

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

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA CULTURA DO
CAFÉ ARÁBICA**

GIVALDO DANTAS SAMPAIO NETO

Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agronômicas da UNESP
– Câmpus de Botucatu, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP
Julho – 2012

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

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA CULTURA DO
CAFÉ ARÁBICA.**

GIVALDO DANTAS SAMPAIO NETO

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz
Coorientador: Prof. Dr. Rogério Peres Soratto

Dissertação apresentada à Faculdade
de Ciências Agronômicas da UNESP
– Câmpus de Botucatu, para obtenção
do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

BOTUCATU-SP
Julho – 2012

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

S192m Sampaio Neto, Givaldo Dantas, 1987-
Manejo da irrigação por gotejamento na cultura do café arábica / Givaldo Dantas Sampaio Neto. - Botucatu : [s.n.], 2012
vii, 43 f. : il., gráfs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012
Orientador: Raimundo Leite Cruz
Co-orientador: Rogério Peres Soratto
Inclui bibliografia

1. Café. 2. Desenvolvimento vegetativo.
3. Irrigação por gotejamento. 4. Tanque Classe A.
I. Cruz, Raimundo Leite. II. Soratto, Rogério Peres.
III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. IV. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: MANEJO DA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO NA CULTURA DO
CAFÉ ARÁBICA

ALUNO: GIVALDO DANTAS SAMPAIO NETO

ORIENTADOR: PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



PROF. DR. ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA



PROF. DR. LEANDRO BORGES LEMOS

Data da Realização: 30 de julho de 2012.

A meu pai Givaldo Dantas Sampaio Filho e a
minha avó Josenilda Marciel pelo carinho, amor e
apoio dado em todos os momentos da minha vida.

DEDICO

A minha tia Kátia Marciel Sampaio pela ajuda
e incentivo dados nessa minha jornada, e por
muitas vezes ter abdicado dos
seus sonhos para que pudesse realizar os meus.

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida e por iluminar os meus caminhos.

A Faculdade de Ciências Agronômicas - UNESP, pela oportunidade oferecida para realização deste curso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz por ter me aceitado como seu orientado, pela amizade, conselhos e ajuda dada.

Ao coordenador do curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem Prof. Dr. João Carlos Cury Saad por todo apoio.

Ao proprietário da Fazenda Nova América o Sr. José Guilerme Sabe, por ter nos dado a oportunidade e todo apoio necessário para realizarmos o experimento em sua propriedade.

Aos amigos da república Alagoas Lucas Holanda, Gabriel Lyra, Rômulo Pimentel e Anderson Ravanny pelo companheirismo, apoio dado nas horas difíceis e pelo vínculo familiar criado ao longo desses anos. Agradeço também aos ex-colegas de república Magno Abreu e Elizeu por ter nos acolhido em Botucatu dando todo apoio inicial.

Aos amigos feitos durante o mestrado, pela amizade, companheirismo, ajuda, e os momentos de alegria proporcionados.

A todos os professores e funcionários da FCA – UNESP/Botucatu, que de alguma forma contribuíram para minha formação.

Ao CNPq, pela concessão de bolsa de estudo.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	VI
LISTA DE FIGURAS.....	VII
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	4
4 REVISÃO DE LITERATURA	6
4.1 Desenvolvimento da cafeicultura no Brasil.....	6
4.2 Ecofisiologia do cafeeiro.....	7
4.3 Fenologia do cafeeiro e relações edafoclimáticas.....	9
4.4 Irrigação na cultura do cafeeiro.....	12
4.5 Sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura irrigada.....	13
4.6 Irrigação por gotejamento.....	13
4.7 Fertirrigação por gotejamento.....	14
4.8 Manejo da Irrigação.....	15
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	17
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	22
6.1 Fatores edafoclimáticos.....	22
6.2 Características vegetativas.....	27
6.3 Crescimento de ramos plagiotrópicos.....	29
6.4 Número de entrenós.....	30
6.5 Número de folhas.....	31
6.6 Características fisiológicas.....	33
7 CONCLUSÕES.....	37
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	38

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Características físicas do solo da camada de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.....18
- Tabela 2. Coeficiente de tanque para Tanque Classe A, com diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e velocidades do vento.....19
- Tabela 3. Resumo da análise de variância do comprimento do ramo, número de internódios e de folhas em relação a cinco lâminas aplicadas num cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, no município de Botucatu-SP.....28
- Tabela 4. Resumo da análise de variância das características fisiológicas em relação a cinco lâminas aplicadas num cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, no município de Botucatu-SP.....33

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Esquema de casualização dos tratamentos e posicionamento dos blocos no campo.....20
- Figura 2. Dados climatológicos decendiais da Fazenda Nova América em Botucatu-SP, entre o período do mês de novembro de 2011 a março de 2012.....23
- Figura 3. Dados de chuva e evapotranspiração da cultura (Etc) de um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20 com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.....24
- Figura 4. Valores decêndiais das cinco lâminas de água aplicadas conforme a Etc calculada de um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu.....26
- Figura 5. Taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos de seis tratamentos de lâminas de água em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.....29
- Figura 6. Número de entrenós surgidos em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.....31
- Figura 7. Pares de folhas surgidos em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.....32
- Figura 8. Taxa de assimilação líquida de carbono (A) e condutância estomática (g_s) em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.....34
- Figura 9. Temperatura foliar (T_f) em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.....36

1 RESUMO

A cafeicultura irrigada vem crescendo nos últimos anos no Brasil devido aos bons resultados apresentados em várias regiões do país, porém um dos grandes problemas de se utilizar a irrigação na cultura do café tem sido o manejo, pois são poucas as informações em relação a esse assunto. Objetivou-se com este trabalho avaliar o desenvolvimento vegetativo e as características fisiológicas do cafeeiro irrigado com diferentes lâminas de água, calculadas em função da evaporação de água do Tanque Classe A, durante as fases de expansão e granação dos frutos que são as, mas críticas da cultura em relação ao déficit hídrico. O experimento foi conduzido no período de novembro de 2011 até março de 2012, na Fazenda Nova América situada no município de Botucatu-SP, localizada nas coordenadas geográficas 22°56' S e 48°21'W, altitude de 663m, em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20 com oito anos de idade. O experimento foi composto por seis tratamentos onde T1 foi a testemunha sem irrigação, as demais lâminas de água aplicadas foram correspondentes a 60% (T2), 80% (T3), 100% (T4), 120% (T5), 140% (T6) da evapotranspiração da cultura (Etc) calculada conforme a evaporação de água do Tanque Classe A. O crescimento de ramos e números de par de folhas, foram superiores nos tratamentos T5 e T6. O número de entrenós do T5 foi superior em relação aos demais tratamentos. As variáveis correspondentes à condutância estomática (g_s) e temperatura foliar (T_f) não apresentaram diferenciação entre os tratamentos. Porém, os valores médios da assimilação líquida de carbono (A) dos tratamentos irrigados, apresentaram valores maiores em relação à testemunha sem irrigação.

Palavras chave: *coffea arabica*, manejo da irrigação, desenvolvimento vegetativo, Tanque Classe A.

MANAGEMENT OF DRIP IRRIGATION IN THE CULTURE OF ARABICA COFFEE. Botucatu, 2012. 44p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GIVALDO DANTAS SAMPAIO NETO

Adviser: RAIMUNDO LEITE CRUZ

Co-adviser: ROGÉRIO PERES SORATTO

2 SUMMARY

The purpose of the work was to evaluate vegetative development and physiological characteristics cultivated under different water depths, calculated according to the class A pan evaporation, the phases of expansion and grain formation that are overpriced, but criticism of culture in relation to water deficit. The experiment was conducted from November 2011 until March 2012, on the farm New America, in the municipality of Botucatu - SP, located by geographic coordinates 22 ° 56 'S and 48 ° 21' W, altitude of 663m, in a coffee plantation Obatã IAC 1669-20 cultivar with eight years of age. The experiment consisted of six treatments where T1 was no irrigation, other water depths were applied at 60% (T2), 80% (T3), 100% (T4), 120% (T5), 140% (T6) of crop evapotranspiration (Etc) calculated according the evaporation of water from the class A pan. The growing numbers of branches and leaf pair, were higher in treatments T5 and T6. The number of internodes of T5 was high to other treatments. The variables corresponding to stomatal conductance (gs) and leaf temperature (Tf) showed no difference between treatments. However, the mean values of net carbon assimilation (A) of irrigated treatments showed higher values compared to no irrigation.

KEYWORDS: *coffea arabica*, irrigation management, vegetative development, class A pan

3 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café com uma produção de 48 milhões de sacas beneficiadas na safra 2010/2011, mais que o dobro do que produziu o segundo colocado que é o Vietnã com 19 milhões de sacas (INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION, 2012). Minas Gerais é o estado que detém a maior produção nacional seguido por Espírito Santo, São Paulo, Bahia, Paraná e Rondônia (CONAB, 2012). A cafeicultura brasileira é formada em grande parte por pequenas propriedades, o que a torna uma das atividades socioeconômicas mais importantes para o desenvolvimento de várias regiões do Brasil.

O cultivo do café iniciou-se em áreas tidas como aptas para o desenvolvimento da cultura, porém a expansão para áreas marginais onde há restrições hídricas e climáticas levou os cafeicultores a implantarem projetos de irrigação para tornar viável o cultivo do café. Nos dias atuais é grande o número de projetos de irrigação nas áreas tradicionais, isso devido o aumento de veranicos ocorridos durante fases críticas da cultura em relação à água.

A cafeicultura irrigada representa 10% da área total ocupada com café no Brasil, com previsão de expansão para 20% da área total cultivada nos próximos 10 a 15

anos, o que geraria mais de 1,5 milhão de empregos diretos e indiretos, além de 9 a 12 milhões de sacas beneficiadas por ano (Santinato et al., 2008).

No início a irrigação do cafeeiro era realizada com sistemas dimensionados para outras culturas, mas com o passar dos anos surgiram sistemas voltados para a irrigação do café o que minimizou as perdas de água e o consumo de energia. Porém nos dias atuais não se tem uma definição sobre as necessidades hídricas do cafeeiro, ou seja, quanto e quando irrigar.

O presente trabalho objetivou estudar o desenvolvimento vegetativo e as características fisiológicas do cafeeiro irrigado com diferentes lâminas, calculadas em função da evaporação de água do Tanque classe A, durante o período mais crítico da cultura em relação ao déficit hídrico.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Desenvolvimento da cafeicultura no Brasil

O café tem sua origem nas terras a nordeste da África, em meio à mata num clima árido-tropical, onde o arbusto do café fazia parte da vegetação natural. Os nativos daquela região já utilizavam o fruto de várias formas, mas coube aos árabes o domínio inicial da técnica de plantio e beneficiamento. Avançou do Oriente para Europa, distribuído a partir do grande mercado de especiarias de Veneza, enfrentou oposição da igreja católica por ter vindo dos mulçumanos e da disputa de mercado com os vinhos, porém a bebida do café caiu nas graças da elite europeia, e assim, acabou dispersada pelo mundo através das grandes potências e suas colônias (Ricci, 2008).

O café chegou ao Brasil em 1727, no estado do Pará e logo se expandiu em pequenas plantações, para outros estados como, Maranhão, Bahia e Rio de Janeiro, atingindo em 1825 o vale do Paraíba, chegando aos estados de São Paulo e Minas Gerais. Sob condições de solo e clima favoráveis o café chegou ao centro-sul do país e após os ciclos do ouro e da cana foi implantado o ciclo do café, que teve um importante papel no desbravamento e desenvolvimento dessas regiões (Matiello et al., 2005).

Do Sul a Amazônia o café se expandiu do sudeste para outras regiões encontrando diversidade de cultivos e produzindo o mais variados tipos de grãos e qualidades de bebida (Melo & Sousa, 2011). O desenvolvimento de novas cultivares tem ajudado a

lavoura cafeeira, mas, ainda é necessário estudos em relação à resistência a pragas e doenças, nutrição e principalmente a adaptabilidade e comportamento agrônômico as condições edafoclimáticas de diversas regiões cafeeiras (Paiva et al., 2010).

4.2 Ecofisiologia do cafeeiro

O cafeeiro pertence à família das *Rubiaceas* e ao gênero *Coffea*, sendo duas as principais espécies econômicas, a *coffea arabica* L. e *coffea canephora*, originárias do continente africano (Favarin et al., 2004). As plantações comerciais são distribuídas desde o Havaí (20 a 25°N), passando por Cuba (22°N) até o estado do Paraná (22 a 23°S) (Carr, 2001). Para o café arábica as exigências térmicas correspondem às condições encontradas nas regiões das florestas tropicais da Etiópia (África), com altitudes variando de 1600-2800 m, temperatura média anual de 20°C e chuvas variando de 1.600 a mais de 2.000 mm, bem distribuídas e com período seco definido, de três a quatro meses que se estende de outubro a janeiro (Zambolin, 2003).

Apesar de a arborização ser uma prática muito utilizada em várias regiões cafeeiras no mundo, no Brasil os cafezais vêm sendo cultivados a pleno sol e tem produzido satisfatoriamente, em muitos casos, mais que quando cultivados à sombra (Zambolin, 2002). Porém o acompanhamento das condições climáticas e seu efeito sobre a ecofisiologia do cafeeiro é importante para se entender os aspectos de produtividade e qualidade do café (Mattiolo et al., 2005).

É consensual que o conhecimento do desenvolvimento das raízes do cafeeiro, principalmente na cultura irrigada, é fundamental para a otimização de várias práticas, como adubação, aplicação de pesticidas, e etc (Zambolin, 2002). Conforme estudo feito por diversos pesquisadores como (Mattiolo et al., 2005) as raízes finas responsáveis pelo suporte da planta e pelos processos de absorção, biossínteses e transporte de substâncias, estão localizadas em sua maioria (70 a 80%), até 40 cm de profundidade do solo.

Da Matta (1999) reviu alguns aspectos fisiológicos e bioquímicos do desenvolvimento do sistema radicular do cafeeiro e constatou que, uma deficiência hídrica moderada pode afetar mais o crescimento foliar que a fotossíntese, alocando uma maior

quantidade de carboidratos nas raízes que, sob déficit hídrico, podem crescer mais do que em solos bem hidratados. Porém desidratações mais severas e prolongadas, principalmente na superfície do solo, podem causar morte de raízes, sendo assim, qualquer fator que altere a relação parte aérea e massa das raízes, diminuirá as funções importantes da planta (Zambolin, 2003).

O crescimento vegetativo do cafeeiro é complexo e possui uma periodicidade estacional que pode ser associada a diversos fatores, tais como, temperatura, fotoperíodo, irradiância, suprimento de água, de nutrientes e a competição dos frutos por fotoassimilados (Rena & Da Matta, 2002). Nas regiões cafeeiras do Brasil o período de maior crescimento vegetativo do café ocorre de setembro a março, estes mês possuem temperaturas mais altas, fotoperíodos maiores e coincide com a época chuvosa de vários locais.

Amaral et al. (2006) conduziu experimento na região de Viçosa-MG, e observou que cafeeiros submetidos a fotoperíodos estendidos de 14 horas não apresentaram crescimento diferente dos conduzidos sob fotoperíodo normal, apesar das plantas que tiveram os frutos removidos apresentarem maiores taxas de crescimento de ramo e área foliar, não teve diferença significativa na fotossíntese potencial. Da Matta et al. (1999) e Silva et al. (2000) obtiveram correlações significativas em que as menores taxas de crescimento coincidiram com as menores temperaturas; mas a queda nas taxas de crescimento durante a fase ativa, entre janeiro e fevereiro, esteve associada a altas temperaturas e fortes intensidades de radiação solar. Em algumas regiões cafeeiras com chuvas bem distribuídas e temperatura do ar sem grandes flutuações, como na Costa Rica e na Colômbia, é provável que a sazonalidade do crescimento seja determinada por pequenas variações na intensidade da radiação solar (Alvim, 1964).

Apesar de vários estudos, ainda é complexo e pouco compreendido a relação entre o periodismo do crescimento do cafeeiro com os fatores ambientes (Barros et al., 1997).

Outra fase importante para a produção do café é o florescimento, onde os fatores ambientes são determinantes. O crescimento das gemas florais ocorre em duas fases distintas. A primeira fase é responsável pela diferenciação do primórdio floral, onde as gemas

podem alcançar um comprimento de 4-8 mm, no momento em que entram em dormência. Na segunda fase as gemas florais ficam maduras para o florescimento e crescem rapidamente (8-16 dias), dependendo de fatores ambientais tais como, temperatura e chuva (Frederico & Maestri, 1970; Cueto et al., 1984; Dublin, 1957).

A compreensão das relações entre os fatores ambientais e ecofisiológicos do cafeeiro é fundamental para o melhor manejo e desenvolvimento da cultura.

4.3 Fenologia do cafeeiro e relações edafoclimáticas

A fenologia de uma planta pode ser definida como estudo de cada estágio do ciclo de vida da planta. Cada planta possui características particulares quanto ao seu desenvolvimento vegetativo, e seus estágios exigem determinados recursos e condições ambientais, que podem ocorrer em determinada fase e ter um efeito de pré-condicionamento sobre fases subsequentes (Larcher, 2000).

O cafeeiro arábica é uma planta especial, e completa seu ciclo fenológico em dois anos, diferentemente da maioria das plantas que emitem inflorescências na primavera e frutificam no mesmo ano fenológico (Gouveia, 1984). Diversas formas de definir e esquematizar a sequência das fases fenológicas do cafeeiro arábica foram propostas anteriormente. Porém o trabalho de Camargo e Camargo (2001) esquematiza as diferentes fases fenológicas da espécie *Coffea arabica* L., nas condições climáticas tropicais do Brasil, sendo assim, de tamanha importância para facilitar e racionalizar as pesquisas e observações na cafeicultura e possibilitar um melhor manejo da cultura em vários ambientes de cultivos.

No primeiro ano fenológico, a fase inicial é responsável pela formação dos ramos vegetativos e das gemas foliares. Durante essa fase o fotoperíodo tem duração acima de 12 horas de brilho solar e vai de setembro a março (Camargo, 1985). Na segunda fase que vai de abril a agosto, ainda no primeiro ano fenológico, ocorre à indução, maturação e dormência das gemas florais, formadas na primeira fase (Camargo & Franco, 1985). A terceira fase é a primeira do segundo ano fenológico e nela está compreendida as etapas de florescimento acompanhada de um aumento no potencial hídrico das gemas maduras e expansão do fruto. No decorrer desse período entre os meses de setembro e dezembro,

qualquer déficit hídrico acarreta em prejuízo no crescimento dos frutos (Camargo & Camargo, 2001).

As demais fases são; Granação dos frutos que ocorre em pleno o verão, de janeiro a março (Quarta fase), maturação dos frutos que se dá na quinta fase, compreendendo normalmente os meses de abril, maio e junho, sexta e última fase, de julho a agosto, constitui a de senescência dos ramos produtivos não-primários. O comportamento do cafeeiro em relação ao seu ciclo fenológico pode variar conforme a sua variabilidade genética e as condições climáticas de cada região (Pezzopane et al., 2009).

A precipitação anual ótima para o café arábica está entre 1200 a 1800 mm, já para o conilon que se adapta melhor, às precipitações podem ser superiores a 2000 mm anuais. Desde que a distribuição pluviométrica seja bem distribuída e em épocas favoráveis, o cafeeiro pode crescer sobre ampla faixa de precipitações, produzindo bem tanto nas montanhas do Quênia, onde chove apenas 800 mm, como na Costa Rica e Índia, onde a precipitação é maior do que 2000 mm anuais (Rena & Maestri, 1986b).

Os estudos realizados em várias regiões cafeeiras do Brasil e do mundo indicam que o café arábica suporta até 150 mm/ano de déficit hídrico, para o café robusta, o déficit não deve exceder 200 mm/ano, caso esses déficits ultrapassem esses limites ou ocorram em períodos limitantes à cultura, há necessidade de irrigação para um melhor desenvolvimento da planta (Santinato et al., 2008). Camargo e Camargo (2001) determinaram que deficiências hídricas durante as fases 1 (vegetação), fase 3 (florada) e fase 4 (granação dos frutos), podem reduzir e muito a produtividade, mas por outro lado, deficiências entre julho e agosto, pode se tornar benéfica, favorecendo a florada nas primeiras chuvas de setembro.

As regiões cafeeiras tradicionais do Brasil (Paraná, São Paulo, Sul de Minas, Zona da Mata de Minas, Espírito Santo) possuem precipitações dentro dos limites e com boa distribuição, já em algumas áreas produtoras do nordeste e do cerrado as chuvas podem ser abaixo do necessário e com épocas chuvosas invertidas das regiões tradicionais, sendo a irrigação uma técnica fundamental para o cultivo do café (Santinato et al., 2008).

A temperatura é o elemento mais importante para definir a aptidão climática do cafeeiro. A maioria dos estudos e observações são voltadas para o café arábica, existindo poucas informações sobre o efeito da temperatura no café conilon (Monteiro, 2009). As regiões que possuem médias anuais abaixo de 16°C e acima de 24°C são classificadas como inaptas para o cultivo do arábica, a faixa ótima tem médias entre 18°C e 21°C, temperaturas médias mais elevadas entre 22-26°C são mais propícias para o cultivo do conilon (Matiello, 1998).

As temperaturas ótimas para o cafeeiro podem variar conforme a idade da planta e suas fases fenológicas. Matiello et al. (2005) relataram que temperaturas entre 30°C durante o dia e 23°C durante a noite são favoráveis para o crescimento do cafeeiro jovem até um ano e meio de idade, após esse período as temperaturas ideais diminuem e situam-se em torno de 23°C e 17°C. A máxima fotossíntese ocorre a uma temperatura de 24°C, havendo um decréscimo de 10% a cada grau elevado, sendo que aos 34°C a fotossíntese líquida é nula.

Na fase de florescimento as temperaturas ótimas são semelhantes ao do crescimento do cafeeiro adulto, combinações de temperaturas fora do desejado acarretam em aparecimento de abortamento floral e má formação das flores que é conhecido como estrelinhas (Rena & Maestri, 1986). Outro efeito prejudicial causado pelas altas temperaturas é a escaldadura, que faz com que as folhas do café fiquem com coloração clara, amareladas, esbranquiçadas, queimadas e induzindo a deficiência de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes. Também, em regiões onde as temperaturas médias anuais são abaixo de 18°C, aliada a ocorrência de geadas e ventos frios, podem limitar a exploração econômica da cafeicultura (Camargo, 1985).

A umidade do ar é outro fator que influi sobre a ocorrência de pragas e doenças, sendo a faixa ideal para o cafeeiro entre 70-80%, semelhante às florestas tropicais de sua origem (Malavolta, 2000). Umidades próximas de 50% prejudicam os botões florais, abaixo dessa faixa pode causar murcha das folhas mesmo com água disponível no solo, pois o café é uma planta de lenta absorção de água. Esses efeitos são causados não só por causa da baixa umidade, mas também por causa de temperaturas altas e ventos forte, responsáveis por

fazer com que a transpiração da planta seja maior do que absorção de água pelas raízes (Santinato et al., 2008).

4.4 Irrigação na cultura do cafeeiro

A agricultura depende fundamentalmente de quatro fatores: a utilização de germoplasmas vegetais eficientes, o aproveitamento racional da capacidade de uso do solo, da adequação de tecnologias de apoio disponíveis ao homem e das condições climáticas, responsáveis por 60 a 70% da variabilidade final da produção (Ortolani & Camargo, 1986). A agricultura irrigada tem sido uma importante estratégia para otimização da produção agrícola, onde atualmente é responsável por metade dos alimentos produzidos no mundo, porém, a irrigação não pode ser considerada isoladamente, mas sim como parte de um conjunto de técnicas (Mantovani et al., 2009).

A maior concentração das áreas com café irrigado é em regiões onde existem restrições hídricas em determinadas épocas do ano, mas tem aumentado o número de projetos de irrigação em áreas tradicionais como as regiões do Sul e da Zona da Mata de Minas Gerais e diversas regiões do estado de São Paulo (Mantovani, 2002). Gomes et al. (2007) relataram que o cultivo de café nas regiões de Lavras e Viçosa em Minas Gerais, tem sofrido com a ocorrência de veranicos prolongados, e ao conduzirem experimentos com café irrigado observaram que tanto o desenvolvimento quanto a produtividade foram satisfatória.

Os primeiros trabalhos experimentais no estado de São Paulo foram realizados no Instituto Agrônomo de Campinas a partir do ano de 1946, somente na década de 80 foi que a cafeicultura irrigada teve um maior salto, consequência da expansão da cultura para áreas marginais ao seu cultivo em várias regiões do Brasil (Santinato et al., 1996). Conforme Ortolani & Camargo (1986), durante as décadas de 70 e 80 as irregularidades pluviométricas já afetavam as culturas no estado de São Paulo, exemplo disso foi a baixa disponibilidade hídrica que ocorreu nos meses entre abril e setembro, afetando o florescimento do cafeeiro, onde induziu várias floradas e provocou baixa na safra de 1986/1987.

Vários fatores são importantes para o êxito da irrigação do cafeeiro, mas do ponto de vista da irrigação, é fundamental a qualidade do projeto, do equipamento, da implantação e do manejo do sistema no campo (Mantovani et al., 2002).

4.5 Sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura irrigada

A escolha do método de irrigação a ser usado em cada área deve ser baseada na viabilidade técnica, econômica e ambiental do projeto e nos seus benefícios sociais. Essa escolha deve ser feita conforme fatores de topografia, tipo de solo, quantidade e qualidade da água, clima da região e o tipo de cultura a ser irrigada (Bernado et al., 2009).

Conforme citado por Santinato et al. (2008), na década de 80 e início dos anos 90 foi utilizado em lavouras de café do triângulo mineiro, o sistema de aspersão, do tipo canhão hidráulico e os autopropelidos, visando uma irrigação de socorro, que consiste em suprir a demanda de água na pré e pós florada. A irrigação do café iniciou-se com a adaptação de antigos sistemas de irrigação por aspersão, pivô central, autopropelido e aspersão convencional. Aspectos relacionados ao manejo, consumo de energia e disponibilidade hídrica impulsionaram a adoção de sistemas de irrigação localizada (Mantovani et al., 2004).

Atualmente o sistema de aspersão convencional tem sido muito utilizado em pequenas propriedades, outro sistema que tem sido usado em pequenas e médias propriedades tem sido a aspersão em malha, já em regiões de topografia mais plana como no nordeste de Minas, oeste e sul da Bahia, bem como no Espírito Santo, o predomínio é do pivô central (Matiello et al., 2005). A irrigação por gotejamento vem apresentando ampla expansão, pois é o sistema que melhor se ajusta a irrigação do cafeeiro. Nos últimos projetos vem se debatendo o uso de sistemas enterrados para não influenciarem e nem serem danificados nos tratamentos culturais (Mantovani et al., 2004).

4.6 Irrigação por gotejamento

No sistema de gotejamento a água é aplicada diretamente sobre o solo, na região radicular em pequenas intensidades e alta frequência, ou seja, em turnos de rega diários e semanais, de modo que mantenha a umidade do solo próxima da capacidade de campo (Bernado et al., 2009). Uma desvantagem de se utilizar esse sistema é o seu maior

investimento inicial, mais em suas vantagens está à economia de água e a diminuição da mão de obra. Silva et al. (2003) fizeram um estudo econômico e constatou que a irrigação por gotejamento é viável para a cultura do cafeeiro.

Bonomo et al. (2008), constataram que a irrigação proporcionou dobrar a produtividade média dos cafeeiros de Jataí, região do cerrado de Goiás, além de que a irrigação por gotejamento possibilita uma economia significativa de água, em relação à aspersão. A adoção da irrigação, além de garantir um suprimento adequado de água à planta, é também um veículo prático para a aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas (Alves et al., 2000).

4.7 Fertirrigação por gotejamento

A fertirrigação está inclusa na quimigação, ou seja, aplicação de produtos químicos na lavoura por intermédio da irrigação. Em todos os métodos de irrigação pode ser possível a prática da quimigação, porém as irrigações por superfície e gotejamento só permitem a distribuição dos produtos na superfície do solo ou no seu perfil e nessa categoria está os nematicidas, os fertilizantes, muitos herbicidas e alguns fungicidas e inseticidas (Vieira, 1994). Santinato et al. (2008) relataram que produtos utilizados via água de irrigação para o controle de nematoides, bicho mineiro, ferrugem entre outras pragas, têm mostrado efeitos benéficos as plantas de café.

Os nutrientes mais exigidos pelo cafeeiro são citados por Malavolta (1993). A demanda dos elementos segue a ordem decrescente onde os macronutrientes são; $N > K > Ca > Mg > S > P$ e os micronutrientes; $Fe > Mn > Zn > B = Cu$. Os adubos que são usados na fertirrigação por gotejamento devem ser escolhidos seguindo alguns critérios como, boa solubilidade, compatibilidade entre fertilizantes, ausência de ferro entre outras (Matiello et al., 2008).

Outra vantagem da fertirrigação é o parcelamento da adubação em grandes números de aplicações, isso faz com que a planta absorva melhor os nutrientes. Conforme (Baligar & Fageria, 1998) a eficiência de recuperação dos nutrientes aplicados como fertilizantes é baixa: cerca de 50% para N, menos de 10% para P e, aproximadamente,

40% para K. Matiello et al. (2008) mostraram que pesquisas quanto ao efeito do parcelamento dos adubos, tem mostrado que em solos com textura média e argilosa, não é necessário parcelar demasiadamente, basta usar entre 8 e 16 aplicações.

Para que a fertirrigação tenha máxima eficiência é necessário o conhecimento da absorção e acumulação de nutrientes nas diferentes fases de desenvolvimento da planta, identificando em que épocas os elementos são exigidos e suas quantidades (Coelho, 1994). Outros fatores também são importantes como, a escolha de cultivares mais responsivas a fertirrigação, adequação a sistemas de cultivos mais eficientes e um manejo adequado da irrigação com lâminas de água que supram a necessidade hídrica das plantas sem causar estresse (Prado & Nascimento, 2003).

4.8 Manejo da Irrigação

O manejo da irrigação é uma etapa importante da agricultura irrigada, e quase sempre é negligenciada, em função de falta de informação dos cafeicultores e técnicos e também devido a limitações nas metodologias disponíveis. Muitos produtores avaliam o momento de irrigar de forma visual, sem a utilização de um método de manejo que possibilite uma definição mais precisa (Souza, 2001).

O manejo racional de qualquer projeto de irrigação deve considerar os aspectos sociais e ecológicos da região e procurar maximizar a produtividade e a eficiência do uso da água e minimizar custos, mantendo as condições de umidade do solo e de fitossanidade favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada. (Mudrick, 2005).

O manejo da irrigação com aplicações freqüentes condiciona o solo a manter-se com teor adequado de água, favorecendo o desenvolvimento da cultura e, conseqüentemente, possibilitando maior produtividade (Sousa, 1999). Há diversas maneiras de quantificar as necessidades hídricas e prescrever as regas necessárias para complementar as chuvas. Dentre elas, podem-se utilizar modelos irrigacionistas obtidos a partir de leituras do tanque Classe A. Com esse tanque, pode-se efetuar, indiretamente, o monitoramento de parâmetros ligados ao contínuo solo-planta-atmosfera que podem e devem ser usados para

determinar a necessidade hídrica das culturas, e estabelecer estratégias de manejo da irrigação, visando otimizar e racionalizar a utilização da água e da energia (Camargo, 1989).

Em relação à quantidade de água, diversos trabalhos vêm sendo conduzidos para estabelecer técnicas de manejo da irrigação. Muitos estabelecem a quantidade ideal em função da lâmina evaporada do tanque classe A, ou do valor do potencial matricial limite e outros em função do valor de K_c (Martins et al., 2004). Trabalhos em que o cafeeiro é irrigado por pivô central e gotejamento indicam que 60% e 100% da ECA, respectivamente, são os valores que devem ser utilizados para cálculo da irrigação visando obter melhor desenvolvimento vegetativo e produtividade. Estes trabalhos não indicam que estes percentuais devam variar ao longo do ano (Martins et al., 2004; Silva et al., 2003).

5. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no período de novembro de 2011 até março de 2012, na fazenda Nova América, situada no município de Botucatu-SP, localizada nas coordenadas geográficas 22°56' S e 48°21'W, altitude de 663m, em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20 com oito anos de idade, cuja características são; porte baixo, elevada capacidade produtiva, bom vigor, alta resistência a ferrugem, frutos vermelhos, folhas novas verdes, maturação tardia e boa qualidade da bebida.

Pela classificação de Köeppen, o clima da região é do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco, o qual apresenta uma pluviosidade total anual média de 1314 mm, temperatura média mensal de 19,4°C. A temperatura média diária do mês mais frio (julho) de 17,1°C e a do mês mais quente (fevereiro) de 23°C. A estação seca vai de maio a setembro (Cunha et al., 1999).

Para a caracterização física do solo (Tabela 1) e determinação da curva de retenção foram coletadas amostras nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm determinando a composição granulométrica de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997), sendo as análises feitas pelo laboratório de química e física de solos do Departamento de Recursos Naturais da faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Universidade Estadual Paulista

"Júlio de Mesquita Filho" (UNESP) campus de Botucatu. A capacidade de campo foi de 16% e o ponto de murcha de 7% da umidade do solo.

Tabela 1. Características físicas do solo da camada de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm.

Granulometria g kg ⁻¹			Textura	Densidade do solo	Densidade de partículas
Areia	Silte	Argila		p _g (g cm ⁻³)	p _g (g cm ⁻³)
901	50	49	arenosa	1,5	2,64
861	41	98	arenosa	1,5	2,65

O sistema de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com emissores autocompensantes do tipo DRIPNET, espaçados em 0,60 m, com vazão de 1,0 L h⁻¹. A irrigação foi feita três vezes por semana, em sua maioria as segundas, quartas e sextas-feiras. Nas quartas e sextas-feiras a irrigação era feita conforme a Etc acumulada dos últimos dois dias. Nas segundas-feiras a irrigação foi realizada com base na Etc acumulada de sexta, sábado e domingo.

O experimento foi composto por seis tratamentos onde (T1) foi a testemunha sem irrigação, as demais lâminas de água aplicadas foram correspondentes a 60% (T2), 80% (T3), 100% (T4), 120% (T5), 140% (T6) da evapotranspiração da cultura (Etc) calculada conforme a Equação 1.

$$ETC = ET0 (ECA \cdot Kp) \cdot Kc$$

Onde:

ETC – Evapotranspiração da cultura;

ET0 – Evapotranspiração de referência;

ECA – Evaporação do tanque Classe A;

Kp – Coeficiente de correção do tanque Classe A;

Kc – Coeficiente da cultura.

O Tanque Classe A, o anemômetro e o termo-higrômetro foram instalados próximos a área experimental e devidamente protegido com cerca e tela para que

não sofre-se influência de animais. A escolha do K_p para a correção da evaporação do tanque Classe A (ECA) foi feito conforme a Tabela 2, a partir de dados dos instrumentos instalados na área experimental. Foi utilizado o K_c da cultura conforme Santinato & Fernandes (2005) de 1,2 para cafeeiros com idade superior a três anos em espaçamento longos (3,5 a 4,0 m x 0,5 a 0,7 m entre plantas) para um solo arenoso.

Tabela 2. Coeficiente de tanque para Tanque Classe A, com diferentes coberturas vegetais, níveis de umidade relativa média e velocidades do vento.

UR (%) Velocidade do vento (km/dia)	Tanque instalado em área com grama				Tanque instalado em solo descoberto			
	Tamanho da bordadura (1)	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%	Tamanho da bordadura (1)	Baixa <40%	Média 40-70%	Alta >70%
Leve <175	1	0,55	0,65	0,75	1	0,70	0,80	0,85
	10	0,65	0,75	0,85	10	0,60	0,70	0,80
	100	0,70	0,80	0,85	100	0,55	0,65	0,75
	1000	0,75	0,85	0,85	1000	0,50	0,60	0,70
Moderado 175 – 425	1	0,50	0,60	0,65	1	0,65	0,75	0,80
	10	0,60	0,70	0,75	10	0,55	0,65	0,70
	100	0,65	0,75	0,80	100	0,50	0,60	0,65
	1000	0,70	0,80	0,80	1000	0,45	0,55	0,60
Forte 425 – 700	1	0,45	0,50	0,60	1	0,60	0,65	0,70
	10	0,55	0,60	0,65	10	0,50	0,55	0,65
	100	0,60	0,65	0,70	100	0,45	0,50	0,60
	1000	0,65	0,70	0,75	1000	0,40	0,45	0,55
Muito forte > 700	1	0,40	0,45	0,50	1	0,50	0,60	0,65
	10	0,45	0,55	0,60	10	0,45	0,50	0,55
	100	0,50	0,60	0,65	100	0,40	0,45	0,50
	1000	0,55	0,60	0,65	1000	0,35	0,40	0,45

Fonte: Doorenbos & Pruitt (1984).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados, com seis tratamentos e quatro repetições. Cada bloco foi composto por oito linhas, em que, cada linha representava um tratamento e mais duas linhas de bordadura, uma no início e outra no final do bloco. As linhas possuíam 20 metros de comprimento e em cada uma foram feitas parcelas amostrais nos 10 metros centrais (Figura 1).

O espaçamento da cultura era de 3,5m entre fileiras e 0,60m entre plantas. Sendo assim cada parcela amostral era composta por 16 plantas. Para ser feitas as avaliações vegetativas foram selecionadas 3 plantas em cada bloco somando um total de 12

plantas avaliadas por tratamento. Foi selecionado dois ramos no terço superior de cada planta, para avaliação dos seguintes parâmetros:

Número de par de folhas nos ramos plagiotrópicos;

Comprimento de ramos plagiotrópicos (cm), fazendo-se a média do primeiro par de ramos (um ramo de cada lado), selecionado nas plantas;

Número de entrenós no ramo plagiotrópico.

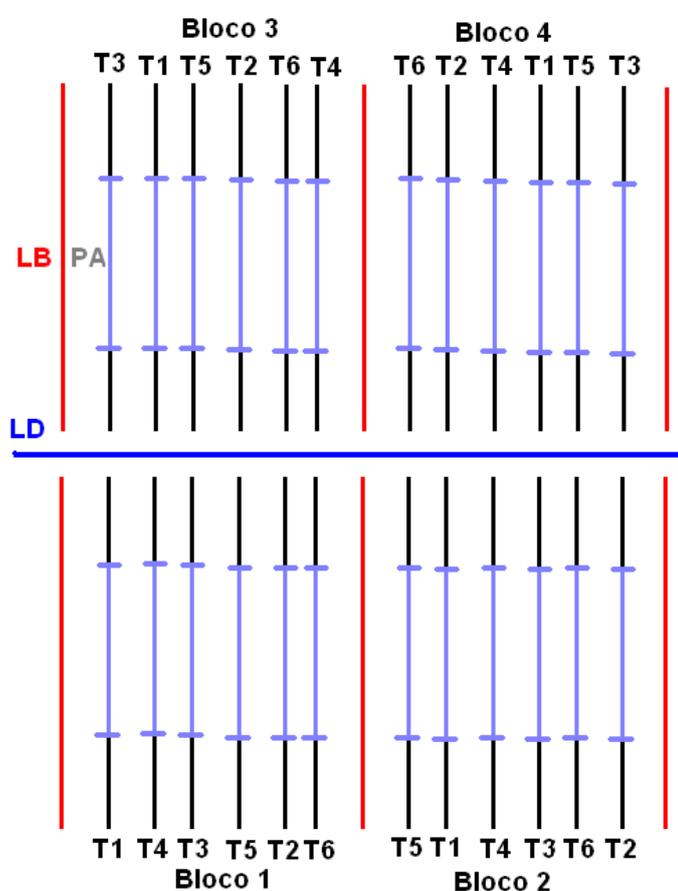


Figura 1- Esquema de casualização dos tratamentos e posicionamento dos blocos no campo. LD- linha de derivação, LB- linha de bordadura, PA parcela amostral.

Foram realizadas avaliações de trocas gasosas utilizando-se equipamento com sistema aberto de fotossíntese com analisador de CO₂ e vapor d'água por radiação infravermelha (*"Infra Red Gas Analyser – IRGA"*, modelo LI-6400 da Li-Cor). Foram selecionadas quatro plantas de cada tratamento, as quais foram utilizadas o terceiro e

quarto par de folhas totalmente expandidas, sem sinais de senescência e sadias, em ramos plagiotrópicos do terço superior da planta.

A concentração de CO₂ de referência utilizada durante as avaliações foi de 380 μmol mol⁻¹ presente no ambiente e variando a densidade de fótons fotossinteticamente ativas (DFFFA) a pleno sol de 1200-1500 μmol m⁻²s⁻¹.

As folhas foram inseridas na câmara foliar e a variação no fluxo líquido de CO₂ e H₂O foi monitorada até o estabelecimento de níveis constantes. A taxa de assimilação de CO₂ (A, μmol m⁻²s⁻¹), taxa de transpiração (E, mmol vapor d'água m⁻²s⁻¹), condutância estomática (gs, mol m⁻²s⁻¹), concentração interna de CO₂ na folha (C_i, μmol CO₂ mol⁻¹ar) e densidade de fótons fotossinteticamente ativa (DFFFA) foram calculadas pelo programa de análise de dados do equipamento medidor de fotossíntese, que utiliza a equação geral de trocas gasosas de Von Caemmerer & Farquhar (1981).

Os dados coletados foram submetidos ao teste de Tukey, para a análise de variância e a comparação das médias, em níveis de 1 e 5% de probabilidade para verificar as diferenças significativas entre a testemunha e os demais tratamentos utilizados. O software utilizado foi o SISVAR.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Fatores edafoclimáticos

A temperatura é o fator mais importante para definir a aptidão climática do cafeeiro. Conforme Pinto et al. (2001) a classificação climática da região de Botucatu é favorável para o cultivo do café arábica, porém observa-se na Figura 2 que durante o período do experimento, apenas os dois primeiros decêndios do mês de novembro tiveram médias inferiores aos 22°C característicos da época mais quente da região. Ainda na Figura 2 observam-se as médias decendiais da umidade relativa do ar (UR%) ficaram acima dos 50%, valor que seria prejudicial para planta, e próxima da faixa ideal de 70-80% assim como citado por Malavolta (2000). Esse aumento na temperatura média não impossibilita a cafeicultura na região, pois dados históricos relatam períodos quentes com aumento de temperatura em outras regiões aptas para a cafeicultura.

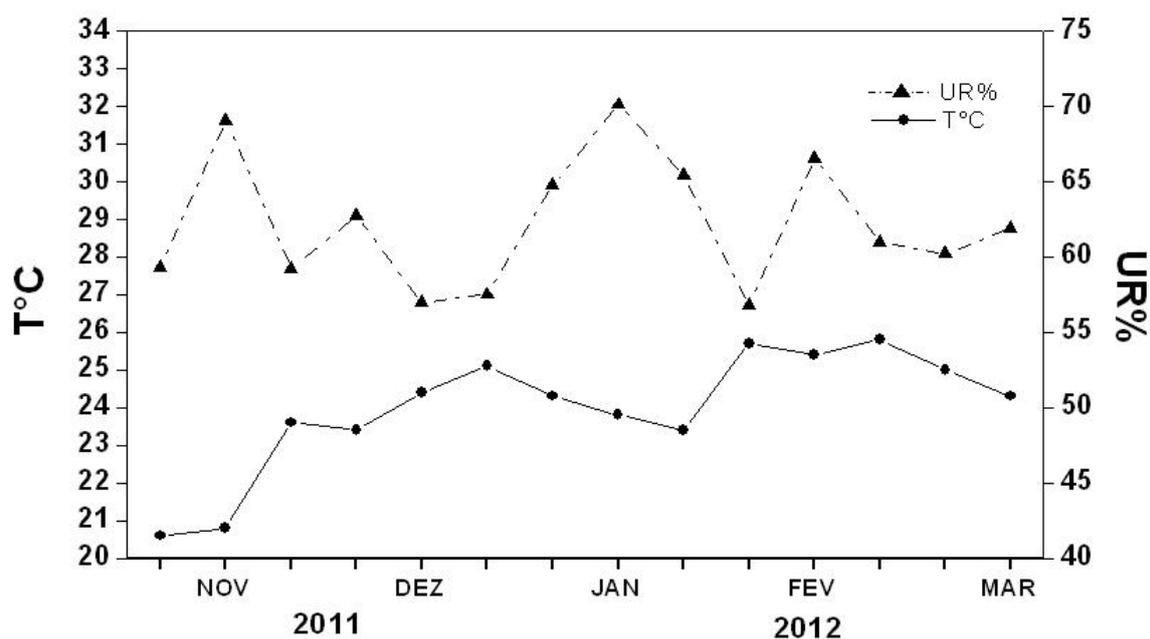


Figura 2. Dados climatológicos decendiais da Fazenda Nova América em Botucatu-SP, entre o período do mês de novembro de 2011 a março de 2012.

Santinato et al. (2008), citaram alguns dados de temperatura média mensal da região de Franca-SP, entre os anos de 2002 e 2006, nelas pode ser observado que em alguns anos houve um aumento das médias mensais entre os meses de novembro a março, que variou desde $+2,6^{\circ}\text{C}$ a $+3,1^{\circ}\text{C}$. A temperatura elevada aliada a outros fatores como, ventos fortes, umidade relativa do ar baixa e déficit hídrico do solo, podem reduzir o crescimento vegetativo do cafeeiro. Conforme Camargo e Camargo (2001), o período entre os meses de novembro a março corresponde às fases fenológicas de expansão e granação dos frutos, sendo assim, qualquer estresse que ocorra nesse período pode acarretar prejuízos não só na safra atual como na do próximo ano. Na Figura 2 é possível observar que no último decêndio de novembro, nos dois últimos decêndios de dezembro e no primeiro de fevereiro, ocorreram temperaturas altas e baixa umidade do ar se comparada aos demais decêndios. Mesmo esse sendo o período chuvoso da região, há semanas em que as chuvas são poucas ou quase nenhuma. Se analisando a pluviosidade total do mês verifica-se que não houve falta de chuva e sim má distribuição. Isso comprova o que já foi dito por pesquisadores como Mantovani et al. (2004), mesmo em regiões onde a soma da precipitação anual satisfaz as necessidades da cultura do café, a ocorrência de veranicos tem sido prejudicial para a lavoura, tornando assim

a irrigação uma técnica fundamental para redução desses danos. Convém dizer que a análise minuciosa desses dados pluviométricos se torna ainda mais importante em áreas como a da Fazenda Nova América, onde o solo arenoso possui uma CAD (capacidade de armazenamento de água) de apenas 27 mm. Da Matta & Rena (2001) relataram que pequenas reduções na disponibilidade de água podem diminuir substancialmente o crescimento da planta, ainda que não se observem murcha nas folhas ou quaisquer outros sinais visíveis do déficit hídrico. O entendimento das relações entre a água e o cafeeiro pode fornecer informações importantes, tanto para técnicos como para pesquisadores, sobre a tomada de decisões em relação ao manejo da irrigação para a lavoura.

Na Figura 3 tem-se uma melhor observação de como os fatores edafoclimáticos influenciam na evapotranspiração da cultura do café.

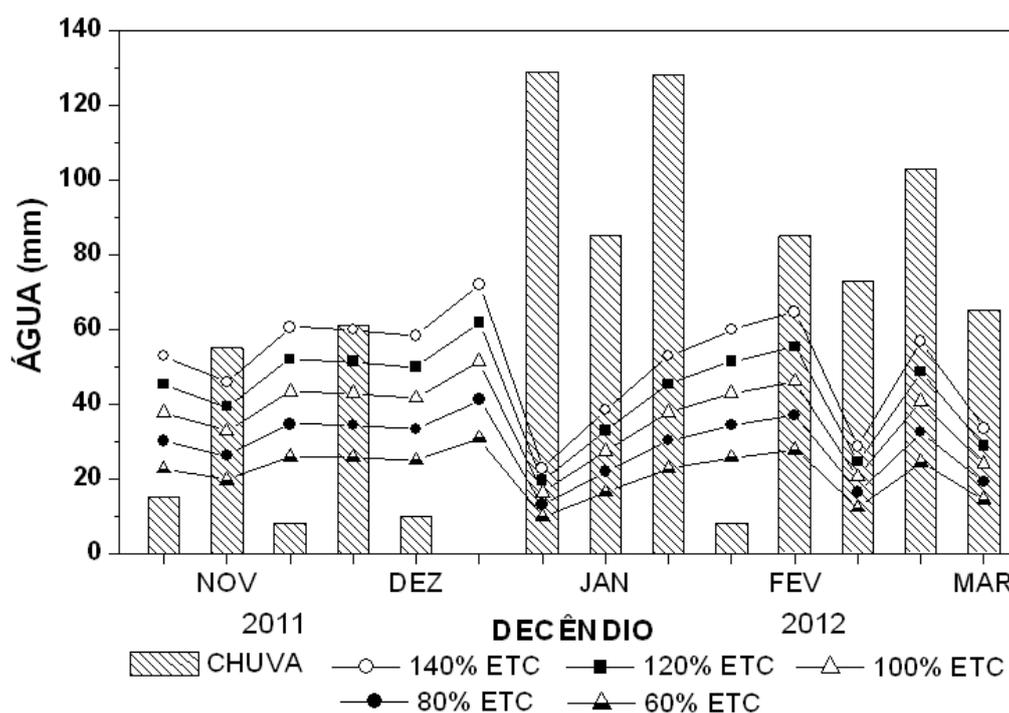


Figura 3. Dados de chuva e evapotranspiração da cultura (Etc) de um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20 com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.

Nos dados da Figura 3 observa-se que dos quatorze decênios decorridos durante o trabalho, cinco tiveram chuvas abaixo da Etc da cultura. Os meses de

novembro e de dezembro apresentaram poucas chuvas, apenas um total de 78 e 71 mm para cada mês respectivamente. Analisando o mapeamento dos dados climáticos para a cidade de Botucatu-SP (Sartori et al., 2010), verifica-se que essa pluviosidade foi abaixo do normal para esses meses. A maior ocorrência de chuvas foi registrada no mês de janeiro com um total de 342 mm. No dia 27 de janeiro ocorreu a última chuva do mês, a partir daí, passaram-se 13 dias sem chuvas, fazendo com que as Etc calculadas fossem superiores ao índice pluviométrico do primeiro decêndio de fevereiro. Esse período sem precipitação não foi o maior durante o trabalho, mas chama a atenção por ter ocorrido entre meses chuvosos. Pezzopane et al. (2007) registrou períodos longos de interrupção de chuvas entre os meses de dezembro de 2003 e janeiro de 2004 ocasionando até déficit hídrico em solos com o cultivo de café na região de Mococa-SP. A água é responsável pela expansão do endocarpo através da pressão de turgescência exercida antes da lignificação, influenciando o tamanho da semente (Rena & Maestri, 2000). Conforme Camargo (1985) a ocorrência de estresse hídrico na planta durante as fases de expansão e granação dos frutos, atrasa o seu crescimento e aumenta a porcentagem de grãos chochos. Esse efeito do estresse hídrico foi observado por Bonfim Neto et al. (2006), quando conduziram experimento no cerrado de Minas Gerais e constatou que as parcelas irrigadas tiveram acréscimo em torno de 35% na produtividade de grãos com peneira 16 acima.

Devido à baixa capacidade de armazenamento de água do solo, decêndios como o segundo de dezembro e o terceiro de janeiro precisaram de irrigação para suprir a necessidade hídrica da cultura. Os meses de novembro e dezembro tiveram as maiores quantidades de água aplicada, esses dados podem ser observados na Figura 4.

A soma da precipitação dos meses de janeiro, fevereiro e março foram superiores a estimativa de 140% da Etc da cultura, teoricamente não necessitaria de irrigação. Porém os dias de estiagem que ocorreram entre esses meses e a baixa retenção de água do solo propiciaram a utilização da irrigação.

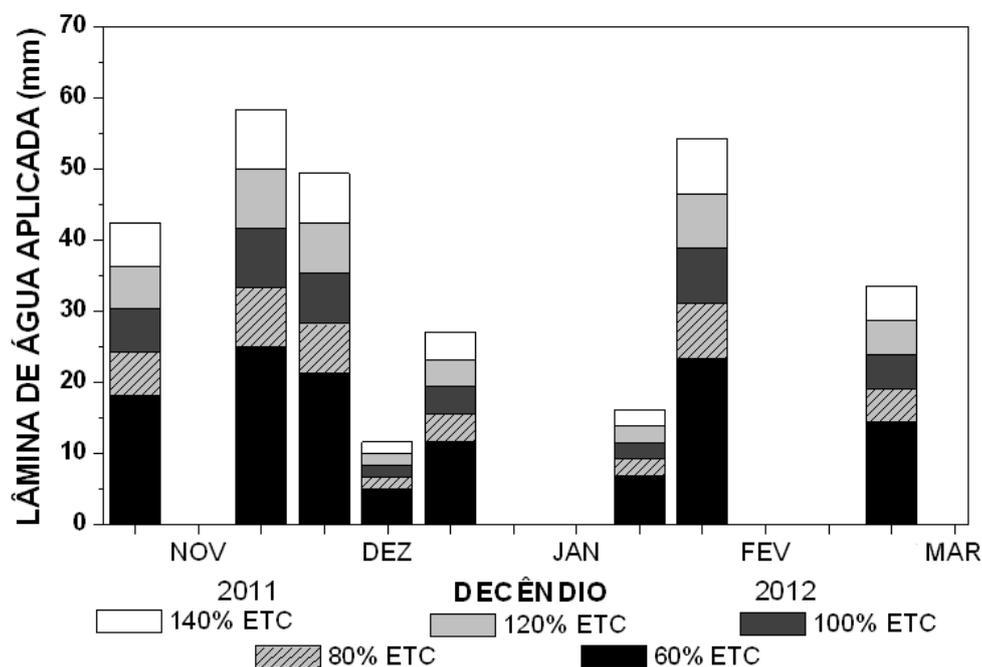


Figura 4. Valores decendiais das cinco lâminas de água aplicadas conforme a Etc calculada de um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.

Analisando o trabalho conduzido por Lambert (2009), na região de Lavras-MG entre os anos de 2001 e 2008, onde possui período chuvoso parecido ao de Botucatu, verificou-se que a utilização da irrigação nos meses de novembro e dezembro foi maior do que o período de janeiro a março, mas em alguns anos foi necessário a irrigação entre esses últimos meses.

No terceiro decêndio de novembro foi aplicada a maiores lâminas de água, com médias diárias que variaram de 2,5 a 5,8 mm dia⁻¹ no primeiro decêndio de dezembro que foi o que menos se aplicou água, as médias foram de 0,49 a 1,1 mm dia⁻¹. Na soma mensal podemos perceber tamanha diferença no consumo de água dependendo da lâmina escolhida. No mês de novembro a soma da menor até a maior lâmina aplicada variou de 43 mm a 100 mm, isso demonstra tamanha importância em se escolher o manejo correto da irrigação conforme o melhor desenvolvimento da planta e que seja economicamente viável para o produtor. O manejo correto da irrigação não só proporciona economia de água, como também de energia e de insumos agrícolas aplicados via sistema de irrigação. Resultados encontrados por Almeida (2010) no estado de Minas Gerais comprovam que na maioria das

propriedades a lâmina aplicada era superior a Etc calculada considerada ideal, com isso reduziu em 37% o volume total de água utilizada para irrigar a lavoura. Se essa irrigação fosse feita corretamente ainda teria uma redução de 18% no consumo de energia.

Pela análise desses dados pode-se afirmar que um bom manejo torna-se fundamental para a otimização da irrigação, os resultados são demonstrados com a produção final, porém para escolher a lâmina ideal para obter uma produção satisfatória é preciso avaliar as respostas fisiológicas da planta no decorrer do ciclo de cultivo. O estresse causado pelo excesso ou déficit hídrico pode ter efeitos prejudiciais no crescimento, florescimento, frutificação e outros importantes processos fisiológicos determinantes da produtividade do cafeeiro (Nunes, 1976; Da Matta et al., 1997).

6.2 Características vegetativas

A avaliação das características vegetativas do cafeeiro é uma importante ferramenta para ter uma perspectiva de produções futuras. Alves et al. (2000) citam que a floração possui uma dependência em relação ao comprimento do ramo plagiotrópico e o número de internódios, conseqüentemente a produção tem relação com a floração. Outro parâmetro vegetativo importante é a quantidade de folhas nos ramos da planta, pois, mesmo tendo um período crítico de desfolhamento no inverno por ser seco e frio, a colheita também aumenta a perda de folhas. Porém sob condições ambientais adequadas, o cafeeiro pode manter boa parte das suas folhas durante esse período crítico e assim produzir reservas de carboidratos nas quantidades necessárias para a fixação dos frutos (Matiello et al., 2005).

Na Tabela 3 é mostrado o resumo das análises estatísticas, onde se verifica que houve efeito significativo das lâminas de água sobre as características vegetativas de crescimento do ramo plagiotrópico (CR), número de internódios (NI) e de folhas (NF), ao nível de 1 e 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Resumo da análise de variância do comprimento do ramo, número de internódios e de folhas em relação a cinco lâminas aplicadas num cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, no município de Botucatu-SP.

Fonte de Variação	GL	QM		
		CR (cm)	NI	NF
Lâminas de água	5	18,28**	4,32*	10,25*
CV(%)		23,79	20,21	28,72
Tratamentos		Médias		
T1(NI)		7,17b	4,5b	4,8b
T2(60%)		9,12ab	5,8ab	5,9ab
T3(80%)		8,20ab	6,0ab	5,6ab
T4(100%)		9,27ab	5,9ab	6,3ab
T5(120%)		11,02a	6,4a	7,4a
T6(140%)		10,05a	5,9ab	7,3a

Médias não seguidas da mesma letra na coluna dentro de cada variável diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro; ns, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1%, respectivamente. GL grau de liberdade, QM quadrado médio, CV coeficiente de variação.

Analisando os dados da Tabela 3 verifica-se que não houve diferenciação estatística entre lâminas, mas para os parâmetros vegetativos de crescimento de ramos e números de par de folhas, os tratamentos T5 e T6 que correspondem a 120 e 140% da Etc foram significativos. No número de internódios apenas o T5 apresentou diferença em relação ao T1. Talvez o tempo de avaliação tenha sido curto para haver significância entre lâminas, porém, mesmo nesse curto período de tempo correspondente a época chuvosa, a irrigação apresentou resultados satisfatórios. Esses resultados são parecidos com os de Vieira et al. (2001), onde conduzindo experimento com café irrigado na região de Viçosa em Minas Gerais, apenas a testemunha e o tratamento correspondente a 57% da Et0 apresentaram diferenciação em relação aos parâmetros de comprimento dos ramos plagiotrópicos e número de entrenós nos ramos plagiotrópicos.

6.3 Crescimento de ramos plagiotrópicos

Na Figura 5, vê-se a taxa de crescimento dos ramos plagiotrópicos durante o período do experimento.

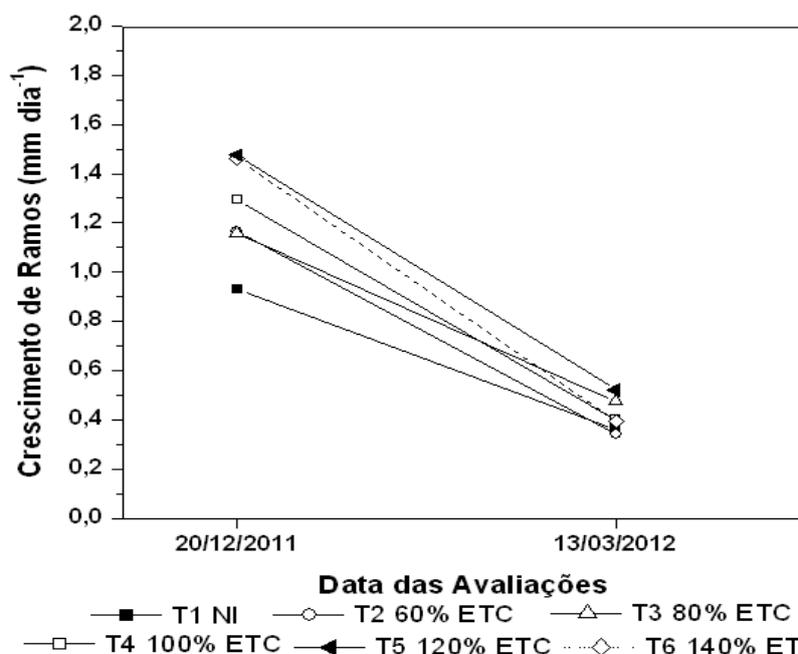


Figura 5. Taxa de crescimento de ramos plagiotrópicos de seis tratamentos de lâminas de água em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.

Observa-se que na primeira avaliação após o início do experimento as taxas de crescimento dos tratamentos irrigados apresentavam-se bastante elevadas se comparadas com a testemunha. Os tratamentos T5 e T6 correspondentes a 120 e 140% da Etc, apresentaram taxas de crescimento de 1,4 mm dia⁻¹, bem superior à parcela sem irrigação onde o crescimento foi de 0,9 mm dia⁻¹. Essas taxas de crescimento são superiores a taxas obtidas por Chaves (2009) em cafeeiros não irrigados, onde o maior crescimento para o mesmo período entre os meses de novembro e dezembro foi de 1,0 mm dia⁻¹. Observa-se também que a taxa de crescimento decresceu entre os meses de dezembro de 2011 e março de 2012, o que já era esperado, pois, nesse período há uma maior demanda de carboidratos para a frutificação diminuindo assim o crescimento. Da Matta et al. (2007) relataram com o uso do gráfico de crescimento de um café arábica, que o período de maior crescimento do cafeeiro para a região sudeste do Brasil, corresponde entre os meses de setembro a dezembro. Vale ressaltar que essa

taxa de crescimento apenas reduz e não chega a cair para a menor taxa do ciclo fenológico da planta do café, pois, apesar de estar na fase expansão e enchimento dos frutos, o café também está em pleno desenvolvimento vegetativo, caso esses frutos fossem retirados, o crescimento dos ramos continuariam em níveis elevados. Isso foi comprovado em trabalhos conduzidos por Cunha (2007) e Amaral et al. (2006), onde os tratamentos que permaneceram com frutos obtiveram taxas de crescimento em torno de $0,4 \text{ mm dia}^{-1}$, enquanto as parcelas que foram retirados os frutos tiveram taxas médias de $1,2 \text{ mm dia}^{-1}$.

Ainda na Figura 5 observa-se que a taxa de crescimento média reduziu de $1,2$ para $0,4 \text{ mm dia}^{-1}$. Destaque para o crescimento do T6 que apesar de sua altura final ter ficado entre as maiores, seu crescimento reduziu bastante entre o início do experimento e o final. As taxas de crescimento final foram praticamente idênticas entre tratamentos variando de $0,3$ a $0,4 \text{ mm dia}^{-1}$, esses dados faz com que se reforce ainda mais o bom manejo da cultura, o atraso da colheita ou de qualquer outro trato cultural que impeça de ser feita irrigação durante o período de maior desenvolvimento vegetativo da cultura, pode gerar efeitos negativos não só na atual safra como em produções futuras.

6.4 Número de entrenós

A quantidade de entrenós surgidos durante o período do experimento pode ser observado na Figura 6, onde nota-se que apenas os tratamentos T1 e T5 diferenciaram estatisticamente, enquanto os seus números de entrenós finais foram de $4,5$ e $6,4$ respectivamente, a média dos demais tratamentos ficou em $5,9$.

O número de entrenós surgidos por mês foi de $1,1$ para o T1 e $1,6$ para o T5, a média dos demais tratamentos irrigados foi de $1,4$. Esse resultado obtido pelo T5 foi bem satisfatório. Santinato et al. (2008) faz uma previsão de carga de frutos classificando cada região com sua média mensal de surgimento de internódios para cada época do ano e também conforme a quantidade de meses com temperatura em torno de 19°C . Para a região de Botucatu-SP o número ideal de internódios para essa época do experimento seria de $0,75$ a $1,0$ (média mensal), porém o T5 conseguiu números bem superiores, chegando à média de regiões onde não possuem meses frios, estimando assim uma ótima carga de frutos. Isso reforça ainda mais a necessidade de irrigar o cafeeiro na sua melhor época para o desenvolvimento

vegetativo. Se o experimento tivesse sido iniciado em setembro talvez tivéssemos uma média de internódios parecida com a encontrada por Vieira et al. (2001) que foi de 1,8.

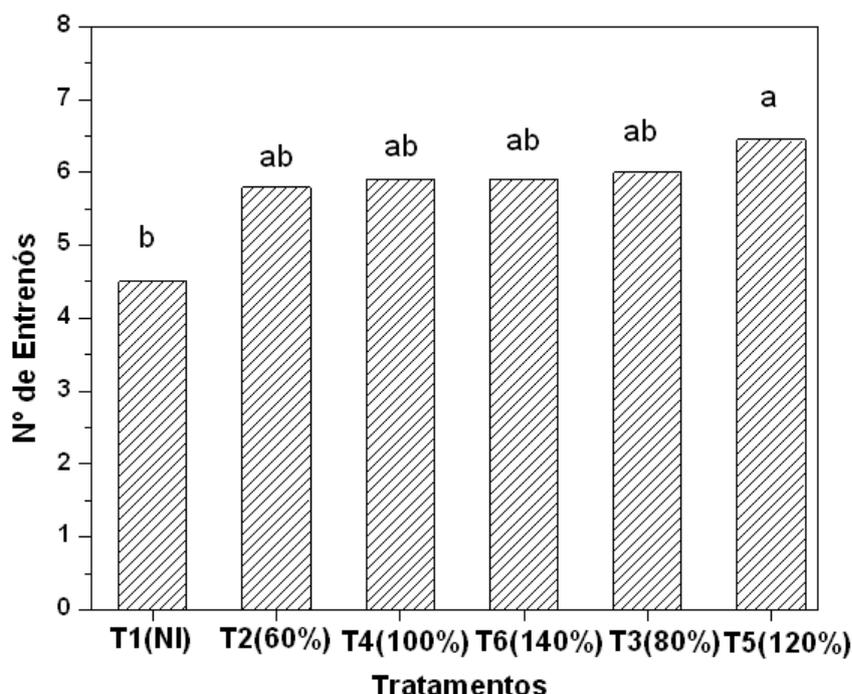


Figura 6. Número de entrenós surgidos em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.

Apesar de não haver uma correlação exata devido à interferência de outros fatores, Garcia et al. (2006) encontraram um aumento na produção de 4,1 sacas beneficiadas/ha para cada internódio surgido no ano anterior. Assim como no crescimento de ramos, o número de internódios diminui com a disputa dos grãos por carboidratos. Matiello (2006) observou um aumento no número de internódios, quando retirado dos ramos os botões florais e os frutos em estágio de chumbinho. Porém não foram só os internódios que aumentaram, o enfolhamento da planta quase que dobrou passando de 47% para 83%.

6.5 Número de folhas

A Figura 7 demonstra os pares de folhas surgidos durante o período de avaliação. Destacam-se os pares de folhas do tratamento não irrigado, que se mantiveram estáveis até o final do experimento.

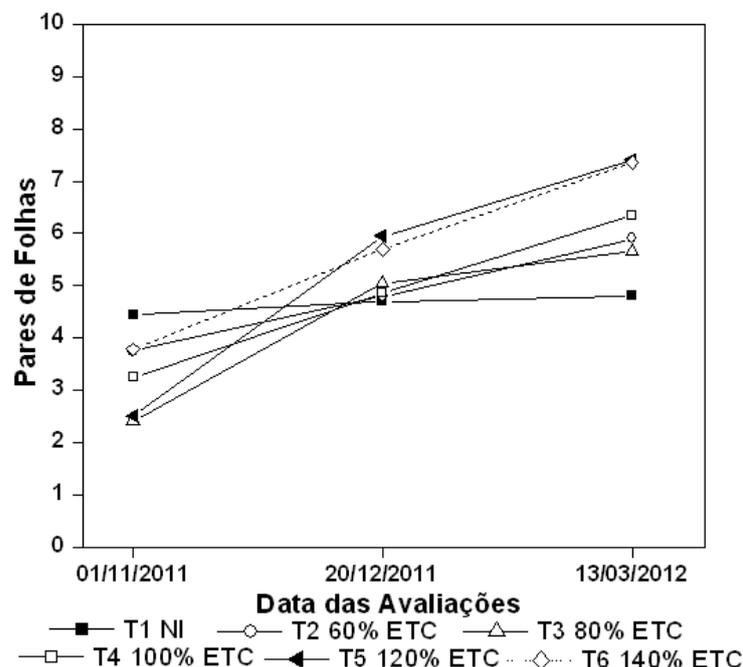


Figura 7. Pares de folhas surgidos em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.

O número de pares de folhas correspondente ao tratamento 5 praticamente triplicou, passando de 2,5 para 7,4. O mesmo número de pares finais do tratamento 6. Esses resultados obtidos pelos tratamentos 5 e 6 foram parecidos com os encontrados por Soares (2001) num cafeeiro Catuaí com oito anos na região de Viçosa-MG. Onde os tratamentos irrigados apresentaram surgimento médio de 8,2 e 7,6 pares de folhas em dois anos de cultivo irrigado, enquanto que os tratamentos não irrigados foram somente de 4,3 e 4,7. Malavolta (1993) chama atenção para a importante relação entre o número de folhas e o número de gemas reprodutivas, pois uma desfolha acentuada pode afetar a produção do ano seguinte.

Observa-se que para os três parâmetros vegetativos avaliados houve resposta significativa comparando os tratamentos irrigados com os não irrigados. Os tratamentos 5 e 6 correspondentes as lâminas de 120 e 140% da Etc da cultura, foram os que melhor se desenvolveram vegetativamente. Isso significa que as plantas desses tratamentos terão mais folhas fotossinteticamente ativa, produzindo uma maior quantidade de carboidratos,

tentando manter assim um equilíbrio entre a demanda dos frutos e dos órgãos responsáveis pelo desenvolvimento vegetativo.

6.6 Características fisiológicas

O estudo das reações morfológicas e fisiológicas das plantas, é de tamanha importância para um melhor entendimento da sua adaptação a determinados ambientes (Larcher, 2000). Por os frutos serem drenos prioritários, retirando fotoassimilados e nutrientes dos ramos e folhas, quaisquer estresses causados por fatores ambientais, genéticos, patológicos ou nutricionais, podem causar desequilíbrio entre o crescimento vegetativo e a frutificação do cafeeiro (Zambolin, 2003).

Apresenta-se na Tabela 4 os dados relacionados à taxa de assimilação líquida de carbono (A), condutância estomática (g_s) e temperatura foliar (T_f) nas plantas de café da Fazenda Nova America, em relação às várias lâminas de água aplicadas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância das características fisiológicas em relação a cinco lâminas aplicadas num cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, no município de Botucatu-SP.

Fonte de Variação	GL	QM		
		A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	T_f ($^{\circ}\text{C}$)
Lâminas	5	15,76**	2443,50ns	1,072ns
CV(%)		17,13	16,32	4,62
Tratamentos		Médias		
T1(NI)		5,09c	228,14a	30,57a
T2(60%)		6,02c	257,54a	29,35a
T3(80%)		6,50ab	231,54a	29,72a
T4(100%)		10,43a	189,94a	29,26a
T5(120%)		8,91bc	204,92a	29,42a
T6(140%)		7,92abc	202,09a	30,15a

Médias não seguidas da mesma letra na coluna dentro de cada variável diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro; ns, *, ** não significativo, significativo a 5% e a 1%, respectivamente. GL grau de liberdade, QM quadrado médio, CV coeficiente de variação.

As variáveis correspondentes à g_s e T_f não apresentaram diferenciação estatística entre os tratamentos. Porém, os valores médios de A teve significância, principalmente em relação às lâminas T4, T5 e T6 correspondentes a 100, 120 e 140% da Etc calculada. Na primeira avaliação (Figura 8) a taxa média de A foi de $4\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, o que é considerada normal, porém o valor de $10\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ do tratamento 4 registrado na segunda avaliação, fica próximo da maior taxa já registrada para cafeeiros que é de $12\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Rena et al., 1994). Ainda conforme o mesmo autor, essa taxa é considerada ótima quando acima de $7\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, com isso os tratamentos 5 e 6 também obtiveram taxas médias satisfatórias.

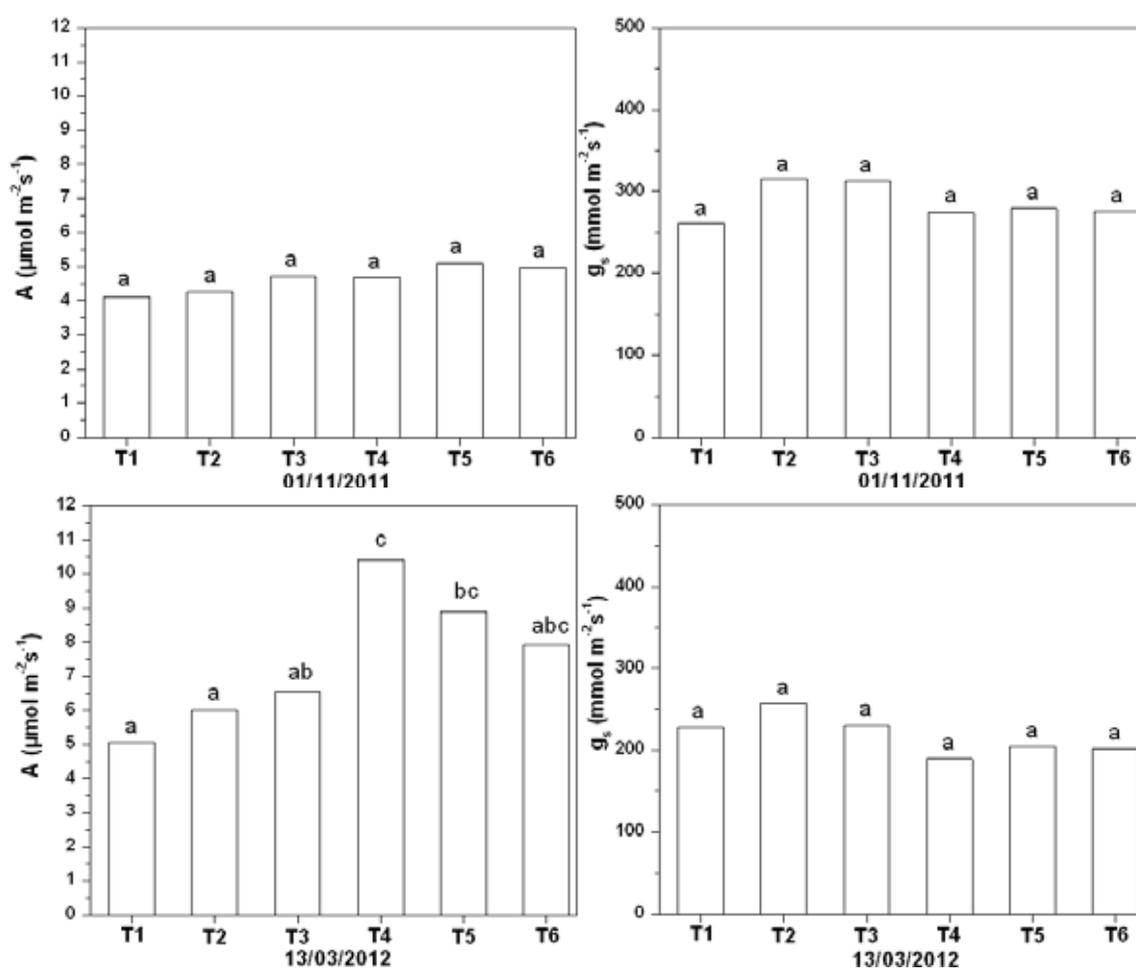


Figura 8. Taxa de assimilação líquida de carbono (A) e condutância estomática (g_s) em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.

As taxas de A e g_s encontravam-se em equilíbrio durante a primeira avaliação. Já para a segunda vemos que ela praticamente dobrou em relação a menor taxa entre os tratamentos, mas nota-se que a g_s não foi significativa nem na segunda avaliação, apresentando valor médio menor em relação à primeira.

Conforme Bierhuizen et al. (1969), os estômatos controlam eficientemente a taxa de transpiração à medida que se esgota a água no solo, de modo que o balanço hídrico da planta não é muito afetado, eles também verificaram um decréscimo na taxa de fotossíntese quando falta água no solo e que, após a retomada da rega, o restabelecimento da taxa fotossintética normal é bastante lenta. Analisando a Figura 8 vemos que g_s foi maior na primeira avaliação enquanto A foi menor, ocorrendo o contrário na segunda avaliação, isso pode ser explicado pelo fato que, durante a primeira avaliação as plantas não estavam em estresse hídrico acentuado, pois uma semana antes ocorreu uma chuva de 26 mm. A temperatura pode ter influenciado também, pois no dia da última avaliação a máxima foi de 31°C enquanto que, no dia da primeira foi de 21°C. Autores como Gutiérrez & Meinzer (1994) e Kanechi et al. (1995), relatam que o cafeeiro possui alta sensibilidade estomática a fatores ambientes como luz, temperatura e déficit de pressão de vapor.

Outro fator limitante para os processos fisiológicos do cafeeiro é a temperatura foliar. Butler (1977) observou que as folhas expostas ao sol apresentavam uma temperatura entre 10 °C e 15 °C acima da temperatura do ar (cerca de 29 °C). Orozco & Jaramillo (1978) observaram que as temperaturas foliares de plantas sem irrigação foram maiores que as temperaturas foliares de plantas irrigadas.

Na Figura 9 observa-se que os dados de T_f não foram significativos em nenhuma das avaliações, mas nota-se que na primeira avaliação as temperaturas médias foram de 35°C, enquanto na segunda foram um pouco mais baixas em torno de 30°C.

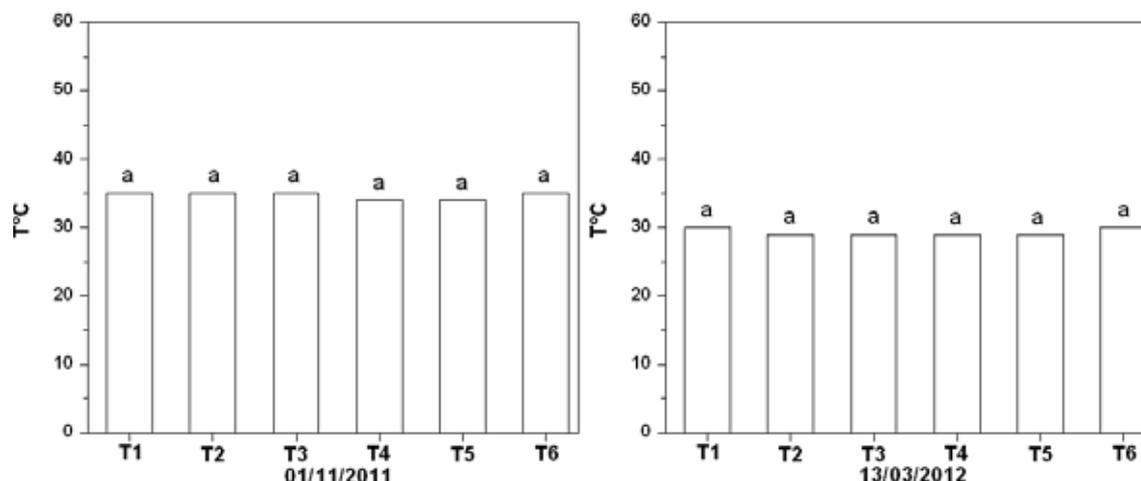


Figura 9. Temperatura foliar (T_f) em seis tratamentos de lâminas de irrigação em um cafezal da cultivar Obatã IAC 1669-20, com oito anos de idade, na Fazenda Nova América no município de Botucatu-SP.

A temperatura foliar ótima para realização da fotossíntese é de 24°C, porém, as médias das duas datas de avaliações superaram esse limite. Como a maioria dos trabalhos sobre T_f do cafeeiro foram conduzidos em estufa, autores como Butler (1977) e Cannel (1971) supõe que as plantas criem adaptações a altas temperaturas em condições de campo, o que torna o seu comportamento diferente daquelas cultivadas em câmara de vegetação. Temperaturas médias de 32°C e A com taxas de $5\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, também foram encontradas em cafeeiros de sequeiro na região de Viçosa-MG por Cunha (2007).

Esses resultados demonstram a importância de se fazer um acompanhamento das necessidades hídricas da planta diariamente, para que os processos fisiológicos não se limitem por razões de estresse hídrico. Porém é necessário um maior tempo de avaliação para se determinar a melhor lâmina a ser aplicada.

7 CONCLUSÕES

Com base nos dados obtidos e discutidos no presente trabalho verificou-se que:

- As lâminas de água dos tratamentos T5 e T6 correspondentes a 120 e 140% da Etc, foram os que diferenciaram estatisticamente da testemunha.
- A irrigação apresentou resultados positivos em relação ao desenvolvimento vegetativo e as características fisiológicas do cafeeiro.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, W. V. R DE. **Eficiência da Irrigação Localizada e do consumo de Energia na Cafeicultura na Região do Alto Jequitinhonha**. 2010. 50f. Dissertação (Mestrado em produção vegetal área de concentração em solo e água)- Universidade Federal dos vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2010.

ALVES, M. E. B. et al. Crescimento do cafeeiro sob diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 219-225, 2000.

ALVIM, P. T. Tree growth periodicity in tropical climates. In: ZIMMERMANN, M.H. (Ed.). *Formation of wood in forest trees*. New York: **Academic Press**, 1964. p. 479-495.

AMARAL, J. A. T.; RENA, A.B.; AMARAL, J. F. T. Crescimento vegetativo sazonal do cafeeiro e sua relação com fotoperíodo, frutificação, resistência estomática e fotossíntese. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, n.3, p.377-384, mar. 2006.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J. O. et al. (EE.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Lavras: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1998. p. 183-204.

BARROS, R. S. et al. Decline of vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to leaf temperature, water potential and stomatal conductance. **Field Crops Research**, v. 54, p. 65-72, 1997.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV, 2009. 625 p.

BIERHUIZEN, J. F.; NUNES, M. A; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. II. Effect of soils moisture on photosynthesis and transpiration of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 18, n. 2, p. 367-374, 1969.

BOMFIM NETO, H. et al. Influência de diferentes lâminas de irrigação na peneira do cafeeiro irrigado por gotejamento no cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Poços de Caldas, Bagaço Design Ltda, 2006 . p. 304-305.

BONOMO, R. et al. Produtividade de Cafeeiros Arábica Irrigados no Cerrado Goiano. **Pesquisa Agropecuária Tropical**. Goiânia, GO, v. 38, n. 4, p. 233-240, out/dez. 2008.

BUTLER, D. R. Coffee leaf temperatures in a tropical environment. **Acta Botanica Neerlandica**, Amsterdam, v. 26, p. 129-140, 1977.

CARR, M. K. V. The Water relations and irrigation requirements of coffee. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 37, n. 1, p. 1-36, 2001.

CAMARGO, A. P. Florescimento e frutificação de café arábica nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v.20, n.7, p. 831-839, 1985.

CAMARGO, A.P.; FRANCO, C. F. Clima e fenologia do cafeeiro. In: Instituto Brasileiro do Café. *Cultura de café no Brasil*: Manual de recomendações. 5. ed. Rio de Janeiro:, **Ministério da Indústria e Comércio**, 1985. p. 19-50.

CAMARGO, A. P. Necessidades hídricas do cafeeiro. In: CURSO PRÁTICO INTERNACIONAL DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 1989, Campinas. **Resumos e palestras....** Campinas: 1989. 22p.

CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, SP, v. 60, n. 1, p. 65-68, 2001.

CANNELL, M. G. R. Production and distribution of dry matter in trees of *Coffea arabica* L. in Kenya as affected by seasonal climatic differences and the presence of fruits. **Annals of Applied Biology**, Londres, v. 67, p. 99-120, 1971.

COELHO, A. M. Fertigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. Quimigação. **Aplicação de Produtos Químicos e Biológicos Via Irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 201-220.

CONAB. **SÉRIE HISTÓRICA DE PRODUTIVIDADE CAFÉ NO BRASIL**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2>>. Acesso em: 20 mar. 2012.

CUETO, M. A.; LEIVA, A.; TABLADA, R. La floración de *Coffea arábica* L. II. Comportamiento de plantas jóvenes crecidas al sol. **Ciencias de La Agricultura**, v. 20, 45-52, 1984.

CUNHA, A. R. et al. Classificação climática para o município de Botucatu, SP, segundo Köppen. In: SIMPÓSIO EM ENERGIA NA AGRICULTURA, 1., 1999, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FCA/UNESP, 1999. v. 1, p 487-490.

- CUNHA, R. L. **Crescimento, metabolismo do carbono e partição de assimilados, em resposta à manipulação da razão fonte: dreno, em coffea arábica L. Sob condições de campo.** 2007. 49f. Tese (Doutorado em fisiologia vegetal)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- CHAVES, A. R. DE M. **Aspectos fisiológicos do crescimento e da produção do cafeeiro.** 2009. 66 f. Tese (Doutorado em fisiologia vegetal) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- DAMATTA, F. M.; MAESTRI, M.; BARROS, R. S. Photosynthetic performance of two coffee species under drought. **Photosynthetica**, Prague, v.34, p. 257-264, 1997.
- DA MATTA, F. M. Mecanismos fisiológicos associados ao desenvolvimento radicular das plantas. In: FERNANDES, M.F. TAVARES, E.D.; LEAL, M.L.S. (Eds.). **Workshop sobre sistema radicular das plantas: metodologias e estudo de casos.** Aracaju: EMBRAPA, 1999. p. 19-45.
- DA MATTA, F. M.; AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B. Vegetative growth in *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, v. 60, 223-229, 1999.
- DA MATTA, F.M.; RENA, A.B. Tolerância do café à seca. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade.** Viçosa: UFV, 2001. p. 65-100.
- DA MATTA, F. M. et al. Ecophysiology of coffee growth and production, **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campos dos Goytacazes, RJ, v.19, n.4, p.485-510, 2007.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. Crop water requirements. **FAO Irrigation and Drainage Paper**, Roma, n. 24, 144p, 1984.
- DUBLIN, P. Recherches sur la floraison et la fructification du caféier de la "Nanna". **Agronomie Tropicale**, v. 12, 173-208, 1957.
- EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo.** 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p.
- FAVARIN, J. L. et al. Qualidade da bebida de café de frutos cereja submetido a diferentes manejos pós-colheita. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, n. 2, p. 187-192, fev, 2004.
- FREDERICO, D.; MAESTRI, M. Ciclo de crescimento dos botões florais de café. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 17, 171-181, 1970.
- GARCIA, A. W. R. et al. Crescimento em cafeeiros, avaliado na Fazenda Experimental de Varginha, e correlação com produtividade/produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Poços de Caldas, Bagaço Design Ltda, 2006 . p. 59-60.

GOMES, N. M.; LIMA, L. A.; CUSTÓDIO, A. A. P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v. 11, n. 6, p. 564–570, 2007.

GOUVEIA, N. M. **Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de Coffea arabica L.**: Observações sobre antese e maturação dos frutos. 1984. 237f. Dissertação (Mestrado em Biologia) - Instituto de Biologia, UNICAMP, Campinas, 1984.

GUTIÉRREZ, M. V.; MEINZER, F. C. Estimating water use and irrigation requirements of coffee in Hawaii. **Journal of American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 119, n. 3, p. 652-7, 1994.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION (Inglaterra) (Org.). **All exporting countries total production crop years 2000/01 to 2011/12**. Disponível em: http://www.ico.org/pt/new_historical_p.asp?section=Estat%EDstica>. Acesso em: 20 mar. 2012.

KANECHI, M. et al. Water stress effects on leaf transpiration and photosynthesis of Coffea Arabica L. under different irradiance conditions. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, 16., 1995, Kyoto. **Proceedings...** Paris: Association Scientifique Internationale du Café, 1995. p. 520-527.

LAMBERT, R. A. **Lâminas de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro**. 2009. 65f. Dissertação (Mestrado em agronomia área de concentração fitotecnia)- Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2009.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: RIMA, 2000. 531 p.

MALAVOLTA, E. **Nutrição Mineral e Adubação do Cafeeiro**: Colheitas Econômicas Máximas. São Paulo: Agronômica CERES, 1993. 210 p.

MALAVOLTA, E. **História do café no Brasil**. agronomia, agricultura e comercialização. São Paulo: Agronômica Ceres, 2000. 456 p.

MANTOVANI, E. C. Cafeicultura Irrigada Bases Tecnológicas Para Sustentabilidade. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Palestras...** Brasília, DF: EMBRAPA Café, 2002. p. 45-81.

MANTOVANI, E. C. et al. Irrigação do Cafeeiro na Produtividade e Qualidade do Café. In: ZAMBOLIM, L. **O Estado da Arte de Tecnologias na Produção de Café**. Minas Gerais: Suprema Gráfica e Editora LTDA, 2002. p. 137-158.

MANTOVANI, E. C.; VICENTE, M. R.; SOUZA, M. N. Caracterização Técnica e Perspectivas para a Cafeicultura Irrigada Brasileira. In: ZAMBOLIM, L.; **Efeitos da irrigação sobre a qualidade e produtividade do café**. Viçosa: UFV, 2004. p. 293-310.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação**: Princípios e Métodos. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 355 p.

- MARTINS, C. DE P. et al. Produção e desenvolvimento do cafeeiro irrigado. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 14., 2004, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2004. CD-ROM.
- MATIELLO, J. B. **Café Conillon- como plantar, tratar, colher, preparar e vender**. Rio de Janeiro: MM Produções gráficas, 1998. 162 p.
- MATIELLO, J. B. et al. **Cultura de Café no Brasil: Novo Manual de Recomendações**. Rio de Janeiro e Varginha: Mapa/Procafé, 2005. 434 p.
- MATIELLO, J. B.; Crescimento compensatório e equilíbrio nutricional em cafeeiros com ou sem retirada de botões e chumbinhos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Poços de Caldas, Bagaço Design Ltda, 2006 . p. 43-44.
- MATIELLO, J. B.; GARCIA, A. W. R.; ALMEIDA, S. R. Recomendação de Adubação. In: _____. **Adubação Racional Na Lavoura do Café**. Varginha: Bom Pastor, 2008. p. 65-82.
- MELO, B.; SOUSA, L. B. Biologia da reprodução de *Coffea arábica*. L. e *Coffea canephora* Pierre. **Revista Verde**, Mossoró, RN, v.6, n.2, p. 01-07 abril / junho de 2011.
- MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. Brasília, DF: INMET, 2009. 530 p.
- MUDRIK, A. S. **Manejo da irrigação por gotejamento em cafeeiros nas condições edafoclimáticas do cerrado do Triângulo Mineiro**. 2005. 75 f. Tese (Pós- Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- NUNES, M. A. Water relations in coffee. Significance of plant water deficits to growth and yield: a review. **Journal of Coffee Research**, Karnaraka, v. 6, p. 4-21, 1976.
- OROZCO-CASTAÑO, F. J.; JARAMILLO-ROBLEDO, A. Efecto del déficit de humedad em el suelo sobre la temperatura del suelo y de hojas em plantas de *Coffea canephora* y *Coffea arabica*. **Cenicafé**, v. 29, n. 4, p. 121-134, 1978.
- ORTOLANI, A. A.; CAMARGO, M. B. P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P. R.; FERREIRA, S.O.;YAMADA, T. **Ecofisiologia da Produção Agrícola**: Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1986. p.71-81.
- PAIVA, R. N. et al. Comportamento Agrônômico de Progênies de Cafeeiro (*coffea arábica* L.) em Varginha-MG. **Coffee Science**, Lavras, MG, v. 5, n. 1, p. 49-58, jan/abril. 2010.
- PEZZOPANE, C. G. et al. Avaliações fenológicas e agrônômicas em café arábica cultivado a pleno sol e consorciado com banana “Prata-Anã”. **Bragantia**, Campinas, v. 66, n. 4, p. 701-709, 2007.
- PEZZOPANE, C. G. et al. Atributos fenológicos e agrônômicos em cultivares de cafeeiro arábica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 39, n. 3, p. 711-717, mai/jun, 2009.

- PINTO, H. S. et al. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v. 9, n. 3, p.495-500, 2001
- PRADO, R. M.; NASCIMENTO, V. M. Adubação fluida e fertirrigação: In:_____. **Manejo da Adubação do Cafeeiro no Brasil**: Adubação. Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 2003. p. 178-181.
- RENA, A.B.; DA MATTA, F.M. O Sistema radicular do cafeeiro: Morfologia e ecofisiologia. In: ZAMBOLIM, L. **O Estado da Arte de Tecnologias na Produção de Café**. Minas Gerais: Suprema Gráfica e Editora LTDA, 2002. p. 36-37.
- RENA, A. B. MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1986. p.13-85.
- RENA, A. B. MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P. R.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da Produção Agrícola**: Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa de Potassa e do Fosfato, 1986b. p. 119-145.
- RENA, A. B. et al. Coffee. In: SCHAFFER, B.; ANDERSEN, P.C. (Eds). **Handbook of environmental physiology of tropical fruit crops**: sub-tropical and tropical crops. Boca Raton: CRC Press, 1994. p. 101-122.
- RENA, A.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **ITEM: Irrigação e Tecnologia Moderna**, n.48, p. 34-41, 2000.
- RICCI, F. História do Café. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, Taubaté, SP, v. 4, n. 3, p. 170-173, ago/2008.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. Campinas: Arbore, 1996. 146 p.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T. **Cultivo do cafeeiro irrigado por gotejamento**. Belo Horizonte: O Lutador, 2005. 358 p.
- SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café**. 2. ed. Belo Horizonte: O Lutador, 2008. 476 p.
- SARTORI, A. A. DA C. et al. Variabilidade temporal e mapeamento dos dados climáticos de Botucatu-SP. **Irriga**, Botucatu, SP, v. 15, n. 2, p. 131-139, abril/junho, 2010.
- SILVA, A. L.; FARIA, M. A.; REIS, R. P. Viabilidade técnico-econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, PB, v.7, n.1, p. 37-44, 2003.
- SILVA, E. A. et al. Periodicidade do crescimento vegetativo em *Coffea arabica* L.: relações com a fotossíntese em condições de campo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. **Resumos Expandidos...** Brasília, DF: EMBRAPA Café e MINASPLAN, 2000. p. 65-68.

SOARES, A. R. **Irrigação, Fertirrigação, Fisiologia e Produção em cafeeiros Adultos na Região da Zona da Mata de Minas Gerais**. 2001. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

SOUSA, V. F. de; COELHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. de. Freqüência de irrigação em meloeiro cultivado em solo arenoso. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 4, p. 659-664, 1999.

SOUZA, J. L. M. DE. **Modelo para análise de risco econômico aplicado ao planejamento de projetos de irrigação para cultura do cafeeiro**. 2001. 253 f. Tese (Doutorado)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2001.

VIEIRA, G. H. S. et al. Produtividade e Crescimento Vegetativo do Cafeeiro Irrigado, na Região de Viçosa-MG, primeiro ano de resultado, **II Simpósio de Pesquisas dos Cafés do Brasil**, Vitória, 654-658, set, 2001. Disponível em:
<http://www.sapc.embrapa.br/index.php/view-details/ii-simposio-de-pesquisa-dos-cafes-do-brasil/358-produtividade-e-crescimento-vegetativo-do-cafeeiro-irrigado-na-regiao-de-vicosamg-primeiro-ano-de-resultado>. Acesso em: 05 jun. 2012.

VIEIRA, R. F.; Introdução à Quimigação. In: COSTA, E. F.; VIEIRA, R. F.; VIANA, P. A. Quimigação. **Aplicação de Produtos Químicos e Biológicos Via Irrigação**. Brasília: EMBRAPA-SPI, 1994. p. 13-30.

VON CAEMMERER, S.; FARQUHAR, G. D. Some relationships between the biochemistry of photosynthesis and the gas exchange of leaves. **Planta**, Berlin, v. 153, n. 4, p. 376-387, 1981.

ZAMBOLIM, L. **O Estado da Arte de Tecnologias na Produção de Café**. Viçosa: Suprema Gráfica e Editora LTDA, 2002. 568 p.

ZAMBOLIM, L. (Ed). **Produção integrada de café**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 710 p.