

unesp

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Programa de Pós-Graduação em Agronomia

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DE
CAFEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS**

EDISON MARTINS PAULO

Ilha Solteira – SP

Março/2008

unesp

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Ilha solteira**

Programa de Pós-Graduação em Agronomia

**ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DE
CAFEEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS**

EDISON MARTINS PAULO

Orientador: Professor Doutor Enes Furlani Jr.

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia –
UNESP, Campus de Ilha Solteira, para a obtenção
do título de Doutor em Agronomia – Área de
Concentração: Sistemas de Produção.

Ilha Solteira – SP

Março/2008

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

P331a Paulo, Edison Martins.
Atributos químicos do solo e estado nutricional de cafeeiros em diferentes densidades populacionais / Edison Martins Paulo. -- Ilha Solteira : [s.n.], 2008 103 f.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2008

Orientador: Enes Furlani Jr.
Bibliografia: p. 92-102

1. Cultivares de cafeeiro. 2. Densidade populacional. 3. Atributos químicos do solo. 4. Estado nutricional dos cafeeiros.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DE CAFEEIROS EM
DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

AUTOR: EDISON MARTINS PAULO

ORIENTADOR: Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR em AGRONOMIA pela
Comissão Examinadora:

Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. ORIVALDO ARF

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. EDSON LAZARINI

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira

Prof. Dr. JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN

Departamento de Agricultura / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP

Prof. Dr. HEITOR CANTARELLA

Instituto Agronômico de Campinas / Centro de Pesquisa e Desenvolvimento de Ecofisiologia e
Biofísica

Data da realização: 01 de abril de 2008.

Presidente da Comissão Examinadora
Prof. Dr. ENES FURLANI JUNIOR

*Aos queridos filhos Guilherme e Bruna,
à minha esposa Edna e
aos meus pais Irene e Alfredo (in memoriam),
dedico com carinho.*

AGRADECIMENTOS

4. Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita Filho” – Campus de Ilha Solteira – pelos ensinamentos ministrados e amizade dedicada.
5. Ao Professor Doutor Enes Furlani Jr. pela orientação oferecida, atenção e companheirismo.
6. Ao Professor Doutor Ângelo Catâneo pela valiosa orientação nas análises estatísticas.
7. Ao Pesquisador Científico Dr. Luiz Carlos Fazuoli e ao Engenheiro Agrônomo Roberto Antonio Thomaziello, do Centro de Análise e Pesquisa tecnológica do Agronegócio do Café “Alcides Carvalho” do Instituto Agrônômico, pelo apoio à realização da pesquisa.
8. Ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café (CBP & D – Café) pelo financiamento parcial da pesquisa.
9. Ao Biólogo Cícero Cordeiro de Oliveira e aos funcionários do Pólo Regional de Desenvolvimento dos Agronegócios da Alta Paulista/APTA pela ampla colaboração nos trabalhos de campo.
10. A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização do trabalho, o meu sincero agradecimento.

ATRIBUTOS QUÍMICOS DO SOLO E ESTADO NUTRICIONAL DE CAFEIROS EM DIFERENTES DENSIDADES POPULACIONAIS

Autor: Edison Martins Paulo

Orientador: Prof. Dr. Enes Furlani Jr.

RESUMO

A produção trienal de café, os atributos químicos do solo e o teor foliar dos macronutrientes em cultivares de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) sob diferentes densidades de plantio foram avaliados em Adamantina, município situado na região da Alta Paulista (SP), entre maio de 1995 e fevereiro de 2000. As cultivares de café Catuaí Amarelo (IAC 47) e Obatã (IAC 1669-20), de porte baixo, e Acaíá (IAC 474-19) e Icatu Amarelo (IAC 2944), de porte alto foram estabelecidas em covas com uma planta, distanciadas por 1,0 m entre si na linha de plantio, nas densidades populacionais de 2500, 5000, 7519 e 10000 plantas por hectare. A população de 2500 plantas por hectare com duas plantas por cova também foi estudada. Adotou-se o delineamento estatístico de blocos ao acaso com três repetições, com parcelas subdivididas, correspondendo às parcelas as populações e às subparcelas as cultivares. A adubação recomendada por área foi distribuída igualmente entre as plantas de cada tratamento. A calagem não foi feita após o plantio dos cafeeiros. A produção trienal de café por área e por planta foi maior nos cafeeiros de porte baixo, que não diferiram entre si. O aumento da população de cafeeiros causou maior produção trienal de café por área e diminuição da produção por planta. Os cafeeiros das covas com duas plantas produziram mais café. Cinco anos após o plantio os solos das cultivares de cafeeiro diferiram nos teores de matéria orgânica, de cálcio e de potássio, respectivamente nas camadas 0-20 e 20-40 cm, 0-20 cm e 20-40 cm, e foram semelhantes nos demais atributos químicos do solo. Nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm dos solos da Icatu Amarelo e Catuaí Amarelo a matéria orgânica aumentou com a população dessas cultivares e foi maior nos solos com dois cafeeiros por cova. O aumento da densidade populacional resultou na camada 20-40 cm do solo maiores teores de cálcio e de magnésio e maiores valores de soma de bases, saturação por bases e pH, diminuindo a acidez potencial, enquanto na camada 0-20 cm diminuiu o teor de potássio e a CTC potencial. O plantio de dois cafeeiros por cova diminuiu o pH da camada 0-20 cm do solo e a acidez potencial e a capacidade de troca de cátions potencial da camada 20-40 cm, mas não alterou os teores de fósforo, potássio, cálcio e magnésio e a soma de bases e a saturação por bases do solo. As cultivares diferiram nos teores foliares dos macronutrientes exceto quanto ao cálcio, encontrando-se os maiores teores dos elementos nas cultivares de porte alto. A Obatã foi a cultivar com o menor teor foliar de cada um dos macronutrientes. Os teores foliares de fósforo, potássio e enxofre aumentaram com a população de cafeeiros, observando-se maiores concentrações de fósforo, cálcio e enxofre nas folhas dos cafeeiros plantados dois em cada cova. A aplicação de faixas de referências de teores adequados de macronutrientes nas folhas dos cafeeiros propostos por diferentes autores proporcionou diferentes diagnósticos do estado nutricional das plantas de café. Adotando-se a maior amplitude dos limites superior e inferior das faixas de referência propostas constatou-se teor adequado dos macronutrientes nas cultivares e populações de cafeeiros, excetuando-se o nitrogênio e o enxofre com altas concentrações. O estudo mostrou uso mais eficiente dos recursos nutricionais pelos cafeeiros sob adensamento que apresentaram teor foliar dos macronutrientes igual ou maior que aqueles sob espaçamento convencional na ocasião da amostragem.

Palavras-chave: *Coffea arabica* L.. Adensamento. Acidez do solo. pH. H+Al. Soma de bases. V(%). CTC potencial. Teor foliar.

SOIL CHEMICALS ATTRIBUTES AND NUTRITIONAL STATUS IN DIFFERENT CULTIVARS AND PLANT POPULATIONS

Author: Edison Martins Paulo

Adviser: Prof. Dr. Enes Furlani Jr.

ABSTRACT

The triennial production of coffee, the soil chemical attributes and the leaf content of nutrients coffee cultivars (*Coffea arabica* L.) under plant densities were evaluated in Adamantina, region of Alta Paulista, São Paulo state, Brazil, from May 1995 to February 2000. The coffee tree cultivars Yellow Catuaí (IAC 47) and Obatã (IAC 1669-20) (low height) and Acaiá (IAC 474-19) and Yellow Icatu (IAC 2944) (high height) were submitted to the populations of 2500, 5000, 7519 and 10000 plants per hectare with a coffee tree per hole row spacing with in of 1,0 m. The population of 2500 plants per hectare with two plants per hole was also studied. The treatments were the combinations between cultivars and populations arranged in a randomized complete blocks design with tree replications and the plots as the populations and the subplots as the cultivars. The NPK fertilizations by area were distributed equally among the plants in each treatment. Liming was not made after the planting of coffee. The three-year coffee production per area and per plant was higher in low height cultivars, which did not differ among themselves. Increasing the population of coffee caused increased production of coffee by area and reduced production per plant. The production of a coffee tree was higher in the holes with a plant. Five years after planting the soil of coffee cultivars differ in contents of organic matter, calcium and potassium, respectively, in sections 0-20 and 20-40 cm, 0-20 cm and 20-40 cm and were similar in the others soil chemicals attributes. In sections 0-20 cm and 20-40 cm of soil and Yellow Catuaí and Yellow Icatu organic matter increased with the population of these cultivars and was higher in the soil with two coffees per hole. The increase in population density resulted in the 20-40 cm section of soil greater content of calcium and magnesium and higher values of sum of bases, pH and base saturation, reducing the potential acidity, while the 0-20 cm section decreased the potassium content and CEC. The planting of two coffee by hole decreased the pH of 0-20 cm soil section and potential acidity and the CEC of 20-40 cm section, but did not alter the levels of phosphorus, potassium, calcium and magnesium and the sum of bases and base saturation of the soil. The cultivars differed in the leaf contents of nutrients except for the calcium. The levels of nutrients were higher in the high height cultivars. The Obatã was the cultivar with the lowest value of leaf content of macronutrients. The leaf levels of phosphorus, potassium and sulphur increased with coffee tree population, observing higher concentrations of phosphorus, calcium and sulfur in the leaves of coffee tree planted two per hole. The application of critical tracks of the nutrients suggested by different authors gave different diagnoses of the nutritional status of coffee tree. Considering the widens the limits adopted the cultivars and population showed appropriate content of macronutrients, except for the nitrogen and sulfur with high concentrations. The study showed most efficient use of the nutritional resources by high plant populations that presented leaf content of macronutrients equal or greater than those under conventional spacing at the time of sampling.

Keywords: *Coffea arabica* L.. High density. Soil acidity. pH. CEC potential. Total of bases. V(%). Leaf content.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| Nº | | Página |
|-----|---|--------|
| 1. | Produção trienal de café beneficiado por área em diferentes densidades populacionais de cafeeiros..... | 50 |
| 2. | Produção trienal de café beneficiado por planta em diferentes densidades populacionais de cafeeiros..... | 50 |
| 3. | Produção de café beneficiado por planta e por área em cada ano do período experimental cafeeiro..... | 51 |
| 4. | Teor de matéria orgânica nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações da cultivar Catuaí Amarelo..... | 55 |
| 5. | Teor de matéria orgânica nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações da cultivar Icatu Amarelo..... | 55 |
| 6. | Teor de matéria orgânica do solo no início e término da experimentação em duas camadas do solo..... | 56 |
| 7. | pH da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros..... | 59 |
| 8. | Acidez potencial (H + Al) da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro..... | 63 |
| 9. | Acidez potencial (H + Al) no início e término da experimentação em duas camadas do solo..... | 64 |
| 10. | Teor de potássio da camada 0-20 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros..... | 67 |
| 11. | Teor de cálcio da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros..... | 67 |
| 12. | Teor de magnésio da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros..... | 68 |
| 13. | Teor de potássio em duas camadas do solo no início e término da experimentação..... | 68 |
| 14. | Teor de cálcio em duas camadas do solo no início e término da experimentação..... | 69 |
| 15. | Teor de magnésio em duas camadas do solo no início e término da experimentação..... | 70 |

LISTA DE ILUSTRAÇÕES (continuação)

| Nº | | Página |
|-----|---|--------|
| 16. | Soma de base da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros..... | 74 |
| 17. | Soma de bases no início e término da experimentação em duas camadas do solo..... | 75 |
| 18. | CTC potencial da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros..... | 76 |
| 19. | Saturação por bases (V%) da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros..... | 77 |
| 20. | Saturação por bases (V%) no início e término da experimentação em duas camadas do solo..... | 78 |
| 21. | Teor de fósforo no início e término da experimentação em duas camadas do solo..... | 81 |
| 22. | Teor foliar de fósforo em diferentes populações de cafeeiros..... | 86 |
| 23. | Teor foliar de potássio em diferentes populações de cafeeiros..... | 84 |
| 24. | Teor foliar de enxofre em diferentes populações de cafeeiros..... | 85 |
| 25. | Teor foliar de cálcio em diferentes populações da cultivar Obatã..... | 87 |

LISTA DE TABELAS

| Nº | | Página |
|-----|---|--------|
| 1. | Faixas de referências de teores adequados de macronutrientes em folhas de cafeeiros..... | 23 |
| 2. | Resultados das análises químicas da camada 0-20 cm do solo do local experimentação..... | 42 |
| 3. | Resultados da análise física do solo do local da experimentação..... | 42 |
| 4. | Médias mensais das temperaturas máximas e mínimas e da precipitação pluvial do período experimental..... | 43 |
| 5. | Quantidades de nutrientes aplicadas anualmente e adubos utilizados no período experimental..... | 45 |
| 6. | Análise de variância aplicada aos dados das variáveis estudadas no experimento..... | 47 |
| 7. | Produção trienal de café por área e por planta de diferentes cultivares e populações de cafeeiros..... | 49 |
| 8. | Teor de matéria orgânica nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro..... | 53 |
| 9. | Desdobramento da interação entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para o teor de matéria orgânica às camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo..... | 54 |
| 10. | pH das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro..... | 58 |
| 11. | Acidez potencial (H+Al) das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro..... | 61 |
| 12. | Desdobramento da interação entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para a acidez potencial (H+Al) na camada 20-40cm do solo..... | 62 |
| 13. | Teores de potássio, cálcio e magnésio das camadas 0-20 cm e 20-40cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro..... | 66 |

| Nº | LISTA DE TABELAS (continuação) | Página |
|-----|--|--------|
| 14. | Soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial (CTC) e saturação por bases (V) das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro..... | 73 |
| 15. | Desdobramento da interação entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para capacidade de troca de cátions na camada 20-40cm do solo..... | 75 |
| 16. | Teor de fósforo das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiros..... | 80 |
| 17. | Teor foliar de macronutrientes em diferentes populações e cultivares de cafeeiro..... | 83 |
| 18. | Desdobramento da interação e significância das regressões entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para o teor foliar de cálcio | 87 |

LISTA DE ANEXOS

| Nº | | Página |
|----|--|--------|
| 1. | Temperaturas médias máximas e mínimas mensais de cada ano do período experimental..... | 103 |

SUMÁRIO

| | Página |
|--|--------|
| 1. INTRODUÇÃO..... | 15 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 17 |
| 2.1. Cultivares de cafeeiro e produtividade..... | 17 |
| 2.2. Densidade populacional de cafeeiros..... | 18 |
| 2.2.1 Cultivares..... | 18 |
| 2.2.2. Espaçamentos e populações para cafeeiros | 19 |
| 2.3. Avaliação do estado nutricional do cafeeiro..... | 21 |
| 2.4. Extração de nutrientes pelo cafeeiro..... | 23 |
| 2.5. Atributos químicos do solo..... | 25 |
| 2.5.1. Matéria orgânica..... | 25 |
| 2.5.2. Acidez do solo..... | 26 |
| 2.5.3. Nitrogênio..... | 29 |
| 2.5.4. Fósforo..... | 31 |
| 2.5.5. Potássio..... | 33 |
| 2.5.6. Cálcio..... | 36 |
| 2.5.7. Magnésio..... | 38 |
| 2.5.8. Enxofre..... | 40 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS..... | 42 |
| 3.1. Local, solo e clima..... | 42 |
| 3.2. Cultivares de cafeeiro estudadas..... | 43 |
| 3.3. Delineamento experimental..... | 43 |
| 3.4. Preparo das mudas..... | 44 |
| 3.5. Preparo do solo..... | 44 |
| 3.6. Plantio..... | 44 |
| 3.7. Adubação..... | 44 |
| 3.8. Controle fitossanitário..... | 45 |
| 3.9. Variáveis avaliadas..... | 45 |
| 3.9.1. Produção de café beneficiado..... | 46 |
| 3.9.2 Teor de matéria orgânica, pH, H+Al e de macronutrientes no solo..... | 46 |
| 3.9.3. Teor de macronutrientes nas folhas..... | 46 |
| 3.10. Análises estatísticas..... | 47 |

SUMÁRIO (continuação)

| | Página |
|---|--------|
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 48 |
| 4.1 Produção de café..... | 48 |
| 4.2. Atributos químicos do solo..... | 52 |
| 4.2.1. Matéria orgânica..... | 52 |
| 4.2.2. Acidez do solo..... | 57 |
| 4.2.2.1. pH..... | 57 |
| 4.2.2.2. Acidez potencial | 60 |
| 4.2.3. Potássio, cálcio e magnésio..... | 65 |
| 4.2.4. Soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial e saturação por bases..... | 72 |
| 4.2.5. Fósforo..... | 79 |
| 4.3. Teor foliar de macronutrientes..... | 82 |
| 5. CONCLUSÕES..... | 91 |
| 6. REFERÊNCIAS..... | 92 |

1. INTRODUÇÃO

A cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Brasil conta com mais de dois milhões de hectares plantados em mais de 1850 municípios e responde por cerca 40% do café mundial (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE, 2008). A diversidade ecológica que abriga a atividade implica em quantidade insuficiente de pesquisas para amparar recomendações locais para a cafeicultura como àquelas relacionadas à indicação de cultivares, população de plantas e a combinação mais adequada da cultivar e densidade populacional de cafeeiros. Essas recomendações são adotadas por ocasião da implantação da cultura e têm reflexos diretos na produtividade da lavoura com substanciais desdobramentos econômicos.

Cultivares selecionadas de cafeeiros frequentemente apresentam variabilidade de produção devido ao ambiente, pelo que se considera o estudo regional de seleção de cafeeiros de elevada relevância, e o aumento da produtividade de cafeeiros de porte alto e de porte baixo tem-se conseguido com o incremento da densidade populacional. A adoção da melhor combinação da cultivar e densidade populacional, que leva a obtenção de maiores produtividades com a consequente maior exportação de nutrientes pelos frutos colhidos e comercializados, induz recomendar maiores doses de adubação.

Atribui-se ao uso de espaçamentos largos no plantio dos cafezais a erosão, a lixiviação de nutrientes, a oxidação da matéria orgânica e a acidificação do solo por fertilizantes nitrogenados, processos que contribuem para o declínio contínuo da fertilidade do solo, enquanto no plantio adensado há o aumento do pH, dos teores de cálcio, magnésio, potássio, fósforo e a diminuição do alumínio tóxico do solo com melhoria da capacidade de produção. Nesse sistema há também utilização mais eficiente dos fertilizantes, devido ao maior número de raízes que explora determinado volume de solo e à menor lixiviação dos minerais, pelo que se recomenda a adubação por área e não por cova como nos plantios tradicionais.

Na lavoura de café o estado nutricional das plantas é outra importante vertente que requer atenção especial para a manutenção de cafeeiros com alta produção ao longo do tempo, pois a demanda por nutrientes acontece mesmo quando a frutificação é baixa devido ao crescimento dos ramos plagiotrópicos e formação de ramos e folhas novas que substituem os frutos como drenos. Nesse aspecto, somente a análise química do solo pode ser insuficiente para a correta avaliação do cafezal, pois os nutrientes podem estar presentes no solo em quantidades adequadas, mas não disponíveis aos cafeeiros. Além disso, fatores genéticos podem ser responsáveis por diferenças entre cultivares na eficiência, absorção e translocação

de nutrientes ou de utilização do elemento pelo cafeeiro. O uso da análise química foliar, que permite estabelecer faixas de teores dos nutrientes associadas ao crescimento e à produção do cafeeiro, aliada à análise do solo, tem constituído prática essencial para identificar o estado nutricional da lavoura e ferramenta importante para a recomendação de adubações mais equilibradas e economicamente mais ajustadas em cafezais.

O trabalho objetivou avaliar os atributos químicos do solo e os teores foliares dos macronutrientes de cultivares de cafeeiro submetidas a diferentes densidades populacionais e mesma adubação em Adamantina, município localizado na Alta Paulista, uma das principais regiões produtoras de café do Estado de São Paulo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultivares de cafeeiro e produtividade

O sucesso dos plantios comerciais é dependente da escolha adequada das cultivares e linhagens de cafeeiros (FAZUOLI, 1986). A interação entre a planta e o ambiente tem sido demonstrada quando cultivares de cafeeiros, selecionadas para alta produção e boas características agronômicas, de mesma idade, vegetando no mesmo local e ao mesmo tempo, têm produtividades diferentes (AMARAL, 2002, AUGUSTO, 2000, BARROS et al., 2000b, MIGUEL et al., 2000a, SANTINATO et al., 2000a, SANTINATO et al., 2000c, SERTÓRIO et al., 2000, SANTO, 2000, VALARINI, 2005).

No Estado de Minas Gerais, no município de Capelinha, linhagens de Catuaí Amarelo e Catuaí Vermelho produziram mais que linhagens de Mundo Novo, Icatu e Acaiá todas plantadas no espaçamento de 3 x 2m com uma planta por cova (SANTO, 2000). Em Três Pontas, as cultivares Catuaí e Mundo Novo, na média das densidades populacionais de 2857 e 5714 plantas por hectare e três níveis de adubação, produziram semelhantemente, mas 18% a mais que a Catimor (MIGUEL et al., 2000a). A Icatu 2944, em Martins Soares, na média de três colheitas e no espaçamento de 2,5 x 1,0 m, mostrou comportamento superior ao da Mundo Novo e ao da Acaiá, mas inferior à média de linhagens de Catuaí que produziram 63 sacas de café beneficiado por hectare. Os materiais Tupi 4093 e Obatã resistentes á ferrugem tiveram produtividade ligeiramente inferior à Catuaí e a Bourbon Amarelo que foi a cultivar com a menor produtividade entre todas as estudadas (BARROS et al., 2000b). Em Ervália a Catuaí Vermelho IAC-44, a Katipó e a Oeiras MG-6851 produziram significativamente mais que a Catuaí Vermelho IAC-99 e a Catimor UFV-3880 na média bienal de quatro densidades populacionais (AUGUSTO, 2000). A cultivar Icatu Amarelo IAC-3282, em Viçosa, em ambiente com restrição de nutrientes, foi mais produtiva do que a Rubi MG-1192 e a Catuaí Vermelho IAC 99, as quais se destacaram quanto à produção em ambiente com alto suprimento de nutrientes. A Acaiá IAC 474-19, apesar de responder positivamente à adubação, foi menos produtiva que as demais, principalmente no nível baixo de adubação (AMARAL, 2002).

No Estado de São Paulo, no município de Espírito Santo do Pinhal, após cinco colheitas e na média dos espaçamentos entre covas com duas plantas na linha de plantio de 0,5, 1,0 e 1,5 m, a Catuaí Vermelho IAC-144 e a Catucaí L36/6 foram significativamente mais produtivas que a Mundindu Caratinga/Varginha e a Icatu IAC-2944 (SILVA et al., 2000b).

No mesmo município a Catuaí foi mais produtiva que a Icatu 4045 e à Catucaí em estudo com populações entre 5000 e 20000 plantas por hectare (SANTINATO et al., 2000d), verificando-se também, na média de quatro colheitas e na população de 2500 plantas por hectare, produção semelhante entre as cultivares Mundo Novo LCP 379-19, Catuaí H-2077-2-5-144 e Icatu LC-2945 (SERTÓRIO et al., 2000).

Na Bahia, em Luiz Eduardo Magalhães, a Acaiá IAC 474-19 e a Icatu IAC 2944, produziram, respectivamente de 32 e 46 sacas de café beneficiadas por hectare, enquanto as cultivares Acaiá IAC 374-19 e Catuaí H-2077-1-5-15, respectivamente apresentaram a produtividade de 58 e 57 sacas de café beneficiadas por hectare (SANTINATO et al., 2000c).

2.2. Densidade populacional de cafeeiros

O número de plantas por hectare é considerado um dos mais importantes aspectos que caracterizam sistemas diferenciados de produção de café devido às implicações tecnológicas e a eficiência econômica intrínsecas de cada faixa de adensamento (VEGRO; MARTIN; MORICCHI, 2000). Lavouras com baixa densidade populacional de cafeeiros contribuem para acelerar os processos de degradação do solo como erosão, lixiviação, oxidação da matéria orgânica e acidificação (PAVAN; CHAVES, 1996), constituindo o adensamento do plantio técnica ímpar para o aumento da produtividade, comprovadamente para cafeeiros de porte alto (PAULO, 2002) ou de porte baixo (PAULO, 2002, VALARINI, 2005).

2.2.1. Cultivares

Características agrônomicas consideradas importantes em uma cultivar de café adaptada para o plantio adensado são o porte baixo, a resistência à ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br.), a maior produção nos anos iniciais (SERA; GUERREIRO, 1996).

O cafeeiro de porte baixo é, com certeza, mais adequado para os plantios adensados por permitir maior densidade populacional, tornar a colheita mais econômica e facilitar os tratamentos fitossanitários (FAZUOLI, 1996, THOMAZIELLO et al., 2000), embora cultivares de porte alto, com maior vigor, ótima capacidade de rebrota, maturação mais uniforme e precoce, também possam ser utilizadas (FAZUOLI, 1996).

No plantio adensado a ferrugem assume maior importância, pelo que as cultivares resistentes à doença merecem ser destacadas, como as de porte baixo Obatã (IAC 1669-20), Tupi (IAC 1669-33) (FAZUOLI, 1996, THOMAZIELLO et al., 2000), IAPAR 59 e derivadas

(FAZUOLI, 1996) e as de porte alto Icatu Amarelo, Icatu Vermelho e Icatu Precoce. Linhagens de Catuaí Vermelho e de Catuaí Amarelo, de porte baixo, e linhagens de Mundo Novo, de porte alto, que não são resistentes à ferrugem, também podem ser indicadas para o plantio adensado devido à ampla capacidade de adaptação à maioria das regiões de cultivo. Destacam-se entre as cultivares de porte alto a Acaiá (IAC 474-19), por possuir ramos laterais mais curtos, e a Bourbon Amarelo, pela precocidade de maturação de seus frutos e qualidade de bebida superior à Mundo Novo e à Catuaí (FAZUOLI, 1966, THOMAZIELLO et al., 2000).

2.2.2. Espaçamentos e populações para cafeeiros

A tradição brasileira de plantio de café, durante longos anos, foi o espaçamento largo como 4,0 x 3,0 m e 4,0 x 2,5 m, entre outros, com várias mudas na cova. A partir da década de 1970, durante a execução do plano de renovação e revigoração dos cafezais, houve mudança para espaçamentos menores, como 4,0 x 1,5 m com duas mudas por cova, 4,0 x 1,0 m com uma muda por cova e 3,5 x 1,5 m com duas mudas por cova além de outras variações. Atualmente, embora ainda haja predominância de espaçamentos maiores, há uma tendência para plantios mais adensados, visando o aumento da população de plantas por hectare, com o conseqüente aumento da produtividade, fato comprovado mediante inúmeros trabalhos experimentais. Desse modo, são encontrados nas diferentes regiões os espaçamentos: 1,0 x 0,5m, 1,0 x 1,0 m, 1,5 x 1,0 m, 2,0 x 0,5m, 3,0 x 1,0 m, 3,0 x 0,5 m, 4,0 x 0,5 m entre outros (THOMAZIELLO, et al., 2000).

Na definição de espaçamentos de cafeeiros deve ser lembrado que quanto maior o porte da cultivar, maior deve ser o espaçamento entre as linhas de plantio (MIGUEL et al., 2000b). O rápido desenvolvimento do volume de produção por unidade de área é importante vantagem do aumento da população para cultivares de porte alto (PAVAN; CHAVES; ANDROCIOLI FILHO, 1994).

Na primeira metade do século XX, em São Paulo, demonstrou-se o aumento da produtividade com a diminuição da distância entre as plantas nas linhas com o uso de até duas plantas por cova. A redução da distância entre as covas originou o plantio em renque, com uma única planta por cova, e separadas, nas linhas, de 0,5 a 1,0 m (SCARANARI; NOGUEIRA NETO, 1963).

A introdução de novas cultivares vigorosas e produtivas impôs a continuidade dos estudos. Resultados com a Mundo Novo LCP 379-19 recomendavam empregar 0,5m entre as covas (CARVALHO; SOUZA, 2000, MIGUEL et al., 2000a), enquanto outros confirmavam a maior produtividade com a distância de 1,0 m entre as plantas (MIGUEL et al., 2000b). Os

melhores resultados de produção foram conseguidos com 0,5 e 1,0 m entre as covas com uma planta da cultivar Acaia (TOLEDO; MIGUEL; MATIELO, 2000) e diminuindo-se a distância de 1,0 m para 0,5m entre as plantas da cultivar Icatu (SANTINATO et al., 2000b).

A produção de cafeeiros de porte baixo é maior quando a planta está sozinha que acompanhada (URIBE; MESTRE, 1988a) e é mais econômico o uso de apenas uma muda por cova (BARROS et al., 2000a, CAMARGO et al., 2000, CAMARGO; REIS; MATIELO, 2000). A produtividade média de diferentes espaçamentos entre as linhas e com distância de 1,0 m entre covas com uma planta é maior que a daqueles com a distância entre covas de 2,0 m e com duas plantas, empregando-se em ambos os casos o mesmo número de plantas por área (CAMARGO et al., 2000, CAMARGO; REIS; MATIELO, 2000, VIANA; CAMARGO; FREIRE, 2000).

As cultivares de porte alto Mundo Novo LCP 379-1 (CARVALHO; SOUZA, 2000) e Mundo Novo (MIGUEL et al., 2000a) produziram mais café na densidade de 5000 plantas por hectare comparativamente à população de 2500 plantas por hectare. Observaram-se maiores produções plantando-se a Acaia com 5000 plantas por 16 colheitas (TOLEDO; MIGUEL; MATIELO, 2000), com até 6666 plantas ou 3333 covas por hectare com duas plantas cada no período de 12 anos (PAVAN; CHAVES; ANDROCIOLI FILHO, 1994) e com 7143 plantas por nove colheitas (SIQUEIRA et al., 2000, PAVAN et al., 1997) do que com populações menores. A Icatu mostrou maior produtividade com 5000 plantas por hectare e não com 2500 plantas por hectare na média de cinco colheitas (SANTINATO et al., 2000b) e produção crescente até a população de 7143 (PAVAN et al., 1997), 10000 (SANTINATO et al., 2000a) e 13000 plantas por hectare (SANTINATO et al., 2000d).

Aumentos na produtividade de cafeeiros de porte baixo foram obtidos com a progressão da população até 5000 (MIGUEL et al., 2000b), 5714 (MIGUEL et al., 2000a), 6490 (CAMARGO; REIS; MATIELLO, 2000), 6666 (PAVAN; CHAVES; ANDROCIOLI FILHO, 1994), 7143 (PAVAN et al., 1997), 7812 (VIANA; CAMARGO; FREIRE, 2000), 10000 (CAMARGO et al., 2000, SANTINATO et al., 2000a, SILVA, 2004, URIBE; MESTRE, 1988b) 13333 (SANTINATO et al., 2000b) e 20000 plantas por hectare (SANTINATO et al., 2000d).

As seguintes faixas de adensamento dos cafeeiros podem ser estabelecidas como padrões:

a) Cultivos tradicionais, até 3.000 plantas por hectare: aquelas lavouras formadas em espaçamento mínimo de 4 metros na entrelinha por 2 metros entre covas, podendo-se indicar uma ou mais plantas por cova.

b) Cultivos adensados, de 3.000 a 7.000 plantas por hectare: visando redução de custos

como o aumento da produção por área cultivada, contrapondo-se à visão de privilegiar a produção por cova. Essa prática atingiu alto grau de difusão e vem sendo a preferida pelos empresários que investem no setor.

c) Cultivos superadensados, acima de 7.000 plantas por hectare: são sistemas ainda de adoção restrita, cujo interesse pelos mesmos tem crescido, apesar dos maiores custos na formação dessas lavouras. Internacionalmente, na Colômbia considera-se o ideal para as condições do país que as novas lavouras deveriam se aproximar do estande de 10.000 plantas por hectare. Esses exemplos fazem eco entre os cafeicultores paulistas, não sendo isolados os casos de lavouras superadensadas nas diferentes regiões cafeeiras (VEGRO; MARTIN; MORICOCHI, 2000).

Regiões acidentadas vêm empregando o sistema semi-adensado, adensado ou superadensado e, nas regiões planas, o sistema de plantio vem sendo conduzido de modo a permitir a mecanização da colheita e com maior número de plantas por hectare que o vigente na década de 70 (BACHA, 1998).

2.3. Avaliação do estado nutricional dos cafeeiros

No cafeeiro a demanda por nutrientes é constante, pois, mesmo quando a frutificação é baixa, o crescimento dos ramos plagiotrópicos, a formação de folhas e ramos novos substituem o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes (CORREA; GARCIA; COSTA, 2000, MALAVOLTA et al., 2002).

A folha é o órgão que mais bem reflete o estado nutricional dos cafeeiros, quer por meio dos sintomas visuais, quer por meio do teor de nutrientes que se encontram, geralmente, em maiores concentrações nesse órgão (HIROCE, 1981). Alterações na nutrição mineral são refletidas nas concentrações dos nutrientes nas folhas e o uso da análise foliar como critério de diagnóstico baseia-se nas premissas de existir relação entre o suprimento de nutrientes e os níveis dos elementos e de que aumentos ou decréscimos nas concentrações se relacionam com produções mais altas ou mais baixas, respectivamente (EVENHUIS; WAARD, 1980). A variação no teor dos nutrientes nas folhas, contudo não é devida somente à fertilidade do solo ou as doses empregadas de adubo, mas também à idade da folha e da planta, época de amostragem, condições de solo e clima, tratos culturais diversos, ataques de pragas e moléstias, cultivares, linhagens e espécies, entre outras condições (HIROCE, 1981).

Plantas de cultivares diferentes da mesma espécie, crescendo lado a lado, no mesmo solo, em condições idênticas, apresentam com frequência grandes variações na sua

composição química (EPSTEIN, 1975). Muitos aspectos qualitativos e quantitativos da absorção iônica estão sob controle genético (MALAVOLTA, 1980), dirigidos pela informação contida ou na memória do DNA (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997), o que faz as plantas, devido suas características hereditárias, possam ter preferência por determinado nutriente (LARCHER, 2000) e certa seletividade na absorção de elementos químicos (MALAVOLTA, 1980). Diferenças nos teores foliares dos elementos minerais ligados a fatores genéticos, indicam eficiência de absorção, translocação ou utilização diferencial do nutriente entre cultivares e linhagens (AUGUSTO, 2000) e que também podem ser atribuídas a excreções radiculares e capacidade de solubilizar elementos na rizosfera (MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997). Entretanto, quantidades maiores de um ou mais elementos nas folhas de determinada cultivar pode não se relacionar a mecanismos mais eficientes para absorção ou translocação de nutrientes em relação a outras, mas indicar um sistema radicular maior ou mais finamente ramificado e exploração do solo de modo mais eficiente (EPSTEIN, 1975). O sistema radicular de *C. canephora* e de *C. congensis* sob cafeeiros enxertados, além de explorar maior volume de solo, parece alterar quantitativamente a absorção de alguns nutrientes para o cafeeiro e aumentar a produção de modo mais significativo para a Catuaí do que para a Mundo Novo (FAHL et al., 1998).

A diferença entre cultivares de cafeeiros quanto ao teor foliar de nutrientes já foi relatada (ALVARENGA; DUARTE; GOMIDE, 2000, AUGUSTO, 2000, CORREA; GARCIA; COSTA, 2000, VALARINI, 2005), concluindo-se de maneira geral que a Mundo Novo é mais exigente em nutrientes que a Catuaí (CORREA; GARCIA; COSTA, 2000) e que no florescimento o teor foliar dos macronutrientes foi semelhante nas cultivares Mundo Novo IAC 388-17 enxertada sobre Apoatã IAC-2258 e Catuaí Amarelo IAC-62, exceção para o enxofre com maior teor na Catuaí (MALAVOLTA et al., 2002).

A diagnose nutricional de plantas por meio dos resultados da análise química foliar constitui ferramenta complementar à análise de solo para a recomendação de fertilizantes que auxilia planejar, avaliar e calibrar a recomendação de adubação das lavouras (CORREA et al., 2001). A avaliação do estado nutricional (CORREA et al., 2001, GALLO et al. 1970, MARTINEZ et al., 2003) e da fertilidade do solo (CORREA et al., 2001) de cafeeiros tem sido realizada com o objetivo de identificar os fatores mais limitantes, sob esses aspectos, para o crescimento, desenvolvimento e produção da cultura em algumas regiões. Entretanto, diferentes diagnoses nutricionais podem ser obtidas com os padrões propostos pela literatura (Tabela 1), havendo necessidade de estabelecimento de teores adequados calibrados

localmente para garantir que a interpretação da análise foliar seja efetiva na avaliação do estado nutricional dos cafeeiros (CORREA et al., 2001).

O emprego da amplitude máxima dos limites inferior e superior da faixa crítica dos macronutrientes recomendada por alguns autores (BERGMANN, 1992, JONES JUNIOR; WOLF; MILLS, 1991, MALAVOLTA et al., 1993, MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997, MATIELLO, 1997, MILLS; JONES JUNIOR; WOLF; MILLS, 1991, RAIJ et al., 1997, REUTER; ROBINSON, 1988) possibilita identificar o teor adequado dos nutrientes em cultivares de cafeeiro quando apresentam no tecido foliar entre 23,0 e 35,0 g kg⁻¹ de nitrogênio, 1,2 e 2,0 g kg⁻¹ de fósforo, 18,0 e 26,0 g kg⁻¹ de potássio, 7,5 e 25,0 g kg⁻¹ de cálcio, 2,5 e 5,0 g kg⁻¹ de magnésio e 0,2 e 2,0 g kg⁻¹ de enxofre (Tabela 1).

Tabela 1 – Faixas de referência de teores adequados de macronutrientes em folhas de cafeeiros, segundo alguns autores.

| Autores | N | P | K | g kg ⁻¹ | | |
|-----------------------------------|-------|---------|-------|--------------------|---------|---------|
| | | | | Ca | Mg | S |
| REUTER; ROBINSON (1988) | 25-30 | 1,5-2,0 | 21-26 | 7,5-15 | 2,5-4,0 | 0,2-1,0 |
| JONES JUNIOR; WOLF; MILLS (1991) | 23-30 | 1,2-2,0 | 20-25 | 10-25 | 2,5-4,0 | 1,0-2,0 |
| BERGMANN (1992) | 23-30 | 1,6-2,0 | 21-23 | 12-14 | 3,0-4,0 | 1,5-2,0 |
| MALAVOLTA et al. (1993) | 27-32 | 1,5-2,0 | 19-24 | 10-14 | 3,1-3,6 | 1,5-2,0 |
| MILLS; JONES JUNIOR (1996) | 23-30 | 1,2-2,0 | 20-25 | 10-25 | 2,5-4,0 | 1,0-2,0 |
| MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA (1997) | 29-32 | 1,6-1,9 | 22-25 | 13-15 | 4,0-4,5 | 1,5-2,0 |
| RAIJ et al. (1997) | 26-32 | 1,2-2,0 | 18-25 | 10-15 | 3,0-5,0 | 1,5-2,0 |
| MATIELLO (1997) | 30-35 | 1,2-2,0 | 18-25 | 10-15 | 3,5-5,0 | 1,5-2,0 |

2.4. Extração de nutrientes pelo cafeeiro

O cafeeiro acumula matéria seca continuamente dos seis aos 78 meses, com demanda nutricional crescente independentemente da variação da produção (CORREA; GARCIA; COSTA, 2000, MALAVOLTA, 1993, PRADO; NASCIMENTO, 2003). As exigências minerais para a produção de uma saca de café beneficiado independem do espaçamento, mas as quantidades de adubo necessárias para satisfazer as exigências, diminuem, dentro de limites, com o aumento da densidade de plantio, pois há aumento da área das raízes e da eficiência ou do aproveitamento dos adubos porque diminuem as perdas por lixiviação, fixação e erosão (MALAVOLTA; LIMA FILHO, 2000).

As cultivares Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e Mundo (MALAVOLTA et al., 1963) e também as cultivares de porte baixo Catuaí Vermelho IAC 46, Catuaí Vermelho IAC 81 e Catuaí Vermelho IAC 99, Ouro Verde IAC H 5010-5, Catucaí Vermelho 36/6, Catucaí Amarelo 2 SL, Catuaí Amarelo IAC 47, Catuaí Amarelo IAC 100, Obatã IAC 1669-20, Tupi IAC 4096, Tupi IAC 4095 e Linhagem IAC 4361, excetuando-se o cálcio (VALARINI, 2005) não diferem entre si na composição mineral do grão e da polpa.

A remoção dos macronutrientes pelos frutos é da ordem de 46,6 kg de potássio, 41,2 kg de nitrogênio, 6,4 kg de cálcio, 3,0 kg de enxofre, 3,0 kg de magnésio e 2,4 kg de fósforo para produção de uma tonelada de café em coco na média de 14 cultivares (VALARINI, 2005), de 3,168 kg de potássio, 2,094 kg de nitrogênio, 0,408 kg de cálcio, 0,168 kg de magnésio, 0,162 kg de enxofre e 0,144 kg de fósforo no total de 60 kg de frutos ou 0,918 de potássio, 1,026 kg do nitrogênio, 0,162 kg de cálcio, 0,090 kg de magnésio, 0,072 kg de enxofre e 0,060 kg de fósforo em 60 kg de café beneficiado (MALAVOLTA et al., 1993).

A média da alocação relativa de nutrientes nos frutos das cultivares Icatu Amarelo IAC 3282, Rubi MG1192, Catuaí Vermelho IAC-99 e Acaí IAC 474-19 em nível normal de adubação, foi 38,15% de N, 46,34% de P, 42,68% de K, 13,19% de Ca, 25,04% de Mg, 40,63% de Cu, 19,49% de Zn e 17,73% de B (AMARAL, 2002). A distribuição percentual dos elementos na parte vegetativa e nos frutos varia com a idade da planta, encontrando-se nos frutos da cultivar Catuaí com quatro anos de idade 27% de N, 27% de P, 23% de S, 35% de K, 12% de Ca, 15% de Mg, 37% de Cu, 18% de Zn e 24% de B do total da planta (MALAVOLTA, 1986). Os frutos da cultivar Catuaí com 6,5 anos de idade mostraram a seguinte alocação de nutrientes: 25% do N, 32% do P, 25% do S, 39% do K, menos de 10% do Ca, 14% do Mg, menos de 10% de Cu, menos de 10% do Zn e 21% do B (MALAVOLTA, 1993).

A extração dos minerais, por cultivares de cafeeiros pode ser diferencial quando se comparam localidades diferentes (MALAVOLTA et al., 1963) e a capacidade diferencial de absorção, transporte e utilização dos nutrientes aplicados ao solo pelas plantas tem sido objeto de seleção de cultivares, considerando-se que a baixa produtividade das plantas cultivadas decorra em grande parte do excesso ou da deficiência dos elementos minerais em muitos solos do mundo (AMARAL, 2002).

A exportação de macronutrientes pelo cafeeiro é considerável, ou seja, grande parte dos elementos contidos nos frutos deixa a propriedade (AMARAL, 2002), obedecendo a seguinte ordem: $K > N > Ca > Mg = S > P$ (MALAVOLTA et al., 1963, CHAVES, 1982, VALARINI, 2005). A exportação pode ser ainda maior quando a palha, rica em nutrientes, não é devolvida

ao cafezal, pois além de conter quantidades significativas de nutrientes, principalmente potássio, pode trazer benefícios por ser fonte de matéria orgânica (AMARAL, 2002).

Depreende-se que maiores produtividades conseguidas pelo uso de cultivares mais produtivas e adaptadas e com o emprego de densidades de plantio adequadas, implicam em maior exportação de nutrientes do solo por meio dos frutos colhidos e comercializados. Tal fato induz recomendar maiores níveis de adubação com o aumento da densidade de plantio. Entretanto, nos plantios adensados há mais completa exploração do solo, utilização mais eficiente da água e sais minerais pelos cafeeiros (RENA et al., 1996) e o aumento das exigências minerais não é proporcional ao aumento da população (KUMAR, 1978, NACIF, 1997, PAVAN; CHAVES; ANDROCIOLI FILHO, 1994, RIVERA, 1991), devendo-se recomendar a adubação por área e não por cova como nos plantios tradicionais (RENA et al., 1998).

2.5. Atributos químicos do solo

2.5.1. Matéria orgânica

As principais fontes de matéria orgânica em uma lavoura cafeeira são: resíduos vegetais de ervas daninhas, folhas e ramos do cafeeiro caídos naturalmente ou desprendidos durante a colheita, compostos orgânicos liberados pelas raízes, tais como exudatos, mucilagens e células mortas, respiração radicular e microbial e decomposição de raízes e microorganismos mortos (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997). O aumento da densidade de plantio no cafezal aumenta o teor de matéria orgânica no solo e, assumindo que a contribuição das plantas daninhas é diminuta em lavoura adensada, o acúmulo de matéria orgânica pode ser devido à maior quantidade de resíduos vegetais por unidade de área, redução de perdas por erosão e condições inadequadas para a oxidação da matéria orgânica. (PAVAN et al., 1996, PAVAN et al., 1997).

O carbono orgânico aumentou sob alta população de plantas, de 13,0 g kg⁻¹ para 14,5 g kg⁻¹, após 15 anos, provavelmente devido ao acúmulo de resíduos na superfície do solo, enquanto sob baixa população de plantas diminuiu de 13,0 g kg⁻¹ para 11,5 g kg⁻¹, sugerindo perdas por erosão e mineralização (PAVAN et al., 1999).

Convém lembrar que o conteúdo de matéria orgânica diminui à medida que há aumento da temperatura e da precipitação média pluvial (LOPES, 1989) e que a decomposição de toda

a matéria orgânica, quer seja de origem animal ou vegetal, libera íons hidrogênio que acidificam o meio ambiente (KÜPPER, 1981).

2.5.2. Acidez do solo

No ecossistema as principais fontes de ácido são os ciclos do carbono e do nitrogênio. As plantas ao absorverem o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio da solução do solo, liberam H^+ por meio das raízes promovendo a acidez. O retorno da biomassa vegetal ao solo devido à morte ou queda das folhas e outros órgãos, devolve ao solo parte dos cátions absorvidos, com a conseqüente neutralização da acidez, entretanto, se o material vegetal é removido, o que se dá por meio das colheitas, o solo se torna cada vez mais ácido (FENTON; HELYAR, 2002, LOPES, 1989).

A decomposição da matéria orgânica produz amônia (NH_4^+) que ao ser convertida ao nitrato pelo processo da nitrificação, libera H^+ , aumentando a acidez (FENTON; HELYAR, 2002, LOPES, 1989). As plantas ao absorverem o nitrato formado excretam equivalente quantidade de ânions para a solução do solo e, se toda a amônia ou nitrato produzidos forem absorvidos, o balanço ácido:base da solução do solo continuará indefinidamente, mas se algum nitrato é lixiviado além da zona radicular, antes que as plantas o absorvam, então o solo se tornará mais ácido (FENTON; HELYAR, 2002).

A diminuição do pH com a diminuição da população foi relacionada ao ciclo do nitrogênio da possível forma: a) alta população de plantas diminui a lixiviação de NO_3^- , decorrendo maior absorção de NO_3^- pelas raízes do cafeeiro e aumentando a quantidade de OH^- liberada na rizosfera, a qual pode ser usada para neutralizar o íons H^+ produzidos pela oxidação de NH_4^+ para NO_3^- , b) baixa população de plantas aumenta a quantidade de NO_3^- lixiviada e, conseqüentemente, diminui a quantidade de NO_3^- absorvida pelas raízes do cafeeiro e, nesse caso, o excesso de H^+ poderá permanecer no solo perpetuando a acidez (PAVAN et al., 1999).

A produção de café relacionada ao pH no Estado do Paraná mostrou que 75% das plantações altamente produtivas estão localizadas em solos cujo pH vai de 6,0 a 7,1, aqueles com lavouras de produção considerada média têm pH entre 5,1, e 6,0 e nas terras com pH 4,6 a 5,1 situam-se os cafezais com baixa produção (MALAVOLTA, 1986). O comprometimento do crescimento, desenvolvimento e produção dos cafeeiros da região sul de Minas Gerais relacionou-se aos baixos valores de pH e ao desequilíbrio entre o potássio, cálcio e magnésio observados na maioria das lavouras (CORREA et al., 2001). Entretanto, dentro de

determinada faixa, a concentração de íons hidrogênio em si não afeta adversamente o crescimento das plantas, tanto é que as plantas crescem bem em solução nutritiva com pH ao redor de 4,2 (KÜPPER, 1981). No cafeeiro novo a concentração hidrogeniônica foi estreita e negativamente relacionada com a acumulação dos macronutrientes e ambos com o crescimento ou a produção de matéria seca, que diminuem com o aumento do pH (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997).

É importante salientar que o uso exclusivo de adubos minerais, sem promover calagens adequadas e adubação orgânica, principalmente em culturas perenes, pode levar os solos a perderem rapidamente a sua fertilidade, em decorrência da acidificação, mobilização de elementos tóxicos (Al, Fe e Mn), imobilização de nutrientes e mineralização da matéria orgânica do solo (THEODORO, 2001).

Na cultura do café a acidez do solo é mais acentuada na projeção da copa dos cafeeiros, onde ocorre a maior acidificação devido às adubações nitrogenadas (GUIMARÃES; LOPES, 1986, RAIJ et al., 1996, THEODORO et al., 2003), e menos acentuada no meio, entre as linhas dos cafeeiros, onde também há acúmulo de bases pela arruação (GUIMARÃES; LOPES, 1986, RAIJ et al., 1996).

Estudos com cafeeiros mostraram que a acidificação do solo ocorre com o uso das principais fontes de nitrogênio, sendo mais acentuada para o sulfato de amônio e para a uréia (MORAES et al., 1976, MORAES et al., 1979, THEODORO et al., 2003) ao serem nitrificados no solo (THEODORO et al., 2003), do que para o nitrocálcio e o salitre-do-chile, resultando em forte redução dos teores de cálcio, magnésio e elevação do alumínio e manganês no solo e alumínio e manganês nas folhas dos cafeeiros (MORAES et al., 1976, MORAES et al., 1979).

A comparação do pH do solo entre sistemas de plantio de cafeeiros mostrou haver no plantio adensado com 8000 plantas por hectare a faixa de pH de 5,6 a 6,0, mais elevada que naquele com 2000 plantas por hectare, ambos na mesma gleba de terra (SANTOS, 2000). O aumento no pH do solo com o aumento da população de cafeeiros pode estar associado a uma série de mecanismos independentes, tais como: aumento no teor de matéria orgânica, menores perdas de solo e de cátions básicos por erosão hídrica, maior adsorção de íons H^+ livres por ânions orgânicos com pK maior que o pH do solo, menor perda de NO_3^- por lixiviação, diminuindo consequentemente a acidificação por fertilizantes nitrogenados (PAVAN et al., 1997).

Embora tenha sido observado aumento do pH do solo com o aumento da população de cafeeiros de 893 para 7143 covas por hectare e pouco mais acentuadamente naquele sob a

cultivar Catuaí que sob a Mundo Novo, Acaiá ou Icatu (PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999), já foi relatado que o sistema de plantio tradicional com 2857 plantas por hectare ou adensado com 10000 plantas por hectare não influenciou o pH do solo (SILVA et al., 2004).

O aumento da densidade populacional de cafeeiros diminui o alumínio do solo, devido o aumento do pH causar a precipitação do alumínio e induzir reação de complexação do alumínio com ânions orgânicos depositados em maiores quantidades no solo de plantios adensados (PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999).

O aumento da quantidade de nitrogênio de 100 a 400 kg ha⁻¹ aplicado em Catuaí com o espaçamento entre plantas de 1,5 x 1,0 m aumentou linear e significativamente a acidez potencial (H + Al) do solo sob a copa e entre as linhas dos cafeeiros, o que não aconteceu com a aplicação de P₂O₅ até 90 kg ha⁻¹ ou de K₂O até 240 kg ha⁻¹ (GALLO et al., 1999).

A redução da acidez potencial (H+Al) foi evidente no cultivo adensado da Catuaí Vermelho, variando de 3333 a 20000 plantas por hectare (PREZOTTI; ROCHA, 2004), mas tendeu a aumentar em estudo com as mesmas populações da IAPAR 59 (BRACCINI et al., 2002), sem variação significativa nos valores de pH (BRACCINI et al., 2002, PREZOTTI; ROCHA, 2004), e aumentou com o aumento da densidade populacional das cultivares Icatu Vermelho, IAC-4045, Mundo Novo-Acaiá, Catuaí Amarelo IAC-62 (FAHL et al., 2003).

A calagem é prática recomendada para aplicação em solos ácidos, com alta saturação por alumínio, pois promove a neutralização do alumínio tóxico, eleva o teor das bases como cálcio e magnésio, com maior retenção do potássio e menor adsorção do fósforo, possibilitando a proliferação das raízes, com reflexos positivos no crescimento das plantas (PRADO; NASCIMENTO, 2003). Embora a calagem possa aumentar consideravelmente a produtividade do cafeeiro em solos de baixa fertilidade, como os de cerrado (LAZZARINI et al., 1975), não significa que a cultura seja muito exigente em relação à correção da acidez (RAIJ et al., 1996). Estudo de calagem de longa duração mostrou que embora o cafeeiro tenha respondido à calagem, a produção máxima foi obtida com apenas 26% de saturação por bases (VIANA; GARCIA, 2000) e se obteve a produtividade média de 31 sacas de café beneficiado por hectare com saturação por bases de 34% em solo com cafezal adensado (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997).

A definição da saturação por bases adequada ao cafeeiro deve ser antecipada por interpretação da composição da capacidade de troca de cátions potencial (H⁺+Al³⁺+ k⁺+ Ca²⁺+ Mg²⁺), pois se a saturação por bases for baixa devido a grande participação do H⁺ pouco ou nenhum dano resultará ao cafeeiro, e o contrário acontece se houver excesso de alumínio e certamente pouco cálcio (MALAVOLTA; MOREIRA; 1997). O alumínio não é

necessário ser eliminado totalmente da solução do solo, cuja precipitação acontece com pH ao redor de 5,6, sendo suficiente reduzir sua participação em nível menor que 30% da saturação ($Al\% = (100 Al^{3+}) (Al^{3+} + S)^{-1}$) para não causar problemas ao cafeeiro (KÜPPER, 1981). A proposta da revisão da meta de 70% de saturação por bases na projeção da copa dos cafeeiros, levando em conta as necessidades da cultura e as perdas por lixiviação (RAIJ et al., 1996), resultou na recomendação de aplicar calcário para elevar a saturação por bases da camada arável a 50% da parte do terreno que recebe a adubação (RAIJ et al., 1997).

Diferenças relacionadas à tolerância ao alumínio foram relatadas entre cultivares de cafeeiros, classificando-se algumas linhagens de Catimor (UFV 2877, UFV 3869 e UFV 3880) e a Caturra Vermelho (UFV 534) como sensível, a Mundo Novo (IAC 376-4-32), a Icatu Vermelho (IAC 4042) e a Guarini (UFV 514) como moderadamente sensível e identificando-se a Icatu Vermelho (IAC 4045) como a mais tolerante e a maioria das cultivares estudadas como moderadamente tolerante ao alumínio (BRACCINI, M.; MARTINEZ; BRACCINI, A., 2000b). A alteração do pH da rizosfera parece não ser o mecanismo de tolerância ao alumínio em cafeeiros, pois na presença de alumínio não houve diferença entre o pH do solo e o da rizosfera e genótipos de cafeeiros sensíveis e tolerantes apresentaram o mesmo comportamento (BRACCINI, M.; MARTINEZ; BRACCINI, A., 2000a).

2.5.3. Nitrogênio

O nitrogênio é o principal elemento que aumenta a produção do cafeeiro no plantio convencional (FRANCO et al., 1960, MORAES et al., 1979) e quando aplicado ao solo influencia positivamente o teor do elemento na folha (REIS et al., 2006, VALÊNCIA; ARCILA, 1977) e do fósforo, manganês e boro que se relacionam bem com a produção do café (VALÊNCIA; ARCILA, 1977).

No fim dos anos 1960 mais de 80% das lavouras mostraram deficiência de nitrogênio segundo análise química foliar de cafezais estabelecidos em diferentes solos de São Paulo (GALLO et al., 1970). Mais recentemente, no sul de Minas Gerais, menos que 10% das lavouras avaliadas mostraram baixo teor de nitrogênio, e, no mínimo, acima de 45% estava com teor elevado do elemento nas folhas dos cafeeiros (CORREA et al., 2001).

O aumento na produção dos cafeeiros constatado com o emprego de níveis de zero, 120 e 360 g de N por planta foi devido não só às quantidades aplicadas, mas principalmente à sua aplicação parcelada nos meses de outubro, janeiro e abril, ou seja, no começo, meio e fim das

águas (FRANCO et al., 1960). A conveniência do parcelamento da aplicação do adubo em três vezes e a amostragem das folhas no verão (janeiro a março) como a mais favorável para fins de diagnose da nutrição nitrogenada foi concluída por Gallo et al. (1971).

Resultados positivos, lineares e altamente significativos com doses até 300 kg ha⁻¹, revelaram superioridade significativa do nitrocálcio e do sulfato de amônio em relação à uréia na produção de café. O sulfato de amônio e a uréia mostraram no final do experimento acentuada ação acidificante sobre o solo, correlacionado com forte redução dos teores de cálcio, magnésio e elevação do teor de alumínio e manganês nas folhas do cafeeiro (MORAES et al., 1976).

Os teores de N total de 23,3; 27,5 e 29,7 g kg⁻¹ foram relacionados às produtividades de 797, 1856 e 2826 kg ha⁻¹, respectivamente, considerando-se como desejável o teor de 3% de N total ou de 500 ppm de N nítrico para a produção de 2500 kg ha⁻¹ de café beneficiado (GALLO et al., 1971). O estudo de níveis de nitrogênio de até 289 gramas por cova em Catuaí Amarelo com espaçamento de 4,0 x 1,5m não resultou em aumentos acentuados na produção, embora significativos, devido aos teores foliares do elemento bastante elevados e já conseguido com a menor dose testada de 64g por cova de N, entre 33,6 e 28,6 g kg⁻¹ conforme o ano da amostragem (RAIJ et al., 1996).

No Brasil são associados às maiores produções dos cafeeiros os valores entre 26 e 35 g kg⁻¹ de nitrogênio foliar (GALLO et al., 1971, MALAVOLTA, 1993, MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997, MATIELLO, 1997, RAIJ et al., 1997). Estudo recente em quatro regiões de Minas Gerais mostrou que as faixas críticas encontradas para o nitrogênio foliar dos cafeeiros entre 23 e 35 g kg⁻¹ estavam próximas às mencionadas na literatura (MARTINEZ et al., 2003).

Os teores de nitrogênio foliar podem variar segundo a época da amostragem (GALLO et al., 1971, REIS et al., 2006, VALARINI, 2005), a cultivar (AUGUSTO, 2000, VALARINI, 2005) e o espaçamento adotado (AUGUSTO, 2000), mas a concentração foliar de nitrogênio diferiu pouco entre cultivares de cafeeiro de alta e média produtividade (VALARINI, 2005).

Cafeeiros de porte baixo não mostram diferenças no teor foliar de N quando plantados no espaçamento de 2,5 m, mas diferenciam mais entre si quando se diminui o espaçamento entre as plantas e maior é a densidade de plantio (AUGUSTO, 2000). O coeficiente de aproveitamento do nitrogênio aumenta de 40% na população de 5000 plantas por hectare para 70% na população de 10000 plantas por hectare, entretanto a necessidade de nitrogênio não aumenta proporcionalmente com o aumento da densidade de plantio, garantindo-se maiores produções com doses iguais de nitrogênio (RIVERA, 1991).

Deve-se ter atenção que no sistema adensado, quando há excesso de sombreamento e teor elevado do elemento na folha, a adubação nitrogenada tem efeito depressivo sobre a produção de cafeeiros de porte alto e pouco efeito positivo sobre os de porte baixo que possuem teor alto de nitrogênio foliar (GALLO et al., 1999).

2.5.4. Fósforo

O fósforo em termos quantitativos é um dos macronutrientes menos exigido pelo cafeeiro (MELO et al., 2005) ou o menos exportado da lavoura por meio dos grãos colhidos (MALAVOLTA et al., 1963).

As cultivares podem requerer quantidades diferentes do elemento para o seu crescimento, desenvolvimento e produção. A Conilon produziu em média 0,847 g de matéria seca com 1,0 mg de fósforo, enquanto a Catuaí produziu 0,648 g com a mesma quantidade do elemento (REIS JUNIOR; MARTINEZ, 2002). A Catuaí Amarelo IAC 62 e a Tupi IAC 4096, com produtividade de 5306 e 1709 kg ha⁻¹ de café beneficiado necessitaram respectivamente 0,04 e 0,12 g kg⁻¹ de fósforo foliar para produzir 1,0 kg de café beneficiado (VALARINI et al., 2005).

A análise do solo é eficaz para diagnosticar a resposta do cafeeiro ao fósforo (GALLO et al., 1999). Classifica-se o teor do fósforo do solo para plantas perenes em muito baixo, de 0 a 5 mg dm⁻³, baixo, de 6 a 12 mg dm⁻³, médio, de 13 a 30 mg dm⁻³, alto, de 31 a 60 mg dm⁻³ e muito alto quando maior que 60 mg dm⁻³ de solo (RAIJ et al., 1997). O solo considerado adequado para o cafeeiro deve conter entre 15 a 20 mg dm⁻³ de fósforo (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997).

Embora a resposta ao fósforo não seja esperada em plantas lenhosas adultas a adubação fosfatada em solo com 13 mg dm⁻³ do elemento aumentou 16% a produção da Catuaí, plantada 1,5 x 1,0 m. Contudo, a aplicação 0 a 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ na forma de superfosfato triplo em solo rico em fósforo (22 mg dm⁻³) diminuiu a produção de cafezal muito fechado da Acaiá plantada na densidade de 5000 plantas por hectare (GALLO et al., 1999).

A população de plantas pode fazer variar o teor do fósforo no solo. O aumento da disponibilidade de fósforo no solo com o aumento da densidade de plantio ocorre devido o aumento do pH (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997) e da concentração de ânions orgânicos (PAVAN et al., 1997), o que por sua vez diminui a formação de compostos de baixa solubilidade do fósforo com o ferro e o alumínio (PAVAN; CHAVES, 1996, MALAVOLTA; MOREIRA, 1997; PAVAN et al., 1997). Outros fatores que auxiliam

explicar o maior teor do elemento nas maiores densidades de plantio dos cafeeiros são o aumento da matéria orgânica, do grau de micorrização das plantas (PAVAN; CHAVES, 1996), da umidade do solo, devido ao maior sombreamento (PREZOTTI; ROCHA, 2004) e maior acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo (PAVAN et al., 1997, PREZOTTI; ROCHA, 2004), com as conseqüentes maiores difusão do elemento no solo e absorção pelas plantas (PREZOTTI; ROCHA, 2004). A elevação do teor do fósforo no solo já ocorreu mesmo sob plantas que não receberam o elemento, provavelmente devido ao maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, o que favorece o aumento quantitativo e a solubilização do elemento por enzimas e ácidos orgânicos (PREZOTTI; ROCHA, 2004). A decomposição das folhas e de outros restos vegetais produz ácidos orgânicos que complexam o alumínio e o cálcio, favorecendo a dissociação dos fosfatos parcialmente solúveis (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997).

O cafezal cultivado tradicionalmente com 2000 plantas hectare e o cafezal adensado com 8000 plantas por hectare, ambos na mesma gleba de terra há oito anos, mostraram teor de fósforo entre 0,12 a 0,18 meq PO_4^- e 0,12 a 0,22 meq PO_4^- , respectivamente (SANTOS, 2000).

Os teores do fósforo das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo não diferiram entre cafeeiros plantados no sistema de plantio tradicional, com 2857 plantas por hectare, e sistema adensado, com 10000 plantas por hectare (SILVA et al., 2004).

O aumento do teor de fósforo com a redução do espaçamento entre plantas foi observado nas camadas 0-20 e 20-40 cm do solo na média de quatro cultivares, encontrando-se o maior teor do elemento na camada mais superficial (FAHL et al., 2003).

Maior teor de fósforo no solo foi verificado nos menores espaçamentos entre rua e na fileira entre cafeeiros, considerando que adubações entre 1200 e 4800 kg ha^{-1} feitas com a formulação 20.5.20 não influenciaram características vegetativas ou reprodutivas do cafeeiro (NACIF, 1997).

O aumento na população de cafeeiros elevou o teor disponível no solo, após o primeiro e segundo ano da implantação do experimento, quando o teor de fósforo aumentou de 35,7 mg kg^{-1} (3333 plantas por hectare) para 73,7 mg kg^{-1} (20000 plantas por hectare) na profundidade 0-20 cm do solo (BRACCINI et al. , 2002).

A análise foliar do fósforo não se mostrou eficaz para avaliação da disponibilidade do nutriente no solo, pois apesar da alta resposta observada da Catuaí ao fósforo, os cafeeiros não adubados com o elemento apresentaram teores foliares considerados altos (1,51 a 2,14 g kg^{-1} de fósforo) para o cafeeiro (GALLO et al., 1999).

O teor foliar de fósforo diminui mais acentuadamente entre fevereiro a maio, coincidindo com a fase de amadurecimento dos frutos, o dreno principal do elemento (VALARINI et al., 2005).

Diferenças significativas na concentração foliar de fósforo foram encontradas entre cultivares, embora a diferença seja muito pequena entre cultivares de alta e média produtividade (VALARINI, 2005). No espaçamento adensado o teor do fósforo do solo sob a Catuaí foi maior que naqueles sob a Mundo Novo, a Acaia e a Icatu (PAVAN et al., 1997), mas não diferiu entre Catuaí Amarelo IAC 62, Obatã IAC 1669-20, Icatu vermelho IAC 4045, e Acaia quando submetidas a espaçamentos duplamente progressivos (FAHL et al., 2003). O fósforo foliar aumentou linearmente na Catuaí Vermelho IAC 44 e IAC 99 e Rubi MG 1192 com o adensamento e de modo quadrático na Katipó, não havendo efeito de espaçamentos no teor de fósforo foliar da Catimor 3880 e da Oeiras MG 6851 (AUGUSTO, 2000). O teor foliar de fósforo foi semelhante nas cultivares Catuaí Amarelo e Mundo Novo, não se constatando efeito da diluição em virtude da maior quantidade de matéria seca das folhas e ramos da cultivar Catuaí Amarelo (MALAVOLTA et al., 2002).

Os cafeeiros submetidos ao espaçamento adensado apresentaram maior teor foliar de fósforo quando comparados àqueles cultivados em espaçamentos mais abertos (AUGUSTO, 2000, BRACCINI et al., 2002, PREZOTTI; ROCHA, 2004).

A relação entre o fósforo e os demais nutrientes é característica de extrema importância devido aos efeitos antagônicos existentes entre os nutrientes, visando-se maximizar os efeitos da adubação fosfatada de plantio (MELO et al., 2005). Também a elevação do pH pode resultar em predominância dos íons HPO_4^{2-} e PO_4^{3-} na solução do solo, que podem formar fosfatos bicálcicos e tricálcicos insolúveis (MARTINEZ et al., 2003), influenciando a disponibilidade do elemento no solo.

A aplicação de quantidades de P_2O_5 no solo até 180 kg ha^{-1} influenciou pouco o teor foliar de fósforo de cafeeiros nas densidades populacionais de 3333, 5000, 10000 e 20000 plantas por hectare e, embora seja conhecida a baixa resposta do cafeeiro ao fósforo, observou-se aumento médio de 12% na produção (PREZOTTI; ROCHA, 2004), resultado semelhante aos 16% obtido por Gallo et al. (1999).

2.5.5. Potássio

O teor de potássio encontrado nos solos é interpretado como muito baixo quando presente entre $0,0$ e $0,07 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, baixo, entre $0,8$ e $1,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, médio,

1,6 e 3,0 mmol_c dm⁻³, alto, 3,1 e 6,0 mmol_c dm⁻³, e muito alto quando maior que 6,0 mmol_c dm⁻³ (RAIJ et al., 1997), considerando-se valores entre 2,5 a 3,5 mmol_c dm⁻³ como adequados ao cafeeiro (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997). A quantidade de potássio exportada pela colheita excede a de nitrogênio (CHAVES, 1982, MALAVOLTA et al., 1963, VALARINI, 2005) o que ajuda a explicar porque ele pode ser um fator limitante após poucos anos.

Solos com alto grau de intemperização têm reservas de potássio não-trocável que podem atender a médio e longo prazo a demanda parcial do cafeeiro por esse nutriente (SILVA et al., 2000a). A resposta do cafeeiro ao potássio é bastante controversa (PREZOTTI; ROCHA, 2004), não sendo tão evidente quanto às respostas obtidas com a adubação nitrogenada, notadamente em solos de alta fertilidade natural (GUIMARÃES; LOPEZ, 1986).

O alto teor de potássio no solo (5,5 mmol_c dm⁻³) foi apontado como a provável causa do efeito depressivo do fornecimento do nutriente sobre a produção quando fornecido de 0 até 240 kg ha⁻¹ na forma de cloreto de potássio em cafeeiro Mundo Novo cv Acaia com 11 anos de idade cultivado no espaçamento 2 x 1m na densidade de 5000 plantas por hectare e com a cultivar Catuaí no espaçamento 1,0 x 1,5 na população de 6667 plantas por hectare, o que pode ser verificado por meio do teor foliar, considerado elevado, do nutriente no tratamento sem aplicação (25,4 e 31,0 g kg⁻¹) (GALLO et al., 1999).

Cafeeiros plantados nas populações de 2857 e 5714 plantas por hectare alcançaram produção máxima com apenas 25% da dose máxima testada de 125 g planta⁻¹ de N ou K₂O, observando-se o dobro da produção no cafezal mais adensado (MIGUEL et al., 2000a), contudo, o cultivo adensado não influenciou o teor de potássio nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo (SILVA et al., 2004).

O teor de potássio na folha diminui de forma acentuada no período entre dezembro e fevereiro e com menor intensidade de fevereiro a maio (VALARINI et al., 2005), ou seja, do verão para o inverno (HIROCE, 1981), provavelmente direcionado para o enchimento do grão de café (VALARINI et al., 2005), sendo considerado como adequado quando compreendido entre 18,0 e 26,0 g kg⁻¹ (BERGMANN, 1992, JONES JUNIOR; WOLF; MILLS, 1991, MALAVOLTA et al. 1993, MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997, MATIELLO, 1997, MILLS; JONES JUNIOR, 1996, RAIJ et al., 1997, REUTER; ROBINSON, 1988).

Há certa relação entre o teor de potássio nas folhas e a produtividade (VALARINI, 2005), o que pode ser fortemente influenciado pelas doses de K₂O aplicadas (PREZOTTI; ROCHA, 2004), encontrando-se os maiores valores médios nas cultivares mais produtivas (VALARINI, 2005). A alta participação do potássio na soma dos macronutrientes catiônicos

(K + Ca + Mg), ou seja, teor alto de potássio em relação ao cálcio e ao magnésio foliares, indicou desequilíbrio nutricional e correspondeu às menores produções de café (MARQUES et al., 1999a).

Avaliação do estado nutricional dos cafeeiros e da fertilidade do solo no Sul de Minas Gerais mostrou baixos valores de pH e desequilíbrio das relações entre potássio, cálcio e magnésio na maioria das lavouras, sugerindo que esses seriam os fatores comprometedores do crescimento, do desenvolvimento e da produção dos cafeeiros na região (CORREA et al., 2001).

Os cafeeiros sob cultivo adensado apresentaram maiores teores de potássio foliar (PREZOTTI; ROCHA, 2004) e no solo (BRACCINI et al., 2002, FAHL et al., 2003, PAVAN et al., 1997) quando comparados àqueles cultivados em espaçamentos mais largos. A explicação recai na possível maior umidade do solo proporcionada pelo maior sombreamento maior acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo, possibilitando maior difusão e absorção do potássio e outros elementos pelas plantas (PREZOTTI; ROCHA, 2004) e na menor lixiviação do NO^{-3} com íons positivos acompanhantes causando o acúmulo do potássio na camada superior do solo (PAVAN et al., 1997).

O teor foliar não variou nas populações entre 3333 plantas por hectare e 20000 plantas por hectare, mas a eficiência de utilização aumentou com a população, sendo ótima com cerca de 16000 plantas por hectare (BRACCINI et al., 2002).

Cultivares de cafeeiros cultivados em mesmo ambiente mostraram diferenças no teor foliar de potássio, sendo que, para a amostragem realizada em fevereiro, quatro cultivares apresentaram valores adequados, enquanto, as demais, valores médios (VALARINI, 2005). Porém, o teor foliar de potássio foi semelhante nas cultivares Mundo Novo IAC 388-17, enxertado sobre Apoatã IAC 2258 com 40 meses de idade, e Catuaí Amarelo IAC 62, com trinta meses de idade (MALAVOLTA et al., 2002).

As cultivares Catuaí Vermelho IAC 44 e IAC 99, a Katipó e a Oeiras MG 6851 apresentaram os maiores teores foliares de potássio 34 meses após o plantio quando plantadas a 1,0 m, mas nos espaçamentos 1,5m, 2,0 m e 2,5 m entrelinhas as diferenças foram menos evidentes. Os teores de potássio ficaram próximos ao limite inferior da faixa crítica de referência, com valores bem abaixo dos obtidos na amostragem aos 21 meses (AUGUSTO, 2000).

2.5.6. Cálcio

O cálcio é o terceiro elemento mais exigido pelo cafeeiro e o terceiro mais exportado com o produto colhido (CORREA; GARCIA; COSTA, 2000, MALAVOLTA et al., 1963, MALAVOLTA et al., 2000, PRADO; NASCIMENTO, 2003, VALARINI, 2005).

O cálcio tem pouca mobilidade dentro da planta, revelada pelo aumento da concentração do cálcio na folha no período de dezembro a maio, ou seja, do verão para o inverno, quando ocorre o crescimento do fruto e diminuição no teor foliar dos demais macronutrientes (CATANI et al., 1967, GALLO et al., 1970, HIROCE, 1981)

A ocorrência de cafeeiros com sintomas de deficiência em condições de campo não é muito provável (HIROCE, 1981, MALAVOLTA, 1986) devido à quantidade do elemento exigida pelo cafeeiro para a formação de suas raízes, tronco, ramos e folhas ser considerada baixa (MALAVOLTA, 1986) ou moderada (HIROCE, 1981) e pelo fato do cálcio normalmente ser a base dominante do complexo coloidal do solo (MALAVOLTA, 1986). Os fatores apontados para a falta de cálcio são: a invasão do cerrado pelo cafeeiro que possui solos reconhecidamente pobres em cálcio, a substituição de adubos portadores de cálcio por outros que não possuem esse elemento, falta de calagem, lixiviação de cálcio e perdas por erosão (MALAVOLTA et al., 2000).

Os limites de interpretação dos teores do cálcio no solo são baixo, 0 a 3 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$, médio, 4 a 7 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ e alto, maior que 7 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (RAIJ et al., 1997). Correlação estreita entre o teor de cálcio no solo e a produtividade tem sido relatada (MARQUES et al., 1999a), estimando-se que o teor adequado do cálcio no solo para o cafeeiro deva estar cerca de 4 em 100g^{-1} (MALAVOLTA et al., 2000) ou entre 25 e 40 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997) e que o nível foliar adequado dele deva estar entre os limites de 7,5 e 25 g kg^{-1} (Tabela 1). Sintomas de falta de cálcio no sul de Minas Gerais corresponderam a 0,5% de cálcio na folha do cafeeiro (GONÇALVES; FRANCO, 2000), região em que se constatou mais de 86% das lavouras cafeeiras com teor médio à alto de cálcio no solo (CORREA et al., 2001). As faixas críticas obtidas para o cálcio foliar em cafeeiros de quatro regiões de Minas Gerais são próximas das encontradas na literatura (MARTINEZ et al., 2003).

A variação da população de cafeeiros de 893 para 7143 covas por hectare elevou o teor de cálcio no solo (PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999), e de modo mais acentuado na cultivar de porte baixo Catuaí que nas de porte alto Mundo Novo, Acaiaí e Icatu (PAVAN et al., 1997). A análise química de um solo com plantio adensado com 8000 plantas por hectare por oito anos mostrou teor de cálcio cerca de 10% maior que o solo do cafezal plantado de

modo convencional com 2000 plantas por hectare, cujos teores oscilaram entre 2,2 a 4,0 meq de cálcio/ 100 g de terra no plantio adensado e 1,2 a 3,5 meq de cálcio/100 g de terra de no plantio convencional. (SANTOS, 2000). Possível explicação para o maior teor de cálcio no solo com a redução do espaçamento pode ser devido a menor lixiviação do NO_3^- com íons positivos acompanhantes, entre os quais o cálcio, causando o acúmulo do elemento na camada superior do solo (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997).

O teor do cálcio diminuiu linearmente na camada arável do solo da projeção da copa da Catuaí plantado no espaçamento 1,0 x 1,5 m com a variação de 100 a 400 kg ha⁻¹ de N, o que não foi constatado entre as linhas do cafeeiro. A aplicação de fósforo ou potássio não causou nenhum efeito sobre o cálcio do solo (GALLO et al., 1999).

Os teores de cálcio do solo nas profundidades 0-20 cm e 20-40 cm não mudaram significativamente sob populações entre 3333 e 20000 plantas por hectare da cultivar IAPAR 59 aos 12 e 24 meses após o plantio (BRACCINI et al., 2002) ou em estudo de calagem em cafeeiro comparando-se o plantio tradicional, com 2857 plantas por hectare, e o adensado, com 10000 plantas por hectare (SILVA et al., 2004). Por outro lado, a redução no teor de cálcio do solo com a redução do espaçamento foi encontrada em estudo com espaçamento duplamente progressivo com as cultivares de porte baixo Catuaí Amarelo (IAC-62) e Obatã (IAC1669-20) e de porte alto Icatu vermelho (IAC 4045) e Acaí (FAHL et al., 2003).

O estudo das relações entre os cátions intercambiáveis do solo e das mesmas nas folhas das plantas é de suma importância já que pode constituir um bom ponto de referência na aplicação racional de fertilizantes (CABALCETA, 1992), posto que as relações entre os teores foliares de nutrientes podem se correlacionar melhor com a produção do que seus teores isoladamente (MARQUES et al., 1999a).

O antagonismo entre o potássio e o cálcio é relatado (CORELLA; LOPEZ, 1984), causando o aumento das doses de potássio efeito depressivo nos teores foliares de cálcio (VIANA; GARCIA; CORREA, 2000). Observou-se a redução do teor foliar de cálcio em plantas jovens de café sob diferentes doses de nitrogênio, devido o aumento das doses de potássio. Doses elevadas potássio e de nitrogênio levaram a concentração de cálcio no limite inferior da faixa considerada adequada (1,0 dag kg⁻¹) (MALAVOLTA, 1993).

O quociente entre os teores foliares de cálcio e magnésio guarda uma boa correlação com a produtividade, cujo valor em torno de 3,3 a 3,4 está associado com a maior produção (GARCIA et al., 2000). As relações K/Ca e N/Ca sempre foram menores nas folhas da planta do tratamento mais produtivo e a relação Ca/P também apresentou correlação positiva com a produção, ou seja, quanto maior a relação maior a produção (MARQUES et al., 1999a)

embora já se tenha observado baixos coeficientes de correlação entre os teores de N, K, Ca e Mg e a produção (HIROCE et al., 1975). O cálcio apresentou uma correlação positiva de alta significância com o magnésio e o ferro, (CORELLA; LOPEZ, 1984) e quanto maior a participação do cálcio nas relações $K/Ca+Mg+K$ e $Ca/Ca+Mg+K$ maiores foram as produtividades (MARQUES et al., 1999a). Os maiores teores foliares de cálcio são encontrados nos cafezais de maior produtividade e, dentro de certos limites, eleva-se a produção do cafeeiro, aumentando-se o teor do elemento na terra (MALAVOLTA, 1986).

Relata-se que cultivares diferem significativamente quanto ao teor foliar de cálcio sob mesmas condições ecológicas, encontrando-se as maiores concentrações foliares nas cultivares mais produtivas (VALARINI, 2005). A Rubi MG 1192 mostrou teor foliar abaixo da faixa crítica de referência, o que não aconteceu com a Catuaí vermelho IAC 44 e IAC 99, Katipó, Oeiras MG 6851 e Catimor UFV 3880, indicando a menor eficiência de absorção, translocação ou utilização do nutriente, porém foi a mais produtiva no espaçamento com 1,0m entre as fileiras de cafeeiros (AUGUSTO, 2000). O aumento da densidade populacional não influenciou o teor foliar de cálcio (AUGUSTO, 2000) embora se tenha verificado maior teor do elemento na folha em cafeeiros sob sistema adensado quando o calcário foi incorporado à profundidade de 0-20 cm (SILVA et al., 2004).

2.5.7. Magnésio

O magnésio é o quarto elemento mais necessário ao cafeeiro (CORREA; GARCIA; COSTA, 2000, MALAVOLTA et al., 1963, PRADO; NASCIMENTO, 2003, VALARINI, 2005). No cafeeiro como um todo há quatro vezes mais cálcio que magnésio. No fruto a relação Ca/Mg é usualmente igual a 1,0. Durante o ano, o nível de magnésio nas folhas não segue a mesma tendência obedecida pelo cálcio. O magnésio, devido a facilidade com que se move na planta, sai das folhas mais velhas para as mais novas e para o fruto em desenvolvimento quando a reserva e o fornecimento são deficitários (MALAVOLTA, 1986).

Cultivares de cafeeiros sob mesmas condições ecológicas tem teores de magnésio significativamente diferentes na sua constituição, encontrando-se nas mais produtivas os maiores teores do elemento (VALARINI, 2005). A Katipó, a Oeiras, a MG6851 e a Catimor UFV 380 apresentaram maior teor de magnésio foliar que a Rubi MG 1192 e a Catuaí Vermelho (AUGUSTO, 2000) e a Catuaí maior que a Mundo Novo (ALVARENGA; DUARTE; GOMIDE, 2000). Maior teor de magnésio observou-se no ramo (lenho) da Catuaí Amarelo comparativamente ao da Mundo Novo, mas não nas folhas e nas flores das

cultivares, órgão cujo teor do elemento correspondeu a 52% da extração total (folhas, flores e ramos (lenho) (MALAVOLTA et al., 2002).

O teor de magnésio nos solos comumente é bastante inferior ao do cálcio, encontrando-se freqüentemente sintomas da sua deficiência quando os cafeeiros estão em solos pobres e com pH ácido (HIROCE, 1981). Os limites de interpretação dos teores do magnésio trocável no solo são: baixo, 0 a 4 mmol_c dm⁻³, médio, 5 a 8 mmol_c dm⁻³ e alto, maior que 8 mmol_c dm⁻³ (RAIJ et al., 1997), considerando-se adequado para o cafeeiro o teor entre 8 e 18 mmol_c dm⁻³ de magnésio no solo (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997).

São apontadas duas causas principais para a carência de magnésio no cafeeiro, como em outros plantios estudados até agora: a) falta do elemento no solo, situação encontrada quando o pH é baixo b) antagonismo pelo potássio, pois quando a absorção do potássio aumenta a do magnésio diminui e vice-versa. Menciona-se que aplicações pesadas de sais potássicos podem causar a deficiência induzida de magnésio no cafeeiro (MALAVOLTA, 1986).

Por outro lado, entre o magnésio e o fósforo existe associação sinérgica, correspondendo ao aumento no teor de fósforo a acentuado acréscimo da concentração de magnésio nas folhas, caules e raízes de mudas de cafeeiro, o que confirma a teoria de que o magnésio funciona como transportador de fósforo dentro da planta (MENARD; MALAVOLTA, 1962). A fonte de fósforo influencia a concentração foliar de magnésio, pois cafeeiros tratados com termofosfato magnésiano mostraram maiores teores de magnésio foliar em relação aos que receberam fosfato de Araxá, fosfato de Arad e superfosfato triplo (MELO et al., 2005). A relação Mg/P correlacionou-se positivamente com a produção e foi maior nas folhas dos cafeeiros do tratamento mais produtivo (MARQUES et al., 1999a).

As relações N/Mg e K/Mg sempre foram menores nas folhas das plantas do tratamento mais produtivo, entretanto os coeficientes de correlação dessas relações foram inconsistentes mostrando-se positivos em alguns anos e negativos em outros (MARQUES et al., 1999a).

Na Catuaí Vermelho MG-99 o teor foliar de magnésio não diferiu entre os cafeeiros dos sistemas de plantio tradicional e adensado (SILVA et al., 2004) ou entre os espaçamentos de 1,0 até 2,5 m nas cultivares Catuaí Vermelho IAC 44, e IAC 99, Rubi MG 1192 e Catimor UFV 3880 (AUGUSTO, 2000). Nas cultivares Oeiras e Katipó observou-se aumento linear do teor foliar de magnésio com o aumento do espaçamento, fato contrário ao que aconteceu com os teores de potássio, indicando antagonismo entre os dois nutrientes (AUGUSTO, 2000).

O teor de magnésio no solo aumentou com a densidade populacional de cafeeiros de 893 para 7143 covas por hectare e de modo mais acentuado na cultivar de porte baixo Catuaí que nas de porte alto Mundo Novo, Acaiaí e Icatu, (PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999).

Entretanto, o teor de magnésio não diferiu às profundidades 0-20 cm e 20-40 cm do solo entre os sistemas de plantio tradicional, com 2857 plantas por hectare, e o adensado, com 10000 plantas por hectare com a cultivar Catuaí Vermelho (SILVA et al., 2004) ou diferentes populações estabelecidas em espaçamento duplamente progressivo com as cultivares Catuaí Amarelo (IAC-62) e Obatã (IAC 1669-20), de porte baixo, e Icatu Vermelho (IAC 4045) e Acaiá (FAHL et al., 2003). O teor de magnésio de um solo sob plantio adensado com 8000 cafeeiros por hectare variou entre 0,4 a 0,32 Me/100 g de terra, enquanto no plantio convencional, com 2000 plantas por hectare, esteve entre 0,8 e 0,14 Me 100g⁻¹ de terra, ambos plantados na mesma gleba há oito anos (SANTOS, 2000).

2.5.8. Enxofre

As necessidades do cafeeiro em enxofre são quantitativamente um pouco maiores que as de fósforo (HIROCE, 1981, MALAVOLTA, 1993), exportando, na média de seis colheitas e de duas cultivares, em torno de 0,220 g de enxofre por saca de café beneficiada (CORREA; GARCIA; COSTA, 2000). Os limites de interpretação dos teores de S-SO₄⁻² no solo são: baixo, 0 a 4 mg dm⁻³, médio, 5 a 10 mg dm⁻³ e alto, maior que 10 mg dm⁻³ (RAIJ et al., 1997).

O teor de enxofre no solo pode ser influenciado pelo sistema de plantio do cafeeiro, encontrando-se maior teor dele nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do plantio tradicional que no adensado (SILVA et al., 2004).

O teor foliar de enxofre varia com as cultivares e com as épocas de coleta de folhas para análise química (VALARINI, 2005), verificando-se o teor de 534 ppm na primavera, 549 ppm no verão e 392 ppm no outono (GALLO et al., 1970) ou o aumento da concentração foliar do elemento de dezembro para fevereiro, diminuindo em maio, evidenciando a redistribuição do enxofre mais acentuada a partir de fevereiro (VALARINI, 2005).

Considera-se adequada a concentração de enxofre na folha do cafeeiro entre 0,2 e 2,0 g kg⁻¹ (BERGMANN, 1992, JONES JUNIOR; WOLF; MILLS, 1991, MALAVOLTA et al., 1993, MALAVOLTA; VITTI; OLIVEIRA, 1997, MATIELLO, 1997, MILLS; JONES JUNIOR, 1996, RAIJ et al., 1997, REUTER; ROBINSON, 1988). No cafeeiro os sintomas agudos de deficiência foram relacionados ao teor foliar menor que 50 ppm (HIROCE, 1981), ou 60 ppm de enxofre mineral (SO₄⁻²), a deficiência leve a 93 ppm, enquanto folhas consideradas normais continham 221ppm de enxofre (MALAVOLTA, 1986). As faixas

críticas obtidas para o enxofre foliar em cafeeiros de quatro regiões de Minas Gerais foram próximas às encontradas na literatura (MARTINEZ et al., 2003).

A ocorrência da deficiência de enxofre em condições de campo ocorre com maior frequência em solos arenosos e pobres em matéria orgânica, entretanto a adição de enxofre às fórmulas de adubação, na base de 10 a 20% do nitrogênio, é suficiente para atender as necessidades do cafeeiro (HIROCE, 1981).

Estudo de cultivares sob diferentes densidades de plantio mostrou que os teores de enxofre ficaram próximos da faixa crítica de referência nos cafeeiros plantados com espaçamentos entre as linhas de 1,5 a 2,5m, constatando-se maiores valores médios na Oeiras MG 6851 e na Catuaí IAC 99 em relação à Rubi MG 1192, Katipó, Catimor e Catuaí Vermelho IAC 44 (AUGUSTO, 2000).

O gesso, o sulfato de amônio e o sulfato de potássio são fontes eficientes para fornecer o enxofre à planta (HIROCE, 1981). A aplicação de gesso promove aumento no teor foliar do enxofre, diminuindo com a sucessão das colheitas, possivelmente devido à diminuição dos teores de enxofre do solo e/ou lixiviação do $S-SO_4^{3-}$ para profundidades não exploradas pelo sistema radicular das plantas (MARQUES et al., 1999b). Observou-se aos 24 meses após o plantio que o uso do superfosfato triplo faz diminuir o teor foliar de enxofre com o aumento da dose de P_2O_5 aplicada (MELO et al., 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local, solo e clima

Instalou-se o experimento na área da sede do Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios da Alta Paulista, localizada no município de Adamantina, região da Nova Alta Paulista, latitude 21° 42' S e longitude 51° 08' W, com altitude de 453m (CAVICHIOLI, 1998), em um solo LATOSSOLO VERMELHO Eutrófico típico textura média (PRADO; TREMOCOLDI; MENK, 2003). Os resultados das análises químicas e físicas do solo na camada 0-20 cm realizadas previamente a instalação do experimento estão, respectivamente nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Resultados das análises químicas¹ da camada 0-20 cm do solo da experimentação. Adamantina, SP, 1995.

| M.O. | pH (CaCl ₂) | P | K | Ca | Mg | H+Al | S | T | V |
|--------------------|----------------------------|---------------------|------------------------------------|------|-----|------|------|------|----|
| g dm ⁻³ | | mg dm ⁻³ | mmol _c dm ⁻³ | | | | | % | |
| 14,0 | 5,1 | 3,0 | 1,9 | 13,0 | 7,0 | 18,0 | 21,9 | 39,9 | 55 |

Tabela 3 – Resultados da análise física do solo do local da experimentação (PRADO; TREMOCOLDI; MENK, 2003). Adamantina, SP, 1995.

| Atributos | Espessura (cm) | | | | | |
|-----------------------------|----------------|-------|-------|--------|---------|---------|
| | 0-25 | 25-54 | 54-80 | 80-108 | 108-150 | 150-200 |
| Argila ⁽¹⁾ | 140 | 240 | 240 | 230 | 210 | 220 |
| Silte ⁽¹⁾ | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 | 110 |
| Areia fina ⁽¹⁾ | 740 | 650 | 650 | 660 | 680 | 660 |
| Areia grossa ⁽¹⁾ | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |

⁽¹⁾ g/kg

O clima do local, segundo a classificação de Köppen, é o Cwa, tropical úmido com estação chuvosa no verão e inverno seco (PRADO; TREMOCOLDI; MENK, 2003). Os dados médios das temperaturas máximas e mínimas e da precipitação pluvial ocorridas do período experimental estão na Tabela 4 e de cada ano da experimentação no Anexo 1.

¹ Instituto Agrônomo/APTA/Secretaria da Agricultura e Abastecimento de São Paulo

Tabela 4 – Médias mensais das temperaturas máximas e mínimas e da precipitação pluvial do período experimental. Adamantina, SP, 1995-2000.

| Mês | Temperatura Máxima | Temperatura Mínima | Precipitação Pluvial |
|-----------|--------------------|--------------------|----------------------|
| | °C | | mm |
| Janeiro | 32,3 | 21,3 | 217,2 |
| Fevereiro | 31,8 | 21,3 | 176,1 |
| Março | 31,6 | 20,1 | 185,7 |
| Abril | 30,1 | 17,3 | 63,0 |
| Maio | 27,4 | 14,9 | 58,6 |
| Junho | 26,6 | 13,8 | 59,8 |
| Julho | 27,9 | 13,2 | 17,6 |
| Agosto | 30,5 | 15,5 | 37,2 |
| Setembro | 30,5 | 17,0 | 98,4 |
| Outubro | 31,6 | 18,4 | 77,6 |
| Novembro | 32,2 | 19,3 | 130,7 |
| Dezembro | 32,5 | 20,8 | 180,3 |
| Média | 30,4 | 17,7 | 108,5 |

3.2. Cultivares de cafeeiro estudadas

Estudaram-se as cultivares de cafeeiro Catuaí Amarelo (IAC 47) e Obatã (IAC 1669-20), de porte baixo, e Acaiá (IAC 474-19) e o híbrido Icatu Amarelo (IAC 2944), de porte alto (AGUIAR et al., 2004, PAULO, 2002, THOMAZIELLO et al., 2000).

3.3. Delineamento experimental

Adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso com parcelas subdivididas e três repetições, onde os fatores população e cultivar de cafeeiro constituíram respectivamente as parcelas e as subparcelas. Estabeleceram-se as cultivares em populações de 2500, 5000, 7519 e 10000 plantas por hectare, com 1,0 m entre os cafeeiros nas linhas de plantio e respectivamente 4,0, 2,0, 1,33 e 1,0 m nas entrelinhas. Estudou-se um tratamento adicional na população de 2500 plantas por hectare, distanciando-se as covas por 2,0 m nas linhas de plantio nas quais se plantou duas mudas de cafeeiros.

A área útil das subparcelas variou entre 32m², para a população de 1250 covas por hectare com duas plantas em cada uma, até 55m² para a população de 10000 plantas por hectare. O experimento teve a área total de 6265,2 m² e 2762,4 m² de área útil.

3.4. Preparo das mudas

Realizaram-se as sementeiras das cultivares de cafeeiro em germinador de areia em 31 de agosto de 1994 e a repicagem das plântulas em 25 de novembro do mesmo ano para recipientes com substrato formado a partir da mistura de 1000 L de terra peneirada, 300 l de esterco de curral, 2,5 kg de superfosfato simples e 0,5 kg de cloreto de potássio.

3.5. Preparo do solo

A vegetação que ocupava a área experimental, constituída principalmente de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf) em pousio, foi roçada e posteriormente incorporada por meio de uma aração e duas gradagens aplicadas com uma semana de intervalo, sendo a última no dia anterior ao plantio.

3.6. Plantio

As covas para o plantio foram feitas manualmente com o uso de cavadeira e com dimensões aproximadas de 0,40 m x 0,40 m e com 0,50 m de profundidade. Empregou-se no plantio a adubação por cova de 27 g de P₂O₅, 11,6 g de K₂O e 50 g de calcário com PRNT de 100%. Os adubos superfosfato simples e cloreto de potássio, juntamente com o calcário, foram misturados à terra retirada de cada cova que retornou ao local original, sendo compactada. Nos dias 30 e 31 de maio de 1995 realizou-se o plantio das mudas de café que possuíam em média seis pares de folhas.

3.7. Adubação

Aplicou-se após o plantio das mudas, no período de setembro a março, 16 g de nitrogênio por cova e as adubações minerais no período de outubro a abril de cada ano (Tabela 5).

Tabela 5 – Quantidades de nutrientes aplicadas anualmente e adubos utilizados no período experimental. Adamantina, SP, 1995-2000.

| Nutriente | Ano agrícola | Fonte | | |
|-------------------------------|--------------|-------------------|--------------------------------|----------------------|
| | | Sulfato de Amônio | 20-5-20 kg ha ⁻¹ | Superfosfato Simples |
| N | 1996/97 | - | 210 | - |
| | 1997/98 | 100 | 200 | |
| | 1998/99 | 100 | 300 | |
| | 1999/2000 | | 200 | |
| P ₂ O ₅ | 1996/97 | - | 52,5 | - |
| | 1997/98 | - | 50 | 88,8 |
| | 1998/99 | - | 75 | - |
| | 1999/2000 | | 50 | |
| K ₂ O | 1996/97 | - | 210 | - |
| | 1997/98 | - | 200 | |
| | 1998/99 | - | 300 | |
| | 1999/2000 | | 200 | |
| S | 1996/97 | - | - | - |
| | 1997/98 | 110 | - | 55,5 |
| | 1998/99 | 110 | - | - |
| | 1999/2000 | - | - | - |

3.8. Controle fitossanitário

Realizou-se o controle do bicho mineiro [*Leucoptera coffeella* (GUÉRIN-MÉNEVILLE; PERROTET, 1842)], da ferrugem (*Hemileia vastatrix* Berk et Br) e do ácaro vermelho [*Oligonychus ilicis* (McGregor) (Acari: Tetranychidae)], usando-se ingredientes ativos recomendados para a cultura e aplicados igualmente em todos os tratamentos.

3.9. Variáveis avaliadas

Estudaram-se as seguintes variáveis: produção de café beneficiado, teor de matéria orgânica, pH, acidez potencial (H + Al), soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial (CTC), saturação por bases da CTC potencial (V%), teor de macronutrientes no solo e o teor de macronutrientes nas folhas dos cafeeiros.

3.9.1. Produção de café beneficiado

As colheitas do café foram realizadas no período entre março e julho dos anos 1997, 1998 e 1999. Colheram-se os frutos no estágio de desenvolvimento desde verde amarelado até passa, com a grande maioria no estágio de cereja, determinando-se a massa após deixá-los secar ao ar até 12% de umidade. Anualmente, no momento da primeira colheita de cada subparcela, coletou-se uma amostra de 3,0 kg de frutos, submetendo-a aos mesmos procedimentos e ao beneficiamento, calculando-se o rendimento que foi utilizado como base para cálculo de café beneficiado por tratamento.

3.9.2. Teor de matéria orgânica, pH, H + Al e de macronutrientes no solo

As amostras do solo das unidades experimentais foram coletadas em 22 de fevereiro de 2000, sendo obtidas após a mistura e a homogeneização de quatro sub-amostras retiradas ao acaso com um trado da camada 0-20 cm e 20-40 cm do solo no limite da projeção da copa dos cafeeiros da área útil das subparcelas, encaminhando-se uma fração para a análise química realizada conforme Raij et al. (1987).

3.9.3. Teor de macronutrientes nas folhas

Na mesma data da coleta do solo amostraram-se oito pares de folhas em oito plantas por parcela, dois pares por planta e um par de cada um dos lados das linhas dos cafeeiros. Coletou-se o terceiro par de folhas a partir do ápice de ramos frutíferos, com pelo menos cinco pares de folhas plenamente desenvolvidas, localizados no terço médio dos cafeeiros da área útil das unidades experimentais, embalando-se o material em sacos de papel. As folhas amostradas foram submetidas à análise química de acordo com Bataglia et al. (1983).

Os resultados da concentração foliar dos nutrientes foram interpretados segundo as faixas de referência de teores adequados de macronutrientes para cafeeiros propostas por Reuter e Robinson (1988), Jones Junior, Wolf e Mills (1991), Bergmann (1992), Malavolta et al., (1993), Mills e Jones Junior (1996), Malavolta et al. (1997), Matiello (1997) e Raij et al. (1997) (Tabela1).

3.10. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos à análise de variância, aplicando-se o teste F para a verificação de diferenças significativas entre as densidades de plantio, as cultivares e os contrastes ortogonais dos tratamentos com 2500 plantas por hectare e dos grupos de cultivares de porte alto e porte baixo (Tabela 6). Nas variáveis com F significativo, aplicou-se o teste de Tukey para a comparação das médias das cultivares e realizou-se o estudo de regressão para as densidades de plantio, conforme os procedimentos descritos em Gomes (1978), utilizando-se o programa estatístico SAS (SAS INSTITUTE, 1996).

Tabela 6 – Análise de variância aplicada aos dados das variáveis estudadas no experimento.

| F.V. | G.L. | | E (Q.M.) | F |
|-------------------------------------|-------------------|-----|---|-------------------|
| População (P) | (I – 1) | (F) | $\sigma^2 + \Phi_1 + \sigma_{tb}^2 + \Phi_2 \sum_i t_i^2$ | QM(P)/QMR(A) |
| Contraste (Cp) 4x2x2 vs 4x1x1 | (N-1) | | | QM(Cp)/QMR(A) |
| Blocos | (J – 1) | (A) | | |
| Resíduo (A) | (I – 1) (J – 1) | (A) | $\Sigma^2 + \Phi_1 + \sigma_{tb}^2$ | |
| Parcelas | (IJ – 1) | | | |
| Cultivar (C) | (K – 1) | (F) | $\sigma^2 + \Phi_3 \sum_k t_k^2$ | QM(C)/QMR(B) |
| Contraste (Cc) P alto vs P baixo | (N-1) | | | QM(Cc)/(QMR(B) |
| P x C | (I – 1) (K – 1) | (F) | $\sigma^2 + \Phi_4 \sum_{i,k} (t_{i,k})^2$ | QM(P x C)/QMR (B) |
| Resíduo (B) | I (J – 1) (K – 1) | (A) | σ^2 | |
| Total | (IKJ-1) | | | |

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de café

A Obatã e a Catuaí Amarelo foram as cultivares com maior ($P<0,01$) produção trienal de café beneficiado por área. A Acaiá, com produção de café beneficiado por área semelhante à da Catuaí Amarelo, não diferiu da Icatu Amarelo, aquela com menor produção nas condições da experimentação. Na produção de café por planta a Obatã, a cultivar mais produtiva, diferiu ($P<0,01$) da Icatu Amarelo, mas não das outras cultivares. O grupo de cultivares de porte baixo produziu maior quantidade trienal de café beneficiado por área e por planta ($P<0,01$) que o de porte alto (Tabela 7).

Os resultados corroboram, de modo geral, aqueles em que a Obatã apresentou produtividade ligeiramente inferior à média de linhagens da Catuaí, mas superior à da Acaiá, Icatu e Mundo Novo (BARROS et al., 2000b) e aqueles em que a produtividade média da Catuaí foi maior que à da Acaiá (AMARAL, 2002, SANTINATO et al., 2000b, SANTO, 2000) ou semelhante à da Mundo Novo (MIGUEL et al., 2000a). Confirmam também os resultados em que a Catuaí mostrou maior capacidade produtiva que a Icatu (BARROS et al., 2000b, SANTINATO et al., 2000d, SANTO, 2000, SILVA, 2000b) e assemelhou-se à Acaiá em plantios com espaçamentos de 4 x 1m e 4 x 2m, com uma e duas plantas por cova, respectivamente (SIQUEIRA et al. 1983). Cabe ressaltar que com nível baixo de adubação, a Icatu já se mostrou mais produtiva que a Catuaí e a Acaiá e esta menos produtiva que a Catuaí (AMARAL, 2002).

A produção de café beneficiado por área acumulada no período de 1997 a 1999, média das cultivares estudadas, aumentou ($P<0,01$) linearmente ($P<0,01$) (Tabela 7) (Figura 1) com a densidade de plantio dos cafeeiros, enquanto, de modo inverso, a produção por planta diminuiu ($P<0,05$) segundo modelo quadrático ($P<0,05$) (Tabela 7) (Figura2).

O aumento da produção com o aumento da densidade de plantio foi também relatado com as cultivares Acaiá (PAVAN; CHAVES; ANDROCIOLI FILHO, 1994, PAVAN et al., 1997, PAULO, 2002, SIQUEIRA et al., 1983, TOLEDO; MIGUEL; MATIELO, 2000), Catuaí Amarelo (CAMARGO et al., 2000, CAMARGO; REIS; MATIELO, 2000, PAULO, 2002, PAVAN; CHAVES; ANDROCIOLI FILHO, 1994, SANTINATO et al., 2000a, SANTINATO et al., 2000b, SANTINATO et al., 2000c) e Icatu (PAULO, 2002, PAVAN; CHAVES; ANDROCIOLI FILHO, 1994, PAVAN et al., 1997, SANTINATO et al., 2000b, 2000d) e Obatã (PAULO, 2002).

Tabela 7 – Produção trienal de café beneficiado por área e por planta de diferentes cultivares e populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 1997-1999.

| Cultivar (c) ⁽¹⁾ | Café beneficiado | |
|-----------------------------|---------------------|------------------------|
| | kg ha ⁻¹ | g planta ⁻¹ |
| Acaiá | 6978bc | 1474ab |
| Catuaí Amarelo | 8284ab | 1649a |
| Icatu Amarelo | 6596c | 1317b |
| Obatã | 8561a | 1631a |
| F cultivar | 7,23** | 4,83** |
| Porte alto ⁽²⁾ | 6787 | 1395 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 8423 | 1640 |
| F porte | 20,81** | 12,00** |
| F p x c | 1,67ns | 1,32 ns |
| População (p) | | |
| covas ha ⁻¹ | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 3941 | 1576 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 4571 | 1828 |
| 5000 | 8996 | 1799 |
| 7519 | 10148 | 1349 |
| 10000 | 10369 | 1036 |
| F população | 38,42** | 6,06* |
| FRL | 135,03** | 13,42** |
| FRQ | 4,75ns | 9,49* |
| F 1 vs 2 | 1,24ns | 5,10* |
| CV(a) (%) | 22,85 | 30,70 |
| CV(b) (%) | 18,26 | 18,01 |

⁽¹⁾ Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

⁽²⁾ Média das cultivares Acaiá e Icatu Amarelo.

⁽³⁾ Média das cultivares Catuaí Amarelo e Obatã.

⁽⁴⁾ Duas plantas por cova.

⁽⁵⁾ Uma planta por cova.

RL – Regressão Linear.

RQ – Regressão Quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

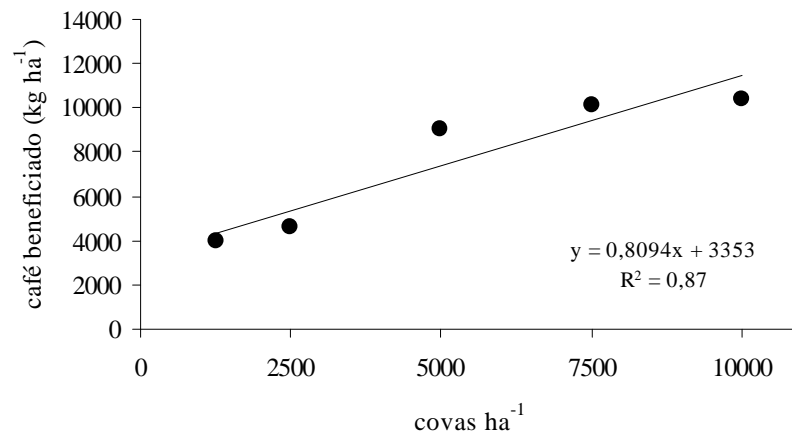


Figura 1 – Produção trienal de café beneficiado por área em diferentes densidades populacionais de cafeeiros. Adamantina, SP, 1997-1999.

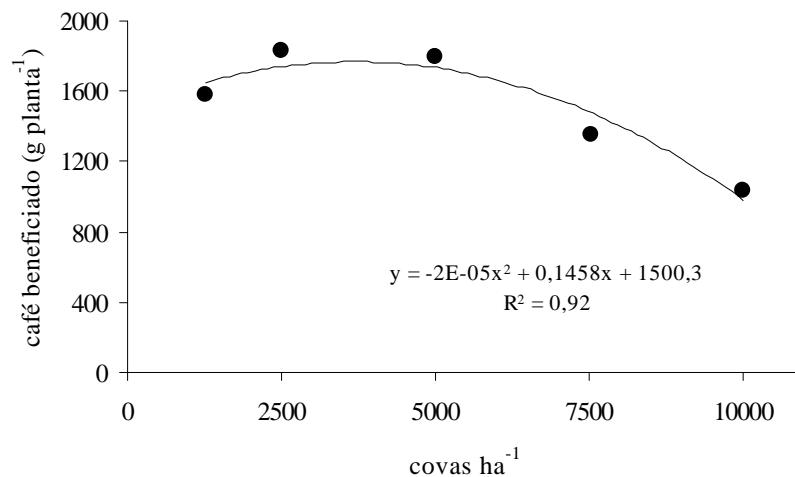


Figura 2 – Produção trienal de café beneficiado por planta em diferentes densidades populacionais de cafeeiros. Adamantina, SP, 1997-1999.

A diminuição da produção por planta com o aumento da densidade de plantio (Tabela 7) (Figura 2) é consequência da competição entre os cafeeiros pelos recursos do meio, com destaque para a radiação fotossinteticamente ativa no sentido do ápice para a base do dossel (GATHAARA; KIARA, 1984). O florescimento do cafeeiro é dependente da luminosidade e nas altas densidades tem sua produção concentrada no ápice da planta em razão da menor iluminação nas regiões mais baixas, o que influencia diretamente o número de frutos por nó (GATHAARA; KIARA, 1985; URIBE; MESTRE, 1980).

No trabalho obteve-se a produção máxima individual na população com aproximadamente 3650 plantas por hectare. Entretanto, a taxa da diminuição da produção por

planta não é proporcional à taxa do aumento populacional, explicando o aumento linear ($P < 0,01$) da produção trienal de café com o crescimento da população (Tabela 7) (Figura 1).

A produção de café variou com o aumento da densidade de plantio de modo semelhante entre as cultivares, não havendo interação ($P > 0,05$) entre os fatores cultivar e população (Tabela 7).

A população de 2500 plantas produziu maior ($P < 0,05$) quantidade de café por indivíduo quando estabelecida com um cafeeiro por cova, o que não refletiu ($P > 0,05$) na produção trienal de café por área (Tabela 7). O resultado confirma os relatos que a produção de cafeeiros é maior quando a planta está sozinha que acompanhada (URIBE; MESTRE, 1988a) e que as cultivares Catuaí Vermelho, Icatu e Acaiaí plantadas nos espaçamentos 4,0 x 1,0 m e 4,0 x 2,0 m com uma e duas plantas por cova, respectivamente não diferiram significativamente quanto à produção de café entre os dois espaçamentos no total de quatro colheitas (SIQUEIRA et al., 1983). Entretanto, na média de diferentes espaçamentos entre linhas da Catuaí Amarelo, o emprego de uma planta por cova foi mais produtivo (CAMARGO et al., 2000, CAMARGO; REIS; MATIELO, 2000, VIANA; CAMARGO; FREIRE, 2000).

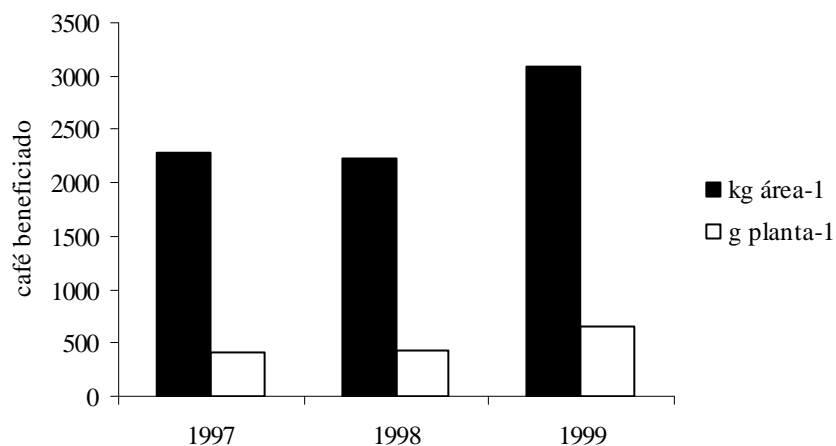


Figura 3 – Produção de café beneficiado por área e por planta em cada ano do período experimental. Médias das cultivares e das populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 1997-1999.

A produção por planta e a produtividade de café média do experimento mostrou tendência a aumentar com o tempo (Figura 3), pois a planta cresce em altura e diâmetro, produz lenho novo em um ano e os frutos se formam nesses ramos no ano seguinte e que em

condições normais não se desenvolvem no mesmo lenho dois anos seguidos, mas na periferia apenas dos ramos secundários, terciários e de outras ordens (CARVALHO, 1959).

4.2. Atributos químicos do solo

4.2.1. Matéria orgânica

O teor de matéria orgânica diferiu entre as cultivares de cafeeiro nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo ($P < 0,01$), encontrando-se na média das populações os maiores valores no solo sob a Icatu Amarelo e a Catuaí Amarelo. Nas duas camadas do solo o teor de matéria orgânica foi semelhante ($P > 0,05$) entre o grupo de cultivares de porte alto e de porte baixo (Tabela 8). O aumento da densidade populacional de cafeeiros não causou mudanças ($P > 0,05$) na matéria orgânica do solo na média das cultivares, mas foi maior ($P < 0,05$) nas camadas do solo que recebeu duas plantas comparativamente àquele que recebeu uma planta por cova (Tabela 8). A interação entre os fatores população e cultivar foi significativa ($P < 0,05$) (Tabela 8), cujo desdobramento (Tabela 9) mostrou que o teor de matéria orgânica do solo sob as cultivares diferiu somente nas populações de 1250 plantas por hectare, nas camadas 0-20 cm ($P < 0,05$) e 20-40 cm ($P < 0,01$), e de 10000 plantas por hectare, na camada 20-40cm do solo ($P < 0,01$) e variou com o aumento da população de cafeeiros conforme modelo quadrático para as cultivares Catuaí Amarelo ($P < 0,05$) e Icatu Amarelo ($P < 0,05$) na camada 0-20 cm e ($P < 0,01$) na camada 20-40 cm do solo (Figuras 4 e 5).

As principais fontes de matéria orgânica em uma lavoura cafeeira são provenientes dos resíduos vegetais de plantas daninhas, folhas e ramos dos cafeeiros caídos naturalmente ou desprendidos durante a colheita, compostos orgânicos liberados pelas raízes, tais como exudatos, mucilagens e células mortas, respiração radicular e microbial e decomposição de raízes e microorganismos mortos (PAVAN; CHAVES, 1996). As fontes de matéria orgânica mencionadas possivelmente diferenciaram entre as cultivares com maior acúmulo da matéria orgânica na Icatu Amarelo comparativamente à Obatã e à Acaiá nas duas camadas de solo (Tabela 8 e 9) e nas populações com maior densidade de raízes por volume de solo. É importante mencionar que as cultivares podem ter desprendido as folhas em quantidades diferentes devido aos seus graus de respostas a fatores bióticos e abióticos, como a ferrugem do cafeeiro (*Hemileia vastatrix* Berk. et Br), à qual a Obatã é altamente resistente, enquanto a Acaiá e a Catuaí Amarelo são sensíveis, e à seca, à qual a Icatu Amarelo é mais sensível que as demais cultivares (AGUIAR et al., 2004).

Tabela 8 – Teor de matéria orgânica (M.O.) nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar (c) ⁽¹⁾ | M.O. | |
|-----------------------------|--------------------|--------|
| | 0-20 | 20-40 |
| | g dm ⁻³ | |
| Acaiá | 9,47b | 7,47b |
| Catuaí Amarelo | 10,07ab | 8,07ab |
| Icatu Amarelo | 11,07a | 9,13a |
| Obatã | 9,07b | 7,4b |
| F cultivar | 5,64** | 5,65** |
| Porte alto ⁽²⁾ | 10,27 | 8,30 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 9,57 | 7,77 |
| F porte | 3,65ns | 2,60ns |
| F p x c | 2,11* | 2,75* |
| População (p) | | |
| Covas ha ⁻¹ | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 10,67 | 8,67 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 9,33 | 7,58 |
| 5000 | 9,58 | 7,67 |
| 7519 | 9,17 | 7,25 |
| 10000 | 10,83 | 9,00 |
| F população | 1,71ns | 3,37ns |
| FRL | - | - |
| FRQ | - | - |
| F 1 vs 2 | 5,30* | 4,30* |
| CV (a) (%) | 20,76 | 17,74 |
| CV (b) (%) | 14,30 | 15,94 |

⁽¹⁾ Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

⁽²⁾ Média das cultivares Acaiá e Icatu Amarelo.

⁽³⁾ Média das cultivares Catuaí Amarelo e Obatã.

⁽⁴⁾ Duas plantas por cova.

⁽⁵⁾ Uma planta por cova.

RL – Regressão Linear.

RQ – Regressão Quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Tabela 9 – Desdobramento da interação entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para o teor de matéria orgânica nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar | Cafeeiros (n° ha ⁻¹) | | | | | F | | |
|--|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|
| | 1250 | 2500 | 5000 | 7519 | 10000 | P d. C | RL | RQ |
| Matéria orgânica 0-20 cm (g dm ⁻³) | | | | | | | | |
| Acaiá | 9,00 | 8,67 | 8,67 | 10,67 | 10,33 | 1,38ns | - | - |
| Catuaí Amarelo | 11,67 | 10,33 | 9,67 | 7,67 | 11,00 | 3,51** | 2,39ns | 6,82* |
| Icatu Amarelo | 13,33 | 10,00 | 10,67 | 9,00 | 12,33 | 4,59** | 1,34ns | 12,89** |
| Obatã | 8,67 | 8,33 | 9,33 | 9,33 | 9,67 | 0,45ns | - | - |
| F C d. P | 7,40* | 1,44ns | 1,04ns | 2,27ns | 1,93ns | | | |
| Matéria orgânica 0-40 cm (g dm ⁻³) | | | | | | | | |
| Acaiá | 7,00 | 8,33 | 8,00 | 6,67 | 7,33 | 0,87ns | - | - |
| Catuaí Amarelo | 10,33 | 7,00 | 6,33 | 7,00 | 9,67 | 5,94** | 0,18ns | 23,24** |
| Icatu Amarelo | 10,33 | 7,67 | 9,00 | 7,33 | 11,33 | 5,35** | 0,33ns | 13,96** |
| Obatã | 7,00 | 7,33 | 7,33 | 8,00 | 7,67 | 0,26ns | - | - |
| F C d. P | 6,78** | 0,59ns | 2,31ns | 0,59ns | 6,37** | | | |

C – Cultivar

P – População

RL – Regressão linear.

RQ – Regressão quadrática.

* - Significativo a 5% de probabilidade.

** - Significativo a 1% de probabilidade.

ns - Não significativo.

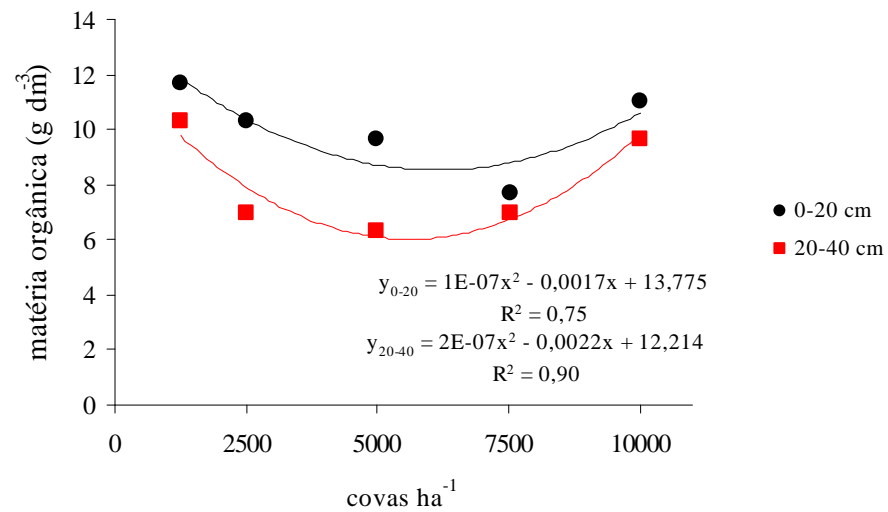


Figura 4 – Teor de matéria orgânica nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações da cultivar Catuaí Amarelo.

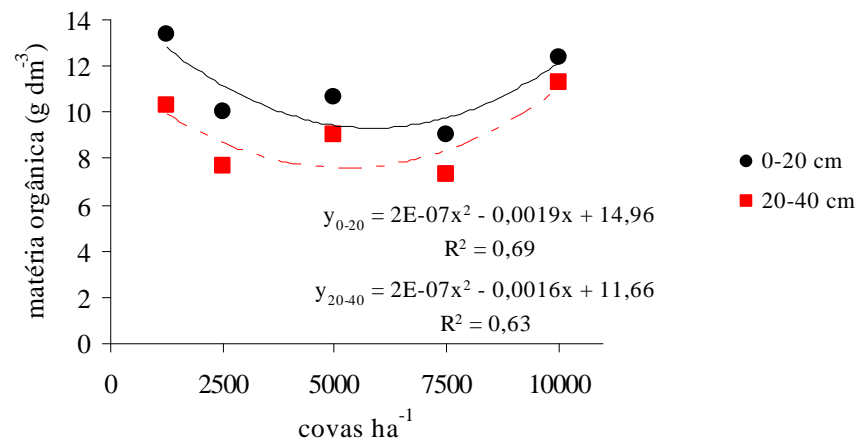


Figura 5 – Teor de matéria orgânica nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações da cultivar Icatu Amarelo.

Os relatos de que o aumento da densidade de cafeeiros aumenta o teor de matéria orgânica do solo, informados para as cultivares Catuaí, Mundo Novo, Acaiaí e Icatu (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997) e Catuaí vermelho (PAVAN et al., 1999), são concordantes com os do presente estudo para as cultivares Catuaí Amarelo (Figura 4) e Icatu Amarelo (Figura 5) (Tabelas 8 e 9) e quando se planta duas plantas por cova em relação a uma planta por cova (Tabela 8).

As prováveis ocorrências de temperaturas mais amenas sob a sombra dos dosséis (MOTTA et al., 2006), a diminuição da atividade microbiana devido a menor intensidade de luz em lavoura de café adensada (PAVAN et al., 1997), maior consumo de água pelas raízes em alta densidade sob o dossel dos cafeeiros e a elevação da relação C/N do meio em função da concorrência das raízes superficiais pelo nitrogênio (MOTTA et al., 2006) podem contribuir para o maior acúmulo da matéria orgânica com o aumento da população nas cultivares. O melhor controle da erosão e o maior acúmulo de resíduos na superfície do solo e a menor mineralização são também apontados como causas para o aumento da matéria orgânica em solos de cafeeiros sob adensamento (PAVAN et al., 1999). Entretanto, relata-se que a quantidade de matéria orgânica do solo não foi influenciada pelo espaçamento nas cultivares Acaiá, Catuai Amarelo, Icatu Vermelho e Obatã (FAHL et al., 2003) como nesse estudo com a Obatã e Acaiá (Tabela 9).

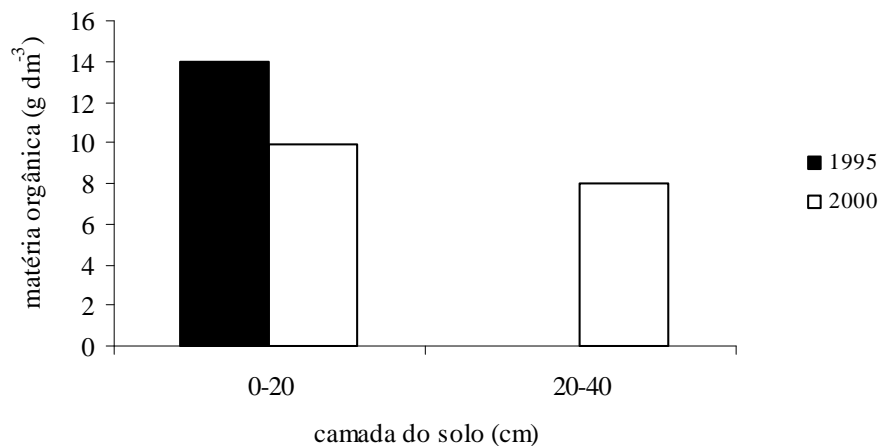


Figura 6 – Teor de matéria orgânica do solo no início e término da experimentação em duas camadas do solo. Adamantina, SP, 1995-2000.

Após cinco anos do plantio dos cafeeiros houve, na média do experimento, diminuição do teor de matéria orgânica em relação ao nível inicial (Figura 6) quando o solo se encontrava em pousio e vegetado com capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf). O resultado concorda com os de Braccini et al. (2002) que, em um solo LATOSSOLO VERMELHO DISTROFÉRICO textura arenosa, no início da experimentação tinha 12,4 g kg⁻¹ e 9,7 g kg⁻¹ de matéria orgânica e após o primeiro ano e segundo anos de cultivo apresentava 7,6 g kg⁻¹ e 6,4 g kg⁻¹ e 10,8 g kg⁻¹ e 10,4 g kg⁻¹, respectivamente para as camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo. Os maiores valores no teor de matéria orgânica encontrados na camada de 0-20 cm em relação à camada de 20-40 cm (Figura 6) foram também constatados por outros autores (BRACCINI et al., 2002, FAHL et al., 2003, PREZOTTI; ROCHA, 2004).

10.2.2. Acidez do solo

4.2.2.1. pH

O pH do solo sob as diferentes cultivares e populações de cafeeiros comparativamente ao valor do início da experimentação diminuiu com o tempo (Tabelas 2 e 10), encontrando-se maior valor médio na camada 20-40 cm do que na mais superficial (Tabela 10). O pH em ambas as camadas pode ser classificada como muito alta (RAIJ et al., 1997) com valores menores que pH 4,6, limite inferior da faixa de pH das terras do Paraná onde foram localizadas lavouras de café de baixa produção (MALAVOLTA, 1986).

O pH do solo sob as cultivares ou entre os grupos de cultivares de cafeeiro de porte alto e baixo não diferiu ($P > 0,05$) nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm (Tabela 10). Pode-se inferir dos resultados obtidos que o balanço ácido:base no solo devido a exportação das bases do solo (K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{2+}) pelas colheitas, a absorção das bases do solo, de NO_3^- e de NH_4^+ , a excreção de ânions e H^+ pelo sistema radicular e a ciclagem dos nutrientes pelos cafeeiros (FENTON; HELYAR, 2002, LOPES, 1989) resultou em pH semelhante no solo sob as cultivares (Tabela 10).

O aumento da densidade populacional não alterou ($P > 0,05$) o pH da camada 0-20 cm do solo, o que aconteceu ($P < 0,01$), linear ($P < 0,01$) e positivamente na camada 20-40 cm (Tabela 10) (Figura 7). Na camada 0-20 cm o pH na população de 2500 plantas por hectare foi maior ($P < 0,05$) no solo com uma planta por cova ao ser comparado àquele com duas plantas por cova.

A interação entre os fatores população e cultivar não foi significativa ($P > 0,05$), nas duas profundidades do solo estudadas (Tabela 10).

O pH do solo sob as diferentes cultivares e populações diminuiu com o tempo comparativamente ao valor do início da experimentação (Tabelas 2 e 10) e, embora a acidez em ambas as camadas possa ser classificada como muito alta (RAIJ et al., 1997), pode-se inferir que o aumento da população de cafeeiros concorreu para a menor acidificação na camada mais profunda do solo. A explicação para as variações do pH com as populações e com o tempo recai nas reações do ciclo do carbono e do nitrogênio e na lixiviação de cátions como os fatores que mais contribuem para as variações nas concentrações de H^+ no solo em diferentes densidades populacionais (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999).

Tabela 10 – pH nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar (c) ⁽¹⁾ | pH (CaCl ₂) | |
|-----------------------------|-------------------------|---------|
| | 0-20 | 20-40 |
| Acaiá | 3,64 | 3,71 |
| Catuai Amarelo | 3,61 | 3,65 |
| Icatu Amarelo | 3,62 | 3,73 |
| Obatã | 3,65 | 3,71 |
| F cultivar | 0,58ns | 0,67ns |
| Porte alto ⁽²⁾ | 3,63 | 3,72 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 3,63 | 3,68 |
| F porte | 0,00 ns | 1,05 ns |
| F p x c | 1,23 ns | 1,63 ns |
| População (p) | | |
| Covas ha ⁻¹ | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 3,58 | 3,54 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 3,66 | 3,59 |
| 5000 | 3,63 | 3,65 |
| 7519 | 3,67 | 3,76 |
| 10000 | 3,61 | 3,96 |
| F população | 0,91 ns | 14,30** |
| FRL | - | 52,27** |
| FRQ | - | 4,57 ns |
| F 1 vs 2 | 5,15* | 0,48 ns |
| CV (a) (%) | 3,46 | 4,09 |
| CV (b) (%) | 2,23 | 4,78 |

⁽¹⁾ Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

⁽²⁾ Média das cultivares Acaiá e Icatu Amarelo.

⁽³⁾ Média das cultivares Catuai Amarelo e Obatã.

⁽⁴⁾ Duas plantas por cova.

⁽⁵⁾ Uma planta por cova.

RL – Regressão Linear.

RQ – Regressão Quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

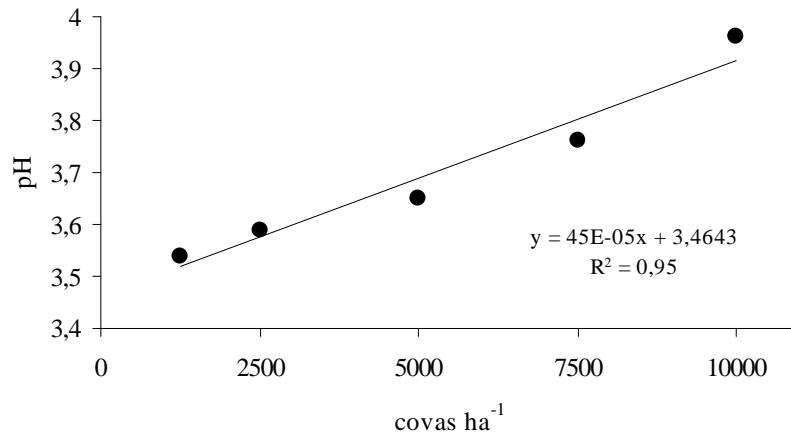


Figura 7 – pH da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

A adubação com adubos nitrogenados promove a acidificação do solo (GUIMARÃES; LOPES, 1986, MORAES et al., 1976, MORAES et al., 1979, RAIJ et al., 1981, THEODORO et al., 2001, THEODORO et al., 2003) e se constatou em cafezal adubado com 250g por cova de 20-5-20, o principal adubo utilizado neste estudo, solução do solo mais ácida sob os cafeeiros que sob outras coberturas vegetais (MIRANDA et al., 2006). Cabe salientar que os nutrientes fornecidos pelas adubações (Tabela 5) foram aplicados na mesma dose em todas as populações, resultando quantidades desigualmente distribuídas por planta, ou seja, receberam maior quantidade de nitrogênio os cafeeiros das menores densidades populacionais. No solo sob esses cafeeiros, decorrente da nitrificação, houve maior quantidade de H^+ e de nitrato (NO_3^-) produzido por volume de solo explorado por planta, causando possível maior lixiviação de cátions e explicando o menor pH observado no solo das menores populações. A ausência de variação do pH ($P > 0,05$) com a população na camada 0-20 cm do solo pode ser devido à intensa lixiviação de cátions nessa região, tornando esse atributo semelhante nos solos das populações.

A decomposição da matéria orgânica também contribui para a acidificação do meio, liberando íons hidrogênio (FENTON; HELYAR, 2002, KÜPPER, 1981, LOPES, 1989). Na lavoura adensada há menor taxa de oxidação da matéria orgânica, resultando menor produção de CO_2 e menor produção de H^+ na solução do solo, concorrendo para a menor acidificação do solo (PAVAN; CHAVES, 1996). Nesse estudo o pH do solo não se correlacionou ($P > 0,05$) com o teor da matéria orgânica à profundidade 0-20 cm ($r = -0,26$) e 20-40 cm ($r = 0,27$), levando a concluir que as alterações do pH atribuídas à matéria orgânica foram semelhantes em todas as populações e cultivares de cafeeiros.

Os resultados encontrados do pH nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo (Tabela 10) (Figura 7) concordam parcialmente com os de Pavan et al., (1999), mas não com os obtidos por Braccini et al. (2002), Silva et al. (2004) e Prezotti e Rocha (2004).

Braccini et al. (2002), variando a população de cafeeiros de 3333 a 20000 plantas por hectare, e Silva et al. (2004), comparando as populações de 2857 e 10000 plantas por hectare, não encontraram diferenças do pH entre as populações ou no tempo nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo. Silva et al. (2004) não explicitaram a fonte ou a quantidade de nitrogênio utilizada, enquanto Braccini et al. (2002) aplicaram 80 kg ha⁻¹ do nutriente na forma de sulfato de amônio. A duração dos experimentos, cerca de 30 meses, e as quantidades nutrientes utilizadas, menores que as desse estudo, são possíveis explicações para a não variação do pH com o tempo ou com as densidades de plantio nesses estudos.

Prezotti e Rocha (2004), variando a população de 3333 a 20000 plantas por hectare, estudaram níveis de nitrogênio até 700 kg ha⁻¹ usando como fonte do elemento a uréia, mas não encontraram regressão significativa para o pH ou variação do pH com o tempo na camada 0-20 cm do solo após cinco colheitas.

Pavan et al. (1999), estudando a variação da população de 893 até 7143 cafeeiros por hectare e aplicando 150 kg de nitrogênio por ano na forma de uréia, encontraram, aumento do pH como aumento da população, que foi maior que o do início da experimentação nas populações acima de 1800 plantas por hectare. O menor pH verificado nas menores populações foi relacionado por Pavan et al. (1999) às implicações do ciclo do nitrogênio.

4.2.2.2. Acidez potencial

A acidez potencial nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo não diferiu ($P > 0,05$), entre as cultivares de cafeeiro e entre o grupo de cultivares de porte alto e de porte baixo (Tabela 11). O resultado corrobora o de Fahl et al. (2003) que constataram a mesma tendência da acidez potencial no solo sob as cultivares Icatu Vermelho, Acaiá, Catuaí e Obatã.

O aumento da densidade populacional de cafeeiros não alterou ($P > 0,05$) a acidez potencial na camada 0-20 cm do solo, mas a diminuiu ($P < 0,01$) na camada 20-40 cm (Tabela 11).

A interação entre os fatores população e cultivares de cafeeiro não foi significativa ($P > 0,05$) na camada 0-20 cm, mas sim ($P < 0,05$) na camada 20-40 cm do solo (Tabela 11).

Tabela 11 – Acidez potencial (H + Al) das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar (c) ⁽¹⁾ | H + Al | |
|-----------------------------|------------------------------------|---------|
| | 0-20 | 20-40 |
| | mmol _c dm ⁻³ | |
| Acaiá | 47,73 | 48,00 |
| Catuaí Amarelo | 48,33 | 49,73 |
| Icatu Amarelo | 47,07 | 45,00 |
| Obatã | 47,73 | 45,60 |
| F cultivar | 0,30ns | 1,78ns |
| Porte alto ⁽²⁾ | 47,40 | 46,50 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 48,03 | 47,67 |
| F porte | 0,45ns | 0,51ns |
| F p x c | 0,76ns | 2,24* |
| População (p) | | |
| Covas ha ⁻¹ | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 48,75 | 50,75 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 46,17 | 56,50 |
| 5000 | 48,33 | 48,58 |
| 7519 | 47,50 | 43,92 |
| 10000 | 47,83 | 35,67 |
| F população | 0,46ns | 8,10** |
| FRL | - | 24,20** |
| FRQ | - | 5,79* |
| F 1 vs 2 | 3,01ns | 4,91* |
| CV (a) (%) | 10,53 | 20,22 |
| CV (b) (%) | 7,64 | 13,49 |

⁽¹⁾ Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

⁽²⁾ Média das cultivares Acaiá e Icatu Amarelo.

⁽³⁾ Média das cultivares Catuaí Amarelo e Obatã.

⁽⁴⁾ Duas plantas por cova.

⁽⁵⁾ Uma planta por cova.

RL – Regressão Linear.

RQ – Regressão Quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O desdobramento da interação (Tabela 12) mostrou que a acidez potencial diminuiu linearmente ($P < 0,01$) com o aumento da população no solo sob a cultivar Obatã, e segundo modelo quadrático no solo sob as cultivares ($P < 0,01$) Acaiá e Icatu Amarelo e ($P < 0,05$) Catuaí Amarelo (Tabela 12) (Figura 8).

O plantio de duas plantas por cova na população de 2500 plantas por hectare não alterou ($P > 0,05$) a acidez potencial na camada 0-20 cm, mas a diminuiu ($P < 0,05$) na camada 20-40 cm do solo comparativamente ao uso de uma planta por cova (Tabela 11).

A acidez potencial é constituída pela soma da acidez trocável, que se refere aos íons Al^{3+} e H^+ retidos nas superfícies dos colóides por forças eletrostáticas, e acidez não trocável, representada pelo hidrogênio de ligação covalente, associado aos colóides com carga negativa variável e aos compostos de alumínio. A acidez potencial é, entre os diferentes conceitos de acidez, a mais prejudicial ao crescimento das plantas (LOPES; SILVA; GUILHERME, 1990).

Tabela 12 – Desdobramento da interação entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para a acidez potencial (H + Al) da camada 20-40 cm do solo.

| Cultivar | Pop. d. Cult. | RL | RQ |
|----------------|---------------|---------|--------|
| | | F | |
| Acaiá | 5,09** | 9,81** | 8,35** |
| Catuaí Amarelo | 7,55** | 22,21** | 4,57* |
| Icatu Amarelo | 8,08** | 18,83** | 9,81** |
| Obatã | 4,20** | 6,54** | 0,90ns |

RL – Regressão linear.

RQ – Regressão quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

O principal fator que controla a concentração do alumínio na solução do solo é o pH. A solubilidade do alumínio é nula com pH entre 5,5 e 7,5, observando-se toxidez severa para as plantas em geral em pH menor que 5,0 (FAGERIA, 1998), como o pH observado no presente estudo em ambas as camadas do solo (Tabela 10). A adaptação das plantas de café a solos ácidos relacionada à capacidade específica em mudar o pH da rizosfera é pouco provável (BRACCINI, M.; MARTINEZ; BRACCINI, A., 2000a), mas existe tolerância diferencial de cultivares de cafeeiro ao alumínio (BRACCINI, M.; MARTINEZ; BRACCINI, A., 2000a, 2000b).

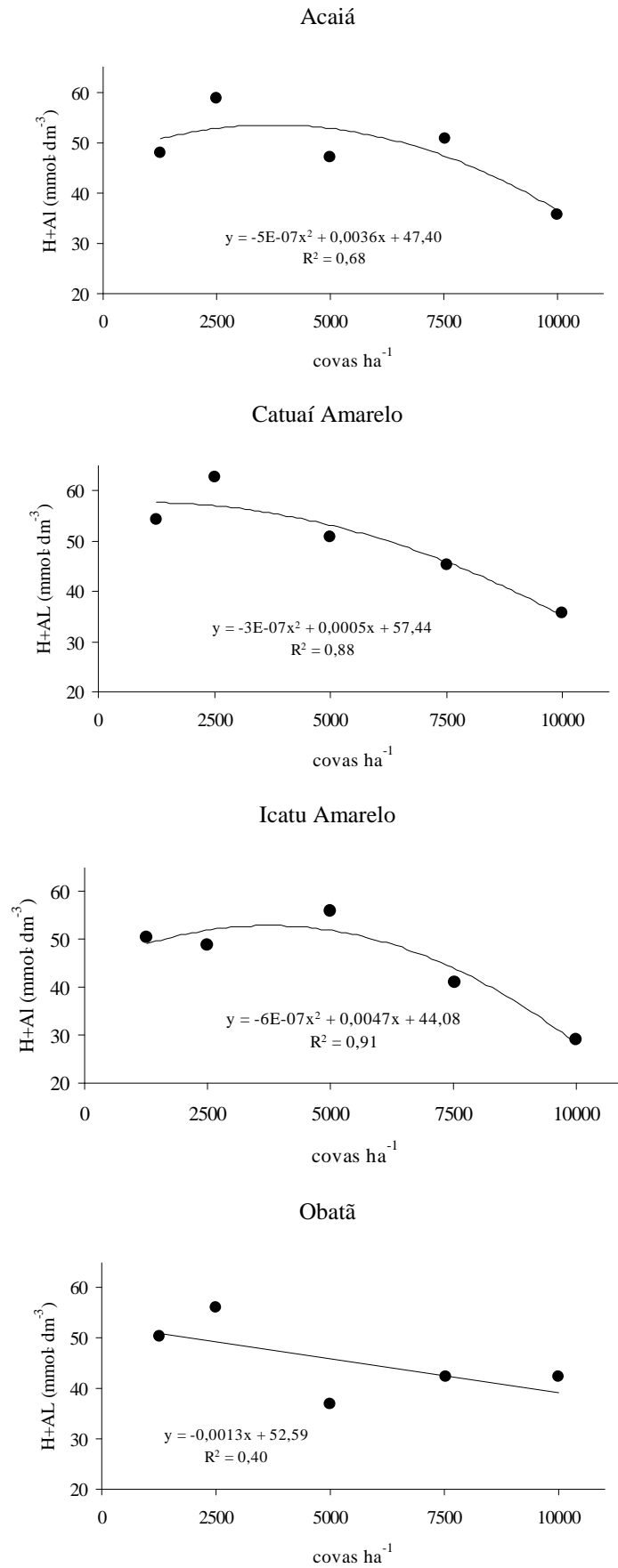


Figura 8 – Acidez potencial (H+Al) da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

A diminuição do teor do alumínio no solo em plantios adensados deve-se principalmente ao aumento do pH, ou menor produção de acidez, que reduz a solubilidade do alumínio, e a provável reação de complexação do alumínio com compostos orgânicos depositados em maiores quantidades no solo dos plantios adensados (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997), o que explica a correlação negativa ($P < 0,01$) da acidez potencial com o pH para a camada 0-20 cm ($r = -0,86$), o mesmo acontecendo ($P < 0,01$) para a camada 20-40 cm ($r = -0,65$) do solo estudado.

Os resultados (Tabela 11) (Figura 8) confirmam a conclusão de Prezotti e Rocha (2004) que solos sob cultivo adensado quando comparados a solos sob cultivos mais largos, apresentam variações nas suas características químicas, sendo mais evidente a redução do teor de H+Al. Braccini et al. (2002), que não constataram alteração ($P > 0,05$) do pH com o aumento da densidade populacional, apresentaram valores de H+Al de 2,74 e 3,21 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na camada 0-20 cm, e 2,67 e 2,81 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$, na camada 20-40 cm, respectivamente para as populações de 3333 plantas por hectare e 20000 plantas por hectare.

Os resultados encontrados não confirmam os de Fahl et al. (2003) que relataram o aumento da acidez potencial com a redução do espaçamento entre cafeeiros, ambos os resultados observados nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo.

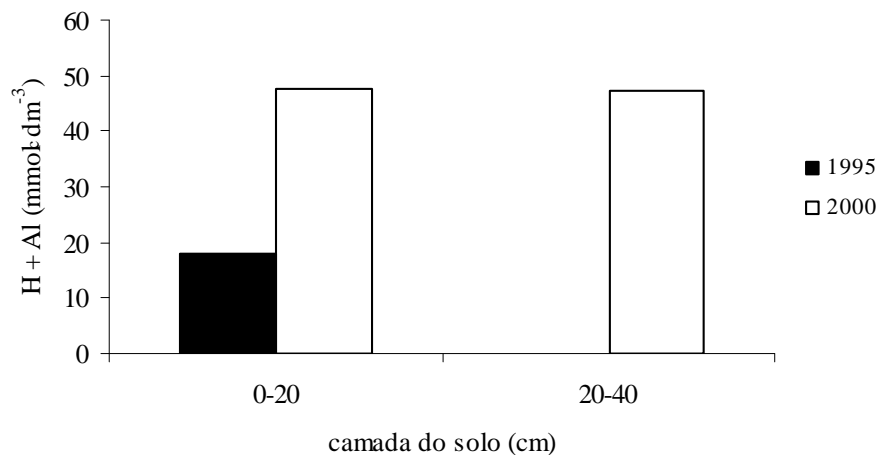


Figura 9 – Acidez potencial (H + Al) no início e término da experimentação em duas camadas do solo. Adamantina, SP, 2000.

A acidez potencial aumentou na média das parcelas experimentais no período de cinco anos (Figura 9) nas camadas de solo estudadas, o que leva a admitir maior disponibilidade do alumínio para os cafeeiros com o tempo. O excesso de alumínio trocável no solo é um fator limitante para o crescimento do sistema radicular das plantas (KÜPPER, 1981) e teores altos

de alumínio, associados à acidez, promovem raízes laterais menores, de maior diâmetro e em menor número em relação à de cafeeiros normais (PAVAN, 1992).

10.2.3. Potássio, cálcio e magnésio

Os teores de potássio e de magnésio não diferiram ($P>0,05$) na camada 0-20 cm do solo das cultivares de cafeeiro, o que foi observado ($P<0,05$) para o cálcio, cujo maior teor no solo da Icatu Amarelo diferiu somente daquele sob a Catuaí Amarelo. Na camada 20-40 cm o solo sob a Acaiá apresentou maior teor de potássio ($P<0,01$) que o da Catuaí Amarelo, Icatu Amarelo e Obatã, enquanto os teores de cálcio e do magnésio foram semelhantes ($P>0,05$) nos solos das cultivares (Tabela 13).

Os solos do grupo de cultivares de porte alto, Acaiá e Icatu Amarelo, apresentaram maior teor de potássio ($P<0,01$) na camada 20-40 cm e de cálcio ($P<0,05$) na camada 0-20 cm do que os solos das cultivares de porte baixo, Catuaí Amarelo e Obatã (Tabela 13). O teor de magnésio foi semelhante ($P>0,05$) em ambas as camadas dos solos dos grupos de cultivares (Tabela 13).

As diferenças no teor dos nutrientes encontradas nos solos das cultivares e dos grupos de cultivares podem ser atribuídas à exportação dos elementos pelas colheitas, teor dos nutrientes imobilizados nos cafeeiros, reposição dos nutrientes por meio da mineralização da matéria orgânica originada das folhas, ramos e outros órgãos que se desprenderam dos cafeeiros e movimentação dos nutrientes para camadas mais profundas do solo.

Comparando-se os grupos de cultivares de portes alto e baixo, nota-se que a variação do teor do cálcio e do potássio no solo (Tabela 13) parece estar inversamente relacionada com a produção, posto que maior produção trienal de café observou-se nas cultivares de porte baixo (Tabela 7), enquanto maior teor desses nutrientes ocorreu no solo das cultivares de porte alto (Tabela 13).

O teor de potássio no solo variou ($P<0,05$) linear e negativamente ($P<0,05$) com o aumento da população de cafeeiros na camada 0-20 cm, mas não ($P>0,05$) na camada 20-40 cm do solo (Tabela 13) (Figura 10).

Tabela 13 – Teores de potássio, cálcio e magnésio das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar (c) ⁽¹⁾ | K | | Ca | | Mg | |
|---|--------|---------|--------|----------|--------|---------|
| | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| mmol _c dm ⁻³ | | | | | | |
| Acaiaá | 2,88 | 3,05 a | 3,27ab | 3,80 | 1,00 | 1,26 |
| Catuaí Amarelo | 2,69 | 2,40 b | 3,07b | 3,60 | 1,00 | 1,13 |
| Icatu Amarelo | 2,48 | 2,49 b | 4,00a | 4,47 | 1,00 | 1,33 |
| Obatã | 2,59 | 2,44 b | 3,33ab | 3,07 | 1,00 | 1,06 |
| F cultivar | 1,26ns | 7,44** | 4,03* | 0,96ns | 1,21ns | 0,86 ns |
| Porte alto ⁽²⁾ | 2,68 | 2,77 | 3,64 | 4,14 | 1,00 | 1,30 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 2,59 | 2,42 | 3,20 | 3,34 | 1,00 | 1,10 |
| F porte | 0,07ns | 9,86** | 4,61* | 1,83ns | 3,27ns | 2,32 ns |
| F p x c | 1,23ns | 1,44 ns | 1,57ns | 1,02ns | 0,38ns | 1,12 ns |
| População (p) Covas ha ⁻¹ | | | | | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 2,88 | 2,65 | 3,33 | 3,00 | 1,00 | 1,08 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 2,89 | 2,89 | 3,50 | 2,00 | 1,00 | 1,00 |
| 5000 | 2,94 | 2,41 | 3,42 | 3,08 | 1,00 | 1,16 |
| 7519 | 2,18 | 2,39 | 3,50 | 3,75 | 1,00 | 1,08 |
| 10000 | 2,41 | 2,64 | 3,33 | 6,83 | 1,00 | 1,67 |
| F população | 4,43* | 1,03 ns | 0,06ns | 13,98** | 3,05ns | 7,95** |
| FRL | 10,23* | - | - | 36,53** | - | 17,43** |
| FRQ | 0,35ns | - | - | 17,66 ** | - | 9,38* |
| F 1 vs 2 | 0,01ns | 1,85 ns | 0,27ns | 1,14 ns | 0,23ns | 0,17ns |
| CV (a) (%) | 21,46 | 27,05 | 35,50 | 45,73 | 0,42 | 27,75 |
| CV (b) (%) | 21,93 | 16,78 | 22,88 | 61,38 | 42,93 | 42,73 |

⁽¹⁾ Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

⁽²⁾ Média das cultivares Acaiaá e Icatu Amarelo.

⁽³⁾ Média das cultivares Catuaí Amarelo e Obatã.

⁽⁴⁾ Duas plantas por cova.

⁽⁵⁾ Uma planta por cova.

RL – Regressão Linear.

RQ – Regressão Quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

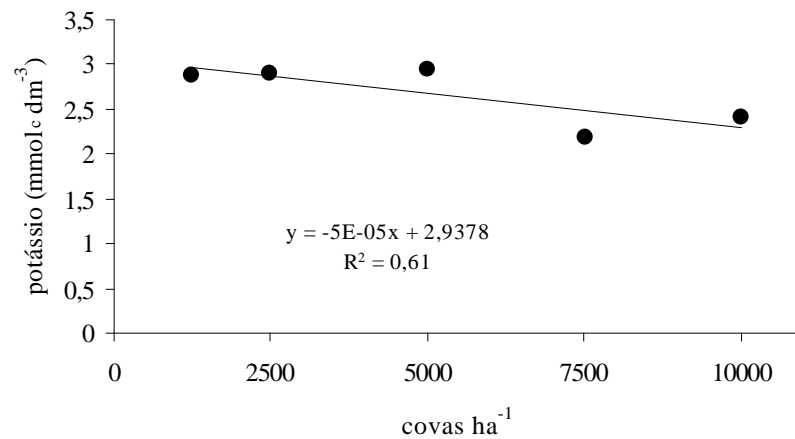


Figura 10 – Teor de potássio da camada 0-20 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

A densidade populacional de cafeeiros não fez variar ($P > 0,05$) o teor de cálcio e de magnésio do solo na camada 0-20 cm, mas na camada 20-40 cm do solo os valores do cálcio (Figura 11) e do magnésio (Figura 12) aumentaram ($P < 0,01$) segundo modelo quadrático com o aumento da população cafeeiros (Tabela 13).

O uso de duas plantas por cova na população de 2500 plantas por hectare não alterou ($P < 0,05$) os teores do potássio, do cálcio e do magnésio, bem como a interação entre os fatores população e cultivar não foi significativa ($P < 0,05$), para esses nutrientes nas camadas do solo estudadas (Tabela 13).

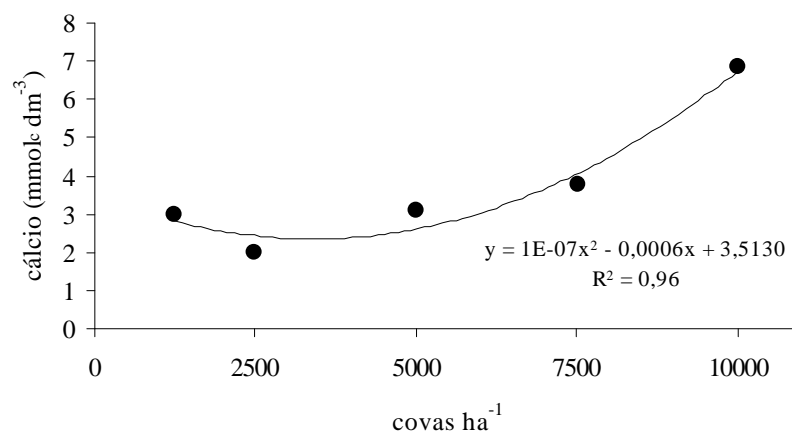


Figura 11 – Teor de cálcio da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

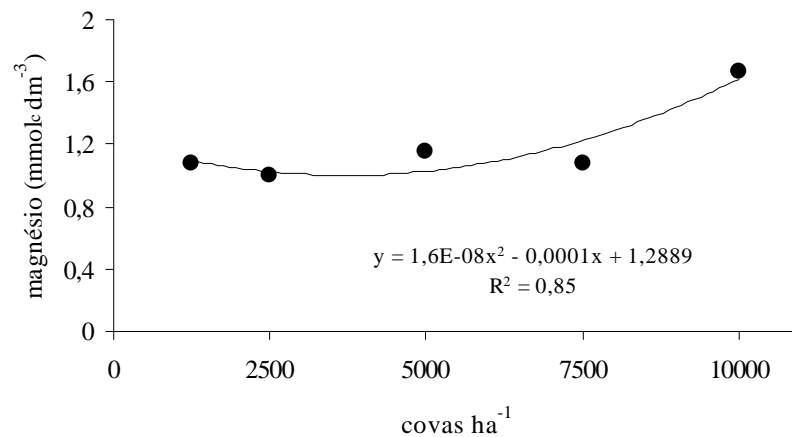


Figura 12 – Teor de magnésio da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

A elevação do teor dos nutrientes no solo relacionada ao aumento da densidade populacional tem sido relatada para o potássio (FAHL, 2003, NACIF, 1997, PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999) e para o cálcio e magnésio (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999, SANTOS, 2000).

O teor do potássio do solo de 1,9 mmol_c dm⁻³ no início da experimentação (Tabela 2), considerado teor médio (1,8-3,0 mmol_c dm⁻³) (RAIJ et al., 1997), aumentou com o tempo em todos os tratamentos e em ambas as camadas do solo (Tabela 13) (Figura 13).

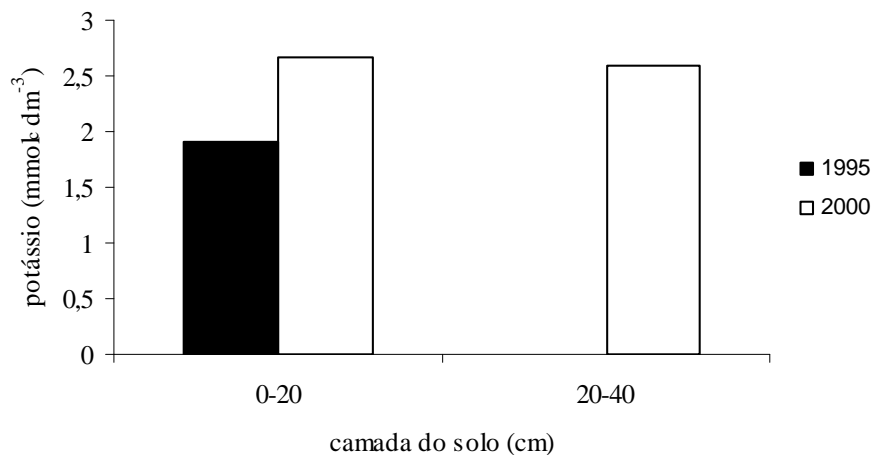


Figura 13 – Teor de potássio em duas camadas do solo no início e término da experimentação. Adamantina, SP, 2000.

O resultado (Tabela 13) mostra que o potássio colocado à disposição dos cafeeiros por meio das adubações realizadas (Tabela 5) foi suficiente para manter o teor médio inicial (RAIJ et al., 1997), diminuindo ($P < 0,05$) quantitativamente com o aumento da densidade de cafeeiros na camada 0-20 cm do solo (Tabela 13) (Figura 10). A correlação ($P < 0,05$)

($r = -0,57$) entre o teor de potássio da camada 0-20 cm e a produção trienal de café evidencia que a diminuição pode ser atribuída à exportação do elemento pelas maiores colheitas de café observada nas maiores populações (Tabela 7) além das perdas no perfil do solo por lixiviação.

Entretanto, o teor do potássio na camada 20-40 cm foi semelhante ($P < 0,05$) no solo das diferentes populações (Tabela 13), inferindo-se que as maiores colheitas não fizeram diminuir o potássio dessa região do solo, por não haver correlação ($P > 0,05$) ($r = -0,35$) entre essas variáveis. O resultado sugere mais completa exploração do solo pelas raízes dos cafeeiros sob plantios adensados que, de acordo com Rena et al. (1996), possibilita utilização mais eficiente da água e dos sais minerais disponíveis, tanto nas camadas superficiais como nas mais profundas do solo.

O teor inicial de cálcio no solo de $13 \text{ mmol}_c \text{ cm}^{-3}$ (Tabela 2), qualificado como alto ($> 7,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997), diminuiu com o decorrer da experimentação, sendo encontrado no nível baixo próximo do limiar do nível médio ($4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997) em todas as populações e cultivares de cafeeiro na profundidade 0-20 cm e 20-40 cm cinco anos após a implantação do experimento, excetuando-se os teores da população de 10000 plantas por hectare na camada 20-40 cm e o da Icatu Amarelo (Tabela 13) (Figura 14) que podem ser qualificados como médio (RAIJ et al., 1997).

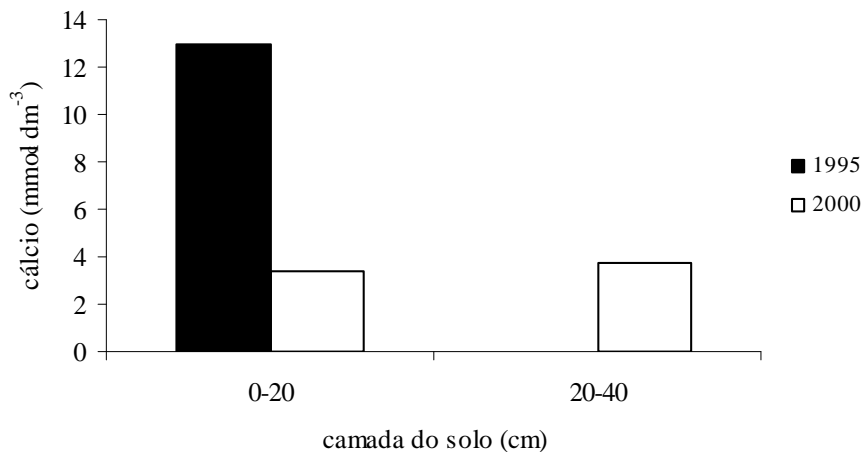


Figura 14 – Teor de cálcio em duas camadas do solo no início e término da experimentação. Adamantina, SP, 2000.

O teor de $7,0 \text{ mmol}_c \text{ cm}^{-3}$ do magnésio do solo no início da experimentação (Tabela 2) considerado médio ($5,0-8,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997), foi encontrado em todos os tratamentos no teor baixo ($0-4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$) (RAIJ et al., 1997) ao término do período experimental nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo (Tabela 13) (Figura 15).

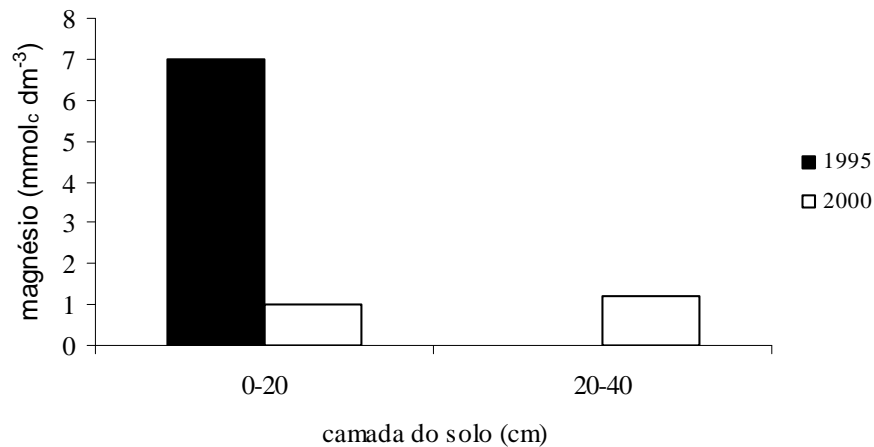


Figura 15 – Teor de magnésio em duas camadas do solo no início e término da experimentação. Adamantina, SP, 2000.

A diminuição do teor de cálcio (Figura 14) e do magnésio (Figura 15) com o tempo no perfil do solo estudado indica que os elementos deveriam ser repostos no solo em quantidades equivalentes ou maiores que as exportadas pelas colheitas e as lixiviadas para a manutenção do nível inicial de fertilidade da camada do solo analisada, o que não foi feito no período do estudo.

Os teores semelhantes ($P > 0,05$) do cálcio e do magnésio na camada 0-20 cm e os maiores teores desses nutrientes observados com o aumento da população de cafeeiros na camada 20-40 cm do solo (Tabela 13) (Figuras 11 e 12), contrastam com as maiores produções de café observadas nas maiores densidades de plantio (Tabela 7), mas podem ter explicação nas reações do ciclo do nitrogênio, no pH do solo e na lixiviação de cátions.

A adição de fertilizantes acidificantes e a mineralização da matéria orgânica resultam na produção de íons H^+ e NO_3^- nos solos. Os íons H^+ são neutralizados por íons OH^- liberados pelas raízes das plantas ao absorverem NO_3^- e, caso a absorção de NO_3^- não ocorra, os íons H^+ transferem-se para a fase sólida do solo causando o desprendimento de cátions trocáveis que participando da solução do solo ficam sujeitos à lixiviação. Os solos tornam-se mais ácidos à medida que as bases são removidas e substituídas pelo hidrogênio e o nitrato assume importância no processo de lixiviação, pois se move junto com as bases do solo como o cálcio, magnésio e potássio (LOPES, 1989).

A adsorção dos cátions cálcio e magnésio aumentam com o pH e são maiores as do cálcio e do magnésio em relação ao potássio (CHAVES; LIBARDI, 1995) e a diminuição do teor dos elementos nas camadas do solo relacionada à adubação nitrogenada tem sido relatada (GALLO et al., 1999, MIRANDA et al., 2006, MOTTA et al., 2006).

Gallo et al. (1999) relataram que o teor do cálcio diminuiu linearmente na camada arável do solo da projeção da copa da Catuaí plantado no espaçamento 1,0 x 1,5m com a variação de 100 a 400 kg ha⁻¹ de N, o que não foi constatado entre as linhas do cafeeiro.

Miranda et al. (2006) constataram em cafezal adubado com duas aplicações anuais de 250g por cova de 20-5-20 solução do solo mais ácida, o que relacionaram à produção de NO₃⁻ e elevação da concentração dos íons cálcio, magnésio e potássio na solução do solo com lixiviação dos elementos químicos no perfil do solo.

Motta et al. (2006) observaram a lixiviação de bases (Ca²⁺ e Mg²⁺ trocáveis) e a acidificação do solo, interpretada por meio do pH, Al³⁺ e V(%), na faixa de adubação nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo, atribuídas à adição de ânions muito móveis no solo, tais como o Cl⁻, SO₄²⁻ e NO₃⁻ e ao efeito acidificante dos fertilizantes.

Pavan et al. (1999) verificaram maior teor do cálcio, do magnésio e do potássio nas mais altas populações ao que relacionaram com as prováveis diminuições de perdas dos nutrientes por erosão e lixiviação e otimização da ciclagem dos nutrientes.

No caso desse estudo o pH semelhante em todas as populações estudadas (Tabela 10) sugere a saturação da camada de 0-20 cm do solo com íons NO₃⁻ em todas as densidades de plantio e lixiviação do cálcio, magnésio e potássio para regiões mais profundas, encontrando-se na camada de 20-40 cm maiores teores do cálcio e do magnésio nas maiores populações de cafeeiros (Tabela 13). Dentro desse quadro Pavan et al. (1999) expõe as seguintes possibilidades: a) altas populações de plantas diminuem a lixiviação de NO₃⁻ com aumento da quantidade de NO₃⁻ absorvida pelas raízes dos cafeeiros e da quantidade de OH⁻ exsudada na rizosfera, a qual pode ser usada para neutralizar os íons H⁺ produzidos pela oxidação do NH₄⁺ a NO₃⁻ b) baixas populações de plantas aumentam a quantidade de NO₃⁻ lixiviada e diminui a quantidade absorvida gerando a acidez. O maior teor de cálcio e de magnésio observado na camada 20-40 cm do solo das maiores populações de cafeeiros, apesar da maior produção de café e conseqüente maior exportação dos nutrientes nessas populações, sugere lixiviação desses cátions para regiões, talvez mais profundas que 40 cm nos solos dos plantios menos adensados de cafeeiros. Deve ser ainda ressaltado que os cafeeiros das menores populações receberam maior quantidade de adubo nitrogenado que o das maiores populações, fato que deve ter contribuído para a maior lixiviação das bases do solo sob essas plantas.

O pH da camada de 20-40 cm se correlacionou (P<0,01) com os teores de cálcio (r= 88) e de magnésio (r= 0,85) o que não aconteceu (P>0,05) com o potássio (r= -0,07).

Os resultados obtidos para o potássio, cálcio e magnésio (Tabela 13) (Figuras 10, 11 e 12) confirmam parcialmente o de Braccini et al. (2002) e o de Silva et al. (2004) que,

respectivamente aos 24 e 36 meses após o início da experimentação, não constataram diferenças no teor trocável desses elementos nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo ao compararem o plantio tradicional com outras densidades populacionais de cafeeiros. As populações estudadas por esses autores estavam entre 3333 e 20000 plantas por hectare (BRACCINI et al., 2002) e 2857 e 10000 plantas por hectare (SILVA et al., 2004).

Fahl et al. (2003), também não encontraram alteração do teor de magnésio nessas camadas do solo cerca de nove anos após o plantio, mas diversamente ao resultado desse estudo (Tabela 13) (Figura 11), relataram o decréscimo nos teores de cálcio com a redução do espaçamento que variou entre as linhas de plantio de 0,60 m a 6,60 m em estudo de espaçamento duplamente progressivo.

O relato de Viana, Matiello e Mata (2000) de que o emprego de duas mudas de cafeeiros por cova não fizeram variar o teor de potássio, cálcio e magnésio no espaçamento de 4,0 x 1,0 m com as cultivares Mundo Novo e Catuaí e que não apresentaram diferenças de produtividade nas últimas oito safras foi confirmado por esse estudo após três colheitas (Tabela 13).

4.2.4. Soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial e saturação por bases

A soma de bases do solo, a capacidade de troca de cátions potencial (CTC) e a porcentagem da saturação de bases foram semelhantes ($P > 0,05$) nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm dos solos sob as cultivares de cafeeiro e nos grupos de cultivares de portes alto e baixo (Tabela 14).

O aumento da densidade populacional de cafeeiros não alterou ($P > 0,05$) a soma de bases, a CTC potencial e a V% na camada do solo 0-20 cm (Tabela 14).

A soma de bases aumentou ($P < 0,01$) com a população na camada 20-40 cm segundo modelo quadrático ($P < 0,01$) (Figura 16), mas não diferiu ($P < 0,05$) entre os solos com uma e duas plantas por cova na população de 2500 plantas por hectare em ambas as camadas estudadas e não houve interação ($P > 0,05$) entre os fatores população e cultivar para essa variável (Tabela 14).

O aumento da soma de bases do solo na camada 20-40 cm do solo com a população pode ser atribuído aos maiores teores do cálcio (Figura 11) e do magnésio (Figura 12) posto que o teor de potássio não variou com a população nessa camada do solo (Tabela 13).

Tabela 14 – Soma de bases, capacidade de troca de cátions potencial (CTC) e saturação por bases (V) nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar (c) ⁽¹⁾ | Soma de bases | | CTC | | V | |
|---|------------------------------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 | 0-20 | 20-40 |
| | mmol _c dm ⁻³ | | | | | |
| | | | | | % | |
| Acaíá | 7,14 | 8,11 | 54,88 | 56,12 | 13,06 | 15,25 |
| Catuaí Amarelo | 6,75 | 7,13 | 55,08 | 56,86 | 12,28 | 13,30 |
| Icatu Amarelo | 7,47 | 8,29 | 54,55 | 53,29 | 13,78 | 16,39 |
| Obatã | 6,92 | 6,57 | 54,66 | 52,17 | 12,68 | 12,98 |
| F cultivar | 1,50ns | 1,19ns | 0,07ns | 2,64ns | 1,59ns | 0,95ns |
| Porte alto ⁽²⁾ | 7,31 | 8,20 | 54,72 | 54,71 | 13,42 | 15,82 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 6,84 | 6,85 | 54,87 | 54,52 | 12,48 | 13,14 |
| F porte | 3,42ns | 3,26ns | 0,03 ns | 0,02ns | 3,44ns | 2,61ns |
| F p x c | 1,85ns | 1,01ns | 0,75ns | 2,32* | 1,48ns | 1,38 ns |
| População (p) Covas ha ⁻¹ | | | | | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 7,21 | 6,73 | 55,96 | 57,47 | 12,86 | 11,93 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 7,39 | 5,88 | 53,55 | 62,38 | 13,85 | 9,49 |
| 5000 | 7,35 | 6,65 | 55,69 | 55,24 | 13,29 | 12,53 |
| 7519 | 6,68 | 7,22 | 54,18 | 51,14 | 12,34 | 14,06 |
| 10000 | 6,74 | 11,14 | 54,57 | 46,81 | 12,41 | 24,39 |
| F população | 0,49ns | 21,97** | 0,65ns | 5,89* | 0,40ns | 21,86** |
| FRL | - | 52,60** | - | 17,63** | - | 56,93** |
| FRQ | - | 31,64** | - | 2,82 ns | - | 26,97** |
| F 1 vs 2 | 0,19ns | 0,51ns | 2,78ns | 5,07* | 1,57ns | 0,86ns |
| CV (a) (%) | 23,84 | 20,40 | 7,95 | 15,57 | 26,58 | 29,56 |
| CV (b) (%) | 14,06 | 38,56 | 6,45 | 9,77 | 15,04 | 44,46 |

⁽¹⁾ Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

⁽²⁾ Média das cultivares Acaíá e Icatu Amarelo.

⁽³⁾ Média das cultivares Catuaí Amarelo e Obatã.

⁽⁴⁾ Duas plantas por cova.

⁽⁵⁾ Uma planta por cova.

RL – Regressão Linear.

RQ – Regressão Quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

A soma de bases encontrada no perfil do solo diminuiu do início para o término da experimentação na média das parcelas experimentais (Figura 17), devido à movimentação das

bases para camadas mais profundas do solo e exportação dos nutrientes pelas colheitas de café realizadas, principalmente o cálcio e o magnésio que não foram repostos no solo.

A diferença não significativa da soma de bases na camada 0-20 cm e o aumento dela na camada 20-40 cm do solo com o aumento da população (Tabela 14) (Figura 16) constituem resultados não esperados, devido ao aumento da população corresponder maior produção de café, pelo que, principalmente os teores de cálcio e de magnésio, elementos não fornecidos aos cafeeiros por calagem superficial ou adubação após o plantio, deveriam diminuir no perfil do solo proporcionalmente à produção.

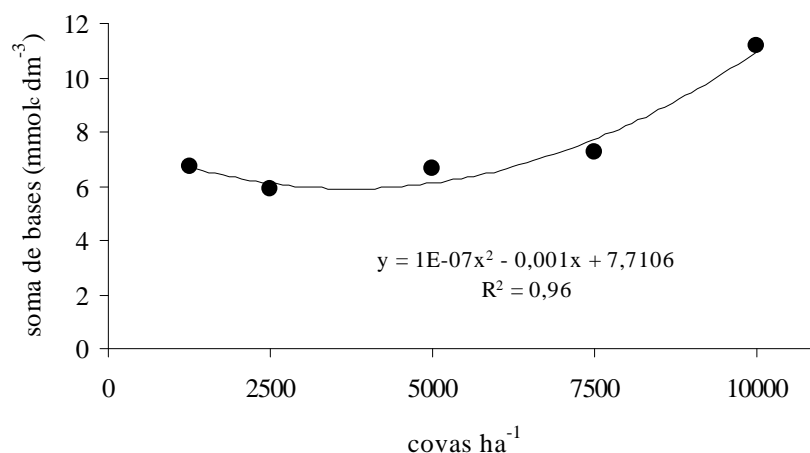


Figura 16 – Soma de bases da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

O resultado encontrado (Tabelas 14) (Figura 16) tem principal explicação no processo de acidificação do solo relacionada à adubação nitrogenada do experimento (Tabela 5) visto que os cafeeiros das menores populações receberam maior quantidade de nitrogênio com correspondente produção de nitrato (NO_3^-) que lixiviou com os cátions acompanhantes (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997, PAVAN et al., 1999), resultando na menor soma de bases observada na camada 20-40 cm do solo nos plantios de cafeeiros menos adensados (Tabela 14) (Figura 16). O pH na camada 20-40 cm correlacionou-se linearmente ($P < 0,01$) com os teores de cálcio ($r = 0,88$), de magnésio ($r = 0,85$) e com a soma de bases ($r = 0,86$) e a soma de bases com os teores de cálcio ($P < 0,01$) ($r = 0,98$) e o magnésio ($r = 0,92$).

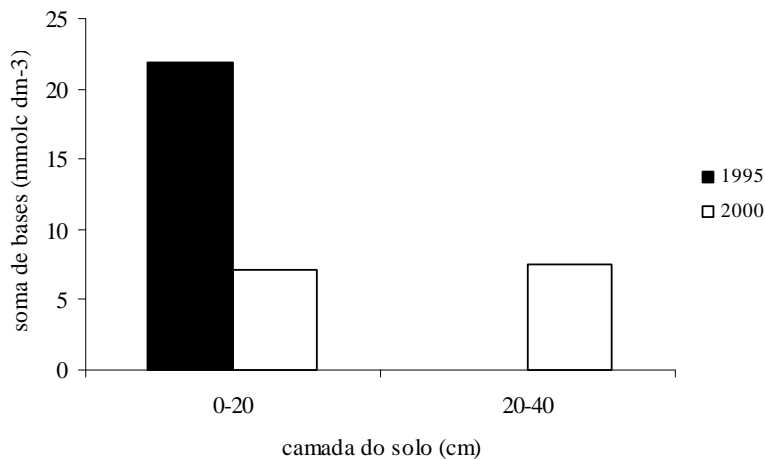


Figura 17. Soma de bases no início e término da experimentação em duas camadas do solo. Adamantina, SP, 1995-2000.

A CTC potencial não diferiu ($P > 0,05$) nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob as cultivares de cafeeiros, o mesmo ($P > 0,05$) acontecendo para o contraste estabelecido entre o grupo de cultivares de porte baixo e de porte alto (Tabela 14).

O aumento da densidade populacional de cafeeiros não alterou ($P > 0,05$) a CTC potencial na camada 0-20 cm, mas a diminuiu ($P < 0,01$) na camada 20-40 cm do solo (Tabela 14). A interação entre os fatores população e cultivar foi significativa para a CTC potencial (Tabela 14), que diminuiu lineamente ($P < 0,01$) com o aumento da densidade populacional da cultivar Catuaí Amarelo e ($P < 0,05$) da Acaiaí e da Obatã e ($P < 0,01$) segundo modelo quadrático ($P < 0,05$) na Icatu Amarelo (Tabela 15).

Tabela 15. Desdobramento da interação entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para capacidade de troca de cátions potencial na camada 20-40 cm do solo.

| Cultivar | Pop. d. Cult. | F | |
|----------------|---------------|---------|---------|
| | | RL | RQ |
| Acaiaí | 3,80* | 6,14* | 4,10 ns |
| Catuaí Amarelo | 7,71** | 22,71** | 3,42 ns |
| Icatu Amarelo | 5,84** | 11,65** | 5,64* |
| Obatã | 4,54** | 7,38* | 2,53 ns |

RL – Regressão linear.

RQ – Regressão quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

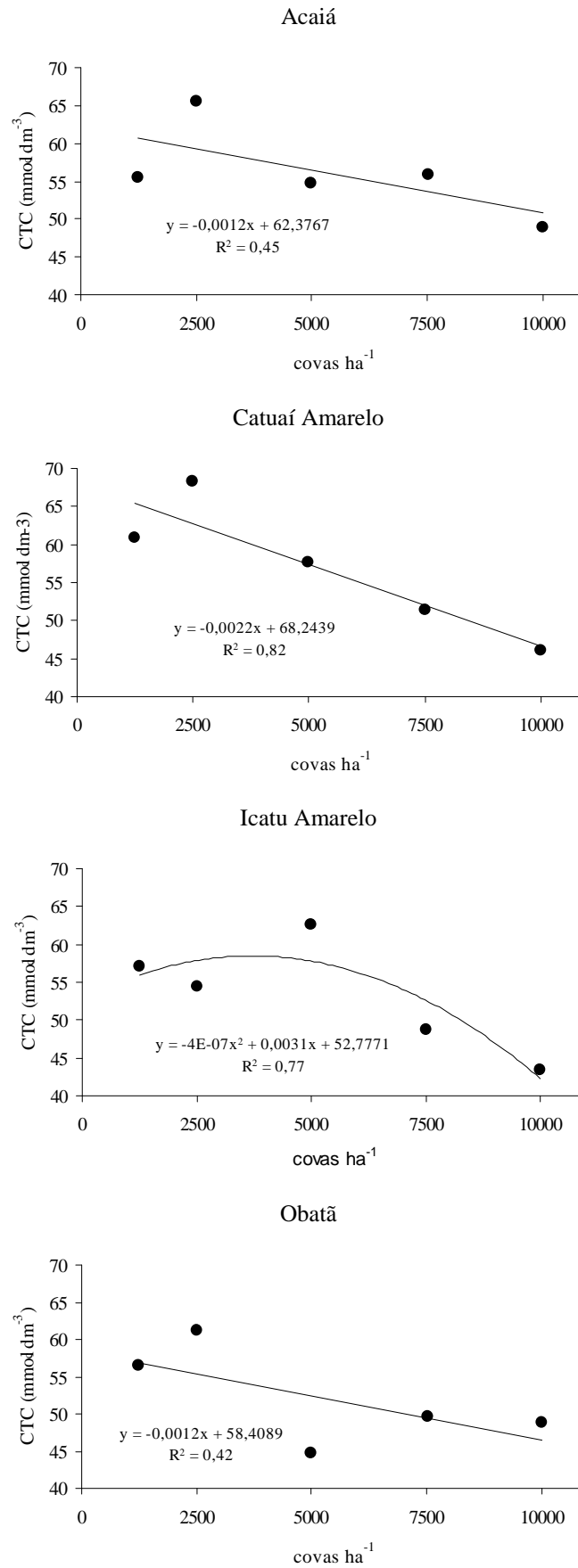


Figura 18 – CTC potencial da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

O uso de uma ou duas plantas por cova na população de 2500 plantas por hectare não alterou ($P>0,05$) a CTC potencial da camada 0-20 cm, mas na camada 20-40 cm ocorreu menor valor da CTC com o plantio de duas mudas por cova (Tabela 14).

Na camada 20-40 cm a CTC potencial se correlacionou de forma linear ($P<0,01$) e negativamente com o pH ($r= -0,78$) e com ($P<0,05$) a soma de bases ($r= -0,56$), sugerindo que o pH mais ácido observado nas menores populações favoreceu a lixiviação das bases do solo e aumentou a acidez potencial ($P<0,01$) ($r= 0,94$), conseqüentemente fazendo aumentar a concentração do alumínio na solução do solo, disponibilizando-o para absorção pelas raízes do cafeeiro.

A porcentagem de saturação por bases na CTC (V%) não diferiu ($P>0,05$) nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob as cultivares de cafeeiros, o mesmo ($P>0,05$) acontecendo para o contraste estabelecido entre o grupo de cultivares de porte baixo e de porte alto (Tabela 14).

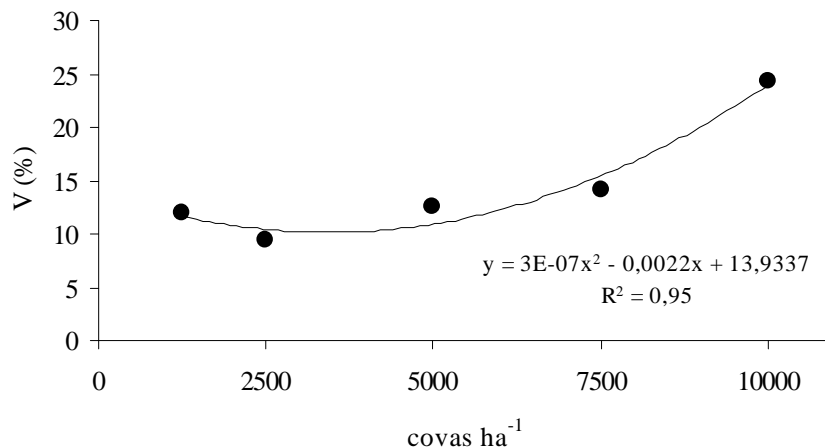


Figura 19 – Saturação por bases (V%) da camada 20-40 cm do solo sob diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

O aumento da densidade populacional não alterou ($P>0,05$) a saturação por bases da camada 0-20 cm, mas a aumentou ($P<0,01$) (Tabela14) segundo modelo quadrático ($P<0,01$) (Figura 19) na camada 20-40 cm do solo, contudo não houve interação ($P>0,05$) entre os fatores população e cultivar no perfil do solo estudado (Tabela 14).

O uso de uma ou duas plantas por cova na população de 2500 plantas por hectare não alterou ($P>0,05$) a saturação por bases o que confirma os resultados de Viana, Matiello e Mata (2000).

As produtividades obtidas no experimento, crescentes com a população (Tabela 7) e com o tempo (Figura 3), foram obtidas em condições que fizeram diminuir sensivelmente a saturação por bases iniciais das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo (Figura 20).

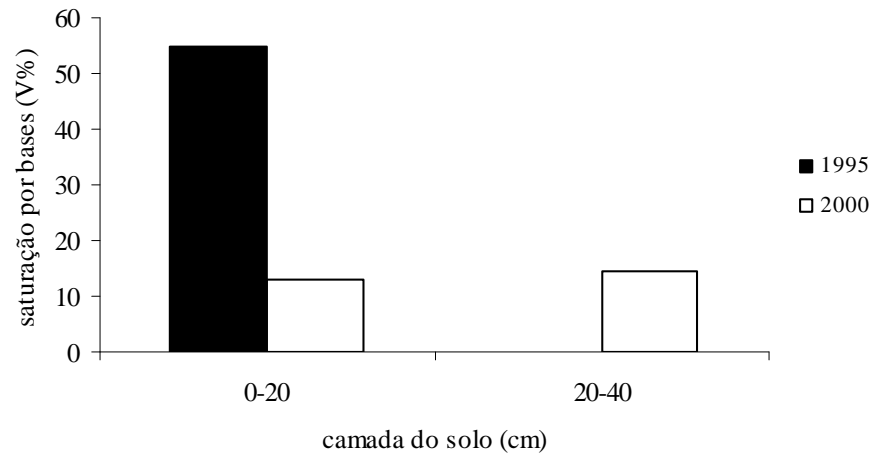


Figura 20. Saturação por bases (V%) no início e término da experimentação em duas camadas do solo.

Braccini et al. (2002) não observaram diferenças significativas no V% das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo com o aumento da população e encontraram valores semelhantes no solo, cerca de 43%, 24 meses após a implantação do experimento.

É importante mencionar que valores baixos de V(%) necessariamente não condicionam baixas produtividades. Maior produtividade bienal foi obtida no sistema adensado que no tradicional, 85 e 21,9 sacas de café por hectare, respectivamente em solo com V(%) inicial de 27% e 24% correspondentes às camadas de 0-20 cm e de 20-40 cm, não se encontrando diferenças estatísticas desse atributo do solo entre os sistemas de plantio do cafeeiro (SILVA et al., 2004). Experimentos de adubação de níveis de NPK em solo com V(%) entre 17,25% e 22,11% e alumínio entre 0,77 e 1,01 $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$ com diferentes populações de cafeeiros, produziram 31,8 sacas de café por hectare na média de cinco colheitas (PREZOTTI; ROCHA, 2004), entretanto valores de alumínio entre 0,9 e 1,0 $\text{mmol}_c \text{dm}^{-3}$ não são considerados importantes para o cafeeiro (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997).

Raij et al. (1996), obtiveram pequeno efeito da calagem sobre a produção de cafeeiros em solo de grande ocorrência no Oeste Paulista e consideraram que a meta de saturação por bases preconizada de 70% para amostragem na projeção da copa é muito elevada. Os resultados confirmaram o observado por Viana, Garcia e Correa (2000) que obtiveram a produção máxima de café com 26% de saturação por bases.

Os valores da saturação por bases encontradas por Viana, Garcia e Correa (2000), Silva et al. (2004) e Prezotti e Rocha (2004) são muito menores que o intervalo de V(%) entre 50 e 60% considerado ideal por Malavolta e Moreira (1997) ou de 50% por Raij et al. (1997)

4.2.5. Fósforo

O teor de fósforo não diferiu ($P > 0,05$) no solo sob as cultivares de cafeeiro nas camadas 0-20 cm e 20-40 cm, sendo também semelhante ($P > 0,05$) o teor do elemento no solo dos grupos de cultivares de porte alto e de porte baixo (Tabela 16). O aumento da densidade populacional ou uso de duas plantas por cova na população de 2500 plantas por hectare não modificou ($P > 0,05$) o teor do fósforo do solo, bem como a interação entre os fatores população e cultivar não foi significativa ($P > 0,05$) nas camadas do solo estudado (Tabela 16).

Maior teor de fósforo no solo tem sido encontrado com o aumento da densidade populacional de cafeeiros (BRACCINI et al., 2002, FAHL et al., 2003, NACIF, 1997, PREZOTTI; ROCHA, 2004). O aumento do teor do elemento em plantios adensados tem sido relacionado com o maior acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo com o consequente aumento da matéria orgânica (PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1997, PREZOTTI; ROCHA, 2004), maior grau de micorrização das plantas (PAVAN; CHAVES, 1996), maior umidade do solo, devido ao maior sombreamento, e as maiores difusão do elemento no solo e absorção pelas plantas (PREZOTTI; ROCHA, 2004).

No experimento não houve correlação ($P > 0,05$) entre os teores de matéria orgânica e de fósforo às profundidades 0-20 cm ($r = 0,04$) e 20-40 cm ($r = -0,18$) do solo.

A fixação do $H_2PO_4^-$ deve ser menor nos plantios adensados pois mais raízes competem efetivamente com os sesquióxidos, visto aumentar a relação superfície radicular:superfície das partículas do solo e a produção de ácidos orgânicos devido a decomposição de folhas e outros restos vegetais que complexam alumínio e cálcio favorecendo a dissociação de fosfatos parcialmente solúveis na direção das raízes absorventes (MALAVOLTA; MOREIRA, 1997).

A calagem realizada nas populações de 2857 plantas por hectare e 10000 cafeeiros por hectare, possibilitou maior teor de fósforo na camada 0-20 cm do solo sob cafeeiro adensado cerca de quatro meses após a aplicação do calcário, o que não foi observado na camada entre 20-40 cm do perfil do solo ou nas duas camadas cerca de 40 meses após o início do experimento (SILVA et al., 2004). Nesse estudo não houve correlação ($P > 0,05$) do pH com os teores do fósforo nas camadas 0-20 ($r = 0,41$) e 20-40 cm ($r = -0,24$) do solo, mas na camada 0-20 cm o fósforo se relacionou ($P < 0,01$) com a acidez potencial ($r = -0,67$).

Tabela 16 – Teor de fósforo das camadas 0-20 cm e 20-40 cm do solo sob diferentes populações e cultivares de cafeeiro. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar (c) ⁽¹⁾ | P | |
|-----------------------------|---------------------|---------|
| | 0-20 | 20-40 |
| | mg dm ⁻³ | |
| Acaia | 30,80 | 8,80 |
| Catuaí Amarelo | 26,13 | 7,27 |
| Icatu Amarelo | 33,13 | 8,47 |
| Obatã | 31,80 | 6,53 |
| F cultivar | 1,23 ns | 0,64 ns |
| Porte alto ⁽²⁾ | 31,97 | 8,64 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 28,97 | 6,90 |
| F porte | 1,20 ns | 1,72 ns |
| F p x c | 1,41 ns | 0,92 ns |
| População (p) | | |
| Covas ha ⁻¹ | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 28,92 | 8,17 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 29,50 | 6,58 |
| 5000 | 31,17 | 7,67 |
| 7519 | 32,33 | 9,33 |
| 10000 | 30,42 | 7,08 |
| F população | 0,12 ns | 0,35 ns |
| FRL | - | - |
| FRQ | - | - |
| F 1 vs 2 | 0,02 ns | 0,57 ns |
| CV (a) (%) | 43,81 | 79,40 |
| CV (b) (%) | 34,84 | 65,89 |

⁽¹⁾ Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

⁽²⁾ Média das cultivares Acaia e Icatu Amarelo.

⁽³⁾ Média das cultivares Catuaí Amarelo e Obatã.

⁽⁴⁾ Duas plantas por cova.

⁽⁵⁾ Uma planta por cova.

RL – Regressão Linear.

RQ – Regressão Quadrática.

ns – Não significativo.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

Viana, Matiello e Mata (2000) relataram como nesse estudo que o plantio de duas mudas de cafeeiros por cova também não contribuiu para alterar o teor do fósforo do solo.

O teor de fósforo inicial no solo de 3 mg dm^{-3} (Tabela 2), interpretado como nível muito baixo para culturas perenes (RAIJ et al., 1997), aumentou com o decorrer do tempo da experimentação alcançando o nível alto com $30,47 \text{ g dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$ à profundidade 0-20 cm e o nível baixo com $7,77 \text{ g dm}^{-3} \text{ P}_2\text{O}_5$ na camada 20-40 cm (RAIJ et al., 1997) (Figura 21) na média das unidades experimentais. Resultados semelhantes foram encontrados por Braccini et al. (2002) e Prezotti e Rocha (2004) e a explicação recai nas quantidades do elemento colocadas no solo por meio das adubações realizadas nos cafeeiros (Tabela 5), evidentemente excedentes àquelas subtraídas pelas colheitas.

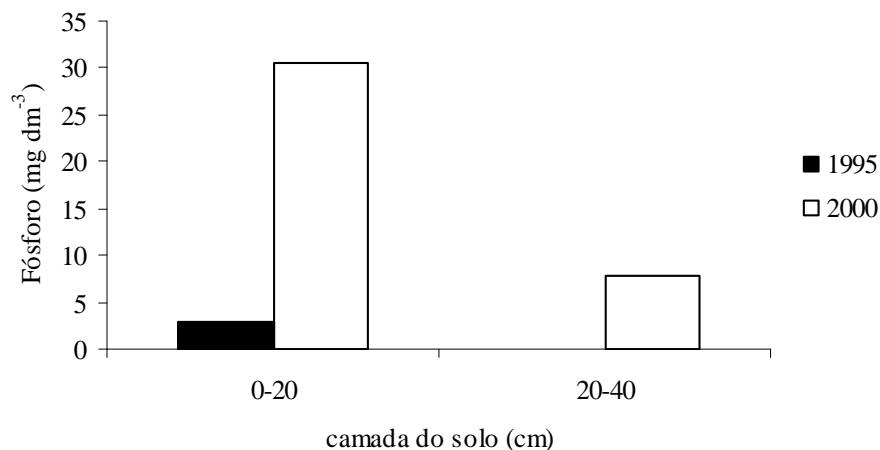


Figura 21 – Teor de fósforo no início e término da experimentação em duas camadas do solo. Adamantina, SP, 1995-2000.

O maior teor de fósforo na camada 0-20 cm do solo em relação àquele da camada 20-40 cm também é relatado por outros autores (BRACCINI et al., 2002, FAHL et al., 2003). O resultado de aumento do teor do fósforo na camada 20-40 cm em relação ao nível inicial (Tabela 16) (Figura 21), foi também relatado por Braccini et al. (2002) e Prezotti e Rocha (2004) e mostra a possibilidade de aumento dos níveis de fósforo à sub-superfície na cultura do café com o tempo para as condições como aquelas observadas no experimento.

4.3. Teor foliar de macronutrientes

As cultivares de cafeeiro diferiram ($P < 0,01$) entre si nos teores foliares de nitrogênio, fósforo, magnésio, enxofre e ($P < 0,05$) potássio, mas não ($P > 0,05$) quanto ao cálcio (Tabela 17).

A Obatã foi entre as cultivares àquela com o menor teor foliar de cada um dos macronutrientes, mas não diferiu da Catuaí Amarelo nos teores de potássio, magnésio e enxofre e da Acaiá quanto ao de potássio. A Catuaí Amarelo apresentou menor teor de magnésio e de enxofre que a Acaiá e maior teor de fósforo e menor de magnésio que a Icatu Amarelo. As cultivares Acaiá e Icatu Amarelo não diferiram entre si nos teores foliares dos macronutrientes (Tabela 17). O grupo de cafeeiros de porte alto constituído por Acaiá e Icatu Amarelo mostrou no momento da coleta das folhas maior teor ($P < 0,01$) de nitrogênio, magnésio e enxofre e de ($P < 0,05$) fósforo e potássio do que as cultivares de porte baixo, Catuaí Amarelo e Obatã (Tabela 17).

É conhecido que plantas de cultivares diferentes da mesma espécie, tendo crescido lado a lado, mostram com frequência grande variação na sua composição química (EPSTEIN, 1975). Diferenças entre cultivares de cafeeiros quanto aos teores foliares de nutrientes também foram descritas em outros estudos (ALVARENGA; DUARTE; GOMIDE, 2000, AUGUSTO, 2000, CORREA; GARCIA; COSTA, 2000, VALARINI, 2005). Augusto (2000) relata que fatores genéticos podem causar diferenças nas concentrações dos teores foliares dos nutrientes minerais, indicando que entre cultivares e entre linhagens de cafeeiros há maior ou menor eficiência de absorção, de translocação ou de utilização de nutrientes pela planta.

Comparando-se os teores dos macronutrientes nas amostras de folhas das cultivares (Tabela 17) com os valores de referência considerados adequados para cafeeiro propostos por alguns autores (Tabela 1), nota-se que todas as cultivares apresentavam teores altos de nitrogênio e de enxofre.

Os teores de fósforo foram insuficientes nas cultivares Acaiá e Catuaí Amarelo, segundo os critérios de Bergmann (1992) e Malavolta et al. (1997), e na Icatu Amarelo e Obatã, conforme Reuter e Robinson (1988), Bergmann (1992) e Malavolta et al. (1993, 1997), mas adequados conforme as demais faixas de referência (Tabela 1).

O teor de potássio das cultivares Acaiá, Catuaí Amarelo e Obatã são considerados suficientes de acordo com todos os critérios propostos (Tabela 1), mas alto na Icatu Amarelo segundo Bergmann (1992) e Malavolta et al. (1993).

Tabela 17 – Teor foliar de macronutrientes em diferentes populações e cultivares de cafeeiro. Adamantina, SP, 2000.

| Cultivar (c) | N | P | K | Ca | Mg | S |
|---|-----------------------------------|---------|---------|--------|---------|---------|
| | g kg ⁻¹ ⁽¹⁾ | | | | | |
| Acaiaá | 40,45a | 1,50ab | 22,76ab | 10,47 | 4,57a | 2,99a |
| Catuá Amarelo | 39,62a | 1,54a | 22,95ab | 10,51 | 4,11b | 2,63bc |
| Icatu Amarelo | 39,57a | 1,39b | 24,37a | 10,50 | 4,65a | 2,81ab |
| Obatã | 37,11b | 1,21c | 21,62b | 9,78 | 3,86b | 2,42c |
| F cultivar | 27,79** | 23,02** | 3,54* | 2,74ns | 10,57** | 14,81** |
| Porte alto ⁽²⁾ | 40,11 | 1,45 | 23,57 | 10,49 | 4,61 | 2,90 |
| Porte baixo ⁽³⁾ | 38,37 | 1,38 | 22,29 | 10,15 | 3,99 | 2,53 |
| F porte | 36,10** | 5,29* | 4,54* | 2,47ns | 29,09** | 35,37** |
| F p x c | 2,09ns | 0,97ns | 1,48ns | 2,10* | 1,79ns | 1,06ns |
| População (p) Covas ha ⁻¹ | | | | | | |
| 1250 ⁽⁴⁾ | 39,06 | 1,34 | 19,99 | 10,43 | 4,44 | 2,64 |
| 2500 ⁽⁵⁾ | 38,35 | 1,23 | 18,93 | 9,63 | 4,39 | 2,37 |
| 5000 | 39,63 | 1,48 | 23,66 | 10,49 | 4,19 | 2,84 |
| 7519 | 39,15 | 1,51 | 24,29 | 10,85 | 4,48 | 2,78 |
| 10000 | 39,76 | 1,50 | 27,75 | 10,18 | 3,99 | 2,93 |
| F população | 0,89ns | 12,01** | 15,40** | 2,41ns | 3,21ns | 9,88** |
| FRL | 1,39ns | 29,05** | 53,46** | 0,61ns | 4,97ns | 19,95** |
| FRQ | 0,16ns | 0,01ns | 2,14ns | 0,06ns | 0,83ns | 1,33ns |
| F 1 vs 2 | 2,68ns | 5,07* | 1,25ns | 5,27* | 0,07ns | 7,54* |
| CV (a) (%) | 5,22 | 8,52 | 13,63 | 9,84 | 9,23 | 8,90 |
| CV (b) (%) | 2,70 | 8,34 | 10,12 | 8,28 | 10,47 | 9,05 |

(1) Médias com mesma letra na coluna não diferem ao nível de 5% pelo teste Tukey.

(2) Média das cultivares Acaiaá e Icatu Amarelo.

(3) Média das cultivares Catuá Amarelo e Obatã.

(4) Duas plantas por cova.

(5) Uma planta por cova.

RL – Regressão linear.

RQ – Regressão quadrática.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns - Não significativo.

Os teores de cálcio da Acaiá, Catuaí Amarelo e Icatu Amarelo estavam insuficientes segundo Bergmann (1992) e Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), mas adequados conforme as demais faixas de referência (Tabela 1). O teor de cálcio na Obatã, somente pode ser considerado suficiente de acordo com Reuter e Robinson (1988) (Tabela 1).

Os teores de magnésio das cultivares Acaiá, Catuaí Amarelo e Icatu Amarelo encontravam-se dentro das faixas de teores adequados de referência conforme Rajj et al. (1997) e Matiello et al. (1997), mas a excediam conforme os demais critérios (Tabela 1), excetuando-se o de Malavolta et al. (1997) para o teor da Catuaí Amarelo, para qual critério o teor era suficiente. Na Obatã o teor de magnésio considerado alto, segundo Malavolta et al. (1993), ou insuficiente, de acordo com Malavolta et al. (1997), estava adequado conforme as outras faixas de referência (Tabela 1).

As populações não diferiram entre si ($P>0,05$) nos teores foliares de nitrogênio, cálcio e magnésio, mas ($P<0,01$), linear e positivamente ($P<0,01$) (Tabela 17) nos teores de fósforo (Figura 22), potássio (Figura 23) e enxofre (Figura 24).

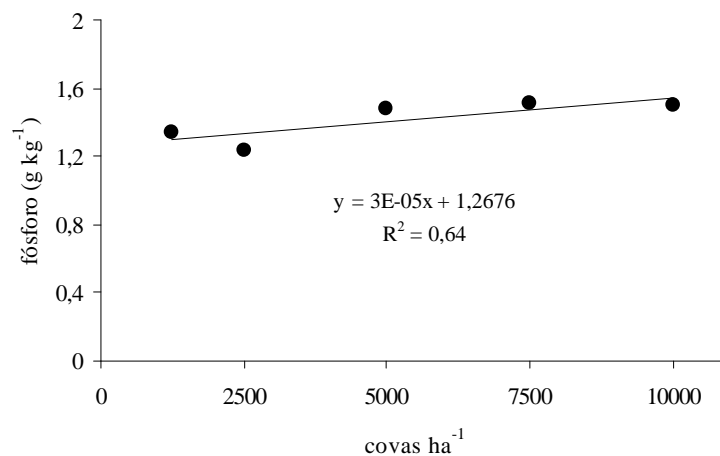


Figura 22 – Teor foliar de fósforo em diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

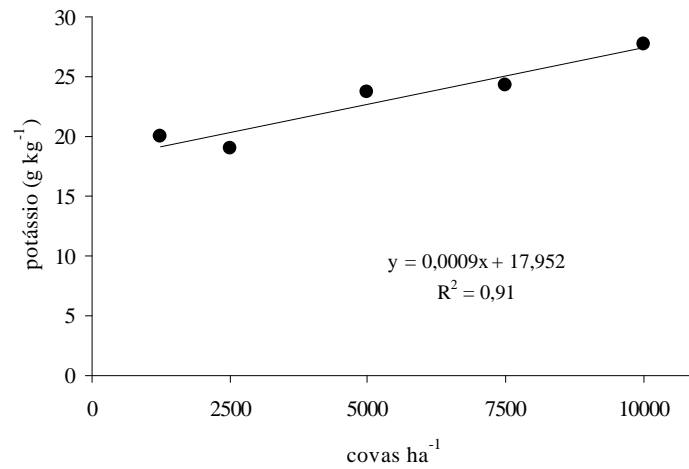


Figura 23 – Teor foliar de potássio em diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

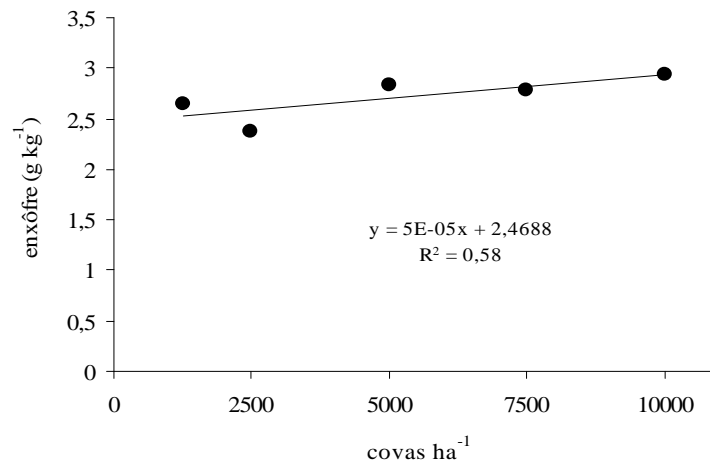


Figura 24 – Teor foliar de enxofre em diferentes populações de cafeeiros. Adamantina, SP, 2000.

O contraste entre as populações de 2500 plantas por hectare estabelecidas no espaçamento 4,0 x 1,0 m com uma planta por cova e 4,0 x 2,0 m com duas plantas por cova foi significativo ($P < 0,05$) para o fósforo, o cálcio e o enxofre, encontrando-se os maiores valores nas folhas provenientes das covas que continham dois cafeeiros (Tabela 17). A maior concentração de macronutrientes nas folhas dos cafeeiros plantados dois em cada cova e nas maiores populações (Tabela 17), permite inferir a maior eficiência de absorção e/ou translocação dos nutrientes nesse tipo de plantio, confirmando o postulado que cafeeiros

plantados mais próximos exploram melhor o solo e absorvem com mais eficiência a água e os sais minerais (RENA et al., 1996).

A interação entre os fatores população e cultivar somente foi significativa ($P < 0,05$) para o teor de cálcio (Tabela 17). O desdobramento da interação dentro das cultivares (Tabela 18) mostrou que a concentração foliar do cálcio aumentou linearmente ($P < 0,01$) com o aumento da população dos cafeeiros na Obatã (Figura 25), mas não ($P > 0,05$) para as outras cultivares.

Augusto et al. (1997) encontraram interação significativa entre as cultivares Catuaí Vermelho IAC 44 e IAC 99, Rubi MG 1192, Katipó, Oeiras e Catimor UFV 3880 com espaçamentos para os teores foliares de nitrogênio, potássio, enxofre e manganês, mas não para o cálcio, diferindo dos resultados desse trabalho.

A comparação dos teores dos macronutrientes das folhas dos cafeeiros das diferentes populações estudadas (Tabela 17) com os valores das faixas de referência de teores adequados de macronutrientes (Tabela 1) evidencia os altos teores de nitrogênio e de enxofre que no momento da amostragem os ultrapassavam o limite superior das faixas propostas.

Os teores de fósforo das populações de cafeeiros estavam adequados de acordo com Jones Junior, Wolf e Mills (1991), Mills e Jones Junior (1996), Raij et al. (1997) e Matiello (1997), que propõe como suficientes para o cafeeiro os valores entre 1,2 a 2,0 g kg⁻¹ do elemento, mas insuficientes segundo Bergmann (1992) e Malavolta et al. (1997), que indicam a concentração de 1,6 g kg⁻¹ de fósforo como limite inferior da faixa de referência de teor adequado para o nutriente. As populações de 7519 e 10000 plantas por hectare eram as únicas com teores suficientes de fósforo conforme Reuter e Robinson (1988) e Malavolta et al. (1993).

Os teores de potássio das populações de 2500 plantas por hectare estavam abaixo das faixas de teores adequados de referência (Tabela 1), exceto pelos critérios de Raij et al. (1997), Matiello et al. (1997) e o de Malavolta et al. (1993), este somente para a população de 2500 plantas por hectares com uma planta por cova, enquanto o teor do nutriente encontrado na população de 10000 plantas por hectare era alto segundo todos os critérios (Tabela 1). Os teores de potássio das populações de 5000 e 7519 plantas por hectare eram suficientes, exceto pelo critério de Bergmann (1992) e para a população de 7519 plantas por hectare segundo Malavolta et al. (1993), para os quais os valores encontrados são altos (Tabela 1).

O teor de cálcio considerado insuficiente nas folhas dos cafeeiros de todas as populações, segundo Malavolta et al. (1997), era adequado na população de 2500 plantas por hectare com 9,63 g kg⁻¹ somente conforme Reuter e Robinson (1988), mas insuficiente de acordo com os outros autores (Tabela 1).

Tabela 18 – Desdobramento da interação e significância das regressões entre os fatores população e cultivar de cafeeiro para o teor foliar de cálcio.

| Cultivar | Pop. d. Cult. | F | |
|----------------|---------------|---------|--------|
| | | RL | RQ |
| Acaiá | 0,58ns | - | - |
| Catuai Amarelo | 0,41ns | - | - |
| Icatu Amarelo | 2,94 ns | - | - |
| Obatã | 17,94** | 17,94** | 1,51ns |

RL – Regressão linear.

RQ – Regressão quadrática.

* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

** - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

ns – Não significativo.

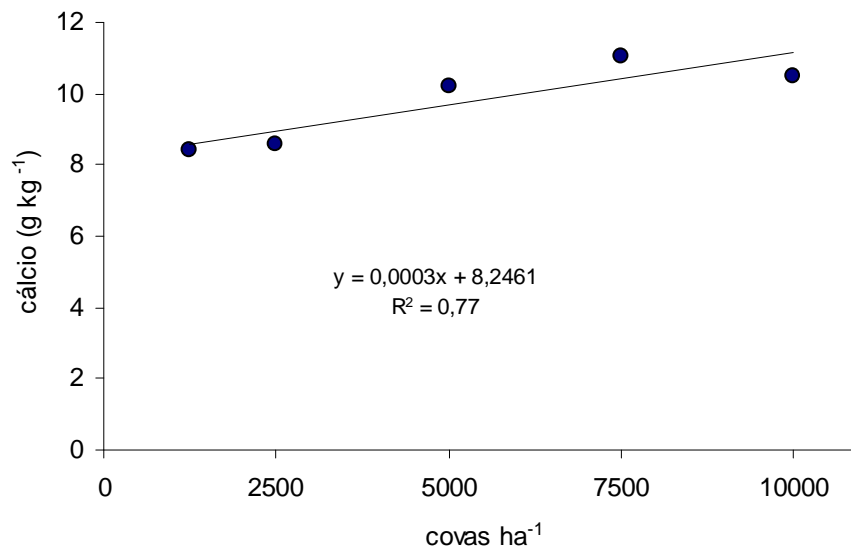


Figura 25 – Teor foliar de cálcio em diferentes populações da cultivar Obatã. Adamantina, SP, 2000.

Os teores de magnésio das populações de 2500, 5000 e 7519 plantas por hectare encontravam-se dentro da faixa de teores adequados de referência segundo Malavolta et al. (1997), Rajj et al. (1997) e Matiello et al. (1997), mas com teor alto conforme os demais autores (Tabela 1). O teor do elemento na população de 10000 plantas por hectare estava acima da faixa de referência segundo Malavolta et al. (1993), insuficiente conforme Malavolta et al. (1997), mas com teor adequado segundo os demais critérios (Tabela 1).

A utilização das faixas de referência de teores adequados de macronutrientes para cafeeiros propostas por Reuter e Robinson (1988), Jones Junior, Wolf e Mills (1991),

Bergmann (1992), Malavolta et al. (1993), Mills e Jones Junior, (1996), Malavolta et al. (1997), Matiello (1997) e Raij et al. (1997) para a interpretação das concentrações foliares dos macronutrientes resultou em diferentes diagnoses nutricionais das cultivares e populações dos cafeeiros. Correa et al. (2001) também obtiveram diferentes diagnoses nutricionais, utilizando as mesmas referências (Tabela 1) quando realizaram a avaliação de cafeeiros do sul de Minas Gerais. Martinez et al. (2003) ponderaram que os níveis críticos dos nutrientes nas folhas dos cafeeiros ao serem estabelecidos não consideraram variações regionais para uma avaliação mais precisa, dificultando a definição do critério mais adequado para a classificação dos resultados da análise foliar dos nutrientes.

Utilizando-se a amplitude máxima dos limites inferior e superior das faixas de referência de teores adequados dos macronutrientes proposta pelos diferentes autores (Tabela 1), nota-se que as cultivares e as populações (Tabela 17) apresentavam teores adequados de fósforo ($1,2-2,0 \text{ g kg}^{-1}$), potássio ($18,0-26,0 \text{ g kg}^{-1}$), cálcio ($7,5-25,0 \text{ g kg}^{-1}$) e magnésio ($2,5-5,0 \text{ g kg}^{-1}$), mas concentrações acima do limite superior das faixas de referência de teores adequados consideradas para o nitrogênio ($23,0 - 35,0 \text{ g kg}^{-1}$) e para o enxofre ($0,2-2,0 \text{ g kg}^{-1}$) e para o potássio na população de 10000 plantas por hectare.

O nitrogênio é considerado o principal nutriente que eleva a produção do cafeeiro em sistemas de plantio com densidades convencionais (GALLO et al., 1999). Prezotti e Rocha (2004) relatam que no cafeeiro são comuns recomendações de nitrogênio cerca de 300 kg ha^{-1} , como as adotadas nesse estudo, e que a indicação do teor foliar adequado do nutriente de 30 g kg^{-1} foi conseguida com a dose de 100 kg ha^{-1} do elemento, mesmo em experimentos com espaçamentos mais abertos. O teor de nitrogênio obtido no estudo (Tabela 17), que ultrapassou o limite superior das faixas de referência de teores adequados em todas as cultivares e populações segundo diferentes autores (Tabela 1), não é por si só indicativo de alta produtividade, pois se pode observar ampla variação da concentração foliar de nitrogênio e da produtividade de cultivares em condições semelhantes (VALARINI, 2005). Gallo et al. (1999) enfatizam que em sistemas adensados e já sombreados os efeitos da adubação nitrogenada poderão ser negativos, principalmente quando houver excesso de nitrogênio nas folhas.

Os resultados encontrados (Tabela 17) concordam com os de Augusto (2000) que relatou que os espaçamentos não influenciaram a absorção de nitrogênio pelas cultivares Catuaí Vermelho IAC 44 e IAC 49, MG 1192 e UFV 3880 e com os de Prezotti e Rocha (2004) em que a variação do teor foliar de N entre 31 e 35 g kg^{-1} não foi significativa na Catuaí Vermelho com níveis de adubação nitrogenada de até 700 kg ha^{-1} para populações

menores que 10000 plantas por hectare. Prezotti e Rocha (2004) observaram que a dose inicial de 100 kg ha⁻¹ já foi suficiente para atingir teores foliares médios de 31 g kg⁻¹ mesmo na população com 20000 plantas por hectare.

O aumento do teor foliar de fósforo com a população (Tabela 17) (Figura 22) concorda com o de outros autores (AUGUSTO, 2000, BRACCINI et al., 2002, PREZOTTI; ROCHA, 2004), entretanto não houve correlação ($P > 0,05$) entre o teor foliar e o teor do elemento nas camadas 0-20 cm ($r = 0,04$) e 20-40 cm ($r = 0,18$) do solo sob as populações. Prezotti e Rocha (2004) relacionaram o resultado à possível maior umidade, proporcionada pelo maior sombreamento e maior acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo encontrada nas maiores populações de cafeeiros, maior difusão do elemento e, conseqüentemente, maior absorção pelas plantas. Por outro lado, a solubilidade de vários compostos de fósforo no solo é largamente determinada pelo pH, sendo que os fosfatos de ferro, manganês e alumínio, que possuem baixa solubilidade em água, predominam em solos ácidos (LOPES, 1989, PAVAN; CHAVES, 1996, PAVAN et al., 1999) como os do estudo (Tabela 10 e 11) (Figura 17 e 18) no momento da coleta das amostras das folhas para fins de análise química. Pavan e Chaves (1999) encontraram aumento da porcentagem da colonização de raízes por fungos micorrízicos arbusculares vesiculares com o aumento da população e conseqüente maior densidade de raízes, cuja possibilidade auxilia na explicação dos resultados relacionados à nutrição dos cafeeiros com o fósforo.

O aumento do teor foliar de potássio com o aumento da densidade de plantio (Tabela 17) (Figura 23) corrobora o de outros autores (AUGUSTO, 2000, PREZOTTI; ROCHA, 2004), o que pode ser atribuído à maior umidade do solo sob plantios adensados com conseqüente maior absorção pelos cafeeiros (PREZOTTI; ROCHA, 2004). A constatação da resposta positiva do teor foliar de potássio para o aumento da população dos cafeeiros (Tabela 17) (Figura 23) permite inferir o maior aproveitamento do potássio do solo pelos cafeeiros adensados, principalmente diante da correlação negativa ($P < 0,05$) entre o teor do elemento na folha e o da camada 0-20 cm do solo ($r = -0,54$).

Os resultados encontrados para os teores foliares de cálcio e de magnésio (Tabela 17), que não variaram com a população, concordam parcialmente com os de Augusto (2000). Esse autor relatou que o espaçamento não fez variar o teor foliar de cálcio, o que foi observado nesse trabalho com a cultivar Obafã (Tabela 18) (Figura 25), e que o teor de magnésio diminuiu com a população das cultivares Katipó e MG 6851, mas não com as demais por ele estudadas.

Os teores de cálcio da folha e do solo não se correlacionaram ($P>0,05$) em ambas as camadas do solo, o que foi observado ($P<0,05$) entre os teores de magnésio da folha e o da camada 20-40 cm do solo sob as populações ($r= -0,59$). Os elevados teores de magnésio encontrados nas folhas dos cafeeiros (Tabela 17), contrastam com os baixos valores do elemento nas camadas do solo (Tabela 13), o que sugere absorção do elemento pelo cafeeiro em regiões além de 40 cm de profundidade do solo.

Relatou-se que o aumento do espaçamento fez aumentar linearmente o teor foliar de magnésio e diminuir o de potássio, indicando antagonismo entre os dois nutrientes (AUGUSTO, 2000), o que foi confirmado nesse estudo pela correlação obtida ($P<0,01$) ($r= -0,64$) entre o potássio e o magnésio.

Considerando-se que o teor foliar dos nutrientes depende da disponibilidade dos minerais na rizosfera os resultados desse estudo confirmam a maior eficiência do uso dos recursos nutricionais pelos cafeeiros dos plantios adensados que mostraram concentração dos nutrientes nas folhas igual ou maior que aqueles sob espaçamento convencional.

5. CONCLUSÕES

1. Cultivares de cafeeiros diferem na produção trienal de café por área e por planta que são maiores no grupo de cafeeiros de porte baixo, constituído por Obatã e Catuaí Amarelo, do que no de porte alto, formado por Acaíá e Icatu Amarelo.
2. O aumento da densidade populacional de cafeeiros aumenta a produção trienal de café por área e diminui a produção de café por planta, sendo maior a produção por cafeeiro em covas com uma planta.
3. Cultivares de cafeeiro proporcionam variação nos teores de cálcio, de potássio e de matéria orgânica, respectivamente nas camadas 0-20 cm, 20-40 cm e 0-20 cm e 20-40 cm, sendo maiores os teores de cálcio e de potássio no solo do grupo das cultivares de porte alto.
4. O aumento da densidade populacional das cultivares Catuaí Amarelo e Icatu Amarelo e o plantio de dois cafeeiros por cova aumentam a matéria orgânica do solo.
5. O aumento da densidade populacional causa na camada 20-40 cm do solo maiores teores de cálcio, magnésio e maiores valores de pH, soma de bases e saturação por bases e menor acidez potencial e ocasiona na camada 0-20 cm menor teor de potássio e capacidade de troca de cátions potencial.
6. O plantio de dois cafeeiros por cova proporciona menor acidificação da camada 0-20 cm e, na camada 20-40 cm, menor acidez potencial e capacidade de troca de cátions.
7. Cultivares de cafeeiro diferem nos teores foliares de macronutrientes, exceto o de cálcio, com maiores concentrações dos elementos nas folhas das plantas do grupo de cultivares de porte alto.
8. O aumento da densidade populacional de cafeeiros proporciona maiores teores foliares de fósforo, potássio e enxofre e o plantio de dois cafeeiros por cova maiores concentrações de fósforo, cálcio e enxofre.
9. O teor foliar de cálcio aumenta com a população da cultivar Obatã.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, A. T. E.; GUERREIRO FILHO, O.; MALUF, M. P.; GALLO, P. B.; FAZUOLI, L. C. Caracterização de cultivares de *Coffea arabica* mediante utilização de descritores mínimos. **Bragantia**, Campinas, n. 63, n. 2, p. 179-192, 2004.
- ALVARENGA, A. A.; DUARTE, C. S.; GOMIDE, A. M. B. Flutuação de nutrientes nas folhas do cafeeiro (Cultivares M. N. e Catuaí) durante a frutificação e a maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 7., 1979, Araxá. **Resumos...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000. 1 CD-ROM.
- AMARAL, J. F. T. do. **Eficiência da produção de raízes, absorção, translocação e utilização de nutrientes em cultivares de café arábica**. 2002. 97f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.
- AUGUSTO, H. S. **Desempenho de variedades de café (*Coffea arabica* L.) em espaçamentos adensados**. 2000. 122 f. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.
- BACHA, C. J. C. A cafeicultura brasileira nas décadas de 80 e 90 e suas perspectivas. **Preços Agrícolas**, Piracicaba, n. 141, p.14-22, 1998.
- BARROS, U. V.; SANTINATO, R.; FIGUEIREDO, J. P.; SILVA, O. A. Plantio do cafeeiro com diferentes números de mudas simples e múltiplas. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000a. 1 CD-ROM.
- BARROS, U. V.; BARBOSA, C. M.; MATIELLO, J. B.; FAZUOLI, L. C. Comportamento de seleções de Icatu, de Sarchimor (Obatã e Tupi) e de linhagens de Catuaí, oriundos do IAC – Campinas, na Zona da Mata de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000b. 1 CD-ROM.
- BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48 p. (Boletim Técnico, 78).
- BERGMANN, W. **Nutritional disorders of plants: development, visual and analytical diagnosis**. New York: G. Fisher, 1992. 741 p.
- BRACCINI, M. C. L.; BRACCINI, A. L.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL FILHO, P. S.; ZABINI, A. V. Produção de grãos, concentração e aproveitamento de nutrientes em resposta ao aumento na densidade de plantio de cafeeiro. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1205-1211, 2002.
- BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; BRACCINI, A. L. Avaliação de linhagens de cafeeiros quanto à tolerância ao alumínio pelo método do papel-solução. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 221-226, 2000(b).

BRACCINI, M. C. L.; MARTINEZ, H. E. P.; BRACCINI, A. L.; MENDONÇA, S. M. Avaliação do pH da rizosfera de genótipos de café em resposta à toxidez do alumínio no solo. **Bragantia**, Campinas, v. 59, n. 1, p. 83-88, 2000(a).

CABALCETA, G. Corrección de desequilíbrios catiônicos (Ca, Mg, K) en un suelo cafetalero de Costa Rica. **Agronomia Costarricense**, San Jose, v. 16, n. 1, p. 145-152, 1992.

CAMARGO, A. P.; ALMEIDA, S. R. MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B. Ensaio de espaçamentos progressivos em Varginha – MG. Resultados das sete primeiras colheitas. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000a. 1 CD-ROM.

CAMARGO, A.P.; REIS, G. N.; MATIELLO, J. B. Produção de café até o sexto ano em ensaio de espaçamentos progressivos aritmeticamente entre linhas, com diferentes distâncias entre covas, em Vitória da Conquista, Ba. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12., 1985, Caxambu. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000b. 1 CD-ROM.

CARVALHO, A. Novo sistema de plantar café. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, v. 34, n. 388, p. 16-17, 1959.

CARVALHO, M. M.; SOUZA, P. Comportamento de cafeeiros em diferentes sistemas de plantio, antes e após a recepa, em Lavras, MG. CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 8., 1980, Campos de Jordão. **Resumos...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000. 1 CD-ROM.

CATANI, R. A.; PELLEGRINO, D.; ALCARDE, J. C.; GRANER, C. A. F. Variação na concentração e na quantidade de macro e micronutrientes no fruto do cafeeiro durante o seu desenvolvimento. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 24, n.1, p. 249-263, 1967.

CAVICHIOLO, J. C. **Efeitos de iluminação artificial sobre o cultivo do maracujazeiro amarelo (*Passiflora eduli Sims. F flavicarpa Deg.*)**. 1998. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1998.

CHAVES, J. C. D. **Concentração de nutrientes nas frutas e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica L. cv Catuaí*)**. 1982. 131 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

CHAVES, L. H.; LIBARDI, P. L. Lixiviação de potássio e cálcio mais magnésio influenciada pelo pH. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 19, n. 1, p. 145-148, 1995.

CORELLA, J. F.; LOPEZ, C. Respuesta del cafeto (*Coffea arabica cv Caturra*) a dosis crecientes de magnesio en un suelo de Grecia, Alajuela. **Agronomia Costarricense**, San Jose, v. 8, n. 2, p. 119-127, 1984.

CORREA, J. B.; GARCIA, A. W. R.; COSTA, P. C. Extração de nutrientes pelos cafeeiros Mundo Novo e Catuaí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13.,

1986, São Lourenço. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000. 1 CD-ROM.

CORREA, J. B.; REIS JUNIOR, R. A.; CARVALHO, J. G.; GUIMARÃES, P. T. G. Avaliação da fertilidade do solo e do estado nutricional de cafeeiros do sul do estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 6, p. 1279-1286, 2001.

EPSTEIN, E. **Nutrição mineral das plantas: princípios e perspectivas**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975. 344 p.

EVENHUIS, B.; WARD, P.W.F. **Principles and practices in plant analysis**. Rome: FAO, 1980. p. 152-163. (Soils Bulletin, 38/1).

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L.; CAMARGO, M. B. P.; CAMARGO, A. P.; GALLO, P. B.; SILVEIRA, A. P. D.; ALFONSI, E.L. Crescimento e produtividade de plantas de café e alterações químicas e biológicas do solo em plantio no espaçamento duplamente progressivo. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DE CAFÉS DO BRASIL, 3., 2003, Porto Seguro. **Anais...** Brasília: Embrapa-Café, 2003. v. 1, p. 64.

FAHL, J. I.; CARELLI, M. L. C.; GALLO, P. B.; COSTA, W. M.; NOVO, M. C. S. S. Enxertia de Coffea arabica sobre progênies de C. canephora e de C. congensis no crescimento, nutrição mineral e produção. **Bragantia**, Campinas, v. 57, n. 2, p. 297-312; 1998.

FAZUOLI, L. C. Contribuição da pesquisa para a obtenção de cultivares adaptados ao plantio adensado. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 1-45.

FAZUOLI, L. C. Genética e Melhoramento do cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO, 1., 1986, Poços de Caldas. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato e da Potassa, 1986. p. 87-113.

FENTON, G.; HELYAR, K. The role of the nitrogen and carbon cycle in soil acidification. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba, n. 98, 2002, 12 p. (Encarte Técnico).

FRANCO, C. M.; LAZZARINI, W.; CONAGIN, A.; REIS, A.; MORAES, F. R. P. Manutenção do cafezal com adubação exclusivamente mineral. **Bragantia**, Campinas, v. 19, n.1, p. 523-546, 1960.

GALLO, J. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C.; MORAES, F. R. P. Teores de nitrogênio em folhas de cafeeiro, em relação à adubação química. I. Latossolo Roxo transição para Latossolo Vermelho-Amarelo-Orto. **Bragantia**, Campinas, v. 30, n. 17, p. 169-177, 1971.

GALLO, J. R.; HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C.; MORAES, F. R. P. Levantamento de cafezais do Estado de São Paulo pela análise química foliar. Solos podzolizados de Lins e Marília, Latossolo Roxo e Podzólico vermelho Amarelo. **Bragantia**, Campinas, v. 29, tomo único, p. 237-247, 1970.

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.; TOLEDO, A. R.; GUERRA NETO, E. G.; MATA, J.M. da. Estudo de fontes e doses de magnésio no plantio e formação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000. 1 CD-ROM.

GATHAARA, M. P. H.; KIARA, J. M. Factors that influence yield in close-spaced coffee. 1. Light, dry matter production and plant water status. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 49, n. 580, p. 203-211, 1984.

GATHAARA, M. P. H.; KIARA, J. M. Factors that influence yield in close-spaced coffee. 1. Yield components. **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 50, n. 587, p. 387-392, 1985.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 8. ed. São Paulo: Livraria Nobel, 1978. 430 p.

GONÇALVES, J. C.; FRANCO, C. M. Deficiência de cálcio em cafezal do Sul de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 3., 1975, Curitiba. **Resumos...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000. 1 CD-ROM.

GUIMARÃES, P. T. G., LOPES, A. S. Solos para o cafeeiro: características, propriedades e manejo. In: SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEEIRO, 1., 1986, Poços de Caldas. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa do Fosfato e da Potassa, 1986. p.115-156.

HIROCE, R. Diagnose foliar em cafeeiro. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J.A. (Ed.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato, 1981. p. 117-137.

HIROCE, R.; BATAGLIA, O. C.; MORAES, F.R.P.; GALLO, J. R.; LAUN, C. R. P. Relações entre os teores de macronutrientes, boro e zinco das folhas do cafeeiro e as produções. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 27, n. 4, p. 390-399, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, p. 1-70. Disponível em <<http://ibge.gov.br/home/estatística/indicadores/agropecuária>>. Acessado em: 8 fev. 2008.

JONES JUNIOR, J. B.; WOLF, B.; MILLS, H. A. **Plant analysis handbook**. Athens: Micro-Macro, 1991. 213 p.

KUMAR, D. Investigation into some physiological aspects of high density planting of coffee (*Coffea arabica* L.). **Kenya Coffee**, Nairobi, v. 43, n. 510, p. 263-272, 1978.

KÜPPER, A. Fatores climáticos e edáficos na cultura cafeeira. In: MALAVOLTA, E.; YAMADA, T.; GUIDOLIN, J.A. (Coord.). **Nutrição e adubação do cafeeiro**. Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato/ Instituto Internacional da Potassa, 1981. p. 27-53.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2000. 531 p.

LAZZARINI, W.; MORAES, F. R. P. de; CERVellini, G. S.; TOLEDO, S. V.; FIGUEIREDO, J. I.; REIS, A. J.; CONAGIN, A. FRANCO, C. M. Cultivo do cafeeiro em

latossolo Vermelho-amarelo a região de Batatais, SP. **Bragantia**, Campinas, v. 34, n. 1, p. 229-240, 1975.

LOPES, A. S.; SILVA, M. C.; GUILHERME, L. R. G. **Acidez do solo e calagem**. 3. ed. São Paulo: ANDA, 1990. 22 p. (Boletim Técnico, 1).

LOPES, A. S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo: ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251 p.

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE DO CAFEIEIRO, 1., 1986. Poços de Caldas. **Anais...** Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa do Fosfato e da Potassa, 1986. p. 165-264.

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

MALAVOLTA, E.; DANTAS, J. P.; ROMERO, J. P.; NOGUEIRA, F. D. Estudo sobre a nutrição mineral do cafeeiro: relação entre o cálcio e a produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 5., 1977, Guarapari. **Resumos...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000. 1 CD-ROM.

MALAVOLTA, E.; FAVARIN, J. L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C. P.; HEINRICH, R.; SILVEIRA, J. S. M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, 2002.

MALAVOLTA, E.; MOREIRA, A. Nutrição e adubação do cafeeiro adensado. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 80, p. 1-8, 1997. (Encarte Técnico).

MALAVOLTA, E.; FERNANDES, D. R.; CASALE, H.; ROMERO, J. P. Seja doutor do seu cafezal. **Informações Agronômicas**, Campinas, n. 64, p. 1-13, 1993.

MALAVOLTA, E.; GRANER, E. A.; SARRUGE, J. R.; GOMES, L. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro: extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades Bourbon Amarelo, Caturra Amarelo e Mundo Novo. **Turrialba**, San José, v. 13, n. 2, p. 188 – 189, 1963.

MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O. F. Nutrição mineral (e adubação) do cafeeiro: lavouras tradicionais, adensadas, irrigadas, arborizadas e orgânicas. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 1., 2000, Poços de Caldas. **Resumos Expandidos...** Poços de Caldas: Embrapa Café, 2000. p. 331-353. (Palestra).

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T. G. Relações entre os teores foliares de nutrientes e a produção do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) submetido a doses de calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 4, p. 856-863, 1999 (a).

MARQUES, E. S.; FAQUIN, V.; GUIMARÃES, P. T.G. Teores foliares de nutrientes no cafeeiro em resposta a calcário e gesso. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 1, 140-151, 1999 (b).

MARTINEZ, H. E. P.; MENEZES, J. F. S.; SOUZA, R. B.; VENEGAS, V. H. A.; GUIMARÃES, P. T. G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 6, p. 703 – 717, 2003.

MATTIELO, J. B. **Gosto do meu cafezal**. Rio de Janeiro: Globo, 1997. 139 p.

MELO, B.; MARCUZZO, K. V.; TEODORO, R. E. F.; CARVALHO, H. P.; GONÇALVES, M. V. Concentrações de macronutrientes em folhas de cafeeiro em função de fontes e doses de fósforo, em solo de cerrado em Patrocínio, MG. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 21, n. 2, p. 47 –57, 2005.

MENARD, L. N.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. VII. Interação entre fósforo e ferro em cafeeiro (*Coffea arabica* L. var. Caturra KMC) cultivado em solução nutritiva. **Anais da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**, Piracicaba, v. 19, n.1, p. 23-33, 1962.

MIGUEL, A. E.; GARCIA, A. W. R.; MARTINS, M.; FIORAVANTE, N. Efeito de 3 níveis de adubação N e K em cafeeiros Mundo Novo, Catuaí e Catimor, plantados em duas densidades de plantio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 10., 1983, Poços de Caldas. **Anais...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000a. 1 CD-ROM.

MIGUEL, A. E.; ALMEIDA, S. R.; MATIELLO, J. B.; CARVALHO, S. P. Efeito da redução do espaçamento entre plantas na linha, em cultivares Catuaí Vermelho e Mundo Novo plantados no sistema adensado a convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 13., 1986, Araxá. **Anais...** São Paulo: Sonopress-Rimo, 2000b. 1 CD-ROM.

MILLS, H. A.; JONES JUNIOR, J. B. **Plant analysis handbook II**. 2. ed. Athens: Micro-Macro, 1996. 422 p.

MIRANDA, J.; COSTA, L. M.; RUIZ, H. A.; EINLOFT, R. Composição química da solução de solo sob diferentes coberturas vegetais e análise de carbono orgânico solúvel no deflúvio de pequenos cursos de água. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 4, p. 633-647, 2006.

MORAES, F. R. P.; LAZZARINI, W.; TOLEDO, S. V.; CERVELLINI, G. S.; FUJIWARA, M. Fontes e doses de nitrogênio na adubação química do cafeeiro. I- Latossolo roxo transição para latossolo vermelho-amarelo, orto. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 1, p. 63-77, 1976.

MORAES, F. R. P.; GALLO, J. R.; IGUE, T.; FIGUEIREDO, J. J. Efeito de três fertilizantes acidificantes sobre a concentração de alumínio e de manganês em folhas e raízes do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 38, n. 2, p. 7-17, 1979.

MOTTA, A. C. V.; NICK, J. A.; YORINORI, G. T.; SERRAT, B. M. Distribuição horizontal e vertical da fertilidade do solo e das raízes do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cultivar Catuaí. **Acta Scientiarum Agronômica**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 455-463, 2006.

NACIF, A. P. de. **Fenologia e produtividade do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) cv Catuaí sob diferentes densidades de plantio e doses de fertilizantes no cerrado de Patrocínio-MG.** 1997. 124 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1997.

PAULO, E. M. **Comportamento de cultivares de cafeeiro submetidas a diferentes densidades de plantio.** 2002. 133 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

PAVAN, M. A. Estratificação da acidez do solo devido à adubação nitrogenada em pomares estabelecidos da macieira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 14, n. 2, p. 135-138, 1992.

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, 1., 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 87-106.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D., ANDROCIOLO FILHO, A. Produção de café em função da densidade de plantio, adubação e tratamento fitossanitário. **Turrialba**, San José, v. 44, n.4, p. 227-231, 1994.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLO FILHO, A.; COLOZZI FILHO, A.; BALOTA, E. L. High coffee population density to improve fertility of an oxisol. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n.3, p. 459-465, 1999.

PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D.; SIQUEIRA, R. A.; ANDROCIOLO FILHO, A. **Cultura do cafeeiro: o sistema de plantio adensado e a melhoria da fertilidade do solo.** Informações Agronômicas, Piracicaba, n. 80, p.1-7, 1997. (Encarte Técnico)

PRADO, H.; TREMOCOLDI, W. A.; MENK, J. R. F. **Levantamento pedológico detalhado do Pólo Regional de Desenvolvimento Tecnológico dos Agronegócios da Alta Paulista, Adamantina (SP).** Campinas: Instituto Agronômico, 2003. 27 p. (Série Pesquisa APTA/ Boletim Científico; 10).

PRADO, R. M.; NASCIMENTO, V. M. **Manejo da adubação do cafeeiro no Brasil.** Ilha Solteira: UNESP/FEIS, 2003. 274 p.

PREZOTTI, L. C.; ROCHA, A. C. Nutrição do cafeeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 63, n. 2, p. 239-251, 2004.

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. 170 p.

RAIJ, B. van. **Avaliação da fertilidade do solo.** Piracicaba: Instituto da Potassa & Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1981. 142 p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônomo, Fundação IAC, 1997. 285 p. (Boletim Técnico 100).

RAIJ, B. van; COSTA, W. M. da; IGUE, T.; SERRA, J. R. M.; GUERREIRO, G. Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 55, n. 2, p. 347-355, 1996.

REIS JUNIOR; R.A.; MARTINEZ, H. P. Adição de zinco e absorção, translocação e utilização de Zn e P por cultivares de cafeeiro. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 3, p. 537-542, 2002.

REIS, A.R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S.; ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência do cafeeiro em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n.1, p.163-171, 2006.

RENA, A. B; NACIF, A. 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. 71-70, 1998.

RENA, A. B.; NACIF, A. P.; GONTIJO, P. T. G.; PEREIRA, A. A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL. SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 72-85.

REUTER, D. J.; ROBINSON, J. B. **Plant analysis: an interpretation manual** 2. ed. Melbourne: Inkata, 1988. 218p.

RIVERA, R. Densidad de plantación y aprovechamiento del fertilizante nitrogenado en el cultivo del café, variedad Caturra, sobre suelos ferralíticos rojos compactados. **Cultivos Tropicales**, Havana, v. 12, n. 3, p. 5-8, 1991.

SANTINATO, R.; MATIELLO, J. B., SILVA, V. A., CARVALHO, R. Espaços hiper, super e adensado na rua e na linha de plantio para cafeeiros resistentes a ferrugem, variedades Icatu 2944 e Catucaí – Produções até a 5^a safra. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000a. 1 CD-ROM.

SANTINATO, R.; SOROAGGI, R.; CORREIA, J. P., FERNANDES, A. L. T. Espaço na rua e na linha para a cultivar Icatu cultivado em solo de cerrado com mecanização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000b. 1 CD-ROM.

SANTINATO, R.; SANTO, J. E.; FERNANDES, A. L. T.; ALVARENGA, M.A. Competição de variedades comerciais no oeste baiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000c. 1 CD-ROM.

SANTINATO, R.; SERTÓRIO, R.; SILVA, V. A.; CARVALHO, R. Estudos de espaçamento e podas de erradicação para cafeeiros superadensado, adensado e renque das variedades Catuaí, Catucaí e Icatu em região montanhosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000d. 1 CD-ROM.

SANTO, J. O. E. Ensaio com linhagens de *Coffea arabica* de porte baixo na região de Jequitinhonha-MG – Resultados preliminares. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

SANTOS, E. H. Comparação entre análise química do solo de café adensado e do café normal: orientação aos agricultores sobre a melhor forma de se obter maior produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

SAS INSTITUTE. **User's guide**: statistical analysis system institute. 5th ed.. North Carolina: Cary, 1996. 956p.

SCARANARI, H. J., NOGUEIRA NETO, P. Efeito da densidade de plantio sobre a produção de café. Mundo Novo. **Bragantia**, Campinas, v. 22, n. 29, p.373-382, 1963.

SERA, T.; GUERREIRO, A. Novas seleções de café (*Coffea arabica* L.) para plantio adensado. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, 1., 1994, Londrina. **Anais...** Londrina: IAPAR, 1996. p. 295-296.

SERTÓRIO, R.; SANTINATO, R.; SILVA, V. A.; CARVALHO, R. Comportamento do Icatu 2945 em competição com variedades comerciais de Catuaí e Mundo Novo nas condições de Pinhal. – SP – Fase de Formação e produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

SILVA, C. A.; MELO, L. C. A.; RANGEL, O. J. P.; GUIMARÃES, P. T. G. Produtividade do cafeeiro e atributos da fertilidade de latossolo sob influência de adensamento da lavoura e manejo da calagem. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 5, p. 1066-1076, 2004.

SILVA, E. B.; NOGUEIRA, F. D.; GUIMARÃES, P. T. G.; MALTA, M. R. Níveis críticos de K e S no solo em função de doses de e fontes de K em dois locais de cultivo do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000a. 1 CD-ROM.

SILVA, V.A.; MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; CARVALHO, R. Competição entre a cultivar Catuaí Vermelho IAC-144 com Icatu 2944, Mundindu seleção Caratinga/Varginha e Catucaí L 36/6 – seleção Campinas – em diferentes espaçamentos de linha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000b. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A.; CARAMORI, P. H.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Efeito de oito densidades de plantio na produtividade de três cultivares de café (*Coffea arabica* L.) e do híbrido Icatu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16, 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A.; PAVAN, M. A.; CHAVES, J. C. D. Densidade de plantio, poda dos primeiros ramos e produção de duas cultivares de café e do híbrido Icatu. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 7, p. 763-769, 1983.

THEODORO, V. C. A.; ALVARENGA M. I. N.; GUIMARÃES, R. J.; SOUZA, C. A. S. Alterações químicas em solo submetido a diferentes formas de manejo do cafeeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 1039-1047, 2003.

THEODORO, V. C. A. **Caracterização de sistemas de produção de café orgânico, em conversão e convencional**. 2001. 214f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Departamento de Agricultura, Universidade federal de Lavras, Lavras, 2001.

THOMAZIELLO, R. A.; FAZUOLI, L. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; FAHL, J. I.; CARELLI, L. C. C. **Café arábica: cultura e técnicas de produção**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2000. 82 p. (Boletim Técnico, 187).

TOLEDO, A. R.; MIGUEL, A. E.; MATIELLO, J. B. Combinação de densidades de plantio com sistemas de podas no cultivar Mundo Novo – Acaiá, em Varginha-MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 20., 1994, Guarapari. **Trabalhos apresentados...**São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

URIBE, H. A., MESTRE, M. A. Efecto de la densidad de población y de la disposición de los árboles en la producción de café. **CENICAFÉ**, Colômbia, v. 39, n. 2, 31-42, 1988b.

URIBE, H. A., MESTRE, M. A. Efecto de la distancia de siembra y del numero de plantas por hoyo sobre la producción de café (*Coffea arabica* L. var. Caturra). **CENICAFÉ**, Colombia, v. 39, n. 1, p. 15-27, 1988a.

VALARINI, V. **Demanda de macronutrientes pelas folhas e frutos em cultivares de café arábica de porte baixo**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo, Campinas, 2005.

VALÊNCIA, A. G.; ARCILA, P. G. Efecto de la fertilización com NPK a três niveles en la composición mineral de las hojas del cafeto. **CENICAFÉ**, Colômbia, v. 28, n.4, p. 119-138, 1977.

VEGRO, C. L. R.; MARTIN, N. B.; MORICOCHI, L. Sistemas de produção e competitividade da cafeicultura paulista. **Informações econômicas**, São Paulo, v. 30, n. 6, p. 7-44, 2000.

VIANA, A. S.; CAMARGO, A. P; FREIRE, D. Efeito de espaçamentos progressivos na produção de café por cova e por área. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS

CAFEEIRAS, 11., 1984, Londrina. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

VIANA, A. S.; GARCIA, A. W. R.; CORREA, J. B. Estudo de níveis e relações N/K na formação de cafeeiros em solo LEIII. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13., 1986, São Lourenço. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

VIANA, A. S., MATIELLO, J. B., MATA, J. M. Níveis de adubação NPK em cafeeiros Mundo Novo e Catuaí, com 1 e 2 mudas por cova – Dados conclusivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 17., 1991, Varginha. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

VIANA, A. S.; GARCIA, A. W. R. Estudo sobre calagem complementar em cafezal, em solo LEed fase cerrado, em áreas com seis níveis de calagem calcítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Trabalhos apresentados...** São Paulo: Sonopress-Rimo Indústria e Comércio Fonográfico, 2000. 1 CD-ROM.

Anexo 1 – Temperaturas médias máximas e mínimas mensais de cada ano do período experimental.

| Ano | Jan | Fev | Mar | Abr | Mai | Jun | Jul | Ago | Set | Out | Nov | Dez |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temperatura Máxima (°C) | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | 32,2 | 30,4 | 31,9 | 29,4 | 27,3 | 27,7 | 29,2 | 32,9 | 31,4 | 29,8 | 31,9 | 31,6 |
| 1996 | 31,7 | 32,3 | 30,8 | 30,5 | 27,5 | 25,6 | 26,9 | 30,3 | 29,0 | 31,4 | 31,2 | 32,0 |
| 1997 | 30,7 | 31,9 | 31,4 | 29,6 | 27,1 | 24,0 | 28,1 | 30,0 | 34,0 | 31,1 | 31,6 | 33,2 |
| 1998 | 33,8 | 32,6 | 32,6 | 29,9 | 27,0 | 26,1 | 29,3 | 28,8 | 28,2 | 30,1 | 32,7 | 32,2 |
| 1999 | 32,1 | 32,5 | 32,1 | 30,2 | 27,2 | 26,9 | 28,5 | 30,9 | 31,5 | 33,0 | 32,0 | 33,2 |
| 2000 | 33,1 | 31,3 | 30,6 | 31,1 | 28,0 | 29,5 | 25,3 | 29,8 | 28,8 | 34,4 | 33,5 | 32,8 |
| Temperatura Mínima (°C) | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | 21,6 | 21,0 | 19,7 | 17,0 | 14,8 | 14,4 | 16,0 | 16,8 | 16,7 | 17,1 | 19,4 | 20,1 |
| 1996 | 21,2 | 21,3 | 20,8 | 18,6 | 15,9 | 12,5 | 11,4 | 16,2 | 16,3 | 19,4 | 19,4 | 21,6 |
| 1997 | 21,5 | 21,7 | 19,2 | 16,8 | 14,2 | 13,3 | 13,9 | 14,7 | 18,5 | 18,3 | 20,7 | 21,1 |
| 1998 | 21,7 | 21,4 | 19,9 | 18,3 | 17,4 | 13,9 | 13,0 | 16,6 | 16,5 | 18,1 | 17,9 | 20,0 |
| 1999 | 20,7 | 20,5 | 19,7 | 15,7 | 12,8 | 13,3 | 14,7 | 13,6 | 16,4 | 17,3 | 17,4 | 20,5 |
| 2000 | 21,2 | 21,6 | 21,0 | 17,1 | 14,1 | 15,3 | 9,9 | 15,2 | 17,5 | 20,0 | 20,8 | 21,3 |
| Precipitação Pluvial (mm) | | | | | | | | | | | | |
| 1995 | 263,8 | 237,6 | 182,9 | 35,4 | 49,2 | 22,2 | 19,6 | 0 | 44,6 | 138,0 | 150,2 | 334,8 |
| 1996 | 240,4 | 237,5 | 110,6 | 63,6 | 73,9 | 13,8 | 2,4 | 17,2 | 107,9 | 80,2 | 187,5 | 99,4 |
| 1997 | 304,7 | 141,6 | 97,8 | 40,4 | 88,2 | 240,8 | 28,0 | 1,5 | 127,6 | 104,8 | 235,2 | 79,3 |
| 1998 | 88,3 | 106,3 | 306,3 | 141,1 | 73,4 | 13,0 | 2,6 | 134,0 | 103,6 | 89,6 | 74,7 | 180,7 |
| 1999 | 316,1 | 137,8 | 139,3 | 63,4 | 42,8 | 55,2 | 12,3 | 0 | 36,3 | 12 | 50,4 | 244,1 |
| 2000 | 89,8 | 196,0 | 277,4 | 34,1 | 24,3 | 13,7 | 40,8 | 70,5 | 170,5 | 41 | 85,9 | 143,2 |