



Bragantia

ISSN: 0006-8705

editor@iac.sp.gov.br

Instituto Agronômico de Campinas

Brasil

Prezotti, Luiz Carlos; da Rocha, Aledir Cassiano
Nutrição do cafeiro arábica em função da densidade de plantas e da fertilização com NPK
Bragantia, vol. 63, núm. 2, 2004, pp. 239-251
Instituto Agronômico de Campinas
Campinas, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90863209>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS

NUTRIÇÃO DO CAFEEIRO ARÁBICA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE DE PLANTAS E DA FERTILIZAÇÃO COM NPK⁽¹⁾

LUIZ CARLOS PREZOTTI⁽²⁾; ALEDIR CASSIANO DA ROCHA⁽³⁾

RESUMO

Embora aumente a produtividade por área, o adensamento reduz a produção por planta, eleva sua eficiência de recuperação de nutrientes, o que contribui para a redução da quantidade de fertilizantes a ser aplicada por planta. O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do cafeiro arábica à aplicação de N (100, 300, 500 e 700 kg.ha⁻¹ de N), P (0, 60, 120 e 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅) e K (100, 300, 500 e 700 kg.ha⁻¹ de K₂O), cultivados em diferentes densidades de plantio (3.333, 5.000, 10.000 e 20.000 plantas por hectare). Com base em informações obtidas em cinco produções, não foram observadas diferenças significativas de produtividade em função da densidade de plantas. A resposta em produtividade do café arábica às doses de N, P e K foi variável nos diversos espaçamentos, com maior freqüência de resultados positivos a N e P e menos expressivos para K. Os teores foliares de N e P foram pouco influenciados pelas doses de N e P₂O₅. Os teores foliares de K foram fortemente influenciados pelas doses de K₂O. Cafeiros submetidos ao sistema de cultivo adensado apresentaram maiores teores foliares de P e K, quando comparados àqueles cultivados em espaçamento mais largo. Os solos sob cultivo adensado, quando comparados a solos sob cultivos mais largos, apresentaram variações em suas características químicas, sendo mais evidente a redução do teor de H + Al.

Palavras-chave: café, nutrição, adubação, adensamento, análise de solo.

ABSTRACT

COFFEE NUTRITION AS A FUNCTION OF PLANT DENSITY AND NPK FERTILIZATION

Although increasing in productivity, high-density tree planting provides reduction of the production per plant, increases the efficiency of recovery of nutrients by plants, and can contributes to the reduction of the amount of fertilizers to be applied per plant. Due to evaluate the answer of coffee tree plants (*Coffea arabica* L.) to N (100, 300, 500 e 700 kg.ha⁻¹ of N); P (0, 60, 120 and 180 kg.ha⁻¹ of P₂O₅) and K (100, 300, 500 and 700 kg.ha⁻¹ of K₂O) application, on work was carried out in a coffee cultivated at four densities (3,333; 5,000; 10,000 and 20,000 plants/ha). Database obtained at five harvests showed no significant differences of productivity as function of planting densities. Answers in productivity were obtained more strongly related to N and P doses. Answers to K application were less expressive. N and P foliar levels

⁽¹⁾ Trabalho recebido para publicação em 28 de junho de 2002 e aceito em 19 de fevereiro de 2004.

⁽²⁾ Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural - Solos e Nutrição de Plantas, 29375-000 Venda Nova do Imigrante (ES). E-mail crdrcserrano@incaper.es.gov.br

⁽³⁾ Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural - Fitotecnia.

were little influenced by the doses of N and P₂O₅ applied by soil each year. K foliar levels were strongly influenced by the doses of K₂O. Foliar levels of N and K were highest in coffee high-density tree when compared with those cultivated in wider spacing. The major variation on chemical soil characteristics was the highest levels of reduction on H+Al observed in coffee high-density tree coffee.

Key words: Arabic coffee, high density, fertilization, nitrogen, phosphorus, potassium, soil analysis.

1. INTRODUÇÃO

Diversas práticas culturais têm sido utilizadas para se aumentar a produtividade da cultura do café. Entretanto, nenhuma tem sido tão eficiente quanto ao aumento da população de plantas por unidade de área, ou seja, o uso de plantios adensados.

Até o advento do adensamento das lavouras de café, predominavam as recomendações de adubação por cova. Assim, pequenas variações na população de plantas pouco influenciavam a quantidade a ser aplicada por hectare. Atualmente, com o aumento considerável da densidade de plantas por área, a simples multiplicação da quantidade de fertilizantes a ser aplicado por planta pelo número de plantas por área tornou-se inadequada, superestimando as recomendações. Essa relação não é verdadeira, pois com o aumento da densidade, há redução da produção por planta, tanto de biomassa de frutos como vegetativa (folhas, ramos, caule e raiz) em vista da competição entre elas. Outro fator a ser considerado é que, com o aumento da densidade de raízes e mais umidade do solo, proporcionada pela maior cobertura do solo, ocorre aumento da eficiência de recuperação de nutrientes pelas plantas, contribuindo para reduzir a quantidade de fertilizantes a ser aplicada à lavoura. Esse fato foi confirmado por PAVAN et al. (1990), PAVAN et al. (1991) e PAVAN et al. (1994), quando obtiveram maior produtividade de lavouras adensadas com níveis médios de adubação, ao passo que, em lavouras plantadas em espaçamentos mais largos, o aumento da produção foi obtido com maiores níveis de fertilização.

Dados obtidos por esse autor mostram as alterações químicas e físicas do solo causadas pelo adensamento do cafeiro: aumento do pH, dos teores de Ca, Mg, K, P e Carbono Orgânico, índice de estabilidade de agregados e na umidade do solo.

Mesmo para o sistema de plantio não adensado, são citados na literatura, resultados contrastantes, com relação à resposta do cafeiro à fertilização com macro e micronutrientes. Na maioria dos casos, observa-se efeito positivo da fertilização com NPK. Entretanto, diversos trabalhos têm demonstrado pouca ou nenhuma resposta à aplicação desses nutrientes.

SANZONOWICZ et al. (2001) trabalhando com doses de N em solo de Cerrado, observaram que o N não influenciou a flutuação anual da produção, proporcionando acréscimo de 35,9% na produção de grãos. Não houve alteração dos teores foliares desse elemento.

RAIJ et al. (1996) trabalhando com N e K, obtiveram resposta negativa à aplicação de K em solos com teores iniciais de 78 mg·dm⁻³ e 109 mg·dm⁻³ de K. A maioria das respostas ao nitrogênio, embora não muito acentuadas, foram positivas, sendo negativa apenas no biênio 91/92 no município de Mandaguari. Observou-se pequena influência das adubações com N e K nos teores foliares desses elementos.

GALLO et al. (1999), estudando a resposta do cafeiro a NPK, observaram efeito depressivo na produção para os três nutrientes.

GARCIA (1999) realizou estudo para determinar a saturação de potássio para o cafeiro em solos com diferentes valores de CTC. A variação da saturação de K na CTC do solo de 0 para 12% proporcionou modificações dos teores de K foliar de 1,56 a 1,90 dag·kg⁻¹ na cultivar Acaíá e de 2,12 a 2,28 dag·kg⁻¹ em 'Mundo Novo'. Não houve diferenças estatísticas na produção. Os teores de 130 mg·dm⁻³ (4% de K na T) no solo de CTC média e 180 mg·dm⁻³ (4,5 % na T) no solo de CTC alta, segundo os autores, foram suficientes para o suprimento do elemento à cultura.

VIANA et al. (1987), avaliando a resposta do cafeiro a N e K, observaram resposta linear a N (dose máxima de 400 kg·ha⁻¹ de N) e quadrática a K, concluindo que a adubação potássica apenas propiciou ganho na produção, quando o solo se apresentava com menos de 138 mg·dm⁻³ de K (Mehlich-1).

SILVA et al. (1998) sugerem, para o cafeiro, o nível crítico de 100 mg·dm⁻³ de K pelo extrator Mehlich-1.

Buscando explicar as variadas respostas do cafeiro à fertilização potássica, SILVA et al. (1997) demonstraram que, mesmo em solos com alto grau de intemperização, existem reservas de potássio não-trocável que podem atender a médio e longo prazo a demanda parcial do cafeiro por esse nutriente.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a resposta do cafeiro aos nutrientes N, P e K, quando cultivado em diferentes densidades de plantio.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos quatro experimentos com as seguintes densidades de plantas: 3.333 plantas por ha (3 m x 1 m); 5.000 plantas por ha (2 m x 1 m); 10.000 plantas por ha (2 m x 0,5 m) e 20.000 plantas por ha (1 m x 0,5 m).

Os experimentos foram instalados na Fazenda Experimental do Instituto Capixaba de Pesquisa Assistência Técnica e Extensão Rural (INCAPER), no município de Venda Nova do Imigrante (ES), a 720 m de altitude, em solo LVd₃ (Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, relevo montanhoso e forte ondulado), representativo da região de café Arábica do Estado do Espírito Santo. As características químicas do solo são apresentadas na Tabela 1.

Foi utilizada a cultivar Catuaí Vermelho, plantada em covas de 40 cm x 40 cm x 40 cm (uma muda por cova). A adubação até o primeiro ano e os tratos culturais dos experimentos seguiram as recomendações publicadas no Manual Técnico para a Cultura do Café no Estado do Espírito Santo (COSTA, 1995). Após esse período, foram aplicados os tratamentos: 100, 300, 500 e 700 kg.ha⁻¹ de N; 0, 60, 120 e 180 kg.ha⁻¹ de P₂O₅; 100, 300, 500, e 700 kg.ha⁻¹ de K₂O. Como fonte de N, P₂O₅ e K₂O, utilizou-se uréia (45% de N), superfosfato triplo (45% de P₂O₅) e cloreto de potássio (60% de K₂O).

As doses indicadas foram aplicadas anualmente, sendo P fornecido de uma só vez, por ocasião do primeiro parcelamento. N e K foram parcelados em três vezes, durante o período chuvoso (setembro a março).

Tabela 1. Características químicas do solo da Fazenda Experimental de Venda Nova do Imigrante, utilizado para a realização dos experimentos

Espaçamento m	Profundidade cm	pH	P	K	Ca	Mg	Al	H+Al	S	CTC	V	MO
3 x 1	0 - 20	5,0	4	89	1,6	0,5	0,9	7	2,33	9,33	24,96	2,5
	20 - 40	4,8	1	47	0,5	0,2	1,4	5	0,82	5,82	14,10	1,5
2 x 1	0 - 20	5,2	3	100	2,4	0,9	0,5	6	3,56	9,56	37,21	2,9
	20 - 40	5,0	1	72	1,0	0,3	1,3	7	1,48	8,48	17,50	1,9
2 x 0,5	0 - 20	5,3	3	78	3,0	1,0	0,1	4	4,20	8,20	51,22	2,6
	20 - 40	5,1	1	43	1,7	0,6	0,5	4	2,41	6,41	37,60	1,5
1 x 0,5	0 - 20	5,2	4	76	2,2	0,7	0,3	4	3,09	7,09	43,62	2,0
	20 - 40	5,0	1	46	1,2	0,4	0,7	3	1,72	4,72	36,41	1,3

O esquema experimental foi o fatorial fracionado ½ (4 x 4 x 4), totalizando 32 tratamentos, dispostos no delineamento de blocos casualizados com duas repetições. As parcelas foram constituídas por 36 plantas, sendo as 10 plantas centrais consideradas como úteis. As variáveis observadas foram: produtividade e teores de nutrientes no solo e nas folhas. Os dados foram analisados por regressão, sendo citadas as significâncias das regressões e dos modelos até o nível de 20% de probabilidade.

A amostragem do solo foi retirada na projeção da copa do cafeiro, à profundidade de 0 a 20 cm. Foram realizadas as seguintes determinações: pH em água, P, K, Al, Ca, Mg e MO. As análises seguiram o método proposto pela EMBRAPA (1997). A amostragem foliar foi realizada, coletando-se o 4º par-

de folhas de ramos produtivos, na altura mediana da planta e nos quatro quadrantes. Foram feitas análises de macro e micronutrientes, segundo o método proposto por BATAGLIA et al. (1983)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A influência dos diferentes espaçamentos sobre a produtividade de café arábica pode ser observada na Tabela 2.

Mesmo apresentando uma diferença de produção de 11,3 sc.ha⁻¹ entre os espaçamentos 3 m x 1 m e 2 m x 1 m, não houve diferença significativa entre as médias de produtividade dos experimentos.

Tabela 2. Produtividade de café arábica em função do plantio em diferentes espaçamentos

Espaçamento m	Ano					Média
	1997	1998	1999	2000	2001	
3 x 1	20,0	22,7	33,0	11,9	38,0	25,1 a
2 x 1	28,7	36,7	50,2	11,1	55,3	36,4 a
2 x 0,5	28,0	21,8	46,5	6,3	44,6	29,4 a
1 x 0,5	35,0	18,8	79,0	10,1	38,5	36,3 a
Média	27,9	25,0	52,2	9,9	44,1	31,8

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si (Duncan - 5%).

Analizando-se as tendências, observa-se que a maior produtividade foi obtida em lavouras com espaçamento de 2 m x 1 m e 1 m x 0,5 m. Embora tenham obtido o mesmo nível de produtividade, os cafeeiros plantados no espaçamento de 1 m x 0,5 m apresentaram efeito marcante da bianualidade, principalmente de 1999 para 2000 com produtividade de 79 sc.ha⁻¹ e 10,1 sc.ha⁻¹ respectivamente. Esse efeito foi menos marcante no espaçamento de 2 m x 1 m.

As equações lineares múltiplas da produção de café arábica em função de doses de N, P₂O₅ e K₂O para os diversos anos e espaçamentos encontram-se na Tabela 3. Na safra de 1997 não se observou acréscimo de produção com as doses de N, visto que nos espaçamentos de 2 m x 1 m e 2 m x 0,5 m a resposta foi negativa. Observou-se acréscimo de produção com as doses de P nos espaçamentos de 2 m x 1 m e 1 m x 0,5 m.

Resposta positiva ao K somente se notou no espaçamento 3 m x 1 m, quando as interações NK, PK e NP apresentaram efeitos e tendências variados. Pelo intercepto das equações, observa-se que a safra de 1998 foi um ano de baixas produções, obtendo-se resposta positiva a N em todos os espaçamentos. O mesmo foi notado para P, com exceção do espaçamento de 1 m x 0,5 m. É interessante observar a interação NK influenciando negativamente a produção em todos os espaçamentos, com exceção em 2 m x 0,5 m.

Na safra de 1999 houve resposta a N e P em todos os espaçamentos. Resposta positiva a K somente se notou no espaçamento 2 m x 1 m. Na safra de 2000, respostas positivas a N se observaram nos espaçamentos 3 m x 1 m e 2 m x 1 m. Não se observou resposta positiva a P. Aumento de produção com as doses de K foi observada nos espaçamentos de 2 m x 1 m e 2 m x 0,5 m. As interações apresentaram comportamento diverso.

Na safra de 2001, a resposta positiva a N e P somente não foi observada no espaçamento de 3 m x 1 m, que respondeu exclusivamente ao K e à interação NP.

A influência do adensamento na resposta do café arábica à aplicação de N, P e K pode ser observada na Tabela 4, em que foram correlacionados os coeficientes angulares do efeito linear para N, P e K das equações apresentadas na Tabela 3, com a média de produtividade obtida nas safras de 97/98/99/00/01 (Tabela 2). Houve aumento progressivo dos coeficientes de correlação para N nos espaçamentos mais estreitos, indicando maior resposta a esse nutriente em sistemas mais adensados. Esse mesmo efeito observou-se para P e para a interação NK.

Os coeficientes de correlação para K foram progressivamente menores à medida que se reduziu o espaçamento, indicando menor resposta a K em sistemas mais adensados.

As interações NP e PK não permitiram correlações em razão do reduzido número de ocorrência nas diversas equações.

Objetivando avaliar o efeito da bianualidade do cafeiro arábica na resposta à aplicação de N, P e K, foram relacionados, na Tabela 5, as equações lineares múltiplas da produtividade em função de doses dos nutrientes para os anos cuja produtividade foi inferior a 30 sc.ha⁻¹ (anos de baixa produção) e superiores a 30 sc.ha⁻¹ (anos de alta produção).

Nos anos de baixa produtividade, houve resposta linear positiva ao N em todos os espaçamentos, com exceção de 2 m x 0,5 m, cuja resposta à aplicação de N se deu quando aplicado juntamente com o K. A resposta ao K foi negativa no espaçamento 3 m x 1 m e 2 m x 0,5 m, linear positiva em 2 m x 1 m, e quadrática em 1 m x 0,5 m, sendo a dose de 227 kg.ha⁻¹ de K₂O responsável por 90% da produção máxima.

Tabela 3. Equações lineares múltiplas da produção (sc.ha⁻¹) de café arábica (Prod.) em função de doses (kg.ha⁻¹) de N, P₂O₅ (P) e K₂O (K) para os diversos anos e espaçamentos

Ano	Espaçamento	Equação ⁽¹⁾	R ²
m			
1997	3 x 1	Prod = 18,833 + 0,008832 K - 0,0000146 NK	0,211 ^(3,22)
1997	2 x 1	Prod = 30,537 - 0,0277 N + 0,0000315 N ² + 0,1102 P - 0,000437 P ² - 0,00005084 PK	0,193 ^(NS)
1997	2 x 0,5	Prod = 37,347 - 0,02189 N - 0,02357 K + 0,0000645 NK - 0,00004077 PK	0,201 ^(17,97)
1997	1 x 0,5	Prod = 29,148 + 0,1367 P - 0,0007 P ² + 0,000067 NP	0,171 ^(14,81)
1998	3 x 1	Prod = 18,715 + 0,01228 N + 0,02617 P - 0,00002038 NK	0,143 ^(NS)
1998	2 x 1	Prod = 15,334 + 0,03799 N + 0,0739 P + 0,031 K - 0,00008039 NK	0,273 ^(6,30)
1998	2 x 0,5	Prod = 9,4257 + 0,02438 N + 0,0295 P	0,257 ^(1,35)
1998	1 x 0,5	Prod = 7,18 + 0,02179 N - 0,01974 P + 0,05142 K - 0,0000499 K ² - 0,00003343 NK	0,197 ^(NS)
1999	3 x 1	Prod = 24,974 + 0,0251 N + 0,0182 P - 0,00005753 NK	0,115 ^(NS)
1999	2 x 1	Prod = 14,762 + 0,0823 N - 0,0000554 N ² + 0,1327 P + 0,0629 K - 0,000081 NK - 0,000277 PK	0,355 ^(6,72)
1999	2 x 0,5	Prod = 27,803 + 0,0987 N - 0,00009968 N ² + 0,04765 P - 0,03049 K + 0,00005044 NK	0,388 ^(1,94)
1999	1 x 0,5	Prod = 49,487 + 0,0731 N + 0,1885 P - 0,01544 K - 0,0002931 NP	0,372 ^(1,59)
2000	3 x 1	Prod = 29,444 + 0,0206 N - 0,04278 P - 0,01208 K + 0,000112 PK	0,294 ^(4,49)
2000	2 x 1	Prod = 15,687 + 0,02445 N + 0,02029 K - 0,00004181 NK	0,181 ^(12,77)
2000	2 x 0,5	Prod = 32,401 - 0,0281 N + 0,00003375 N ² + 0,06557 P - 0,0001875 P ² + 0,02235 K - 0,0000214 K ² + 0,00001045 NK - 0,00006642 PK	0,419 ^(8,12)
2000	1 x 0,5	Prod = 12,885 - 0,04033 N + 0,0003336 N ² + 0,06159 P - 0,0004384 P ² + 0,02849 K - 0,0004555 K ² + 0,00002831 NK	0,281 ^(NS)
2001	3 x 1	Prod = 31,540 + 0,0501 K - 0,0000399 K ² + 0,0000997 NP	0,289 ^(4,89)
2001	2 x 1	Prod = 29,646 + 0,09027 N - 0,00008122 N ² + 0,1527 P + 0,02611 K - 0,0001544 NP - 0,00003262 NK - 0,0001899 PK	0,373 ^(9,08)
2001	2 x 0,5	Prod = 24,107 + 0,07263 N - 0,00009539 N ² + 0,04973 P + 0,06742 K - 0,00009531 K ²	0,349 ^(3,79)
2001	1 x 0,5	Prod = 24,787 + 0,01954 N + 0,03524 P + 0,04326 K - 0,00006947 K ²	0,232 ^(11,63)

(¹) Significativo ao nível de 20% de probabilidade (p < 0,2).

Os valores sobrescritos entre parêntesis correspondem ao nível de significância expresso em porcentagem.

Tabela 4. Correlação entre os coeficientes angulares do efeito linear para N, P e K das equações da Tabela 3 com a média de produtividade obtida nas safras de 97/98/99/00/01 da Tabela 2

Espaçamento	N	P	K	NK
3 x 1	0,33	-0,98	1,00	-0,997
2 x 1	0,73	0,61	0,52	-0,29
2 x 0,5	0,87	0,79	-0,02	0,74
1 x 0,5	0,89	0,76	-0,82	1,00

Nos anos de alta produtividade foram observadas respostas quadráticas a N nos espaçamentos de 3 m x 1 m, 2 m x 1 m e 2 m x 0,5 m, sendo as doses de 323 kg.ha⁻¹, 441 kg.ha⁻¹ e 282 kg.ha⁻¹ de N responsáveis por 90% da produção máxima. No espaçamento de 1 m x 0,5m a resposta a N e P foi linear positiva e linear negativa para K. No espaçamento de 2 m x 0,5 m a resposta ao K foi quadrática, sendo a dose de 141 kg.ha⁻¹ de K₂O responsável por 90% da produção máxima.

As interações NP, NK e PK influenciaram a produção do café arábica de maneira diversa, sendo observada maior freqüência de resposta negativa da interação NK. A alta freqüência de equações de regressão lineares positivas nos anos de baixa produtividade é indicativo da maior exigência de N

pelo cafeeiro neste período, o que se atribui à necessidade de reconstituição da biomassa vegetativa da planta, afetada pelo maior carreamento dos nutrientes para os frutos em anos de alta produção.

Na literatura, são freqüentes os trabalhos que demonstram respostas a N (CARVAJAL, 1984; RAI et al., 1996; GALLO et al., 1999; GARCIA, 2002). Ressalta-se a necessidade de correlações da resposta do cafeeiro ao nitrogênio e os teores de matéria orgânica do solo. Embora seja conhecida a baixa resposta do cafeeiro ao fósforo, observou-se neste trabalho aumento médio de produção de 12%.

Esse valor é semelhante ao de 15% obtido por URIBE (1980) e de 16% obtido por GALLO et. al (1999).

Tabela 5. Equações lineares múltiplas da produção (sc.ha⁻¹) de café arábica (Prod) em função das doses (kg.ha⁻¹) de N, P₂O₅ (P) e K₂O (K) para os diversos espaçamentos para anos de baixa e alta produção

Espaçamento	Produtividade ⁽¹⁾	Equação ⁽²⁾	R ²
m			
3 x 1	Baixa	Prod = 19,1866 + 0,00662 N - 0,022 K + 0,0000257 K ²	0,151 (0,19)
	Alta	Prod = 23,711 + 0,03586 N - 0,00003953 N ² + 0,0478 K - 0,00004264 K ² + 0,00007609 NP - 0,00004494 NK	0,274 (0,19)
2 x 1	Baixa	Prod = 14,0466 + 0,01417 N + 0,01190 K - 0,00002887 NK	0,114 (ns)
	Alta	Prod = 22,479 + 0,0588 N - 0,00003711 N ² + 0,1016 P + 0,04055 K - 0,00006467 NK + 0,0001617 PK	0,440 (0,01)
2 x 0,5	Baixa	Prod = 18,100 - 0,009609 K + 0,00002797 NK	0,243 (0,01)
	Alta	Prod = 19,141 + 0,09579 N - 0,00009754 N ² + 0,04869 P + 0,04876 K - 0,00007292 K ²	0,335 (0,04)
1 x 0,5	Baixa	Prod = 7,7293 + 0,007309 N + 0,03893 K - 0,00004776 K ² - 0,00004728 NK	0,183 (ns)
	Alta	Prod = 41,084 + 0,02386 N + 0,04799 P - 0,01031 K	0,364 (0,00)

⁽¹⁾ Considerou-se 30 sc.ha⁻¹ como o limite entre alta e baixa produtividade. ⁽²⁾ Significativo a 20% de probabilidade (p < 0,2). Os valores sobrescritos entre parêntesis correspondem ao nível de significância expresso em porcentagem.

Corroborando com os dados obtidos neste trabalho, de modo geral, a resposta do cafeiro ao potássio é bastante controvertida, quando se observam os trabalhos apresentados na literatura. Alguns apresentam respostas expressivas e outros, pequenas ou mesmo ausência de resposta (MIGUEL et al., 1983; RAJU et al., 1996; BARROS et al., 1997; GALLO et al., 1999). Os teores iniciais de potássio dos solos utilizados neste trabalho variaram de 76 a 100 mg.dm⁻³, sendo comuns em solos da região serrana do Estado do Espírito Santo. Mesmo assim, a resposta ao potássio foi pouco expressiva, o que não seria de se esperar, uma vez que o nível crítico de produção preconizado para a cultura do café está na faixa de 200 mg.dm⁻³ (DE MUNER e PREZOTTI, 2001). Resultados semelhantes foram obtidos por GALLO et al. (1999) com solos do município de Mococa (SP), embora os teores iniciais de fósforo e potássio dos solos fossem muito elevados (22 mg.dm⁻³ de P resina e 214 mg.dm⁻³ de K).

A maioria das justificativas para a ausência de resposta está nos elevados teores iniciais de potássio dos solos utilizados para o desenvolvimento dos experimentos. Entretanto, é necessário maior aprofundamento na busca de explicações para esse fato. Análises das diferentes formas de K no solo, além da forma trocável, poderia ser importante informação, pois alguns tipos de solos contêm minerais como, por exemplo, as micas, que possuem potássio em sua estrutura, em forma não disponível para as plantas. Com a redução da concentração de potássio próximo às raízes do cafeiro, esse nutriente pode ser liberado dessa estrutura, tornando-se então disponível e contribuindo para a nutrição das plantas. SILVA et al. (1997) demonstraram que, mesmo em solos com alto grau de intemperização, existem reservas de potássio não-trocável que podem atender a médio e longo prazo a demanda parcial do cafeiro por esse nutriente.

Foram realizadas análises conjuntas dos teores de nutrientes foliares e do solo em função das doses de N, P₂O₅ e K₂O para cada safra e espaçamento. Entretanto, assim como a produtividade, os resultados mostraram-se variáveis, não apresentando uniformidade das respostas, o que dificulta a visualização das tendências. Desse modo, optou-se pela apresentação das análises de regressão dos teores foliares de N, P e K em função de doses de N, P₂O₅ e K₂O, para os diferentes espaçamentos, considerando-se a média dos teores de cada nutriente nas safras de 1997 a 2001 (Figura 1).

Observaram-se aumentos dos teores foliares de N somente nos experimentos com espaçamentos 2 m x 1 m (0,04 dag.kg⁻¹ para cada 100 kg de N) e 1 m x 0,5 m (0,03 dag.kg⁻¹ para cada 100 kg de N). Para o cafeiro, são comuns recomendações de N próximas

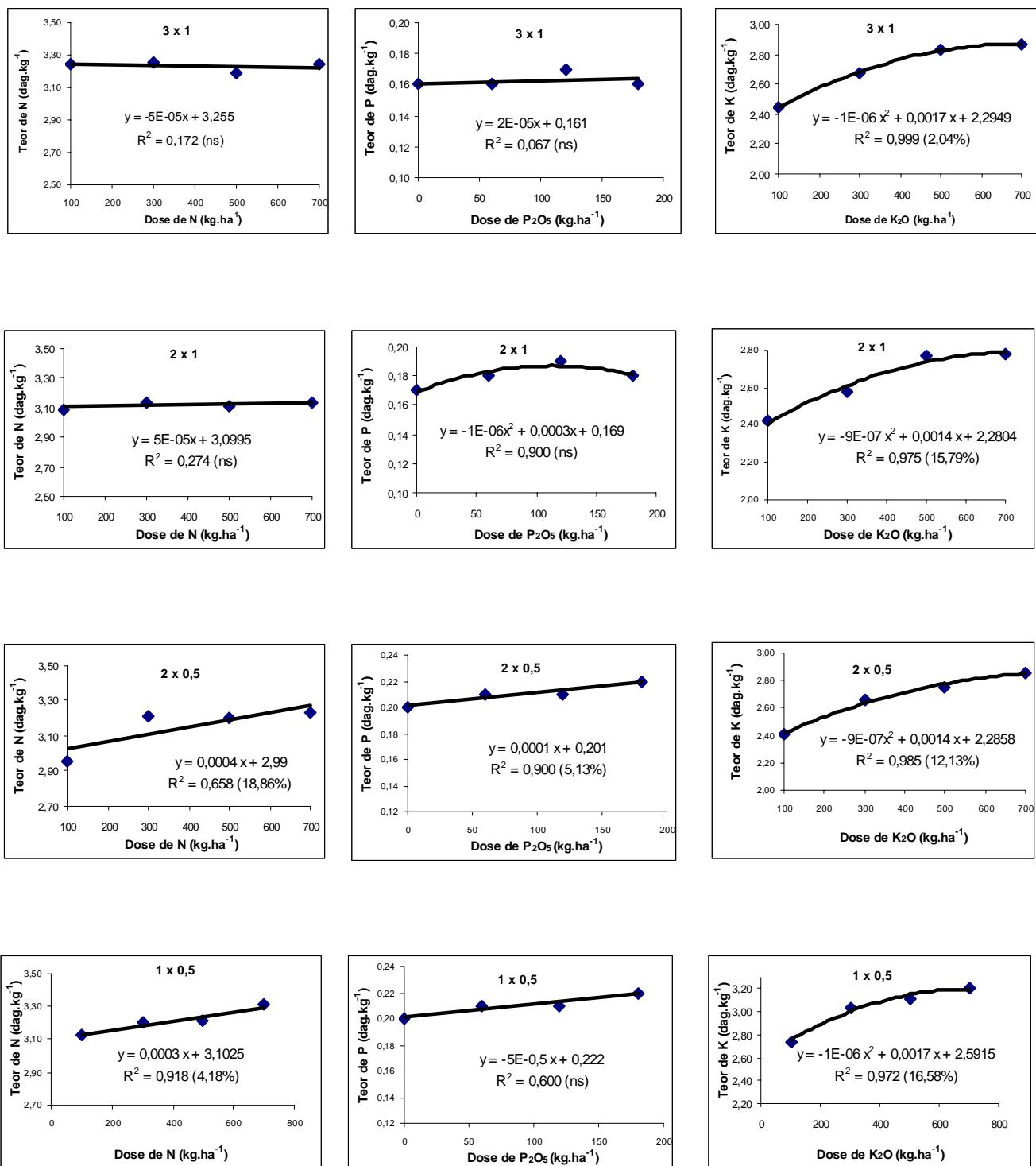
a 300 kg.ha⁻¹ e indicação de teores foliares de 3 dag.kg⁻¹ de N como adequado. Entretanto, observou-se neste trabalho que a dose inicial de 100 kg.ha⁻¹ foi suficiente para atingir teores foliares médios de 3,1 dag.kg⁻¹, mesmo em experimentos com espaçamentos mais abertos. Ressalta-se aqui a necessidade de acrescentar, em trabalhos dessa natureza, o tratamento sem a aplicação do elemento, para que seja possível determinar o potencial de suprimento do solo e a correlação dessa informação com outras variáveis que possam influenciar a disponibilidade desse nutriente, como por exemplo, o teor de matéria orgânica do solo.

O aumento do teor foliar de P somente foi significativo no tratamento com espaçamento de 2 m x 0,5 m (0,1 dag.kg⁻¹ para cada 100 kg de P₂O₅). Os teores foliares de K foram fortemente influenciados pelas doses de K₂O, com acréscimos de até 0,17 dag.kg⁻¹ para cada 100 kg de K₂O.

Importante informação obtida neste trabalho pode ser observada na Figura 2, em que plantas submetidas ao sistema adensado apresentam maiores teores de P e K, quando comparadas àquelas cultivadas em espaçamentos mais abertos. Uma possível explicação para esse fato está na maior umidade do solo, proporcionada por mais sombreamento e maior acúmulo de biomassa vegetal na superfície do solo. Assim, há maior difusão desses elementos no solo, principalmente de P e consequentemente maior absorção pelas plantas. Caso este fato seja comprovado por outros trabalhos, ficará então evidenciada a necessidade de inclusão da variável "população de plantas" em estudos de determinação dos níveis críticos foliares desses elementos. Não se observou, porém, variação do teor de N com o aumento da densidade de plantas. O aumento dos teores de P e K no solo, detectado em amostras retiradas na projeção de copa do cafeiro, em função das doses de P₂O₅ e K₂O e seu efeito cumulativo com o passar dos anos (1999 para 2001) pode ser visualizado na Figura 3. Observa-se que, mesmo nas parcelas onde não se aplicou fósforo, há elevação de seu teor no solo, principalmente nas lavouras mais adensadas.

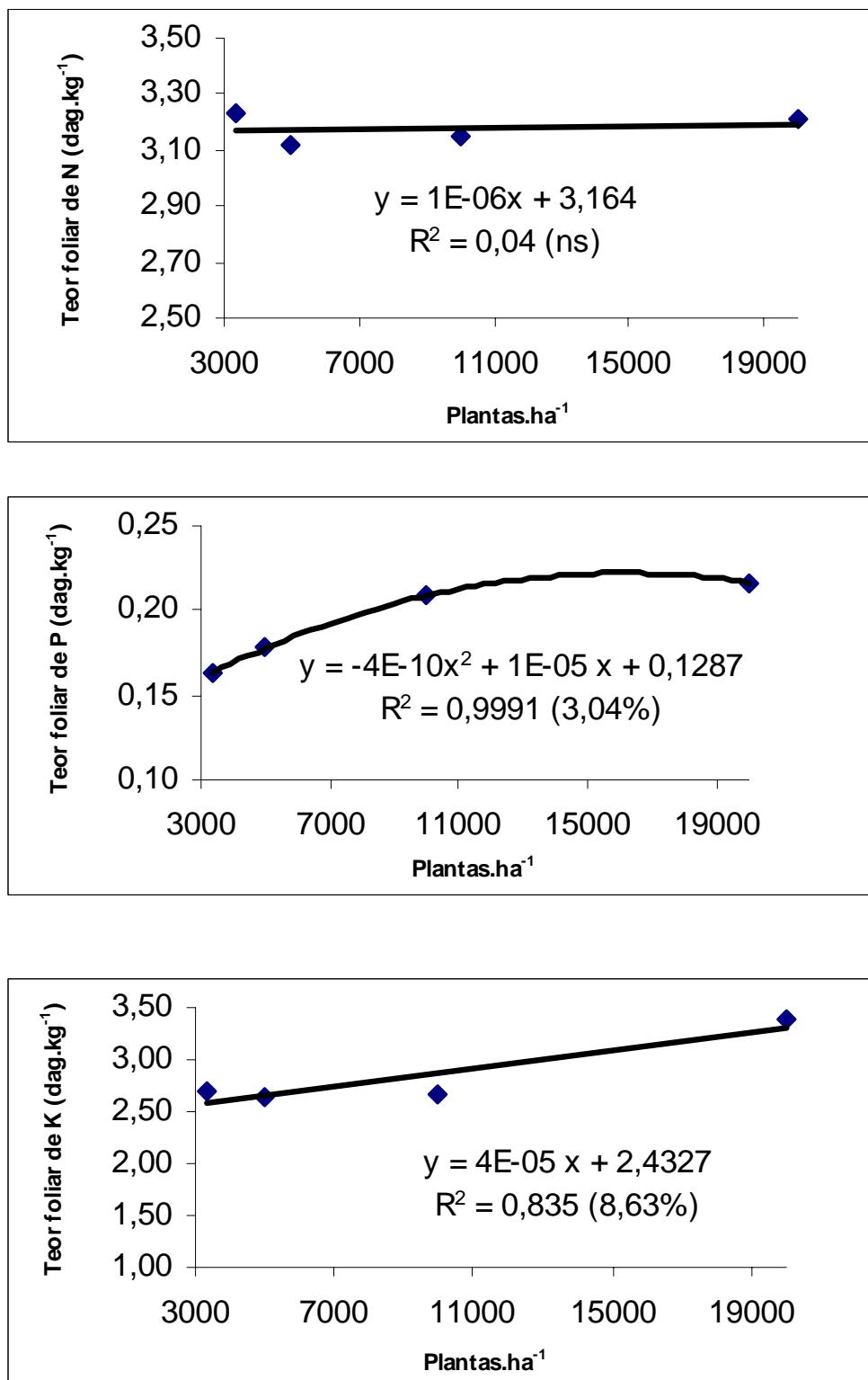
Certamente, esse aumento é atribuído a maior acúmulo de matéria orgânica na superfície do solo, contribuindo tanto no aspecto quantitativo do elemento quanto no fenômeno da solubilização do P por enzimas e ácidos orgânicos. Esse mesmo argumento pode ser utilizado para explicar a influência da população de plantas sobre as características químicas do solo, conforme dados apresentados na Tabela 6.

Das variáveis analisadas, as que apresentaram maior tendência de variação foram o H + Al (significativo a 9,41% de probabilidade) e pH, Al e V apesar de não-significativos (Figura 4). Esse fenômeno também foi observado por PAVAN et al. (1994).



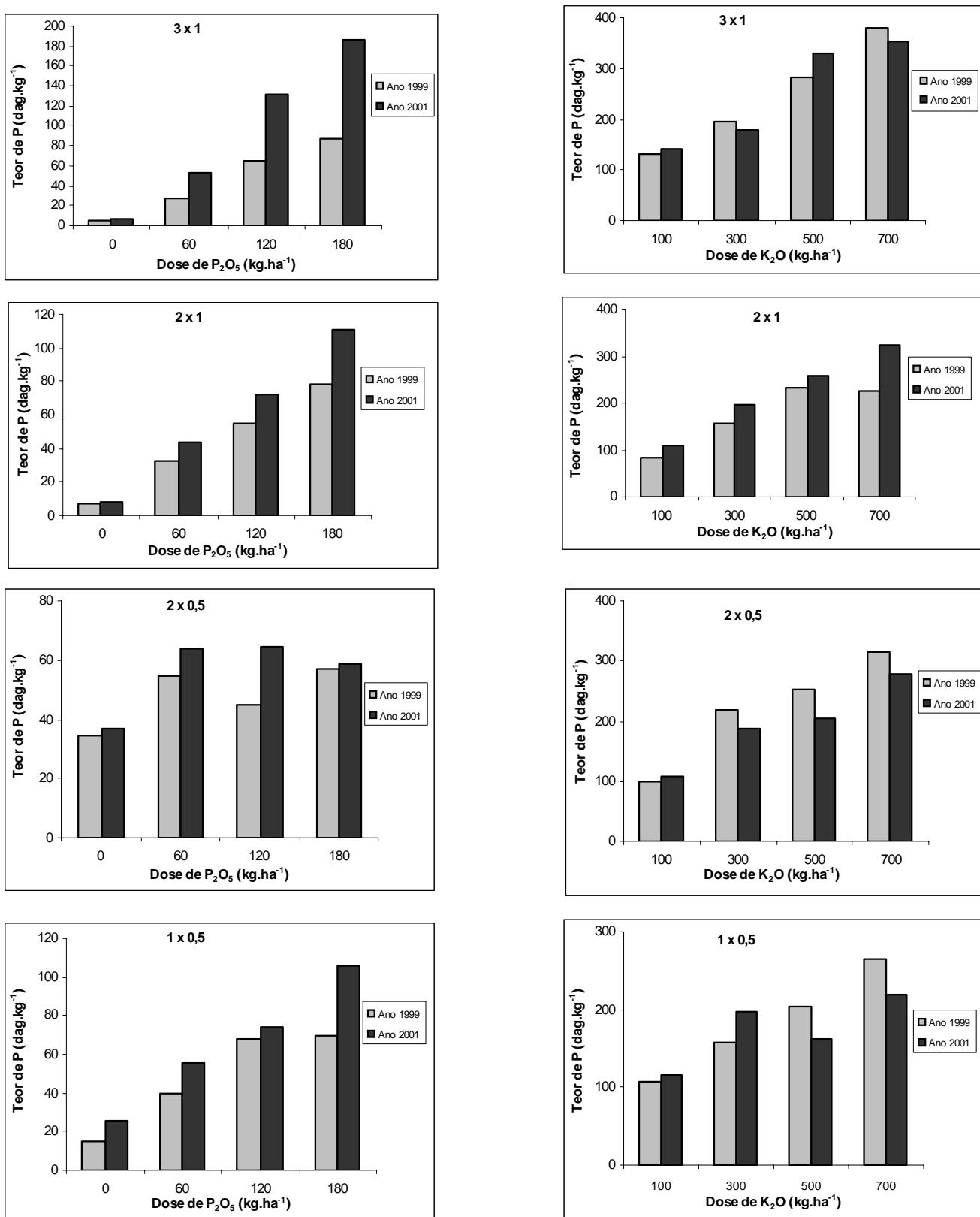
Obs: Os valores porcentuais entre parênteses indicam o nível de probabilidade da regressão.
Níveis de probabilidade acima de 20% são indicados como não-significativos (ns).

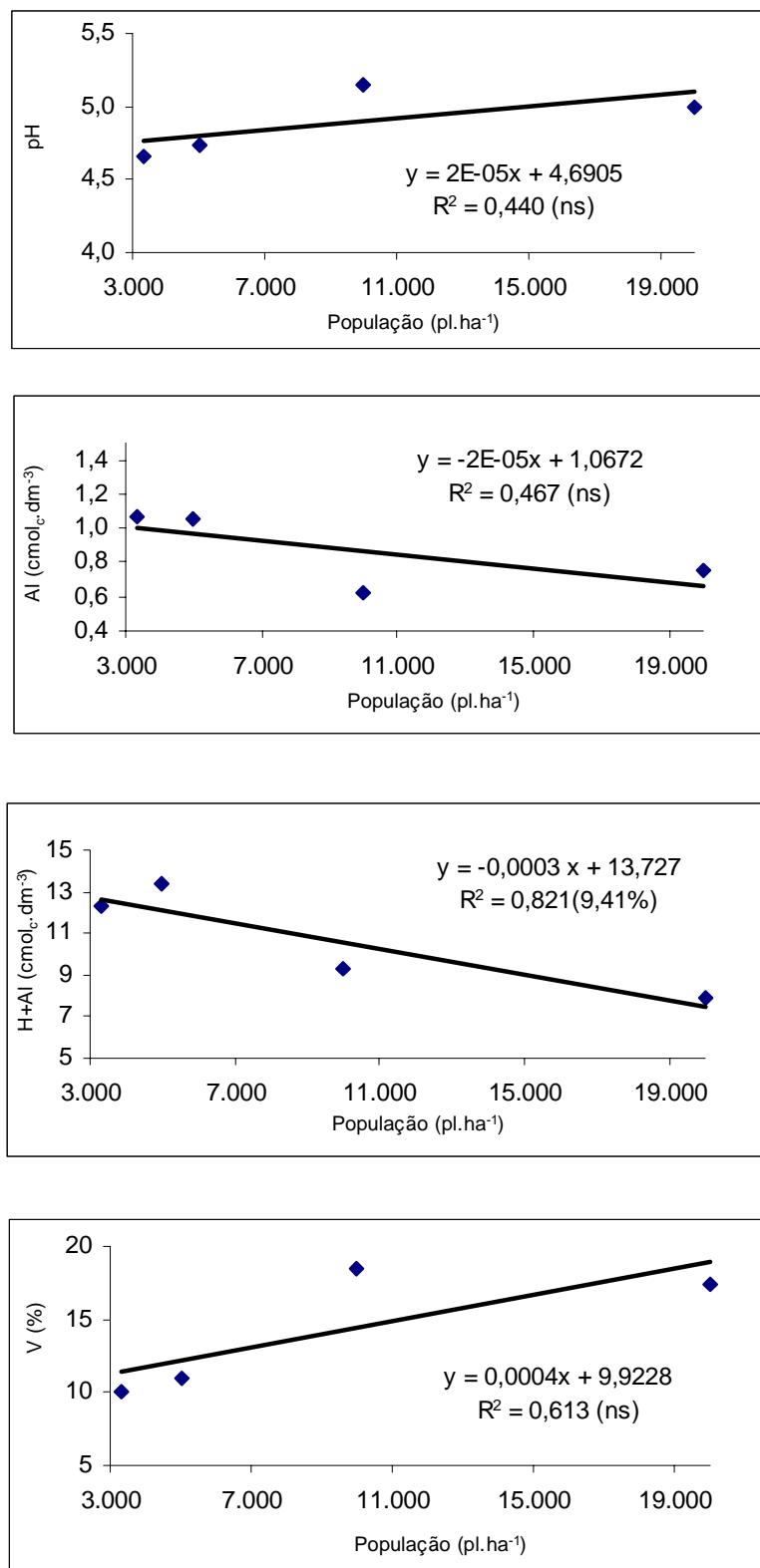
Figura 1: Teor foliar de N, P e K em função da dose de N, P₂O₅ e K₂O para cafeeiros nos diferentes espaçamentos (média das safras de 2000 e 2001).



Obs: Os valores porcentuais entre parênteses indicam o nível de probabilidade da regressão.
 Níveis de probabilidade acima de 20% são indicados como não-significativos (ns).

Figura 2: Teor foliar de N, P e K em cafeeiros em função da população de plantas (média das safras de 2000 e 2001).

Figura 3. Teor de P e K no solo em função das doses de P₂O₅ e K₂O nos anos de 1999



Obs: Os valores porcentuais entre parênteses indicam o nível de probabilidade da regressão.

Figura 4: Influência da população de cafeeiros no pH, teor de Al, $\text{H}+\text{Al}$ e saturação em bases do solo.

Tabela 6. Composição química do solo em função da densidade de plantas

Variável ⁽¹⁾	Ano	População (plantas por hectare)			
		3.330	5.000	10.000	20.000
pH	1999	4,66	4,73	5,15	5,00
	2001	5,09	6,53	5,09	5,10
P	1999	46,09	44,94	50,12	48,09
	2001	94,78	58,69	57,44	84,00
K	1999	247,53	177,45	221,06	183,31
	2001	250,94	219,19	195,38	171,20
Ca	1999	0,51	0,93	1,20	0,90
	2001	0,79	1,35	1,23	0,97
Mg	1999	0,17	0,25	0,29	0,25
	2001	0,13	0,26	0,23	0,23
Al	1999	1,07	1,05	0,62	0,75
	2001	1,01	0,77	0,78	0,79
H + Al	1999	12,33	13,43	9,28	7,86
	2001	7,73	7,72	6,94	6,27
SB	1999	1,32	1,64	2,05	1,62
	2001	1,59	2,18	1,97	1,63
CTC	1999	13,65	15,07	11,33	9,50
	2001	9,32	9,90	8,90	7,89
V	1999	10,08	10,98	18,40	17,40
	2001	17,25	22,11	21,74	20,84
M.O.	1999	1,78	2,27	2,03	1,57
	2001	1,82	2,56	2,10	1,80

⁽¹⁾ P e K: mg.dm⁻³; Ca, Mg, Al, H+Al, SB, CTC e V: cmol_c.dm⁻³ e M.O.: dag.kg⁻¹.

4. CONCLUSÕES

1. Não foram observadas diferenças significativas de produtividade em função da densidade de plantas.

2. No espaçamento 1 m x 0,5 m observou-se maior efeito da bianualidade da produção.

3. Houve aumento progressivo da intensidade de resposta ao N, P e à interação NK com o adensamento da cultura. Para o K as respostas foram progressivamente menores com o adensamento.

4. Observou-se maior exigência a N em anos de baixa produtividade.

5. Os teores foliares de N e P foram pouco influenciados pelas doses de N e P₂O₅. Os teores foliares de K foram fortemente influenciados pelas doses de K₂O.

6. Cafeeiros submetidos ao sistema de cultivo adensado apresentaram maiores teores foliares de P

e K quando comparados àqueles cultivados em espaçamento mais largos.

7. Os solos sob cultivo adensado, quando comparados a solos sob cultivos mais largos, apresentaram variações em suas características químicas, sendo mais evidente a redução do teor de H + Al.

REFERÊNCIAS

BARROS, U.V.; MATIELLO, J.B.; BARBOSA, C.M. Níveis de nitrogênio e potássio para a formação e produção do cafeiro adensado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. *Anais...* Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1997. p.50-51.

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. 48p. (Boletim Técnico, 78).

- CARVAJAL, J.F. **Cafeto**: Cultivo y fertilizacion. 2.ed. Bern, Switz: Instituto Internacional de la Potassa, 1984. 254p.
- COSTA, E.B. **Manual técnico para a cultura do café no Estado do Espírito Santo**. Vitória: SEAG, 1995. 163p.
- DE NUNER, L. H.; PREZOTTI, L. C. Recomendação de adubação para o cafeiro arábica. In: **Manual de Recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo**. 4.^a aproximação, 2001. Vitória: SEAG, 2001. p.118-121.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Documentos,1)
- 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. Determinação da saturação de potássio ideal para a cultura do cafeiro (*Coffea arabica* L.) em solos com diferentes valores para a capacidade de troca catiônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 25., 1999, Franca. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1999. p.329-330.
- GARCIA, A.W.R.; SILVA, E.B.; GUIMARÃES, P.T.G.; NOGUEIRA, F.D.; JAPIASSÚ, L.B.; FURTINI NETO, A. E. Adubação de nitrogênio, fósforo e potássio em cafeeiros (*Coffea arabica* L.) em sistema de plantio adensado. In: Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras, 28; 2002, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p.83-84.
- MIGUEL, A.E.; GARCIA, A.W.R.; CORREA, J.B. ; FIORAVANTE, N. Doses e parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para a formação e produção do cafeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 10; 1983, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1983. p.352-355.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; ANDROCIOLI FILHO, A. Produtividade do cafeiro em função de algumas práticas culturais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 16; 1990, Espírito Santo do Pinhal. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1990. p.80-87.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D.; SIQUEIRA, R.; ANDROCIOLI FILHO, A. Manejo da densidade populacional de cafeeiros como fator melhorador da fertilidade do solo e produtividade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 17., 1991, Varginha. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1991. p.20-24.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.D. ; ANDROCIOLI FILHO, A. Produção de café em função da densidade de plantio adubação e tratamento fitossanitário. **Turrialba**, Costa Rica, v.44, n.4, p.227-231, 1994.
- RAIJ, B. van.; COSTA, V. M.; IGUE, T.; SERRA, J.R.M. ; GUERREIRO, G. Calagem e adubação nitrogenada e potássica para o cafeiro. **Bragantia**, Campinas, v.55, n.2, p.347-355, 1996.
- SANZONOWICZ, C.; SAMPAIO, F.B.R.; NAZARENO, R.B.; TOLEDO, P.M.R.; SILVA, D.T.M. Fonte, doses e modos de aplicação de nitrogênio na produção do cafeiro em solo de cerrado. In: SIMPÓSIO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2001. p.169-170.
- SILVA, V.A.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G. ; MARCHI, G. Determinação do potássio em frações texturais de um latossolo roxo cultivado com cafeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23., 1997, Manhuaçu. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1997. p.163-164.
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G.; MALTA, M.R. Níveis críticos de K e S no solo em função das doses de fontes de K em dois locais de cultivo do cafeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. p.266-268.
- URIBE, A. Efecto de la densidad de plantación (problación) y el sistema de manejo sobre la producción de café. **Cenicafe**, Caldas, v.31, n.1, p.29-51, 1980.
- VIANA, A.S.; GARCIA, W.R.; LACERDA, M.P. ; MATTA, J.M. Níveis e relação de N/K em cafezais plantados em espaçamento 2 x 1 m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14., 1987, Campinas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1987. p.170-174.