

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

**FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO E SEU EFEITO NA
CULTURA DO CAFÉ EM FORMAÇÃO**

JOÃO BATISTA LEITE JÚNIOR

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP
Dezembro – 2003

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

**FERTIRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO E SEU EFEITO NA
CULTURA DO CAFÉ (*Coffea arabica* L.) EM FORMAÇÃO**

JOÃO BATISTA LEITE JÚNIOR

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lyra Villas Boas

Coorientador: Prof. Dr. Antônio de Pádua Sousa

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para a obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Irrigação e Drenagem.

BOTUCATU – SP
Dezembro – 2003

Aos meus queridos Pais, João Batista e Mariazinha
por todo amor, apoio e paciência ao longo de toda a minha vida,
aos meus queridos irmãos Ana Paula, Cristiane, Fabrício, seus cônjuges e meus sobrinhos
pela amizade, amor e convivência.

Ofereço.

À minha querida esposa, amiga, fiel e companheira nos momentos mais difíceis,

Maria Clara

por todo amor, compreensão e trabalho despendido em todas as fases dessa tese e

ao meu querido filho

Gabriel

pelo seu amor, mesmo com toda falta de tempo e paciência, devido a esta tese.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me projetado e me amado antes mesmo que eu tivesse conhecido este mundo e por nunca me abandonar nos momentos difíceis e de pouca fé, mesmo quando eu O abandono.

Ao Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), pela oportunidade concedida para a realização deste curso e apoio para o desenvolvimento deste trabalho de dissertação.

Aos Profs. Drs. Roberto Lyra Villas Bôas e Antônio de Pádua Sousa pela amizade e orientação eficiente durante o curso.

Aos Profs. Drs. Leonardo Theodoro Büll, Hélio Grassi Filho, Luzia, Dalva, João Domingos e Petras pelos ensinamentos transmitidos com as disciplinas ministradas durante o curso.

Aos Profs. Drs. Dirceu Maximino Fernandes e Leandro Borges Lemos, pelas valiosas sugestões e informações no decorrer do experimento.

À Profa. Dra. Marta Maria Mischam que me auxiliou na análise estatística dos dados.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCA/UNESP que contribuíram na execução dos trabalhos de laboratório e de campo: Gilberto Winckler, Maria de Lourdes Conte, Mauri Torres da Silva, Pedro Alves, Silvio Sabatini Simonetti Scolastici, Antônio Pereira, Rosangela Cristina Moreci, Rita de Cássia Miranda, Adão Gomes de Sousa e Luis Lino Sobrinho (in memorian), Ailton de Lima Lucas e Ronaldo Alberto Polo.

Aos funcionários da Seção de Pós-Graduação, Biblioteca, Xérox e Laboratórios de Fertilidade, Física do Solo e Análise de Plantas pela gentileza e simpatia no atendimento.

Ao estagiário Glauber Henrique Pereira Leite, meu irmão Fabrício Leite e meu pai João Batista Leite pela disponibilidade e auxílio nas fases de coleta de dados, condução do experimento e colheita.

Ao aluno de graduação e produtor de café em Muzambinho (MG) Thiago Silva Santos que muito me auxiliou nas coletas de dados, nas leituras de clorofilômetro, condução do experimento e colheita.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos colegas do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pela contribuição científica e proveitosas amizades.

Aos funcionários da seção de transportes, do viveiro de mudas e da fazenda experimental do Lageado pelo auxílio na execução de partes do experimento.

Ao aluno de Pós Graduação, Leandro Grava de Godoy pelo auxílio na revisão de literatura sobre fertirrigação.

Finalmente, todos àqueles que de uma forma ou de outra contribuíram para a realização e sucesso desse trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1 Resumo.....	1
2 Summary.....	3
3 Introdução.....	5
4 Revisão de literatura.....	7
4.1 Importância econômica da cafeicultura no Brasil e no mundo.....	7
4.2 Sensibilidade do cafeeiro ao déficit hídrico.....	9
4.3 Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado.....	13
4.4 Sistemas de irrigação e fertirrigação na cafeicultura.	17
4.4.1 Irrigação por gotejamento.....	19
4.4.2 Manejo da irrigação.....	20
4.5 Nutrição e adubação do cafeeiro.....	23
4.5.1 O nitrogênio na nutrição mineral do cafeeiro.....	25
4.5.2 O Potássio na nutrição mineral do cafeeiro.....	27
4.5.3 Parcelamento da adubação.....	28
4.6 Fertirrigação ou quimigação.....	30
4.6.1 Formas de controle da fertirrigação.....	32
4.6.2 Índice Relativo de Clorofila.....	35
4.7 O potencial para a fertirrigação da cultivar Catuaí.....	36
5 Material e métodos.....	38
5.1 Área experimental.....	38
5.2 Delineamento experimental.....	39
5.2.1 Tratamentos.....	39
5.2.2 Quantidades de nutrientes aplicadas nos tratamentos.....	40
5.2.3 Parcela experimental.....	41
5.3 Características e condução da cultura.....	41
5.3.1 Características da cultura	42
5.3.2 Condução da cultura.....	42
5.3.3 Cronograma das atividades.....	42

5.3.4 Cronograma das atividades detalhado.....	44
5.4 Equipamento e manejo da irrigação.....	45
5.5 Parâmetros avaliados.....	50
5.5.1 Altura da planta.....	50
5.5.2 Determinação do diâmetro do caule.....	50
5.5.3 Índice Relativo de Clorofila.....	51
5.5.4 Teor de N na folha.....	52
5.5.5 Determinação da área foliar e massa seca.....	52
5.5.6 Produtividade.....	52
5.5.7 Características químicas do solo.....	52
5.5.8 Teores de nutrientes nas plantas.....	53
5.6 Tratamento estatístico.....	53
6 Resultados e Discussão.....	56
6.1 Fatores climáticos.....	56
6.2 Avaliação dos sistemas de irrigação e fertirrigação.....	59
6.3 Análise de solo, foliar e crescimento do cafeeiro no primeiro ano de cultivo....	60
6.3.1 Análise dos elementos e características químicas do solo após o primeiro ano.....	60
6.3.2 Avaliação dos nutrientes constituintes das folhas após o primeiro ano.....	66
6.3.3 Análise de algumas características fisiológicas das plantas durante o primeiro ano de cultivo.....	70
6.4 Análise de solo, foliar e crescimento do cafeeiro no segundo ano de cultivo....	72
6.4.1 Análise dos elementos e características químicas do solo após o segundo ano.....	72
6.4.2 Análise de algumas características fisiológicas das plantas durante o segundo ano de cultivo.....	78
6.5 Análise da produtividade do cafeeiro.....	80
6.6 Índice Relativo de Clorofila em função das doses de N aplicadas via fertirrigação.....	83
6.6.1 IRC em função do estágio fenológico.....	87

6.6.2 Correlação do IRC com o teor de N na folha.....	90
7 Considerações gerais.....	92
8 Conclusões.....	94
9 Bibliografia.....	96

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 Estimativa da área, produtividade e produção de café arábica e conillon das regiões produtoras brasileiras na safra de 2001/02.....	8
2 Valores de Kc (coeficiente de cultura) para a cultura do café – 1ª aproximação.....	22
3 Recomendações de N, P e K para a cultura do café arábica var. Catuaí estimadas pelo sistema de recomendação elaborado por Prezotti et al. (2000) e pela recomendação dos estados de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), São Paulo (Raij et al., 1996), Espírito Santo (Prezotti, 1992) e Paraná (Lima et al., 1994) considerando uma lavoura com 5 mil plantas ha ⁻¹ e produtividade de 50 sc ha ⁻¹	29
4 Teores foliares adequados de macro e micronutrientes para o cafeeiro (<i>Coffea arabica</i> L.).....	33
5 Resultado da análise química do solo, antes do preparo de solo, em 03/01/02.....	38
6 Características físicas do solo da camada de 0 a 20 cm.....	38
7 Resultado da análise de micronutrientes do solo, antes do preparo de solo, em 03/01/01.....	39
8 Resumo do delineamento experimental	39
9 Quantidades de N (uréia) e K (cloreto de potássio) aplicados nos tratamentos conforme recomendação de Raij et al. (1997) no primeiro ano de cultivo.....	41
10 Quantidades de N (uréia) e K (cloreto de potássio) aplicados nos tratamentos conforme recomendação de Raij et al. (1997) no segundo ano de cultivo.....	41
11 Cronograma das atividades realizadas no ano 2001 a 2003.....	43
12 Parâmetros do modelo de van Genuchten, estimados pelo SWRC para as profundidades de 0 a 20 e 0 a 40 cm.....	49
13 Teor de água no solo, medido e estimado através do modelo de van Genuchten para as camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm.....	50
14 Dados climáticos médios e balanço hídrico no ano de 2001 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.....	56

15	Dados climáticos médios e balanço hídrico no ano de 2002 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.....	57
16	Dados climáticos médios e balanço hídrico no ano de 2003 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.....	57
17	Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 0 a 20 cm após o primeiro ano de cultivo.....	61
18	Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 20 a 40 cm após o primeiro ano de cultivo.....	65
19	Resumo da análise de variância dos elementos da análise das plantas no primeiro ano de cultivo.....	66
20	Teste de Dunnet dos elementos da análise das plantas no primeiro ano de cultivo conforme os tratamentos aplicados.....	69
21	Resumo da análise de variância das alturas do cafeeiro (cm) durante o primeiro ano de cultivo.....	71
22	Resumo da análise de variância dos diâmetros dos caules do cafeeiro durante o primeiro ano de cultivo.....	72
23	Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 0 a 20 cm após o segundo ano de cultivo.....	73
24	Teste de Dunnet dos elementos e características químicas do solo da camada de 0 a 20cm após o segundo ano de cultivo conforme os tratamentos aplicados.....	75
25	Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 20 a 40 cm após o segundo ano de cultivo.....	76
26	Teste de Dunnet dos elementos e características químicas do solo da camada de 20 a 40 cm após o segundo ano de cultivo conforme os tratamentos aplicados.....	78
27	Resumo da análise de variância das alturas do cafeeiro durante o segundo ano de cultivo.....	79
28	Resumo da análise de variância dos diâmetros dos caules do cafeeiro durante o segundo ano de cultivo.....	80
29	Resumo da análise de variância da primeira produtividade do cafeeiro durante o segundo ano de cultivo.....	81

30	Teste de Tukey e Dunnet da primeira produtividade do cafeeiro após o segundo ano de cultivo.....	82
31.	Resumo da análise de variância e de regressão do Índice Relativo de Clorofila (IRC) em função das doses de N aplicadas via fertirrigação no período de 29/08/02 a 21/01/03 (Botucatu, 2003).....	84
32	Resumo da análise de variância e de regressão do Índice Relativo de Clorofila (IRC) em função das doses de N aplicadas via fertirrigação no período de 06/02/03 a 18/06/03 (Botucatu, 2003).....	84
33	Resumo da análise fatorial das doses aplicadas e datas das leituras do IRC (Botucatu, 2003).....	88
34	Resumo da análise fatorial do peso específico(mg/cm^{-2}) e datas das leituras do IRC (Botucatu, 2003).....	90
35	Correlações entre teores de N foliar e Leituras do IRC, segundo teste de t. (Botucatu, 2003).....	91

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Esquema da distribuição dos tratamentos na área experimental e esquema de irrigação do experimento.....	46
2 Esquema da parcela experimental com a posição dos extratores e tensiômetros a 20 e 40 cm e estação de controle.....	47
3 Clorofilômetro (SPAD-502, Minolta).....	51
4 Vista do cafeeiro aos 12 meses de plantio sendo irrigado.....	54
5 Vista do cafeeiro aos 12 meses e do tensiômetro utilizado.....	54
6 Vista de umas das floradas ocorridas antes aos 17 meses.....	55
7 Vista do cafeeiro carregado aos 23 meses, que recebeu a dose máxima de N e K.....	55
8 Deficiência hídrica e excedente hídrico ao longo do ano de 2001 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.....	58
9 Deficiência hídrica e excedente hídrico ao longo do ano de 2002 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.....	58
10 Deficiência hídrica e excedente hídrico ao longo do ano de 2003 (até junho – colheita) na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.....	59
11 Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns nutrientes e características químicas do solo na camada de 0 a 20 cm após o 1º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.....	63
12 Relação entre a dose de fertilizante e o teor de H+Al na camada de 20 a 40cm após 1º ano de cultivo.....	65
13 Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns elementos químicos constituintes da folhas do cafeeiro após o 1º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.....	68
14 Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns nutrientes e características químicas do solo na camada de 0 a 20 cm após o 2º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.....	74

15	Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns elementos e características químicas do solo na camada de 20 a 40 cm após o 2º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.....	77
16	Produtividade da primeira safra em função da dose de fertilizante aplicado conforme porcentagem da dose recomendada pelo Boletim 100 do IAC.....	82
17	Índice Relativo de Clorofila (IRC) no quarto par de folhas do cafeeiro, em função das doses de N aplicadas via fertirrigação, entre 29/08/02 a 21/01/03.....	85
18	Índice Relativo de Clorofila (IRC) no quarto par de folhas do cafeeiro, em função das doses de N aplicadas via fertirrigação, entre 06/02/03 a 18/06/03.....	87
19	Índice Relativo de Clorofila em função das datas de amostragem, (média dos cinco tratamentos). Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.....	89
20	Índice Relativo de Clorofila (IRC-SPAD) em função das doses de N aplicadas via fertirrigação e da data de amostragem. L** : efeito linear significativo a 1%.	89
21	Peso específico de folha em função das datas de amostragem. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.....	90

1 RESUMO

Realizou-se um experimento para verificar a melhor dose de adubação nitrogenada e potássica por fertirrigação no cafeeiro (cv Catuaí Vermelho, IAC-81) em formação no espaçamento de 2,5 por 0,80 m, na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da FCA, – UNESP, Campus de Botucatu – SP, num Nitossolo Distrófico textura argilosa a 786m de altitude, com médias anuais de precipitação de 1447mm e evapotranspiração de referência de 684mm, no período de abril de 2001 a junho de 2003. Utilizou-se para irrigação por gotejamento, o tape “Chapin” com espaçamento de 20 cm entre emissores e um Venturi para a injeção de fertilizantes, sendo que o manejo da irrigação foi realizado por leituras de tensiômetros. Utilizou-se um clorofilômetro (SPAD-502 da Minolta) para monitorar os teores de N na planta. O delineamento consistiu em 4 blocos casualizados, onde foram dispostos 8 tratamentos, sendo 5 doses de N (uréia) e K (cloreto de potássio) (0%, 50%,100%,150% e 200% do recomendado para o cafeeiro no estado de São Paulo por Raij e colaboradores do Grupo Paulista de Adubação do Cafeeiro no Boletim 100 do IAC, 1997), 2 tratamentos com aplicação de 100% da dose recomendada (com e sem irrigação) e testemunha (sem adubação e sem irrigação). Ao final do experimento conclui-se que a irrigação comparada com o tratamento sem irrigação promoveu diminuição no teor de MO do solo na camada de 20 a 40 cm; aumento dos teores de P, S na folha; nenhuma diferença no diâmetro de caule, altura de plantas e na produtividade. A fertirrigação, comparada com a adubação convencional, promoveu: diminuição do pH e teor de Mg, com aumento do H + Al no solo na camada de 0 a 20 cm; diminuição de pH e SB com aumento do H + Al na camada de 20 a 40

cm; aumento no teor de N na folha; aumento na altura e diâmetro de caule no primeiro e início do segundo ano; nenhuma diferença estatística na produtividade, embora na fertirrigação a produção aumentou 27,5%, obtendo 3666 kg ha⁻¹ (61,1 sacas ha⁻¹) com 33% acima da dose recomendada. Com aumento das doses de fertirrigação ocorreu diminuição do pH, P, V% e aumento de K na camada de 0 a 20 cm; relações quadráticas negativas para MO, Ca, SB e CTC na camada de 0 a 20 cm; diminuição do pH, P, Ca, V% e SB, aumento do H +Al e K, relações quadráticas negativas para MO, na camada de 20 a 40cm; aumento de N e K, diminuição de Mg, P e B na folha; nenhuma diferença para diâmetro de caule e altura de plantas, mas houve aumento de produtividade, obtendo 61,1 sacas ha⁻¹ com 133% da dose recomendada. O clorofilômetro apresentou correlação linear positiva entre a sua leitura (IRC) e as doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação.

FERTIGATION FOR LEAK WITH DIFFERENT DOSES OF NITROGEN AND POTASSIUM AND ITS EFFECT IN THE CULTURE OF THE COFFEE (*Arabic Coffea L.*) IN FORMATION. Botucatu, 2003. 150p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: JOÃO BATISTA LEITE JÚNIOR

Adviser: ROBERTO LYRA VILLAS BÔAS

Co-adviser: ANTÔNIO DE PÁDUA SOUSA

2 SUMMARY

It was made an experiment to verify the best manuring dose for fertigation to be applied in the culture of the coffee (cv Red Catuaí, IAC-81) in formation in the spacing of 2,5 for 0,80 m, in the experimental area of the Department of Rural Engineering of FCA, - UNESP, Campus of Botucatu - SP, in a Nitossolo Distrófico loamy texture at 786m of altitude, with annual averages of precipitation of 1447mm and evapotranspiration of reference of 684mm, in the period of April of 2001 to June of 2003. It was used for irrigation by leak, close "Chapin" with spacing of 20 cm and a Venturi for the injection of fertilizers, and the handling of the irrigation was accomplished by tensiômetros. A clorofilometer was used (SPAD-502 of Minolta) to monitor the texts of N in the plant. The experiment was realized in 4 blocks randomized, where 8 treatments were disposed, being 5 doses of N (urea) and K (potassium chloride) (0%, 50%, 100%, 150% and 200% recommended for the culture of the coffee in the state of São Paulo - Bulletin 100 of IAC), 2 treatments with application of 100% of the recommended dose (with and without irrigation) and he/she testifies (without manuring and without irrigation). At the end of the experiment it is ended that the irrigation compared with the treatment without irrigation promoted decrease in the text of organic matter of the soil in the layer of 20 to 40 cm; increase of the texts of P, S in the leaf; any difference in the stem diameter, height of plants and in the productivity. The fertigation compared with the conventional manuring promoted: decrease of the pH and text of Mg, with increase of H + Al in the soil in the layer of 0 to 20 cm; pH decrease and SB with increase of H + Al in the layer of 20 to 40 cm; increase in the text of N in the leaf; increase in the height and stem diameter in the first and beginning of the second year; any statistical difference in the productivity,

although in the fertigation the productivity increased 27,5%, obtaining 3666 kg ha⁻¹ (61,1 sacas ha⁻¹) with 33% above the recommended dose. With increase of the fertigation doses it happened decrease of the pH, P, V% and increase of K in the layer of 0 to 20 cm; negative quadratic relationships for organic matter, Ca, SB and CTC in the layer from 0 to 20 cm; decrease of the pH, P, Ca, V% and SB, increase of H +Al and K, negative quadratic relationships for organic matter in the layer from 20 to 40cm; increase of N and K, decrease of Mg, P and B in the leaf; any difference for stem diameter and height of plants, but there was productivity increase. The clorofilometer presented positive lineal correlation among its reading (IRC) and the applied doses of nitrogen saw fertigation .

Keywords: irrigation, nitrogen, potassium, *Coffea Arabica*, clorofilometer, Red Catuaí.

3 INTRODUÇÃO

A cultura do café é o segundo maior gerador de divisas no mundo, perdendo apenas para o mercado de petróleo, sendo o Brasil, o maior produtor e exportador mundial de café já em 1845, produzia cerca de 45% do café do mundo, e em 1997, a exportação de café correspondeu a aproximadamente 6% do total das exportações brasileiras (Anuário..., 1998). Segundo Moricochi et al. (1997), o café movimenta atualmente mais de US\$ 40 bilhões no mercado mundial, sendo uma importante atividade para a geração de emprego e renda em muitos países. Estima-se que mais de 20 milhões de pessoas no mundo dependem diretamente desta atividade para sua sobrevivência econômica. O café foi para o Brasil e ainda é para várias de suas regiões produtoras a força propulsora do desenvolvimento sócio-econômico, produzindo e distribuindo riquezas, além de ter grande capacidade geradora de empregos e de ser importante fator de fixação de mão-de-obra na zona rural. No Brasil, para cada hectare de café plantado, são gerados aproximadamente 2,3 empregos diretos e pelo menos 4 indiretos (Mendes & Guimarães, 1997).

Os produtores têm adotado novas tecnologias de condução e manejo da lavoura, como o adensamento, a mecanização (inclusive da colheita), a irrigação e fertirrigação, a fim de aumentar a produtividade e, conseqüentemente o lucro.

A irrigação do cafeeiro surgiu com o avanço desta cultura para as regiões consideradas marginais ao seu cultivo quanto às necessidades hídricas, como por exemplo, as regiões de cerrado, entre elas o Triângulo Mineiro e o Oeste Baiano. Nestas

regiões a cafeicultura só é viável quando irrigada, e desta maneira, vale ressaltar, têm-se alcançado elevadas produtividades e produto de alta qualidade.

Nas regiões consideradas aptas à cafeicultura, a ocorrência de estiagens prolongadas (veranicos) nas fases críticas de demanda de água pela cultura tem promovido redução significativa na produção. Este fato, juntamente com o desejo de se obter altas produtividades, tem provocado o interesse de técnicos e produtores no que diz respeito a irrigação de lavouras de café. O quanto, quando e como irrigar, bem como a viabilidade econômica da adoção desta técnica, são dúvidas que têm surgido com relativa freqüência.

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 defensivo – a quimigação. Porém, observa-se que seus efeitos benéficos podem não ser manifestados devido ao manejo inadequado. Mesmo nas regiões que não apresentem déficits hídricos inferiores a 150 mm, o emprego de fertirrigação pode ser justificado se o custo com a implantação da fertirrigação, for inferior aos benefícios com o aumento da produtividade e da qualidade de bebida devido ao fato da melhor disponibilidade de água e adubos oriundos desta prática.

O cafeeiro ao longo de sua vida útil apresenta alta sensibilidade a desequilíbrios nutricionais os quais dificultam a obtenção de produtividades economicamente viáveis.

Por ocupar regiões com diferentes condições de solo e clima, a cultura do café necessita de práticas de manejo que forneçam condições para obter-se o máximo aproveitamento dos recursos disponíveis. A seleção de espécies e variedades, bem como o emprego e o modo de fornecimento de nutrientes, são pontos de extrema importância.

Os programas de adubação recomendados para a cultura fornecem nutrientes através do solo ou adubação foliar, havendo pouca informação sobre o uso da fertirrigação para a cultura do café, uma vez que para este sistema a eficiência do aproveitamento dos adubos pode ser diferente do convencional. Pode-se até utilizar fertilizantes em excesso e inviabilizar economicamente o uso de fertirrigação.

Diante da possibilidade de resposta do cafeeiro à irrigação e a necessidade de se determinar doses de N e K para fertirrigação é que foi desenvolvido este trabalho.

4 REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Importância econômica e panorama da cafeicultura no Brasil e no mundo

A América do Sul é o continente que mais produz café, sendo que o Brasil e a Colômbia juntos produziram aproximadamente 40% do total mundial nas últimas décadas (Leite & Silva, 2000). No período de 1987/98, de uma produção mundial média anual de 100 milhões de sacas de café, cerca de 25% eram provenientes do Brasil, sendo que, em 1998, a receita de exportação do produto atingiu US\$ 2,6 bilhões, correspondendo a 5,1% do total das exportações brasileiras (EMBRAPA, 2001, citado por Vilella, 2001) ocupando o segundo lugar na pauta de exportação do Brasil (Mendonça, 2001) com 24 milhões de sacas beneficiadas exportadas em 2001/02.

Com uma produção anual de 33,7 milhões de sacas beneficiadas (60 kg) em 2002 o Brasil foi o maior produtor mundial de café seguido pelo Vietnã, Colômbia e Indonésia. Quando se considera apenas o café conillon, o Brasil possui a segunda maior produção mundial (10,7 milhões de sacas beneficiadas), ficando atrás apenas do Vietnã (FNP, 2003). Mesmo sendo o maior produtor mundial de café arábica o Brasil não possui a maior produtividade média (14,7 sacas ha⁻¹) ficando atrás de países como a Costa Rica e Etiópia com produtividade média de 25,0 e 15,3 sacas ha⁻¹, respectivamente (Leite & Silva, 2000).

A cafeicultura no Brasil é a segunda atividade geradora de empregos e renda no campo e nas cidades situadas nas regiões produtoras (Mendonça, 2001). Embora responda por menos de 5% das divisas geradas, o café sustenta de 250 a 300 mil produtores e

emprega diretamente no setor um contingente de 3 milhões de trabalhadores rurais (Marino & Bredariol, 2003).

A técnica da irrigação aplicada à cultura do cafeeiro permitiu a viabilização agrônômica e econômica da cafeicultura em regiões consideradas marginais quanto ao déficit hídrico (maior que 150 mm anuais) ocupando além das tradicionais áreas no Sul de Minas, Zona da Mata, São Paulo e Paraná, novas áreas no nordeste de Minas Gerais, leste de Goiás e Mato Grosso e Oeste Baiano (Santinato, 2001), regiões favorecidas pelas temperaturas e insolação adequadas, ausência de riscos de geadas, que proporcionam ganhos de produtividade. Em algumas regiões o apoio governamental e o baixo preço da terra auxiliaram na ocupação dessas novas áreas. Na Tabela 1 pode ser observada a distribuição da cafeicultura nacional com suas respectivas produtividades.

Tabela 1 Estimativa da área, produtividade e produção de café arábica e conillon das regiões produtoras brasileiras na safra de 2001/02.

Estado	Área ha	Produtividade Média sc ha ⁻¹	Produção sc 60 kg
MINAS GERAIS	1.084.391	16,98	15.035.461
Sul e Oeste/Arábica	581.373	14,73	7.453.368
Cerrado e Alto Paranaíba / Arábica	167.716	22,69	3.263.989
Z. da Mata e Jequitinhonha/ Arábica	335.301	13,51	4.318.104
ESPÍRITO SANTO	568.065	18,28	9.360.081
Arábica	---	---	1.872.016
Conillon	---	---	7.488.065
SÃO PAULO/ Arábica	294.255	15,08	3.358.674
PARANÁ / Arábica	148.118	5,55	746.025
BAHIA	117.067	20,71	2.113.310
Arábica	---	---	1.373.651
Conillon	---	---	739.658
RONDÔNIA / Conillon	258.159	12,12	2.255.153
OUTROS	87.534	14,40	1.014.188
Arábica	---	---	517.236
Conillon	---	---	496.952
TOTAL	2.557.588	14,73	33.882.892
Arábica	---	---	22.903.063
Conillon	---	---	10.979.828

Fonte: FNP Consultoria & Agroinformativos (2003).

De acordo com Mantovani (2000) cerca de 200 mil dos 2,2 milhões de hectares da cafeicultura brasileira são irrigados, o que representa aproximadamente 10% da área plantada com café e 8,7% da área irrigada no Brasil.

Além da irrigação, novas técnicas de plantio em alta densidade, avanços em nutrição e no combate a pragas e doenças, bem como variedades de café arábica resistentes à ferrugem, estão permitindo regiões produtoras atingirem produtividades médias de 30 sacas ha^{-1} o que tem proporcionado o aumento da produtividade média nacional que poderá exceder 20 sacas ha^{-1} em curto prazo (Brando, 2003), sendo que a produtividade média nacional atualmente é de 14,73 sacas ha^{-1} (FNP Consultoria & Agroinformativos, 2003).

O aumento na produtividade média do cafeeiro devido à adoção da fertirrigação pode ser de até 140% quando comparado com um cultivo não irrigado que recebe adubação em cobertura e de até 26% quando comparado a um cultivo irrigado, como mostra um experimento de Santinato et al. (1989) com cafeeiros “Catuaí Vermelho” numa população de 5.357 plantas por hectare (3,5 x 0,8m) cultivado em um Latossolo Vermelho Amarelo em Jaboticatubas no Cerrado Mineiro.

Além disso os custos com adubação na cultura do café no Brasil representam de acordo com a FNP Consultoria & Agroinformativos (2003) 60% dos custos com insumos e cerca de 27% do custo total de produção sendo importante a adoção de técnicas que visem o aumento da produtividade e a redução dos custos, como é o caso da fertirrigação que diminui os custos com a aplicação de fertilizantes e defensivos, conseqüentemente mão-de-obra, maquinário e com isso energia. Além do fato que se utilizarmos fertirrigação por gotejamento realiza-se também uma considerável economia de água, o que é muito importante quando se preocupa com uma agricultura economicamente sustentável e ecologicamente viável.

4.2 Sensibilidade do cafeeiro ao déficit hídrico

O déficit hídrico caracteriza-se pela falta de água no solo, ou seja, diferença entre evapotranspiração potencial (evapotranspiração máxima da cultura satisfazendo-a plenamente de água) e evapotranspiração real, (evapotranspiração que

realmente ocorreu segundo as condições edafoclimáticas, de chuva, de temperatura, de solo etc).

O cafeeiro é uma planta bastante tolerante quanto à distribuição e quantidade de chuvas. Alégre (1959) sugere que a precipitação anual ótima está entre 1200 e 1800 mm. Há indicações de que o cafeeiro pode suportar bem um período com deficiência hídrica de até 150 mm em qualquer tipo de solo, especialmente quando ela não se estende até a fase de floração (IBC, 1981 e Haarer, 1962). Quando o solo tem capacidade de reter boa reserva de água na zona radicular, o cafeeiro vegeta e produz satisfatoriamente até o limite de 200 mm de déficit hídrico (IBC, 1981).

Nas regiões com déficit hídrico anual superior a 150 ou 200 mm (áreas marginais) ou naquelas onde ocorrem veranicos frequentes, o enfolhamento das plantas, a frutificação e a granação ficam prejudicados, sendo preciso utilizar irrigações que suplementem, nos períodos críticos, a água necessária (Matiello et al., 1995).

Estudos de balanço hídricos nas diferentes regiões cafeeiras do Brasil e do mundo indicam que o cafeeiro arábica suporta até 150 mm ano⁻¹ de deficiência hídrica, especialmente se este período não se prolongar até o mês de setembro e se as condições de solo (textura e profundidade) forem adequadas (solos argilosos e profundos). Da mesma forma, para o cafeeiro robusta, a deficiência hídrica não deve exceder a 200 mm ano⁻¹, (Santinato et al., 1996a).

Segundo Matiello (1991), a deficiência hídrica é prejudicial ao cafeeiro, principalmente na fase de frutificação, quando a irrigação passa a ser necessária. Nessas condições, a utilização da irrigação tem resultado em bom retorno, com aumentos significativos de produção.

De acordo com Miguel et al. (1993), na região centro-sul do Brasil os cafeeiros exibem um ciclo fenológico bem definido, com abotoamento no outono/inverno, florescimento na primavera, frutificação no verão e maturação no outono. Uma vez que a estação chuvosa, nestas regiões, ocorre na primavera/verão e seca no inverno, o período de vegetação e frutificação coincide com uma boa disponibilidade de água no solo.

A ocorrência de estiagens ocasionais e deficiências hídricas acentuadas na fase de frutificação ou expansão, afetam o crescimento dos grãos; se ocorrerem na fase de

granação, quando os frutos estão se solidificando internamente, eles poderão ficar chochos ou mal granados (Camargo,1989).

Períodos secos parecem ser importantes para o crescimento da raiz, para a maturação dos ramos formados na estação chuvosa precedente, para a diferenciação floral e maturação dos frutos (Haarer, 1962). Em contrapartida, chuvas ao longo de todo o ano, não permitem que as gemas florais do cafeeiro experimentem um período de repouso durante o seu desenvolvimento, o que é indispensável para que ocorra a floração sincronizada em certas épocas.

A irrigação é uma técnica recomendada para regiões classificadas climaticamente como marginais ou inaptas à cafeicultura, onde o déficit hídrico chega a comprometer o desenvolvimento da cultura. Algumas áreas no centro sul do país apresentam características edáficas excelentes, como no Cerrado de Minas Gerais; entretanto as condições climáticas nem sempre são adequadas, particularmente no tocante à distribuição das precipitações pluviais, havendo necessidade de se adotar a irrigação em virtude da ocorrência de déficit hídrico no período crítico da cultura. Porém, em outras áreas, como no Sul de Minas, a irrigação ainda não é uma prática recomendada extensivamente, pois, trata-se de região climaticamente apta à cafeicultura, conforme dados de Camargo (1989) assim como a região do centro-oeste paulista. Entretanto, regiões aptas ao cultivo do café podem sofrer o efeito de estiagens prolongadas nos períodos críticos de demanda de água pela cultura, provocando a queda de produtividade, que aliada ao elevado custo de manejo da lavoura reduz o lucro do produtor.

Gopal & Visveswara (1971), constataram que secas prolongadas e chuvas insuficientes ou excessivas determinam um retardamento no desenvolvimento normal do cafeeiro.

Conforme Gopal (1974), a deficiência hídrica no solo tem reflexos negativos sobre o sistema radicular, particularmente sobre as raízes absorventes, limitando a absorção de água e nutrientes, o crescimento da parte aérea e a produção da planta. Dessa forma, mesmo em condições consideradas aptas ao cafeeiro, a planta poderá sofrer danos no seu crescimento e/ou produção, com a ocorrência de veranicos durante a estação chuvosa.

Na região sul as condições climáticas, caracterizadas por estação chuvosa de primavera-verão e relativamente seca de outono-inverno favorecem a frutificação

mais uniforme e a produção do cafeeiro. De acordo com Camargo (1989), a interação entre a fenologia de frutificação do cafeeiro e o efeito das deficiências hídricas do cafeeiro arábica no hemisfério sul, em latitudes superiores a 4⁰, podem ser caracterizados da seguinte forma: granação (fase crítica), vai de janeiro a março; maturação e gemação (fase crítica) em abril, maio e junho; dormência (fase não crítica) em julho, agosto e setembro; frutificação e expansão (fase crítica) em outubro, novembro e dezembro. Segundo o mesmo autor, a ocorrência de estiagens ocasionais e deficiências hídricas acentuadas na fase de frutificação ou expansão, afetam o crescimento dos grãos; se ocorrerem na fase de granação, quando os frutos estão se solidificando internamente, eles poderão ficar chochos ou mal granados.

Na fase de colheita e “repouso”, a exigência hídrica do cafeeiro é pequena e o solo pode ficar mais seco (até quase ao ponto de murchar), sem grandes prejuízos para a planta. Uma deficiência hídrica nesse período chega mesmo a estimular o abotoamento do cafeeiro, conduzindo, ainda, a uma florada mais uniforme, quando no reinício das chuvas, (Matiello et al., 1995). Conforme o mesmo autor, as regiões mais secas e frias, no período de colheita produzem café de melhor qualidade (bebida dura para melhor) como ocorre no Sul de Minas Geras.

Rena & Maestri (1987) observaram que o tamanho final do fruto no estágio de cereja depende acentuadamente da chuva ocorrida de 10 a 17 semanas após o florescimento, período que corresponde à fase de expansão rápida do fruto. A expansão celular que delimita o tamanho da semente, e que caracteriza essa fase, é sensível ao déficit hídrico.

Miguel et al. (1976) observaram que as plantas que forem irrigadas ininterruptamente durante 28 semanas após a floração, apresentaram menor porcentagem de frutos chochos, em relação aos tratamentos que foram submetidos a déficit hídrico por períodos de 30 dias, ao longo das 28 semanas.

Matiello et al. (1995) observaram no Sul de Minas Gerais e Estado do Rio de Janeiro, no período de 94/95, em café Arábica e Canephora, o abortamento dos botões florais antes de sua abertura, após chuvas insuficientes, de 3 a 8 mm, que provocam o crescimento inicial desses que, no entanto, não chegam a abrir e secam.

De acordo com Sobrinho et al. (1985) o abortamento da florada, englobando botões florais não abertos, flores abertas e secas e formação de “estrelinhas” foi um fenômeno típico e marcante de déficit hídrico elevado, atingindo valores superiores a 50%.

Com irrigação, reduziu-se de 57% a menos de 5% ou até praticamente 0%, a percentagem de flores “estrelinhas” (Rena & Maestri, 1987).

Freire & Miguel (1984) verificaram em Varginha (MG), no ano de 1984, que quando os meses de janeiro, fevereiro e março apresentaram baixas precipitações pluviais e temperaturas médias elevadas, foi constatada a incidência de frutos chochos variando de 25 a 40%, quando, em anos normais de chuva, este índice fica em torno de 10%.

A irrigação em cafeeiros já é uma prática bastante recomendada na maioria das regiões produtoras do país. Estimativas indicam que a cafeicultura irrigada já ocupa cerca de 8 a 10% da cafeicultura brasileira, totalizando 200.000 ha, distribuídos, principalmente, nos Estados do Espírito Santo (60 a 65%), Minas Gerais (20 a 25%) e Bahia (10 a 15%) (Mantovani, 2000a, citado por Vilella, 2001).

No estado de São Paulo ainda pequenas áreas de cafeicultura são fertirrigadas (principalmente em Franca e Garça), sendo que no estado a cafeicultura ocupa uma área aproximada de 294 mil hectares com uma produtividade média de 15,0 sacas por hectare (Antunes & Villas Bôas, 2002).

4.3 Crescimento e produtividade do cafeeiro irrigado

Durante muito tempo não se considerou a cultura o cafeeiro como dependente da irrigação para produzir, pois a área de cultivo não abrangia regiões com deficiências hídricas mais severas. Devido à expansão da cafeicultura fala-se, atualmente, em níveis de produtividade, observando-se as exigências hídricas, da mesma forma que as exigências nutricionais, dependendo dos níveis de produtividade desejado. Assim, a irrigação tem ganhado importância na cafeicultura, principalmente em áreas com estação seca bem definida, como é o caso do cerrado brasileiro, que compreende diversos estados do país (Santos et al., 1998). E não só nestas regiões a cafeicultura irrigada tem ganhado espaço. Nas regiões tradicionalmente produtoras de café, como Sul de Minas Gerais, busca-se o aumento de produtividade através da irrigação, redução de riscos advindos de secas ocasionais e uso cada vez maior de novas tecnologias de produção.

A irrigação não é, ainda, uma prática recomendada extensivamente para as regiões zoneadas como climaticamente aptas à cafeicultura no centro-sul do país.

Porém, vastas áreas de cerrado, consideradas marginais, quanto ao déficit hídrico, apresentam excelentes características edafoclimáticas que permitem a exploração da cafeicultura. No entanto, há necessidade de adotar a irrigação nessas regiões. Por outro lado, regiões climaticamente aptas para o cultivo do café vêm sofrendo o efeito de estiagens prolongadas nos períodos críticos de demanda de água pelo cafeeiro, promovendo queda de produção em várias lavouras na região de São Paulo e Sul de Minas Gerais.

O primeiro ensaio de irrigação por infiltração, foi realizado por Lazzarini (1952), na Estação Experimental de Ribeirão Preto – SP, pertencente ao Instituto Agrônomo de Campinas – IAC, em lavouras com 35 anos de idade, da variedade “Bourbon Vermelho”, no período de 1944 a 1950. Foram obtidos aumentos de produção que variaram de 50 a 173%, com uma média nos 7 anos de 119%, em relação aos cafeeiros não irrigados. As irrigações não obedeceram a critérios fixos quanto ao seu início, a quantidade de água e ao turno de irrigação. Já na década de 40, os estudiosos da cultura do café no Brasil observaram a existência de uma correlação positiva entre as produções dos cafezais e a precipitação que ocorria nos cinco meses mais secos, geralmente de maio a Setembro. Quando esta precipitação não atinge um total de 200 mm a produção pode ser prejudicada (Lazzarini, 1952).

Vários autores verificaram o efeito positivo da irrigação no crescimento (Matiello & Dantas, 1987; Gervásio, 1998) e na produção do cafeeiro (Araújo, 1982; Reis et al., 1990 e Santinato et al., 1996b).

Medcalf et al. (1956) em trabalho realizado em Matão – SP, em cafeeiros em produção com 30 anos de idade, cultivados em solos de textura média, verificaram que a aplicação de irrigação aumentou a produção em aproximadamente 50% em três safras (1953 a 1955), sendo que em 1955, ano em que a precipitação foi muito baixa, o aumento da produção chegou a 126%.

Irrigações feitas pelo sistema de infiltração ou de sulcos, em trabalho realizado de 1951 a 1956 por Daniel (1957) no Instituto Agrônomo de Minas Gerais, em Belo Horizonte – MG, com lavouras novas das variedades Bourbon e Caturra com e sem sombreamento, permitiram concluir que nos 6 anos do experimento, a produção total de café, no período, sob o regime de irrigação foi menor do que a do não irrigado, o mesmo acontecendo com o sob sombreamento, em que se reduziu a produção.

Tosello & Reis (1961) em trabalhos realizados em lavouras velhas da variedade “Bourbon Vermelho”, na Estação Experimental de Ribeirão Preto – SP, chegaram a conclusão que no período de 1954 a 1960, a irrigação só aumentou a produção nos anos secos de 1954 e 1955, enquanto nos outros anos, que foram mais chuvosos, as irrigações contribuíram para diminuir a produção, levando os autores a concluir que os elevados custos de investimento e operacional tornavam inviável a sua utilização.

Awatramani et al. (1973), afirmaram que a irrigação determina um aumento do número de nós por ramo, e conseqüentemente, o aumento da produção.

Uma diferença significativa entre os valores de diâmetro de caule obtidos nos tratamentos com e sem irrigação, onde os irrigados foram bastante superiores aos cafeeiros não irrigados, foi encontrada por Snoeck (1977). Fato semelhante foi detectado por Araújo (1982), analisando os valores médios de diâmetro de copa e de caule, em que os tratamentos irrigados apresentaram em média valores superiores àqueles sem irrigação.

Grohmann et al. (1983) em experimentos que avaliou o consumo de água pelo cafeeiro nas diferentes fases fenológicas, observaram que o cafeeiro com 3 a 4 anos de idade utilizou, na fase de granação (janeiro a março), 84% da água disponível do solo e na fase de chumbinho (outubro a janeiro), 82%. Nas fases de maturação e florada/abotoamento, o consumo caiu para 46 e 52%, respectivamente.

A produtividade do cafeeiro é particularmente sensível ao estresse hídrico durante os estádios fenológicos do início do florescimento e formação do grão (Picini, 1998). Em contrapartida, Rena & Maestri (1986) afirmaram que o efeito do déficit hídrico na planta sobre a iniciação floral não tem sido investigado sistematicamente e tem sido mesmo difícil correlacionar os dois fenômenos por meio de observações fenológicas. Afirmam, ainda, que a floração depende estreitamente do crescimento de ramos laterais, especialmente os primários.

Comparando tratamentos irrigados e não irrigados aplicados à lavoura da variedade “catuaí”, em Pernambuco, Matiello & Dantas (1987), constataram que os parâmetros de produção e crescimento da parte aérea (diâmetro de copa e altura da planta) foram bastante superiores nos cafeeiros irrigados, com acréscimo de 49% na produtividade, 41% no diâmetro de copa e 39% na altura das plantas. Kobayashi & Nagao (1986), também observaram um incremento na altura das plantas à medida que aumentou o nível de irrigação.

Faria & Siqueira (1988) constataram que a irrigação promoveu efeito sobre o crescimento do cafeeiro somente nos primeiros 18 meses de diferenciação dos tratamentos com e sem irrigação, ocorrendo maior incremento do parâmetro altura da planta. Acredita-se que, a partir desta fase, o maior aprofundamento das raízes permitiu a absorção de água a maiores profundidades, eliminando o efeito dos tratamentos.

Reis et al. (1990) conduziram ensaio em Caratinga – MG, em cafeeiros da cultivar Catuaí, com 6 anos de idade. O critério de irrigação adotado foi o de repor ao lado no final de cada mês (de Setembro a abril), a água consumida pela evapotranspiração, no período anterior a 30 dias, deduzida da recebida chuva, no mesmo período. A água de irrigação foi colocada sob a projeção da saia do cafeeiro. Verificaram a ocorrência de deficiência hídrica nos meses de Setembro, Outubro, Fevereiro e março para o ano agrícola 85/86, e Setembro, Outubro e Fevereiro no ano agrícola 86/87, em comparação com os dados de $P - ET_p$ (precipitação – Evapotranspiração potencial) da média de 15 anos obtidos na região. Segundo os autores, tais fatos proporcionaram nos cafeeiros, uma diminuição no pegamento da florada, queda de frutos e comprometimento da granação, resultando em prejuízos nas produções dos anos de 1986 e 1987. Constataram que a irrigação proporcionou incremento da produção da ordem de 28%.

A influência da deficiência hídrica, em diferentes épocas após a floração, no desenvolvimento de frutos de café, foi estudada por Miguel et al. (1976) que observaram que no período no qual a falta de água foi mais crítica está compreendido entre 90 e 120 dias após o florescimento. Este período, em várias regiões cafeeiras do Brasil, coincide, geralmente, com os meses de Janeiro e Fevereiro, evidenciando a necessidade de irrigação suplementar, principalmente, nas áreas de com maior probabilidade de ocorrência de veranicos. Trabalhos realizados em diferentes regiões do país, demonstraram que as deficiências hídricas, no referido período, resultaram em índices de chochamento de frutos da ordem de 46% em Caratinga – MG (Miguel et al., 1976); 25 a 40% em Varginha – MG (Freire & Miguel, 1984) e em 45% em Campinas – SP (Camargo, 1984).

Em trabalhos realizados pelo IAC (Instituto Agrônomo de Campinas), mencionado por Santinato et al. (1996a) nas estações experimentais de Ribeirão Preto, Campinas e Pindorama, regiões com déficit hídrico inferiores a 100 mm ano^{-1} semelhante ao Sul de Minas Gerais e portanto consideradas sem a necessidade de irrigação,

concluíram que a irrigação é compensatória somente em anos secos. Afirmaram ainda, que nos anos subseqüentes aos anos de seca, os efeitos da irrigação eram maiores, apesar dos aumentos observados não apresentarem vantagens quanto à relação custo benefício, por ser esporádica a ocorrência de anos secos nesta região.

Santinato et al. (1996b), constataram em ensaio realizado em Planaltina de Goiás-GO com cafeeiro Mundo Novo, que a irrigação durante todo o ano elevou a produtividade em 23% em relação à irrigação no período seco, e em 48% em relação ao tratamento sem irrigação. A provocação do estresse hídrico próximo à florada (setembro ou agosto/setembro) ou no período de diferenciação floral (abril ou abril/maio) foi prejudicial à produção nos dois tipos de irrigação (anual ou período seco).

Já o Instituto Brasileiro de Café – IBC, também citado por Santinato et al. (1996) em trabalhos experimentais realizados nas regiões com déficit hídrico limitante ao cafeeiro arábica, demonstrou a importância da irrigação para viabilização técnico-econômica da cultura do café, com aumentos médios de produtividade da ordem de 20 a 30 sacas de café beneficiado por hectare.

Gervásio (1998), trabalhando com cafeeiro “Icatu” em casa de vegetação, em Lavras-MG, constatou que, na fase inicial de formação do cafeeiro, o aumento da umidade do solo acelerou o desenvolvimento da planta.

4.4 Sistemas de irrigação e fertirrigação na cafeicultura.

Os sistemas de irrigação mais utilizados na cafeicultura brasileira são as irrigações por aspersão (pivô central) e a irrigação localizada (gotejamento). Para se ter êxito com a fertirrigação é fundamental que a distribuição de água na lavoura tenha uma boa uniformidade, ou seja, que o sistema seja bem dimensionado e adequado para este fim.

Os sistemas de irrigação por aspersão são aqueles em que a água é aspergida sobre a superfície do solo e/ou sobre as plantas. Os tipos mais utilizados na cafeicultura são os que utilizam aspersores (convencional), o autopropelido e o pivô central (Vieira & Bonomo, 2000) sendo o último o mais indicado para a realização da fertirrigação em função do maior coeficiente de uniformidade de aplicação de água.

No sistema de pivô central a fertirrigação é mais eficiente quando realizada em cafeeiro superadensado ou adensado ou com a utilização do plantio circular do café e com a substituição dos aspersores (“sprays”) convencionais por emissores do tipo LEPA (Low Energy Precision Application) que permite a fertirrigação de modo mais eficiente em café com espaçamentos convencionais (Santinato, 2001).

Os sistemas de irrigação localizada aplicam a água diretamente no local de maior concentração de raízes, com pequena intensidade e alta frequência existindo dois tipos: a microaspersão e o gotejamento (convencional ou tubogotejador). O gotejamento é o mais indicado para a prática da fertirrigação no cafeeiro devido à alta uniformidade de aplicação de água e por manter o teor de água no solo adequado para a absorção dos nutrientes (Santinato et al., 1996a).

Para Santinato (2001) o sistema por gotejamento teve uma maior evolução nos últimos anos com o lançamento de gotejadores autocompensantes, auto-drenantes e auto-limpantes que proporcionam um sistema altamente eficiente na distribuição de água com custos menores (linhas laterais mais longas). Em face das limitações de recursos hídricos, grandes áreas de café começaram a ser irrigados através do sistema de gotejamento já que a diferença de consumo de água é de 35% e mais de 100% quando comparado com o pivô central e autopropelido respectivamente. Estima-se que aproximadamente de 15 a 20 mil hectares plantados com cafeeiros estejam sendo irrigados por gotejamento no Brasil (Tessler, 2002).

De acordo com Fernandes et al. (2001) o sistema de gotejamento para fertirrigação do cafeeiro deve ser utilizado superficialmente pois enterrado a 10, 20 ou 30 cm de profundidade independentemente da distância em relação à linha de cafeeiro (20, 30, 40 ou 50 cm) ocorrem perdas de produtividade da ordem de 17 a 38% provavelmente devido a pior distribuição de água e fertilizantes em profundidade no bulbo fertirrigado devido a perdas por lixiviação em função do sistema radicular do cafeeiro estar concentrado nos 30 cm superficiais.

Um outro sistema de irrigação é o de tripas ou mangueira plástica perfurada a laser (MPP) bastante utilizada na cafeicultura e que se enquadra no sistema de irrigação localizada. Este sofreu uma pequena evolução nos últimos anos passando de tubos simples (com capacidade de irrigar apenas uma linha do cafezal) para tubos com perfuração

dupla capazes de irrigar duas linhas, no entanto, embora sirvam para a fertirrigação não são tão eficientes na uniformidade da aplicação de água quanto ao gotejamento.

4.4.1. Irrigação por gotejamento

A irrigação por gotejamento é um método que vem despertando grande interesse em todo o mundo. Vários trabalhos experimentais e observações de campo mostram que este sistema permite bom controle e economia da água aplicada. Em diversas condições, tem proporcionado produções superiores às obtidas por outros métodos (Olitta, 1981).

De acordo com Bernardo (1989), a irrigação localizada não deve ser considerada somente como uma outra técnica para suprir de água as culturas, mas como parte integrante de um conjunto de técnicas agrícolas no cultivo de determinadas plantas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção por área e por água consumida, bem como na época da colheita e na qualidade do produto. A aplicação de água ao solo, na irrigação por gotejamento, é sob forma de “ponto fonte”, ficando a superfície do solo com uma área molhada com forma circular, e o volume de solo molhado com forma de um bulbo (cebola). Quando os pontos de gotejamento são próximos uns dos outros, forma-se uma faixa contínua. Sendo assim, somente uma pequena porção da superfície do solo será molhada, reduzindo a evaporação. A irrigação localizada é usada, em geral, sob a forma de sistema fixo, ou seja, o sistema é constituído de tantas linhas laterais quantas forem necessárias para suprir toda a área, assim, seu custo torna-se mais elevado o que limita seu uso a culturas com alta capacidade de retorno.

Araújo (1982), diz que em nosso país a introdução do método de irrigação por gotejamento, tem apresentado uma série de características altamente favoráveis, tais como: aproveitamento de pequenos mananciais hídricos, maior eficiência operacional, economia de água, pois propicia disponibilidade direta de água à planta, e, quando comparado a outros métodos de irrigação, oferece, ainda, a vantagem de menor custo de mão-de-obra. Além disso, a superfície molhada é menor, pois o líquido penetra no solo formando um bulbo, fornecendo ao sistema radicular do vegetal a umidade necessária ao seu desenvolvimento sem grandes perdas por evaporação.

4.4.2 Manejo da irrigação

O limite superior de produção de uma cultura é determinado pelas condições climáticas e seu potencial genético. Até que ponto pode-se alcançar esse limite dependerá sempre da precisão com que os aspectos de engenharia de suprimento de água estiverem em consonância com as necessidades biológicas na produção da cultura. Portanto, a utilização eficiente da água na produção das culturas só poderá ser alcançada quando o planejamento, o projeto e a operação de suprimento de água e do sistema de distribuição estiverem orientados com o propósito de atender, em quantidade e tempo requeridos, incluindo os períodos de escassez de água, as necessidades hídricas da cultura para ótimo crescimento e altos rendimentos (Doorenbos & Kassam, 1994).

A utilização da irrigação na agricultura brasileira, de uma maneira geral, vem ocorrendo sem um monitoramento criterioso do nível de água no solo. A ausência de um manejo adequado da água utilizada na irrigação contribui para o seu desperdício (Junqueira et al., 1998).

Gomide (1998), ressalta que um sistema de monitoramento e controle baseado em medições, em tempo real, de parâmetros ligados ao contínuo solo-planta-atmosfera pode e deve ser usado para determinar a necessidade hídrica das culturas, e estabelecer estratégias de manejo de irrigação, visando otimizar e racionalizar a utilização da água e da energia com melhoria de produtividade das culturas. Um método que é bastante utilizado no manejo da irrigação para determinar a ET_c (evapotranspiração da cultura) a partir do E_t (evapotranspiração de referência) e dos coeficientes de cultura (K_c) é o do Tanque Classe A. O mesmo autor, citando Doorenbos & Pruitt (1977), afirma que este método é recomendado pela FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura).

A utilização dos dados de ECA (evaporação do Tanque Classe A) está vinculada ao valor do coeficiente do tanque (K_t) do qual os dados foram adquiridos.

Dentre os fatores que favorecem o uso do Tanque Classe A no manejo de sistemas de irrigação estão o custo relativamente baixo, possibilidade de instalação próxima à cultura a ser irrigada, facilidade de operação e boa estimativa de demanda hídrica das culturas (Andrade Júnior et al., 1998).

Outro método de manuseio relativamente simples, que tem encontrado uma certa aceitação é o tensiômetro. Segundo Junqueira et al. (1998), este já é bastante difundido na área técnica. Estes autores dizem que o monitoramento das condições de umidade do solo na profundidade desejada através da tensiometria, monitoramento da tensão de água no solo através de tensiômetros, contribui para uma melhoria no manejo das irrigações, aumento da produtividade das culturas e permite o uso racional de água, energia e fertilizantes.

Snoeck (1977), afirma que o uso de tensiômetros permite uma economia de água bastante apreciável, com resultados que certificam que as doses aplicadas com base neste sistema de manejo foram suficientes. Constatações semelhantes foram obtidas, pelo mesmo autor, com o uso do Tanque Classe A, porém este último apresentou exigência de um ritmo de regas mais rápido. Este autor, trabalhando em um experimento de café irrigado por aspersão, coletou dados de produção durante cinco anos. Nos dois primeiros anos a produção dos cafeeiros irrigados não foi significativamente maior do que a dos não irrigados. Em contra partida, nos três anos seguintes os cafeeiros irrigados atingiram uma produção bastante superior à dos não irrigados. O autor atribui este acontecimento ao fato de que somente no terceiro ano terem sido instalados tensiômetros na área experimental, e o manejo passar a ser feito em função da tensão de água no solo, o que reduziu pela metade o número de regas e a quantidade de água aplicada em relação ao ano interior. Assim considera-se que o que impediu o aumento da produção nos dois primeiros anos foi o excesso de água, destacando que o manejo utilizado anteriormente à adoção dos tensiômetros, consistia em aplicar uma lâmina de 166 mm mensais, descontando as chuvas.

Este fato específico, e questões que vão desde economia pura e simples gerada pelo dimensionamento e manejo adequado de sistemas de irrigação até a questão ambientais de racionalização do uso da água e energia e seus benefícios preservacionistas, vêm ressaltar a importância da irrigação convenientemente dosada.

O manejo da irrigação inclui, também, e principalmente, o bom conhecimento das características físicas do solo, como sua capacidade de retenção de água, e das necessidades hídricas da cultura a ser irrigada. O conhecimento destes dados é que tornará possível a utilização dos recursos citados anteriormente (tensiômetros e Tanque Classe A). No

que diz respeito ao manejo de irrigação do cafeeiro, dados referentes às necessidades hídricas da cultura são escassos.

Santinato et al. (1996a), afirmam que a água facilmente disponível para o cafeeiro, ou DRA (disponibilidade real de água), corresponde a 50% da DTA, disponibilidade total de água. Considera-se para a determinação da DTA, as umidades na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP) no perfil correspondente à profundidade efetiva do sistema radicular. Os mesmos autores sugerem valores de Kc (coeficiente da cultura) para o cafeeiro, determinados com base em experimentos e acompanhamentos de campo de inúmeras lavouras irrigadas, em função da densidade de plantio e idade da lavoura (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de Kc (coeficiente de cultura) para a cultura do café – 1ª aproximação.

Idade (anos)	<i>Espaçamento entre ruas X entre plantas</i> (metros)	Valor de Kc
1. Adulta > 3	a) > 3.0 x > 1,0 – 2500 plantas/ha	1.0
	b) >3.0 x 0.5 a 1.0 – 3333 plantas/ha	1.1
	c) 2.0 a < 3.0 x 0.5 a 1.0 – 6666 plantas/ha	1.2
	d) 1.0 a 2.0 x 0.5 a 1.0 – 13333 plantas/ha	1.3
2. Nova 1 a < 3	a) > 3.0 x > 1.0 – 2500 plantas/ha	0.8
	b) > 3.0 x 0.5 a 1.0 – 3333 plantas/ha	0.9
	c) 2.0 a < 3.0 x 0.5 a 1.0 – 6666 plantas/ha	1.0
	d) 1.0 a 2.0 x 0.5 a 1.0 – 13333 plantas/ha	1.1
2. Nova < 1	a) > 3.0 x > 1.0 – 2500 plantas/ha	0.6
	b) >3.0 x 0.5 a 1.0 – 3333 plantas/ha	0.7
	e) c) 2.0 a < 3.0 x 0.5 a 1.0 – 6666 plantas/ha	0.8
	d) 1.0 a 2.0 x 0.5 a 1.0 – 13333 plantas/ha	0.9

Fonte: Santinato et al. (1996a).

Doorenbos & Kassam, (1994), afirmam que o valor de Kc varia com as fases de desenvolvimento das culturas. Para a maioria dos cultivos o valor de Kc para o período total de crescimento está entre 0,85 e 0,90, sendo ligeiramente superior para a banana, o arroz, o café e o cacau, em pouco inferior para o citros, videira, o sisal e o abacaxi.

Quanto à profundidade efetiva do sistema radicular, Franco & Inforzato (1964), citados por Malavolta (1993), afirmam que a densidade das raízes absorventes do cafeeiro se apresenta nos 30 cm superficiais – cerca de 90% do total.

4.5 Nutrição e adubação do cafeeiro

Nas condições em que o café é cultivado no Brasil, o N é o elemento que mais limita as produções, devido a sua alta demanda pelo cafeeiro e a pobreza da maioria dos solos brasileiros nesse elemento. Em anos de alta produtividade ou em longos períodos de estiagem, na época quente do ano, essa deficiência assume importância que poderá afetar significativamente a produtividade dos cafezais. No conjunto fruto mais vegetação, o K aparece em segundo lugar em quantidade imobilizada por ano. Nos estádios finais de granação e maturação dos frutos do café é grande a exigência de K. O P um elemento exigido em pequenas quantidades e não há uma reação econômica do cafeeiro a esse elemento, mesmo em solos onde a análise revela baixo teor de fósforo solúvel (IBC, 1981).

O princípio da aplicação da fertirrigação preconiza a utilização de produtos altamente solúveis. Assim, na seleção do fertilizante deve-se considerar, além de outros aspectos, a sua solubilidade, uma vez que esta é extremamente importante no manejo operacional do sistema e na uniformidade de aplicação dos produtos. A aplicação de nitrogênio e potássio via água de irrigação, geralmente, não apresenta problemas, podendo ser utilizados em qualquer sistema de irrigação, sob as formas: uréia, nitrato ou sulfato de amônio como fonte de N; e cloreto de potássio como fonte de K (Sousa & Sousa, 1993).

Malavolta (1993), considerando a composição das plantas aos 6,5 anos de idade, diz que a demanda dos elementos obedece à seguinte ordem decrescente:

- macronutrientes: $N > K > Ca > Mg > S > P$;
- micronutrientes: $Fe > Mn > Zn > B > = Cu$.

Segundo Malavolta et al. (2002) a demanda por nutrientes pelo cafeeiro não varia em virtude da produção, pois quando a frutificação é baixa, o crescimento de ramos plagiotrópicos, a formação de folhas e ramos novos substituem o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes. Aos 54 meses após o plantio a produtividade foi de 34 sc ha^{-1} caindo

para 7 sc ha⁻¹ aos 66 meses entretanto nesta época a extração de nutrientes foi maior compensando a menor extração pelos frutos pelo maior crescimento vegetativo.

Para Rena et al. (1996) o estado nutricional do cafeeiro depende da capacidade da planta em regular ou não a carga de frutos em relação à área foliar, como por exemplo, a cultivar Catuaí que pode apresentar uma queda precoce nas primeiras safras por apresentar uma elevada produção, a qual esgota as reservas da planta para atender a alta demanda da carga de frutos, podendo levar algumas plantas inclusive a morte.

É importante lembrar também que parte das necessidades nutricionais para a formação de nova vegetação e de frutos é satisfeita pela mobilização de reservas da planta e não somente extraídas do solo. De acordo com Malavolta & Lima Filho (1998) em cafeeiros adequadamente nutridos 23,5% do N e 43,3% do K contidos nos frutos vieram das respectivas reservas, enquanto em plantas deficientes esta mobilização aumenta para 43,3 e 73,3%.

Prezotti et al. (2000) com base em equações de regressão obtidas de experimentos e medições realizadas em lavouras conduzidas em condições favoráveis ao bom crescimento do cafeeiro em Minas Gerais calcularam a demanda anual de nutrientes de cada parte da planta de café para uma determinada população e numa determinada idade. Os maiores drenos são as folhas e os frutos acumulando aproximadamente 75% dos nutrientes absorvidos. As flores podem ser consideradas importantes drenos também (Malavolta et al., 2002) o que torna importante à antecipação da adubação de setembro para agosto o que é facilitado pela fertirrigação, uma vez que, os adubos são aplicados dissolvidos não dependendo da chuva para serem absorvidos.

As diferenças no conteúdo de alguns macros e micronutrientes entre as cultivares devem a variação genética, ao grau de intensidade de demanda pelo dreno, pelas flores e às interações entre os nutrientes (Malavolta et al., 2002). O cultivar Catuaí, por exemplo, é mais exigente que o Mundo Novo em quase todos os nutrientes com exceção do Cu e do Zn.

Outra informação importante que se deve conhecer é quando se deve aplicar o fertilizante, ou seja, o período de maior exigência nutricional pela planta para que o fertilizante seja mais eficientemente aproveitado e a planta não sofra uma deficiência nutricional. Küpper (1976), citado por Malavolta et al. (1983), num estudo da exigência do

cafeeiro em nitrogênio, concluiu que a quantidade de nitrogênio retida na parte vegetativa de cafeeiro, com mais de 3 anos (1000 covas ha⁻¹), é de 3 a 3,5 kg ha⁻¹ por mês nos meses de dezembro a março, e ao redor de 2 kg ha⁻¹ por mês de abril a junho e em setembro. Nos meses de menor temperatura (julho e agosto) a taxa de absorção cai para 0,5 kg N ha⁻¹. Na frutificação a demanda de nitrogênio é diferente na qual a planta acumula 0,1 kg ha⁻¹ mês na fase de chumbinho e 0,4 kg ha⁻¹ mês por saca beneficiada na fase de granação e maturação.

Na Costa Rica, Carvajal et al. (1969), por meio de um estudo em solução nutritiva da absorção de nutrientes pelo cafeeiro arábica, variedade Bourbon (plantas com 3 a 4 anos), durante um ciclo anual, observaram que o cafeeiro adulto apresenta mudanças súbitas na velocidade de absorção dos nutrientes associados com os estados fisiológicos mais importantes. As maiores quantidades de nutrientes são absorvidas durante a fase de florescimento e chumbinho com destaque para Ca, P e principalmente o Mg e com exceção do K que é mais absorvido no pré-florescimento. O N também é mais absorvido na fase do florescimento não alterando muito durante as outras fases.

A absorção de nutrientes presentes no solo pelo sistema radicular e conseqüente translocação para a parte aérea ocorre de forma radial (o nutriente é transportado somente para o lado da parte aérea que ele foi absorvido) no cafeeiro arábica (Franco, 1984) e no conillon (Matiello, 1998). Esta característica do cafeeiro reforça a necessidade de boa distribuição dos fertilizantes aplicados ao solo ao redor da planta para que não haja um desequilíbrio no cafeeiro com excesso de nutrientes de um lado e deficiência no outro. Em sistemas fertirrigados por gotejamento é importante que o tubogotejador esteja bem próximo do caule para que haja esta distribuição uniforme do fertilizante ao redor da planta.

Os níveis ou doses de nutrientes para o cafeeiro irrigado em geral tem sido os mesmos para o cafeeiro sem irrigação. Entretanto, pelo desenvolvimento mais rápido, principalmente na fase de formação do cafeeiro, os níveis de adubação exigidos superam os níveis para o cafeeiro não irrigado (Santinato et al., 1996a).

4.5.1 O nitrogênio na nutrição mineral do cafeeiro

O cafeeiro tem alta exigência de nitrogênio (N). O suprimento adequado de nitrogênio, não havendo outros fatores limitantes, é evidenciado no

desenvolvimento rápido, no aumento de ramificação dos galhos frutíferos e na formação de folhas verdes e brilhantes (Malavolta et al.,1981). De acordo com Dierendonck, citado por Malavolta (1986), existe uma relação direta entre o fornecimento de N e número de folhas no florescimento e número de gemas floríferas, havendo a necessidade de se cuidar do crescimento da área foliar mediante a adubação nitrogenada, o que acarretará maior produção de amido e de outros carboidratos indispensáveis para a formação e o crescimento dos frutos.

Um fator que aumenta a severidade da falta de N é um período de seca intensa: menor umidade no solo diminui a mineralização da matéria orgânica e o caminhamento dos nitratos para a raiz pelo processo de fluxo de massa, de acordo com Malavolta (1986).

De acordo com Coelho (1994), o nitrogênio é o elemento mais freqüentemente aplicado, via água de irrigação, pela sua solubilidade e por apresentar em relação aos outros nutrientes, alta mobilidade no solo e conseqüentemente, alto potencial de perdas, principalmente por lixiviação. Com o uso da fertirrigação, pode-se parcelar a aplicação dos fertilizantes nitrogenados de acordo com a demanda da cultura, reduzindo as perdas, sem onerar o custo de produção, e não provocando alterações em excesso nas relações N/P e N/K das folhas, que causam a diminuição da produção.

Carvajal et al. (1969), avaliando a absorção líquida dos macronutrientes, com exceção do enxofre, por plantas de café (*coffea arabica* L. var. Bourbon) durante um ciclo vegetativo e reprodutivo completo, constataram que a contribuição por parte dos nutrientes estudados, ao total da absorção líquida, indicou claramente que o nitrogênio é o elemento quantitativamente mais importante na nutrição do café, seguido do potássio. A contribuição destes elementos ao total absorvido foi de 48% e 28%, respectivamente.

O acúmulo de massa seca e de nutrientes pelo cafeeiro é crescente em função da idade, no entanto, a retirada anual de nutrientes pela planta adulta mostra-se semelhante com pouca alteração em função da safra (Corrêa et al., 1986). Mesmo com produtividades semelhantes aos 30 e 42 meses a extração de nutrientes foi quase o dobro aos 42 meses (143,5 contra 79,4 kg N planta⁻¹ aos 30 meses) no cafeeiro Catuaí, no entanto, a

quantidade exportada pelo fruto foi praticamente a mesma (34,9 e 37,7 kg N planta⁻¹ aos 30 e 42 meses respectivamente).

4.5.2 O potássio na nutrição mineral do cafeeiro

Conforme Malavolta (1986) existe uma correlação positiva, bastante íntima, entre o teor de K nas folhas e seu conteúdo de amido; baixando o nível de K diminui a produção de amido; como consequência o desenvolvimento da planta, aparecimento de novos ramos e novas folhas, diminui e as produções caem. Pensa-se até que o hábito bienal de produção do cafeeiro, pelo menos em parte, pode ser explicado com base nas variações no teor de amido dos tecidos: uma colheita consome as reservas desse carboidrato de modo que pouco fica disponível no ano seguinte para a vegetação e frutificação, daí a queda da colheita. A importância do K na produção de frutos é que uma reserva suficiente desse elemento tende a diminuir a quantidade de frutos chochos (“floats”), (Glander, 1958).

A aplicação de potássio junto com nitrogênio, via água de irrigação, já vem sendo muito utilizada. Segundo Vitti et al. (1993) citado por Coelho (1994), a aplicação de K através da fertirrigação praticamente não apresenta problema, devido à alta solubilidade da maioria dos sais de potássio, o ponto crucial é definir em que condição deve-se fazer o parcelamento desse nutriente.

Bastos (1994), constatou em seu trabalho, que diferentes doses de cloreto de potássio influenciaram nas características de crescimento do cafeeiro. Entre elas, a altura média das plantas e o diâmetro do caule apresentaram acréscimos significativos com o aumento das doses de potássio.

Segundo Malavolta (1993) as plantas absorvem os elementos da solução do solo, então o objetivo da adubação é simplesmente elevar e manter a sua concentração de modo a atender às exigências do cafeeiro. Destacou, ainda, o efeito dos elementos em determinadas funções da planta, como por exemplo o fato de que altos teores de K estarem associados a colheitas elevadas.

4.5.3 Parcelamento da adubação

Na região Sul de Minas Gerais, as adubações com N e K, com aplicação manual ou mecanizada, são realizadas de outubro a março, em 3 a 4 parcelamentos e o P aplicado no início do período chuvoso (Mendes et al., 1995).

No Estado de São Paulo, Raij et al. (1997) recomendaram que em cafeeiros o número de aplicações de N e K deve ser maior que o tradicional parcelamento em três a quatro aplicações utilizadas no cultivo não fertirrigado.

Santinato et al. (1989) em trabalho conduzido em Jaboticatubas – MG, com variedade Catuaí Vermelho CH2077-2-5/99, verificaram que o tratamento que recebeu fertirrigação (adubação NK) constante foi superior aos tratamentos irrigado com quatro fertirrigações e irrigado com quatro adubações de cobertura. Os autores concluíram que a fertirrigação é o modo de adubar indicado para fornecimento de N e K ao cafeeiro irrigado por gotejamento, podendo ser feita no período de maior crescimento vegetativo e produtivo do cafeeiro.

Santinato et al. (1996a) propuseram dividir a adubação nitrogenada e potássica em 4 a 8 aplicações no sistema por aspersão e em 8 a 16 na fertirrigação localizada levando em consideração a temperatura dos meses de maio e junho e a idade da planta. Regiões onde as temperaturas do ar são maiores que 19 a 20°C são consideradas quentes e portanto o crescimento vegetativo é maior sendo necessário adiantar a adubação. Na adubação pós-plantio (0 a 6 meses), as adubações de N e K em cobertura devem iniciar 30 dias após o plantio com aplicações quinzenais aplicando 20% da dose nos dois primeiros meses, 30% nos dois seguintes e 50% nas duas últimas aplicações.

No entanto, o parcelamento da adubação em sistema fertirrigado parece ainda não estar bem definido. Em um experimento com cafeeiros Catuaí (13 anos) no espaçamento de 3,5 x 0,8 cm foram testados o parcelamento da adubação NPK via fertirrigação em 12, 24 e 36 aplicações concluindo que na primeira safra os parcelamentos em 24 e 36 vezes proporcionaram maiores produtividades (48 e 52 sacas ha⁻¹) que o parcelamento em 12 aplicações (38 sacas ha⁻¹) não havendo efeito no rendimento. Na segunda safra no entanto o efeito foi ao contrário no qual o parcelamento em 12 aplicações via fertirrigação proporcionou os melhores resultados (126 sacas ha⁻¹) (Silva et al, 2000; Silva et al, 2001).

Faria et al. (2001) em um experimento com cafeeiro cv. Acaia MG1474, instalado em Lavras, MG, com o objetivo de avaliar diferentes parcelamentos da adubação via água de irrigação (lâmina de irrigação igual a 100% da evaporação do tanque Classe “A”) observaram que o parcelamento em três aplicações, realizadas na época tradicional de outubro a março, proporcionou maior produtividade (108,14 sc ha⁻¹) quando comparado com seis (63,17 sc ha⁻¹) e nove (83,53 sc ha⁻¹) aplicações.

De um modo geral, o número de aplicações deve ser tal para que não se ultrapasse a condutividade elétrica do solo limite para a cultura, ou seja, quanto maior o número de aplicações menor a dose a ser utilizada e portanto menor a condutividade elétrica do solo (Villas Bôas et al., 2002).

As doses utilizadas na fertirrigação têm sido as mesmas utilizadas no cultivo não irrigado (Tabela 3). Alguns pesquisadores (Vieira & Bonomo, 2000; Santinato et al., 1996a) citam que a dose utilizada no pós-plantio pode ser reduzida em até 20% quando aplicada via fertirrigação. Já quando a fertirrigação é realizada pelo método de irrigação por aspersão em plantios adensados e superadensados recomenda-se aumentar a dose em até 30 e 20% respectivamente. No entanto, estas recomendações parecem não ter experimentos comprovando se tais doses são adequadas.

Tabela 3. Recomendações de N, P e K para a cultura do café arábica var. Catuaí estimadas pelo sistema de recomendação elaborado por Prezotti et al. (2000) e pela recomendação dos estados de Minas Gerais (CFSEMG, 1999), São Paulo (Raij et al., 1997), Espírito Santo (Prezotti, 1992) e Paraná (Lima et al., 1994) considerando uma lavoura com 5 mil plantas ha⁻¹ e produtividade de 50 sc ha⁻¹.

Nutriente	Sistema	Estado				Média
		MG	SP	ES	PR	
		kg ha ⁻¹				
N	340	400	300	360	320	345
P ₂ O ₅	97	70	80	92	70	80
K ₂ O	343	400	300	250	450	350

Fonte: adaptado de Prezotti et al. (2000).

Logo, faltam mais experimentos para se concluir qual é o número ideal de parcelamentos para a fertirrigação nitrogenada e potássica principalmente. O importante é

sempre considerar as condições edafoclimáticas (temperaturas quentes, solos arenoso, etc.) e o sistema de produção (plantio superadensado, cultivar, etc.).

4.6 Fertirrigação e quimigação

O uso de adubos na forma líquida, seja em solução seja em suspensão, ganhou inicialmente, a expressão de fertilização fluída e, pela oportunidade de se irrigar e fertilizar a planta e o solo, concomitantemente, passou-se a empregar uma palavra contraída, oriunda da ação dos dois verbos que é fertirrigação. Esta oportunidade de maximizar a eficiência de operações agrícolas não se limitou apenas à aplicação simultâneas de água e fertilizantes, mas estendeu-se, também, à aplicação de outros produtos químicos como pesticidas, defensivos agrícolas e hormônios, dando origem ao termo quimigação, que envolve um sentido operacional mais amplo do que o termo fertirrigação, de uso mais restrito e diferenciado (Nogueira et al., 1998).

A fertirrigação consiste, de modo geral, na fertilização combinada com a irrigação, isto é, os adubos minerais são injetados na água de irrigação para formar “água de irrigação enriquecida” (Vitti et al., 1994).

Santinato et al. (1996a) relatam que a fertirrigação se resume, praticamente, na aplicação de água e fertilizantes ao solo e à planta, simultaneamente.

A quimigação seria uma das formas de minimizar os custos operacionais da lavoura irrigada. Comparações de custo de diferentes esquemas de quimigação, em relação aos sistemas convencionais, foram realizadas por Threadgill (1985), citado por Sorice (1999). Verificou-se que a quimigação torna-se mais barata quando usada duas ou mais vezes anualmente, e que a economia resultante geralmente cresce quando se aumenta o número de aplicações anuais dependendo da combinação de produtos químicos aplicados. Pode ser realizada em qualquer hora do dia ou da noite e em condições climáticas que impossibilitam o uso de trator e avião.

No Brasil, a fertirrigação, vem se formando como uma técnica muito promissora, principalmente entre os proprietários de sistemas de irrigação por métodos pressurizados (aspersão e localizada), devido ao fato de que através deles a água é conduzida e aplicada através de condutos fechados e sob pressão permitindo melhor controle.

Segundo Villas Bôas et al. (2002) para a fertirrigação via gotejamento a eficiência de aproveitamento do fertilizante é maior que 80% para o N e K e cerca de 70% para o P.

Várias são as vantagens da fertirrigação, quando comparadas com os métodos convencionais de aplicação de fertilizantes. Segundo Vieira (1994), muitas são as vantagens da quimigação e da fertirrigação:

1. Maior eficiência (menores perdas);
2. redução do custo de aplicação (aproveita-se a irrigação para aplicar os produtos);
3. possibilidade de redução da dosagem (conseqüência da maior eficiência);
4. melhor uniformidade de distribuição (desde que o sistema de irrigação aplique água uniformemente);
5. maior segurança para o operador (principalmente no sistema por gotejamento);
6. redução da compactação do solo e dos danos mecânicos à cultura (evita-se o tráfego de máquinas e implementos);
7. época de aplicação (os produtos podem ser aplicados independente da altura e do desenvolvimento das plantas);
8. incorporação (a possibilidade de dosar a lâmina de água permite melhor incorporação do produto);
9. redução da deriva (principalmente quando se emprega o sistema por gotejamento).

Bar-Yosef (1991) também lista outras vantagens como:

- a) as quantidades e concentrações de fertilizantes que podem ser calculadas ou dosadas de acordo com a demanda da planta, em seus diversos estádios de desenvolvimento e ainda em diferentes condições climáticas;
- b) as folhas das plantas são mantidas secas pelo sistema de gotejamento, evitando-se a incidência de várias doenças e a queima das folhas;
- c) uso conveniente de compostos balanceados, como fertilizantes líquidos, em concentrações mínimas de micronutrientes podem ser obtidos sem as imprecisões dos métodos convencionais de aplicação.

As vantagens citadas podem facilmente converter-se em desvantagens sob circunstância de manejo inadequado da irrigação ou emprego de equipamentos em condições inapropriadas de funcionamento (Nogueira et al., 1998).

Segundo os mesmos autores a fertirrigação também apresenta desvantagens como:

- a) necessidade de treinamento do operador para uso mais complexo e preciso dos equipamentos de irrigação;
- b) possibilidade de corrosão dos equipamentos de irrigação;
- c) possibilidade de contaminação de fontes de água por escoamento superficial decorrentes de altas precipitações, como acontece na extremidade da lateral do conjunto pivô central.

Para qualquer sistema tornar-se importante também o emprego de medidas de segurança, que visam evitar interrupções no fluxo das soluções ou suspensões, como por exemplo obstruções por precipitados químicos e resíduos orgânicos. Nesses casos, vários produtos têm sido empregados, entre eles os redutores de pH, como ácido fosfórico para controle da precipitação de carbonatos, algicidas para controle de algas e até mesmo o formaldeído (CH_2O), como solução para manter sempre limpo o sistema (Grape, 1997).

A distribuição espacial do N no solo é afetada fortemente pela fonte de N adicionada via água de irrigação. O amônio (NH_4^+) é adsorvido pelos colóides do solo e óxidos metálicos, tendo então uma mobilidade limitada em relação ao NO_3^- que não é adsorvido. O amônio é nitrificado, no solo, passando a NO_3^- por reação microbiológica em uma taxa que depende da temperatura e teor de umidade do solo. A duração média deste processo

4.6.1 Formas de controle da fertirrigação

A fertirrigação tem uma grande vantagem que é a possibilidade da aplicação de fertilizantes em qualquer estágio fenológico da cultura. Para potencializar esta vantagem é necessário, além da exigência nutricional e da ecofisiologia, que se conheça métodos para monitorar o estado nutricional das plantas que permite planejar, avaliar e calibrar a fertirrigação aplicando os fertilizantes somente quando as plantas necessitam.

A análise química de folhas é uma técnica empregada por muitos produtores do mundo inteiro e recomendada por Malavolta et al. (1997) e Raji et al. (1997) para monitorar o estado nutricional do cafeeiro, além de, no caso do teor de nitrogênio, servir,

juntamente com a produtividade esperada, como um índice determinante da dose de nitrogênio ser utilizado na adubação de cobertura. Na Tabela 4 é possível observar os teores de nutrientes considerados adequados para os cafeeiros arábica e conillon e que podem se um indicativo na tomada de decisão de fertirrigar.

Tabela 4. Teores foliares adequados de macro e micronutrientes para o cafeeiro (*Coffea arabica* L.)

Autores	Macronutrientes, g kg ⁻¹						Micronutrientes, mg kg ⁻¹				
	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Malavolta et al. (1993), Brasil (Arabica)	27-32	1,5-2,0	19-24	10-14	3,1-3,6	1,5-2,0	59-80	8-16	90-180	120-210	8-16
Malavolta et al. (1997), Brasil (Arabica)	29-32	1,6-1,9	22-25	13-15	4,0-4,5	1,5-2,0	50-60	11-14	100-130	80-100	15-20
Raij et al. (1997), São Paulo, Brasil (Arabica)	26-32	1,2-2,0	18-25	10-15	3,0-5,0	1,5-2,0	50-80	10-20	50-200	50-200	10-20
Reis Jr. et al. (2002), Minas Gerais, Brasil (Arabica)	35	1,7	22	12	3	1,8	66	37	111	372	17
Malavolta et al. (1993) EMCAPA/(Robusta)	27	1,1	21	14	3,2	2,4	48	11	131	69	11

Lima Filho et al. (1997) citaram a possibilidade da utilização de um medidor de clorofila manual (Clorofilômetro SPAD-502) para estimar o teor de N nas folhas (correlação de 73%) do cafeeiro Catuaí Vermelho no campo de modo simples, rápido e com baixo custo podendo detectar precocemente a deficiência de N. O clorofilômetro é um aparelho portátil que calcula um índice chamado SPAD (Soil and Plant Analysis Development) que é a relação entre a transmitância de dois comprimentos de onda através da folha da planta: 650 nm, comprimento de onda no qual as moléculas de clorofila apresentam um pico de absorvância e 940 nm no qual a absorvância pela clorofila é muito baixa sendo utilizado apenas como fator de correção em função da espessura e do teor de água da folha. Santos et al. (2003) observaram aumento linear da medida do clorofilômetro com as doses crescentes de N aplicadas via fertirrigação em cafeeiros Catuaí espaçados 2,5 x 1,0 m

permitindo o monitoramento do teor de N no solo durante o período reprodutivo (agosto a janeiro)

Outro método, citado por Malavolta et al. (1997), e utilizado em cafeeiros da Costa Rica é o teor de nitrogênio total solúvel em água, o qual compreende o nitrato e o nitrogênio orgânico solúvel em água (NOSA), e que se correlaciona bem com a dose de nitrogênio aplicada e a produção.

Outra ferramenta que pode auxiliar na avaliação do estado nutricional do cafeeiro é o Sistema Integrado de Diagnóstico e Recomendação (DRIS) que se baseia no cálculo de índices para cada nutriente, comparando as razões entre um nutriente (ex.: N) e cada um dos demais nutrientes (ex.: N/K, N/P, etc.) da amostra com um padrão de referência (normas DRIS). As normas DRIS devem ser estabelecidas para cada condição edafoclimáticas sendo necessário uma série de dados de produtividade associado aos teores foliares de nutrientes do cafeeiro.

Já foram estabelecidas normas DRIS para os cafeeiros da Colômbia (Arboleda et al., 1988), da região serrana do Espírito Santo (Costa & Prezotti, 1997) e do sul de Minas Gerais (Reis Júnior et al., 2002), no entanto, ainda não há padrões de referência para cafeeiros fertirrigados.

No caso da fertirrigação a análise do solo não é dispensável, entretanto, pouco auxilia no manejo da adubação nitrogenada. Porém a avaliação da solução do solo quanto ao teor de nitrato e potássio através de testes rápidos ou eletrodos específicos portáteis pode ser uma alternativa que auxilie no manejo da fertirrigação. A solução do solo pode ser coletada através de extratores enterrados no solo e formados por um tubo de diâmetro inferior a 1” com um microtubo de polietileno no seu interior e uma cápsula de cerâmica na ponta através da qual a solução entra após ser imposto um vácuo no microtubo com o uso de uma seringa (Dimenstein, 2001).

A remoção de nutrientes pelas colheitas também pode ser um índice para auxiliar na adubação visando atender a demanda pela planta. Willson (1985) calculou que para cada tonelada de grão em coco de café 63,1, 4,9 e 55,8 kg de nitrogênio, fósforo e potássio, respectivamente, são removidos com a colheita contidos na polpa, no pergaminho e no grão de café. As quantidades citadas por Raij et al. (1997) para cafeeiros do estado de São Paulo são semelhantes para o P (4 kg) e para o K (52 kg) no entanto, bem abaixo para o N (32

kg). Corrêa et al. (1986) encontraram quantidades semelhantes às citadas por Raij et al. (1997) de N, P, K e S removidas pela colheita (média de 6 colheitas) dos cultivares Catuaí e Mundo Novo.

4.6.2 Índice Relativo de Clorofila

Os métodos de determinação de clorofila são destrutivos, demorados e são realizados em laboratório o que impede a sua utilização para predizer deficiências de N de forma rotineira. Com a invenção de um medidor portátil (MINOLTA SPAD-502, Minolta Corporation LTD, Osaka, Japão, 1989) que mede intensidade da coloração verde da folha (quantidade de luz absorvida pela clorofila) é possível obter valores indiretos do teor de clorofila presente nas folhas de modo não destrutivo, rápido e simples.

Peterson et al. (1993) afirmam que o uso do medidor SPAD-502 utilizado como um instrumento no manejo da adubação nitrogenada, denominada "adubação quando necessário", é especialmente apropriado onde o nitrogênio adicional pode ser aplicado através do sistema de irrigação.

A normalização dos dados através do índice de suficiência (IS = média das leituras do SPAD-502 nas amostras dividido pela média das leituras do SPAD-502 nas áreas de referência) utilizando uma área de referência otimamente adubada com nitrogênio, onde teoricamente não há deficiência de N, permite comparar dados entre diferentes híbridos, locais, condições edafoclimáticas e datas de amostragem.

Furlani et al. (2000a) em um estudo da correlação entre a leitura do clorofilômetro e níveis de nitrogênio aplicados em mudas (quatro a cinco pares de folha) de café cv. Mundo Novo verificaram que a medida que se aumentavam os valores de N aplicado a planta respondia em aumento da leitura de clorofila, obtendo um bom coeficiente de correlação entre a leitura do clorofilômetro e as doses de nitrogênio após trinta e três dias da aplicação do adubo nitrogenado. Resultados semelhantes foram obtidos por Paulo et al. (2000) para o cultivar Tupi (IAC 1669-33), Furlani et al. (2000b) para a cv. Catuaí e Furlani Júnior et al. (2000) para mudas de *Coffea canephora* Pierre. Os mesmos pesquisadores também observaram que doses altas de N aplicadas às mudas de cafeeiro podem reduzir a leitura do

clorofilômetro obtendo as maiores leituras para as doses intermediárias dependendo do cultivar.

Lima Filho et al. (1997) em seu estudo obtiveram correlações entre a leitura do clorofilômetro e os teores de clorofila de café cv. Catuaí Amarelo, verificando também correlação das leituras do clorofilômetro com o teor de N foliar.

Reis et al. (2003) constataram em seu estudo que o ponto de máximo para as leituras SPAD ocorreu na dose de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de nitrogênio aplicado de forma convencional em café cv. Catuaí Vermelho.

4.7 O potencial para a fertirrigação da cultivar Catuaí Vermelho

As linhagens de Catuaí, tanto Vermelho quanto Amarelo, apresentam-se bem vigorosas, com altura entre 2,0 e 2,4m e diâmetros de copa entre 1,7 e 2,1 m. A principal característica é possuir internódios curtos, o que lhe confere o porte baixo, além de abundante ramificação secundária. As folhas novas têm coloração verde-clara e as adultas são mais escuras e brilhantes; na cultivar Catuaí não há brotação nova de coloração bronze (Nazareno & Mendes, 2001).

Comparativamente às progênies de Mundo Novo, as de Catuaí têm maturação de frutos mais tardia e mais desuniforme, por produzirem vários florescimentos desde o início da primavera, particularmente em condições de altitude e clima ameno. Segundo Matielo et al. (1987), as linhagens de Catuaí exibem maior tolerância à ferrugem, quando comparadas a cultivar Mundo Novo, sendo ainda menos sensíveis aos efeitos de ventos frios e mais exigentes em boro. Tem-se observados em experimentos que as melhores seleções de Catuaí têm a mesma capacidade produtiva das melhores seleções de Mundo Novo e, devido ao porte reduzido, possibilitam o plantio em espaçamentos menores, mais adensado e com maior produtividade (Nazareno & Mendes, 2001).

É interessante observar que, embora vigorosas, as progênies de Catuaí não podem ser submetidas a condições de estresses diversos quando a produção é elevada (intenso ataque de doenças ou pragas e conseqüente desfolha, adubação deficiente e longos períodos de deficiência hídrica, entre outros), pois podem exibir acentuadas secas de ramos produtivos, com depauperamento precoce e mesmo morte de algumas plantas, quando ainda

nas primeiras produções. Essa característica é mantida certamente em função de alguns alelos derivados da cultivar Caturra, ainda mantidos na Catuaí, mesmo após vários ciclos de seleção. O que pode ser feito é evitar qualquer condição de estresse à lavoura, procurando manter ótimas as condições ambientais para o cultivo e a produção, o que é possível na cafeicultura irrigada. No livre crescimento, por exemplo, o porte baixo possibilita a aplicação de tratamentos culturais mais facilmente, além de tornar mais econômica a operação de colheita (Nazareno & Mendes, 2001).

Para o plantio adensado, com podas programadas, tem sido indicado o espaçamento de 1,7 a 2,0 m x 0,5 a 1,0 metro. Para plantios no livre crescimento utilizam-se espaçamentos que permitem a mecanização, em sistema de renque mecanizado (3,0 a 3,5 x 0,5 a 1,0 metro) (Nazareno & Mendes, 2001).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. Área experimental

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas, UNESP, Campus de Botucatu. O solo onde foi instalado o experimento é um Nitossolo Distrófico textura argilosa segundo EMBRAPA (1999). Para a caracterização química e física do solo foram coletadas amostras nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 determinando o pH, MO, P_{resina} H+Al, K, Ca, Mg, e, segundo a metodologia citada por Raij et al. (2001), e a composição granulométrica de acordo com a metodologia da EMBRAPA (1997), apresentadas nas Tabelas 5, 6 e 7, sendo as análises feitas pelo laboratório de química e física de solos do Departamento de Recursos Naturais da FCA-UNESP.

Tabela 5 Resultado da análise química do solo, antes do preparo de solo, em 03/01/02.

Prof. (cm)	pH CaCl ₂	M.O g dm ⁻³	P resina mg dm ⁻³	H+Al -----mmol _c dm ⁻³ -----	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
0-20	4,3	23	3	57	1,1	13	7	20	77	26
20-40	4,1	22	2	66	0,6	11	5	14	81	19

Tabela 6 Características físicas do solo da camada de 0 a 20 cm.

Granulometria g kg ⁻¹			Textura	Densidade do solo ρ _g (g cm ⁻³)	Densidade de partículas ρ _p (g cm ⁻³)
Areia	Silte	Argila			
470	410	120	argilosa	1,5	2,63
468	408	124	argilosa	1,5	2,65

Tabela 7 Resultado da análise de micronutrientes do solo, antes do preparo de solo, em 03/01/01.

Prof. (cm)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	-----mg dm ⁻³ -----				
0-20	0,05	5,9	34	29,6	1,1
20-40	0,05	5,7	25	20,3	0,5

Pela classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwb, 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 do mês mais quente não ultrapassa 22°C, sendo o mês mais seco e mais frio julho. A estação seca vai de maio a setembro e o mês mais quente é janeiro (Carvalho et al., 1983).

O balanço hídrico, pelo método de Thornthwaite (1948), revelou uma deficiência total média de água de 29 mm anualmente (maio a setembro), e um excedente hídrico médio de 439 mm (outubro a abril).

5.2 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, com 4 blocos que consistiam as repetições, dispostos transversalmente a declividade do terreno com o intuito de minimizar as diferenças de fertilidade do solo devido movimentação do horizonte A para a construção de terraços embutidos em nível, que foi realizada fazendo uma raspagem do terreno com a lâmina do trator de esteira, ficando os blocos B e D com seus horizontes A parcialmente removidos e depositados sobre os blocos A e C.

Tabela 8 – Resumo do delineamento experimental.

Causa de Variação	Graus de liberdade
Blocos	3
Tratamentos	7
Resíduo	21
Total	31

5.2.1 Tratamentos

Os tratamentos empregados no primeiro ano de cultivo foram baseados na recomendação segundo Raij et al., (1997) e sendo os seguintes:

- 1 – Sem adubação mas com irrigação
- 2 – Fertirrigação com 50% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 3 – Fertirrigação com 100% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 4 – Fertirrigação com 150% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 5 – Fertirrigação com 200% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 6 – Adubação sólida com 100% da dose NK recomendada e sem irrigação.
- 7 – Adubação sólida com 100% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 8 – Sem adubação e sem irrigação.

No segundo ano de cultivo os tratamentos foram reduzidos proporcionalmente, pois as análises das medidas crescimento não apresentavam diferenças significativas e com a maior eficiência na aplicação de adubos esperava-se uma economia de fertilizantes, ficando assim os tratamentos:

- 1 – Sem adubação mas com irrigação
- 2 – Fertirrigação com 33% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 3 – Fertirrigação com 66% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 4 – Fertirrigação com 100% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 5 – Fertirrigação com 133% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 6 – Adubação sólida com 100% da dose NK recomendada e sem irrigação.
- 7 – Adubação sólida com 100% da dose NK recomendada e com irrigação.
- 8 – Sem adubação e sem irrigação.

5.2.2 Quantidades de nutrientes aplicadas nos tratamentos

Foram aplicadas nos tratamentos as quantidades de N e K, descritas na Tabela 9 e Tabela 10, conforme recomendação de Raij et al. (1997), descritas no Boletim 100 do IAC, e recomendadas para a cafeicultura no estado de São Paulo.

Tabela 9 Quantidades de N (uréia) e K (cloreto de potássio) aplicados nos tratamentos conforme recomendação de Raij et al. (1997) no primeiro ano de cultivo.

Tratamentos	N		Uréia		K		Cloreto de potássio	
	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹
0% fert s/irrig.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0% fert c/irrig.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50% fertirrig.	12,0	60,0	26,7	133,3	8,0	40,0	13,3	66,7
100% fertirrig.	24,0	120,0	53,3	266,7	16,0	80,0	26,7	133,3
150% fertirrig.	36,0	180,0	80,0	400,0	24,0	120,0	40,0	200,0
200% fertirrig.	48,0	240,0	106,7	533,3	32,0	160,0	53,3	266,7
100% conv. s/irr.	24,0	120,0	53,3	266,7	16,0	80,0	26,7	133,3
100% conv. c/irr.	24,0	120,0	53,3	266,7	16,0	80,0	26,7	133,3

Tabela 10 Quantidades de N (uréia) e K (cloreto de potássio) aplicados nos tratamentos conforme recomendação de Raij et al. (1997) no segundo ano de cultivo.

Tratamentos	N		Uréia		K ₂ O		Cloreto de potássio	
	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹	g planta ⁻¹	kg ha ⁻¹
0% fert s/irrig.	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
0% fert c/irrig.	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33% fertirrig.	10,7	53,3	23,8	118,4	5,3	26,5	8,8	44,2
66% fertirrig.	21,3	106,7	47,3	237,1	10,7	53,5	17,8	89,2
100% fertirrig.	32,0	160,0	71,1	355,6	16,0	80,0	26,7	133,3
133% fertirrig.	42,7	213,3	94,9	474,0	21,3	106,5	35,5	177,5
100% conv. s/irr.	32,0	160,0	71,1	355,6	16,0	80,0	26,7	133,3
100% conv. c/irr.	32,0	160,0	71,1	355,6	16,0	80,0	26,7	133,3

Exceto o K, que no primeiro ano foi aplicado em apenas 4 vezes, nos 4 primeiros meses a partir de setembro, as demais fertirrigações ocorreram semanalmente, sendo a quantidade total parcelada igualmente a cada aplicação.

5.2.3 Parcela experimental

Cada parcela foi constituída de quatro linhas com seis plantas por linha, sendo considerado como parcela útil as duas linhas centrais desprezando as plantas da extremidade de cada linha (oito plantas úteis por parcela). Cada tratamento tinha 4 repetições.

5.3 Características e condução da cultura

5.3.1 Características da cultura

A cultivar utilizada foi a Catuaí Vermelho, linhagem IAC-81, por ser uma das plantadas na região de Botucatu e São Manoel e foi comprada na Cooperativa de Cafeicultores de São Manoel.

A cultivar apresenta porte baixo, internódios curtos ramificação secundária abundante, frutos vermelhos de maturação média a tardia, sementes de tamanho médio, peneira média 16, suscetível a ferrugem. Indicado para plantios adensados e ou em renque. Ótima qualidade de bebida.

O espaçamento adotado foi de 2,5 m entre linhas e 0,8 m entre plantas, com uma densidade de 5000 plantas por hectare. O espaçamento de 2,5 m entre linhas permite a circulação de um trator cafeeiro e evita podas precoces na fase de formação e na fase adulta faz um fechamento ajudando a controlar ervas daninhas e permitindo a passagem de pessoas. A distância de 0,8 m entre plantas também evita podas precoces e foi escolhida em função do espaçamento do gotejador. Além do que para minimizar os custos com a fertirrigação devem-se adotar práticas de cultivo intensivo como o plantio adensado.

5.3.2 Condução da cultura

Foram realizadas 3 capinas anualmente no período de outubro a abril para controle de plantas daninhas, utilizando capina manual e aplicação de herbicidas. O controle de pragas e doenças foi realizado preventivamente com fungicidas e inseticidas de ação sistêmica. A adubação potássica e adubação fosfatada foram realizadas de acordo com a análise do solo sendo a potássica feita no decorrer do experimento e a fosfatada na implantação do experimento. Foi realizada a aplicação de micronutrientes via fertirrigação para corrigir deficiências. A fonte de nitrogênio utilizada foi a uréia e a de potássio foi o cloreto de potássio vermelho no primeiro ano e cloreto de potássio branco no segundo ano para evitar entupimentos e facilitar os trabalhos de fertirrigação.

5.3.3 Cronograma das atividades.

O cronograma de atividades realizadas está descrito na Tabela 11.

5.3.4 Cronograma das atividades detalhado

1. Foram feitos terraços embutidos em nível na área do experimento por meio de trator de esteira com lâmina, pois o local possui 12% de declividade.
2. O preparo do solo consistiu na aração com arados de discos, distribuição de calcário na dose de $2,7 \text{ ton ha}^{-1}$, gradagem para incorporação do solo, apesar da saturação de bases estava alta o pH estava muito baixo e realizou-se esta calagem para elevar o pH.
3. Foram feito sulcamento para distribuição dos adubos, na distância de 2,5m entre sulcos.
4. Foi aplicado na adubação de plantio por metro linear de sulco: 8 litros de esterco de curral curtido; 6 litros de composto orgânico (cama de galinhas e restos culturais); 400 g de calcário moído; 171,5 gramas de termofosfato (Yoorim) e 150 gramas de super simples.
5. O plantio em covas nos sulcos foi realizado nos dias 2 e 3 de abril de 2001.
6. As coletas compostas de solo foram realizadas com trado de rosca a profundidade de 20 e 40 centímetros, na linha de plantio e entre plantas.
7. As análises realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Recursos Naturais, setor de Ciência do Solo da FCA.
8. No período de abril a agosto foram realizadas apenas irrigações para o pegamento das mudas de uma forma uniforme para todos os tratamentos.
9. Foram realizadas fertirrigações com frequência semanal seguindo os tratamentos.
10. Foram aplicadas adubações convencionais mensalmente na dose de 4 g cova^{-1} de N e 20 g m^{-1} de K_2O no primeiro ano e no segundo ano 4 aplicações de 8 g cova^{-1} de N e 5 g m^{-1} de K_2O a cada 45 dias no período chuvoso que vai de setembro a fevereiro, totalizando 20 g m^{-1} .
11. Foram aplicados $23,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de ácido bórico e 20 kg ha^{-1} de sulfato de zinco parcelado em três aplicações quinzenais, via fertirrigação e via convencional, conforme os tratamentos.
12. Para o controle de plantas daninhas foi aplicado nas ruas o herbicida sistêmico glifosato (Glifosato) na dose de 6 L ha^{-1} .
13. Foi feito controle manual de plantas daninhas nas linhas de plantio através de capinas manuais.

14. As aplicações de inseticidas e fungicidas sistêmicos foram realizadas preventivamente para o controle de pragas e doenças. Na primeira aplicação foi utilizado Tebuconazole (Folicur 500) para controle de ferrugem e cercosporiose, 1 litro do produto por hectare, na demais foi aplicado Triadimenol mais Disulfuton (Baysiston) na quantidade de 12 g planta⁻¹.

15. A medição indireta de clorofila foi realizada utilizando o medidor portátil Chlorophyll Meter, modelo SPAD-502.

16. A medição da altura das plantas foi feita bimestralmente com trena de madeira sendo fixadas suas articulações. As medições dos diâmetros dos caules das plantas, foram realizadas bimestralmente com paquímetro digital a 10cm de altura do solo.

17. As folhas foram coletadas periodicamente para análise do teor de nitrogênio e determinação da área e massa seca.

18. As análises foram realizadas no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Recursos Naturais, setor de Ciência do Solo da FCA.

19. A colheita foi realizada no pano e, logo em seguida, foram pesados os rendimentos em peso fresco com balança digital, com divisão mínima de 5 gramas.

20. A secagem foi feita dentro de estufa de vidro.

21. A transformação para unidade padrão 12% foi feita através de coleta de 2 amostras e secas em estufa a 105°C para se obter a produtividade, no Laboratório de Nutrição de Plantas do Departamento de Recursos Naturais, setor de Ciência do Solo da FCA.

5.4 Equipamento e manejo da irrigação

Foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento (Tubogotejador “Chapin”), com quatro linhas de irrigação por parcela (uma por fileira de plantas) conectadas às linhas de derivação (tubo de polietileno com diâmetro externo de 25 mm) por meio de conectores de encaixe dentado de plástico, sendo que as 4 repetições de cada tratamento eram unidas e abastecidas por uma linha de derivação independentemente dos demais tratamentos e controladas por um registro de esfera de ¾” (um por tratamento, exceto o tratamento 1 e 7 que recebiam apenas irrigação) na saída do cabeçal de controle. Portanto os tratamentos eram fertirrigados e irrigados independentemente uns dos outros (Figuras 1 e 2).

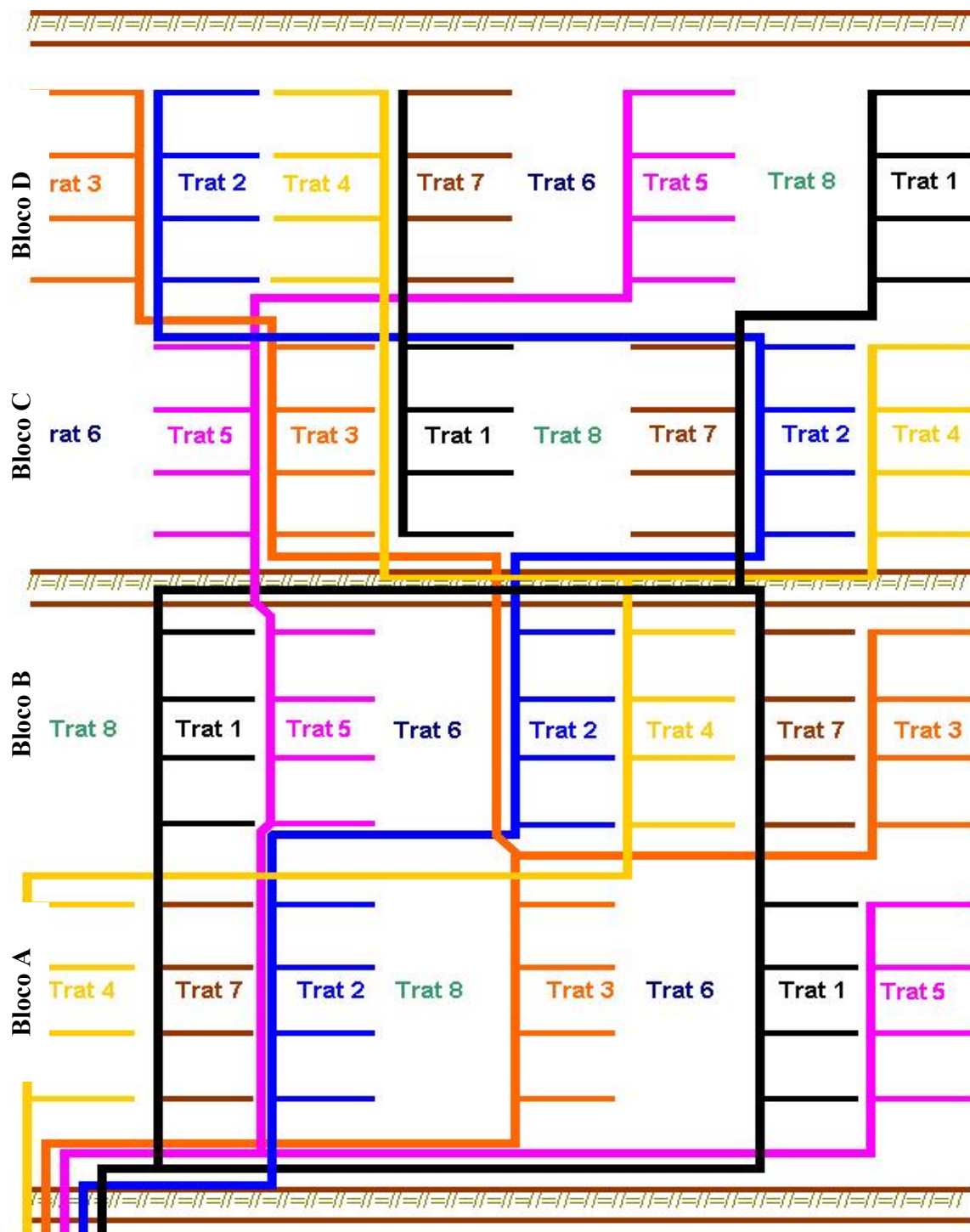


Figura 1 Esquema da distribuição dos tratamentos na área experimental e esquema de irrigação do experimento.

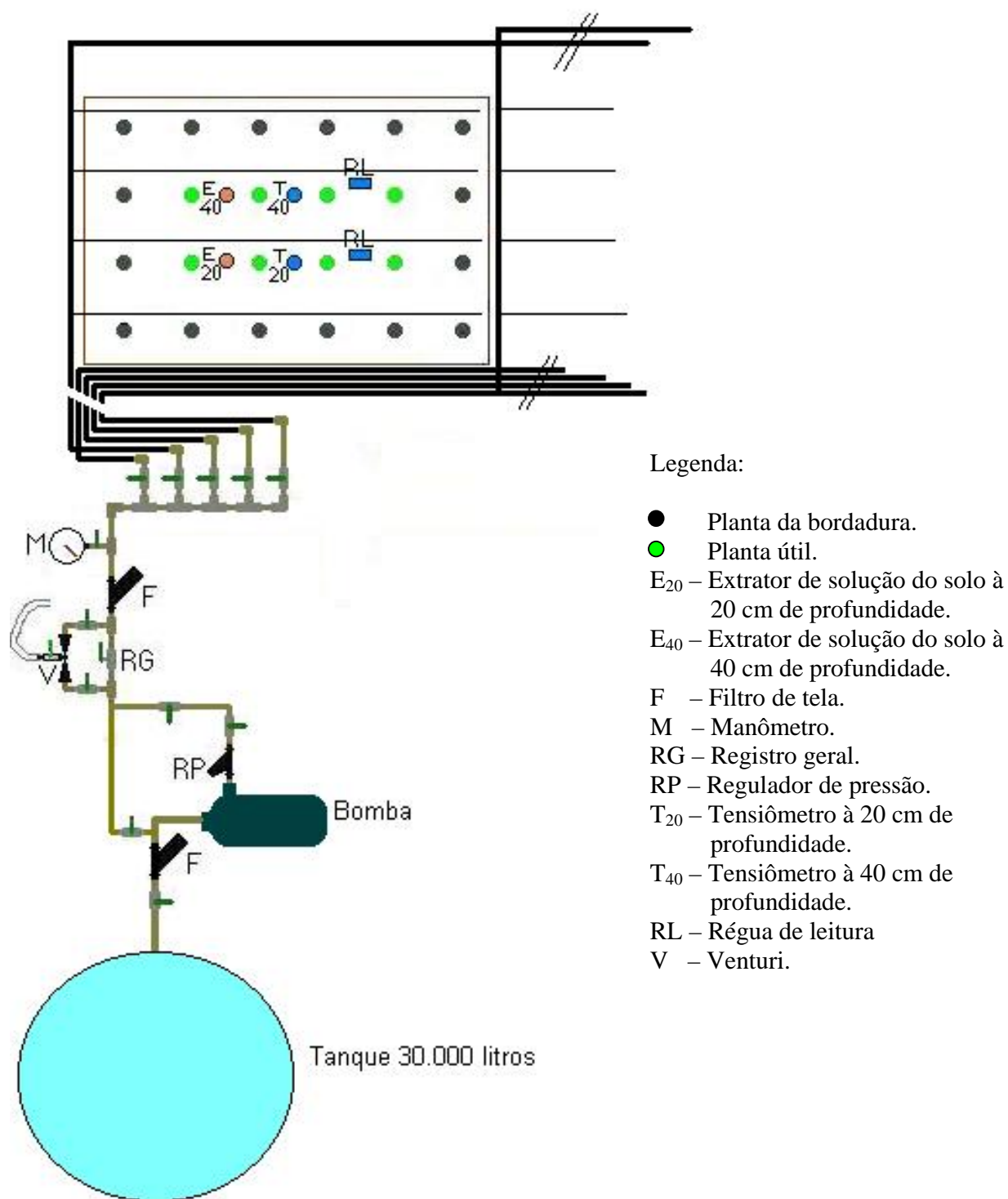


Figura 2 Esquema da parcela experimental com a posição dos extratores e tensiômetros a 20 e 40cm e estação de controle.

O suprimento de água ao sistema provinha de um reservatório de 30.000 litros, abastecido por uma linha de adução de tubos de alumínio de engate rápido ligado a uma bomba de 25 CV que fazia adução de uma represa, quando o reservatório estava vazio. Para a fertirrigação e a irrigação utilizava-se uma bomba trifásica de 1,5 CV, cuja pressão foi mantida adequada por um regulador de pressão, entre o tanque e a bomba havia um registro de gaveta e um pré-filtro de tela, após a bomba um regulador de pressão, um cavalete com venturi, filtro de discos, um manômetro e os registros de esfera de cada linha de derivação um por tratamento exceto os tratamentos 1 e 7, ambos controlados por apenas um registro pois recebiam apenas água de irrigação (Figura 2).

O tubogotejador utilizado apresenta um labirinto integrado com pré-filtro interno e apresenta as seguintes características:

Diâmetro interno = 16,5mm

Espessura da parede = 0,1524 mm

Pressão de serviço = 30 a 110 kPa

Pressão recomendada = 50 a 80 kPa

Pressão de ruptura = acima de 400 kPa

Espaçamento de gotejadores = 20 cm

Vazão nominal a 80 kPa = 4,0 L h⁻¹ m⁻¹

O manejo da irrigação foi baseado na leitura de tensiômetros instalados em cada parcela nas profundidades de 13 (camada de 0 a 20 cm) e 33 (camada de 20 a 40 cm), sendo que eram realizadas irrigações 1 vez por semana ou sempre que os tensiômetros apresentavam potencias matriciais inferiores à -41,4 kPa, medido na camada de 0 a 20 cm na fase inicial de desenvolvimento da cultura, e inferior a -72,2 kPa na camada de 20 a 40 cm nas fases posteriores, mantendo desta forma a umidade do solo próximo à capacidade de campo. Valores estes definidos conforme Santinato et al. 1996, como sendo a metade da água disponível no solo (AD), definida como sendo a umidade retida no solo na zona radicular entre a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, considerado como água facilmente disponível para o cafeeiro (AFD).

Para se realizar a fertirrigação foi utilizado um injetor de fertilizantes do tipo Venturi (Figura 2). A fertirrigação foi realizada durante todo o ano e com frequência semanal.

Para o manejo da irrigação foram elaboradas as curvas de retenção da água no solo utilizando-se seis amostras de solo deformadas, colhidas na área experimental às camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm. As amostras foram submetidas a diferentes pressões na câmara de pressão de Richards, para obtenção dos dados necessários à determinação da curva característica do solo. As curvas foram ajustadas pelo modelo de van Genuchten (1980) utilizando-se o software Soil Water Retention Curve (SWRC) proposto por Dourado Neto (1990), onde o teor de água no solo em ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) é dado por:

$$\theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{[1 + (\alpha\Psi)^n]^m} \quad (2)$$

em que:

θ = teor de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

α , m , n = constantes empíricas;

θ_r = teor de água residual ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

θ_s = teor de água no solo saturado ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ψ = potencial matricial (kPa).

Os valores dos parâmetros utilizados na equação 2 para as camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm são apresentados nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12. Parâmetros do modelo de van Genuchten, estimados pelo SWRC para as profundidades de 20 e 40 cm.

Profundidade	α	m	n	θ_r	θ_s	r^2	Prob >F
0 a 20 cm	0,0045	5,6042	1,0201	0,227	0,390	0,992	0,0061
20 a 40 cm	0,0007	6,3165	0,5738	0,239	0,400	0,998	0,0018

O momento de irrigação foi definido pelo potencial mátrico da água no solo, medido por tensiômetros de coluna de mercúrio, instalados na linha de plantio a 40 cm do caule da planta, e a 13 (camada de 0 a 20 cm) e 33 cm (camada de 20 a 40 cm) de profundidade.

Tabela 13 Teor de água no solo, medido e estimado através do modelo de van Genuchten para as camadas de 0 a 20 e 20 a 40 cm.

Potencial matricial Ψ (kPa)	Teor de água no solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)			
	Profundidade de 0 a 20 cm		Profundidade de 20 a 40 cm	
	Medido	Estimado	Medido	Estimado
0	0,390	0,390	0,400	0,400
-10	0,351	0,356	0,353	0,352
-20	0,341	0,330	0,335	0,334
-30	0,302	0,309	0,318	0,323
-50	0,282	0,281	0,311	0,307
-600	0,230	0,227	0,248	0,247
-1000	0,228	0,227	0,240	0,243
-15000	0,227	0,227	0,240	0,239

Antes do início do experimento avaliou-se a uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação utilizado, medindo-se a vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais e as pressões de funcionamento no início de cada linha de derivação. A uniformidade de distribuição foi avaliada pelo coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), conforme Bernardo (1989), obtido pela equação:

$$CUD = \frac{\text{média de } \frac{1}{4} \text{ das menores vazões}}{\text{média de todas as vazões}} \times 100 \quad (1)$$

5.5 Parâmetros avaliados

5.5.1 Altura da planta

A altura das plantas foi determinada medindo-se o comprimento do caule a partir do colo da planta até o último par de folhas, através de uma régua graduada. As avaliações foram realizadas bimestralmente e os resultados expressos em centímetros.

5.5.2 Diâmetro do caule

Para a determinação do diâmetro de caule foi utilizado um paquímetro, tomando como referência 10 cm acima do colo da planta. As avaliações foram realizadas bimestralmente e os resultados expressos em milímetros.

5.5.3 Índice Relativo de Clorofila

O Índice Relativo de Clorofila (IRC) foi determinado utilizando um medidor portátil Chlorophyll Meter, modelo SPAD-502 (Soil and Plant Analysis Development) da Minolta Câmera Co., Osaka, Japão. As leituras foram realizadas quinzenalmente no período da manhã entre 9 e 10 horas, sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar, em 4 plantas por parcela. Antes de realizar as leituras o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura (“reading checker”) de acordo com as recomendações do manual. Em cada planta foi feita a leitura em dois pontos (um de cada lado da nervura principal da folha) de duas folhas (terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice) dos quatro quadrantes da planta num total de 16 leituras por planta. Os dois pontos amostrados por folha estavam localizados a 0,6 mm da margem da lâmina da folha, distância fixada pelo regulador de profundidade do aparelho. A leitura é feita com uma leve pressão sem causar injúrias à folha.

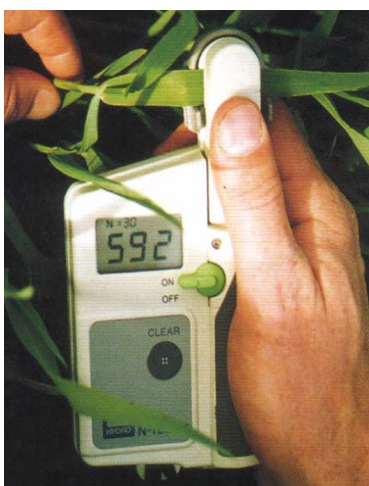


Figura 3 Clorofilômetro (SPAD-502, Minolta).

5.5.4. Teor de N na folha

Logo após a medição do índice relativo de clorofila, as folhas amostradas de 4 plantas/parcela foram imediatamente coletadas, acondicionadas em sacos de papel para posterior análise do teor de N segundo a metodologia descrita por Malavolta et al. (1997) no Laboratório de Nutrição de Plantas da do Departamento de Recursos Naturais, setor de Ciência do Solo da FCA.

5.5.5 Determinação da área foliar e massa seca.

As folhas utilizadas para determinação do Índice Relativo de Clorofila foram analisadas no medidor de área foliar, modelo AAM-8, fabricado pela Hayashi – Denkoh CO. Após essa determinação as folhas foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 60°C até atingir massa constante, para determinação da massa seca. O Peso Específico da Folha (PEF), foi calculado pela divisão da fitomassa da folha pela área foliar. O PEF foi utilizado como um indicativo da espessura da folha.

5.5.6 Produtividade

Para a avaliação da produtividade foram colhidos os grãos das parcelas experimentais (4 plantas por parcela), sendo a umidade corrigida para 12% de umidade, e os valores convertidos para a produtividade de café beneficiado (sacas de 60 kg ha⁻¹).

Foi avaliada a produção de grãos de café no pano das oito plantas de cada subparcela. As quantidades de café beneficiado, por parcela útil, foram convertidas em produção em sacas de 60 kg por hectare.

5.5.7 Características químicas do solo

Foram coletadas amostras compostas de 6 pontos de solo experimental, com trado de rosca, nas camadas de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm no fim de cada ano de cultivo, na

linha de plantio, a fim de serem avaliadas as características químicas deste solo (pH, P, K, Al, Ca, Mg e V%). Foram realizadas análises segundo recomendação de Raij et al. (1997).

5.5.8 Teores de nutrientes nas plantas

Foram coletadas amostras de folhas de 4 plantas por parcela coletando-as no terço médio e o terceiro par de folhas, no primeiro ano na época de floração e no segundo logo após a colheita que em seguida ocorreu a floração. As análises foram realizadas segundo metodologia citada por Malavolta et al. (1997) para se verificar o teor médio de nutrientes nos cafeeiros (N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn).

5.6 Tratamento estatístico

Os estudos estatísticos das variáveis, foram processados pelo programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, 1997) com nível de significância de 5%, sendo que os 7 graus de liberdade para tratamentos foram decompostos, sendo dos 4 possíveis, 3 foram utilizados para o teste F para regressão até o terceiro grau e 3 graus de liberdade utilizados para contrastes ortogonais entre os tratamentos convencionais e os fertirrigados com a dose recomendada. Para verificar as diferenças significativas entre a testemunha e os demais foi utilizado o teste de Dunnet. Foi utilizado o teste de Tukey para comparar todos os tratamentos de uma maneira qualitativa, sem se preocupar com as dose intermediárias advindas da regressão, com o fim de saber quais os tratamentos foram superiores aos demais.



Figura 4 Vista do cafeeiro aos 12 meses de plantio sendo irrigado.



Figura 5 Vista do cafeeiro aos 12 meses e do tensiômetro utilizado.



Figura 6 Vista de umas das floradas ocorridas aos 17 meses



Figura 7 Vista do cafeeiro carregado aos 23 meses, que recebeu a dose máxima de N e K.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Fatores climáticos.

No período do experimento, de 2 de Abril de 2001 a 30 de Junho de 2003, ocorreram déficits hídricos anuais não superiores a 106,5mm, o que não colocaria a região em área marginal a cafeicultura (déficit superior a 150mm) (IBC, 1981 e Haarer, 1962), como mostram as Tabelas 14 e 15 e as Figuras 8 a 10.

Tabela 14 Dados climáticos médios e balanço hídrico no ano de 2001 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.

Meses	Nº de dias	T oC méd	P mm total	N horas insol.	I	a	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP mm	NEG.AC mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	30	23,6	322,2	13,4	10,5	2,2	117	205	0	50	0	117	0	205
Fev	28	23,9	278,2	13,0	10,7	2,2	110	169	0	50	0	110	0	169
Mar	31	23,3	156,6	12,5	10,3	2,2	110	47	0	50	0	110	0	47
Abr	30	22,7	24,9	11,8	9,9	2,2	95	-70	-70	12	-38	63	32	0
Mai	31	17,6	91,0	11,2	6,7	2,2	53	38	0	50	38	53	0	1
Jun	30	16,7	56,9	10,7	6,2	2,2	44	13	0	50	0	44	0	13
Jul	31	17,3	46,1	10,6	6,5	2,2	48	-2	-2	48	-2	48	0	0
Ago	31	18,0	53,8	10,9	7,0	2,2	54	-1	-3	47	0	54	0	0
Set	30	18,5	87,5	11,5	7,2	2,2	59	29	0	50	3	59	0	26
Out	31	20,0	142,7	12,2	8,2	2,2	77	66	0	50	0	77	0	66
Nov	30	21,8	117,7	12,9	9,3	2,2	95	23	0	50	0	95	0	23
Dez	31	20,7	221,3	13,3	8,6	2,2	90	131	0	50	0	90	0	131
Totais		244,1	598,4	144,0	101,0	26,6	950	649		558	0	918	32	681
Médias		20,3	133,2	12,0	8,4	2,2	79	54		47		77	3	57

Onde. ALT = alteração no armazenamento de água no solo.

ETR = evapotranspiração real.

DEF e EXC = representam a déficit e o excedente hídrico.

I e a = correções em função da temperatura média.

Tabela 15 Dados climáticos médios e balanço hídrico no ano de 2002 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.

Meses	Nº de dias	T oC méd	P mm total	N horas insol.	I	a	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP mm	NEG.AC mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	30	21,4	271,3	13,4	9,0	2,3	93	178	0	50	0	94	0	178
Fev	28	20,7	209,5	13,0	8,6	2,3	79	131	0	50	0	79	0	131
Mar	31	23,9	150,0	12,5	10,7	2,3	116	34	0	50	0	116	0	34
Abr	30	22,8	2,8	11,8	9,9	2,3	95	-92	-92	8	-42	45	50	0
Mai	31	18,2	103,7	11,2	7,1	2,3	56	48	0	50	42	56	0	6
Jun	30	18,6	0,0	10,7	7,3	2,3	54	-55	-55	17	-33	33	21	0
Jul	31	15,7	40,7	10,6	5,7	2,3	38	3	-47	19	3	38	0	0
Ago	31	19,8	76,4	10,9	8,0	2,3	66	10	-26	30	10	66	0	0
Set	30	18,2	65,1	11,5	7,1	2,3	56	9	-13	39	9	56	0	0
Out	31	24,1	52,7	12,2	10,8	2,3	115	-63	-75	11	-28	80	35	0
Nov	30	21,3	178,9	12,9	9,0	2,3	89	90	0	50	39	89	0	51
Dez	31	22,4	192,0	13,3	9,7	2,3	107	86	0	50	0	107	0	86
Totais		247,1	343,	144,0	102,5	27,1	965	378		424	0	858	107	485
Médias		20,6	111,9	12,0	8,6	2,3	80	32		35		72	9	40

Tabela 16 Dados climáticos médios e balanço hídrico no ano de 2003 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.

Meses	Nº de dias	T oC méd	P mm total	N horas insol.	I	a	ETP Thornthwaite 1948	P-ETP mm	NEG.AC mm	ARM mm	ALT mm	ETR mm	DEF mm	EXC mm
Jan	30	22,0	412,0	13,4	9,4	1,3	118	294	0	50	0	118	0	294
Fev	28	24,5	127,6	13,0	11,1	1,3	124	3	0	50	0	124	0	3
Mar	31	21,7	179,8	12,5	9,2	1,3	112	68	0	50	0	112	0	68
Abr	30	21,0	293,5	11,8	8,8	1,3	98	195	0	50	0	98	0	195
Mai	31	16,8	52,9	11,2	6,3	1,3	72	-19	-19	34	-16	69	3	0
Jun	30	18,4	23,7	10,7	7,2	1,3	75	-51	-70	12	-22	46	29	0
Jul	31	0,0	0,0	10,6	0,0	1,3	0	0	-70	12	0	0	0	0
Ago	31	0,0	0,0	10,9	0,0	1,3	0	0	-70	12	0	0	0	0
Set	30	0,0	0,0	11,5	0,0	1,3	0	0	-70	12	0	0	0	0
Out	31	0,0	0,0	12,2	0,0	1,3	0	0	-70	12	0	0	0	0
Nov	30	0,0	0,0	12,9	0,0	1,3	0	0	-70	12	0	0	0	0
Dez	31	0,0	0,0	13,3	0,0	1,3	0	0	-70	12	0	0	0	0
Totais		124,4	089,4	144,0	52,0	15,7	600	490		321	-38	567	32	560
Médias		10,4	90,8	12,0	4,3	1,3	50	41		27		47	3	47

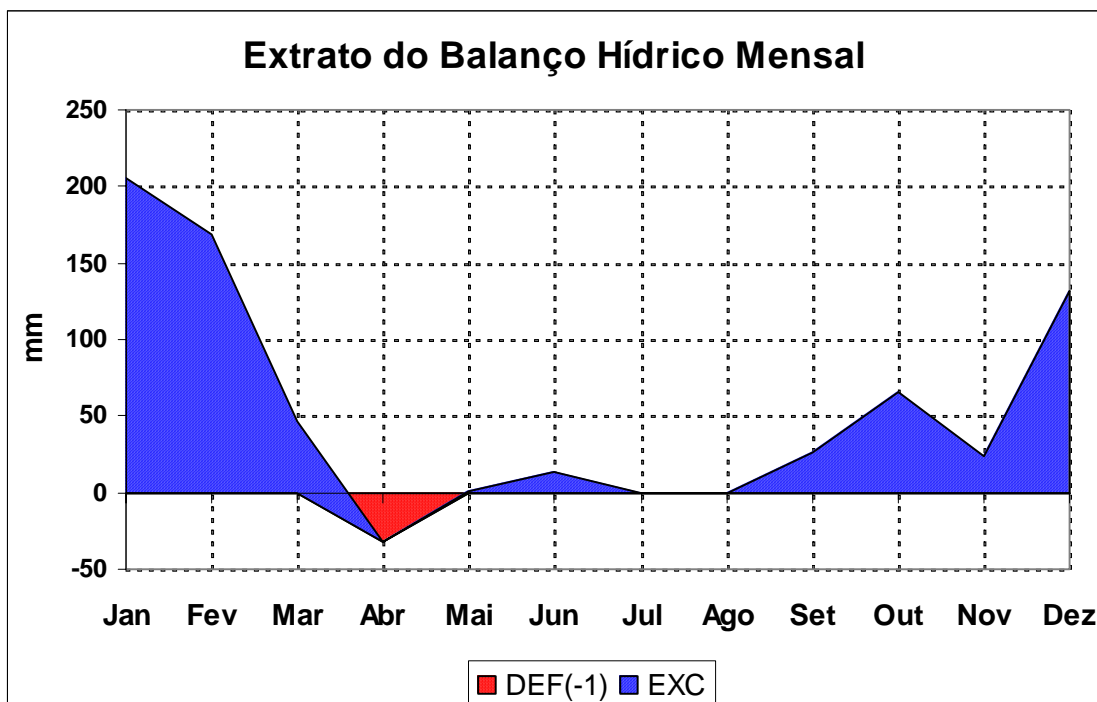


Figura 8 Deficiência hídrica e excedente hídrico ao longo do ano de 2001 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.

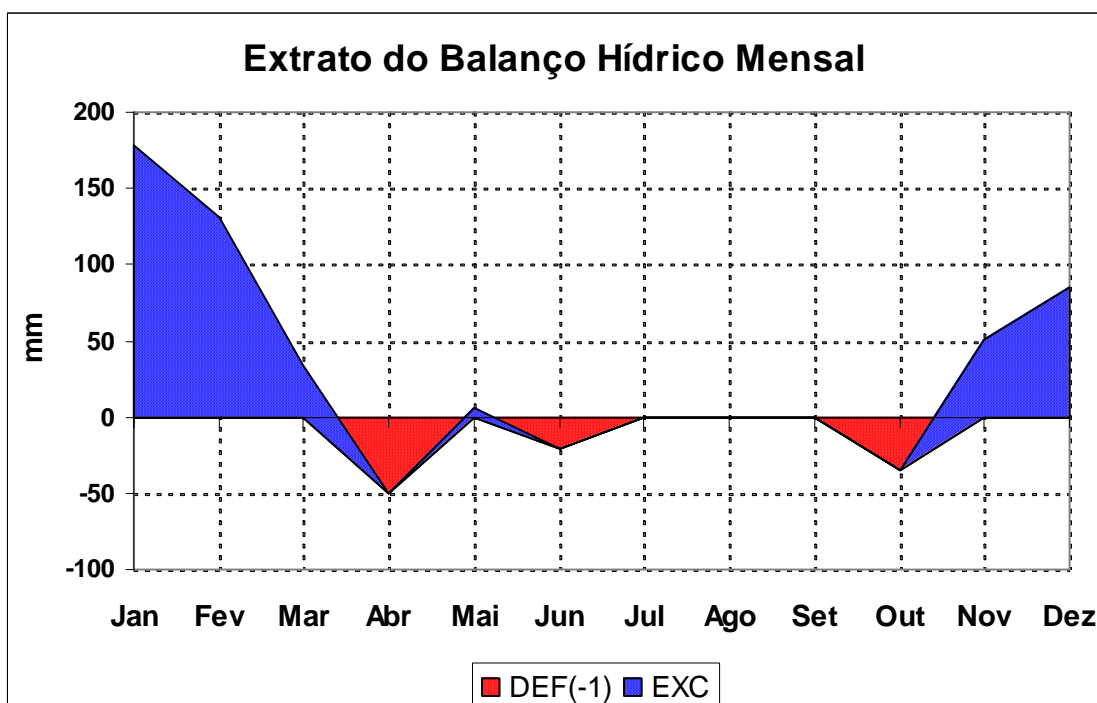


Figura 9 Deficiência hídrica e excedente hídrico ao longo do ano de 2002 na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.

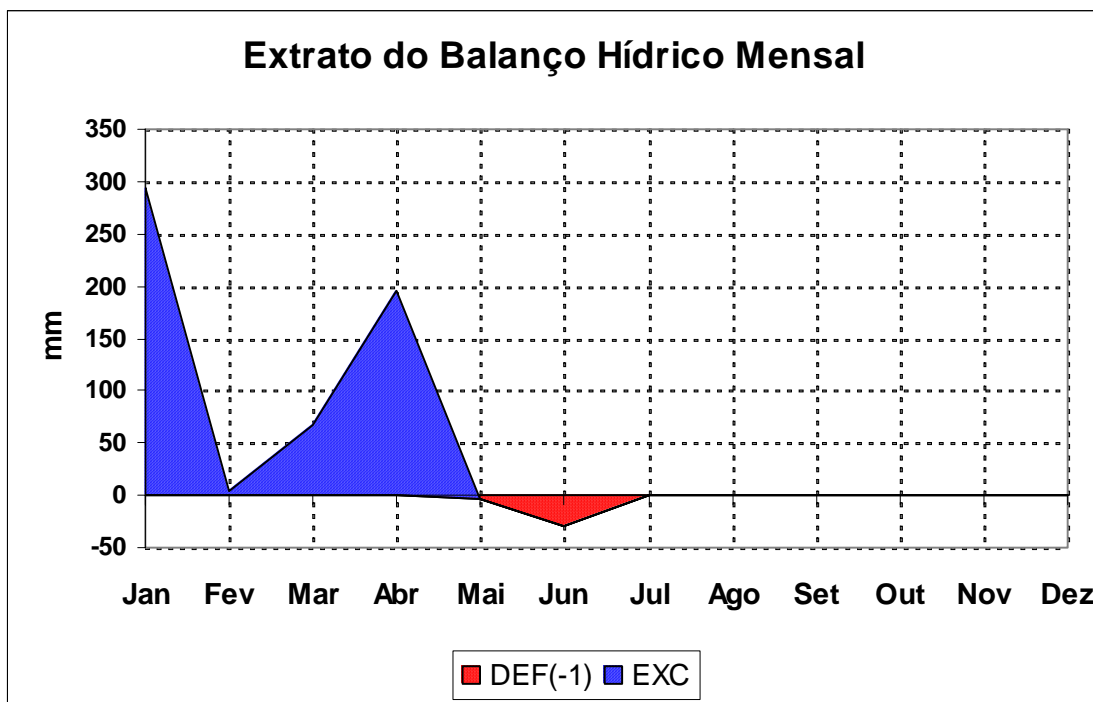


Figura 10 Deficiência hídrica e excedente hídrico ao longo do ano de 2003 (até junho – colheita) na FCA – UNESP – Campus de Botucatu – SP.

Portanto verificou-se que no ano de 2001 ocorreu um déficit hídrico de apenas 32 mm. O que não trouxe prejuízo ao desenvolvimento normal do cafeeiro. Já no ano de 2002 o déficit hídrico observado foi de 107 mm, o que poderia ocasionar algum prejuízo, mas este déficit ocorreu em períodos não consecutivos e em fases não muito importantes para afetar o desenvolvimento da planta. No último ano ocorreu apenas 32 mm de déficit hídrico no início da colheita sem, portanto, afetar a produtividade da lavoura cafeeira.

6.2 Avaliação dos sistemas de irrigação e fertirrigação

Os testes realizados em condições de campo, permitiram verificar que para a pressão de serviço utilizada de 80 kPa vazão média determinada por gotejador foi de $1,0 \text{ L h}^{-1}$, ou seja, $4 \text{ L h}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$. A 70 kPa, a vazão média determinada por gotejador foi de $1,1 \text{ L h}^{-1}$.

O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) de água do sistema de gotejamento encontrada foi de 90 %, significando que a água foi uniformemente distribuída nas parcelas, permitindo uma aplicação de fertilizante mais uniforme na área.

Bernardo (1989) afirma que, na prática, o limite mínimo de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) aceitável em um sistema de irrigação por gotejamento é de 80%.

Os valores observados de uniformidade de distribuição dos fertilizantes geralmente, são proporcionais à uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação (Vieira, 1994).

De acordo com Sousa & Sousa (1993), citados por Oliveira (2002), a uniformidade de distribuição de fertilizante, na água de irrigação depende da própria uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação. Desse modo, a quantidade aplicada de fertilizante é função do volume de água aplicado pelos emissores (Keller & Karmeli, 1975).

Sampaio et al. (1997), também citados por Oliveira (2002), relatam que para avaliar a distribuição de fertilizantes em sistemas de irrigação, a maioria dos autores utiliza os mesmos coeficientes de uniformidade para a aplicação de água; sendo a variação na quantidade de adubos aplicados bastante semelhante à variação do volume de água coletado em cada emissor, dependendo assim do coeficiente de variação do emissor.

6.3 Análise de solo, foliar e crescimento do cafeeiro no primeiro ano de cultivo

6.3.1 Análise dos elementos e características químicas do solo após o primeiro ano

Para avaliar as características químicas do solo foram coletadas, após a colheita, amostras compostas, de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm de cada parcela e analisadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da FCA/UNESP.

As características químicas do solo da camada de 0 a 20cm, após o primeiro ano de cultivo (Tabela 17) apresentaram diferenças significativas entre os blocos para as características pH, matéria orgânica (M.O.), fósforo (P_{resina}) e Cálcio (Ca), refletindo sobre a

soma de bases (SB). Estas diferenças provavelmente se deveram as diferenças de solo devido ao seu preparo, com a construção de terraços embutidos em nível. A correção realizada no plantio foi diferenciada após um ano da aplicação dos tratamentos devido às diferenças físicas dos blocos interagidas com os tratamentos.

Tabela 17 Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 0 a 20cm após o primeiro ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIACÃO	G L	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
Probabilidade > F											
Blocos	3	0,002**	0,001**	0,042*	0,117	0,385	0,027*	0,068	0,031*	0,067	0,008
Tratamentos	7	0,010*	0,700	0,128	0,146	0,130	0,217	0,102	0,161	0,416	0,063
100% fertirrig. x 100% conv s/irr	(1)	0,054	0,411	0,044*	0,104	0,231	0,193	0,318	0,213	0,441	0,087
100% fertirrig. x 100% conv c/irr	(1)	0,021*	0,582	0,104	0,227	0,064	0,126	0,035*	0,081	0,139	0,095
100%conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0,654	0,783	0,663	0,652	0,480	0,808	0,233	0,589	0,461	0,963
Regressão linear	(1)	0,015*	0,300	0,966	0,071	0,009**	0,623	0,589	0,625	0,461	0,136
Regr. quadrática	(1)	0,652	0,141	0,896	0,661	0,289	0,850	0,939	0,905	0,795	0,705
Regr. Cúbica	(1)	0,713	0,951	0,546	0,828	0,964	0,637	0,578	0,603	0,630	0,647
Q.M.resíduo	21	0,218	6,400	11292,488	116,674	0,118	596,543	107,329	1163,805	1022,417	224,524
Teste de Tukey											
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mgdm ⁻³							
							mmol _c dm ⁻³				
0% fert s/irrig.		5,2 ab	26	86	41	0,8	46	19	66	106	58
0% fert c/irrig.		5,1 ab	23	55	38	0,6	36	14	50	89	56
50% fertirrig.		4,8 ab	25	69	44	0,8	38	13	52	96	49
100% fertirrig.		4,7 ab	26	72	45	1,2	41	15	57	102	50
150% fertirrig.		4,3 b	26	29	52	1,2	26	8	35	87	37
200% fertirrig.		4,4 b	24	79	51	1,2	32	12	46	96	43
100% conv. s/irr.		5,4 ab	24	233	32	0,9	64	23	88	119	70
100% conv. c/irr.		5,5 a	25	200	35	0,7	69	32	101	136	69
Média		4,9	25	103	42	0,9	44	17	62	104	54
C.V. (%)		9,53	10,21	103,42	25,55	37,31	55,47	61,51	55,33	30,75	27,75

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Ao final do primeiro ano a dose recomendada aplicada via fertirrigação apresentou médias inferiores aos tratamentos com aplicação convencional para pH e Mg (com irrigação) e P (sem irrigação), para a camada de 0 a 20 cm.

Com relação ao pH estas diferenças foram devidas às diferentes doses de nitrogênio aplicadas na forma de uréia, o que ficou evidenciado com a significância do

quadrado médio da regressão linear para doses de fertilizantes, havendo uma correlação linear negativa, ou seja o pH no solo diminui inversamente proporcional ao aumento de dose de N na forma de uréia. Isto pode ser explicado uma vez que a uréia ao hidrolisar no solo e formar NH_4^+ que pode ser nitrificado liberando íons H^+ no solo. Caso o NH_4^+ seja absorvido pela planta, a mesma excreta H^+ para manter o equilíbrio elétrico, abaixando o pH da rizosfera (Bolan et al., 1990).

Analisando a Figura 11, verifica-se que dobrando a dose recomendada de N, na forma de uréia, abaixa-se o pH em 0,4 unidades, mudando-o de uma faixa de pH baixo para muito baixo segundo Raij, et al. (1997), se bem que segundo a equação de regressão o tratamento que não recebeu adubo mas recebeu irrigação, o patamar de classificação é o mesmo que o da utilização da dose recomendada, via fertirrigação, só que ambos estão nos limites inferior e superior respectivamente daquela classe. Observando porém as médias apresentadas na Tabela 17, verifica-se que os tratamentos que não receberam adubo encontram-se numa faixa de pH considerado médio. Contudo considerando os tratamentos qualitativamente e aplicando-se o teste de Tukey (Tabela 17), verificou-se que apenas os tratamentos que receberam adubos acima da dose recomendada diferiram do tratamento que recebeu adubo da forma convencional mas com irrigação, sendo que estes não diferem dos demais.

Aplicou-se o teste de Dunnet para comparar a testemunha (sem adubo e sem irrigação) e não foi constada nenhuma diferença entre esta e os demais tratamentos, inclusive para variável pH.

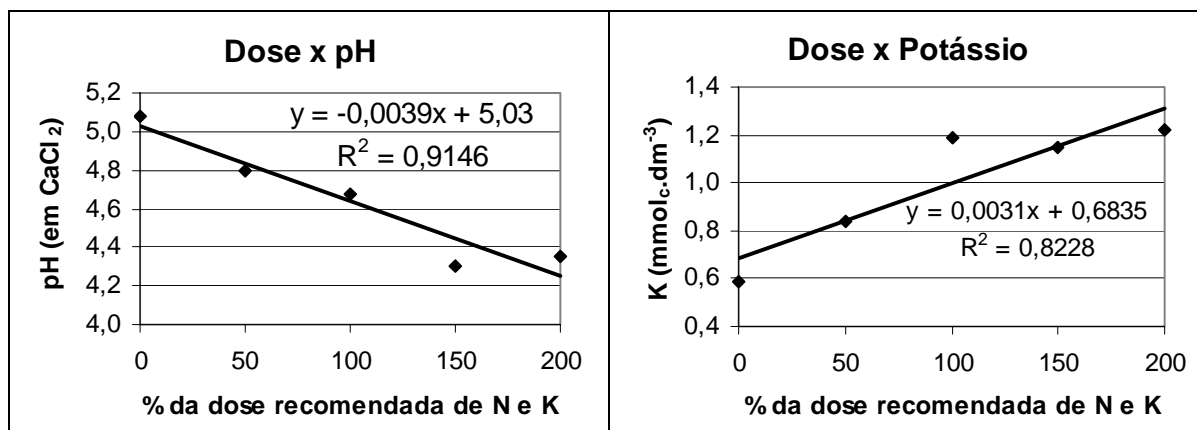


Figura 11 Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns nutrientes e características químicas do solo na camada de 0 a 20cm após o 1º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.

Analisando o pH, pelo contraste da dose recomendada via fertirrigação contra a aplicação convencional (Tabela 17), verificou-se que o pH foi menor com o uso da fertirrigação porque através desse sistema o adubo é aplicado de forma mais localizada em relação a adubação convencional, além disso, a uréia na fertirrigação é incorporada ao solo através da água e portanto esta é menos sujeita às perdas por volatilização. No método convencional, a aplicação é superficial e geralmente ocorre com pequenas incorporações ou até com nenhuma, mesmo porque as raízes do cafeeiro são muito superficiais e a incorporação em profundidades maiores que 5 cm, causariam injúrias ao sistema radicular.

Hoje na fertirrigação localizada em cafeeiro, principalmente no triângulo mineiro, a uréia tem sido a principal fonte de N empregada. Portanto, deve-se destacar que o uso contínuo de uma fonte de caráter ácido como a uréia pode promover reduções drásticas de pH na região do bulbo molhado, o que significa, alteração na disponibilidade de nutrientes para a planta, toxidez de Al, redução no sistema radicular e conseqüentemente menor produtividade.

Observou-se, pela Tabela 17, que os teores de fósforo foram diferentes significativamente entres os tratamentos que receberam a mesma dose, mas de formas diferentes via fertirrigação e via convencional. No entanto, estas variações devem ser atribuídas à amostragem uma vez que já no segundo ano de cultivo os valores para todos os tratamentos fertirrigados foram semelhantes aos obtidos nos tratamentos convencionais.

Para o potássio, como era de se esperar também ocorreu diferenças significativas para a regressão linear e esta foi positiva, ou seja, ao dobrar-se a dose recomendada de K aumentou-se seus teores no solo em $0,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, passando de $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ para $1,3 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, valores estes considerados baixos por Raij, et.al. (1997).

O teor de magnésio no solo na camada de 0 a 20cm no primeiro ano foi superior nas parcelas com aplicação da dose recomendada pelo modo convencional ($32 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) em relação a aplicação da dose recomendada via fertirrigação ($15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$), isto analisado pelo contraste direto entre os tratamentos aplicando o teste F, porém, ambos apresentaram médias de teores de Mg no solo considerados altos por Raij, et. al. (1997). O fato do teor de Mg ter sido inferior na fertirrigação em relação ao convencional provavelmente é devido a aplicação localizada de K na fertirrigação que deslocou no complexo de troca o Mg, promovendo uma lixiviação deste nutriente mais intensa no solo. Pode-se também atribuir em parte essa diferença ao abaixamento do pH promovido pela uréia via fertirrigação, pois Kiehl (1979) afirma que solos que têm pH abaixo de 5,0 terão deficiências de Ca, Mg, P, entre outros.

Os demais nutrientes e características do solo não apresentaram diferenças significativas na camada de 0 a 20cm no primeiro ano de cultivo.

Analisando os teores de nutrientes e as características químicas do solo na camada de 20 a 40 cm no primeiro ano de cultivo na Tabela 18, verificou-se que apenas o H+Al e a saturação de bases (V%) apresentaram alguma diferença significativa. Estas diferenças podem ser atribuídas ao efeito da acidez promovido pela uréia, que ainda na forma não hidrolisável, caminhou em profundidade, vindo reagir nessa camada mais profunda afetando esses parâmetros que expressam a acidez potencial (H+Al) ou a diminuição da % V.

Este efeito é de extrema importância no solo, uma vez que indica que um adubo com características ácidas como a uréia, além de afetar na camada arável, pode ter efeito negativo também em camadas mais profundas.

O teor de H+Al no solo na camada de 20 a 40 cm apresentou correlação linear positiva (Figura 12) entre este e as doses aplicadas via fertirrigação, ou seja, dobrando-se a dose recomendada há um acréscimo de $10 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, sendo que o tratamento que não recebeu adubo mas foi irrigado, pela equação apresentou valores de $39 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Tabela 18 Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 20 a 40cm após o primeiro ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIÇÃO	G L	PH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
Probabilidade > F											
Blocos	3	0,237	0,113	0,535	0,799	0,239	0,336	0,549	0,393	0,469	0,417
Tratamentos	7	0,381	0,714	0,618	0,216	0,152	0,461	0,536	0,464	0,612	0,224
100% fertirrig. x 100% conv s/irr	(1)	0,073	0,849	0,114	0,089	0,269	0,067	0,100	0,072	0,195	0,026*
100% fertirrig. x 100% conv c/irr	(1)	0,134	0,506	0,424	0,143	0,931	0,143	0,137	0,135	0,295	0,063
100% conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0,748	0,634	0,413	0,795	0,235	0,686	0,863	0,737	0,793	0,675
Regressão linear	(1)	0,169	0,733	0,260	0,027*	0,490	0,401	0,748	0,515	0,758	0,195
Regr. quadrática	(1)	0,611	0,719	0,229	0,891	0,516	0,336	0,394	0,359	0,319	0,410
Regr. cúbica	(1)	0,818	0,864	0,912	0,595	0,817	0,891	0,847	0,858	0,674	0,782
Q.M.resíduo	21	0,296	13,393	5178,196	181,250	0,164	466,137	147,161	1102,769	859,625	305,103
Teste de Tukey											
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmolc dm ⁻³ -----						
0% fert s/irrig.		4,6	26	56	42	1,3	36	15	53	95	47
0% fert c/irrig.		4,8	23	83	38	0,5	37	13	51	90	50
50% fertirrig.		4,7	23	30	42	0,5	28	9	38	80	45
100% fertirrig.		4,4	23	8	56	0,7	20	7	28	84	33
150% fertirrig.		4,3	23	9	48	0,7	20	7	27	75	35
200% fertirrig.		4,3	22	28	61	0,6	27	12	39	100	37
100% conv. s/irr.		5,1	22	92	39	1,0	50	22	72	112	63
100% conv. c/irr.		5,0	21	50	42	0,7	43	21	65	106	58
Média		4,634	22,750	44,563	46,125	0,738	32,563	13,313	46,469	92,563	45,969
C.V. (%)		11,74	16,09	161,48	29,19	54,90	66,30	91,13	71,46	31,68	38,00

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

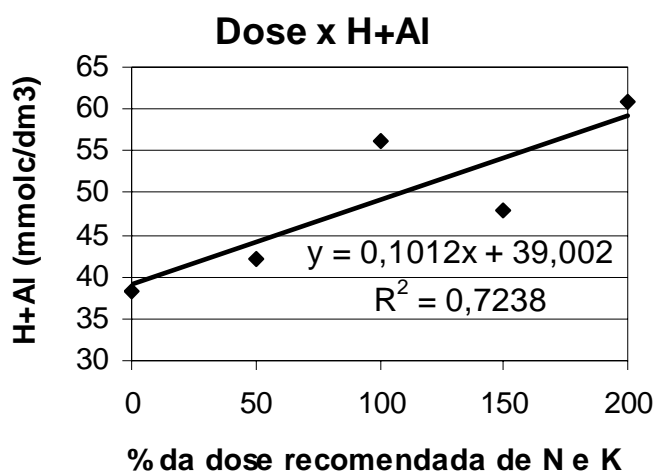


Figura 12 Relação entre a dose de fertilizante e o teor de H+Al na camada de 20 a 40cm após 1º ano de cultivo.

6.3.2 Avaliação dos nutrientes constituintes das folhas após o primeiro ano

Analisando os nutrientes constituintes das folhas do cafeeiro após o primeiro ano de cultivo (Tabela 19), verificaram-se diferenças significativas para blocos em quase todas as variáveis, exceto boro e ferro, pois este já é abundante no local do experimento, sendo a acertada a escolha e posicionamento dos blocos para a verificação das variâncias devidas exclusivamente aos tratamentos.

Tabela 19 Resumo da análise de variância dos elementos da análise das plantas no primeiro ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Probabilidade > F													
Blocos	3	0,028*	0,009**	0,005**	0,044*	0,000**	0,000**	0,088	0,000**	0,685	0,004**	0,046*	
Tratamentos	7	0,029*	0,673	0,000**	0,006**	0,002**	0,352	0,002**	0,396	0,676	0,295	0,275	
100% fertirrig. x 100% conv s/irrig	(1)	0,030*	0,106	0,341	0,600	0,047*	0,138	0,753	0,643	0,536	0,941	1,000	
100% fertirrig. x 100% conv c/irrig	(1)	0,030*	0,106	0,637	1,000	0,008**	0,261	0,070	0,358	0,670	0,506	0,210	
100% conv s/irrig x 100% conv c/irrig	(1)	1,000	1,000	0,637	0,600	0,408	0,704	0,126	0,643	0,846	0,554	0,210	
Regressão linear	(1)	0,005**	1,000	0,000**	0,639	0,002**	0,136	0,005**	0,072	0,405	0,281	0,449	
Regr. quadrática	(1)	0,071	0,530	0,290	0,057	0,434	0,204	0,007**	0,384	0,823	0,085	0,339	
Regr. cúbica	(1)	0,497	0,536	0,833	0,168	0,709	0,932	0,544	0,678	0,196	0,609	0,138	
Q.M.resíduo	21	3,341	0,016	2,185	0,440	0,112	0,034	11,091	0,565	76479,01	3178,77	0,673	
Teste de Tukey													
		g Kg ⁻¹						mg kg ⁻¹					
0% fert s/irrig.	28	1,2	12 bc	11 a	3,9 ab	2,0	37 a	7	105	203	5		
0% fert c/irrig.	26	1,3	11 c	10 ab	4,1 a	1,9	37 a	7	126	206	6		
50% fertirrig.	28	1,3	13 abc	9 b	3,6 abc	1,9	29 ab	7	291	233	6		
100% fertirrig.	30	1,4	14 abc	10 ab	3,7 abc	2,2	29 ab	7	247	285	6		
150% fertirrig.	29	1,3	16 a	9 b	3,3 bc	2,0	27 b	7	132	272	5		
200% fertirrig.	30	1,3	16 a	10 ab	3,3 bc	2,1	30 ab	8	391	236	6		
100% conv. s/irrig.	27	1,2	15 ab	10 ab	3,2 bc	2,0	30 ab	7	370	282	6		
100% conv. c/irrig.	27	1,2	15 ab	10 ab	3,0 c	2,1	34 ab	7	331	258	5		
Média	28	1,3	14	10	3,5	2,0	32	7	249	247	5		
C.V. (%)		6,56	9,88	10,61	6,81	9,61	9,02	10,52	10,84	111,12	22,85	15,44	

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Foram observadas diferenças significativas devido à aplicação dos tratamentos para os nutrientes N, K, Ca, Mg e B.

Verificou-se que houve maior acúmulo de N (Tabela 18) nas folhas do cafeeiro que receberam a dose recomendada em detrimento do tratamento que recebeu a mesma dose convencionalmente tanto com ou sem irrigação. Isto mostra que apesar da aplicação dos adubos, via fertirrigação, ter causado um aumento de pH, esta foi mais eficaz no acúmulo de N nas plantas e conseqüentemente favorecerá umas melhores condições fisiológicas, produtivas e reprodutivas no cafeeiro.

Foi observado também que o acúmulo de N no cafeeiro foi diretamente proporcional ao aumento das doses de N e K (Figura 13), assim segundo a equação de regressão, utilizando-se a dose recomendada, obter-se-á uma concentração de $28,4 \text{ g kg}^{-1}$ (concentração considerada adequada por Malavolta, 1993, e acima do adequado para Raij et al., 1997) dobrando-se a dose recomendada houve um acréscimo na concentração de N na folha do cafeeiro de $1,8 \text{ g kg}^{-1}$, elevando para $30,2 \text{ g kg}^{-1}$ (concentração ainda adequado por Malavolta, 1993, e acima do adequado para Raij et al., 1997) sendo que o tratamento que não recebeu adubo e foi irrigado obteve uma concentração de $26,6 \text{ g kg}^{-1}$ (marginal por Malavolta, 1993, e acima do adequado para Raij et al., 1997).

O teor de potássio nas folhas também apresentou uma correlação linear positiva com o aumento das doses de N e K, ou seja, pela equação de regressão a dose recomendada (via fertirrigação) promoveu um teor de K na folha de 14 g kg^{-1} (concentração considerada marginal por Malavolta, 1993, e inadequado para Raij et al., 1997), e dobrando-se haverá um acréscimo de 3 g kg^{-1} de K na folha, encontrando-se 17 g kg^{-1} (teor ainda marginal por Malavolta, 1993, e inadequado para Raij et al., 1997), sendo que naquele tratamento que não recebeu adubo, mas foi irrigado, o teor médio foi de 11 g kg^{-1} (teor deficiente segundo Malavolta, 1993, e inadequado para Raij et al., 1997). Apesar dos valores estarem pouco abaixo dos indicados pelos autores anteriormente citados, a amostragem de folhas ocorreu na véspera da florada (agosto) diferente do momento de amostragem recomendado por Raij et al. (1997), que seria dezembro.

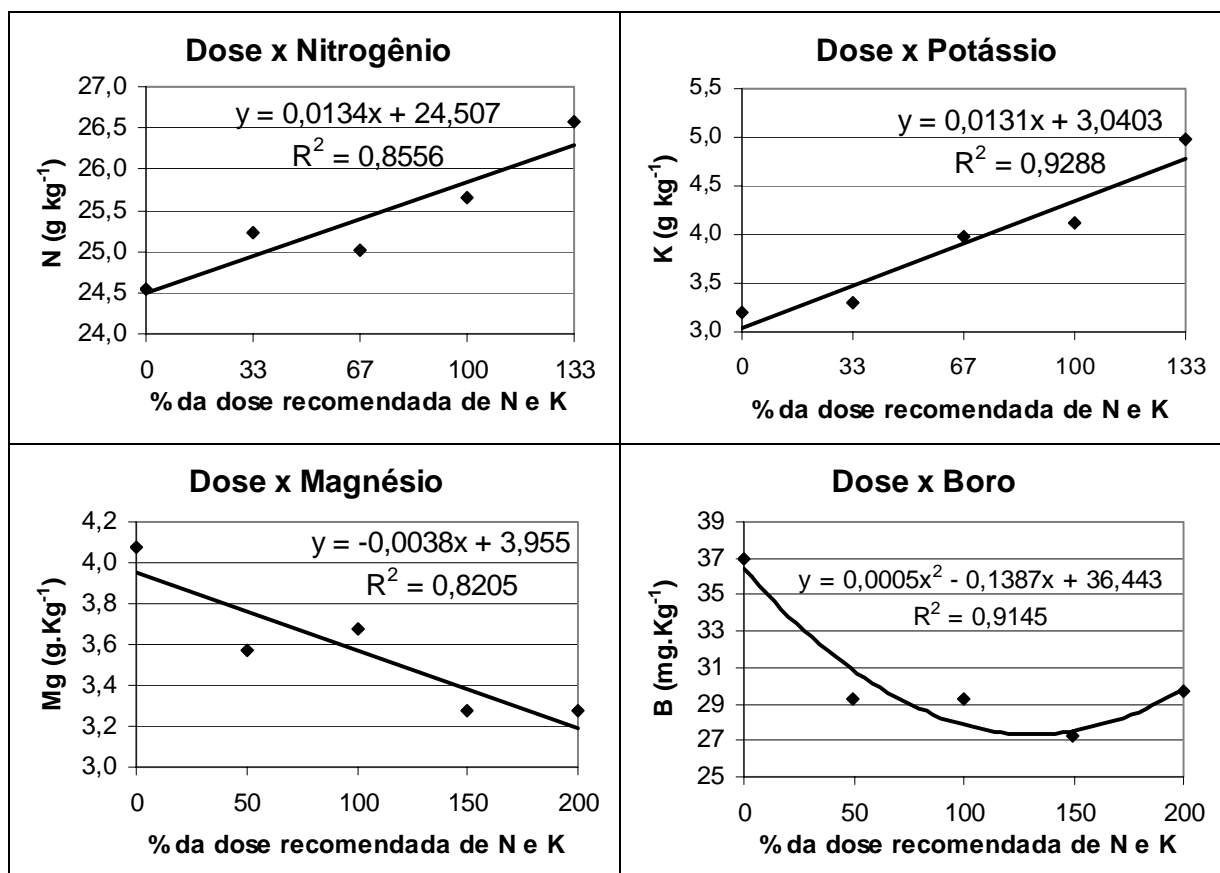


Figura 13 Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns elementos químicos constituintes da folhas do cafeeiro após o 1º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.

O nutriente Ca apesar de apresentar diferença estatística entre tratamentos, os valores são muito próximos ($2\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$).

O teor de magnésio na folha no primeiro ano apresentou diferenças significativas para os tratamentos que receberam a dose recomendada de N e K, sendo que o acúmulo nas folhas foi maior no tratamento fertirrigado (100%) em relação ao convencional (100%), mostrando maior eficiência de absorção pela planta, sugerindo que deve ocorrer diminuição no antagonismo com o K, relatado por Malavolta et al. (1986). Via de regra,

Tabela 20 Teste de Dunnet dos elementos da análise das plantas no primeiro ano de cultivo conforme os tratamentos aplicados.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
Probabilidade > F													
Blocos	3	0,028*	0,009**	0,005**	0,044*	0,000**	0,000**	0,088	0,000**	0,685	0,004**	0,046*	
Tratamento	7	0,029*	0,673	0,000**	0,006**	0,002**	0,352	0,002**	0,396	0,676	0,295	0,275	
Q.M. Resíduo	21	3,341	0,016	2,185	0,440	0,112	0,034	11,091	0,565	76479,01	3178,77	0,673	
Teste de Dunnet													
				g kg ⁻¹						mg kg ⁻¹			
0% fert s/irrig.	28	1,2	12	11	3,9	2,0	37	7	105	203	5		
0% fert c/irrig.	26	1,3	11	10	4,1	1,9	37	7	126	206	6		
50% fertirrig.	28	1,3	13	9*	3,6	1,9	29*	7	291	233	6		
100% fertirrig.	30	1,4	14	10	3,7	2,2	29*	7	247	285	6		
150% fertirrig.	29	1,3	16*	9*	3,3	2,0	27*	7	132	272	5		
200% fertirrig.	30	1,3	16*	10	3,3	2,1	30*	8	391	236	6		
100% conv. s/irr.	27	1,2	15*	10	3,2*	2,0	30*	7	370	282	6		
100% conv. c/irr.	27	1,2	15*	10	3,0*	2,1	34	7	331	258	5		
Média	28	1,3	14	10	3,5	2,0	32	7	249	247	5		
C.V. (%)		6,56	9,88	10,61	6,81	9,61	9,02	10,52	10,84	111,12	22,85	15,44	

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de Dunnet.

quando a absorção de potássio aumenta, a do Mg diminui, o que ficou evidente, com a significância da regressão linear entre Mg e as doses aplicadas, ou seja dobrando-se a dose recomendada, diminui-se em 0,4 g kg⁻¹ o teor de Mg na folha, ficando com 3,6 g kg⁻¹ (teor adequado segundo Raij et al., 1997), sendo que no tratamento (100% conv. c/irri) este valor pela equação seria de 4,0 g kg⁻¹ (teor adequado). O teste de Dunnet (Tabela 20) mostrou que os tratamentos que receberam a dose convencionalmente foram os únicos que diferenciaram da testemunha. Isso tudo mostra que a aplicação de K via fertirrigação diminui os efeitos do antagonismo. O boro no final do primeiro ano de cultivo apresentou uma correlação quadrática entre o seu teor e as doses aplicadas de N e K, ou seja, utilizando-se da equação de regressão e partindo do tratamento que não recebeu adubação N e K, obter-se-á um teor de B de 36 mg kg⁻¹ (valor considerado inadequado por Raij et al, 1997, e marginal para Malavolta, 1993), e este teor decaiu até o mínimo de 27 mg kg⁻¹ (mesma classificação) para a dose de 138% da recomendada de N e K, por Raij et al. (1997), elevando-se o teor a partir desta dose.

Segundo Malavolta (1986) a falta de B, pode ser devida entre outros motivos ao excesso de adubação nitrogenada. Guimarães et al. (2002) também afirma o mesmo e explica que o excesso de N na adubação pode induzir à deficiência de B pelo efeito

da diluição. Isto porque o Boro é um elemento pouco móvel nas plantas, necessitando de constante suprimento para atender as necessidades do cafeeiro.

O trabalho de Power & Woods (1997) fornece muitas informações relacionadas ao boro, com bastante implicação prática: a absorção de potássio aumenta com o boro e quase não ocorre na sua ausência, ou seja, muita deficiência de potássio, pode de fato, ser deficiência de boro.

Conclui-se então que uma das hipóteses para a deficiência de B pode ter sido a adubação nitrogenada até a dose de 138% de N a partir desta os teores de K passam a influir mais na absorção de B do que os de N. Porém observa-se também que não existem diferenças significativas entre os tratamentos fertirrigados e a diferença observada é maior entre os tratamentos que não receberam adubação (testemunha), que portanto não se desenvolveram tanto quanto os demais, e os que receberam adubação. Esta variação seria mais em função do efeito diluição.

6.3.3 Análise de algumas características fisiológicas das plantas durante o primeiro ano de cultivo

Analisando as alturas do cafeeiro durante o primeiro ano de cultivo verificou-se diferenças significativas apenas nas épocas de final de janeiro e início de abril do ano de 2002 (Tabela 21), sendo que nestas épocas o tratamento fertirrigado (100%) foi superior ao convencional irrigado. No final do primeiro de cultivo (abril/2002) o tratamento fertirrigado também foi superior ao tratamento convencional sem irrigação. Diferente do resultado obtido neste experimento, Antunes (2000) trabalhando com diferentes doses N e K não encontrou diferenças significativas no primeiro ano de cultivo para o Catuaí Vermelho e Acaia Cerrado, mesmo entre as menores doses aplicadas via fertirrigação.

Tabela 21 Resumo da análise de variância das alturas do cafeeiro (cm) durante o primeiro ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIÇÃO	GL	25/05/01	07/07/01	21/09/01	28/11/01	29/01/02	08/04/02
Probabilidade > F							
Blocos	3	0,0173*	0,0229*	0,2014	0,8738	0,9069	0,7946
Tratamentos	7	0,2802	0,4433	0,4528	0,2499	0,1077	0,0268*
100% fertirrig. X	(1)	0,8979	0,9663	0,5541	0,2126	0,1220	0,0167*
100% conv s/irr							
100% fertirrig. x	(1)	0,4829	0,7199	0,3985	0,1197	0,0466*	0,0044**
100% conv c/irr							
100%conv s/irr x	(1)	0,5652	0,7516	0,7970	0,7397	0,6202	0,5594
100% conv c/irr							
Regressão linear	(1)	0,2623	0,3314	0,7368	0,6513	0,6252	0,7856
Regr. quadrática	(1)	0,2616	0,1519	0,3736	0,5132	0,8420	0,3725
Regr. cúbica	(1)	0,0426*	0,0867	0,0935	0,2291	0,3218	0,8455
Q.M.resíduo	21	2,6679	2,7351	3,1115	5,3371	11,8615	21,6090
Teste de Tukey							
------(cm)-----							
0% fert s/irrig.		23,0	24,9	34,2	46,3	62,0	70,7
0% fert c/irrig.		24,4	26,2	36,0	47,7	62,4	69,8
50% fertirrig.		22,0	23,9	33,8	45,4	61,8	72,1
100% fertirrig.		23,7	25,0	35,0	46,2	62,3	72,6
150% fertirrig.		24,8	26,3	35,9	46,9	64,6	71,9
200% fertirrig.		24,4	26,2	35,4	46,1	62,4	70,9
100% conv. s/irr.		23,8	25,0	34,3	44,1	58,4	64,0
100% conv. c/irr.		24,5	25,4	34,0	43,6	57,1	62,1
Média		23,8	25,4	34,8	45,8	61,4	69,3
C.V. (%)		6,86	6,52	5,07	5,04	5,61	6,71

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Analisando os diâmetros de caule do cafeeiro durante o primeiro ano de cultivo verificou-se diferenças significativas apenas no final do primeiro de cultivo (abril/2002) (Tabela 22), sendo que nestas épocas o tratamento fertirrigado (100%) foi superior ao convencional irrigado e ao tratamento convencional sem irrigação. Também, diferente do resultado obtido neste experimento, Antunes (2000).

Para estas duas características da planta, observa-se que para o primeiro ano, não houve resposta á irrigação (comparando 100% convencional com e sem irrigação). Este fato está ligado ao pequeno déficit hídrico ocorrido no ano de 2001 de 32 mm (Tabela 14).

Tabela 22 Resumo da análise de variância dos diâmetros dos caules do cafeeiro durante o primeiro ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	25/05/01	07/07/01	21/09/01	28/11/01	29/01/02	08/04/02
Probabilidade > F							
Blocos	3	0,0802	0,2849	0,2632	0,9322	0,7200	0,5110
Tratamentos	7	0,2396	0,6805	0,9088	0,9998	0,5340	0,0661
100% fertirrig. x 100% conv s/irr	(1)	0,0707	0,1207	0,7426	0,9560	0,3513	0,0159*
100% fertirrig. x 100% conv c/irr	(1)	0,0241*	0,1499	0,5078	0,9242	0,2750	0,0295*
100% conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0,6030	0,9035	0,3256	0,9680	0,8686	0,7771
Regressão linear	(1)	0,9324	0,8631	0,6572	0,7237	0,7447	0,8607
Regr. quadrática	(1)	0,7745	0,8841	0,7121	0,7882	0,5559	0,8750
Regr. cúbica	(1)	0,5220	0,3298	0,6919	0,9446	0,9719	0,9853
Q.M.resíduo	21	0,0488	0,1005	0,1807	0,4862	0,7857	1,4004
Teste de Tukey							
------(mm)-----							
0% fert s/irrig.		4,20	4,90	6,61	10,19	15,49	20,12
0% fert c/irrig.		4,18	4,93	6,52	10,10	15,25	20,39
50% fertirrig.		4,23	4,89	6,58	10,21	15,63	20,36
100% fertirrig.		4,10	4,72	6,41	10,08	15,21	20,47
150% fertirrig.		4,32	5,07	6,63	10,10	15,55	20,31
200% fertirrig.		4,13	4,80	6,35	9,96	15,06	20,25
100% conv. s/irr.		4,40	5,08	6,31	10,11	14,61	18,28
100% conv. c/irr.		4,48	5,05	6,61	10,13	14,51	18,52
Média		4,25	4,93	6,50	10,11	15,16	19,84
C.V. (%)		5,19	6,43	6,54	6,90	5,85	5,97

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

6.4 Análise de solo, foliar e crescimento do cafeeiro no segundo ano de cultivo

6.4.1 Análise dos elementos e características químicas do solo após o segundo ano.

As características químicas do solo da camada de 0 a 20cm após o segundo ano de cultivo são apresentadas na Tabelas 23 e 24 e Figura 14.

Nota-se que o comportamento de pH no solo foi semelhante ao encontrado no primeiro ano, sendo que aumentando as doses de fertirrigação houve correlação linear e inversamente proporcional. Este efeito, como já discutido anteriormente, está relacionado a fonte de N utilizada (uréia) e seu efeito na acidificação do solo.

Tabela 23 Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 0 a 20cm após o segundo ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIÇÃO	G L	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
Probabilidade > F											
Blocos	3	0,643	0,004**	0,795	0,512	0,213	0,287	0,511	0,380	0,351	0,708
Tratamentos	7	0,004**	0,004**	0,016*	0,000**	0,052	0,048*	0,624	0,152	0,296	0,005**
100% fertirrig. x 100% conv s/irr	(1)	0,100	0,047*	0,119	0,092	0,315	0,209	0,791	0,463	0,654	0,074
100% fertirrig. x 100% conv c/irr	(1)	0,027*	0,460	0,391	0,013*	0,703	0,511	0,888	0,632	0,964	0,061
100% conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0,515	0,190	0,462	0,345	0,527	0,537	0,685	0,796	0,622	0,921
Regressão linear	(1)	0,000**	0,107	0,001**	0,000**	0,002**	0,014*	0,368	0,049*	0,272	0,0002**
Regr. quadrática	(1)	0,224	0,007**	0,084	0,173	0,474	0,019	0,071	0,028*	0,027*	0,063
Regr. Cúbica	(1)	0,907	0,001**	0,379	0,638	0,776	0,583	0,813	0,781	0,674	0,867
Q.M.resíduo	21	0,285	5,507	14462,298	112,607	0,302	1256,923	3389,881	2904,256	2177,589	312,417
Teste de Tukey											
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³					mmol _c dm ⁻³		
0% fert s/irrig.		5,6 a	25 ab	142 ab	27 b	0,7	63 ab	27	90	117	74 a
0% fert c/irrig.		5,9 a	20 b	291 ab	23 b	0,9	70 ab	24	94	117	79 a
33% fertirrig.		5,8 a	27 a	366 a	27 b	0,9	108 a	36	145	172	84 a
66% fertirrig.		5,3 ab	24 ab	261 ab	37 b	1,3	83 ab	34	118	155	72 ab
100% fertirrig.		5,0 ab	20 b	146 ab	43 ab	1,6	65 ab	34	101	143	57 ab
133% fertirrig.		4,3 b	21 b	22 b	63 a	2,0	15 b	11	28	90	30 b
100% conv. s/irr.		5,7 a	24 ab	285 ab	29 b	1,2	98 ab	30	129	158	80 a
100% conv. c/irr.		5,9 a	22 ab	221 ab	22 b	1,5	82 ab	36	119	141	82 a
Média		5,4	23	216	34	1,3	73	29	103	137	70
C.V. (%)		9,83	10,27	55,52	31,44	43,75	48,52	68,68	52,29	34,11	25,34

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Para os teores de matéria orgânica os tratamentos com 100% convencional x fertirrigado indicaram diferenças significativas, sendo os teores maiores em 4 g kg⁻¹ para o tratamento convencional. Também houve correlação cúbica entre o teor de MO e as doses aplicadas. A diferença encontrada entre o tratamento fertirrigado x convencional, pode ser justificada pelo aumento das mineralização da MO promovida pelo N aplicado de forma mais localizada no tratamento fertirrigado. Pelo mesmo efeito, quando se aumentou a dose de N houve diminuição da matéria orgânica no solo.

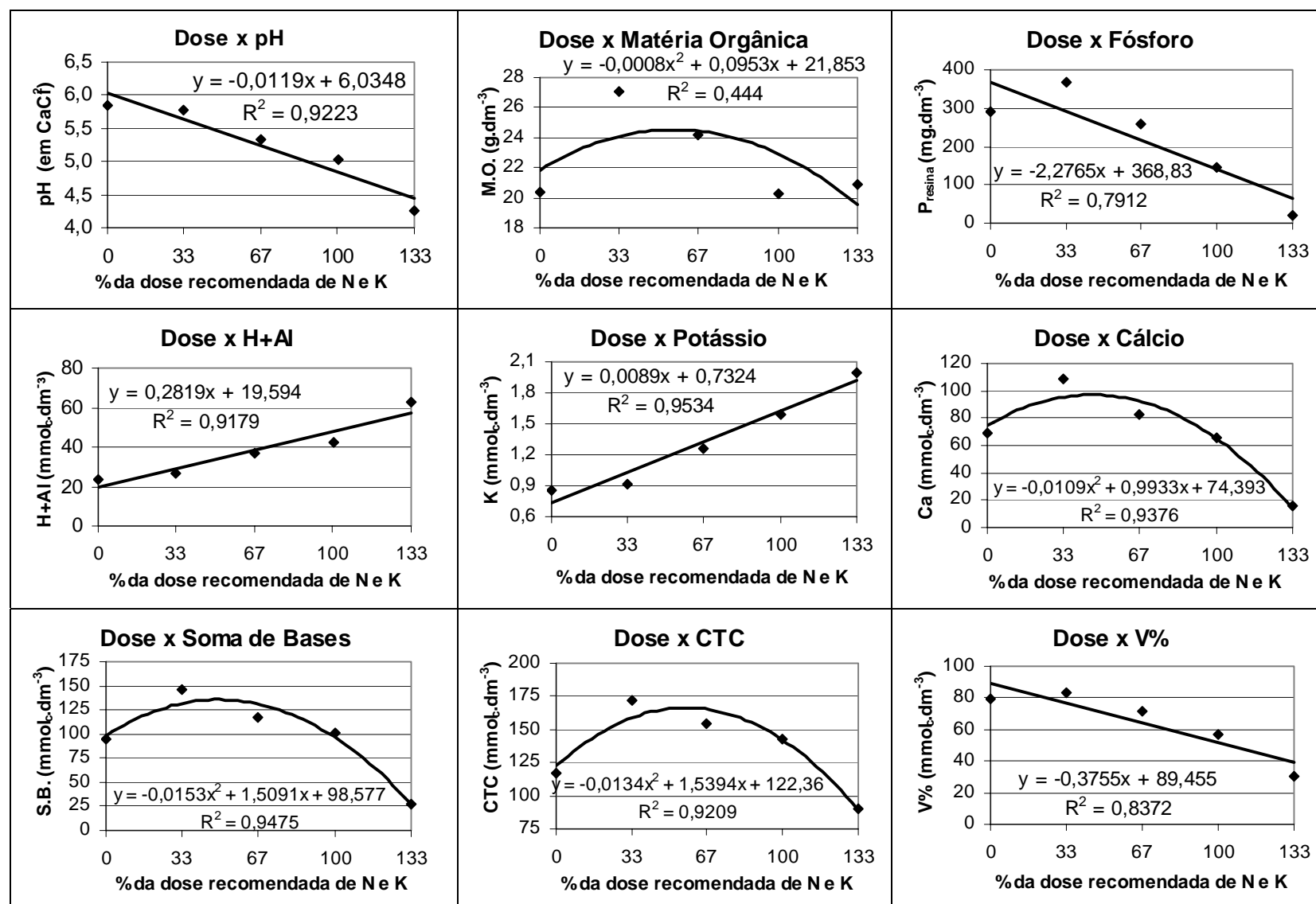


Figura 14 – Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns nutrientes e características químicas do solo na camada de 0 a 20cm após o 2º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.

Tabela 24 Teste de Dunnet dos elementos e características químicas do solo da camada de 0 a 20cm após o segundo ano de cultivo conforme os tratamentos aplicados.

CAUSAS DE VARIACÃO	G L	pH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
Probabilidade > F											
Blocos	3	0,643	0,004**	0,795	0,512	0,213	0,287	0,511	0,380	0,351	0,708
Tratamento	7	0,004**	0,004**	0,016*	0,000**	0,052	0,048*	0,624	0,152	0,296	0,005**
Q.M. Resíduo	21	0,285	5,507	14462,298	112,607	0,302	1256,923	3389,881	2904,256	2177,589	312,417
Teste de Dunnet											
		CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _c dm ⁻³ -----						
0% fert s/irrig.		5,6	25	142	27	0,7	63	27	90	117	74
0% fert c/irrig.		5,9	20	291	23	0,9	70	24	94	117	79
33% fertirrig.		5,8	27	366	27	0,9	108	36	145	172	84
66% fertirrig.		5,3	24	261	37	1,3	83	34	118	155	72
100% fertirrig.		5,0	20	146	43	1,6	65	34	101	143	57
133% fertirrig.		4,3*	21	22	63*	2,0*	15	11	28	90	30*
100% conv. s/irr.		5,7	24	285	29	1,2	98	30	129	158	80
100% conv. c/irr.		5,9	22	221	22	1,5	82	36	119	141	82
Média		5,4	23	217	34	1,3	73	29	103	137	70
C.V. (%)		9,83	10,27	55,52	31,44	43,75	48,52	68,68	52,29	34,11	25,34

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de Dunnet.

O fósforo no solo diminuiu com o aumento das doses de N e K, sendo este efeito possivelmente ligado mais a absorção de P pela planta, do que possivelmente interações que podem ter ocorrido entre estes nutrientes no solo. Outro fator que justifica esta hipótese é que com maior dose de N e K houve maior desenvolvimento do sistema radicular possibilitando maior absorção desse nutriente, uma vez que o caminhar de P no solo é bastante restrito.

Tanto o H + Al, como V% apresentaram resultados semelhantes aos obtidos no primeiro ano do experimento, sendo que as justificativas para tal efeito, as mesmas já discutidas anteriormente.

O potássio aumentou no solo com as doses aplicadas, chegando ao valor de 2,0 mmol_c dm⁻³. Deve-se lembrar, no entanto, que essa amostragem do solo ocorreu após a colheita, o que justifica os teores não terem chegado a valores altos, mesmo utilizando doses acima da recomendada por Raij et al. (1997).

Os teores de Ca apresentaram um comportamento quadrático que apesar de significativo é de difícil explicação, uma vez que houve uma queda drástica nos teores desses elementos no solo, porém algumas hipóteses podem ser formuladas: a amostragem não representa o tratamento, o K aplicado em maiores doses deslocou o Ca do

complexo, facilitando sua lixiviação, o Ca formou par iônico com nitrato no solo, sendo deslocado a uma maior profundidade.

A soma de base e a CTC apresentaram comportamento semelhante ao Ca, uma vez que esse nutriente compõe esses dois índices. Portanto, as hipóteses sugeridas para Ca, valem também para SB e CTC.

As características químicas do solo da camada de 20 a 40cm após o segundo ano de cultivo são apresentadas nas Tabelas 25 e 26 e Figura 15.

Tabela 25 Resumo da análise de variância dos elementos e características químicas do solo da camada de 20 a 40cm após o segundo ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIACÃO	G	PH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
Probabilidade > F											
Blocos	3	0,441	0,000**	0,600	0,354	0,038*	0,777	0,063	0,519	0,481	0,708
Tratamentos	7	0,001**	0,016*	0,334	0,000**	0,005**	0,087	0,239	0,108	0,430	0,005**
100% fertirrig. x 100% conv s/irr	(1)	0,026*	0,013*	0,334	0,005**	0,335	0,025	0,152	0,035*	0,123	0,074
100% fertirrig. x 100% conv c/irr	(1)	0,003**	1,000	0,104	0,000	0,182	0,051	0,055	0,044*	0,351	0,061
100% conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0,309	0,013*	0,486	0,097	0,697	0,731	0,594	0,914	0,522	0,921
Regressão linear	(1)	0,000**	0,342	0,032*	0,000**	0,001**	0,013*	0,075	0,018*	0,539	0,000**
Regr. quadrática	(1)	0,511	0,017*	0,891	0,395	0,362	0,918	0,535	0,890	0,948	0,063
Regr. cúbica	(1)	0,076	0,065	0,997	0,057	0,051	0,072	0,067	0,060	0,113	0,867
Q.M.resíduo	21	0,115	3,804	7169,661	47,881	0,129	372,436	61,512	662,936	494,757	312,417
Teste de Tukey											
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----				mmol _c dm ⁻³	-----		
0% fert s/irrig.	4,7 ab	21 ab	28	42	c	0,6 ab	25	10	36	78	45 abc
0% fert c/irrig.	5,2 a	18 b	136	36	c	0,5 b	47	16	63	99	62 ab
33% fertirrig.	5,3 a	22 ab	89	34	c	0,6 b	56	21	77	111	68 a
66% fertirrig.	4,7 ab	20 ab	79	49	abc	0,9 ab	34	18	53	101	48 abc
100% fertirrig.	4,3 b	19 ab	28	60	ab	1,5 a	16	6	23	83	27 c
133% fertirrig.	4,1 b	18 b	12	65	a	1,1 ab	25	11	37	102	33 bc
100% conv. s/irr.	4,9 ab	23 a	87	44	bc	1,3 ab	49	15	65	109	59 abc
100% conv. c/irr.	5,1 a	19 ab	129	35	c	1,2 ab	44	18	63	98	59 abc
Média	4,8	20	74	46		1,0	37	14	52	98	50
C.V. (%)	7,11	9,66	114,91	15,17		37,01	52,56	54,56	49,60	22,81	25,34

Médias seguidas de mesmas letras minúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de mesmas letras maiúsculas não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

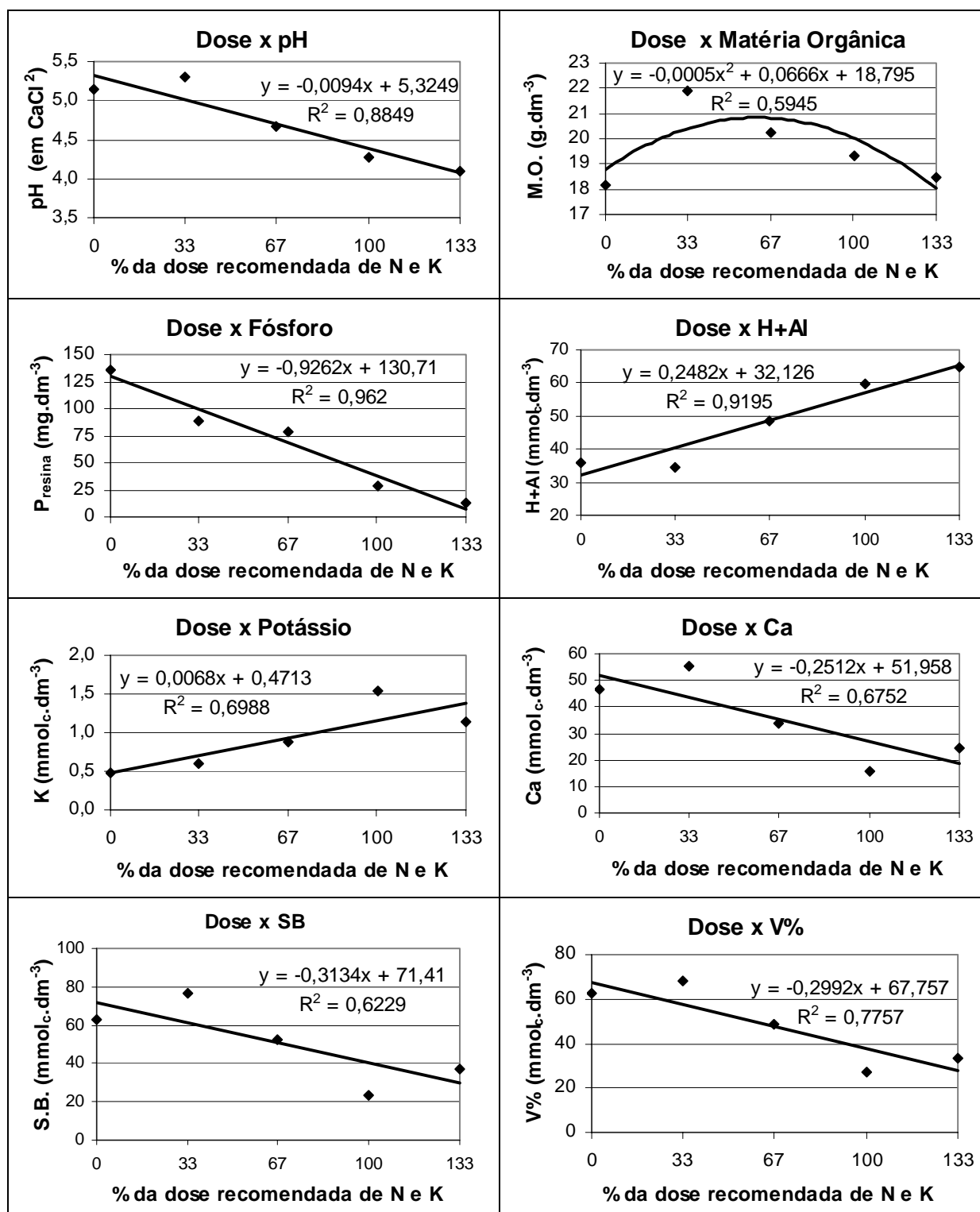


Figura 15 Relação entre doses de fertilizante (% recomendada pelo Boletim 100 IAC) e alguns elementos e características químicas do solo na camada de 20 a 40cm após o 2º ano de cultivo, cujas regressões foram significativas.

Apesar das doses de N e K serem aplicadas superficialmente, nota-se que houve efeito do N e K em profundidade. Observam-se os efeitos da acidez promovida pela uréia (pH, H + Al, V%) e talvez lixiviação do Ca pelo N. Por outro lado, o K aplicado via fertirrigação também aumentou no solo, o que significa caminhamento desse nutriente em profundidade, o que também pode ter interferido no teor de Ca no solo.

Tabela 26 Teste de Dunnet dos elementos e características químicas do solo da camada de 20 a 40cm após o segundo ano de cultivo conforme os tratamentos aplicados.

CAUSAS DE VARIACÃO	G	PH	M.O.	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%
L	Probabilidade > F										
Blocos	3	0,441	0,000**	0,600	0,354	0,038*	0,777	0,063	0,519	0,481	0,708
Tratamento	7	0,001**	0,016*	0,334	0,000**	0,005**	0,087	0,239	0,108	0,430	0,005**
Q.M. Resíduo	21	0,115	3,804	7169,661	47,881	0,129	372,436	61,512	662,936	494,757	312,417
Teste de Dunnet											
	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	-----mmol _e dm ⁻³ -----							
0% fert s/irrig.	4,7	21	28	42	0,6	25	10	36	78	45	
0% fert c/irrig.	5,2	18	136	36	0,5	47	16	63	99	62	
33% fertirrig.	5,3	22	89	34	0,6	56	21	77	111	68	
66% fertirrig.	4,7	20	79	49	0,9	34	18	53	101	48	
100% fertirrig.	4,3	19	28	60	1,5*	16	6	23	83	27	
133% fertirrig.	4,1	18	12	65	1,1	25	11	37	102	33	
100% conv. s/irr.	4,9	23	87	44	1,3	49	15	65	109	59	
100% conv. c/irr.	5,1	19	129	35	1,2	44	18	63	98	59	
Média	4,8	20	74	46	1,0	37	14	52	98	50	
C.V. (%)	7,11	9,66	114,91	15,17	37,01	52,56	54,56	49,60	22,81	25,34	

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de Dunnet.

6.4.2 Análise de algumas características fisiológicas das plantas durante o segundo ano de cultivo

As características fisiológicas das plantas durante o segundo cultivo são apresentadas nas Tabelas 27 e 28.

Os tratamentos fertirrigados apresentaram altura de plantas superiores ao tratamento convencional sem irrigação. Também foram observadas diferenças entre o tratamento fertirrigado e o convencional com irrigação, sendo este inferior. Esse efeito foi observado apenas no início do 2º ano, sendo que essas diferenças não ocorreram no final do experimento.

O diâmetro de caule teve um comportamento semelhante ao observado para altura de plantas, o que significa, que estes parâmetros não são os mais adequados para demonstrar efeitos de adubação em plantas de café em formação.

Os resultados de vários estudos do crescimento vegetativo do cafeeiro em condições não irrigadas, irrigadas e fertirrigadas (Santinato et al., 1989; Karasawa et al., 2001; Alves et al., 1999) têm mostrado que os cafeeiros irrigados e fertirrigados não diferem entre si na altura, diâmetro de copa, número de internódios e número de ramos plagiotrópicos. Entretanto, ambos apresentam maior crescimento que os cafeeiros não irrigados ficando evidente a importância da irrigação no crescimento vegetativo

Tabela 27 Resumo da análise de variância das alturas do cafeeiro durante o segundo ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	8/07/2002	8/10/2002	13/12/2002	10/2/2003	12/4/2003	3/7/2003
Probabilidade > F							
Blocos	3	0,8944	0,8994	0,9219	0,6519	0,8578	0,7842
Tratamentos	7	0,0093**	0,0140*	0,0260*	0,1164	0,3585	0,2948
100% fertirrig. x 100% conv s/irr	(1)	0,0036**	0,0049**	0,0084**	0,0280*	0,0741	0,0493*
100% fertirrig. x 100% conv c/irr	(1)	0,0066**	0,0177*	0,0618	0,1528	0,4366	0,4979
100% conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0,7994	0,5739	0,3591	0,3904	0,2894	0,1772
Regressão linear	(1)	0,5318	0,5879	0,4741	0,3304	0,3860	0,3679
Regr. quadrática	(1)	0,2091	0,3701	0,4087	0,6366	0,7959	0,8825
Regr. Cúbica	(1)	0,7917	0,7333	0,5042	0,4360	0,5088	0,5309
Q.M.resíduo	21	30,2085	31,7158	33,2888	41,0935	40,6436	39,1092
Teste de Tukey							
------(cm)-----							
0% fert s/irrig.		80,8	89,0 ab	97,9 ab	108,6	111,3	113,5
0% fert c/irrig.		77,8	90,8 ab	98,8 ab	107,5	110,5	112,2
33% fertirrig.		82,1	94,0 ab	102,9 ab	112,3	114,0	115,4
66% fertirrig.		82,6	95,1 a	103,7 a	111,9	114,0	115,1
100% fertirrig.		82,3	93,7 ab	101,7 ab	111,1	113,0	114,7
133% fertirrig.		80,4	93,4 ab	102,7 ab	113,2	115,5	117,1
100% conv. S/irr.		69,6	81,2 ab	89,9 b	100,4	104,6	105,4
100% conv. C/irr.		70,6	83,5 b	93,7 ab	104,3	109,5	111,6
Média		78,3	90,1	98,9	108,7	111,6	113,1
C.V. (%)		7,02	6,25	5,83	5,90	5,72	5,53

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes diferiram entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes diferiram entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Tabela 28 Resumo da análise de variância dos diâmetros dos caules do cafeeiro durante o segundo ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	8/07/2002	8/10/2002	13/12/2002	10/2/2003	12/4/2003	3/7/2003
Probabilidade > F							
Blocos	3	0,5188	0,6135	0,5785	0,5247	0,7231	0,8085
Tratamentos	7	0,0520	0,0454*	0,0476*	0,0364*	0,1184	0,1959
100% fertirrig. x 100% conv s/irr	(1)	0,0108*	0,0041**	0,0058**	0,0121*	0,0450*	0,4042
100% fertirrig. x 100% conv c/irr	(1)	0,0467*	0,1851	0,1023	0,2384	0,2415	0,6349
100% conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0,5024	0,0790	0,1874	0,1398	0,3646	0,7155
Regressão linear	(1)	0,7058	0,4497	0,3343	0,6369	0,1999	0,1232
Regr. quadrática	(1)	0,7524	0,3671	0,3640	0,1074	0,1830	0,4034
Regr. cúbica	(1)	0,8946	0,7809	0,6438	0,2527	0,3124	0,2138
Q.M.resíduo	21	2,1038	3,2256	4,9319	5,4468	4,7116	3,9238
Teste de Tukey							
------(mm)-----							
0% fert s/irrig.		25,08	26,87 ab	29,48	32,28 ab	32,92	33,20
0% fert c/irrig.		24,97	26,50 ab	29,94	32,77 ab	32,93	33,79
33% fertirrig.		25,33	27,54 ab	31,73	36,17 a	35,89	36,57
66% fertirrig.		25,43	27,98 a	31,78	35,30 ab	35,56	35,71
100% fertirrig.		25,38	27,66 ab	31,77	34,79 ab	35,38	35,97
133% fertirrig.		25,38	27,53 ab	31,66	34,34 ab	35,46	36,61
100% conv. s/irr.		22,51	23,57 b	26,95	30,25 b	32,11	34,78
100% conv. c/irr.		23,21	25,92 ab	29,09	32,78 ab	33,53	35,29
Média		24,66	26,70	30,30	33,59	34,22	35,24
C.V. (%)		5,88	6,73	7,33	6,95	6,34	5,62

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes diferiram entre si pelo teste Tukey ao nível de 5% de erro.

Médias seguidas de letras maiúsculas diferentes diferiram entre si pelo teste Tukey ao nível de 1% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

6.5 Análise da produtividade do cafeeiro

Os resultados de produtividade do cafeeiro são apresentados na Tabela 29 e 30 e Figura 16. Nota-se que a produtividade obtida no experimento foi bastante elevada, considerando a média nacional, chegando a atingir 61,1 sc ha⁻¹ no tratamento fertirrigado com 33% acima da dose recomendada por Raij et al. (1997).

A irrigação não promoveu efeito significativo na produtividade, uma vez que para a dose convencional (100%) irrigada e não irrigada os resultados foram semelhantes. Este resultado está de acordo com vários autores (Matiello et al. 1995; IBC,

1981; Santinato et al., 1996a) onde situações com déficit hídrico abaixo de 150 mm, não apresenta diminuição na produtividade. Neste experimento o déficit hídrico ocorrido no segundo ano foi de 106,5 mm (Tabela 15).

Quanto a fertirrigação houve correlação linear altamente significativa entre doses de N e K versus a produtividade. Quando comparada a dose recomendada em relação àquela onde 33% a mais de N e K foram aplicados, nota-se um incremento de 6,8 sacas por ha (409 kg ha^{-1}). Avaliando estaticamente os resultados não houve resposta a fertirrigação, mesmo encontrando diferenças da ordem de 27% a mais na produtividade, quando considerada a dose de 100%. Tal resposta pode não ter sido significativa em função do coeficiente de variação de 34% obtido nesta determinação.

Neves et al. (2003) trabalhando com três níveis de adubação, baixas, médias e altas, recomendadas para o estado de Minas Gerais e aplicadas via irrigação, obtiveram produtividade acumulada das duas primeiras safras, para as variedades Acaí IAC 474-19, Rubi MG 1192 e Catuaí Vermelho IAC 99, nas maiores doses aplicadas, de 70,3; 80,6; e 77,8 sc ha^{-1} respectivamente.

Tabela 29 Resumo da análise de variância da primeira produtividade do cafeeiro durante o segundo ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	Peso seco beneficiado
		Probabilidade > F
Blocos	3	0.1155
Tratamentos	7	0.0568
100% fert x 100% conv s/irr	(1)	0.3782
100% fert x 100% conv c/irr	(1)	0.3146
100%conv s/irr x 100% conv c/irr	(1)	0.8978
Regressão linear	(1)	0.0056**
Regr. quadrática	(1)	0.8754
Regr. cúbica	(1)	0.2557
Q.M.resíduo	21	199.9189
Média (sacas)		41.32
C.V. (%)		34.22

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F.

**Significativo ao nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F.

Tabela 30 Teste de Tukey e Dunnet da primeira produtividade após o segundo ano de cultivo.

CAUSAS DE VARIACÃO	GL	Peso seco beneficiado			
		Probabilidade > F			
Blocos	3	0.1155			
Tratamento	7	0.0568			
Q.M. Resíduo	21	199.9189			
		Teste de Tukey		Teste de Dunnet	
		sacas ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	sacas ha ⁻¹	kg ha ⁻¹
0% fert s/irrig.		27,5 b	1650 b	27,5	1650
0% fert c/irrig.		28,3 ab	1698 ab	28,3	1698
33% fertirrig.		44,3 ab	2658 ab	44,3	2658
66% fertirrig.		45,4 ab	2724 ab	45,4	2724
100% fertirrig.		47,7 ab	2862 ab	47,7	2862
133% fertirrig.		61,1 a	3666 a	61,1*	3666*
100% conv. s/irr.		38,7 ab	2322 ab	38,7	2322
100% conv. c/irr.		37,4 ab	2244 ab	37,4	2244
Média		41,3	2479	41,3	2479
C.V. (%)		34,22			

Médias seguidas de letras minúsculas diferentes diferiram entre si pelo teste F ao nível de 5% de erro.

*Significativo ao nível de 0,05 de probabilidade pelo teste de Dunnet.

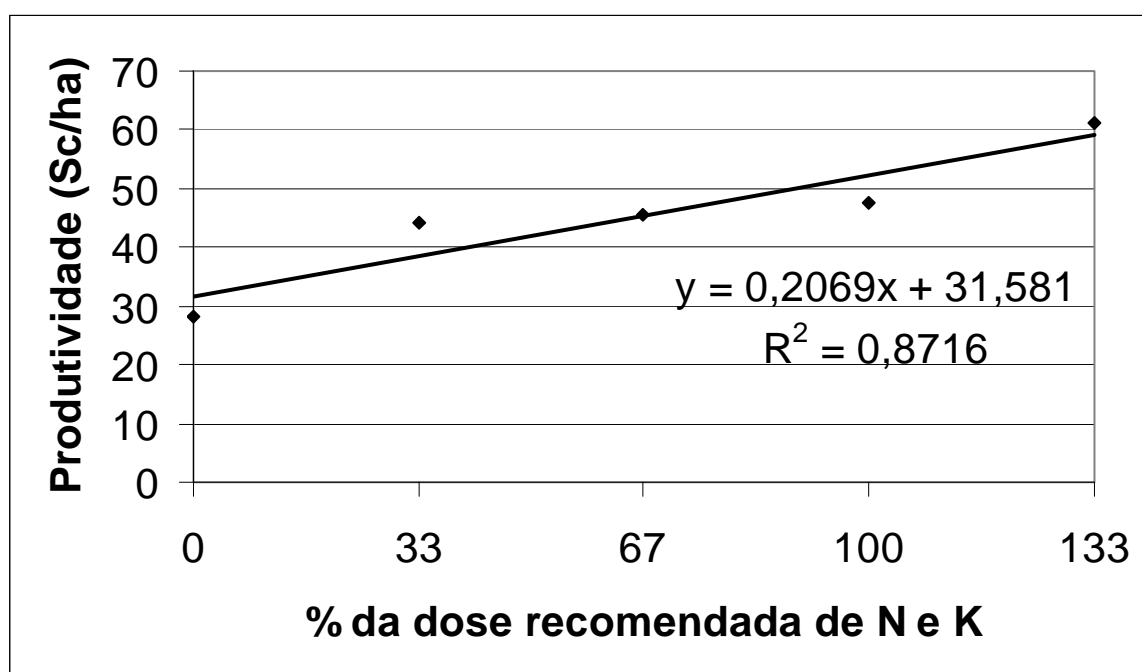


Figura 16 Produtividade da primeira safra em função da dose de fertilizante aplicado conforme porcentagem da dose recomendada pelo Boletim 100 do IAC.

Um dos pontos que poderia ser considerado desfavorável para a fertirrigação em relação a adubação convencional é o abaixamento de pH no solo mais intenso observados na fertirrigação. Rena & Guimarães (2000), afirmam que havia consenso, desde os tempos de Nutman (1933), de que a acidez do solo mais apropriada para o bom crescimento das raízes do cafeeiro está entre 5,8 e 6,0. Hoje, constatam-se excelentes produtividades a pHs até próximos de 5,0. Isto contraria algumas publicações que afirmam que o ideal encontra-se próximo de 6,5 (Malavolta, 1986). Ainda mais, pHs em torno deste valor têm induzido deficiências de micronutrientes em muitas regiões brasileiras, especialmente se os solos são naturalmente pobres, como é o caso do manganês, na região Nordeste de Minas Gerais (Pereira & Rena, 1991, citados por Rena & Guimarães, 2000).

Também foi observado por Martinez et al. (2000) que 90% das lavouras de Viçosa, 72% das de Manhuaçu, 45% das de Patrocínio, 45% das de Guaxupé e 35% das de São Sebastião do Paraíso encontravam-se em solos com pH baixo ($\text{pH} < 5,4$). Em Viçosa e Manhuaçu, mesmo as lavouras de alta produtividade apresentaram pH médio menor que 5,4 na camada de 0 a 20 cm de profundidade, o que leva a se questionar o limite de 5,4, considerado adequado para a cafeicultura. Em Manhuaçu, o pH relativamente baixo pode ser devido ao efeito tampão da matéria orgânica.

6.6 Índice Relativo de Clorofila em função das doses de N aplicadas via fertirrigação.

Os valores do Índice Relativo de Clorofila (IRC) variaram significativamente com as doses de N aplicadas via fertirrigação em todas as datas de amostragem com exceção do dia 21 de janeiro de 2003 (Tabela 31 e 32). No entanto, houve um efeito linear das doses sobre o IRC em todas as datas. Nota-se o baixo coeficiente de variação em todas as datas o que revela uma alta precisão nas medidas, aprovando a metodologia utilizada para a determinação do IRC.

Tabela 31. Resumo da análise de variância e de regressão do Índice Relativo de Clorofila (IRC) em função das doses de N aplicadas via fertirrigação no período de 29/08/02 a 21/01/03 (Botucatu, 2003).

Causas da Variação	G.L	Quadrado médio (significância)							
		Datas das leituras							
		IRC(29/08)	IRC(20/09)	IRC(19/10)	IRC(30/10)	IRC(21/11)	IRC(14/12)	IRC(06/01)	IRC(21/01)
Doses N	4	13,4742**	27,5762**	16,3218**	13,6692**	16,1937**	23,3780**	21,0917**	6,1067ns
Regressão		L**	L**	L**	L**	L**	L**	L**	L**
Médias		79,8	80,0	79,4	80,2	75,4	73,2	65,3	66,8
C.V. (%)		1,6	1,9	1,9	1,5	2,3	1,6	2,3	2,1

ns e ** : não significativo e significativo a 1%, segundo teste de F.

L : linear.

Tabela 32 Resumo da análise de variância e de regressão do Índice Relativo de Clorofila (IRC) em função das doses de N aplicadas via fertirrigação no período de 06/02/03 a 18/06/03 (Botucatu, 2003).

Causas da Variação	G.L.	Quadrado médio (significância)					
		Datas das leituras					
		IRC(06/02)	IRC(30/03)	IRC(09/04)	IRC(08/05)	IRC(26/05)	IRC(18/06)
Doses de N	4	14,2768**	45,6438**	39,7757**	28,5257**	42,5817**	49,3242**
Regressão		L**	L**	L**	L**	L**	L**
Médias		67,2	64,2	62,5	61,2	57,9	57,0
C.V. (%)		1,7	4,8	3,0	3,0	3,7	4,5

ns e ** : não significativo e significativo a 1%, segundo teste de F.

L : linear.

No início do florescimento (29/08/02) o IRC aumentou linearmente com o aumento as doses de N, numa proporção aproximada de 3 unidades SPAD (Soil and Plant Analysis Plant, unidade adotada pela Minolta, 1989) a cada 100 kg de N ha⁻¹ aplicados (Figura 17). Guimarães et al. (1999) trabalhando com tomate cultivado em dois solos e doses de N, também observaram um aumento linear do IRC com o aumento das doses de N em ambos os solos, de modo semelhante (2,5 unidades SPAD a cada 100 kg de N.ha⁻¹ aplicados).

Na segunda data de amostragem os valores de IRC tiveram uma maior amplitude em relação aos valores da primeira amostragem (Figura 17) o que provavelmente pode ter melhorado o ajuste da equação com um coeficiente de determinação igual a 0,89. Nesta data as plantas apresentaram-se em pleno florescimento e de acordo com Malavolta et al., (2002) as flores do cafeeiro constituem-se num forte dreno de nutrientes o que pode explicar a maior resposta das plantas as doses de N aplicadas.

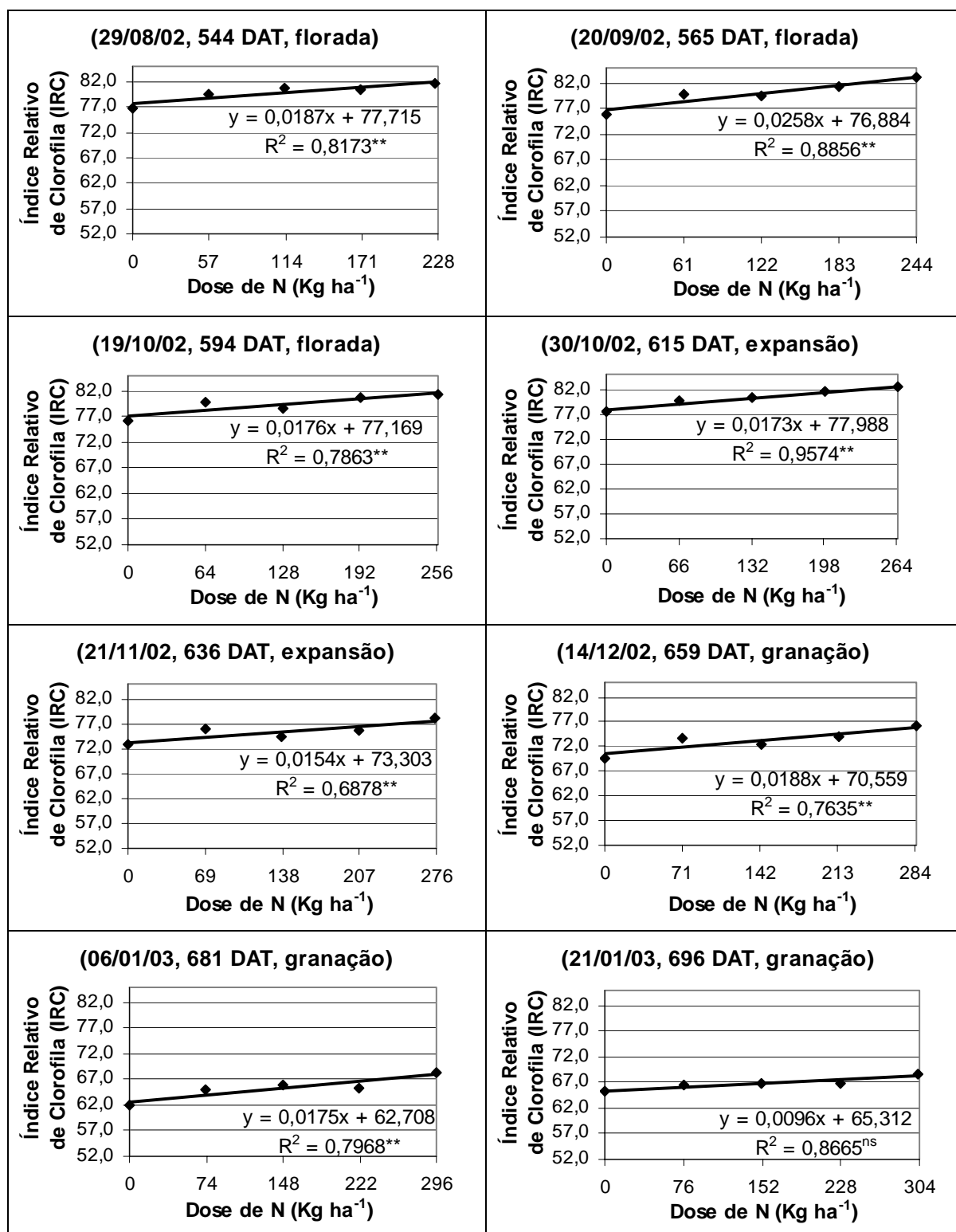


Figura 17 Índice Relativo de Clorofila (IRC) no quarto par de folhas do cafeeiro, em função das doses de N aplicadas via fertirrigação, entre 29/08/02 a 21/01/03.

Na fase de expansão dos frutos (30/10 a 21/11) o coeficiente do IRC em relação às doses de N via fertirrigação não variou muito, e o aumento do IRC foi de aproximadamente 3,3 unidades SPAD a cada 100 kg N ha⁻¹, diferindo apenas o coeficiente de determinação das equações de regressão que foi maior aos 30/10/02.

No início da fase de granação dos frutos foi observada uma menor resposta, embora significativa, do IRC em relação às doses de N aplicadas (Figura 17). Este período corresponde há uma fase de transição onde os frutos cessam seu crescimento e iniciam as transformações no grão.

Na fase de granação (06/02 a 26/05) foi observada uma maior resposta do IRC em relação às doses crescentes de N aplicada (Figura 18). Nesta fase fenológica do cafeeiro os líquidos internos dos frutos solidificam-se dando formação aos grãos (Camargo & Camargo, 2001), e portanto o processo de expansão destes já cessou, período de maior demanda de N do que a granação. (Malavolta et al., 1983). Logo esta maior resposta do IRC em relação às doses de N aplicadas, na granação, reflete a demanda de N pela planta no período anterior para o crescimento (expansão) dos grãos.

Por ocasião da colheita (Figura 18), foi observada a maior resposta do IRC em relação às doses crescentes de N aplicadas, efeito este proporcionado provavelmente pela exportação de nutrientes, principalmente o nitrogênio.

Mesmo aplicando uma dose 33% superior à recomendada por Raij et al. (1997), para o cafeeiro, não houve ponto de inflexão da curva que pudesse indicar o ponto de máxima, ou seja a partir do qual não mais haveria resposta a dose aplicada. Minotti et al., (1994) trabalhando com cultivares de batata, cultivadas com doses de N no plantio observaram um efeito quadrático do N aplicado sobre o IRC para todas as cultivares estudadas em diferentes momentos do ciclo (30, 47, 44, e 66 dias após o plantio).

Gil et al. (2002) observaram incrementos do IRC na quarta folha de plantas de batata com as doses crescentes de N aplicadas em cobertura. Esses incrementos do IRC em relação às plantas que não receberam N em cobertura foram de 0,8 a 2,1 para a dose de 90 kg ha⁻¹ ; 1,6 a 3,4 para a dose de 180 kg ha⁻¹ e de 2,0 a 5,9 para da dose de 360 kg ha⁻¹ de nitrogênio.

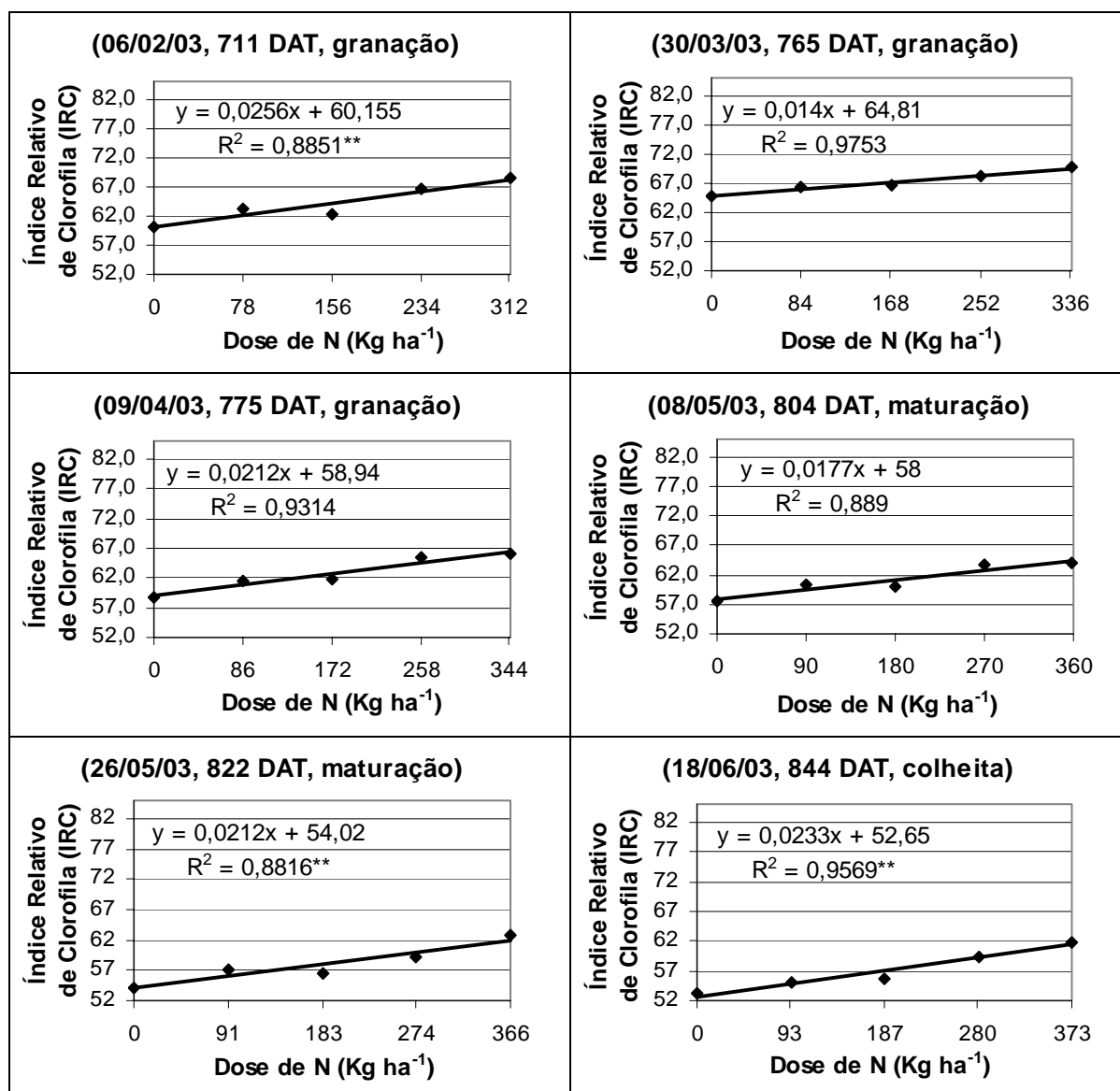


Figura 18 Índice Relativo de Clorofila (IRC) no quarto par de folhas do cafeeiro, em função das doses de N aplicadas via fertirrigação, entre 06/02/03 a 18/06/03.

Reis et al. (2003) encontraram um ponto de máximo para as leituras do SPAD, com uma dose de aproximadamente 300 kg ha⁻¹ de N, trabalhando com cv. Catuaí Vermelho, de 3 anos.

6.6.1 IRC em função do estágio fenológico

Os valores do IRC variaram significativamente com o decorrer do período reprodutivo, no entanto, não houve interação com as doses de aplicadas (Tabela 33)

Tabela 33 Resumo da análise fatorial das doses aplicadas e datas das leituras do IRC, SPAD (Botucatu, 2003).

Causas da Variação	G.L.	Quadrado médio (significância)
Datas das Leituras de SPAD (A)	13	363,8619**
Doses de N aplicadas (B)	4	76,1202**
A X B	52	0,9247ns

ns e ** : não significativo e significativo a 1%, de acordo com o teste de F.

Os valores do IRC reduziram-se significativamente com o decorrer do período reprodutivo (Figura 19), nas plantas de todos os tratamentos, parte pela maior demanda de N em função do crescimento dos frutos concomitante ao crescimento vegetativo, e parte pela redução na espessura das folhas (Figura 20), pois folhas mais grossa poderiam acarretar em maiores valores de IRC, assim como o inverso é verdadeiro. Um método proposto por Peng et al., (1993) é corrigir os valores do IRC dividindo-os pela espessura da folha, esse procedimento foi adotado no experimento, mas não melhorou a correlação entre o IRC corrigido e o teor de N na folha. Argenta et al., (2001) também não observaram melhoria nas correlações corrigindo o IRC com a espessura da folha.

Para que este procedimento melhorasse as correlações entre o IRC e os teores de N seria necessário que a espessura da folha variasse em função da dose de N o que não foi verificado no experimento (Tabela 34)

Sains & Scheveria., (1998) trabalhando com milho, também verificaram uma redução nos valores do IRC do estágio V6 até 15 dias após o florescimento nas menores doses de N aplicadas, refletindo que o N disponível para a planta não foi o suficiente para atender a sua demanda crescente em nitrogênio.

A redução do IRC de (Nov/2002) até (Jun/2003) não se deu devido a redução da espessura das folhas (Figura 21), pois, as folhas se tornaram mais grossas em Março do que comparadas as folhas de Novembro.

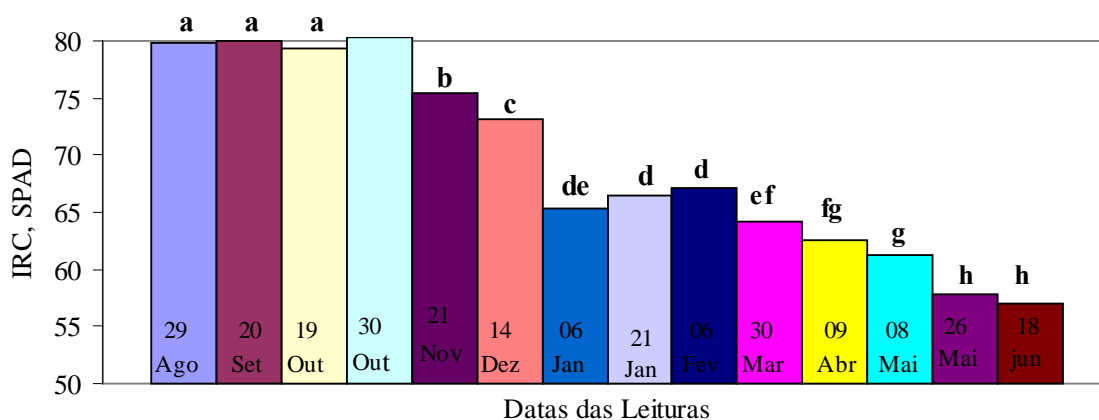


Figura 19 Índice Relativo de Clorofila em função das datas de amostragem, (média dos cinco tratamentos). Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

As plantas que não receberam N apresentaram menor IRC, que aumentou linearmente com o aumento das doses de N aplicadas em todas as datas de amostragem (Figura 20). Os valores de IRC reduziram-se com o decorrer do período reprodutivo, nas plantas em todos os tratamentos, proporcionalmente às doses de N, devido a maior demanda pela planta em função do crescimento de frutos, concomitante com o crescimento vegetativo.

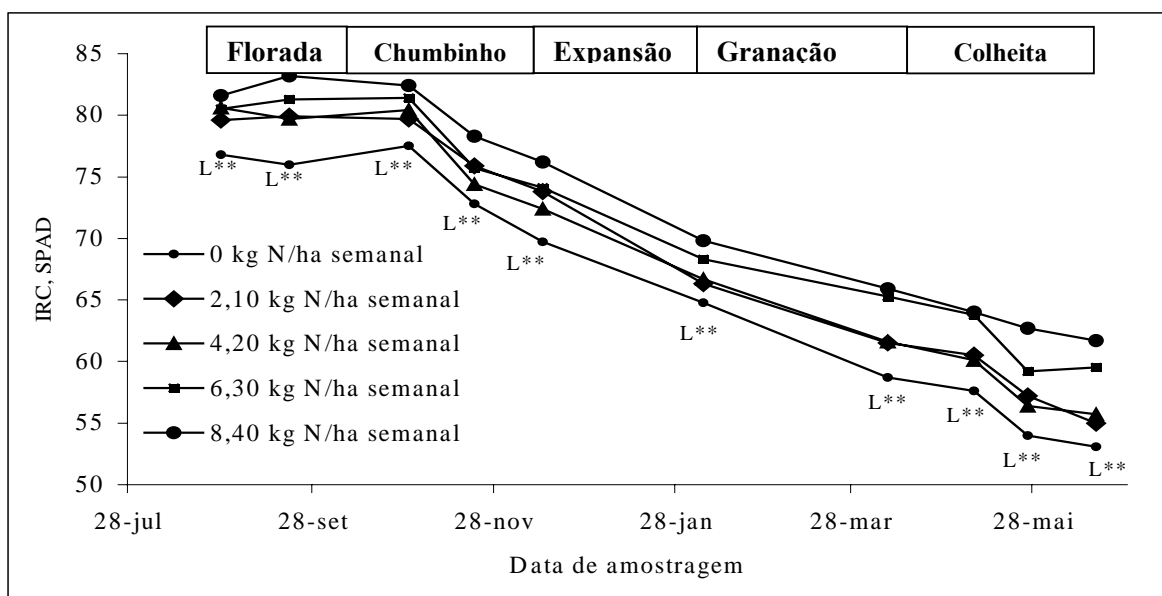


Figura 20. Índice Relativo de Clorofila (IRC-SPAD) em função das doses de N aplicadas via fertirrigação e da data de amostragem. L**: efeito linear significativo a 1%.

Tabela 34 Resumo da análise fatorial do peso específico (mg cm^{-2}) e datas das leituras do IRC, SPAD (Botucatu, 2003).

Causas da Variação	G.L.	Quadrado médio (significância)
Datas das Leituras de SPAD (A)	4	14,3035**
Doses de N (B)	4	0,0677ns
A X B	16	0,0854ns

ns, ** e * : não significativo, significativo a 5% e 1%, respectivamente, de acordo com o teste de F.

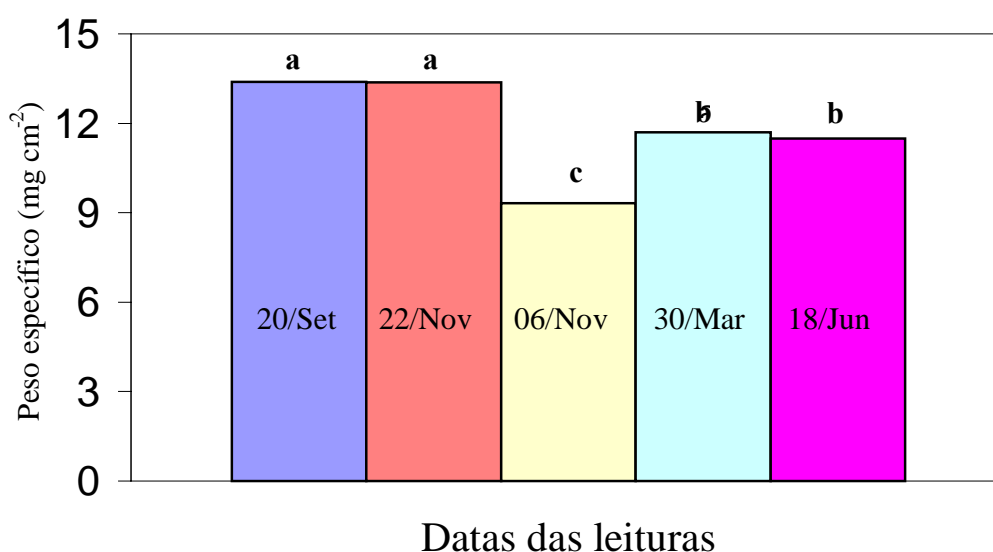


Figura 21. Peso específico de folha (PEF) em função das datas de amostragem. Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

6.6.2. Correlação do IRC com o teor de N na folha

O teor de N nas folhas não apresentou boa correlação com as leituras IRC, no início das avaliações (Tabela 35), mesmo apresentado variância significativa. Provavelmente esta baixa correlação com as leituras do IRC é devido a pequena amplitude entre os teores de N foliares em todos os tratamentos. Argenta et al.(2001) salientaram a pequena amplitude do IRC como um problema para a recomendação da adubação. A correlação melhorou a partir da terceira avaliação (09/01), provavelmente pelo aumento da amplitude entre os teores de N foliar em todos os tratamentos, efeito este ocasionado pela maior demanda em N pela planta nesta fase.

Lima Filho et al. (1997) encontraram correlação positiva e significativa entre o IRC e o teor de N foliar no cafeeiro ($R^2 = 0,73^{**}$) e o teor de clorofila ($R^2 = 0,95^{**}$), com uma boa amplitude de teor de N foliar (6 a 19 g kg⁻¹) conseguido em mudas de cafeeiros de 12 meses cultivados em solução nutritiva recebendo 0; 0,15 e 5 mmol de N.

Tabela 35 Correlações entre teores de N foliar e Leituras do IRC, SPAD, segundo teste de t. 1 (Botucatu, 2003).

Característica	Característica	
	Teor de N(g/kg ⁻¹)	Teor de N corrigido*(g/m ⁻²)
IRC(20/09)	-0,15ns	-0,34ns
IRC(22/11)	-0,12ns	-0,17ns
IRC(09/01)	0,55*	-0,29ns
IRC(30/03)	0,80**	0,70**
IRC(18/06)	0,51*	0,72**

ns, ** e *: não significativo e significativo a nível de 1% e 5% respectivamente, de acordo com o teste de F.

*Corresponde ao IRC dividido pela espessura da folha estimada

7 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Deve-se ressaltar que a produtividade alcançada de 3666 kg ha⁻¹ (61,1 sacas por hectare) foi obtida com níveis de adubação para uma previsão de produtividade de apenas 600 a 1200 kg ha⁻¹, ou seja, a fertirrigação foi muito eficiente no aproveitamento do adubo, além de ter adiantado o retorno do capital investido.

A alta produtividade alcançada também pela testemunha deve-se ao fato da adubação de plantio no sulco ter sido bem feita, portanto apesar da eficiência do aproveitamento do adubo pela fertirrigação, nunca deve ser negligenciada a adubação no fundo do sulco ou cova no transplantio das mudas.

Apesar da maioria dos produtores de café utilizarem a variedade Catuaí Vermelho que é suscetível a ferrugem, a fertirrigação parece promover uma maior incidência da doença pelo aumento da umidade do solo e do microclima, portanto deve-se procurar variedades que sejam resistentes à ferrugem e com igual potencial produtivo para fertirrigação.

Quando se obtém altas produtividades precocemente com a variedade Catuaí Vermelho é comum ocorrer seca de ramos e até mortes de plantas, isto também ocorreu no período após a colheita, porém este efeito não foi tão notado nas plantas que receberam as maiores doses e estas apresentaram maior potencial de produção para safra seguinte. Portanto ao utilizar a fertirrigação devem-se aumentar as doses de fertilizantes desde o início para nutrir bem a planta para a alta produção advinda deste manejo.

Foi observado também um crescimento maior de ervas daninhas na linha de plantio nos tratamentos irrigados. Como a capina manual em áreas irrigadas por gotejamento fica difícil de ser realizada e pode trazer prejuízos ao sistema de irrigação, aconselha-se o uso de herbicidas pré-emergentes aplicados na água de irrigação para minimizar custos.

Outra observação constatada foi a maior incidência de brotos ladrões nos tratamentos que receberam maior quantidade de fertilizantes, porém esta era minimizada se a planta tinha sido bem conduzida na retidão de seu caule com um bom estaqueamento.

A utilização de cloreto de potássio vermelho dificulta muito a fertirrigação devido ao surgimento de sólidos em suspensão de origem ferrosa, aconselha-se o uso de cloreto de potássio branco para fertirrigação, pois este é altamente solúvel e não causa entupimentos ao sistema de irrigação.

Aconselha-se o uso de fitas de gotejamento com pré-filtro interno, pois foram verificados uma baixíssima incidência de entupimentos no sistema de irrigação com este tipo de material.

Não são aconselháveis o uso de fitas de gotejamento com a espessura utilizada neste experimento, pois foi verificada uma grande incidência de perfurações provenientes de cortes por insetos, principalmente por formigas saúvas.

Foi observada uma maior incidência de afogamento do colo do cafeeiro com morte das plantas nos tratamentos que receberam adubações da maneira convencional do que pela fertirrigada, provavelmente pela combinação dos fatores afogamento e aumento da condutividade elétrica no solo devido à aplicação do adubo de forma menos parcelada do que na fertirrigação.

8 CONCLUSÕES

Para as condições em que foi desenvolvido este trabalho pode-se concluir:

a) Irrigação x sem irrigação – a irrigação promoveu:

- diminuição do teor de MO do solo na camada de 20 a 40 cm;
- aumento dos teores de P, S na folha;
- nenhuma diferença no diâmetro de caule e altura de plantas;
- nenhuma diferença estatística na produtividade

b) Fertirrigação x adubação convencional – a fertirrigação promoveu:

- diminuição do pH e teor de Mg e aumento do H + Al no solo na camada de 0 a 20 cm;
- diminuição de pH e SB e aumento do H + Al na camada de 20 a 40 cm;
- aumento no teor de N na folha;
- aumento na altura e diâmetro de caule no primeiro e início do segundo ano;
- nenhuma diferença estatística na produtividade, embora na fertirrigação a produtividade aumentou 27,5%.

c) Doses de fertirrigação – com aumento das doses ocorreu:

- diminuição do pH, P, V% e aumento de K na camada de 0 a 20 cm;
- relações quadráticas negativas para MO, Ca, SB e CTC na camada de 0 a 20 cm;
- diminuição do pH, P, Ca, V% e SB e aumento do H +Al e K;
- e relações quadráticas negativas para MO, na camada de 20 a 40cm;
- aumento de N e K e diminuição de Mg, P e B na folha;
- nenhuma diferença para diâmetro de caule e altura de plantas;
- aumento de produtividade.

d) Uso do clorofilômetro:

- houve correlação linear positiva entre a leitura do clorofilômetro (IRC) e o as doses de nitrogênio aplicadas via fertirrigação;

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÉGRE, C. Climatis et caféiers d'Arabie. **Agronomic Tropicale**, Paris, v. 14, n. 1, p. 23-58, 1959.]

ALVES, D.R.B. **Efeitos de adubações nitrogenadas via água de irrigação e convencional na produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.)**. 1996. 76 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

ALVES, M. E. B. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação**. 1999. 94 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A**. 1994. 104 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação por gotejamento em melancia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.1-3.

ANTUNES, C. L.; VILLAS BÔAS, R. L. Panorama da fertirrigação no Brasil. In: **FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO**. Agriannual 2002: anuário da agricultura brasileira, São Paulo, p.54-59, 2002.

ANTUNES, R. C. B. **Determinação da evapotranspiração e influência da irrigação e da fertirrigação em componentes vegetativos, reprodutivos e nutricionais do café arábica**. 2000. 139 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.

ARAÚJO, J. A. C. **Análise do comportamento de uma população de café Icatu (H-4782-7) sob condições de irrigação por gotejamento e quebra-vento artificial.** 1982. 87p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1982.

ARBOLEDA, V. C.; ARCILA, P. J.; MARTINEZ, B. R. Sistema integrado de recomendación y diagnosis: uma alternativa para la interpretación de resultados del análisis foliar en café. **Agron. Colombiana**, Bogotá, v. 5, p. 17-30, 1988.

ARGENTA, G. et al. Relação da leitura do clorofilômetro com os teores de clorofila extraível e de nitrogênio na folha de milho. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. Londrina, v. 13, n. 2, 2001, p. 158-167.

AWATRAMANI, N. A.; MATHEUS, C.; MATHEW, P. K. Sprinkler irrigation for coffee. II. Studies on Robusta Coffee. **Indian Coffee**, Bangalore, v.37, n. 1, p. 16-20, 1973.

BAR-YOSEF, B. Fertilization under drip irrigation. In: PALGRAVE, D.A. (Ed.) **Fluid fertilizer: science and technology**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 285-325.

BASTOS, C. E. R. **Avaliação do desenvolvimento de variedades, cultivares e progênies de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) submetido a diferentes doses de potássio no substrato.** 1994. 80p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1994.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação.** 5.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1989. 596 p.

BOLAN, N. S.; HEDLEY, M. J.; WHITE, R. E. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. In: WRIGHT, R.J.; BALIGAR, V. C.; MUR-RMANN, R. P. (eds.). **Plant-soil interactions at low pH**. Beckley: Kluwer Academic Publishers, 1990. p.169-179.

BRANDO, C. H. J. Vantagens e vulnerabilidade da cafeicultura brasileira. In: **FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS**. Agriannual 2003: anuário da agricultura brasileira, São Paulo, p.251-254, 2003.

CAMARGO, A. P. Efeitos na produção de café, épocas de rega e de supressão da água, por meio de cobertura transparente (barçaça). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Resumos...** Rio de Janeiro: IBC, 1984. p.62-64.

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

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

CARVAJAL, J. F.; ACEVEDO, A.; LOPEZ, C. Nutrient uptake by the coffee tree during a yearly cycle, **Turrialba**, Turrialba, v. 19, n. 1, p. 13-20, mar. 1969.

CARVALHO, W. A.; ESPINDOLA, C. R.; PACCOLA, A. A. Levantamento de solos da fazenda Lageado. **Boletim Científico da Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu**, Botucatu, n. 1, p. 1-95, 1983.

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

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais (5ª. aproximação)**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CORRÊA, J. B.; GARCIA, W. R.; COSTA, P. C. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 13., 1986, São Lourenço. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1986. p. 35 – 41.

COSTA, A. N.; PREZOTTI, L. C. Padrão de referência para o uso do DRIS na avaliação do estado nutricional do café arábica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. **Anais...** Manhuaçu: MAA, 1997. p. 191-192.

DANIEL, J. S. **Experimento de duas variedades de café, sob condições naturais e sombreadas, irrigadas e não irrigadas**. Belo Horizonte: Instituto Agrônomico de Minas Gerais, 1957. (Projeto n. 310).

DIMENSTEIN, L. Método de monitoramento nutricional da solução do solo para manejo de fertirrigação. In: SANTOS, C. M. **Irrigação da cafeicultura no Cerrado**: palestras. Uberlândia: UFU, 2001. p. 173-177.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Tradução de H.R. Gheyi et al. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: irrigação e drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, J. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. Rome: FAO, 1977. 179 p. (FAO Irrigation and Drainage, 24).

DOURADO NETO, D. et al. Programa para confecção da curva característica de retenção de água do solo utilizando o modelo de van Genuchten. **Engenharia Rural**, v. 1, n. 2, p. 94-101, 1990.

EMBRAPA Café. Produtos - EMBRAPA/Café[online]. 2001. Disponível em:< <http://www.embrapa.br/cafe/produtos/index.htm> > acesso em: 3 jan. 2001.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise de solo**. 2 ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1997, 212 p.

EMBRAPA Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999, 412 p.

FARIA, M. A. et al. Influência das lâminas de irrigação e da fertirrigação na produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) 2^a. colheita. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari, **Anais...** Uberlândia: UFU, 2001. p. 11-4

FARIA, R. T.; SIQUEIRA, R. Crescimento e produção de cafeeiro e culturas intercalares, sob diferentes regimes hídricos. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8., 1988, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ABID, 1988. p. 41-64.

FERNANDES, A. L. T. et al. Efeito do posicionamento de gotejadores no perfil do solo em diferentes profundidades e distanciamentos do cafeeiro. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2001. p. 15-9

FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS AGRIANUAL 2003: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2003. 544p.

FRANCO, C. M. Translocação lateral de N, P e K no cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC-GERCA, 1984, p. 1-2.

FREIRE, A. C.; MIGUEL, A. E. Disponibilidade de água no solo no período de 1974 a 1984, e seus reflexos na granação, qualidade e rendimento dos cafés nos anos de 1983 e 1984, na região de Varginha-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 11., 1984, Londrina. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1984. p. 113-114.

FURLANI, R. C. M. et al. Aplicação de níveis de nitrogênio em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí e sua correlação com teores foliares de clorofila. In: FERTBIO, 2., 2000, Santa Maria. **Resumos...**Santa Maria: SBCS/UFMS, 2000a. (CD-ROM).

FURLANI, R. C. M. et al. Estudo da correlação entre leitura de clorofila e níveis de nitrogênio em cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Mundo Novo. In: FERTBIO, 2., 2000, Santa Maria. **Resumos...**Santa Maria: SBCS/UFMS, 2000b. (CD-ROM).

FURLANI JUNIOR, E. et al. Níveis de nitrogênio em cafeeiro (*Coffea canephora* Pierre.) e sua correlação com teores foliares de clorofila. In: FERTBIO, 2., 2000, Santa Maria. **Resumos...**Santa Maria: SBCS/UFMS, 2000. (CD-ROM).

GENUCHTEN, M. van A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, p. 892-898, 1980.

GERVÁSIO, E. S. **Efeito de diferentes lâminas de água no desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) na fase inicial de formação da lavoura.** 1998. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998.

GIL, P. T. et al. Índice SPAD para o diagnóstico do estado de nitrogênio e para o prognóstico da produtividade da batata. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, p. 611-615, 2002.

GLANDER, H. **Crecimientos y experiencias obtenidas en la abanadura de café.** **Verlagsgesellschaft fur Ackerbaer MBH**, 1958. (Boletim Verde n. 8).

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** Simpósio “Manejo de Irrigação”. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 113-238.

GOPAL, N. H. Some physiological factors to be considered for stabilization of arabica coffee. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 38, p. 217-21, 1974.

GOPAL, N. H.; VISVESWARA, S. Flowering of coffee under South Indian condition. **Indian Coffee**, Bangalore, v. 35, n. 4, p. 142-3 e 154, 1971.

GRAPE Grower adds insurance policy to drip irrigation. **Irrigation Journal**. Cathedral City: v. 47, n. 1, p. 22-23, 1997.

GROHMANN, F.; CAMARGO, A. P.; DESSIMONI, L. M. Consumo da água disponível do solo nas diferentes fases fenológicas do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas, 1983. **Anais...** Rio de Janeiro, IBC/GERCA, 1983. p. 33-4.

GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G.; SOUZA, C. A. S.(Ed.) **Cafeicultura.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 317 p.

GUIMARÃES, T. G. et al. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com as formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. **Bragantia**, v. 58, n. 1, p. 209-216, 1999.

HAARER, A. E. **Modern coffee production.** London: Leonard Hill, 1962. 495 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DO CAFÉ **Cultura de café no Brasil:** manual de recomendações. 4 ed. Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1981. 503 p.

JUNQUEIRA, A. M. R.; OLIVEIRA, C. A. S.; VALADÃO, L. T. Fabricação “caseira” de tensiômetros de boa performance e baixo custo. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** v. 1. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p. 253-5.

KARASAWA, S.; FARIA, M. A.; GUIMARÃES, R. J. Desenvolvimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em função do parcelamento de adubação e lâmina d’água aplicada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 4., 2001, Araguari. **Anais...** Uberlândia: UFU, 2001, p. 25-28

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design**. Glendora: Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 133 p., 1975.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia**: relações solo-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 262p.

KOBAYASHI, K. D.; NAGAO, M. A. Irrigation effects on vegetative growth of coffee. **Hort Science**, Alexandria, v. 21, n. 3, p. 533, June 1986.

LAZZARINI, W. Ensaio preliminar de irrigação de café. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v. 27, n. 303, p. 408-16, 1952.

LEITE, C. A. M.; SILVA, O. M. A demanda de cafés especiais. In: ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UVF, 2000, p. 51-74.

LIMA, E. et al. **Recomendação para as principais culturas do estado do Paraná**. In: PARANÁ. SEAB. Manual teórico do subprojeto de manejo e conservação do solo. 2 ed. Curitiba, 1994, 372 p.

LIMA FILHO, O. F.; MALAVOLTA, E; CABRAL, C. P. Avaliação preliminar de um medidor portátil de clorofila como ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada do cafeeiro. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 642-650, out. 1997.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1986. p. 165-274.

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

MALAVOLTA, E. et al. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E.; FERNADES, D. R.; ROMERO, J. P. **Seja o doutor do seu cafezal**. Piracicaba: Potafos, 1993a. 13 p. (Informações Agronômicas, 64).

MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O. F. Estudos sobre a nutrição de nitrogênio e potássio para a vegetação e a produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília:MAA-PROCAFÉ, 1998 (CD-ROM Jubileu de Prata).

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201 p.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. G.; AROALDO, J. **Nutrição e adubação do cafeeiro.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 226 p.

MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J. A. **Nutrição e Adubação do cafeeiro.** Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1983, 224 p.

MANTOVANI, E. C. A irrigação do cafeeiro. **ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna,** Brasília, n. 48, p. 50-55, 2000.

MANTOVANI, E. C. A irrigação do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade.** Viçosa: UFV, 2000a. p. 263-292.

MARINO, L. K.; BREDARIOL, F. Quem fica com a maior parte da receita do café In: **FNP CONSULTORIA & AGROINFORMATIVOS.** Agriannual Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP Consultoria e Agroinformativos, 2003, p. 254-255.

MARTINEZ, H. E. P. et al. Avaliação da fertilidade do solo, padrões para diagnose foliar e potencial de resposta à adubação de lavouras cafeeiras de Minas Gerais. In: ZAMBOLIM, L.(Ed) **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade.** Viçosa: Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, 2000. p. 209-238.

MATIELLO, J. B. **O café do cultivo ao consumo.** São Paulo: Globo, 1991. 320 p.

MATIELLO, J. B. Absorção radial pronunciada de sais aplicados ao solo em cafeeiros conillon In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 24., 1998, Poços de Calda. **Anais...** Brasília:MAA-PROCAFÉ, 1998 (CD-ROM Jubileu de Prata).

MATIELLO, J. B.; DANTAS, S. F. A. Desenvolvimento do cafeeiro e do sistema radicular com e sem irrigação em Brejão (PE). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Resumos...** Campinas, 1987. p. 165.

MATIELLO, J. B. et al. Observações sobre salinidade de água e do solo na toxidez ao cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Brasília: MAA-PROCAFÉ, 1998 (CD-ROM Jubileu de Prata).

- MATIELLO, J. B. et al. Novas observações sobre os efeitos hídricos no pegamento da florada de cafeeiros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEIRA, 21., Caxambu, 1995 **Anais...** Brasília: MAA-PROCAFÉ, 1998 (CD-ROM Jubileu de Prata).
- MEDCALF, V. C. et al. Programa experimental no Brasil. **IBEC Research Institute**, v. 6, p. 24-31, 1956.
- MENDES, A. N. G. et al. Recomendações Técnicas para a cultura de cafeeiros no sul de Minas. In: ENCONRO SUL MINEIRO DE CAFEICULTORES, 1995, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 1995. 76p.
- MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, R. J. **Economia cafeeira: o agribusiness**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 59 p.
- MENDONÇA, F. C. Evolução dos custos e avaliação econômica de sistemas de irrigação utilizados na cafeicultura. In: SANTOS, C.M. **Irrigação da cafeicultura no Cerrado: palestras**. Uberlândia: UFU, 2001. p. 45-78.
- MIGUEL, A. E. et al. A influência do déficit hídrico em diferentes épocas do após a floração, no desenvolvimento de frutos de café. In: CONGRESSO BRASILEIRO PESQUISA CAFEIRA, 4., 1976, Caxambu. **Anais...** Caxambu, 1976. p. 184-7.
- MIGUEL, A. E.; REIS, G. N.; MATIELLO, J. B. Influência do déficit hídrico em diferentes períodos após a floração, no desenvolvimento e na qualidade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 19., 1993, Três Pontas. **Anais...** Três Pontas, 1993. p. 9-11.
- MINOLTA CAMERA Co. Ltd. Manual for chlorophyll meter SPAD-502. Minolta Radiometric Instruments Div., Osaka, 1989. 22 p.
- MINOTTI, P. L.; HALSETH, D. E.; SIECKZA, J. B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. **HortScience**, v. 29, p. 1497-1500, 1994.
- MORICOCHI, L.; MARTIN, N. B.; VEGRO, C. L. R. Produção de café nos países concorrentes do Brasil e tendências de consumo mundial. **Informações Econômicas**, São Paulo, v. 27, n. 5, p. 7-24, 1997.
- NAZARENO, A.; MENDES, G. Cultivares com potencialidade para lavouras irrigadas. In: ENCONTRO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO NA CAFEICULTURA DO CERRADO, 6., 2000, Uberlândia. **Irrigação na Cafeicultura do Cerrado: Palestras**. Uberlândia: UFU, 2001. p. 126-128.
- NEVES, Y. P. et al. Crescimento, produção e acúmulo de nutrientes por quatro cultivares de café fertirrigadas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFES DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro, **Anais...** Porto Seguro, 2003. p. 404-405.

NOGUEIRA, F. D.; LIMA, L. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Fertirrigação no cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v. 19, n. 193, p. 82 – 91, 1998.

NUTMAN, F. J. The root system of *Coffea arabica* L. – II: the effect of some soil conditions in modifying the “normal” root system. **Empire Journal of Experimental Agriculture**, Oxford, v. 1, p. 285-296, 1933.

OLIVEIRA, M.V. A. M. Uniformidade de distribuição temporal e espacial do KCl na fertirrigação, em um sistema de irrigação por gotejamento. 2002, 75 p. Dissertação (Mestrado em agronomia/ irrigação e drenagem) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2002.

OLLITA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Livraria Nobel S. A., 1981. 267p.

PAULO, E. M. et al. Correlação entre leitura de clorofila e níveis de nitrogênio em cafeeiro (*Coffea arabica* L.). In: FERTBIO, 2., 2000, Santa Maria. **Resumos...**Santa Maria: SBCS/UFSM, 2000. (CD-ROM).

PENG, S. et al. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter’s estimate of rice leaf nitrogen concentration. **Agronomic Journal**, v. 85, p. 987-990, 1993.

PETERSON, T. A.; BLACKMER, T. M.; SCHEPERS, J. S. Using a chlorophyll meter to improve N management. **NebGuide**. Lincoln, University of Nebraska, Cooperative Extension, Institute of Agricultural and Natural Resources, 1993, 5 p. Disponível em:< <http://ianrwww.unl.edu/pubs/soil/g11/1.htm>> Acesso em: 4 fev. 2000.

PICINI, A. G. **Desenvolvimento e teste de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a partir do monitoramento da disponibilidade hídrica do solo**. 1998. 132 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1998.

POWER, P. P.; WOODS, W. G. The chemistry of boron and its speciation in plants. In: DELL, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W. (Eds.). **Boron in soil and plants: review**. Symposium, Chiang Mai, reimpresso em Plant and Soil, v. 193, n. 1-2, p. 1-13, 1997.

PREZOTTI, L. C. **Recomendação de calagem e adubação para o estado do Espírito Santo: 3ª aproximação**. Vitória: EMCAPA, 1992. 73 p. (Circular Técnica, 12).

PREZOTTI, L. C. et al. Adubação de formação e manutenção de cafezais (Sistema para recomendação de fertilizantes e corretivos do solo para a cultura do café arábica). In: ZAMBOLIM, L. (Ed). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UVF, 2000. p. 125-147.

RAIJ, B. V. et al. **Análises químicas para avaliação de fertilidade de solos tropicais**. Campinas: IAC/FUNDAG, 2001, 285 p.

RAIJ, B. V. et al. (Coord.) *Café*. 1997, p. 97-101. In: RAIJ, B. V. et al. (Ed.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônomo/ Fundação IAC, 1997.

REIS, A. R. et al. Aplicações de doses crescentes de nitrogênio em cafeeiro em diferentes sistemas de parcelamento e a relação com as leituras de clorofila. In: XXVX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Resumos...** Ribeirão Preto, 2003. (CD-ROM).

REIS, G. N.; MIGUEL, A. E.; OLIVEIRA, J. A. Efeito da irrigação em presença e ausência de adubação NPK, em cafeeiros em produção – resultado de 3 produções. Caratinga – MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA CAFEEIRA, 16, 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Anais...** Espírito Santo do Pinhal, 1990. p. 19-21.

REIS JÚNIOR, R. A. et al. Diagnose nutricional de cafeeiros da região de Minas Gerais: normas DRIS e teores foliares adequados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 26, p. 801-808, 2002.

RENA, A. B.; GUIMARÃES, P. T. G. **Sistema radicular do cafeeiro**: estrutura, distribuição, atividade e fatores que o influenciam. Belo Horizonte: EPAMIG, 2000. 80 p. (EPAMIG, Série Documentos, 37).

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A.B. et al. **Cultura do cafeeiro**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo, 1986. p. 14-85.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Ecofisiologia do cafeeiro. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S. O.; YAMADA, T. (Eds.) **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Potafos, 1987, p. 119-147.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro. **Item – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 48, p. 34-41, 2000.

RENA, A. O. B. et al. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, Londrina, 1994. **Anais...** Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 1996. p. 73-85.

SAINS, H. R.; ECHEVERRÍA, H. E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento en grano. **Revista de la Faculdade de Agronomia**. La Plata, n. 103, 1998. p. 37-44.

SANTINATO, R. Avanços de tecnologia na cultura do café. In: SANTOS, C.M. **Irrigação da cafeeicultura no Cerrado**: palestras. Uberlândia: UFU, 2001. p. 79-82.

SANTINATO, R. et al. Modo de adubação NK no cafeeiro irrigado por gotejamento em região com déficit hídrico limitante à cultura do *Coffea arabica* – fase de formação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 15., 1989, Maringá. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC, 1989. p. 227-9.

SANTINATO, R.; FERNANDES, A. L. T.; FERNANDES, D. R. **Irrigação na cultura do café.** Campinas: Arbore, 1996a. 146p.

SANTINATO, R.; LESSI, R.; YAMADA, A. Efeito do Triadimenol associado ao Dissulfoton (Baysiston) e ao Aldicarb (Bayfidan+Temik) na recuperação de lavoura irrigada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22., 1996, Águas de Lindóia. **Anais...** Águas de Lindóia, 1996b. p. 200-3.

SANTOS, C. M. et al. Diagnóstico da cafeicultura irrigada no cerrado. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA EM CAFEICULTURA IRRIGADA, 1, 1998, Araguari. **Palestras e Resumos...** Uberlândia: UFU/DEAGO, 1998. p. 120-5.

SANTOS, T. S. et al. Monitoramento do estado nutricional em nitrogênio do cafeeiro cv. catuaí fertirrigado por gotejamento baseado no índice relativo de clorofila. In: Simpósio de Pesquisas Cafeeiras, 3., 2003, Porto Seguro. **Resumos...** Porto Seguro: EMBRAPA/ Café, 2003 (CD-ROM).

SCHIMIDT, C., HE, T., CRAMER, G.R. Supplemental calcium does not improve growth of salt-stressed brassicas. **Plant Soil**, v. 155-156, p. 415-8, 1993.

SILVA, A. M. et al. Avaliação do efeito da época de irrigação e da fertirrigação sobre a produtividade do café. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., 2000, Fortaleza, **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. (CD-ROM).

SILVA, A. M. et al. Avaliação do efeito da época de irrigação e da fertirrigação sobre a produtividade e qualidade física do café (safra 1999/2000). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz de Iguaçu, **Anais...** Foz de Iguaçu: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2001. (CD-ROM).

SILVA, O. M.; LEITE, C. A. M. Competitividade e custos do café no Brasil e no exterior. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade.** Viçosa: UVF, 2000, p. 27-50.

SNOECK, J. Essai d'irrigation du caféir Robusta. **Café Cacao Thé**, Paris, v. 21, n. 2, p. 111-28, avr.-juin, 1977.

SOBRINHO, I. B.; MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B. Efeito da irrigação suplementar na estação seca no desenvolvimento e produção de café arábica na região de Alta Floresta – MT.

Congresso Brasileiro de Pesquisa Cafeeira, 12., 1985, Caxambu, **Anais...** Caxambu, MG. 1985. p. 191-193.

SORICE, L. S. D. **Irrigação e fertirrigação de cafeeiros em produção.** 1999. 59 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/ Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SOUSA, V. F.; SOUSA, A. P. Fertirrigação: tipos e seleção de produtos, aplicação e manejo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. **Anais...**: v. 4. Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2529-38.

STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM FOR WINDOWS RELEASE 6.12 – SAS System Help. Cary, North Carolina, 1996.

TESSLER, M. Irrigação por gotejamento, uma revolução na produção de café. *Agriannual 2002: anuário da agricultura brasileira*, São Paulo, p. 220-224, 2002.

THORNTWAIT, G. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55- 94, 1948.

THREADGILL, E. D. Chemigation via sprinkler irrigation: current status and future development. **Applied Engineering in Agriculture.** v. 1, n. 1, p. 16-23, June 1985.

TOSELLO, R. N., REIS, A. J. Contribuição ao estudo da irrigação e restauração da lavoura velha de café. 1. Resultados da Estação Experimental de Ribeirão Preto. **Bragantia**, Campinas, v. 20, p. 997-1044. 1961.

VIEIRA, R. F. Introdução a quimigação. In: COSTA, E. F., VIERA, R. F., VIANA, P. A. **Quimigação: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação.** Brasília: Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo, EMBRAPA, 1994. 315 p.

VIEIRA, R. F.; BONOMO, R. Fertirrigação em café. **Item – Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 48, p. 64-73, 2000.

VILELLA, W. M. C. **Diferentes lâminas de irrigação e parcelamentos de adubação no crescimento, produtividade e qualidade dos grãos do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)** 2001. 95p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/ Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2001.

VILLAS BÔAS, R. L.; ZANINI, J. R.; DUENHAS, L. H. Uso e manejo de fertilizantes em fertirrigação. In: ZANINI, J. R.; VILLAS BÔAS, R. L.; FEITOSA FILHO, J. C. (Eds.) **Uso e manejo da fertirrigação e hidroponia.** Jaboticabal: Funep, 2002, p. 1–26.

VITTI, G. C.; BOARETO, A. E.; PENTEADO, S. R. Fertilizantes e fertirrigação. In: VITTI, G.C.; BOARETO, A.E. **Fertilizantes Fluidos.** Piracicaba: Potafos, 1994. p. 261-81.

WILLSON, K. C. Mineral nutrition and fertilizer needs. In: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K. C. (eds.). **Coffee - Botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London, England: Croom Helm, 1985. 215 p.