

**ADUBAÇÃO NPK EM CAFEZAIS SOB  
SISTEMA DE PLANTIO ADENSADO NA  
REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

**FELIPE CAMPOS FIGUEIREDO**

**2004**

11 1571

**FELIPE CAMPOS FIGUEIREDO**

**ADUBAÇÃO NPK EM CAFEZAIS SOB SISTEMA DE PLANTIO  
ADENSADO NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de "Mestre".

**Orientador**

**Prof. Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2004**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca Central da UFLA**

**Figueiredo, Felipe Campos**

**Adução NPK em cafezais sob sistema de plantio adensado na Região  
Sul de Minas Gerais / Felipe Campos Figueiredo. – Lavras : UFLA, 2004.  
54 p. : il.**

**Orientador: Antonio Eduardo Furtini Neto.**

**Dissertação (Mestrado) – UFLA.**

**Bibliografia**

**I. Café. 2. Universidade Federal de Lavras. 3. Café adensado.  
4. Superfície de resposta. 5. Macronutrientes 6. Recomendação. II. Título.**

**CDD-633.73894**

**FELIPE CAMPOS FIGUEIREDO**

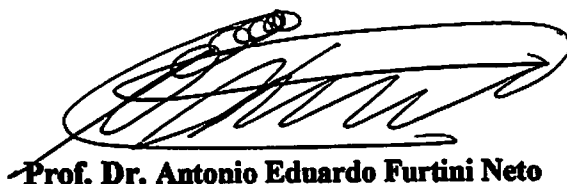
**ADUBAÇÃO NPK EM CAFEZAIS SOB SISTEMA DE PLANTIO  
ADENSADO NA REGIÃO SUL DE MINAS GERAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para a obtenção do título de “Mestre”.

**APROVADA em 13 de agosto de 2004.**

**Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG – Lavras**

**Prof. Dr. Enilson de Barros Silva - FAFEID - Diamantina**



**Prof. Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto  
UFLA  
(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL**

A Deus que me privilegiou com capacidade, possibilitando meu crescimento: agradeço, bendigo e dedico esse trabalho.

## **DEDICO**

Aos meus pais Antônio Pereira de Figueiredo e Maria das Graças Campos Figueiredo que conduziram minha vida e me permitiram alcançar meus ideais.

Aos meus irmãos: Nuno, Vitor Alexandre e a minha irmãzinha Aline que fortificam a construção da minha vida familiar e profissional.

## **OFEREÇO**

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciência do Solo, assim como à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Ao professor Antônio Eduardo Furtini Neto pela orientação ao longo da minha graduação e principalmente na pós-graduação.

À EPAMIG, na pessoa do meu co-orientador Paulo Tácito Gontijo Guimarães, pela fundamental co-orientação e concessão dos dados, bem como a todos profissionais: técnicos e funcionários, essenciais à condução dos experimentos, Ronaldo Nogueira de Medeiros e o Técnico Agrícola Hélio Almeida Pereira, em Três Pontas e aos Técnicos Agrícolas Juracy Júnior de Oliveira e Homero Gomes Lemos de São Sebastião do Paraíso, assim como ao Engenheiro Agrônomo Antônio Wander Rafael Garcia e Leonardo Biscaro Jupiassú, pela contribuição na condução do ensaio de Varginha.

Aqueles que me auxiliaram na complexa resolução estatística aplicada a este experimento, em especial ao Marcelo Cirillo, aos Professores Delly, Paulo, Júlio, Daniel, Fabiano, Armando Conagin, Moacir e Adrianinha pelo abstrat.

Ao professor Enilson de Barros Silva, pelo auxílio estatístico, competência e colaboração para a melhor qualidade do trabalho.

Ao Sistema Brasileiro de Informação do Café, pelo apoio e enorme contribuição à revisão deste trabalho e o Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café, pela contribuição financeira para a condução dos experimentos.

A minha namorada Priscila e seus pais Sirlei e Cida pelo apoio nos piores e nos melhores momentos.

**Aos meus tios Josué e Cristina, Walter e Beatriz e Walter Júnior pelo exemplo e enorme ajuda que me deram aos quais serei eternamente agradecido.**

**E a todos amigos que tornaram esta jornada mais prazerosa.**



## SUMÁRIO

<b>RESUMO</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	ii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	3
2.1 O sistema de plantio adensado do cafeeiro e seus efeitos .....	3
2.2 Comportamento nutricional de cafezais adensados .....	10
2.2.1 Teores de macronutrientes no solo .....	11
2.3 Adubação e produção de cafeeiros adensados .....	13
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	16
3.1 Plantio e formação da lavoura .....	16
3.1.1 Fase de produção e aplicação dos tratamentos .....	20
3.1.2 Coleta de dados de produção e de solo .....	22
3.2 Tratamento estatístico dos dados .....	22
3.2.1 Produtividade .....	22
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	25
4.1 O agrupamento das safras pelo box-plot.....	25
4.2 Produtividades médias agrupadas em Três Pontas .....	25
4.2.1 Superfície de resposta para produtividade média de café nas safras de 2000 a 2003.....	27
4.2.2 Interseção de doses de NPK em Três Pontas.....	28
4.3 Produtividades médias agrupadas em São Sebastião do Paraíso.....	31
4.3.1 Superfície de resposta para produtividade média de café nas safras de 2000 e 2001 .....	32
4.3.2 Interseção de doses de NPK em São Sebastião do Paraíso .....	35
4.4 Produtividades médias agrupadas em Varginha.....	36
4.4.1 Superfície de resposta para produtividade média de café nas safras de 1998, 1999 e 2000 .....	38
4.4.2 Interseção de doses de NPK em Varginha .....	40
4.5 Análise e estimativa de doses comuns a todos os locais .....	41
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	45
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	46

## RESUMO

**FIGUEIREDO, F. C. Adubação NPK em cafezais sob sistema de plantio adensado na Região Sul de Minas Gerais. Lavras, UFLA, 2004, 54 p. (Dissertação de Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).<sup>1</sup>**

Existem poucas informações sobre adubação de cafeeiros sob sistema de plantio adensado, relativo a nutrição com macronutrientes. Até o momento a maioria dos resultados não são conclusivos para recomendação de adubação. O presente trabalho teve como objetivo a avaliação da aplicação de doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, considerando a hipótese de que cafeeiros adensados exigem menores adubações para altas produtividades. O delineamento experimental foi o fatorial fracionado (4x4x4)<sup>0,5</sup>, com espaçamento de 2,0 x 0,75 m (6667 plantas ha<sup>-1</sup>) perfazendo um total de 32 parcelas com as doses de: 100, 250, 400 e 550 kg ha<sup>-1</sup> para K<sub>2</sub>O e N e 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> em três locais distintos. No ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico dos municípios de Três Pontas e Varginha foram utilizadas as cultivares Rubí MG-1192 e Acaiá IAC 474/19 respectivamente e no LATOSSOLO VERMELHO distroférico, em São Sebastião do Paraíso foi utilizado a cultivar Catuai Vermelho IAC-99. A análise exploratória do box-plot possibilitou o agrupamento das safras com variabilidades e tendências semelhantes quando não se torna evidente a bienalidade de produções. Produtividades expressivas puderam ser obtidas com baixas doses de nutrientes, referentes às faixas de 100 a 155 kg ha<sup>-1</sup> de N, 0 a 8 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O comuns aos locais avaliados. No ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico de Três Pontas, essas doses foram suficientes para a produtividade de no mínimo 76% da máxima produtividade, assim como 95% na mesma classe de solo em Varginha e 88% no LATOSSOLO VERMELHO distroférico de São Sebastião do Paraíso.

---

<sup>1</sup> Comitê Orientador: Prof. Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto (Orientador) – UFLA; Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães (co-orientador) – EPAMIG.

## ABSTRACT

**FIGUEIREDO, F. C. NPK fertilization in high density coffee system in South Region of Minas Gerais. Lavras, UFLA, 2004. 54 p. (Dissertation – Master in Soil Science and Plant Nutrition).<sup>1\*</sup>**

There are little information about coffee plants fertilization under high density system in relation to macronutrient nutrition. Until now most of the results are not conclusive for fertilizer recommendation. The present work aimed to evaluate doses application of N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> and K<sub>2</sub>O considering the hypothesis that high density coffee system demands smaller fertilization for high productivities. The experimental design was a fractional factorial scheme (4x4x4)<sup>0,5</sup> with the spacing of 2.0 x 0.75 m (6667 plants ha<sup>-1</sup>) constituting a total of 32 plots with the doses of 100, 250, 400 and 550 kg ha<sup>-1</sup> for K<sub>2</sub>O and N and, 0, 60, 120 and 180 kg ha<sup>-1</sup> for P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> in three different locations. In the dystrophic Red-Yellow Argisol from Três Pontas and Varginha counties it were utilized the Rubi MG-1192 and Acaiá IAC 474/19 cultivars, respectively, and in the dystroferric Red Latosol from São Sebastião do Paraíso it was utilized the Red Catuaí IAC-99 cultivar. The box-plot exploratory analysis facilitated the grouping of the crops with variabilities and similar tendencies when the biennial productions does not become evident. Expressive productivities could be obtained with lower nutrient doses, ranging from 100 to 155 kg ha<sup>-1</sup> of N, 0 to 8 kg ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and 100 to 150 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. In the dystrophic Red-Yellow Argisol from Três Pontas, these doses were enough for the productivity of at least 76% of the maximum productivity, as well as, 95% in the same soil class in Varginha, and 88% in the dystroferric Red Latosol from São Sebastião do Paraíso.

---

<sup>1</sup> Guidance Committee: Prof. Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto (Major Professor) – UFLA and Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães – EPAMIG

# 1 INTRODUÇÃO

A cafeicultura de montanha, em Minas Gerais, exige cuidados especiais com relação às práticas de conservação do solo e, além disso, faz uso de poucos insumos e de baixos índices de mecanização (Guimarães & Nogueira, 1997).

A heterogeneidade ambiental encontrada em pequenas áreas, a utilização de poucos insumos e o custo da mão-de-obra, dificultam a competitividade da cafeicultura dessas regiões, em relação às outras de Minas Gerais, como: do Alto Paranaíba e do Triângulo Mineiro. As pequenas propriedades cafeeiras constituem 75% do total e possuem menos de 10 ha (FAEMG, 1996), sendo o sistema de plantio adensado uma alternativa à produção lucrativa de café.

Sabe-se que quanto menor a produção por planta, menor a sua demanda em nutrientes, sendo, neste caso, recomendada a redução nas quantidades de fertilizantes a serem utilizados. A CFSEMG (1989) sugere para espaçamentos entre plantas inferiores a um metro, redução de 20% na adubação recomendada; para espaçamentos entre linhas inferiores a dois metros, redução de 20% da recomendação e para plantios inferiores a um metro entre-plantas e dois metros entrelinhas uma redução de 30%. Neste caso, os plantios semi-adensados apresentam 3000 a 5000 plantas ha<sup>-1</sup>. Em solos sob plantios adensados com cafeeiros têm sido observados aumentos no pH, Ca, Mg, K, P, CTC efetiva, matéria orgânica e redução no Al trocável (Pavan et al., 1997).

A década de 90 marcou o início dos plantios super e hiperadensados (Bartholo et al., 1998), no entanto, a indefinição de tecnologias e manejos adequados até então não consolidados podem ter contribuído enormemente para o fracasso e a descrença daqueles que utilizaram esse sistema.

Nas condições sul mineiras são poucas as informações relativas à adubação do cafeeiro sob condições de adensamento, quanto ao requerimento

em macromolimentos, sendo que a maioria dos resultados ainda não permite conclusões para recomendação de adubação.

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação de respostas dos cafeeiros a doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, nas condições da região Sul de Minas Gerais, quando submetidas ao sistema de plantio adensado.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 O sistema de plantio adensado do cafeeiro e seus efeitos**

A obtenção de altas produtividades a curto prazo, com conseqüente redução no custo de produção da saca de café, têm sido a razão para muitos cafeicultores optarem pelo plantio do cafeeiro no sistema adensado. Vários fatores devem ser considerados na escolha do espaçamento da lavoura, como: o tamanho da propriedade, a declividade do terreno, a disponibilidade do uso de máquinas e implementos, para a aplicação dos tratos culturais e operações de pré e pós-colheita; a disponibilidade de mão-de-obra na região; a cultivar a ser plantada; o clima da região e sua influência na maturação dos frutos; a ocorrência de pragas e doenças; o custo de formação entre outros (Mendes, 1995).

As pesquisas sobre o efeito do espaçamento na produtividade iniciaram-se em 1932 no Instituto Agrônômico de Campinas. No ensaio de Mendes et al. (1967) com a cultivar Típica, o espaçamento 2,5 x 2,5m com uma e duas plantas por cova proporcionou ganho relativo de 70 a 98% em relação a espaçamentos mais largos. Em outro trabalho, Mendes (1944) afirmou que o cafeeiro produz muito mais abundantemente a pleno sol do que em sistema sombreado, porém, neste sistema, isoladamente, o cafeeiro produz inicialmente cargas muito grandes, ocorrendo a morte de grande número de plantas e outras, permanecendo em situação deplorável, ocasionando a diminuição da produção por um, dois ou mais anos, até a árvore se recompor. Um dos meios de se evitar tal desequilíbrio é o sombreamento ou um sistema que se aproximasse deste, indicando para isso o plantio de diversas plantas em uma mesma cova. Dessa forma, cada cafeeiro produziria menos, resistindo melhor ao depauperamento.

Como benefício do adensamento pode-se citar: um maior retorno a um curto espaço de tempo; altas produtividades já nas primeiras safras; carpas apenas até o 3º ano; redução do custo de colheita devido à alta produtividade ou ao maior rendimento (Nacif, 1997); melhoria nos atributos de fertilidade do solo (Pavan e Chaves, 1994); menor consumo de corretivos e fertilizantes; maior resistência das plantas aos déficits hídricos (Rena & Maestri, 1986); melhor distribuição da produção ao longo dos anos; maior vigor vegetativo e, menor produção por planta, o que proporciona um menor esgotamento das mesmas (Salazar-Arias & Mestre-Mestre, 1977; Nacif, 1997).

A população média dos cafezais de Minas Gerais é de 1800 plantas ha<sup>-1</sup> (Caixeta, 1985). Essa densidade de plantio condiciona a uma pequena população de plantas por área e uma baixa produção nas primeiras colheitas. Maiores espaçamentos (entre-linhas e entre-plantas) proporcionam uma maior produção por planta e menor produção por área (Nacif, 1997).

Também, Salazar-Arias & Mestre-Mestre (1977), estudando espaçamentos nas linhas de 1,50; 2,25 e 3,00 m e entre-plantas de 1,00; 1,50 e 2,00 m com populações que variavam de 1666 a 6667 plantas ha<sup>-1</sup>, concluíram: à medida que se aumentava a densidade de plantio, menor era a produção por planta e maior a produção por hectare.

Uma grande vantagem do adensamento seria promover a estabilização da produção na propriedade (Rivera, 1991; Mestre & Ospina, 1994), em decorrência do menor esgotamento individual das plantas (Rena & Maestri, 1986). Há ainda que se considerarem os impactos benéficos sobre o meio ambiente, decorrentes do menor uso de agrotóxicos, de fertilizantes e da maior proteção do solo, com ganhos expressivos nas qualidades físicas e químicas (Rena & Maestri, 1986; Androcioli Filho, 1994; Barros et al., 1995).

Sabe-se que quanto menor a produção por planta, menor a sua demanda em nutrientes, sendo recomendada a redução nas quantidades de fertilizantes a serem utilizados. A CFSEMG (1989) sugere para espaçamentos entre-plantas inferiores a um metro, uma redução de 20% na adubação recomendada; para espaçamentos nas entre-linhas inferiores a dois metros, uma redução de 20% na recomendação e, para plantios inferiores a um metro entre-plantas e dois metros entrelinhas, uma redução de 30%. Nesse caso, os plantios são semi-adensados ou seja com 3000 a 5000 plantas ha<sup>-1</sup>.

Em regiões de elevada altitude, com boa distribuição de chuvas, onde os cafeeiros são deixados em livre crescimento, existe, em muitos casos, uma perda de qualidade do produto (tipo e bebida), em decorrência da maturação desuniforme dos frutos (Browning & Fisher, 1976; Camargo et al., 1985), porém essa desuniformidade pode ser minimizada através do maior controle das adubações nitrogenadas nos plantios adensados (Viana et al., 1985).

Na Colômbia, Uribe-Henao & Salazar-Arias (1981), estudando quatro espaçamentos nas doses de 200, 400, 600 e 800g por cova, da fórmula 12-12-17, observaram que os maiores efeitos nas produções eram devidos mais às variações dos espaçamentos do que as variações nas doses dos fertilizantes.

Guimarães et al. (1994), trabalhando na região dos cerrados, em Patrocínio (MG), com três espaçamentos entre-plantas (0,5; 1,0 e 1,5 m) e três entre linhas (1,50; 2,25 e 3,00 m), ou seja, variando de 2222 plantas por hectare (4,5 m<sup>2</sup> cova<sup>-1</sup>) a 13333 plantas por hectare (0,75 m<sup>2</sup> cova<sup>-1</sup>) e quatro doses da fórmula 20-5-20, na fase de produção, nas quantidades de 1200, 2400, 3600 e 4800 kg ha<sup>-1</sup>, observaram que as diferentes adubações não influenciaram significativamente as produções, ao contrário dos efeitos dos espaçamentos, sugerindo que quantidades menores de fertilizantes deveriam ter sido aplicadas devido ao seu melhor aproveitamento pelas plantas. A eficiência da utilização



dos fertilizantes aplicados deve-se à maior densidade radicular, à menor lixiviação dos minerais, ao menor escoamento de água no solo devido à proteção proporcionada pelas folhas e à reciclagem dos nutrientes decorrentes da mineralização do material orgânico superficial que é acumulado (Cassidy & Kumar, 1984; Rena et al., 1994; Pavan & Chaves, 1994).

Estudando densidades de 1,4 a 11,2 m<sup>2</sup> por cova de duas plantas, Pavan & Chaves (1994) observaram que o aumento da população de cafeeiros por unidade de área proporcionou alterações ambientais que melhoraram a fertilidade do solo. Observaram um aumento no pH, nos teores de Ca, Mg, K e P, e do carbono orgânico, no índice de estabilidade dos agregados e na umidade do solo e redução nos teores de alumínio.

Uma vez que a grande maioria das propriedades cafeeiras possuem menos de 10 ha e, em especial, no Sul de Minas Gerais, onde o relevo acidentado é limitante à mecanização, o adensamento aparece como um sistema que pode ser indicado com a possibilidade de proporcionar alta rentabilidade por área.

A década de 1990 marcou o início de plantios com populações por área que chegaram aos superadensados e hiperadensados (acima de 20 000 plantas ha<sup>-1</sup>), porém sem informações tecnológicas concretas sobre o comportamento dos cafeeiros neste sistema (Bartholo et al., 1998).

A produção individual de cada planta tende a ser menor nas condições proporcionadas pelo sistema de adensamento de plantio (Carelli et al., 2001) e, com produtividade maior do que em cafeeiros não adensados, compensando o menor número de plantas por área.

Esse fato, mais o aumento do auto-sombreamento nos plantios adensados, amenizam a superprodução por planta e, conseqüentemente, a

flutuação entre duas colheitas consecutivas (bienalidade) (Miguel et al., 1979; Almeida et al., 1981).

Conforme Cooil (1953), altas produções levam o cafeeiro a um esgotamento das reservas de carboidratos em seus ramos, o que fica evidenciado pela baixa porcentagem de amido nas folhas jovens. Esse esgotamento das reservas muito rapidamente tem o efeito de limitar a área produtiva para a colheita do ano seguinte, assim como limitar as áreas foliares, comprometendo a capacidade fotossintética da planta. Terminado o crescimento do fruto, a concentração de amido volta a crescer, porém com forte dependência de fatores ambientais e nutricionais, que se forem limitantes, podem comprometer a safra seguinte.

No seu centro de origem, o cafeeiro é uma planta típica de sub-bosque, vegetando em ambiente sombreado e produzindo poucos frutos, suficientes, entretanto, para garantir a sobrevivência da espécie. Quando cultivado a pleno sol, o cafeeiro pode produzir abundantemente, ficando a planta comprometida em assegurar o suprimento das sementes em desenvolvimento (Sylvain, 1955).

Em experimento conduzido onde se obteve 12 colheitas no período em Londrina, Pavan et al. (1996) demonstraram que o aumento da densidade de plantio elevou a produção de café, principalmente nas primeiras colheitas, sendo que na densidade de 3 m<sup>2</sup> cova<sup>-1</sup>, não observaram diferenças entre os níveis médio e alto de adubação.

A produção e a população de plantas correlacionam-se positivamente e negativamente, à medida em que se aumenta o espaçamento tanto dentro como entre fileiras (Mendes et al., 1996).

O excesso de sombra em cafezais adensados promove teores altos de N nas folhas e podem levar a queda de produção, à medida em que se aumenta a adubação nitrogenada (Gallo et al., 1999).

Com base na adubação recomendada pela CFSEMG (1999), os cultivos de cafeeiros a pleno sol proporcionaram uma produção comparável com as plantas sob 48% de sombreamento e 40% da adubação recomendada. A uniformidade de maturação de frutos não foi afetada pela redução de luminosidade ou mesmo pelas doses de fertilizantes (Jaramillo, 2003).

O sombreamento excessivo (70% de ausência de luz) reduziu o desenvolvimento das cultivares de *C. arabica*, mas não alterou o de *C. canephora*, o qual, atingiu seu máximo de clorofila a 50% de luminosidade em relação ao cultivo a pleno sol. Em geral, os teores de clorofila e a redutase do nitrato aumentaram com o sombreamento, porém os teores de nitrogênio total por área foliar decresceram. Para o *C. arábica* 50 e 100% de luz expressam os maiores valores de N total por peso foliar (Fahl & Carelli, 1996).

Na cultivar Obatã a massa seca e a área da folha aumentaram com o nível de sombreamento, sendo que o comprimento dos internódios e o diâmetro da copa das plantas foram menores no tratamento a pleno sol. A produção acumulada durante dois anos consecutivos incrementada significativamente com o aumento da luminosidade. Mesmo em condições moderadas de sombreamento (50 e 70% da luz solar), a produção das plantas foi menor do que a pleno sol (Carelli et al., 2001). Resultados como este reforçam a adaptação do cafeeiro ao sistema adensado, pois nesta condição a maior densidade pressupõe o sombreamento recíproco entre plantas, reduzindo a produção individual e compensando no número de plantas por área, em relação aos cafeeiros não adensados.

Ao longo dos anos a pesquisa vem atribuindo ao sistema de plantio adensado do cafeeiro, algumas vantagens por promover uma melhor utilização da radiação solar, água e nutrientes. Em geral, a eficiência fotossintética é influenciada pela temperatura do solo, ar, folha, umidade relativa,

disponibilidade de água e balanço hídrico. O dossel de cultivos adensados propicia radiação e carga calorífera moderada à maioria das plantas, o é desejável ao cafeeiro, pois uma alta taxa fotossintética é associada à baixa luminosidade e temperaturas amenas. Por essas razões, o cafeeiro pode ser uma planta adaptada à sombra (Kumar & Tiezen, 1980; Rena & Maestri, 1986).

Em cultivos adensados, as folhas novas possuem orientação vertical, menor cerosidade epicuticular e reflexão da luz, que resulta em uma maior coleta de luz e maior fotossíntese, ao passo que as folhas velhas do mesófilo da planta são posicionadas horizontalmente, apresentando uma cerosidade epicuticular mais espessa, gerando maior reflexão luminosa, diminuindo a temperatura da superfície foliar e fotoxidação da clorofila, prolongando o período da razão fonte/dreno positiva (Akunda et al., 1979).

O adensamento favorece a relação folha/fruto, propiciando uma produção condizente à capacidade do cafeeiro em nutrir a frutificação (Rena et al., 1998). Em espaçamentos largos a situação se agrava, pois a relação folha/fruto menor que  $1000 \text{ mm}^2$  gera uma demanda maior que 70% do incremento em matéria seca para frutificação. Altas temperaturas e veranicos no período de enchimento reduzem a fotossíntese, provocando maior seca de ponteiros nessas condições (Cannel, 1976).

O sistema adensado proporciona maior rapidez em atingir o índice ótimo de área foliar, para as melhores relações que são de:  $470 \text{ mm}^2$  folha/flor e  $2000 \text{ mm}^2$  folha/fruto (Barros et al., 1982).

O número de floradas diminui no sentido dos menores espaçamentos, conduzindo à uma maturação mais uniforme (Nacif, 1997), apesar da literatura possuir relatos de alguns autores, que associam o adensamento à perda de qualidade, pela maturação desuniforme (Browning & Fisher, 1976; Camargo et al., 1985; Viana, 1985).

A melhoria das condições culturais e as exigências individuais menores do sistema adensado são fatores que conduzem à estabilidade produtiva e amenização do efeito de bienalidade comuns nos cafezais plantados com espaçamentos largos (Miguel et al., 1979; Almeida et al., 1981).


## 2.2 Comportamento nutricional de cafezais adensados

São relativamente poucas as pesquisas sobre nutrição e adubação de cafeeiros em plantio sob sistema adensado de produção e as recomendações relativas a elas são baseadas em estimativas. Embora seja evidente a maior eficácia deste sistema, ainda não se tem uma quantificação consistente desta eficiência.

Ao se avaliarem as doses do fertilizante 20-05-20 em vários espaçamentos, utilizando-se a cultivar Catuaí IAC-44, Nacif (1997) concluiu que doses pequenas de adubo já seriam suficientes para suprir a demanda do cafeeiro sob sistema de plantio adensado, nas condições do Cerrado Mineiro. No experimento, as doses de 1000 a 4800 kg ha<sup>-1</sup> de 20-05-20 proporcionaram produções semelhantes.

Em geral, plantios adensados possuem maiores teores foliares de N e tendência a menores teores de fósforo. Os teores de potássio aumentam proporcionalmente, em função das doses aplicadas (Androcioli Filho et al., 2002).

A maior densidade de plantio elevou a produtividade, principalmente nos primeiros anos, sendo que a uma densidade de 3 m<sup>2</sup> cova<sup>-1</sup> com 120 kg de N, 30 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 kg de K<sub>2</sub>O por ha, foi comparável à densidade de 9 m<sup>2</sup> cova<sup>-1</sup> com 240 kg de N, 60 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 200 kg de K<sub>2</sub>O por ha (Pavan et al., 1996).



O aumento nas doses de  $P_2O_5$  promoveu um aumento significativo da produtividade, enquanto que para o N, as respostas foram negativas em cafeeiros adensados (Gallo et al., 1999). Em contrapartida, cafeeiros adensados com 7142 plantas  $ha^{-1}$  apresentaram respostas lineares e crescentes com o aumento da dose de N, variando de 4 a 10 sacas  $ha^{-1}$ , para cada 100 kg de N aplicado. O fósforo e potássio apresentaram efeito quadrático, sendo que as melhores doses foram de 73 kg  $ha^{-1}$  de  $P_2O_5$  e 342 kg  $ha^{-1}$  de  $K_2O$  (Garcia et al., 2002).

### 2.2.1 Teores de macronutrientes no solo

O acúmulo de matéria orgânica no solo em cafezais adensados é o aspecto mais importante na melhoria das características do solo, devido a sua contribuição em 80 a 90% na capacidade de troca de cátions (Pavan et al., 1985). A maior eficiência do sistema adensado está diretamente ligada ao aumento na ciclagem de nutrientes, advindos da abundante decomposição e mineralização dos resíduos vegetais da própria lavoura, onde os nutrientes são absorvidos ou mesmo retidos pelas cargas negativas do solo. Isso leva a uma menor lixiviação de  $NO_3^-$  com bases, ocasionando maior acúmulo destes no sistema (Pavan & Chaves, 1994).

Para o fósforo, os teores adequados variam de 6 a 23  $mg\ dm^{-3}$ , conforme a textura do solo (CFSEMG, 1999). Em geral, o sistema de plantio adensado proporciona uma elevação nos teores de P da fração lábil, sendo o acréscimo de P-inorgânico maior que o P-orgânico, no sentido da maior densidade de plantas, chegando a 14,3% de P-orgânico e 85,7% P-inorgânico em uma população de 7143 plantas por hectare (Pavan & Chaves, 1994).

O maior número de plantas por hectare pressupõe uma ciclagem mais intensa, contribuindo para maior velocidade de liberação de K e P, aumentando a

disponibilidade destes no sistema (Silva et al., 2000; Jayarama et al., 1998). Em condição de baixa disponibilidade de P no solo, as plantas exsudam acentuadas quantidades de ácido cítrico, sugerindo maior liberação de formas insolúveis do nutriente, de certa forma desconsiderada por alguns extratores de P (Li et al., 1997; Silva et al., 2001).

A faixa adequada à produção, preconizada à cultura do cafeeiro, varia de 120 a 200 mg dm<sup>-3</sup> de K; porém no estado do Espírito Santo, após cinco produções, Prezotti & Rocha (2003) observaram que a adubação potássica não proporcionou aumento na produção, mesmo nos solos com teores iniciais de 76 a 100 mg dm<sup>-3</sup> de K. A dose inicial de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N foi suficiente para proporcionar teores foliares, médios de 31 g kg<sup>-1</sup> deste nutriente. Plantas submetidas ao sistema adensado de cultivo apresentaram maiores teores de P e K foliares quando comparadas àquelas cultivadas em menores densidades, ocorrendo elevação dos teores de P no solo, nas parcelas onde não houve adubação fosfatada e, sendo as maiores tendências de variações observadas em relação ao H+Al, pH, Al e V% (Prezotti & Rocha, 2003).

As análises de solo para P e K mostraram-se eficientes na avaliação da disponibilidade desses nutrientes e na predição de respostas à adubação (Gallo et al., 1999). Garcia et al. (2003) afirmaram que em teores próximos a 60 mg dm<sup>-3</sup> de potássio no solo ou 1,0% de K na CTC na camada de 0 a 20 cm foram observadas produtividades de até 60 sacas beneficiadas por hectare. Os teores foliares ficaram acima de 18 g kg<sup>-1</sup> apenas nos anos de safra baixa, enquanto que nos anos de alta produtividade houve queda significativa dos teores foliares para todos os tratamentos, independentemente do teor de potássio no solo. Essa resposta foi atribuída a maior exploração em profundidade do sistema radicular do cafeeiro, pois a camada superficial foi insuficiente para suprir a demanda nutricional dos mesmos.

## 2.3 Adubação e produção de cafeeiros adensados

Entre as plantas cultivadas, o cafeeiro é uma das mais exigentes em N. Dependendo das condições da lavoura e da expectativa de produção a recomendação de N, para o Estado de São Paulo pode variar de 150 a 450 kg ha<sup>-1</sup> de N, o que equivale a até 1000 kg ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de uréia (Raij et al., 1996).

Cervellini et al (1986) constataram efeito de até 120 g cova<sup>-1</sup> de N em população de 1667 plantas por hectare, o que equivale a uma quantidade de 200 kg ha<sup>-1</sup>. Em outro experimento em lavouras de Mundo Novo, Catuaí e Catimor, Miguel et al. (1983) concluíram que a dose de 31 g planta<sup>-1</sup> de N foi suficiente para uma máxima produtividade, sendo que a população de 5714 plantas ha<sup>-1</sup> produziu o dobro que a população de 2857 plantas ha<sup>-1</sup>.

Nos espaçamentos tradicionais, o N pode incrementar a produção do cafeeiro em 30% (Sanzonowicz et al., 2003). A fenologia da planta pode ser afetada, por elevar linear e positivamente o comprimento dos internódios, o diâmetro da copa, o número de frutos e a produtividade (Fahl et al., 2003). Entretanto, em cafeeiros adultos, cultivados no sistema de plantio adensado, a adubação nitrogenada pode reduzir a produção, quando existe um alto grau de sombreamento e excesso de N nas folhas (Gallo et al., 1999).

Segundo Pozza et al. (2003), o cafeeiro apresentou um acréscimo linear em produção ao utilizarem uréia e nitrato de amônio como fonte de N. A resposta foi máxima, quando utilizaram 145 e 63 kg ha<sup>-1</sup> de N tendo como fontes a calcionamida e nitrato de potássio, respectivamente.

A fonte mais utilizada de N na cafeicultura é a uréia, no entanto, seu emprego deve ser cauteloso, pois as perdas de N por volatilização na forma de amônia podem chegar a 4,9 kg ha<sup>-1</sup>, concentrando-se no 3º e 4º dia após a aplicação desse fertilizante (Marsola et al., 2000). Doses crescentes de N, quando as plantas apresentavam teores foliares elevados proporcionaram



redução da produção em cafezais adensados das cultivares Mundo Novo e Catuaí (Gallo et al., 1999).

As doses médias e altas de fertilizantes proporcionaram produções semelhantes em uma densidade de  $3 \text{ m}^2 \text{ cova}^{-1}$  e ao aumentar essa densidade de plantio, a produção de café foi incrementada, principalmente nas primeiras colheitas (Pavan et al., 1996).

As respostas à adubação fosfatada não são esperadas em plantas lenhosas adultas, porém alguns trabalhos relatam acréscimos produtivos de 15% (Uribe-Henao, 1983) e 16%, em solos com baixos teores de fósforo (Gallo et al., 1999).

O cafeeiro é mais exigente em fósforo no início do seu desenvolvimento, no entanto, à medida que a lavoura se desenvolve, a demanda cresce concomitantemente à redução da exigência, provavelmente em razão do aumento do volume de solo explorado pelas raízes, pelas associações micorrízicas ou pela intensa exudação de ácidos orgânicos pelas raízes (Guimarães, 1986) e no caso de sistema adensado, proporcional à eficiência da absorção do fósforo no solo. Apesar disso, foram encontradas baixas respostas às adubações fosfatadas nos primeiros anos de cultivo, provavelmente devido à influencia residual da adubação de plantio (Pavan et al., 1986).

A adubação potássica não incrementa a produção, quando os teores no solo são médios (Rajj et al., 1996) e a sua eficiência está condicionada a uma adequada disponibilidade de cálcio e, principalmente, de magnésio devido ao efeito da inibição competitiva entre as bases (Figueiredo et al., 1984; Furtini Neto et al., 2001).

Com a fertilização modular, considerando a carga pendente e os resultados das análises foliares e de solo, suficientes para a vegetação e produção de cada módulo de 10 sacas, tem sido possível obter em plantio

adensado, produções elevadas e estáveis, as quais são de três a seis vezes a média brasileira (Malavolta, 1996).

As exigências do cafeeiro e a disponibilidade no solo de nutrientes, determinam a recomendação de adubação, levando-se em consideração, ainda, a produtividade das cultivares, que variam em função do genótipo. Em geral, cultivares de porte baixo em ambientes com alto suprimento de nutrientes, como: a Rubi MG-1192, Catuai Vermelho IAC-99 (Amaral, 2002) e a IAPAR-59 (Chaves & Androcioli Filho, 2003) são mais eficientes na utilização de nutrientes, para uma maior produtividade em sistema de plantio adensado.

Uma adubação eficiente está relacionada também ao custo-benefício que esta proporciona; em outras palavras, a dose do adubo que proporciona o maior valor entre a receita e o custo do insumo representa a máxima produtividade econômica (Malavolta, 1993). Normalmente, a maior economicidade se encontra na dose que proporciona entre 80 a 100% da produção máxima, no entanto, é consensual uma produção relativa de 90% como a produtividade máxima econômica (Raj, 1981).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em três municípios da região Sul de Minas Gerais: em Três Pontas foi instalado em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico e em São Sebastião do Paraíso em LATOSSOLO VERMELHO distroférico, os quais, foram conduzidos desde a fase de mudas e, no município de Varginha, em um ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, que apresentava três anos de idade por ocasião de sua instalação em 1997.

O espaçamento, comum aos três experimentos foi de 2,0 x 0,75 m (6667 plantas ha<sup>-1</sup>), com delineamento experimental fatorial fracionado (4 x 4 x 4)<sup>0,5</sup>, perfazendo um total de 32 parcelas (4 doses de N, 4 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 4 de K<sub>2</sub>O). Estas doses foram aplicadas nos dois primeiros locais, a partir do segundo ano de plantio e, em Varginha, a partir da instalação do ensaio. Cada parcela experimental foi constituída por cinco linhas de nove plantas, com a parcela útil formada por nove plantas nas três fileiras centrais.

#### 3.1 Plantio e formação da lavoura

Em março de 1997 foram plantados os experimentos em São Sebastião do Paraíso, com a cultivar Catuaí Vermelho IAC-99, outro em Três Pontas com a cultivar Rubi MG-1192 e, em Varginha foi instalado em uma lavoura em produção com a cultivar Acaiá IAC-474/19.

Antes do plantio nos dois primeiros ensaios realizou-se uma calagem em área total, conforme o método de saturação por bases, de modo a atingir saturação de 70% (Tabela 1). O experimento em Varginha foi instalado em uma

lavoura que já havia recebido calagem, as primeiras adubações e tratos culturais indicados à cultura.

**TABELA 1.** Atributos do solo nas profundidades de 0 a 20 cm e 20 a 40 cm antes da instalação dos experimentos no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, em São Sebastião do Paraíso e Três Pontas e no LATOSSOLO VERMELHO distrófico em Varginha. UFLA, Lavras – MG, 2004

Atributo	Unidade	São Sebastião do Paraíso		Três Pontas	Varginha		
		Profundidade de amostragem (cm)					
		0 a 20	20 a 40	0 a 20	0 a 20	20 a 40	
pH (água)	-	5,2 AcM	5,1 AcM	4,4 AcE	5,6 AcM	5,3 AcM	
P	mg dm <sup>-3</sup>	1 MB	1 MB	2 MB	1 MB	1 MB	
K	mg dm <sup>-3</sup>	24 B	15 MB	100 Bo	83 Bo	41 M	
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,1 B	0,6 B	0,6 B	1,7 M	1,6 M	
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,4 B	0,3 B	0,3 B	0,9 M	0,6 M	
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,2 MB	0 MB	0,3 MB	0 MB	0 MB	
H + Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	5,7 A	4,5 M	5,6 A	2,9 M	3,2 M	
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,7 B	1,1 B	1,2 B	2,8 M	2,3 M	
T	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,8 B	1,1 B	1,5 B	2,8 M	2,3 B	
T	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	7,3 M	6,5 M	6,8 M	5,7 M	5,5 M	
M	%	11 MB	0 MB	20 B	0 MB	0 MB	
V	%	22 B	19 MB	18 MB	49 M	42 M	
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-	-	-	16,7 Bo	9,6 Bo	
B	mg dm <sup>-3</sup>	-	-	-	0,24 M	0,24 M	
Zn (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	-	-	1,3 Bo	1,6 A	
Fe (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	-	-	45,0 A	37,5 A	
Mn (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	-	-	6,7 A	5,0 A	
Cu (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	-	-	3,4 A	2,9 A	
Argila	%	44 TAR	-	42 TAR	32 TMe	33 TMe	
Areia	%	46	-	25	52	50	
Silte	%	10	-	33	16	17	

AcM=Acidez média; AcE - Acidez elevada; MB - Muito baixo; B - Baixo; M - Médio; Bo - Bom; A - Alto; TAR - Textura argilosa; TMe - Textura média (CFSEMG, 1999).

As adubações de plantio, cobertura e primeiro ano foram referenciadas na recomendação da CFSEMG (1999), com algumas modificações e na adubação, de segundo ano pós-plantio, adotaram-se critérios crescentes de adubação conforme as doses que representaram os tratamentos (Tabela 2). A partir segundo ano, a exigência de zinco foi suprida com pulverizações foliares com 0,5% de sulfato de zinco, em quatro aplicações anuais, nos meses de outubro, janeiro, março e maio, sendo que na aplicação de maio foi adicionado oxiclreto de cobre a 0,3 %. Os demais tratos culturais foram realizados conforme o necessário recomendado à cultura.

**TABELA 2.** Quantidades de nutrientes e fontes utilizadas nas adubações de plantio, cobertura, primeiro e segundo ano pós-plantio. UFLA, Lavras – MG, 2004.

<b>Adubação na cova de plantio</b>						
Fontes	kg ha <sup>-1</sup>		g cova <sup>-1</sup>		g metro <sup>-1</sup>	
Calcário dolomítico	1000		150		200	
Gesso agrícola	2000		300		400	
Superfosfato simples	2222 <sup>(1)</sup>		33		444	
Bórax	33 <sup>(2)</sup>		5		6,6	
<b>Adubação de pós-plantio em cobertura</b>						
Nutriente	Dose		Fonte	Dose		Parcelamentos
	kg ha <sup>-1</sup>	g cova <sup>-1</sup>		kg ha <sup>-1</sup>	g cova <sup>-1</sup>	
N	100	15	Uréia	222	33	2
K <sub>2</sub> O	100	15	KCl	170	26	2
<b>Adubação de primeiro ano pós-plantio</b>						
N	160	24	Uréia	356	53	4
K <sub>2</sub> O	160	24	KCl	270	41	4
<b>Adubação de segundo ano pós-plantio</b>						
	Dose 1	Dose 2	Dose 3	Dose 4	Fonte	Parcelamentos
	kg ha <sup>-1</sup>					
N	50	150	250	350	Uréia	4
K <sub>2</sub> O					KCl	4
B			7,3 <sup>(3)</sup>		Bórax	1
<b>Adubação de Produção (Tratamentos)</b>						
N	100	250	400	550	Uréia	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0	60	120	180	ST <sup>(4)</sup>	4
K <sub>2</sub> O	100	250	400	550	KCl	

<sup>(1)</sup> Equivalente a 400 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; <sup>(2)</sup> Equivalente a 3,63 kg ha<sup>-1</sup> de B; <sup>(3)</sup> Equivalente a 66 kg ha<sup>-1</sup> de Bórax; <sup>(4)</sup> Superfosfato Triplo.

### **3.1.1 Fase de produção e aplicação dos tratamentos**

Precedendo a segunda safra em Varginha, no ano de 1998 e a primeira safra em 1999, nos municípios de Três Pontas e São Sebastião do Paraíso, foram aplicadas as diferentes doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, que constituíram os tratamentos (Tabela 2).

Nos três locais, as doses para a fase de produção utilizadas no fatorial fracionado (4 x 4 x 4)<sup>0,5</sup> foram de 100, 250, 400, 550 kg ha<sup>-1</sup> para N e K<sub>2</sub>O e 0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup> para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, utilizando como fontes a uréia, o superfosfato triplo e o cloreto de potássio respectivamente.

Anterior à aplicação dos tratamentos foi realizada uma amostragem, para determinar os efeitos dos corretivos e adubações sobre os atributos de fertilidade realizada antes da adubação de produção dando suporte as discussões (Tabela 3).

O boro e o zinco foram aplicados na quantidade de 1,1g de B, na forma de Bórax por cova, em todos os tratamentos e, o zinco, aplicado via foliar, na forma de solução de sulfato de zinco a 5 g L<sup>-1</sup> em quatro aplicações anuais, nos meses de outubro, janeiro, março e maio (CFSEMG, 1999). Os demais tratamentos culturais foram realizados na época adequada, quando exigidos.

**TABELA 3.** Atributos do solo nas profundidades de 0 a 20 cm antes da aplicação dos tratamentos, na fase de produção no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, em São Sebastião do Paraíso e, Três Pontas e no LATOSSOLO VERMELHO distrófico em Varginha. UFLA, Lavras – MG, 2004.

Atributo	Unidade	São Sebastião do Paraíso	Três Pontas	Varginha
		Profundidade de amostragem (cm)		
		0 a 20	0 a 20	0 a 20
pH (água)	-	5,2 AcM	5,4 AcM	5,6 AcM
P	mg dm <sup>-3</sup>	2 MB	4 MB	1 MB
K	mg dm <sup>-3</sup>	64 M	66 M	83 Bo
Ca	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	2,8 Bo	2 M	1,7 M
Mg	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	1,7 B	0,9 M	0,9 M
Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	0,1 MB	0 MB	0 MB
H + Al	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	3,6 M	2,9 M	2,9 M
SB	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,7 Bo	3,1 M	2,8 M
t	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	4,8 Bo	3,1 M	2,8 M
T	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	8,3 Bo	6 M	5,7 M
m	%	2,1 MB	0 MB	0 MB
V	%	56,8 M	51,7 M	49 M
S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-	50,4 Bo	16,7 Bo
B (água quente)	mg dm <sup>-3</sup>	-	0,39 M	0,24 M
Zn (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	0,4 B	1,3 Bo
Fe (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	61,4 A	45 A
Mn (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	10,4 A	6,7 A
Cu (DTPA)	mg dm <sup>-3</sup>	-	2,2 A	3,4 A
Argila	%	44 TAr	42 TAr	32 TMe
Areia	%	46	25	52
Silte	%	10	33	16

AcM=Acidez média; MB - Muito baixo; B - Baixo; M - Médio; Bo - Bom; A - Alto; TAr - Textura argilosa; TMe - Textura média (CFSEMG, 1999).



### **3.1.2 Coleta de dados de produção e de solo**

A amostragem de solo foi realizada na faixa adubada da projeção da copa do cafeeiro, em número de seis amostras simples, para formar uma composta em cada parcela. As amostras coletadas foram secas ao ar e passadas em peneira com abertura de malha de 2 mm. Determinou-se o pH, em água por potenciometria e, o cálcio, magnésio e alumínio trocáveis foram extraídos com KCl 1 N e analisados por titulometria (Vetori, 1969) com modificações da EMBRAPA (1997). Os teores de P e K no solo foram extraídos pelo método Mehlich 1 (Mehlich, 1978) e analisados respectivamente por colorimetria e fotometria de chama (Vetori, 1969). Os teores de sulfato foram determinados pelo método turbidimétrico (Blanchar et al., 1965) e, a acidez potencial (H+Al), pela solução tampão SMP (Raij et al., 1987). Os micronutrientes Zn, Mn, Cu e Fe foram extraídos por DTPA (Lindsay & Norvell, 1978) e, o Boro, extraído pelo método da água quente (Berger & Truog, 1939).

Os dados de produção foram coletados em cada parcela, estimados para um hectare, considerando a relação média de frutos cereja por saca beneficiada em cada local.

## **3.2 Tratamento estatístico dos dados**

### **3.2.1 Produtividade**

Nesta análise, as produtividades foram agrupadas primeiramente, conforme a semelhança de variabilidades através da análise exploratória. Fez-se a análise de dados por processo de monitoramento, visando a revelar dados discrepantes (outliers) mediante a técnica gráfica do box-plot.

O box-plot é uma ferramenta que permite visualizar a locação, a dispersão, assimetria, o peso das caudas e os dados discrepantes, independente da forma da distribuição do conjunto de dados. Além disso, o box-plot é construído com base na mediana e nos quartis, tornando-o resistente a valores perturbadores proporcionados pelos dados discrepantes, o que é desejável na análise exploratória de dados (Hoaglin et al., 1983).

Nesta análise o conjunto dos dados é classificado em ordem crescente e dividido por quatro onde cada parte representa 25% dos dados e são chamados de quartis. Na amplitude entre o primeiro e terceiro quartil estão contidas 50% dos dados, em torno da mediana que representa uma medida de posição passível de ser comparada com outras safras.

Optou-se por usar uma análise exploratória, pois as produtividades não possuíam comportamento bienal nem mesmo uma concordância entre os locais. Em alguns agrupamentos, as variabilidades foram bastante semelhantes, no entanto, limitavam à precisão do ajuste do modelo. Neste caso separou-se dos grupos as safras discrepantes até se conseguir o melhor ajustamento.

Com base nos resultados exploratórios, procedeu-se a análise dos coeficientes dos modelos de superfícies de resposta, por meio do método Backward, com o objetivo de avaliar a qualidade do ajuste e significância entre os parâmetros e obter um melhor ajuste dos modelos de regressão. Alguns coeficientes não foram significativos, porém foram considerados, quando seus derivados quadráticos apresentam significância (Draper & Smith, 1998).

Como as superfícies de resposta interagem dois nutrientes, com a produtividade estimada para cada agrupamento de safras, segundo o box-plot, foram geradas três curvas com as combinações de: N e  $P_2O_5$ , N e  $K_2O$  e  $P_2O_5$  e  $K_2O$ , o que não quer dizer que houve necessariamente interação destes

nutrientes, pois a análise de regressão deste delineamento não permite tal inferência.

O ajustamento da superfície de resposta apesar de mais representativo, pode ser menor que uma regressão simples, pois pressupõe-se que a interação das quatro doses de dois nutrientes estarão gerando 16 curvas possíveis as quais formam a “malha do relevo” da superfície de resposta.

O objetivo desta análise foi encontrar as mínimas e as máximas produtividades relativas, correspondentes às menores doses utilizadas. Para isso, utilizou-se a expectativa da produtividade econômica em 90% (Raij, 1981) da máxima estimada, iniciando-se, a partir desta para uma análise retrograda, a fim de determinar a capacidade produtiva das menores doses dos nutrientes. Após esta determinação, procedeu-se a interseção das doses de N  $P_2O_5$  e  $K_2O$  comuns entre as combinações destes, nas superfícies dos agrupamentos das safras, em cada município e entre estes.

Este ajustamento foi feito considerando-se a hipótese de que em sistema de plantio adensado, altas produtividades podem ser alcançadas com baixas doses de nutrientes.

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

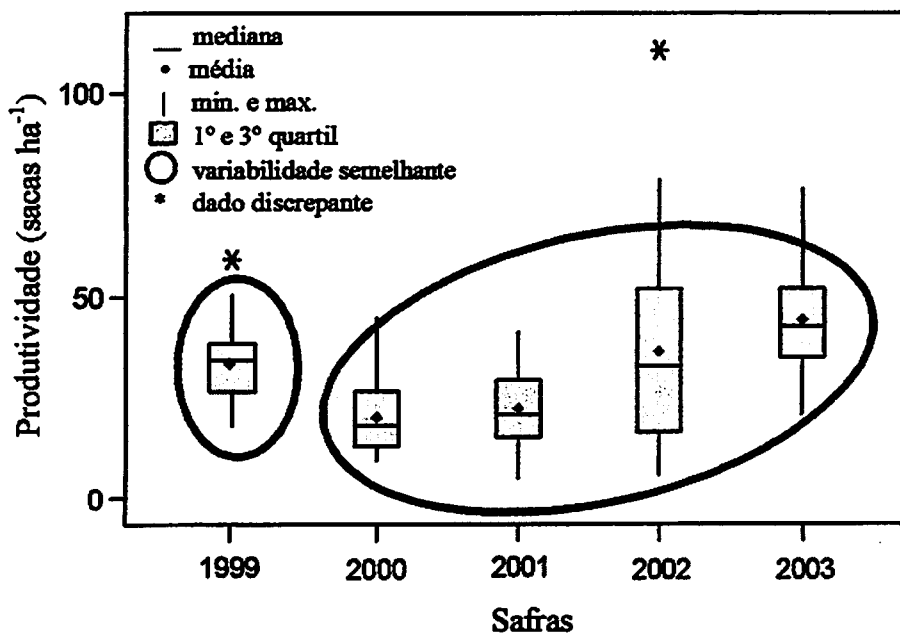
### **4.1 O agrupamento das safras pelo box-plot**

O agrupamento das safras pela análise exploratória do box-plot foi eficiente para a análise das produções, pois estas não apresentavam comportamento bienal, nem mesmo uma concordância entre os locais, o que reduziria a precisão e o ajustamento dos dados aos modelos.

É possível inferir que para condições de adensamento, solos e locais diferentes e apesar de não avaliado, mas com pronunciado déficit hídrico nos primeiros quatro ou cinco anos, a análise de produção pode ser feita, considerando as variabilidades por análise exploratória, concomitante ao ajustamento dos dados e precisão dos modelos.

### **4.2 Produtividades médias agrupadas em Três Pontas**

Preliminarmente ao ajuste do modelo de superfície de resposta, foi realizada uma análise exploratória apresentada por meio da figura 1, cujos resultados evidenciaram a existência de uma pequena tendência entre as médias de produtividade dos anos de 2000, 2001, 2002 e 2003.



**FIGURA 1.** Análise exploratória box-plot, para determinação das safras com variabilidades semelhantes, em Três Pontas, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.

Sendo assim, optou-se por ajustar um modelo, considerando a média desses anos, embora tenha sido notada a presença de um dado discrepante (outlier) e uma variabilidade maior para os anos de 1999 e 2002. Em relação ao ano de 1999, optou-se pela análise individual, pois esta safra parece fugir à tendência dos outros agrupamentos, que se confirma pela falta de ajustamento do modelo em análise individual.

#### 4.2.1 Superfície de resposta para produtividade média de café nas safras de 2000 a 2003

As variabilidades dessas safras assemelharam-se e, neste caso, puderam ser agrupadas e discutidas conjuntamente. A equação que explica os efeitos das doses de fertilizantes na produtividade foi a seguinte:  $Y(\text{Sacas ha}^{-1}) = 35,3^{**} + 5,25\text{bloco}^{**} - 0,0557\text{N}^{**} + 0,134\text{P}^* - 0,171\text{K}^{**} + 0,000588\text{NK}^{**} - 0,00107\text{P}^2^{**} + 0,000266\text{K}^2^{**} - 0,000001\text{N}^2\text{P}^{**} + 0,000003\text{P}^2\text{N}^{**} - 0,000001\text{K}^2\text{N}^{**}$  (\*\* $p < 0,01$ ; \* $p < 0,05$ ).

O agrupamento das safras 2000 a 2003 em Três Pontas obteve boa precisão (CV=13%) e o modelo da superfície de resposta, que estima a tendência dos dados ajustou-se a 68% dos dados, que são válidos, para as três superfícies de respostas, para a produtividade do cafeeiro, nas combinações de doses N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, N e K<sub>2</sub>O e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O.

Para as combinações das doses de N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (Figura 2b e 2c), as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não proporcionaram efeitos pronunciados na produtividade, ou seja, para as doses de 0 até 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> obtiveram-se as maiores produtividades, devido, provavelmente, ao efeito residual da elevada adubação fosfatada, na implantação do experimento (Pavan et al., 1986), aliado à maior disponibilidade de P proporcionada pelo sistema de plantio adensado (Pavan & Chaves, 1994). Deste modo, as doses de N e K<sub>2</sub>O nas combinações em que estes participam é que determinaram a resposta produtiva de no mínimo 76 a 90% da produtividade relativa obtidas com as menores doses utilizadas destes nutrientes (Figuras 2a, 2b). Nesse caso, o aumento das doses de N reduziram a produtividade na combinação N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, indiferente da dose de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e a partir do entorno da dose de 220 a 550 de K<sub>2</sub>O da combinação N e K<sub>2</sub>O.

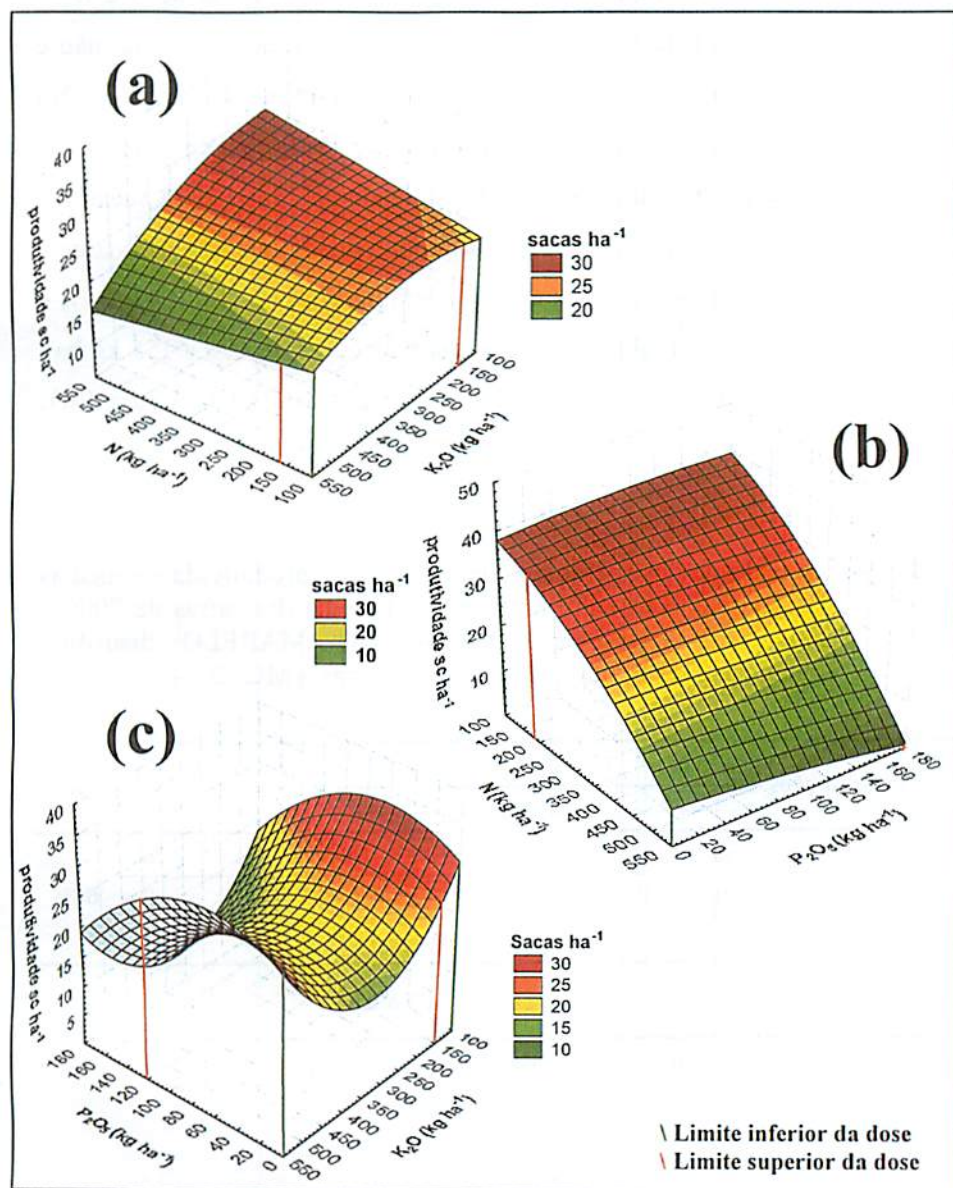
Os intervalos de doses que englobam a menor dose de N utilizada foram de 100 a 190 kg ha<sup>-1</sup>, para a combinação N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 2b) e 100 a 155 kg

ha<sup>-1</sup>, para a combinação de N e K<sub>2</sub>O (Figura 2a). A produtividade relativa mínima para esses intervalos foi de 76% para a combinação N e K<sub>2</sub>O e 90% para as combinações N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, sendo que a dose 100 kg ha<sup>-1</sup> de N atingiu a produtividade máxima nesta combinação. Nota-se, portanto, uma proximidade da produtividade econômica de 90% da máxima absoluta (Rajj, 1996), variável de acordo com o custo do insumo (Malavolta, 1993).

As doses de K<sub>2</sub>O obtiveram comportamento semelhante ao N, onde o intervalo que representa a produtividade relativa mínima de 76% e 82% está entre 100 a 160 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na combinação N e K<sub>2</sub>O (Figura 2a) e 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, na combinação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (Figura 2c) respectivamente.

#### **4.2.2 Interseção de doses de NPK em Três Pontas**

Ao interseccionar as doses das superfícies, é possível afirmar que as diferentes doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ocasionaram baixa resposta em relação à produtividade. Esta característica pode estar ligada ao efeito residual da adubação de plantio e das próprias doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> dos tratamentos, as quais foram fixas ao longo de quatro anos produtivos, aliadas à provável eficiência da ciclagem de nutrientes proporcionada pelo sistema de plantio adensado, conduzindo à elevação natural do fósforo no solo (Prezotti & Rocha, 2003), bem como, a sua disponibilidade (Pavan & Chaves, 1994).



**FIGURA 2.** Superfícies de resposta para a produtividade de cafeeiros adensados nas combinações de doses N e K<sub>2</sub>O (a), N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (b) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (c) para a média das safras de 2000 a 2003 em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico de Três Pontas, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.



A mesma inferência não é possível ser feita para as doses de N e K<sub>2</sub>O. Ao se fixar à produtividade relativa em 90% da produtividade máxima, não é possível estabelecer um intervalo de doses comuns entre as combinações. No entanto, a produtividade econômica varia em torno de 90% (Raij, 1981) da máxima produtividade. Sendo assim, a produtividade de 23, 36 e 28 sacas por hectare foi referente a 76%, 90% e 82% da produtividade máxima estimada, a qual representa um intervalo comum entre as combinações de N e K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O e N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Esse intervalo encontra-se entre as doses de 100 e 155 kg ha<sup>-1</sup> para o nitrogênio, 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> para K<sub>2</sub>O e 0 a 120 kg ha<sup>-1</sup> para P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Tabela 4).

**TABELA 4.** Intervalo de doses e doses comuns, para as produtividades médias das combinações entre nutrientes, na média das safras de 2000 a 2003 no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, em Três Pontas, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.

Safr	Combinações	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Prod. relativa		R <sup>2</sup>
		kg ha <sup>-1</sup>			Sc. ha <sup>-1</sup>	%	
2000	N e K <sub>2</sub> O	100 <sup>1/</sup> a 155 <sup>2/</sup>	-	100 <sup>1/</sup> a 160	23	76	
a	N e P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100 <sup>1/</sup> a 190	0 <sup>1/</sup> a 180	-	36	90	68%
2003	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O	-	0 <sup>1/</sup> a 120 <sup>2/</sup>	100 <sup>1/</sup> a 150 <sup>2/</sup>	28	82	
Doses comuns entre as combinações		100 a 155	0 a 120	100 a 150	-		

<sup>1/</sup> limite inferior da interseção; <sup>2/</sup> limite superior da interseção.

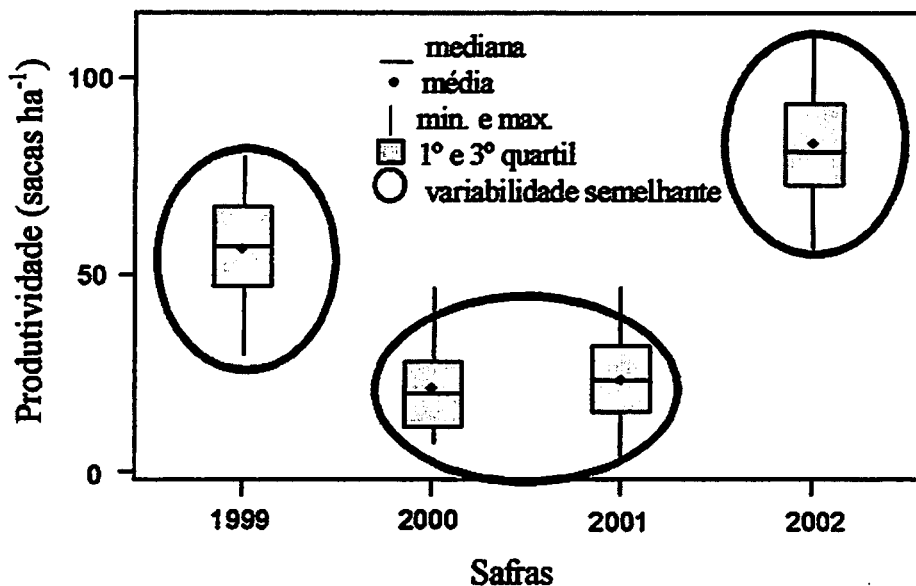
A partir da evidência de resposta produtiva proporcionada pelas baixas doses de fertilizantes, é possível afirmar que no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, em Três Pontas, a cultivar Rubí MG-1192 tem

uma produtividade de no mínimo 76% do seu potencial máximo, para doses de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N e K<sub>2</sub>O sem a necessidade da adubação com P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

#### **4.3 Produtividades médias agrupadas em São Sebastião do Paraíso**

Os resultados evidenciaram respostas médias similares, em relação à produtividade nas safras de 2000 e 2001. Em virtude desse fato, esta análise sugeriu que se agrupassem os dados através da média para modelagem das superfícies de respostas. Ao se compararem as safras de 1999 e 2002, preliminarmente pode-se verificar que as produções médias foram diferentes, tornando-se apropriado analisá-las individualmente (Figura 3).

Apesar desta constatação, não foi possível ajustar um modelo cujos coeficientes fossem significativos para as safras de 1999 e 2002. O não ajustamento dos dados de produção da safra de 1999, provavelmente foi em consequência da primeira grande safra, quando a lavoura não estava efetivamente sob efeito do adensamento, comportando-se como se estivesse a pleno sol, o que promove uma maior exigência individual de nutrientes via adubação e se traduz numa maior resposta à aplicação destes (Carelli et al., 2001).




**FIGURA 3.** Análise exploratória box-plot para determinação das safras com variabilidades semelhantes em São Sebastião do Paraíso, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.

#### 4.3.1 Superfície de resposta para produtividade média de café nas safras de 2000 e 2001

Para estas safras, o modelo estimado se ajustou a 85% dos dados com boa precisão (CV=12%) conforme a equação:  $Y(\text{sacas ha}^{-1}) = 38,710^{**} - 6,6794\text{Bloco}^{**} + 0,10012\text{N}^{++} - 0,08107\text{P}^* - 0,12238\text{K}^{**} + 0,0004668\text{NK}^{**} + 0,0004425\text{PK}^+ - 0,0005983\text{N}^2 + 0,00014147\text{K}^2 - 0,00000047\text{N}^2\text{K}^{**} + 0,00000097\text{P}^2\text{K}^* - 0,00000030\text{K}^2\text{N}^* - 0,00000082\text{K}^2\text{P}^* + 0,00000075\text{N}^3^{**}$  (\*\*p<0,01; \*p<0,05; +p<0,1; ++p<0,2).

Neste modelo, o coeficiente N apresentou probabilidade de 16% , no entanto, esta deve ser considerada, pois seus coeficientes quadráticos são



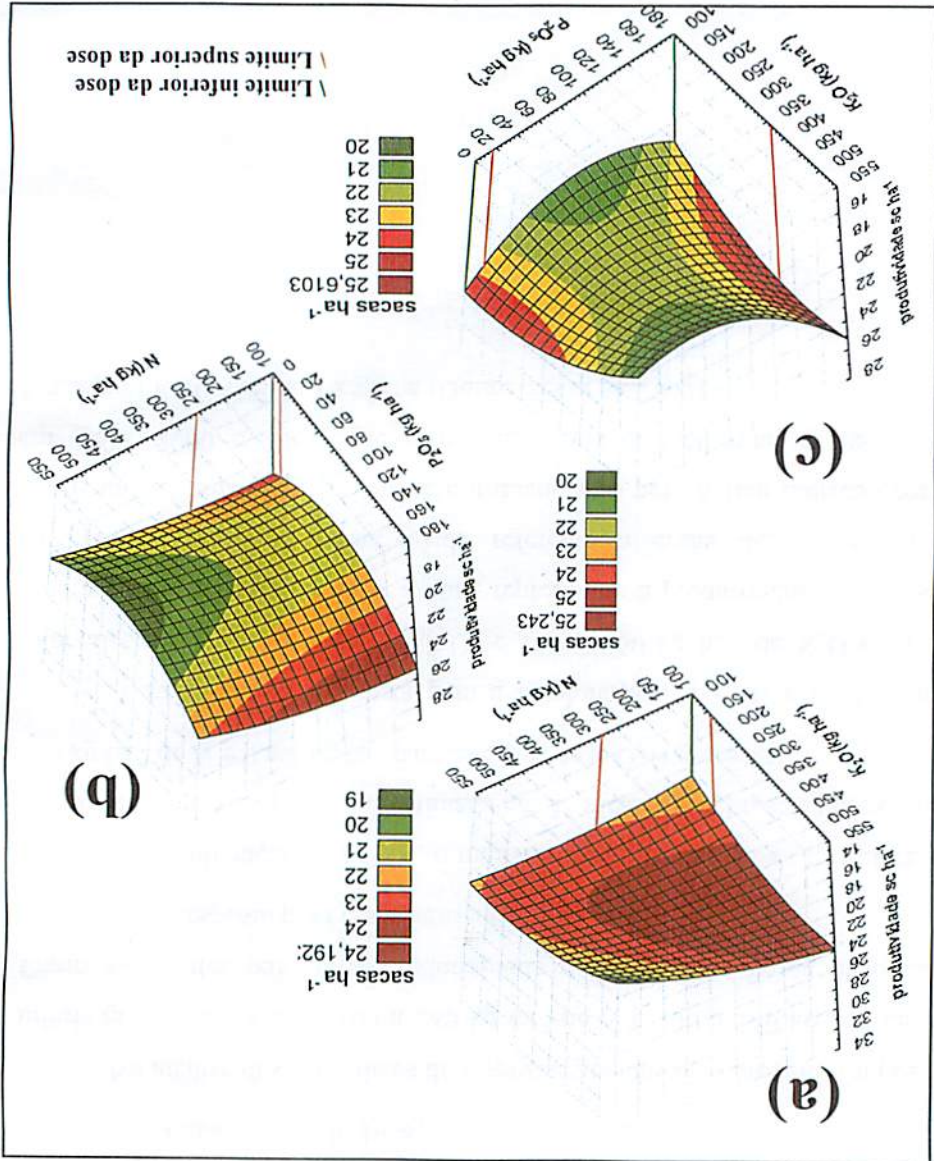
significativos e sua simples omissão reduziria substancialmente o ajustamento dos dados (Draper & Smith, 1998).

Na análise das superfícies de respostas geradas pelo modelo, foi possível inferir que o intervalo de 100 a 280 kg ha<sup>-1</sup> de N e 100 a 160 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O foram suficientes para uma produtividade de 92% da máxima absoluta na superfície de resposta para esses nutrientes (Figura 4a).

Na combinação N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, o intervalo das menores doses foi referente à produtividade relativa de 91%, estimada em 23 sacas ha<sup>-1</sup> representado por 100 a 250 kg ha<sup>-1</sup> de N e 0 a 8 kg ha<sup>-1</sup> para as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (Figura 4b).

A superfície de resposta para a combinação de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, estimou intervalos de 0 a 16 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 a 360 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O para uma produtividade relativa de 88%, a qual, representou a produtividade de 23 sacas ha<sup>-1</sup> (Figura 4c). A produtividade referente a essas duas safras foram relativamente baixas, provavelmente influenciadas pelo déficit hídrico ocorrido em 1999, 2000 e 2001, que estiveram acima de 250 mm, avaliados pela fundação PROCAFÉ de Varginha (Guimarães et al., 2003).

**FIGURA 4.** Superfícies de resposta para a produtividade de cafeeiros adensados nas combinações de doses N e K<sub>2</sub>O (a), N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (b) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (c) para a média das safras de 2000 e 2001 em LATOSSOLO VERMELHO distroférrico de São Sebastião do Paraíso, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.



A média de produtividade dos tratamentos nas safras de 2000 e 2001 foi de 22 sacas ha<sup>-1</sup> e nas safras 1999 e 2002, onde não foi possível ajustar um modelo e que possivelmente não foram afetadas pelo déficit hídrico, a produtividade foi de 57 e 84 sacas ha<sup>-1</sup> respectivamente.

O efeito da falta de água na adubação e produtividade da lavoura adensada corrobora com a afirmação de que déficits hídricos maiores que 150 mm podem afetar a produtividade (Rena & Maestri, 1986).

#### 4.3.2 Interseção de doses de NPK em São Sebastião do Paraíso

A interseção que expressa a produtividade referente às doses de N, compreenderam intervalos comuns, para a média das safras de 2000 e 2001 (Tabela 5). É possível afirmar através do modelo proposto, que as menores doses de N foram capazes de permitir produtividades de 23 sacas ha<sup>-1</sup> no sistema de plantio adensado, sendo a dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> a menor indicada para o LATOSSOLO VERMELHO distroférico em São Sebastião do Paraíso. Assim como no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico em Três Pontas, as doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> não incrementaram a produtividade, o que corrobora com resultados publicados por Prezotti & Rocha (2003). Neste sentido é possível inferir que provavelmente o sistema de plantio adensado propiciou condições muito favoráveis à ciclagem de nutrientes proporcionando um aumento da disponibilidade do P (Pavan & Chaves, 1994), que juntamente com o maior volume de solo explorado pelas raízes e o efeito residual proporcionado pela adubação de plantio, conduziu a uma baixa resposta da adubação fosfatada sobre a produtividade, o que pode representar uma racionalização no uso de fertilizantes fosfatados e aumentar a margem de lucro do produtor.

Na interseção das doses de K<sub>2</sub>O, ficou evidenciada a resposta às baixas doses de adubação potássica, estando esta compreendida entre 100 a 160 kg ha<sup>-1</sup>

de  $K_2O$ . Neste caso, o maior benefício estaria atrelado a menor dose do intervalo que é de  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $K_2O$ . As boas produtividades obtidas com as menores doses de  $K_2O$  foram provavelmente em decorrência dos teores médios de potássio no solo, por ocasião da aplicação dos tratamentos na fase de produção (Raij et al., 1996).

Foi possível concluir que  $100 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $K_2O$ , bem como até  $8 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $P_2O_5$  são as doses mais eficientes, pois geram produtividades de 88 a 92% da produtividade máxima do Catuaí IAC-99, sob plantio adensado no LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico em São Sebastião do Paraíso.

**TABELA 5.** Intervalo de doses e doses comuns para as produtividades médias das combinações entre nutrientes na média das safras de 2000 e 2001 LATOSSOLO VERMELHO distroférico em São Sebastião do Paraíso, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.

Safr	Combinações	N	$P_2O_5$	$K_2O$	Prod. relativa		$R^2$
		kg ha <sup>-1</sup>			Sc. ha <sup>-1</sup>	%	
2000	N e $K_2O$	100 <sup>1/</sup> a 280	-	100 <sup>1/</sup> a 160 <sup>2/</sup>	22	92	84%
e	N e $P_2O_5$	100 <sup>1/</sup> a 250 <sup>2/</sup>	0 <sup>1/</sup> a 8 <sup>2/</sup>	-	23	91	
2001	$P_2O_5$ e $K_2O$	-	0 <sup>1/</sup> a 16	100 <sup>1/</sup> a 360	23	88	
Doses comuns entre as combinações		100 a 250	0 a 8	100 a 160	-		

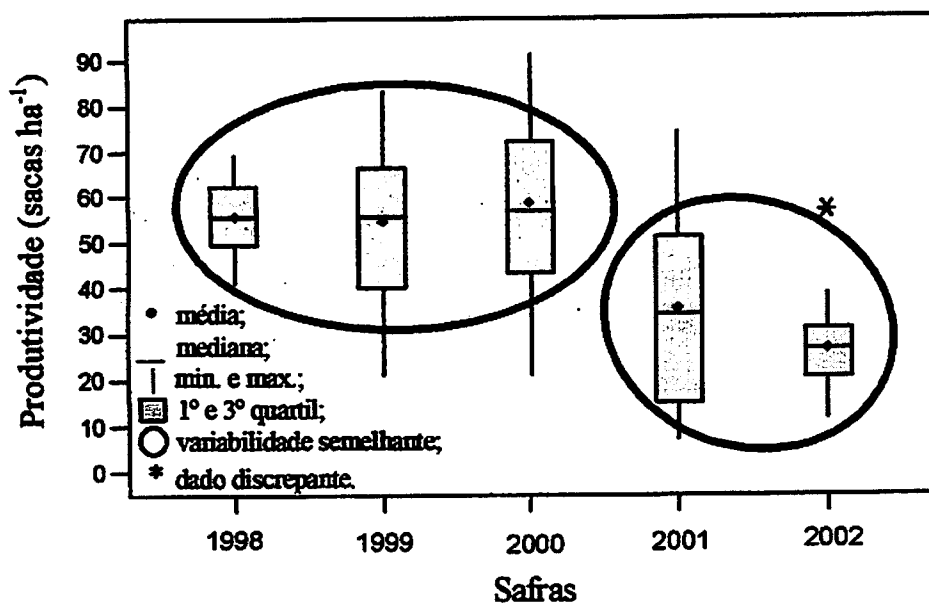
<sup>1/</sup> limite inferior da interseção; <sup>2/</sup> limite superior da interseção.

#### 4.4 Produtividades médias agrupadas em Varginha

Com a análise exploratória preliminar (Figura 5), evidenciou-se que as safras de 1998, 1999 e 2000 fossem agrupadas por meio da média, pois

possuíam produtividades médias similares, o mesmo ocorrendo para as safras de 2001 e 2002.

Ao analisar as safras de 2001 e 2002, verificaram-se produtividades médias abaixo do agrupamento das safras de 1999 a 2000, não ajustáveis a um modelo, cujos parâmetros fossem significativos e representassem alguma tendência. Esse comportamento pode ser decorrente do fechamento da lavoura e seu auto-sombreamento, provocando queda da produtividade nessa condição (Gallo et al., 1999).



**FIGURA 5.** Análise exploratória box-plot para determinação das safras com variabilidades semelhantes em Varginha, MG. UFLA, Lavras - MG, 2004.



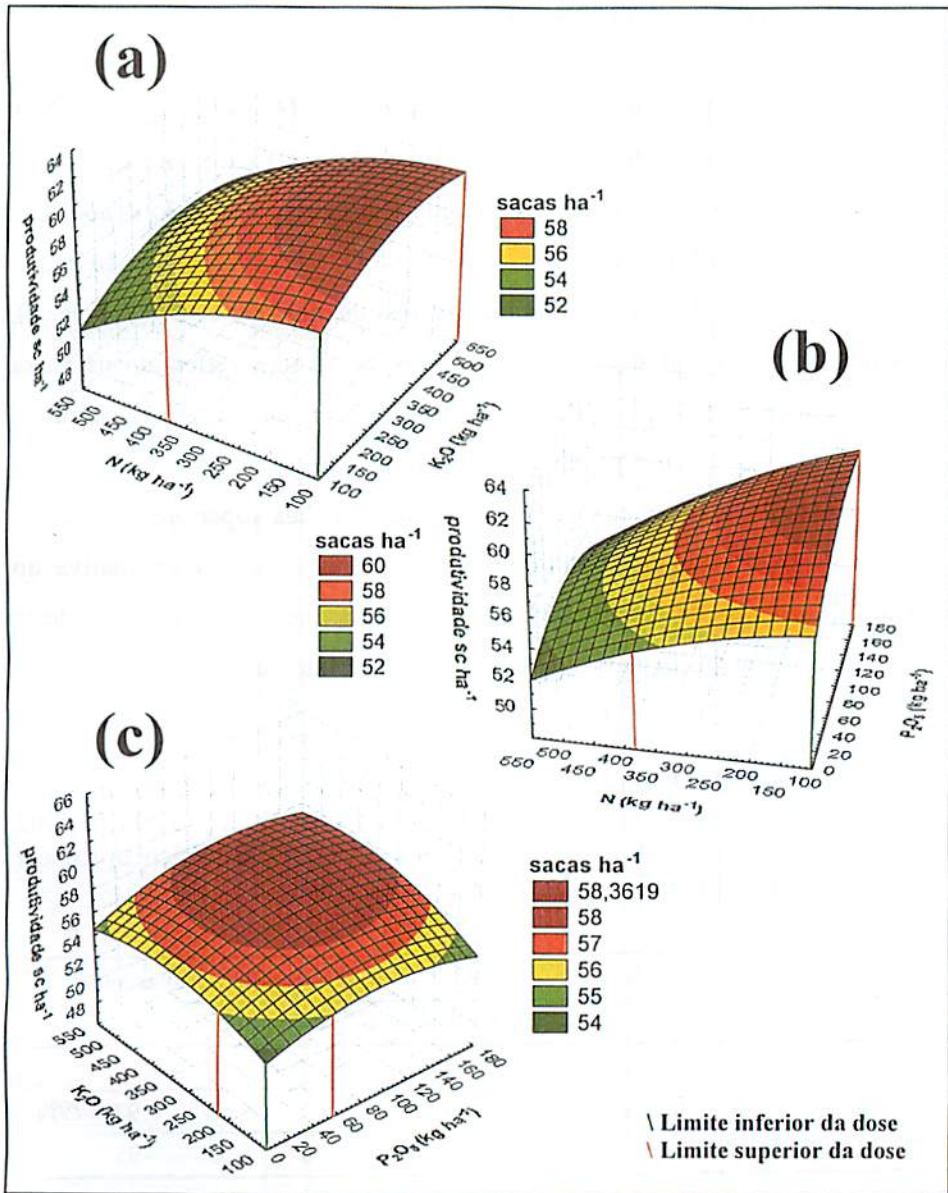
#### 4.4.1 Superfície de resposta para produtividade média de café nas safras de 1998, 1999 e 2000

Em Varginha, os dados de produção foram avaliados já no segundo ano, sem a influência da primeira safra houve uma alta precisão (CV = 6%) e um ajustamento do modelo de 79%, conforme a equação:  $Y(\text{sacas ha}^{-1}) = 38,001^{**} - 2,951\text{bloco}^* - 0,0106N^{\dagger} + 0,5289P^{**} + 0,3253K^* - 0,00351P^{2**} - 0,001165K^{2**} - 0,001623NP^* - 0,02465PK^* + 0,000006PN^{2*} + 0,0000095PK^{2*} + 0,00001223P^{3**} + 0,0000012K^{3**} - 0,00000001PN^{3**} - 0,00000001PK^{3*}$  (\*\*p<0,01; \*p<0,05; †p<0,1).

Observou-se uma redução na média das produtividades dessas três safras, proporcional ao aumento das doses de N. Por essa razão, a produtividade máxima foi obtida na dose de 100 kg ha<sup>-1</sup> de N (Figuras 6a e 6b).

Por outro lado, doses de K<sub>2</sub>O não seguiram essa tendência, mas o aumento do fornecimento do nutriente incrementou muito pouco a produtividade, de modo que as menores doses corresponderam à produtividade relativa de 97%, na combinação N e K<sub>2</sub>O e 95% na combinação P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, aumentando no máximo 5% nas maiores doses de K<sub>2</sub>O (Figuras 6a e 6c).

A produtividade obtida, em relação às doses de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, obteve um comportamento semelhante às doses de K<sub>2</sub>O atingindo valores máximos nas menores doses (Figuras 6b e 6c).



**FIGURA 6.** Superfícies de resposta para produtividade de café das combinações de doses N e K<sub>2</sub>O (a), N e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (b) e P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O (c) para a média das safras 1998 a 2000 em ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico de Varginha, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.

#### 4.4.2 Interseção de doses de NPK em Varginha

As interseções de doses indicam intervalos de 100 a 280 kg ha<sup>-1</sup> de N, 0 a 16 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 a 230 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, que foram suficientes para produtividades de no mínimo 95% da máxima atingida neste solo (Tabela 6). Assim como nos demais locais, o ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico de Varginha continha teores médios de K<sub>2</sub>O (Tabela 3), suficientes para suprir às necessidades de K pelas plantas, refletindo na baixa resposta à adubação potássica (Raij et al., 1986). É preciso considerar também que a cultivar pode ter um papel preponderante sobre a produtividade, pois a cultivar Acaiá IAC 474/19 atingiu produtividades médias superiores às demais cultivares deste experimento, configurando-se como uma boa alternativa ao sistema, discordando de Amaral (2002), que afirma que a produtividade desta cultivar fica a quem das demais utilizadas neste experimento.

**TABELA 6.** Intervalo de doses e doses comuns às produtividades médias das combinações entre nutrientes, na média das safras de 2001 e 2002 no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico em Varginha, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.

Safr	Combinações	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Prod. relativa		R <sup>2</sup>
		kg ha <sup>-1</sup>			Sc. ha <sup>-1</sup>	%	
2001	N e K <sub>2</sub> O	100 <sup>1/</sup> a 280 <sup>2/</sup>	-	100 <sup>1/</sup> a 550	57	97	79%
	N e P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	100 <sup>1/</sup> a 380	0 <sup>1/</sup> a 180	-	58	97	
2002	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> e K <sub>2</sub> O	-	0 <sup>1/</sup> a 16 <sup>2/</sup>	100 <sup>1/</sup> a 230 <sup>2/</sup>	55	95	
Doses comuns entre as combinações		100 a 280	0 a 16	100 a 230	-		

<sup>1/</sup> limite inferior da interseção; <sup>2/</sup> limite superior da interseção.

As doses de 100, 0 e 100 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O são suficientes para produtividades de no mínimo 95% e no máximo 97% da máxima estimada, o que representa 55 a 58 sacas ha<sup>-1</sup>, aproximando-se da produtividade econômica (Raij, 1981; Malavolta, 1993).

#### 4.5 Análise e estimativa de doses comuns a todos os locais

Esta última análise das doses expressa resultados provenientes da interseção de nove superfícies de resposta, onde cada uma foi estimada através de 16 curvas simples. Isso implica em dizer que as inferências foram provenientes de 144 curvas estimadas e que se interagem para uma resposta em intervalos de doses para cada nutriente, em três locais e dois solos da região Sul de Minas Gerais.

No Tabela 7 são apresentados os intervalos das doses dos nutrientes para as três locais, bem como as doses comuns a estes. A partir desses dados pode-se confirmar a hipótese de que baixas doses de fertilizantes foram capazes de proporcionar produtividades expressivas no sistema de plantio adensado de cafeeiros.

As doses de 128, 4 e 125 kg ha<sup>-1</sup> de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, respectivamente, foram comuns aos locais, solos e cultivares do experimento. No ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico, com a cultivar Rubí MG-1192, em Três Pontas, estas doses foram suficientes para a produtividade de no mínimo 76% da máxima, assim como, 88% no mesmo solo em Varginha, com a cultivar Acaiá 474/19 e 95% no LATOSSOLO VERMELHO distroférico em São Sebastião do Paraíso, com a cultivar Catuaí IAC-99. Na primeira safra deve ser considerada a adubação recomendada pela CFSEMG (1999) por não ser evidente o efeito do adensamento de plantas.

Foram atingidas produtividades relativas maiores com essas mesmas doses, chegando a 82, 92 e 97% da produtividade máxima em Três Pontas, São Sebastião do Paraíso e Varginha respectivamente. É evidente a utilização de baixas doses de N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e K<sub>2</sub>O, para a obtenção de produtividades relativas altas e, provavelmente, próximas à máxima econômica do cafeeiro.

**TABELA 7.** Intervalos de doses comuns às produtividades relativas mínimas e máximas no LATOSSOLO VERMELHO distroférico em São Sebastião do Paraíso e no ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico em Varginha e Três Pontas, MG. UFLA, Lavras – MG, 2004.

Locais	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	produtividades relativas máximas e mínimas
	kg ha <sup>-1</sup>			
Três Pontas	100 a 155	0 a 120	100 a 150	76 a 82%
São Sebastião do Paraíso	100 a 250	0 a 8	100 a 160	88 a 92%
Varginha	100 a 280	0 a 16	100 a 230	95 a 97%
Doses comuns entre locais	100 a 155	0 a 8	100 a 150	76 a 97%
Doses médias	128	4	125	-
Relações médias entre nutrientes	32	1	31	-

Considerando a quantidade de nutrientes por planta, as doses médias comuns aos locais foram de 19g de N e K<sub>2</sub>O por planta, abaixo daquelas de 31g de N e K<sub>2</sub>O obtidas por Miguel et al. (1983) e 120 g de N por Cervellini et al. (1986). É preciso lembrar que estes autores indicam estas doses para as produtividades máximas e não aquelas próximas à produtividade máxima econômica considerada neste trabalho.

Nos anos em que as lavouras de São Sebastião do Paraíso e Varginha já se encontravam bastante fechadas, não houve efeito das doses de NPK na produtividade, que na média, em Varginha, tendeu a cair, provavelmente pelo excesso de sombreamento, exigindo uma intervenção com podas, situação também evidenciada por Gallo et al. (1999). As médias de produtividade da lavoura no LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico em São Sebastião do Paraíso tiveram médias superiores as outras safras deste mesmo local sem tendências para as doses aplicadas.

A viabilidade de utilização de menores doses de NPK pode ser explicado por vários fatores. Apesar das análises de solo mostrarem baixos teores de P, o baixo efeito da adubação fosfatada pode estar ligada ao efeito residual da adubação de plantio aliada à eficiência da ciclagem de nutrientes proporcionada pelo sistema de plantio adensado, conduzindo a elevação natural do fósforo no solo (Prezotti & Rocha, 2003), bem como, a sua disponibilidade (Pavan & Chaves, 1994). É preciso ressaltar que o café exuda diversos ácidos orgânicos de baixo peso molecular, sendo o ácido oxálico, acético e cítrico os mais encontrados na rizosfera do cafeeiro (Silva et al., 2000). O maior número de plantas por hectare pressupõe uma liberação mais intensa destes exudatos, contribuindo para a maior velocidade de liberação de K e P, aumentando a disponibilidade destes no sistema (Jayarama et al., 1998; Silva et al., 2000). Em condição de baixa disponibilidade de P no solo, as plantas exudam acentuadas quantidades de ácido cítrico, sugerindo maior liberação de formas insolúveis, de certa forma desconsideradas por alguns extratores (Li et al., 1997; Silva et al., 2001).

Os teores médios de K observados anteriormente à aplicação dos tratamentos (Tabela 3) podem ter influenciado o baixo incremento em produção da adubação potássica (Raij et al., 1996) e, também, pela maior exploração em profundidade do sistema radicular do cafeeiro (Garcia et al., 2003).

O nitrogênio assume o mesmo comportamento provavelmente pela melhor ciclagem deste no sistema, evitando perdas por lixiviação devido ao maior área do sistema radicular e a sua reciclagem através da decomposição das folhas senescentes, mantendo um suprimento constante deste no sistema estabilizado (Cassidy & Kumar, 1984; Rena et al., 1994).

Utilizando uma formulação comum na cafeicultura, é possível afirmar que nas condições experimentais, uma dose de  $640 \text{ kg ha}^{-1}$  de 20-00-20 ou 20-05-20, que representam a média do intervalo mínimo de 500 e máximo de  $775 \text{ kg ha}^{-1}$  destes mesmos formulados, pode ser utilizada no planejamento de adubações de produção de cafeeiros adensados da Região Sul de Minas Gerais, a grosso modo, independentemente de se considerar os teores de NPK no solo e folha. Entretanto, a diagnose foliar CFSEMG (1999) e do solo (Gallo et al., 1999) irão colaborar no ajuste nutricional e mesmo econômico dessas doses. Ressalta-se, neste caso, que a baixa resposta ao P, provavelmente esteja ligada à adubação de plantio com o nutriente.

## 5 CONCLUSÕES

Produtividades expressivas puderam ser obtidas com baixas doses de nutrientes, em lavouras adensadas, referentes às faixas de 100 a 155 kg ha<sup>-1</sup> de N, 0 a 8 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 100 a 150 kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O, comuns aos três locais e cultivares avaliados no experimento.

No ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico com a cultivar Rubi MG-1192, em Três Pontas, essas doses foram suficientes para a produtividade de no mínimo 76% da máxima, assim como, 88% no mesmo solo em Varginha, com a cultivar Acaiá 474/19 e 95%, no LATOSSOLO VERMELHO distroférico em São Sebastião do Paraíso com a cultivar Catuai IAC-99.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKUNDA, E. W. M.; IMBAMBA, S. K.; KUMAR, D. High density planting of coffee (1): Micro-climatic and related changes. *East African Agricultural and Forestry Journal*, Nairobi, v. 45, n. 2, p. 130-132, Oct. 1979.

ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J. B.; MIGUEL, A. E. Estudo de diversas modalidades de plantio concentrado em relação ao plantio tradicional do cafeeiro - cultivar Mundo Novo - no Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 9., 1981, São Lourenço. Resumos... Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1981. p. 321-324.

AMARAL, J. F. T. do. Eficiência de produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica. 2002. 97 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

ANDROCIOLI FILHO, A. Café adensado: espaçamentos e cuidados no manejo da lavoura. Londrina: IAPAR, 2002. 30 p. (IAPAR. Circular ; n. 121)

ANDROCIOLI FILHO, A. Procedimentos para o adensamento de plantio e contribuição para o aumento de produtividade. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. Anais... Londrina: IAPAR, 1994. p. 249-275.

BARROS, R. S.; MAESTRI, M.; MOREIRA, R. C. Source of assimilates for expanding flower buds of coffee. *Turrialba*, San José, v. 32, n. 4, p. 371-377, oct./dic. 1982.

BARROS, S.; MAESTRI, M.; RENA, A. B. Coffee crop ecology. *Tropical Ecology*, Varanazi, v. 36, n. 1, p. 1-19, 1995.

BARTHOLO, G. F.; MELO, B. de; MENDES, GUIMARÃES A. N. Evolução na adoção de espaçamentos na cultura do café. *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 49-60, 1998.

**BERGER, K. C.; TRUOG, E.** Boron determination in soils and plants. **Industrial and Engineering Chemistry**, Washington, v.11, p. 540-545, 1939.

**BLANCHAR, R. W.; REHM, G.; CALDWELL, A. C.** Sulfur in plant material digestion with nitric and perchloric acids. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, v.29, n.1, p.71-72, Jan/Feb. 1978.

**BROWNING, G.; FISHER, N. M.** Hight density coffe: yelds results for the first cicle from sistematic plant spacing designs. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 41, n. 483, p. 209-218, 1976.

**CAIXETA, G. Z. T.** A Cafeicultura de Minas Gerais 1985. Viçosa: EPAMIG, [1985?] (mimeografado).

**CAMARGO, A. P.; ALMEIDA, S. R.; MIGUEL, A. E. et al.** Ensaio de espaçamento progressivos de café em Varginha, MG. Resultado das sete primeiras colheitas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS**, 12., 1985, Caxambú, MG. Resumos... Rio de Janeiro: IBC, 1985. p. 36-37.

**CANNEL, M. G. R.** Crops physiological aspests of coffee bean yield. a review. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 41, n. 3, p. 245-253, 1976

**CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; ALFONSI, E. L.** Efeitos de níveis de sombreamento no crescimento e produtividade do cafeeiro. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL**, 2., 2001, Vitória, ES. Anais... Brasília, DF.: Embrapa Café, 2001. p. 120-124. CD-ROM.

**CASSIDY, D. M. S.; KUMAR, D.** Root distribution of *Coffea arabica* L. in Zimbabwe (I): The effect of plant density, mulch, cova planting and shade in Chimpinge. **Zimbabwe Journal of Agricultural Research**, Harare, v. 22, p. 119-132, 1984.

**CERVELINI, G. S.; TOLEDO, S. V. de; REIS, A. J.; ROCHA, T. R.** Nitrogênio na adubação química do cafeeiro:doses e parcelamento do Nitrocálcio. **Brangantia**, Campinas, v. 45, n. 1, p. 45-55, 1986.

CHAVES, J. C. D.; ANDROCIOLI FILHO, A. Estado nutricional de cultivares de cafeeiros sob densidades diferentes de plantio em quatro níveis de fertilização. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 415-416.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação.** Lavras, 1989. 176 p.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o Uso de Corretivos e Fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG, 1999. 359 p.

COOIL, B. J.; NAKAYAMA, M. Carbohydrate balance as a major factor affecting yield of the coffee tree. Honolulu: Hawaii Agricultural Experiment Station, 1953. (Progress Note n. 91).

DRAPER, N. R.; SMITH, H. **Applied regression analysis.** 3. ed New York: John Wiley e Sons, 1998. 706 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. **Manual de métodos de análise de solo.** Rio de Janeiro, 1997. 212p.

FAEMG. **Diagnóstico da cafeicultura em Minas Gerais.** Belo Horizonte, 1996. 50 p. (Relatório de pesquisa).

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C. Influência do sombreamento nas características fisiológicas envolvidas no crescimento de espécies de *Coffea*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina, PR. Anais... Londrina: IAPAR, 1996. p. 289-290. Seção Posters.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; ALFONSI, E. L.; NOVO, M. C. S. S. Estudo de doses e modos de aplicação de N e K no crescimento, estado nutricional e produção de plantas de café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 417-418.

FIGUEIREDO, J. P.; BARROS, U. V.; SANTINATO, R.; SILVA, O. A. Efeito dos nutrientes NPK, Ca, Mg e S no crescimento, composição química e deficiências do cafeeiro cultivado em solo de cerrado LVA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 11., 1984, Londrina, PR. [Trabalhos apresentados...] Rio de Janeiro: IBC, 1984. p. 274-277.

FURTINI NETO, A. E.; VALE, F. R. do; REZENDE, A. V. de; GUILHERME, L. R. G.; GUEDES, G. A. de A. Fertilidade do solo. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001. 252 p. (Curso de pós-graduação Lato Sensu (especialização) a distância).

GALLO, P. B.; RAIJ, B. VAN; QUAGGIO, J. A.; PEREIRA, L. C. E. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. *Bragantia*, Campinas, v. 58, n. 2, p. 341-351, 1999.

GARCIA, A. W. R.; JAPIASSU, L. B.; FROTA, G. B. Determinação do índice ideal de potássio no solo para a nutrição do cafeeiro. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. *Anais...* Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 407.

GARCIA, A. W. R.; SILVA, E. B.; GUIMARÃES, P. T. G.; NOGUEIRA, F. D.; JAPIASSU, L. B.; FURTINI NETO, A. E. Adubação de nitrogênio, fósforo e potássio em cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em sistema de plantio adensado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28., 2002, Caxambú, MG. *Trabalhos apresentados...* Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p. 83-84.

GUIMARÃES, P. T. G. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do sul de Minas Gerais. 1986. 140 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GUIMARÃES, P. T. G.; GARCIA, A. W. R.; SILVA, E. de B.; JAPIASSU, L. B.; GUIMARÃES, M. J. C. L.; FURTINI NETO, A. E. Respostas do cafeeiro sobre sistemas de plantio adensado, à adubação com macromolimentos na região Sul de Minas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. *Anais...* Brasília, DF: Embrapa Café, 2003 p. 435-436.

GUIMARÃES, P. T. G.; NACIF, A. P.; BARTHOLO, G. F. Produtividade de Cafeeiro Adensado nas Condições do Cerrado de Patrocínio-MG. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. Anais... Londrina: IAPAR, 1994. p. 43-44.

GUIMARÃES, P. T. G.; NOGUERIA, F. D. A cafeicultura em regiões montanhosas e o meio ambiente. Belo Horizonte: EPAMIG, 1997. p. 1-2. (EPAMIG. Circular Técnica ; n. 75).

HOAGLIN, D. C.; MOSTELLER, F.; TUKEY, J. W. *Understanding Robust and Exploratory Data Analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1983.

JARAMILLO BOTERO, C. Avaliação do desenvolvimento vegetativo e reprodutivo de cafeeiros sob níveis de sombreamento e adubação. 2003. 52 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

JAYARAMA; SHANKAR, B. N.; D'SOUZA, V. M. Citric acid as a potencial phosphate solubilizer in coffee soils. *Indian Coffee*, Bangalore, v. 61, n. 4, p. 13-15, Apr. 1998.

KUMAR, D.; TIESZEN, L. L. Photosynthesis in *Coffea arabica* (I): Effects of light and temperature. *Experimental Agriculture*, Cambridge, v. 16, p. 13-19, 1980.

LI, M. G.; SHINANO, T.; TADANO, T. Distribution of exsudates of lupin roots in the rizosphere under phosphorus deficient conditions. *Soil Science and Plant Nutrition*, Tokyo, v. 43, n. 3, p. 237-245, 1997.

LINDSAY, W. L.; NORVELL, W. A. Development of a DTPA soil test for zinc, iron, manganese and copper. *Soil Science Society of America Journal*, Madison, v.42, n.3, p.421-428, May/June. 1978.

MALAVOLTA, E. Fertilização do cafeeiro sob alta densidade de plantio. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina, PR. Anais... Londrina: IAPAR, 1996. p. 107-128.

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

MARSOLA, T.; MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Avaliação da perda por volatilização de amônia do solo da lavoura cafeeira. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. Resumos expandidos... Brasília, D. F.: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. v. 2, p. 1383-1385.

MEHLICH, A. New extractant for soil test evaluation of phosphorus, potassium, magnesium, calcium, sodium, manganese and zinc. *Commun. Soil Sci. and Plant Anal.*, v.9,n.6, p.477-492, 1978.

MENDES, A. N. E. Café: quando e como plantar adensado. *Ipê Informativo*, Lavras, p. 1-11, set. 1995.

MENDES, A. N. G.; GUIMARÃES, P. T. G.; MELLES, C. C. A.; BARTHOLO, G. F. Estudo do espaçamento entre e dentro de fileiras para as cultivares 'Catuaí' e 'Mundo Novo' de *Coffea arabica* L. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina, PR. Anais... Londrina: IAPAR, 1996. p. 300-301. Seção Posters.

MENDES, J. E. T. O sombreamento e os cafezais paulistas. *Boletim da Superintendência dos Serviços do Café*, São Paulo, v. 19, n. 205, p. 257-267, mar. 1944.

MENDES, J. E. T.; MAMPRIM, O. A.; LAZARRINI, V. Ensaio de espaçamento e número de pés por cova, com a variedade Maragogipe A. D. In: LAZZARINI, V.; MORAES, F. R. P.; MORAES, S. V. et al. (Eds.). *Experimentação cafeeira - 1929-1963*. Campinas: IAC, 1967. p. 75-77.

MESTRE, A.; OSPINA, F. CENICAFÉ, avances técnicos. Chinchiná, Caldas, Colômbia: CENICAFÉ, 1994. (Circular, 200).

MIGUEL, A. E.; GARCIA, A. W. R.; CORREA, J. B.; FIORAVANTE, N. Efeito de 3 níveis de adubação N e K em cafeeiros Mundo Novo, Catuaí e Catimor, plantados em 2 densidades de plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. Anais... Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1983. p. 289-291.

MIGUEL, A. E.; PAULINO, A. J.; MATIELLO, J. B. et al. Comparação entre sistemas de plantio concentrado e o plantio tradicional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 7., 1979, Araxá, MG. Resumos... Rio de Janeiro: MIC/IBC/ GERCA, 1979. p. 167-168.

NACIF, A. de P. Fenologia e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv. Catuaí, sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizante no Cerrado de Patrocínio - MG. 1997. 124 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PAVAN, M. A.; ANDROCIOLI FILHO, A.; CHAVES, J. C. D. Produção de café em função da densidade de plantio, adubação e tratamento fitossanitário. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina, PR. Anais... Londrina: IAPAR, 1996. p. 299. Seção Posters.

PAVAN, M. A.; BINGHAM, F. T.; PRATT, P. F. Chemical and mineralogical characteristics of selected acid soils of the state of Paraná, Brazil. Turrialba, San José, 35, n. 2, p. 131-139, apr./jun. 1985.

PAVAN, M. A.; CARAMORI, P. H.; ANDROCIOLI FILHO, A. et al. Manejo da cobertura do solo para formação e produção de lavoura cafeeira. I: - influência na fertilidade do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 21, n. 2, p. 187-192, fev. 1986.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Influência da Densidade de Plantio de Cafeeiros Sobre a Fertilidade do Solo. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. Anais... Londrina: IAPAR, 1994. p. 15.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A. Cultura do cafeeiro: o sistema de plantio adensado e a melhoria da fertilidade do solo. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 7 p. (Informações agronômicas, n. 80)

POZZA, A. A. A.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUIMARÃES, M. J. C. L. Fertilizantes nitrogenados com reação alcalina e acidificante na produção e qualidade do café. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 418-419.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. da. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 428-429.

RAIJ, B. Van. Avaliação da fertilidade do solo. Pioracicaba: POTAFOS, 1981. 195 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 97-101. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M. E.; LOPES, A. S.; BATAGLIA, O. C. Análise Química do Solo para Fins de Fertilidade. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 170p.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. In: RENA, A. B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M. et al. (Ed.). Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisas do Potássio e do Fosfato, 1986. p. 13-85.

RENA, A. B.; NACIF, A. de P.; GUIMARÃES, P. T. G.; BARTHOLO, G. F. Plantios adensados de café: aspectos morfológicos, ecofisiológicos, fenológicos e agrônômicos. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 19, n. 193, p. 61-70, 1998.

RENA, A. B.; NACIF, A. P.; PEREIRA, A. A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1994, Londrina. Anais... Londrina: IAPAR, 1994. p. 14.

RIVERA, R. Densidad de plantacion y aprovechamiento del fertilizante nitrogenado em el cultivo Del cafeto, variedad Caturra, sobre suelos ferraliricos rojos compactados. Cultivos Tropicales, Habana, v. 12, n. 3, p. 5-8, 1991.

SALAZAR-ARIAS, E.; MESTRE-MESTRE, A. Cenicafé, Chinchina, v. 28, n. 1, p. 27-35, 1977.



SANZONOWICZ, C.; TOLEDO, P. M. R.; GOMES, A. C.; SAMPAIO, J. B. R.; MAIA, T. E. DE G.; GUERRA, A. F.; RODRIGUES, G. C.; NAZARENO, R. B. Avaliação inicial do crescimento de um cafezal em um solo de cerrado sob diferentes níveis de adubação e regimes hídricos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL E WORKSHOP INTERNACIONAL DE CAFÉ E SAÚDE, 3., 2003, Porto Seguro. Anais... Brasília, DF: Embrapa Café, 2003. p. 398-399.

SILVA, F. A. de MELO; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. C.; GUIMARÃES, M. J. L.; GODINHO, A.; MALTA, M. R. . Uso de fosfato natural e ácido cítrico e seu efeito na exsudação de ácidos orgânicos em rizosfera de cafeeiros. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória, ES. Anais... Brasília, D. F.: Embrapa Café, 2001. p. 2645-2652. CD-ROM.

SILVA, V. A.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; GUILHERME, L. R. G. . Cinética de liberação do potássio em solos de regiões cafeeiras: efeito de ácidos orgânicos. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas, MG. Resumos expandidos... Brasília, D. F.: Embrapa Café; Belo Horizonte: Minasplan, 2000. v. 2, p. 1408-1411.

SYLVAIN, P. G. Some observations on *Coffea arabica* L. in Ethiopia. *Turrialba*, San Joseph, v. 5, n. 1, p. 37-53, ene./mar. 1955.

URIBE-HENAO. A. Efecto del fósforo en la producción de café. *Cenicafé*, Chinchina, v. 34, n. 1, p. 3-15, 1983.

URIBE-HENAO. A.; SALAZAR-ARIAS, N. Distancia de siembra y dosis de fertilizante en la producción de café. *Cenicafé*, Chinchina, v. 32, n. 3, p. 88-105, 1981.

VETTORI, L. *Métodos de Análises de Solo*. Rio de Janeiro, Ministério da Agricultura, 1969. p.24 (Boletim Técnico, 7).

VIANA, A. S.; GARCIA, A. W. R.; LACERDA, M. P. Níveis e relação N/K em cafezais plantados em espaçamentos 2 x 1 m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 12., 1985, Caxambú, MG. Resumos... Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1985. p. 66-69.

