas foram cultivadas em vasos e em casa de vegetação, a suspensão da irrigação

provoca, naturalmente, reduções em  $\Psi_w$  e TRA, bem como nas demais características fisiológicas avaliadas. Isto ocorre, principalmente, por dois motivos: restrições ao crescimento das raízes e menor quantidade de água disponível, em função do limitado volume de solo (KRAMER & BOYER, 1995). Por isto, as plantas tendem a manifestar sintomas de déficit hídrico, em termos de redução de  $\Psi_w$  e TRA, muito mais rapidamente em vasos do que em campo (PIMENTEL e outros, 1999). Muitas vezes, em experimentos nesses recipientes, as plantas não têm tempo hábil para expressar os seus mecanismos de adaptação à seca (HANSON & HITZ, 1982), o que dificulta discriminar melhor eventuais variações nas respostas das plantas às doses de nitrogênio e potássio.

Observa-se, na Tabela 2, que as plantas não irrigadas apresentaram menor  $\Psi_w$ , em comparação às plantas irrigadas.

**Tabela 2. Potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) em cafeeiros jovens submetidos aos regimes irrigado e não irrigado (RH), em função de doses de nitrogênio (N).**

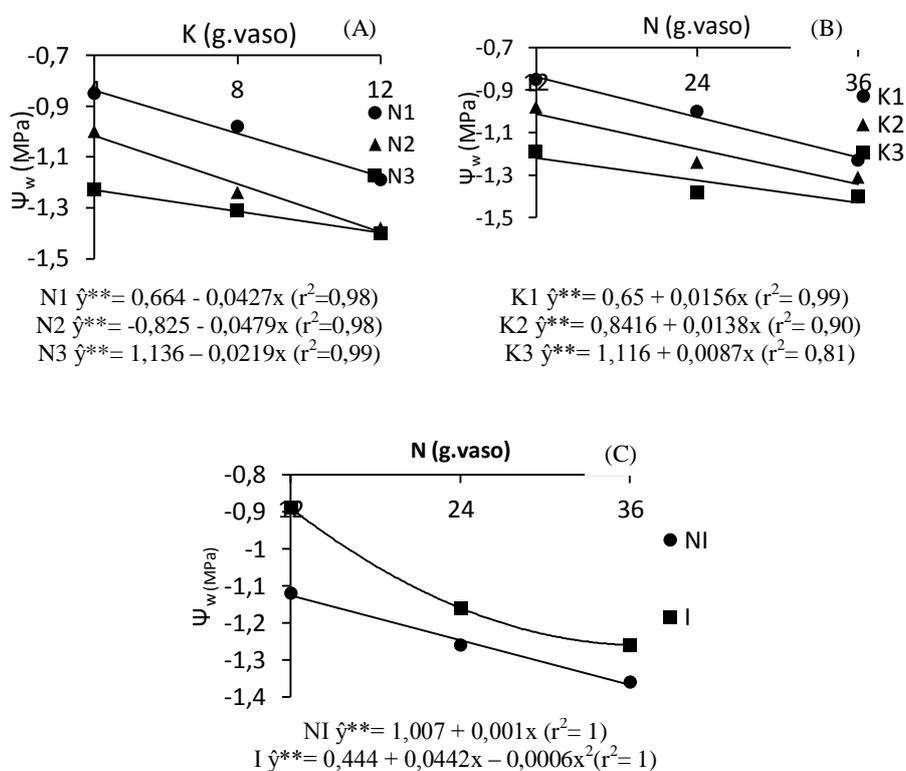
	$\Psi_w$ (MPa)	
	Irigado	Não irrigado
N1	-0,89a	-1,12b
N2	-1,16a	-1,26b
N3	-1,26a	-1,36b

Letras distintas numa mesma linha representam diferenças entre médias (três repetições), pelo teste F ( $p=5\%$ ).

Em plantas sob restrições hídricas, é comum haver redução de  $\Psi_w$ , em consequência do declínio do  $\Psi_s$ , causado pelo aumento da concentração de solutos nos tecidos foliares, como verificado por diversos autores (DA MATTA, 2000b; DA MATTA e outros, 2003; CAVATTE, 2007).

O  $\Psi_w$  foi significativamente menor nos níveis mais elevados de N e K (Figura 1). Os níveis mais elevados de N, provavelmente, contribuíram para diminuir a elasticidade da parede celular, o que favorece a redução do dano celular em plantas sob estresse hídrico. Já o potássio atua como soluto osmótico no decréscimo do potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) que resulta no

decréscimo também do  $\Psi_w$ . Segundo Morgan (1984), a implicação direta do mecanismo de abaixamento do  $\Psi_s$  é a redução da perda de água pelas plantas, associada à manutenção da absorção de água do solo. Pequenas reduções no  $\Psi_w$  foliar podem contribuir para manter o gradiente de energia livre da água entre a planta e o solo. Decréscimos na elasticidade da parede celular levam à manutenção da turgescência celular, na medida em que a parede acompanha a redução do volume do simplasma, sob condições de seca.



**Figura 1.** Efeito da interação entre as doses de potássio (A) e nitrogênio (B) e da interação entre regimes hídricos (I: irrigado; NI: não irrigado) e nitrogênio (C) para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos.

Premachandra e outros (1991a,b) destacaram a participação do K como o principal contribuinte osmótico em plantas de milho sob estresse hídrico. Meinzer e outros (1990) verificaram reduções na elasticidade da parede celular e no  $\Psi_s$  em cinco cultivares de café, durante um período seco. Premachandra e outros (1990a, b) e Garcia e outros (2007) também verificaram reduções na elasticidade da membrana celular, com o aumento nos níveis de N em plantas de soja, milho e tomate, respectivamente.

Sabe-se que o estresse hídrico pode alterar o metabolismo do nitrogênio em plantas, diminuindo a atividade da redutase de nitrato e os teores de proteínas solúveis (TAIZ E ZEIGER, 2009). Portanto, aumentar a oferta de N pode contribuir para resistência à seca, como verificado por Saneoka e outros (2004), que mostraram que o incremento no fornecimento de N em plantas poderia melhorar o efeito negativo da seca, por evitar dano à membrana celular.

Na Tabela 3, verifica-se que as plantas não irrigadas apresentaram menor TRA, em comparação com as irrigadas. Contudo, nos tratamentos em que houve aumento das doses de N, pode-se admitir a ocorrência de osmorregulação nas plantas sob restrição hídrica, tendo em vista que, a despeito da redução do  $\Psi_w$ , a diferença entre o TRA das plantas não irrigadas, em comparação com o TRA das irrigadas, tornou-se menor (Figura 3B).

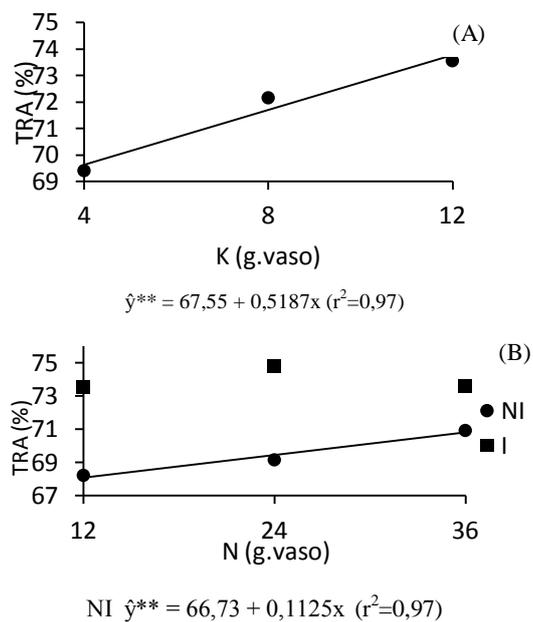
**Tabela 3. Teor relativo de água (TRA) em cafeeiros jovens submetidos aos regimes irrigado e não irrigado (RH), em função de doses de nitrogênio (N).**

	TRA (%)	
	Irigado	Não irrigado
N1	73,51a	68,22b
N2	74,80a	69,16b
N3	73,62a	70,92b

Letras distintas numa mesma linha representam diferenças entre médias (três repetições), pelo teste F (p=5%).

O aumento das doses de potássio contribuiu no processo de osmorregulação, independentemente do regime hídrico (Figura 2A). Vários processos fisiológicos essenciais ao funcionamento da planta envolvem o acúmulo de íons, para diminuir o potencial osmótico e aumentar a pressão de turgor, com destaque para o papel do potássio. Se o suprimento de potássio é inadequado, os estômatos ficam lentos, demoram a responder e o vapor d'água é perdido (MARSCHNER, 1995). Dessa forma, plantas com um adequado suprimento de potássio são menos suscetíveis ao estresse hídrico. O aumento dos níveis de K contribui para o decréscimo do potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) que resulta no decréscimo também do  $\Psi_w$ .

A osmorregulação aumenta a capacidade de extração da água do solo porque promove reduções no  $\Psi_s$  e na elasticidade da parede celular, fazendo com que o  $\Psi_w$  seja grandemente reduzido, sem decréscimos substanciais na turgescência global da planta (TURNER, 1997). Esses mecanismos constituem importante estratégia de tolerância à seca, já que contribuem para preservar o volume celular e, com isso, reduzir os prejuízos que a restrição hídrica pode causar ao crescimento da planta (KRAMER e BOYER, 1995). De acordo com Da Matta e outros (2002a), maiores concentrações de N resultam em alterações pronunciadas nas relações hídricas das plantas sob déficit hídrico, porque aumentam a rigidez da parede celular e permitem o ajustamento osmótico (Figura 2B).



**Figura 2. Efeito do potássio (A) e da interação entre regimes hídricos (I: irrigado; NI: não irrigado) e nitrogênio (B) sobre o teor relativo de água (TRA) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos.**

#### 4.2. Condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e fotossíntese líquida ( $A$ )

O resumo da análise de variância para os valores de condutância estomática, transpiração e fotossíntese líquida está apresentado na Tabela 4. Houve diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para os regimes hídricos e os níveis de potássio (K) para as três características ( $g_s$ ,  $E$  e  $A$ ). A fotossíntese líquida ( $A$ ) apresentou interação significativa a 5% de probabilidade pelo teste F para os níveis de N e K e para as três fontes de variação (N, K e RH). As discussões sobre a ocorrência de significância nas interações entre os fatores restringiram-se às interações duplas, já que as interações triplas apresentam uma complexidade que inviabiliza uma interpretação conclusiva dos resultados.

**Tabela 4 - Resumo do quadro de análise de variância e coeficiente de variação para os valores de condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e fotossíntese ( $A$ ) em cafeeiros jovens cultivados sob diferentes regimes hídricos (RH) e doses de N e K, em casa de vegetação.**

FV	GL	Quadrados médios		
		$g_s$	$E$	$A$
RH	1	0,0192251**	0,2661274**	9,416713**
N	2	0,002304529	0,04540134	0,9127389
K	2	0,02578661**	0,2533296**	14,85669**
N*K	4	0,003672570	0,05266510	1,382603*
N*RH	2	0,004084517	0,05557971	0,6009241
K*RH	2	0,002733855	0,02636599	0,6471185
N*K*RH	4	0,004559291	0,06921199	1,687721*
Resíduo	36	0,001752710	0,02211662	0,4841333
CV(%)		20,352	17,332	23,103

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F.

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

Verifica-se, na Tabela 5, que a deficiência hídrica levou a uma redução na condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e fotossíntese líquida ( $A$ ), independentemente dos tratamentos com N e K. A fotossíntese líquida corresponde a uma maior assimilação de  $CO_2$ , em detrimento à sua liberação simultânea pelo processo de respiração (LARCHER, 2000).

Em plantas sob restrições hídricas, é comum que as taxas fotossintéticas sejam afetadas negativamente, seja devido à redução da condutância estomática, para evitar perda de água por transpiração, a qual compromete o influxo de CO<sub>2</sub> para a câmara subestomática (devido ao fechamento estomático), seja devido ao efeito direto da desidratação sobre a maquinaria fotossintética. Sob condições de deficiência hídrica moderada, o fechamento estomático restringe fortemente a fotossíntese líquida, de forma que o controle estomático tem sido apontado como a fração principal da limitação total da fotossíntese (CORNIC, 2000). Miguel (2005) também atribuiu, em clones jovens de seringueira, as menores taxas de fotossíntese líquida à menor condutância estomática.

**Tabela 5. Condutância estomática ( $g_s$ ), transpiração ( $E$ ) e fotossíntese líquida ( $A$ ) em função do regime hídrico (RH) em cafeeiros cultivados sob diferentes RH e doses de N e K, em casa de vegetação.**

	RH	
	Irrigado	Não Irrigado
$g_s$ (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) <sup>1/</sup>	0,22a	0,18b
$E$ (mmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> ) <sup>1/</sup>	0,93a	0,79b
$A$ (μmol m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )	3,43a	2,59b

Letras distintas numa mesma linha representam diferenças entre médias (três repetições), pelo teste F (p=5%).

<sup>1/</sup>Dados originais em mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> foram transformados pela expressão:  $\sqrt{x}$

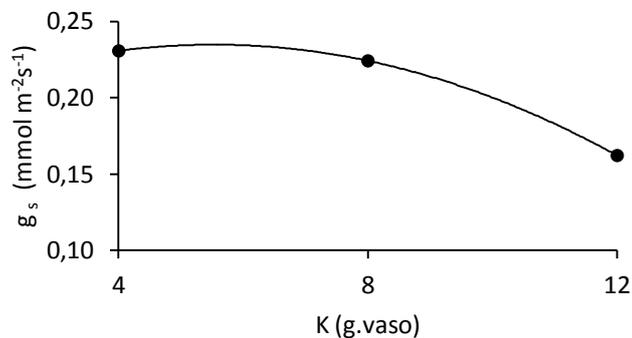
Da Matta e outros (2002b) também verificaram redução na fotossíntese líquida ( $A$ ), em plantas de *Coffea canephora*, sob déficit hídrico, mas, em menor medida, na condutância estomática ( $g_s$ ), independentemente do N. Oliveira (2009), estudando o déficit hídrico em condições de adubação convencional, também encontrou valores menores de fotossíntese nas plantas não irrigadas, quando comparados aos das plantas irrigadas.

As Figuras 3 e 4 ilustram o efeito do potássio sobre a condutância estomática e a transpiração, respectivamente, independentemente do regime hídrico, as quais decresceram em função do aumento dos níveis de K. O

acúmulo e a liberação de potássio pelas células-guarda dos estômatos levam a mudanças em seu turgor, resultando na abertura e fechamento estomático (TAIZ E ZEIGER, 2009). Em plantas estressadas, o aumento nos níveis de ácido abscísico (ABA) é conhecido por estimular a liberação de potássio a partir de células-guarda, dando origem ao fechamento dos estômatos (ASSMANN E SHIMAZAKI, 1999). Uma menor condutância estomática ocasiona, conseqüentemente, menor transpiração.

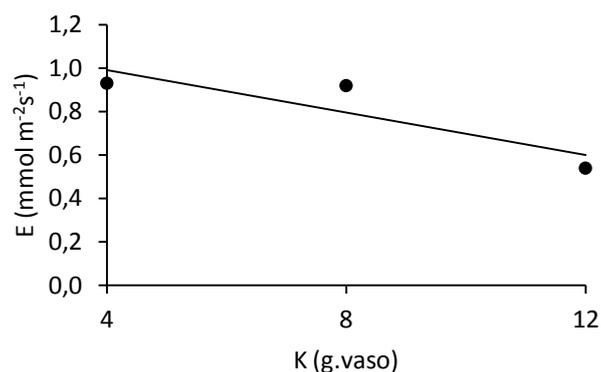
Tesha e Kumar (1978), a partir de experimentos em campo com café arábica no Quênia, mostraram que, com o aumento nos níveis de N, a transpiração diminuiu acentuadamente com a menor disponibilidade de água no solo. Tal comportamento é de particular interesse em relação ao cultivo de café, uma vez que permite a minimização de perda de água sob estresse hídrico.

González e outros (2008) estudaram a deficiência de potássio em oliveiras e plantas de girassol e sugeriram que a inibição do mecanismo de fechamento dos estômatos, produzido por ausência moderada de potássio é um distúrbio fisiológico generalizado, e pode ser a causa da desidratação dos tecidos em muitas culturas com carência de água.



$$\hat{y}^{**} = 0,1817 + 0,0192x - 0,0017x^2 \quad (r^2=1)$$

**Figura 3. Efeito do potássio na condutância estomática ( $g_s$ ) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos. Dados originais em mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> transformados pela expressão:  $\sqrt{(x)}$**



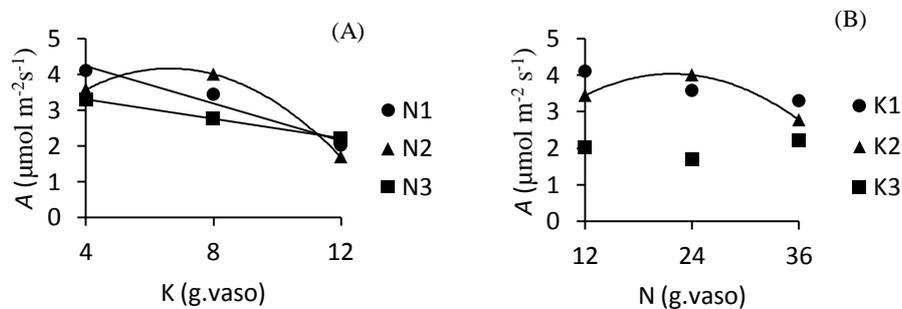
$$\hat{y}^{**} = 1,0724 - 0,0268x \quad (r^2=0,82)$$

**Figura 4. Efeito do potássio na transpiração foliar ( $E$ ) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos. Dados originais em mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> transformados pela expressão:  $\sqrt{(x)}$**

A Figura 5 ilustra a interação entre os níveis de K e N para a fotossíntese. Não foram ajustados modelos significativos para fotossíntese nos níveis K1 e K3, dentro dos níveis de N (Figura 6B). O aumento nos níveis de N (Figura 5B) e K (Figura 5A) refletiu em redução na capacidade

fotossintética das plantas. Considerando-se que a maior parte do nitrogênio da folha (70%) encontra-se nos cloroplastos, admite-se a possibilidade de haver correlação positiva entre o conteúdo de nitrogênio foliar e a fotossíntese (MARENCO e LOPES, 2009), quando em concentrações adequadas na planta (MATIELLO, 2005).

Da Matta e outros (2000a) também verificaram, em *Coffea canephora*, reduções na fotossíntese das plantas sob deficiência hídrica, em função do aumento da disponibilidade de N, em comparação com as plantas irrigadas.



$$\begin{aligned}
 \text{N1 } \hat{y}^{**} &= 5,2689 - 0,2602x \quad (r^2=0,96) \\
 \text{N2 } \hat{y}^{**} &= 0,4133 + 1,1323x - 0,0855x^2 \quad (r^2=1) \\
 \text{N3 } \hat{y}^{**} &= 3,8478 - 0,1363x \quad (r^2=1) \\
 \text{K2 } \hat{y}^{**} &= 1,0883 + 0,2706x - 0,0062x^2 \quad (r^2=1)
 \end{aligned}$$

**Figura 5. Efeito da interação entre as doses de potássio (A) e nitrogênio (B) sobre a fotossíntese líquida (A) de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos, em casa de vegetação, com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos. Dados originais em μmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> transformados pela expressão: √(x)**

### 4.3 Altura de plantas (ALT), diâmetro da copa (DCO) e matéria seca total (MST)

O resumo da análise de variância para os valores de diâmetro da copa, altura de planta e matéria seca total está apresentado na Tabela 6. Houve diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F para os níveis de N e K, independentemente do regime hídrico. As três características (ALT, DCO e MST) apresentaram interação significativa a 5% de probabilidade pelo teste F entre os níveis de N e K. Em razão da diferenciação dos regimes hídricos ter sido imposta num tempo relativamente curto (10 dias), não se observaram diferenças, em resposta à seca, nas características morfológicas avaliadas.

**Tabela 6- Resumo do quadro de análise de variância e coeficiente de variação para os valores do diâmetro da copa (DCO), altura (ALT) e matéria seca total (MST) em cafeeiros cultivados sob diferentes regimes hídricos (RH) e doses de N e K, em casa de vegetação.**

FV	GL	Quadrados médios		
		ALT	DCO	MST
RH	1	0,002898391	0,002894029	0,002070061
N	2	0,1285391**	0,08466166**	0,2243838**
K	2	0,08498427**	0,03398848**	0,2923958**
N*K	4	0,01070784*	0,006005414*	0,07817601*
N*RH	2	0,004298600	0,00009292880	0,001835299
K*RH	2	0,001136006	0,000005137782	0,0003187818
N*K*RH	4	0,001230950	0,0001817221	0,0001681723
Resíduo	36	0,002170630	0,001812781	0,003879963
CV(%)		3,3606	3,0583	4,7540

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

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

Na Figura 6, observou-se um decréscimo para ALT, DCO e MST, com o aumento dos níveis de N e K. Não foram ajustados modelos significativos para o nível N3, dentro dos níveis de K, para as três características avaliadas (ALT, DCO e MST), assim como para o nível K3,

dentro dos níveis de N, para MST. Essa redução do crescimento vegetativo, com o aumento das doses de adubação N e K, pode ser devido ao fato dos nutrientes estarem mais disponíveis às plantas, nas condições de vaso, podendo mais facilmente, causar toxidez, acarretando prejuízo ao crescimento da planta.

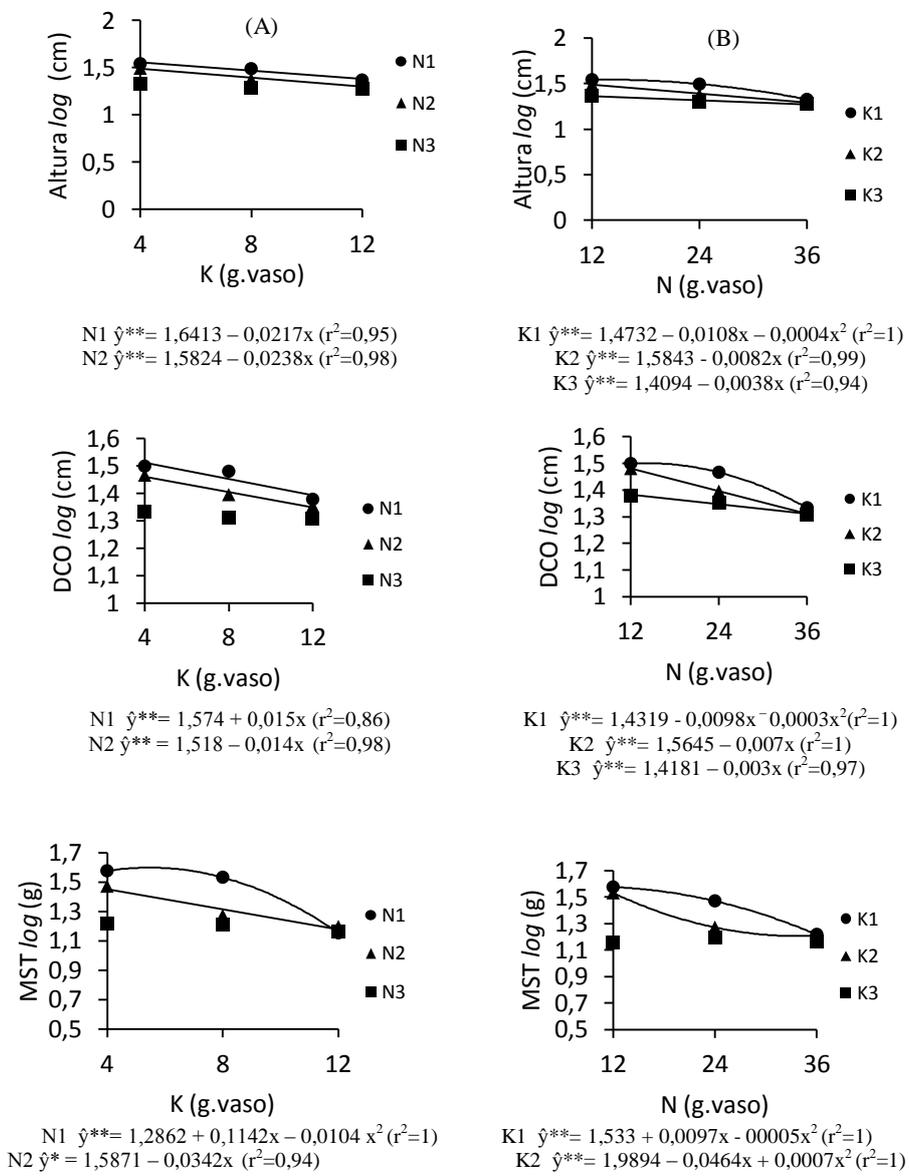
Na análise da composição mineral das folhas (Tabela 8A – APÊNDICE) pode ser observado que os cafeeiros que receberam maiores doses de N e K também apresentaram maiores quantidades desses nutrientes. De acordo com Matiello (1997), para plantas de café em produção no terceiro ou quarto par de folhas, a faixa crítica dos teores de N situa-se entre 3,0 a 3,5%, e teores de K de 1,8 a 2,5%. Como constatado na análise de folhas do cafeeiro, o excesso de nitrogênio nas doses maiores, provavelmente, prejudicou o crescimento das plantas, tanto em ALT e DCO, como na produção de MST. Já os teores de potássio situaram-se dentro da faixa crítica.

Guimarães e outros (1995) observaram que quanto maior a dose de N usada em cobertura, maior era a quantidade de N na matéria seca da parte aérea das mudas, causando menor relação raiz/parte aérea. Apesar de o nitrogênio ter uma ação positiva, quando aplicado em cobertura no desenvolvimento de mudas do cafeeiro, essa pode, por outro lado, afetar a relação raiz/parte aérea, que é uma característica de suma importância para o desenvolvimento das mudas no campo (FALCON, 1999).

Clemente e outros (2008) também encontraram redução no crescimento em altura, em função do aumento nos níveis de adubação. Martin (1988) avaliou o efeito de seis doses de N (0 a 150g/cova), com irrigação, e concluiu que houve efeito positivo e significativo desse nutriente sobre o crescimento e rendimento do cafeeiro. Já TESHIA e KUMAR (1979), no Quênia, analisando plântulas de café arábica submetidas a três níveis de K, dois níveis de N e três regimes de hídricos, verificaram menor absorção de N e K no menor regime hídrico e aumento da absorção de N e K, com suas respectivas aplicações, as quais causaram incrementos no crescimento.

O efeito de doses de N e K em quatro cultivares de *Coffea arabica* L. por cinco anos, foi analisado por Winston e outros (1992), que verificaram que o incremento destes nutrientes não afetou significativamente a altura das plantas, o diâmetro da projeção da copa, o número de ramos laterais e a produção média do café. Entretanto, foram observadas diferenças entre cultivares para as referidas características e para concentrações foliares dos nutrientes.

Neste trabalho, verificou-se que, no tratamento não irrigado, os níveis mais elevados de adubação NK amenizaram os prejuízos à sua condição hídrica. Entretanto, o aumento desses nutrientes na adubação não evitou os prejuízos causados pela deficiência hídrica sobre características diretamente associadas ao crescimento vegetativo, tais como ALT e DCO. A massa seca total das plantas teve desempenho semelhante às outras características de crescimento avaliadas (ALT e DCO), com um decréscimo do desenvolvimento da planta à medida que aumentou os níveis de nitrogênio e potássio nos dois regimes hídricos. Dessa forma, pode-se, testar, em trabalhos futuros, a elevação de doses de N e K em proporções menores e abaixo da segunda dose, em condições de vaso e/ou condições de campo.



**Figura 6. Efeito da interação entre as doses de potássio (A) e nitrogênio (B) para a altura de plantas [ALT: (1A e 1B)], o diâmetro da copa [DCO: (2A e 2B)], e a matéria seca total [MST: (3A e 3B)], de cafeeiros jovens (*Coffea arabica* L.) cultivados em vasos em casa de vegetação com diferentes níveis de adubação e dois regimes hídricos.**

Dados originais transformados pela expressão:  $\log(x)$

## 5 CONCLUSÕES

- ❖ Os aumentos nas doses de nitrogênio e potássio contribuem para amenizar os prejuízos ao estado hídrico dos cafeeiros jovens, com base no potencial hídrico foliar e no teor relativo de água, em plantas submetidas a restrições no fornecimento de água;
- ❖ A deficiência hídrica causa redução na condutância estomática, na transpiração e na fotossíntese líquida das plantas não irrigadas, independentemente dos níveis de adubação com nitrogênio e potássio;
- ❖ Doses de potássio acima da recomendação convencional causam reduções na condutância estomática e na transpiração das plantas, independentemente do regime hídrico;
- ❖ Doses de nitrogênio e potássio acima da recomendação convencional sinalizam tendência de redução da fotossíntese líquida, independentemente do regime hídrico;
- ❖ Os aumentos nas doses de nitrogênio e potássio causam menor crescimento às plantas, em termos de altura, diâmetro da copa e matéria seca total, independentemente do regime hídrico.

## REFERÊNCIAS

- ANTUNES, R. C. B et al. Influência da fertirrigação com nitrogênio e potássio nos componentes vegetativos do cafeeiro arábica em formação.2000a. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537\\_Art210f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537_Art210f.PDF). Acesso em: 07/06/2011.
- ANTUNES, R. C.B et al. Fertirrigação na cultura do cafeeiro: aspectos nutricionais e edáficos.2000b. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537\\_Art213f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537_Art213f.PDF). Acesso em: 08/06/2011.
- ANTUNES, R. C. B et al. Influência da fertirrigação no desenvolvimento do café arábica em formação.2001. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155552\\_Art10f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155552_Art10f.PDF). Acesso em: 03/06/2011.
- ASSAD, E.D. et al. Zoneamento climático da cultura do café (*Coffea arabica*) para o Estado de Goiás. **Comunicado Técnico**. Planaltina-DF, n.35, 2000a, p. 1-6.
- ASSAD, E.D. et al. Zoneamento climático da cultura do café (*Coffea arabica*) para o Sudoeste da Bahia. **Comunicado Técnico**. Planaltina-DF, n.36, 2000b, p. 1-6.
- ASSMANN,S.M; SHIMAZAKI, K. The multisensory guard cell. stomatal responses to blue light and abscisic acid. **Plant Physiology**. v. 119, p. 809–815. 1999.
- CAIRO, P.A.R. **Curso básico de relações hídricas de plantas**. Vitória da Conquista, UESB, 1995. 32p.
- CARAMORI, L.P.C. Effect of leaf water potential on cold tolerance of *Coffea arabica* L. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.45, n. 4, p. 439-443, Dec. 2002.
- CAVATTE, P. C. **Morfologia, relações hídricas e fotossíntese em dois cultivares de *Coffea canephora* submetidos ao déficit hídrico**. 2007. 52 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Agrárias) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

CLEMENTE, F.M.V.T. et al. Faixas críticas de teores foliares de macronutrientes no cafeeiro em pós-plantio - primeiro ano. **Coffee Science**, Lavras, v. 3, n. 1, p. 47-57, jan./jun. 2008.

COELHO, G. Efeito da irrigação sobre o comportamento fisiológico do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. catuaí) ao longo do dia. 2002.

[www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em:

<http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/Art001318f.PDF>. Acesso em: 03/06/2011.

CONAB. Acompanhamento da safra brasileira. Café – Safra 2011 – Primeira estimativa janeiro de 2011. Brasília. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em:

[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11\\_01\\_06\\_08\\_52\\_41\\_boletim\\_cafe\\_1a\\_estimativa\\_safra\\_2011..pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/11_01_06_08_52_41_boletim_cafe_1a_estimativa_safra_2011..pdf). Acesso: 26/07/2011.

CORNIC, G. Drought stress inhibits photosynthesis by decreasing stomatal aperture: not by affecting ATP synthesis. **Trends in Plant Science**. v.5 , p.187-188. 2000.

DA MATTA, F. M; CHAVES, A. R. M; PINHEIRO, H. A; DUCATTI, C; LOUREIRO, M. E. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**. v. 164, p.111-117. 2003.

DA MATTA, F. M. Eficiência do uso da água e tolerância à seca em *Coffea canephora*. 2000b. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em:[http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537\\_Art238f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537_Art238f.PDF). Acesso em: 04/06/2010.

DA MATTA, F. M. et al. Efeitos do nitrogênio e do déficit hídrico sobre as trocas gasosas, composição isotópica do carbono e emissão de fluorescência em *Coffea canephora*. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL.2000a. Poços de Caldas, MG. **Resumos expandidos...** Brasília, D.F. : Embrapa Café, 2000a. p. 903-906.

DA MATTA, F. M. Exploring drought tolerance in coffee: a physiological approach with some insights for plant breeding. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Viçosa. v.16, n.1, p. 1-6. 2004.

DA MATTA, F. M; LOOS, R. A; EMERSON A. SILVA, E. A;  
LOUREIRO, M. E. Limitations to photosynthesis in *Coffea canephora* as a  
result of nitrogen and water availability. **Journal of Plant Physiology**.  
v.159, p. 975–981, 2002b.

DA MATTA, F.M.; LOOS, R.A.; SILVA, E.A.; DUCATTI, C.;  
LOUREIRO, M.E. Effects of soil water deficit and nitrogen nutrition on  
water relations and photosynthesis of pot-grown *Coffea canephora* Pierre.  
**Trees**, v.16, p. 555–558. 2002a.

DA MATTA, F. M; RENA, A. B. Relações hídricas no cafeeiro. 2002.  
[www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em:  
[http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/10820/11/166699\\_Art01f.pdf?sequence=1](http://www.sbicafe.ufv.br/bitstream/handle/10820/11/166699_Art01f.pdf?sequence=1). Acesso em: 05/07/2011.

DUTRA NETO, C. **Café e desenvolvimento sustentável**. Vitória da  
Conquista – BA, UESB/DEAS, 2004. 168 p.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de  
análise de solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, EMBRAPA, 1997. 212p.

FAHL, J. I. et al. Estudo de relação N/K no crescimento e produção de  
cafeeiro Obatã IAC 1669-20. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA  
DOS CAFÉS DO BRASIL, nº2. 2001. Vitória, ES. **Anais...** Brasília, DF.  
Embrapa Café, 2001b, p. 137-143.

FAHL, J.I. et al. Interação de doses de nitrogênio e potássio no crescimento e  
produção do cafeeiro em formação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE  
PESQUISAS CAFEIIRAS. Rio de Janeiro, PROCAFÉ, 2001a. p. 390.

FALCON, L. **Fontes e doses de matéria orgânica na produção de mudas e  
na implantação de lavouras cafeeiras**. 1999. 67p. Dissertação (Mestrado em  
Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

FIALHO, G. S. et al. Avaliação de plantas de *Coffea arabica* L. submetidas a  
déficit hídrico em diferentes fases de seu desenvolvimento inicial. In:  
SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL , nº5, 2007, Águas  
de Lindóia, SP. **Anais...** Brasília, DF, Embrapa - Café, 2007. p 4.

FREITAS, R. B. et al. Efeitos de adubação nitrogenada de solo e folha, no  
inverno e verão, em cafeeiros em produção. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA  
DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ &  
SAÚDE, Nº3. Porto Seguro - BA. **Anais...** Brasília, DF , Embrapa Café, 2003.  
p. 412.

GARCIA , A.L.; MARCELIS, L.; GARCIA-SANCHEZ, F.; NICOLAS, N.; MARTINEZ, V. Moderate water stress affects tomato leaf water relations in dependence on the nitrogen supply. **Biologia Plantarum**, v. 51, p. 707-712, 2007.

GONZÁLEZ, M. B; ARQUERO, O; JOSE´ MARI´A FOURNIER, J. M; BARRANCO, D; BENLLOCH, M. K<sup>+</sup> starvation inhibits water-stress-induced stomatal closure. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, p. 623—630, 2008.

GUERRA NETO, E. et al. Déficit hídrico severo afeta as reservas orgânicas do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, n°5, 2007, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** Brasília, DF, Embrapa - Café, 2007. p 3.

GUERREIRO FILHO, O.; FAZUOLI, L. C.; EIRA AGUIAR, A. T. Cultivares de *Coffea arabica* selecionados pelo IAC: características botânicas, tecnológicas, agronômicas e descritores mínimos. 2006. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2006\\_2/Cultivares\\_cafe/Index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2006_2/Cultivares_cafe/Index.htm)>. Acesso em: 12/11/2011.

GUIMARÃES, R. J. et al. Efeito da aplicação em cobertura de N e K em diferentes doses e épocas no desenvolvimento de mudas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 21, Caxambu, 1995. **Resumos...** Rio de Janeiro. MAPA/PROCAFÉ. 1995. p. 150-152.

HANSON, H. D.; HITZ, W. D. Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. **Annual Review of Plant Physiology**, v. 33, p. 163-203, 1982.

KOBAYASHI, E. S. et al. Variação sazonal do potencial da água nas folhas de cafeeiro em Mococa-SP. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 2, p. 421-428, 2008.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego, Academic Press, 1995. 495 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos, RiMa Artes e Textos, 2000. 531 p.

MAIA, R. M. B. **Disponibilidade de água no solo para a cultura do café no Planalto de Conquista-Ba:** análise dos componentes do balanço hídrico. 2004. 46 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) – Universidade Federal da Bahia, Cruz das Almas, 2004.

MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro:** colheitas econômicas e máximas. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E.; VITII, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas:** princípios e aplicações. Piracicaba, POTAFOS, 1989. 319p.

MANTOVANI, E. C. Cafeicultura irrigada: bases tecnológicas para sustentabilidade. 2002. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/166699\\_Art02f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/166699_Art02f.PDF). Acessado em: 08/06/2011.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal:** fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. 3 ed. Viçosa, Editora UFV, 2009. 486 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 ed. New York, Academic Press, 1995. 889 p.

MARTIN, J. R. La fertilizacion nitrogenada de *Coffea arabica* L. cultivado al sol, bajo Riego, em suelo ferralítico rojo. I. Crecimiento. **Cultivos Tropicales.** v. 10, n. 4, p. 38-44, 1988.

MATIELLO, J. B. et al. **Cultura do café no Brasil:** novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2005. 438p.

MATIELLO, J. B. **Gosto do meu cafezal.** Publicações Globo rural, 1997. 139p.

MATSUMOTO, S. N. (org). **Arborização de cafezais no Brasil.** Vitória da Conquista, Edições UESB, 2004. 213p.

MEINZER, F.C; GRANTZ, D.A; GOLDSTEIN, G; SALIENDRA, N. Z. Leaf water relations and maintenance of gas exchange in coffee cultivars grown in drying soil. **Plant Physiology.** V.94, p. 1781-1787. 1990.

MELO FILHO, J. F. Balanço hídrico da água no solo para a cultura do café nas condições do Planalto da Conquista - Bahia. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2005. **Anais...** Brasília, DF, Embrapa - Café, 2005. p 5.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade (genética e melhoramento do cafeeiro)**. Lavras - MG: UFLA/FAEPE, 1996. 99p.

MIGUEL, A. A. **Comportamento fotossintético e caracterização morfoanatômica de folhas de diferentes clones de seringueira (*Hevea spp*), em Lavras – MG**. 2005. 173p. Dissertação (Doutorado em Agronomia- área de concentração em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

MORGAN, J. M. Osmoregulation and water stress in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Palo Alto, v. 35, p. 299-319. 1984.

MOURA, W. M. Avaliação de cultivares de café em solução nutritiva com diferentes níveis de nitrogênio e potássio. 2007. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br).

Disponível em:

[http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/179995\\_Art205f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/179995_Art205f.PDF). Acesso em: 04/06/2011.

NAZARENO, R. B. et al. Crescimento inicial do cafeeiro rubi em respostas a doses de N, P e K e a regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 8, p. 903-910, ago. 2003.

NOGUEIRA, F.D.; SILVA, E. B; GUIMARÃES, P. T. G. **Potássio na cultura do cafeeiro**. Washington, DC: SOPIB, 2001. 81p.

OLIVEIRA, A. A. G. **Aclimação da maquinaria fotossintética do cafeeiro cultivado em diferentes níveis de luz e de disponibilidade hídrica**. 2009. 50 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2009.

OLIVEIRA, L. A. M. O. et al. Comportamento do potencial hídrico foliar no intervalo entre duas irrigações consecutivas em plantas de cafeeiro (*Coffea arabica* L.). 2002. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em:

<http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/Art001321f.PDF>. Acessado em: 08/06/2011.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1981. 440p.

- PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD, A. C. de S.; MACAULEY, H. R. Effects of irrigation regimes on the water status of cowpea cultivated in the field. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v. 5, p. 153-159, 1999.
- PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo, Editora Unesp, 2008. 407 p.
- PREMACHANDRA, G. S.; OGATA, S.; SANEOKA, H. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by nitrogen nutrition under water stress in maize. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 36, p. 653–659. 1990b.
- PREMACHANDRA, G. S.; OGATA, S.; SANEOKA, H. Cell membrane stability, an indicator of drought tolerance, as affected by applied nitrogen in soybean. **Journal of Agricultural Science**, v.115, p. 63–66. 1990a.
- PREMACHANDRA, G. S.; SANEOKA, H.; KANAYA, M.; OGATA, S. Cell membrane stability and leaf surface wax content as affected by increasing water deficits in maize. **Journal of Experimental Botany**, v. 42, p. 167–171. 1991a.
- PREMACHANDRA, G. S.; SANEOKA, H.; OGATA, S. Cell membrane stability and leaf water relations as affected by potassium nutrition of water-stressed maize. **Journal of Experimental Botany**, v.42, p. 739–745. 1991b.
- REICHARDT, K. Relação entre a adubação nitrogenada e as condições hídricas do solo para um cafezal de Piracicaba, SP. **Coffee Science**, Lavras, v. 4, n. 1, p. 41-55, jan./jun. 2009.
- RONCHI, C. P. et al. Efeitos de taxas de imposição e severidade do déficit hídrico sobre a fotossíntese em folhas de *Coffea canephora*. 2005. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/166733\\_Art025f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/166733_Art025f.PDF). Acessado em: 08/06/2011.
- SANEOKA, H.; MOGHAIEB, R. E. A.; PREMACHANDRA, G. S.; FUJITA, K. Nitrogen nutrition and water stress effects on cell membrane stability and leaf water relations in *Agrostis palustris* Huds. **Environmental and Experimental Botany**, v. 52, p. 131-138. 2004.
- SANZONOWICZ, C. et al. Avaliação inicial do crescimento de um cafezal em um solo de cerrado sob diferentes níveis de adubação e regimes hídricos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL , 2003, Porto Seguro – BA. **Anais...** Brasília, DF, Embrapa - Café, 2003. p. 398.

SANZONOWICZ, C et al. Efeito de dose e parcelamento do nitrogênio na flutuação bienal da produção do cafeeiro no cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, n°1, 2000 : Poços de Caldas, MG). **Resumos expandidos...** Brasília, DF, Embrapa Café; Belo Horizonte, Minasplan, 2000. 2v. p. 1386-1388.

SCHOLANDER, P. F et al. **Sap pressure in vascular plants**. Science, Washington, v. 148, n. 3668, p. 339-46, Apr. 1965

SILVA, A. M. et al. Avaliação do status hídrico do café sob efeito de irrigação através de algumas características fisiológicas. 2000. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537\\_Art240f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/155537_Art240f.PDF). Acessado em: 06/06/2011.

SILVA, C. A. et al. Produtividade e potencial hídrico do cafeeiro “Catuaí” em função da época de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n. 1, p. 21-25, jan/fev. 2008.

SILVA, J. C. P. et al. Análise do crescimento da parte aérea do cafeeiro Acaia Cerrado MG 1474 em quatro espaçamentos e dois regimes hídricos, no cerrado. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa dos Cafés do Brasil , n°2, 2001 : Vitória, ES). **Anais...** Brasília, DF, Embrapa Café, 2001, p. 443-451.

SOARES, A. R. et al. Influência da irrigação localizada sobre o desenvolvimento radicular do cafeeiro em solos de Patrocínio, Minas Gerais. 2005. [www.sbicafe.ufv.br](http://www.sbicafe.ufv.br). Disponível em: [http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/166733\\_Art096f.PDF](http://www.sbicafe.ufv.br/PDF/Conteudo/166733_Art096f.PDF). Acessado em: 06/06/2011.

SOUZA, L. H. et al. Diagnóstico da lavoura cafeeira na região sudoeste da Bahia: atributos químicos do solo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL. **Resumos expandidos...** Brasília, DF, Embrapa Café; Belo Horizonte : 2000. 2v, p. 1339-1342.

TAIZ, L; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. São Paulo, Artmed, 2009. 820 p.

TESHA, A. J.; KUMAR, D. Effect of fertilizer nitrogen on drought resistance in *Coffea arabica* L. **Journal of Agricultural Science**, v.90, p. 625-631. 1978.

TESHA, A. J.; KUMAR, D. Effects of soil moisture potassium and nitrogen on mineral absorption and growth of *Coffea arabica* L. **Turrialba**, v. 29, n. 3, p. 213-218, 1979.

TURNER, N. C. Further progress in crop water relations. **Advances in Agronomy**, v. 58, p. 292-338. 1997.

VALLONE, H. S. et al. Diferentes recipientes e substratos na produção de mudas de cafeeiros. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 55-60, jan/fev., 2010a.

VALLONE, H. S. et al. Efeito de recipientes e substratos utilizados na produção de mudas de cafeeiro no desenvolvimento inicial em casa de vegetação, sob estresse hídrico. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 320-328, mar./abr., 2010b.

VALLONE, H. S. et al. Recipientes e substratos na produção de mudas e no desenvolvimento inicial de cafeeiros após o plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 5, p. 1327-1335, set/out., 2009.

WISTON, E. C. et al. Effect of nitrogen and potassium on growth and yield of coffee (*Coffea arabica* L.) in tropical Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v. 32, n. 2, p. 217-224, 1992.

## **APÊNDICE**

**APÊNDICE A** - Tabelas do resumo da análise de variância da regressão e resultado da análise mineral de folhas e análise química do solo.

**Tabela 1A - Desdobramento da interação nitrogênio (N) x potássio (K) para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ) no período antemanhã.**

FV	GL	Quadrados médios
K/N <sub>1</sub>	2	0.1793056**
K/N <sub>2</sub>	2	0.2254167**
K/N <sub>3</sub>	2	0.04597222**
N/K <sub>1</sub>	2	0.2137500**
N/K <sub>2</sub>	2	0.1866667**
N/K <sub>3</sub>	2	0.08041667**

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

**Tabela 2A - Desdobramento da interação nitrogênio (N) x regime hídrico (RHD) para o potencial hídrico foliar ( $\Psi_w$ ).**

FV	GL	Quadrados médios
N/RHD <sub>1</sub>	2	0.1289815**
N/RHD <sub>2</sub>	2	0.3339815**

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

**Tabela 3A - Desdobramento da interação nitrogênio (N) x regime hídrico (RH) para o teor relativo de água (TRA).**

FV	GL	Quadrados médios
N/RHD <sub>1</sub>	2	16.92333**
N/RHD <sub>2</sub>	2	4.591111

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

**Tabela 4A - Desdobramento da interação nitrogênio(N) x potássio (K) para a fotossíntese.**

FV	GL	Quadrados médios
K/N <sub>1</sub>	2	6.787539**
K/N <sub>2</sub>	2	9.051117**
K/N <sub>3</sub>	2	1.783239*
N/K <sub>1</sub>	2	1.006489
N/K <sub>2</sub>	2	2.268717*
N/K <sub>3</sub>	2	0.4027389

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

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

**Tabela 5A - Desdobramento da interação nitrogênio (N) x potássio (K) para o diâmetro da Copa (DCO).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados médios</b>
K/N <sub>1</sub>	2	0.02544635**
K/N <sub>2</sub>	2	0.01939169**
K/N <sub>3</sub>	2	0.001161264
N/K <sub>1</sub>	2	0.04637510**
N/K <sub>2</sub>	2	0.04238510**
N/K <sub>3</sub>	2	0.007912298*

\*Significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

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

**Tabela 6A - Desdobramento da interação nitrogênio (N) x potássio (K) para a altura de plantas (ALT).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados médios</b>
K/N <sub>1</sub>	2	0.04733500**
K/N <sub>2</sub>	2	0.05534000**
K/N <sub>3</sub>	2	0.003724956
N/K <sub>1</sub>	2	0.07754110**
N/K <sub>2</sub>	2	0.05895992**
N/K <sub>3</sub>	2	0.01345376**

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

**Tabela 7A - Desdobramento da interação nitrogênio(N) x potássio (K) para a matéria seca total (MST).**

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>Quadrados médios</b>
K/N <sub>1</sub>	2	0.3233410**
K/N <sub>2</sub>	2	0.1201007**
K/N <sub>3</sub>	2	0.005306220
N/K <sub>1</sub>	2	0.2030987**
N/K <sub>2</sub>	2	0.1744901**
N/K <sub>3</sub>	2	0.003147024

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

**Tabela 8A. Resultado da análise foliar de cafeeiros cultivados sob diferentes regimes hídricos e doses de N e K, em casa de vegetação.<sup>1/</sup>**

	N(%)		K(%)
N <sub>1</sub>	3,02	K <sub>1</sub>	1,80
N <sub>2</sub>	3,98	K <sub>2</sub>	2,04
N <sub>3</sub>	4,41	K <sub>3</sub>	2,12

<sup>1/</sup> Análise realizada pelo Laboratório de nutrição mineral da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

**Tabela 9A. Resultado da análise química da amostra de solo coletada em área experimental da UESB.<sup>1/</sup>**

Determinação	Valores
pH em H <sub>2</sub> O	5,2
P (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>2/</sup>	3
K <sup>+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ;) <sup>2/</sup>	0,28
Ca <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	2,6
Mg <sup>2+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	1,2
Al <sup>3+</sup> (cmolc/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	0,1
H <sup>+</sup>	2,4
T	4,2
T	6,6
V (%)	62
m (%)	2

<sup>1/</sup> Análise realizada no Laboratório de solos da UESB; <sup>2/</sup> Extrator de Mehlich -1; <sup>3/</sup> Extrator de KCl 1 mol.L<sup>-1</sup>; <sup>4/</sup> Extrator Solução SMP, pH 7,5 a 7,6. S.B: soma de bases trocáveis; t: capacidade de troca de cátions efetiva; T: capacidade de troca de cátions a pH 7,0; V%: índice de saturação de bases trocáveis; m: índice de saturação do alumínio trocável.