

**FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA
PRODUÇÃO E QUALIDADE DO CAFÉ
PROVENIENTE DE PLANTAS CULTIVADAS
EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

ENILSON DE BARROS SILVA

1999

11/11/11

000000

ENILSON DE BARROS SILVA

**FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DO
CAFÉ PROVENIENTE DE PLANTAS CULTIVADAS EM DUAS
CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do curso de Doutorado em Agronomia, área de concentração em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do grau de "DOUTOR".

Orientador

Dr. Francisco Dias Nogueira

LAVRAS
MINAS GERAIS
1999

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

Silva, Enilson de Barros

Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do café proveniente de
plantas cultivadas em duas condições edafoclimáticas / Enilson de Barros Silva. --
Lavras : UFLA, 1999.

105 p. : il.

Orientador: Francisco Dias Nogueira.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Café. 2. Potássio. 3. Fonte. 4. Dose. 5. Produção. 6. Qualidade. 7. Faixa
crítica. 8. Nutriente. 9. Solo. 10. Folha. 11. HPLC. 12. Ácido clorogênico I.
Universidade Federal de Lavras. II. Título

CDD-633.73893

ENILSON DE BARROS SILVA

**FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO E QUALIDADE DO
CAFÉ PROVENIENTE DE PLANTAS CULTIVADAS EM DUAS
CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Lavras como parte das exigências do curso de
Doutorado em Agronomia, área de concentração
em Solos e Nutrição de Plantas, para obtenção do
grau de “DOUTOR”.

APROVADA em 27 de agosto de 1999

Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães

EPAMIG

Prof. Antonio Eduardo Furtini Neto

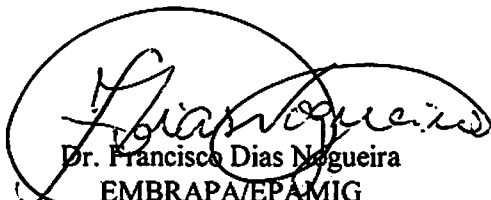
UFLA

Profª Vânia Déa de Carvalho

UFLA

Profª Vany Perpétua Ferraz

UFMG


Dr. Francisco Dias Nogueira
EMBRAPA/EPAMIG
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

Ao Senhor meu Deus, presente
em todos os momentos,

OFEREÇO

À minha esposa Francisca,
Aos meus filhos Júnia e Mateus (*in memoriam*)
Aos meus pais José e Carmelina,
com carinho e amor
DEDICO.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo, pela oportunidade de participar do curso de Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais - EPAMIG, pelo apoio e liberação para a realização do curso, à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais - FAPEMIG e ao Consórcio Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento do Café - CBP&D - CAFÉ, pelo patrocínio dos projetos de pesquisa.

Ao Dr. Francisco Dias Nogueira, pela orientação, amizade e incentivo na realização deste curso.

Ao Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães, Prof. Antônio Eduardo Furtini Neto e Profª Vânia Déa de Carvalho, pelas sugestões apresentadas e à Profª Vany Perpétua Ferraz, pela amizade e treinamento analítico em "HPLC".

Aos funcionários da EPAMIG da Fazenda Experimental de São Sebastião do Paraíso, em especial aos Srs. Juracy de Oliveira Júnior e Homero Gomes Lemos, e também aos funcionários da Fazenda Experimental de Patrocínio, em especial ao Eng. Agr. Walter Antônio Adão e aos Técnicos Agrícolas Lázaro Marques dos Reis e Jaime Aparecida Silva, pelo apoio na condução do experimento e coleta de dados.

Aos pesquisadores do Laboratório de Qualidade de Café "Dr. Alcides Carvalho" da EPAMIG, Laerte Costa e Silvio Júlio Rezende Chagas, pela orientação nas análises de qualidade de café. Ao funcionário Samuel Rosa de

Brito, pela amizade, coleguismo e valiosa colaboração nas análises de laboratório.

Ao acadêmico mestrando do DCS/UFLA, Marcelo Ribeiro Malta, pela amizade e colaboração inestimável nos trabalhos de análises de qualidade do café durante o período de quatro anos.

Aos professores Dr. Valdemar Faquin e Dr^a Janice Guedes de Carvalho, pelos ensinamentos e oportunas contribuições.

Ao Eng^o Agr^o João Batista Corrêa e aos laboratoristas Delano Carlos Ribeiro e João Guaberto Penha, pelo apoio e amizade

Aos colegas, amigos de curso e a todos que contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus, por tudo!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	iii
CAPÍTULO 1.....	1
1 Introdução geral.....	1
2 Referencial teórico.....	2
2.1 Resposta do cafeeiro à adubação potássica.....	2
2.2 Efeitos da alternância da produção do cafeeiro.....	5
2.3 Adubação potássica do cafeeiro, teores de nutrientes no solo e foliares.....	7
2.4 Nutrição mineral e diagnose foliar do cafeeiro.....	13
2.5 Características físicas, físico-químicas e químicas dos grãos de café beneficiados.....	14
2.6 Adubação e a qualidade da bebida do café.....	21
3 Referências bibliográficas.....	25
CAPÍTULO 2: Fontes e doses de potássio na produção do cafeeiro em Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho Amarelo.....	35
Resumo.....	35
Abstract.....	36
1 Introdução.....	37
2 Material e métodos.....	37
3 Resultados e discussão.....	41
3.1 Produção anual de grãos de café beneficiado.....	41
3.2 Produção por biênio e média de quatro safras.....	46
4 Conclusões.....	50
5 Referências bibliográficas.....	51
CAPÍTULO 3: Adubação potássica do cafeeiro: produção, faixas críticas de nutrientes no solo e nas folhas.....	53
Resumo.....	53
Abstract.....	54

1 Introdução.....	55
2 Material e métodos.....	56
3 Resultados e discussão.....	59
3.1 Produção de grãos de café beneficiado.....	59
3.2 Faixas críticas de nutrientes.....	62
4 Conclusões.....	69
5 Referências bibliográficas.....	69
CAPÍTULO 4: Fontes e doses de K na qualidade dos grãos de café beneficiados provenientes de lavouras cultivadas em duas condições edafoclimáticas.....	73
Resumo.....	73
Abstract.....	74
1 Introdução.....	75
2 Material e métodos.....	76
3 Resultados e discussão.....	80
3.1 Atividade enzimática da polifenoloxidase.....	82
3.2 Índice de coloração.....	87
3.3 Acidez titulável total.....	89
3.4 Açúcares totais.....	92
3.5 Compostos fenólicos.....	94
4 Conclusões.....	98
5 Referências bibliográficas.....	98
ANEXO.....	103

RESUMO

SILVA, Enilson de Barros. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do café provenientes de plantas cultivadas em duas condições edafoclimáticas. Lavras: UFLA, 1999. 105p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas)*

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um sobre Latossolo Roxo (LR) no município de São Sebastião do Paraíso (MG) e o outro sobre Latossolo Vermelho Amarelo (LV) no município de Patrocínio (MG), ambos em Fazendas Experimentais da EPAMIG com objetivo de avaliar o efeito de fontes e doses de K na produção, nas faixas críticas de nutrientes e na qualidade dos grãos de café beneficiados provenientes de plantas cultivadas em duas condições edafoclimáticas. Usaram-se, em ambos os locais, cafezais da espécie *Coffea arabica* L., da cultivar Catuaí Vermelho, linhagem MG-99 com idade de seis anos, no espaçamento 3,5 x 0,7m, com uma planta por cova. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três fontes de K: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) nas parcelas e quatro doses de K (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹) aplicadas nas subparcelas com quatro blocos. Foram avaliados a produção, teores no solo de K (Mehlich 1) e S-SO₄⁻² (fosfato diácido de cálcio), os teores foliares de N, K, S e Cl e as variáveis qualitativas dos grãos de café beneficiados como: atividade enzimática da polifenoloxidase, índice de coloração, acidez titulável total, açúcares e compostos fenólicos totais durante quatro safras (1995 a 1998) e nas duas últimas safras (1997 e 1998) foi determinado o ácido clorogênico pelo método do "HPLC", em cada local. Pelos resultados obtidos conclui-se que o cafeeiro respondeu em produção de grãos à aplicação de doses crescentes de K de cada fonte de K em ambos os locais de cultivo. As doses de K para produção máxima foram de 213,9 kg, 226,5 kg e 223,0kg ha⁻¹, respectivamente das fontes KCl, K_2SO_4 e KNO_3 . A dose de K média foi igual a 221,1kg de K ha⁻¹ com produção média de 46,4sacas ha⁻¹. Houve uma seqüência em ordem decrescente de melhores resultados entre as fontes: $K_2SO_4 = KNO_3 > KCl$ para produção de grãos. As faixas críticas para o cafeeiro, correspondentes a

*Comitê Orientador: Dr. Francisco Dias Nogueira - EMBRAPA/EPAMIG (Orientador), Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães - EPAMIG, Dr. Antonio Eduardo Furtini Neto - UFLA, Drª Vânia Déia de Carvalho - UFLA e Drª Vany Perpétua Ferraz - UFMG.

90-100% da produção máxima no solo foram de 83,9 – 152,6mg dm⁻³ para o K e 31,4 – 39,7mg dm⁻³ para o S-SO₄⁻². Para teores foliares, as faixas críticas foram para o N de 29,1 – 30,5g kg⁻¹, para o K de 15,7 – 17,6g kg⁻¹, para o S de 1,59 - 1,69g kg⁻¹ e para o Cl de 1,10 – 2,78g kg⁻¹. Os valores dos parâmetros qualitativos dos grãos de café beneficiados mostraram que a fonte KCl teve um resposta inferior em termos de qualidade dos grãos em relação às fontes K₂SO₄ e KNO₃. Estas últimas fontes tiveram melhor resposta quando aplicadas nas condições de São Sebastião do Paraíso do que nas de Patrocínio. Em termos de doses aplicadas, os melhores resultados para qualidade dos grãos foram obtidos com as doses de 200kg de K ha⁻¹ na forma de KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ na forma de KNO₃.

ABSTRACT

SILVA, Enilson de Barros. Sources and doses of potassium in yield and quality of the coffee coming from plants cultivated in two edaphoclimatic conditions .Lavras: UFLA, 1999. 105p. (Thesis – Doctorate in Soils and Plant Nutrition)

Two experiments were conducted, one being on Red Dusky Latosol (RDL) in the country of São Sebastião do Paraíso (MG) and the other on Yellow Red Latosol (YRL) in the country of Patrocínio (MG), both on the experimental farms of the EPAMIG with the objective of evaluating the effect of sources and doses of K on yield, in the critical ranges of nutrients and processed coffee grain quality from plants cultivated under two edaphoclimatic conditions. In both the sites, coffee plantations of the cultivar Catuai Vermelho, line MG – 99, aged six years, at the 3.5 x 0.7m spacing with a plant per hole were utilized. The experimental design was in randomized blocks in the split plot scheme, by utilizing three sources of K: potassium chloride (KCl), potassium sulphate (K_2SO_4) and potassium nitrate (KNO_3) in the plots and four doses of K (0, 100, 200 and 400kg.ha⁻¹) applied in the subplots with four blocks. The yield, contents in the soil of K (Mehlich 1) and $S-SO_4^{2-}$ (calcium diacidic phosphate) and leaf contents of N, K, S and Cl, the qualitative variables of the processed coffee grains such as: enzyme activity of polyphenoloxidase, coloration index, total titrable acidity, total sugars and phenolic compounds for four crops (1995 to 1998), in each spot and in the last two crops (1997 and 1998) were evaluated, chlorogenic acid by the HPLC method was determined in each place .From the results obtained , it follows that the coffee tree responded in grain yield to the application of increased doses of K from each source of K in both the growing places. The doses of K for maximum yield were of 213.9kg , 226.5kg and 223.0kg ha⁻¹, respectively from the sources KCl, K_2SO_4 and KNO_3 . The average doses of K were equal to 221.1kg of K ha⁻¹ with a average yied of 46.4sacks ha⁻¹. There was a sequence in decreasing order of best results among the sources: K_2SO_4 = KNO_3 > KCl for grain yield. The critical ranges for coffee trees corresponding to 90 –

*Guidance Committee: Dr Francisco Dias Nogueira - EMBRAPA/EPAMIG (Adviser), Dr. Paulo Tácito Gontijo Guimarães – EPAMIG, Dr. Eduardo Antonio Furtini Neto – UFLA, Dr^a Vânia Déia de Carvalho - UFLA and Dr^a. Vany Perpétua Ferraz - UFMG

100% of the maximum yield in the soil were of $83.9 - 152.6 \text{ mg dm}^{-3}$ for K and $31.4 - 39.7 \text{ mg dm}^{-3}$ for S-SO_4^{2-} . To the leaf contents, the critical ranges were for N of $29.1 - 30.5 \text{ g kg}^{-1}$, for K of $15.7 - 17.6 \text{ g kg}^{-1}$, for S of $1.59 - 1.69 \text{ g kg}^{-1}$ and for Cl of $1.10 - 2.78 \text{ g kg}^{-1}$. The values of the qualitative parameters of the processed coffee grains showed that the source KCl had a inferior response in terms of quality of the grains in relation to the sources K_2SO_4 and KNO_3 . These latter sources had a better response when applied under the conditions of São Sebastião do Paraíso than under those of Patrocínio. In terms of doses applied, the best results for grain quality were obtained with doses of $200 \text{ kg of K ha}^{-1}$ as KCl and K_2SO_4 and $100 \text{ kg of K ha}^{-1}$ as KNO_3 .

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil, é responsável por 33% do café produzido em todo mundo, portanto é o maior produtor mundial, seguido imediatamente pela Colômbia e Indonésia, responsáveis por 10,2% e 6,1% da produção mundial, respectivamente. No Brasil, o estado de Minas Gerais se destaca como o maior produtor, contribuindo com 51% da produção nacional, seguido por Espírito Santo e São Paulo, com 14,0 e 11,5%, respectivamente (Anuário..., 1998).

A qualidade do café transformou-se num aspecto imprescindível para a conquista de novos mercados; o mercado internacional, principalmente o europeu e norte-americano, tem sobressaído na busca da consolidação de marcas de bebidas e dos padrões de sabor e aroma, utilizando análises químicas e sensoriais avançadas.

Estudos exaustivos têm sido realizados na tentativa de correlacionar a composição química dos grãos com a qualidade da bebida e resultados recentemente obtidos propiciaram a elaboração de uma tabela de classificação objetiva da qualidade, através da atividade da enzima polifenoloxidase.

A melhoria dos cuidados, tanto na produção como no preparo da bebida, tornou-se um desafio para os produtores, em consequência da maior facilidade de comercialização e maiores retornos econômicos. No Brasil, o café é um dos poucos produtos agrícolas cujo valor de mercado varia significativamente de acordo com a qualidade.

Portanto, para uma maior competitividade do café brasileiro em relação à produção e à melhoria da qualidade do produto final, torna-se necessário apoiar-

se numa pesquisa multidisciplinar com características voltadas para os atributos de qualidade da bebida e da melhor relação custo/benefício.

A adubação mineral do cafeeiro propicia aumento da produção, mas há poucos trabalhos evidenciando seu efeito na qualidade da bebida. O cafeeiro é uma planta bastante exigente em K para a obtenção de elevadas produções e o cloreto de potássio é o fertilizante mais utilizado na lavoura cafeeira, depois do nitrogênio. A fertilização do cafeeiro com cloreto de potássio é questionada pelos seus efeitos deletérios na sua nutrição e, conseqüentemente, na qualidade da bebida. O uso de fontes de potássio (K) isentas de cloreto talvez possam promover maior produção e melhoria na qualidade da bebida do café.

Outro fator que afeta a qualidade do café são as condições edafoclimáticas de cultivo, sendo a influência do clima muito propalada, porém, com poucos estudos realizados. No estado de Minas Gerais, tem sido muito discutida a diferença existente entre a qualidade de cafés produzidos na Zona da Mata, Sul de Minas, região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, sem nenhum enfoque a respeito do efeito da adubação potássica na produção e qualidade dos grãos de café beneficiados.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de fontes e doses de K na produção, nas faixas críticas de nutrientes no solo e nas folhas e, na qualidade do grão de café beneficiado, provenientes de plantas cultivadas em duas condições edafoclimáticas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Resposta do cafeeiro à adubação potássica

Existem solos em que os cafeeiros respondem freqüentemente à aplicação dos fertilizantes potássicos como os do Brasil e de Porto Rico, e outros em que

esta planta não é responsiva em pesquisas de curta e, eventualmente, de longa duração (Carvajal, 1984 e Silva, 1995).

Em um levantamento bibliográfico sobre as respostas do cafeeiro à fertilização, realizado em treze referências de nove países por Uribe Henao e Mestre-Mestre (1976), evidenciaram respostas ao K, em termos de aumentos da produção, em apenas cinco destes trabalhos. Os autores concluíram que certas respostas de produção estavam relacionadas com os teores deste nutriente no solo.

As exigências do cafeeiro em K são equivalentes às de nitrogênio (N), sendo que este é mais exigido no crescimento foliar. O K aparece em maior concentração nos frutos, em particular na polpa do café, mas sem participar de moléculas orgânicas. As quantidades de K nas partes vegetativas são suficientes para mostrar que este nutriente desempenha um papel importante na nutrição desta cultura. Em geral, altos teores de K estão associados com colheitas elevadas (Malavolta, 1993).

Viana et al. (1985b) encontraram respostas positivas do cafeeiro em Latossolo Vermelho Escuro à adubação potássica, onde a maior produção foi obtida com a dose de 166kg de K ha⁻¹ (40g de K₂O/cova), com teor inicial de K no solo de 54mg dm⁻³. Em outro trabalho, Viana et al. (1985c) não obtiveram respostas significativas de produção à aplicação de 31, 62 e 124kg de K ha⁻¹ (30, 60 e 120g de K₂O/cova), na safra de 1985. Houve maior incremento entre 31 e 62kg de K ha⁻¹, que corresponde, respectivamente, à produção de 35,4 e 41,5sacas ha⁻¹, do que entre as doses de 62 e 124kg de K ha⁻¹. A produção obtida na maior dose, 42,5sacas ha⁻¹, indica que a adição 62kg de K ha⁻¹, seria satisfatória para cultivo em Latossolo Vermelho Escuro.

Com a espécie *Coffea arabica* L. cv. Catuai, Guimarães (1986) obteve resposta à adubação mineral e orgânica, em quatro solos de baixa fertilidade natural: Latossolo Vermelho Escuro de Machado e Alfenas, Latossolo Vermelho

Escuro húmico de Alfenas, e um Latossolo Roxo distrófico de São Sebastião do Paraíso. Concluiu o autor que houve correlação entre as doses de fertilizantes e produção máxima nos locais onde as respostas ao K foram significativas, tendo sido obtida a produção máxima de 11sacas ha^{-1} na primeira colheita (1975) com uma dose de 150kg de K ha^{-1} (72g de K_2O /cova); na terceira colheita (1977) obteve-se resposta máxima de produção de 62sacas ha^{-1} com 235kg de K ha^{-1} (113g de K_2O /cova). Na quinta colheita (1979), o resultado melhor foi atingido com 398kg de K ha^{-1} (191g de K_2O /cova) com produção máxima de 84sacas ha^{-1} .

Oliveira e Pereira (1987) obtiveram a maior produção de 32 sacas. ha^{-1} com aplicação de 200kg de K ha^{-1} (72g de K_2O /cova) na forma de KCl com a cultivar Catuaí Amarelo em Latossolo Vermelho Amarelo, com um teor de K de 40 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ na análise de solo inicial, no município de Caratinga, Minas Gerais, o que é considerado baixo de acordo com Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1989).

Winston et al. (1992) em solo de textura arenosa do norte do Quênia, a adubação NK em cultivares arábicas não encontraram respostas significativas na produção quando as doses de K foram de 63, 126 e 189kg ha^{-1} (23, 43 e 69g de K_2O /cova).

Cervellini e Igue (1994) não encontraram resposta à adubação potássica quando aplicaram 110 e 220kg de K ha^{-1} (90 e 180g de K_2O /cova) durante doze anos, em Latossolo Roxo de Ribeirão Preto e em Podzólico Vermelho Amarelo de Mococa, ambos em SP. Os teores iniciais de K nos solos eram 51 e 160 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, respectivamente. Na Índia, Jayarama, Alwar e Naidu (1994) encontraram em um experimento conduzido por trinta anos, para avaliação da adubação NPK no cafeeiro, que a produção média de 16sacas ha^{-1} foi obtida com a aplicação de 180kg de K ha^{-1} (54g de K_2O /cova) na forma de KCl.

Silva (1995) estudou o efeito de fontes e doses de K na produção do cafeeiro, no município de São Sebastião do Paraíso, MG, utilizando cafeeiros da cultivar Catuaí Vermelho de quinze anos de idade instalados em um Latossolo Roxo. Neste ensaio não foram encontrados diferenças significativas entre as fontes cloreto de potássio, sulfato de potássio e sulfato de potássio e magnésio e nem para as doses de 0, 143, 286 e 572kg de K ha⁻¹ (0, 120, 240 e 480g de K₂O/cova) na produção de dois anos agrícolas 1992/93 e 1993/94 e assim como para os dados deste biênio.

Barros et al. (1997) obtiveram melhores respostas na produção da cultivar Catuaí Vermelho em sistema de plantio adensado (9.523 plantas.ha⁻¹), quando aplicaram a dose de 498kg de K ha⁻¹ (63g de K₂O/cova) , em um Latossolo Vermelho Amarelo do município de Manhuaçu, MG, que apresentava um teor de K na análise inicial do solo de 78mg dm⁻³.

2.2 Efeitos da alternância da produção

A alternância anual em grande e pequena produção é uma constante no cafeeiro e em algumas plantas frutíferas. Todavia, a uniformidade de produção , sem alternância, parece não ser uma característica natural do cafeeiro (Carvajal, 1984) nas condições convencionais de manejo. Este autor afirma que em seu centro de origem, na terceira camada das densas florestas da Etiópia, o cafeeiro vegeta em ambiente sombreado e produz poucos frutos, mas, aparentemente, em número mais uniforme e suficiente para garantir a sobrevivência da espécie. Entretanto, quando cultivado à pleno sol, o cafeeiro pode produzir abundantemente, ficando a planta comprometida em assegurar o fornecimento de matéria seca para as sementes em crescimento.

As condições climáticas e nutricionais, além das condições fisiológicas próprias da cultura, são citadas como suas causas da bienuidade. Assim, a planta

fica esgotada depois de uma produção elevada mostrando com isto uma tendência para produzir pouco no ano seguinte. Segundo Wellman (1961), este hábito no cafeeiro é bem característico nas variedades arábicas, o que talvez seja explicado pela fisiologia ou fatores genéticos das plantas. Este autor concluiu que a alternância de produção não é tão significativa nas variedades canéforas, entre os tipos robustóides.

Para Stevens (1949), as condições climáticas afetam bastante as produções e se elas fossem uniformes, os cafeeiros poderiam ser classificados em dois tipos: os que produzem bem nos anos pares e os que produzem bem nos anos ímpares, o que depende do ano inicial de produção. As variações climáticas podem, contudo, quebrar essa regularidade e, assim, o tempo desfavorável de dois anos seguidos pode diminuir as colheitas nestes anos provocando uma grande safra no terceiro ano em todas as plantas.

Mendes (1957) afirma que, geralmente, a partir da quarta produção é que a planta entra em seu ciclo bianual de produção, seguindo sempre uma baixa produção após uma alta e, até entrar nesta fase, os cafeeiros apresentam-na numa tendência crescente. Para o autor, as adubações poderão proporcionar um maior equilíbrio nutricional, recompondo as plantas nutricionalmente drenadas, conseguindo-se assim uma melhor distribuição de safra.

Stevens (1949) afirma que, no caso da alternância da produção, vários cuidados devem ser tomados nas análises estatísticas para que estes efeitos não escondam ou prejudiquem as comparações que estão sendo estudadas nos experimentos. Segundo o autor, deve-se trabalhar com a colheita total dos anos ou a colheita média anual, e sugere ainda que as análises das produções sejam feitas com a média de dois anos, que incluem anos de baixa e alta produção do cafeeiro. Fraga e Conagin (1956), ao fazer a avaliação estatística de um ensaio de adubação, em Campinas, SP, em que se estudou a adubação orgânica,

nitrogenada, fosfatada e potássica, observaram que, a partir do quarto ano, a produção passou a alternar-se em alta e baixa e as análises foram feitas sempre considerando pares de ano (por biênio). Cervellini e Igue (1994), no Brasil, Jayarama, Alwar e Naidu (1994), na Índia, analisaram seus experimentos utilizando dados médios por biênio.

2.3 Adubação potássica do cafeeiro, teores de nutrientes no solo e foliares

A produção é, em grande parte, o reflexo da fertilidade natural do solo ou das doses de fertilizantes aplicadas em uma lavoura; contudo, tem-se observado não haver relações significativas consistentes entre os resultados de análises de rotina da camada superficial do solo e a produção do cafeeiro, o que poderia ser atribuído parcialmente ao aprofundamento de raízes, às épocas e métodos de amostragem e até ao preparo das amostras, tipos de extratores, para proceder então às determinações dos nutrientes propriamente ditas.

Em Uganda, Stephans (1967) verificou que raramente foram encontradas correlações entre análises de solo e a produção de café em diversos ensaios conduzidos. As únicas análises cujos teores tiveram correlação significativa em mais de uma época foi a de K no solo, que correlacionaram negativamente em dois locais, mas em outro, que possuía mais K no solo, a correlação foi positiva.

Nos solos “sob Cerrado”, as reservas de K não são suficientes para suprir as quantidades extraídas pelas culturas, por um longo período de tempo e, portanto, a sua restituição às plantas deve ser feita através da adubação potássica (Lopes, 1983). Devido ao esgotamento do K natural do solo, as respostas a este nutriente só se verificaram a partir do segundo e terceiro anos de cultivos de cafeeiro (Guimarães, 1986).

A análise de solo para recomendação de adubação deve ser utilizada na expectativa de encontrar uma correlação positiva entre o resultado analítico e as

respostas de produção da cultura (Raij, 1991). Segundo este autor, para o estabelecimento de correlações com o K, considera-se o seu teor no solo e a resposta à adubação, expressas em produção.

Na fertilização de uma cultura, o estabelecimento da chamada curva de calibração permite a definição do nível crítico do nutriente no solo, ou seja, um teor acima do qual os aumentos nos rendimentos da cultura são pouco prováveis ou quando, acima de certo nível, não compensa economicamente aplicar mais o fertilizante. Este valor, em geral, é variável com o extrator usado, com as espécies, variedades e com os tipos de solo (Raij, 1991).

A Comissão...(1989) recomenda, para um nível de produção entre 5 a 10sacas beneficiadas por 1000 covas (20 a 40sacas ha^{-1}), a aplicação de K baseado no teor do solo em doses equivalentes a 266, 200, 133 e 66kg de K ha^{-1} (80, 60, 40 e 20g de $\text{K}_2\text{O}/\text{cova}$), quando seu teor for menor que 60 (baixo), de 60 a 120 (médio), de 120 a 200 (alto) e maior que 200mg dm^{-3} de solo (muito alto), respectivamente. Porém, Matiello (1995) recomenda, para uma população de 2.500 a 4.000plantas ha^{-1} (cafezais semi-adensados) e produtividade de 35sacas ha^{-1} , a aplicação de 232, 174, 116 e 0kg de K ha^{-1} quando a análise de solo revelar um teor de K de 60 (baixo), de 60 a 120 (médio), de 120 a 180 (alto) e maior que 180mg dm^{-3} de solo (muito alto), respectivamente.

Viana et al. (1985b) estudaram os efeitos de doses de N que foram de 0, 100, 200 e 400kg ha^{-1} (0, 20, 40 e 80g de N/cova) e doses de K de 0, 83, 166 e 332kg ha^{-1} (0, 20, 40 e 80g de $\text{K}_2\text{O}/\text{cova}$) em um Latossolo Vermelho Escuro cultivado com cafeeiro Catuaí. Os autores encontraram resposta linear com o aumento das doses de N, sendo que a maior produção correspondeu a uma dose de 400kg de N ha^{-1} e um teor foliar de N (3^0 e 4^0 par de folhas) correspondente a 33g de N kg^{-1} . Para o K, a produção maior obteve-se com a dose de 166kg de K

ha⁻¹ que correspondem um teor médio de K no solo de 126mg dm⁻³ e foliar de 13,6g kg⁻¹.

Em outro trabalho, Viana et al. (1985a) com a mesma cultivar e mesmo solo obtiveram uma produção máxima com a aplicação de 100kg de N (70g de K₂O/cova) e 83kg de K ha⁻¹ (70g de K₂O/cova), no qual as plantas apresentaram um teor foliar de 31g de N e 12,7g de K kg⁻¹ e, no solo, de 150mg de K dm⁻³. Já Viana et al. (1985c) utilizando a cultivar Mundo Novo em Latossolo Vermelho Escuro fase Cerrado, com teor registrado na análise inicial do solo de 36mg de K dm⁻³, obtiveram a maior produção com 150kg de N e 63kg de K ha⁻¹. Os teores foliares de N e K para esta maior produção foram de 35g de N e 14,3g de K kg⁻¹, respectivamente, enquanto no solo o teor médio de K foi de 43mg dm⁻³.

Santinato, Oliveira e Pereira (1996) utilizando doses crescentes de 0, 114, 145 176 e 208kg de K ha⁻¹ (0, 42, 54, 65 e 77g K₂O/cova) para a variedade Acaiá em Latossolo Vermelho Amarelo, encontraram que a maior produção foi obtida com a dose de 176kg de K ha⁻¹ na forma de salitre potássico. Os teores foliares de N e K na dose de maior produção foram de 28 e 22g kg⁻¹, respectivamente.

Em alguns dos trabalhos citados, nota-se uma correlação entre o teor de K no solo e a resposta do cafeeiro à aplicação de K. Malavolta (1986b) afirma que a faixa adequada de K disponível no solo para cafeeiro é de 117 a 156mg dm⁻³. Pavan, Chaves e Mesquita Filho (1986) afirmam que teores de K no solo de 23,4mg dm⁻³ limitam a produção, mas as produções máximas foram obtidas em parcelas com teores de 117mg dm⁻³. Guimarães (1986) obteve respostas, em anos de alta produção, na faixa considerada como adequada entre 112 a 150mg de K dm⁻³.

Sintomas de carência de enxofre (S) e respostas á sua adição foram verificadas no Brasil há muito tempo, particularmente em solos sob cerrado, por

Lott, McClung e Medcalf (1960). Os autores relacionam duas causas principais para carência de S: 1) baixos teores de matéria orgânica, que além de fonte de N, também é de S, cuja deficiência eventual pode ser induzida pela acidez excessiva do solo e falta de água; 2) a utilização de adubos concentrados que não contêm S; o sulfato de amônio, o superfosfato simples e os fosfatos parcialmente acidulados apresentam S. O uso das fontes de nutrientes isentas de S em fórmulas concentradas como 20-5-20 pode induzir, com o tempo, ao aparecimento de sintomas típicos da falta de S, mesmo em solos que, inicialmente, continham este elemento em quantidades suficientes para a nutrição do cafeeiro.

Alvarez V., Freire e Leite (1984) mostraram que o crescimento de mudas foi favorecido pela presença de S sendo que para o solo de textura argilosa, o nível crítico obtido estaria entre 16 a 19mg dm⁻³, determinado pelo extrator fosfato diácido de cálcio (Ca(H₂PO₄)₂), para obter 80% da resposta máxima.

Viana et al. (1986) obtiveram na primeira produção de cafeeiros da cultivar Mundo Novo, resposta às fontes e doses de enxofre em Latossolo Vermelho Escuro originalmente contendo 8mg dm⁻³ de S-SO₄⁻² extraído pelo extrator fosfato diácido de cálcio, a partir da aplicação de doses crescentes de 0; 12,5; 25; 50 e 100kg de S ha⁻¹ na forma de enxofre em pó. Os autores registraram a maior produção de 29sacas ha⁻¹ com 50kg de S ha⁻¹ e concluíram que o nível crítico de S no solo seria de 35mg.dm⁻³ e o teor foliar de 1,06g de S kg⁻¹.

Malavolta (1986a) comparou a partir de quatro colheitas sucessivas, os efeitos de três fontes de S (sulfato de amônio; sulfato duplo de potássio e magnésio e fosfogesso), fornecidas nas doses de 0, 20 e 40kg de S ha⁻¹, em dois ensaios, um em Olímpia, SP, em solo Podzólico Vermelho Amarelo com 4mg dm⁻³ de S-SO₄⁻² e outro em São Sebastião do Paraíso, MG, em Latossolo Roxo com 10mg dm⁻³ de S-SO₄⁻². As maiores respostas na produção foram obtidas no primeiro experimento em que o solo era mais pobre em S disponível. Em Olímpia,

a dose de 20kg de S ha⁻¹, na forma de sulfato de amônio, resultou em maior produção, a qual foi superior àquelas registradas para outras duas fontes. Em amostragem de folhas feitas no verão, o autor concluiu que, em cafeeiros bem supridos em S, o teor foliar deve ser de 2,0g de S kg⁻¹, e um teor no solo de 15mg dm⁻³ de sulfato extraído com acetato de amônio.

Miguel, Matiello e Netto (1991) estudaram fontes e doses de enxofre na produção do cafeeiro em Latossolo Vermelho Amarelo húmico de Inhapim, MG, aplicando 0, 27, 54 e 108kg de S ha⁻¹, na forma de gesso e uma dose fixa de 1000kg ha⁻¹ de fosfato de Araxá. A maior produção de 26 sacas de café beneficiado.ha⁻¹ foi obtida com 27kg de S ha⁻¹, correspondente a um teor foliar é de 1,27g de S kg⁻¹.

Quanto ao cloreto (Cl⁻) na planta, sabe-se que este micronutriente é pouco móvel. Geralmente, ele se acumula nos tecidos a longo prazo e há poucas evidências do movimento deste nutriente dos tecidos velhos para os novos (Eaton, 1966). A sua toxidez se manifesta pela queima da extremidade e margens das folhas, com bronzeamento prematuro e abscisão (Eaton, 1966; Gouny, 1973; Snoeck, N'Goran e Snoeck, 1986 e N'Goran, 1990). O uso intensivo de fertilizantes que contém Cl no cultivo do cafeeiro pode provocar toxidez, quando se atinge a concentração de 5.000mg Cl kg⁻¹ nas folhas sem que os sintomas se manifestem (Malavolta, 1986b). O mesmo autor relata que o elevado conteúdo de Cl não corresponde à necessidade da planta, podendo ser, indiretamente, um caso ligado à especulação sobre “consumo de luxo” de potássio quando se faz a adubação do cafeeiro com KCl. É, pelo menos, uma hipótese discutível.

Há poucos trabalhos a respeito do teor de Cl no cafeeiro. Muller (1966) apresentou uma série de dados sobre macro e micronutrientes no cafeeiro, mas nada mencionou sobre a concentração de Cl, por não terem sido constatados sintomas de deficiência deste nutriente na planta. A concentração e a quantidade

de micronutrientes e alumínio no cafeeiro foram determinados por Catani et al. (1967), tendo estes autores encontrado altas concentrações de Cl nas folhas, registrando-se teores acima de 6.280mg de Cl kg⁻¹. Mas, chamam atenção para fato de que pouco se conhece sobre o efeito de altas concentrações de Cl na folhas do cafeeiro. Em outro trabalho, Catani, Moraes e Bergamin (1969) determinaram a concentração de Cl nas folhas de cafeeiro 'Mundo Novo' adubado com cloreto de potássio (470kg de K ha⁻¹) e registraram teores acima de 5.000mg de Cl kg⁻¹, sem que se observassem sintomas de toxidez. Esses autores coletaram folhas no mês de janeiro, mas, se a amostragem tivesse sido feita no período de estiagem, os resultados poderiam ter sido diferentes. A fertilização do cafeeiro com cloreto e sulfato de potássio acompanhada de análise foliar foi estudada por Araña (1967). Este autor relatou que o cafeeiro requer quantidades baixas de Cl e altas de S (300mg de Cl kg⁻¹ e 2,2g de S kg⁻¹), sendo 7,3 vezes mais S e que a toxidez do íon cloreto se manifesta por danos visíveis quando o teor de Cl ultrapassa a 2.000mg kg⁻¹, considerando este valor como um teor crítico tentativo.

Trabalhando com café robusta com quinze anos de idade, em condições de campo, na Costa do Marfim, Snoeck, N'Goran e Snoeck (1986) verificaram uma redução na produção quando os teores foliares de Cl eram superiores a 13000mg kg⁻¹. Os sintomas de toxidez visíveis, como necroses marginais e bronzeamento, foram observados quando os estava acima de 7000mg Cl kg⁻¹ nas folhas.

Sem trabalhos conclusivos, o teor crítico foliar de Cl para o cafeeiro, como uma primeira tentativa de 2.000mg de Cl kg⁻¹ foi proposta por Araña (1967) mas Malavolta (1986b) considera como crítico o valor em torno de 5.000mg de Cl kg⁻¹. Essas afirmativas foram baseadas em conclusão dos autores e não em experimentos com a finalidade de se determinar o nível crítico foliar de cloreto para o cafeeiro.

2.4 Nutrição mineral e diagnose foliar no cafeeiro

A extração dos nutrientes por cafeeiros “Mundo Novo”, com 10 anos de idade, obedece à seguinte ordem decrescente: $N \geq K > Ca > Mg > P \geq S$, para os macronutrientes e, para os micronutrientes: $Cl > Fe > Mn > B > Cu > Zn > Mo$ (Catani e Moraes, 1958). Quanto à exportação de nutrientes, Malavolta et al. (1963) encontraram a seguinte ordem decrescente para os macronutrientes: $K > N > Ca > Mg > S > P$, e para os micronutrientes: $Fe > Zn > B \geq Mn > Cu > Mo$.

Embora a diagnose foliar seja de grande valia na identificação de problemas nutricionais das culturas, ela não substitui totalmente a análise de solo. Raij (1991) propõe que as duas devam ser usadas em conjunto. Para este autor, a análise de solo é insubstituível para avaliar a reação do solo e problemas associados a ela, servindo de base para determinar, de forma quantitativa, medidas corretivas. Para fósforo, cálcio, potássio e magnésio, a análise de solo, no Brasil, segundo Raij (1991), ainda é eficaz, sendo que a diagnose foliar pode ser usada para elucidar situações duvidosas. Para os demais nutrientes (N, S e micronutrientes), o emprego da análise foliar é de maior utilidade já que, para eles, não há ainda calibração relacionando resposta de produção com análise de solo, que permita sua utilização segura para identificar e corrigir problemas nutricionais das culturas.

Raij (1991) lembra ainda que, se for considerada a oportunidade ou época de execução, a análise de solo leva uma vantagem, já que esta é realizada antes, para a implantação de cultura anual, ou antes da fase de maior desenvolvimento, no caso de cultura perene. Por outro lado, a diagnose foliar é feita com a cultura já bastante desenvolvida, e qualquer problema diagnosticado, dificilmente poderá ser resolvido em tempo. No caso de culturas perenes há maior possibilidade de se diagnosticar os problemas pela análise foliar e tentar corrigi-los no mesmo ano agrícola, existindo, inclusive, ajustes na recomendação de adubação para o

cafeeiro que levam em conta resultados da diagnose foliar (Malavolta, 1993). A produção de máxima eficiência econômica situa-se um pouco abaixo da produção física máxima, tendo sido utilizados pelos pesquisadores, teores dos nutrientes correspondentes a 80 ou 90% da produção máxima (Hoffmann et al., 1995).

Existem várias definições para nível crítico. Como na prática da adubação, o objetivo final não é a maior produção física, mas sim o maior lucro, tem sido aceita a definição do nível crítico fisiológico-econômico que é “a faixa de teores do elemento na folha abaixo da qual a colheita cai e acima da qual a adubação não é mais econômica.” (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). Para diagnose foliar do cafeeiro, analisa-se o 3º ou 4º par de folhas de ramos a meia altura da planta e ao redor da mesma. Mas, segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), os teores dos nutrientes numa análise foliar podem variar por diversos fatores, tais como na **planta**: variedade, idade da folha, época de amostragem, presença de frutos, exposição; **clima**: chuvas; **práticas culturais**: adubação, herbicidas, capinas, culturas intercalares; **pragas e moléstias**. Para o cafeeiro, variedade e exposição parecem não influenciar os teores nas folhas.

Malavolta (1993) apresentou uma tabela onde se classificam os teores de N, K e S nas folhas em: deficiente, marginal, adequado, alto e excessivo, (em folha do 3º ou 4º pares), amostrados em fevereiro/março (verão). Os teores de nutrientes admitidos como adequados (faixa crítica) por este autor são: N - 27 a 32g kg⁻¹ ; K - 19 a 24g kg⁻¹ ; S - 1,5 a 2,0g kg⁻¹.

2.5 Características físicas, físico-químicas e químicas dos grãos de café beneficiados

A qualidade da bebida do café está diretamente relacionada com diversos constituintes físicos, físico-químicos e químicos, que são responsáveis pela aparência do grão torrado, pelo sabor e aroma característicos das bebidas e,

dentre estes constituintes, destacam-se os compostos voláteis, fenólicos (ácido clorogênico), ácidos graxos, proteínas e algumas enzimas, cuja presença, teores e atividades conferem ao café um sabor e aroma peculiares (Amorim, 1968).

Entre os mono e oligossacarídeos, o açúcar encontrado em maior quantidade no grão verde de café é a sacarose e seu teor pode variar de 1,9 a 10,0% na matéria seca, sendo considerado como açúcar não redutor no cálculo final (Lockhart, 1957; Feldman, Ryder e Kung, 1969 e Navellier, 1970). Os monossacarídeos livres mais encontrados são a glicose e a frutose, sendo que, na maioria dos trabalhos publicados, são calculados como açúcares redutores e variam de 0 a 5%, segundo Lockhart (1957) e Leite (1991). Os açúcares totais do grão de café beneficiado situa-se em um teor em torno de 8%, segundo Navellier (1970) e numa faixa de 5 a 10% proposta por Prete (1992).

Para Amorim (1972), de modo geral, os açúcares parecem não afetar a qualidade do café. No entanto, deve-se ressaltar que os açúcares participam de importantes reações químicas que ocorrem durante a torração, como reação de Maillard e na caramelização, que serão responsáveis pela formação da cor, sabor e aroma peculiares da bebida (Pereira, 1997).

Segundo a OIC (International..., 1991a), a doçura é uma das características de sabor desejáveis nos cafés Gourmets e a presença de certos compostos orgânicos no café cru podem servir de padrões da qualidade. Ainda é discutível qual deve ser o tipo e concentração de açúcares nos grãos que exerceriam maior influência na qualidade da bebida. No entanto, sabe-se que a sacarose é degradada praticamente quase que em sua totalidade durante a torração, originando açúcares menores, precursores de ácidos e aldeídos, responsáveis pelo flavour.

O teor de açúcar pode estar diretamente relacionado com as condições climáticas das diferentes regiões onde é produzido o café. Chagas et al. (1996)

Açúcares

obtiveram teores médios de 1,87% de açúcares redutores em cafés da região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, 1,39% para os do Sul de Minas e 0,95% em amostras da Zona da Mata. O maior teor de açúcares redutores encontrado em amostras do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba pode ser atribuído às condições climáticas desta região que propiciam um amadurecimento mais uniforme dos frutos e maior acúmulo de açúcares. Todavia, são necessários mais estudos correlacionando o clima a aspectos qualitativos de bebida do café. Em relação aos açúcares totais, os teores encontrados pelos mesmos autores variaram de 7,75% para amostras do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, 7,03% para o Sul de Minas e 5,32% para Zona da Mata.

Alcaloides: total titulável

Quimicamente, a acidez dos grãos de café é constituída predominantemente por ácidos não-voláteis como oxálico, málico, cítrico, tartárico, pirúvico e ácidos voláteis representados pelos ácidos acético, propiônico, valérico e butirico (Feldman, Ryder e Kung, 1969). Esses ácidos são originários de diversas rotas bioquímicas, bem como da fermentação por microorganismos dos açúcares existentes na polpa e na mucilagem dos frutos.

O valor da acidez titulável total em grãos de café beneficiados pode variar de acordo com os níveis e natureza de fermentação dos grãos e com seus diferentes estádios de maturação. Todos esses fatores também são utilizados na avaliação da qualidade da bebida do café. Alguns autores, como Arcila-Pulgarin e Valência-Aristizabal (1975), verificaram em seus trabalhos que os frutos verdes de café possuem menores valores de acidez titulável, os quais aumentam à medida que avança o processo de maturação dos frutos.

Os principais ácidos do café são o málico e cítrico, responsáveis pela acidez desejável e que proporcionam um sabor característico. Nos frutos de café podem ocorrer diferentes tipos de fermentação, que lhes alteram a acidez titulável total, sabor, aroma e cor. Os açúcares presentes na mucilagem, quando na

presença de microorganismos ou sob condições anaeróbicas, são fermentados produzindo álcool, que é desdobrado em ácido acético, láctico, propiônico e butírico. A partir desses dois últimos ácidos já se observam prejuízos acentuados na qualidade da bebida do café (Bitancourt, 1957 e Chalfoun, 1996).

Os analistas sensoriais da OIC (International...,1991b) destacam que a acidez desejável da bebida ("acidity") é conferida pelos ácidos málico e cítrico, enquanto que uma acidez imprópria ou indesejável ("sourness") é proveniente provavelmente, de fermentações excessivas dos frutos. Os membros desta Organização, avaliando cafés produzidos na região de Poços de Caldas, verificaram maior acidez, porém aceitável, nos cafés classificados como bebida dura (International...,1991a).

No trabalho de Carvalho et al. (1994) foram encontrados diferenças nos valores de acidez titulável total nos cafés com diferentes qualidades de bebida, ou seja, valores médios de 211,2; 218,3; 235,5; 250,4; 272,2 e 284,5mL de NaOH ($0,1\text{ mol L}^{-1}$) 100g^{-1} de amostra, respectivamente para café de bebida "estritamente mole", "mole", "apenas mole", "dura", "riada" e "rio". Ressaltaram os autores a importância da utilização da acidez titulável total junto à atividade da polifenoloxidase e índice de coloração como suporte para uma maior eficiência da classificação sensorial.

A coloração dos grãos de café é influenciada por inúmeros fatores como a umidade relativa do ar, luminosidade no local de armazenamento, injúrias sofridas pelos grãos, estágio de maturação em que são colhidos os frutos entre outros. Carvalho et al. (1994), trabalhando com cafés de diferentes qualidades de bebida, observaram que o índice de coloração decrescia com a redução da qualidade da bebida do café e obtiveram nas amostras avaliadas valores de 0,884; 0,791; 0,746; 0,569 e 0,533nm respectivamente para cafés de bebida "estritamente mole", "mole", "apenas mole", "dura", "riada" e "rio".

fenólicos

Os compostos fenólicos e polifenóis estão presentes em todo vegetal e compreendem um grupo heterogêneo de substâncias com estruturas químicas relativamente simples ou complexas como os taninos (compostos fenólicos) e a lignina (Van Buren, 1970). No café, esses compostos contribuem de maneira favorável para o sabor e aroma do produto final.

Ao determinar os teores de fenólicos totais em grãos de café beneficiado, Carvalho, Chalfoun e Chagas (1989), encontraram-se teores de 8,73%, em média, em frutos cereja e 9,66% para os frutos de café de derriça. É de fundamental importância salientar que os compostos fenólicos contribuem, de maneira significativa, para o sabor do café, estando estreitamente relacionados com a adstringência da bebida.

Para Amorim e Silva (1968), os compostos fenólicos, principalmente os ácidos clorogênico e cafêico, exercem uma ação protetora, antioxidante, dos aldeídos. Em virtude de qualquer condição adversa aos grãos, ou seja, uma colheita inadequada dos frutos, problemas no processamento e no armazenamento, as polifenoloxidasas agem sobre os polifenóis, diminuindo sua ação antioxidante sobre os aldeídos, facilitando a oxidação destes com interferência no sabor e aroma do café após a torração.

Os ácidos clorogênicos constituem os principais compostos fenólicos do café e são ésteres do ácido quínico com resíduos cinâmicos. De acordo com Sondheimer (1958), o primeiro relato sobre ácido clorogênico foi descrito por Robiquet e Boutron, em 1937, e, desde então, vários autores têm pesquisado o assunto e publicado seus resultados, dando origem a uma nomenclatura muito confusa. Os nomes aplicados aos seus vários isômeros incluem o ácido clorogênico, ácido criptoclorogênico, cinarina, substância de Hauschild, ácido isoclorogênico e ácido pseudoclorogênico (Clifford, 1985a). Atualmente, o ácido quínico e seus ésteres são tratados como ciclitóis (IUPAC, 1976) e o nome "ácido

clorogênico" é a forma geral usada para descrever o grupo de ésteres do ácido quínico com um ou mais resíduos de ácido cinâmico.

Além dos ácidos clorogênicos identificados, o café cru contém alguns compostos desconhecidos que constituem 5% do teor do ácido clorogênico total em cafés arábica e 1% em cafés robusta (Van Der Stagan e Van Dujin, 1980 e Ohiokphai, Brumen e Clifford, 1982). Estes compostos podem incluir glicosídeos fenólicos (Amorim et al., 1974) e ésteres de glicose em lugar do ácido quínico.

De acordo com Dentan (1985), os ácidos clorogênicos ocorrem na superfície do grão, associados com a graxa cuticular e também no citoplasma, ao lado da parede celular do endosperma no parênquima. Ainda não se sabe se a composição varia de acordo com posição no grão. Na parede celular, os ácidos clorogênicos podem se associar com a cafeína num complexo molar da ordem de 1:1 ou 2:1, conforme estudos de Horman e Viani (1971). Os ácidos clorogênicos podem ocorrer em formas polimerizadas ou complexadas, possivelmente com proteína, tanto na polpa como no grão. Estas substâncias são consideradas inibidoras da enzima indol-acético oxidase e não têm sido bem caracterizadas.

O café robusta contém de 7 a 10% do ácido clorogênico e o café arábica de 5 a 7,5% (Illy e Viani, 1995). Grãos velhos e descorados contêm menores quantidades de ácido clorogênico extraível, além de menor atividade em polifenoloxidase (Ohiokpehai, Brumen e Clifford, 1982). Northmore (1967) sugere que os pigmentos do endosperma podem ser produtos da oxidação do ácido clorogênico. Nos grãos novos de café, Amorim et al. (1974) relatam que os melhores cafés têm teores de ácido clorogênico significativamente inferiores e sugerem que o teor mais elevado de ácido clorogênico em cafés de menor qualidade pode ser resultado do ataque do *Fusarium* sp, pois danos mecânicos e químicos causados por microrganismos podem induzir à produção de maiores quantidades de compostos fenólicos.

fenólicos

A relação entre oxidação de compostos fenólicos por enzimas como a polifenoloxidase tem sido objetivo de várias pesquisas. Para Amorim (1978), o mecanismo de oxidação destas substâncias é um dos principais eventos bioquímicos indutores da depreciação da qualidade do café. Nos frutos do cafeeiro estes compostos são considerados como um complexo conhecido como ácidos clorogênicos, geralmente subdivididos em grupos de isômeros, o que é baseado no número e tipo de seus resíduos acilantes (Clifford, 1985b). Aos fenólicos é atribuída a sensação de adstringência na bebida do café, possivelmente variável em função do tipo e concentração destes compostos. A adstringência é um fenômeno sobre o qual há relativamente pouco conhecimento; sua ocorrência é considerada como uma consequência da precipitação de glicoproteínas salivares, as quais perderiam sua ação lubrificante (Ohiokpehai, Brumen e Clifford, 1982). Baixas concentrações de adstringentes parecem produzir uma sensação aceitável na língua, descrita pela OIC (International..., 1991a) como "mouthfeell" - paladar, sendo os teores elevados causadores de sensações indesejáveis.

Sabe-se que os cafés arábica têm uma melhor posição comercial em relação ao robusta pelo seu sabor mais apreciável. A literatura aponta teores mais elevados de ácido clorogênico para o café robusta quando comparado ao arábica, porém este fato isoladamente não assegura uma diferenciação de qualidade entre os mesmos (Feldman, Ryder e Kung, 1969; Clifford e Ramirez-Martinez, 1991).

A polifenoloxidase é uma enzima cúprica (Robinson e Eskin, 1991) que de acordo com vários autores, se mostra diretamente relacionada com a qualidade da bebida do café (Amorim e Silva, 1968; Amorim, 1978; Leite, 1991; Carvalho et al., 1994; Chagas, Carvalho e Costa, 1996; Pimenta, 1995; Chalfoun, 1996; Pereira, 1997 e Silva et al., 1999). Esta enzima "in vivo" se encontra ligada às membranas celulares e já foi detectada nas diferentes partes dos frutos do café.

polifenoloxidase

Quando estas sofrem danos, liberam-se as enzimas, ativando-as e tornando-as passíveis de reação com substratos fenólicos intra e extra-celulares (Amorim, 1978). Esta catálise consiste de dois tipos distintos de reações, ambas envolvendo os compostos fenólicos: hidroxilação de monofenóis gerando os o-difenóis e a remoção de hidrogênio destes últimos originando as o-quinonas (Zawistowski, Biliaderis e Eskin, 1991). As o-quinonas produzidas exerceriam sobre a polifenoloxidase uma inibição competitiva através de ligação covalente no sítio ativo da enzima ou nas proximidades do mesmo, ocasionando a redução da atividade enzimática (Whitaker, 1972).//

Carvalho et al. (1994) verificaram haver variações da atividade enzimática da polifenoloxidase, que permitem separar as classes de bebida, mostrando para os cafés “riado e rio” atividades inferiores a 55,99U g⁻¹ de amostra; nos cafés de bebida “dura” atividades entre 55,99 e 62,99U g⁻¹ de amostra; nos cafés de bebida “mole” atividades entre 62,99 e 67,66U g⁻¹ de amostra e nos cafés de bebida “estritamente mole” atividades superiores a 67,66U g⁻¹ de amostra, constatando assim um aumento significativo na atividade da polifenoloxidase à medida que o café se apresenta de melhor qualidade.

2.6 Adubação e a qualidade da bebida do café

O potássio tem, há muito tempo, sido considerado o “elemento da qualidade” em nutrição de plantas, o qual funciona em processos osmóticos, na síntese de proteínas e na manutenção de sua estabilidade, na permeabilidade da membrana (Zehler, Kreipe e Gething, 1986 e Malavolta et al., 1997). Apesar desta reputação qualitativa e de aumentar a produção agrícola, normalmente ignora-se a extensão dos benefícios da adubação potássica.

A qualidade dos produtos agrícolas não é facilmente definida ou medida como se faz para produção. O padrão de qualidade depende de propósitos, pelos

quais, a planta ou parte dela é utilizada (Mengel e Kirkby, 1987). No caso do cafeeiro, o mais importante é o reflexo da adubação, tanto na produção quanto na sua qualidade, uma vez que esta qualidade está relacionada às cotações de mercado. Os grãos de café beneficiados têm sido avaliados quimicamente e sensorialmente. Neste último caso, de forma muito dependente das condições do avaliador da bebida (Chagas, Carvalho e Costa, 1996). Existe, no entanto, uma relação entre ambos os modos de avaliação (Carvalho et al., 1994).

A composição mineral do grão e a quantidade de compostos orgânicos como: celulose, hemicelulose, óleos, trigonelina, ácido clorogênico, compostos nitrogenados, etc., podem variar com o estado nutricional do cafeeiro, local, manejo de cultivo e sua variedade. O sabor e o aroma do café são conferidos por compostos voláteis e não voláteis presentes nos grãos antes da torração e depois dela. Os compostos voláteis desprendem-se durante a torração e quando se prepara a infusão (Amorim, 1968).

Amorim et al. (1973) estudaram os efeitos da adubação NPK nos teores de macro e micronutrientes dos frutos na qualidade da bebida e obtiveram efeito negativo da adubação nitrogenada e potássica sobre a qualidade da bebida do café, confirmando resultados de trabalhos anteriores de Amorim et al. (1967). Os mesmos autores constataram que os teores de K nos grãos não se correlacionaram com a qualidade da bebida. A fonte de K utilizada em ambos os experimentos foi o cloreto de potássio, do qual os autores suspeitaram de um possível efeito negativo do cloreto na qualidade da bebida.

A atividade da enzima polifenoloxidase está correlacionada positivamente com a qualidade da bebida do café arábica (Amorim e Silva, 1968) o que foi confirmado posteriormente no Brasil por Rotemberg e Iachan (1972) e por Sanint e Valência (1970) na Colômbia. Dentro desta linha de pesquisa, Arcila-Pulgarin e Valência-Aristizábal (1975) estudaram o efeito da fertilização potássica sobre a

atividade da polifenoloxidase e não encontraram diferenças estatísticas entre os seguintes tratamentos: testemunha, cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4), KCl + N + P + Mg e K_2SO_4 + N + P + Mg. A fertilização potássica aumentou os teores de K nos grãos, sem correlacionar com a atividade da enzima, apesar do sulfato de potássio ter propiciado algum aumento da polifenoloxidase.

Santinato, Oliveira e Pereira (1996), no Brasil, utilizaram doses crescentes de 0, 114, 145 e 208kg de K ha^{-1} em cafeeiros da variedade Acaia em um Latossolo Vermelho Amarelo, mas não encontraram melhoria da bebida, avaliada pela “prova da xícara”, tendo KNO_3 como fonte de K.

Malavolta (1986a) estudou o efeito de três fontes de S (sulfato de amônio, sulfato duplo de potássio e magnésio e fosfogesso) nas doses de S (0, 20 e 40kg de S ha^{-1}) na produção e qualidade da bebida pela “prova da xícara”, porém, não encontrou diferenças na avaliação da qualidade da bebida, na média de quatro safras (1981/82 a 1984/85) no município de Olímpia, SP, em grãos colhidos em lavouras conduzidas sobre solo Podzólico Vermelho Amarelo.

Em trabalho recente, Silva et al. (1999) estudaram o efeito de fontes e doses de K na composição físico-química e química dos grãos de café beneficiados em São Sebastião do Paraíso do Sul de Minas e obtiveram uma maior atividade enzimática da polifenoloxidase, índice de coloração e açúcares totais, e baixa acidez titulável total em cafés adubados com a fonte sulfato de potássio, afirmando que esta fonte proporcionou uma melhor qualidade do café. Os autores observaram uma redução nos teores de açúcares totais com aumento das doses de K na forma de KCl e o inverso, quando se utilizou o sulfato de potássio. Segundo Amorim et al. (1976), os cafés de melhor qualidade de bebida possuem teores mais elevados de açúcares.

Com relação à influência dos íons sobre a atividade enzimática da polifenoloxidase, Fox (1991) descreveu os efeitos de solutos sobre a atividade enzimática, dando enfoque à inativação de enzimas pelo KCl e pelo NaCl atribuindo-se ao íon halogênio (Cl^-) esta ação inibitória, tendo mencionado ainda alterações no sabor dos produtos, o que é de suma importância na avaliação da qualidade do café. Uma hipótese explicativa seria a ocorrência de precipitação química do íon Cl^- , com o Cu^{+2} , facilitada pelo excesso do íon halogênio, que reduziria a ativação de enzimas. Conhece-se também um poderoso efeito de certos ânions na desnaturação de proteína, pela sua habilidade em promover a ruptura da cadeia orgânica nas seguinte ordem decrescente: $\text{SCN}^- > \text{ClO}_4^- > \text{I}^- > \text{Cl}^- > \text{acetato} > \text{SO}_4^{-2}$ (Fox, 1991). No caso da diminuição da atividade polifenoloxidase, uma interação ou reação de precipitação entre Cu^{+2} e Cl^- , possível de ocorrer, teria um efeito negativo sobre a qualidade da bebida do café (Robinson e Eskin, 1991).

Plantas que recebem elevadas quantidades de Cl aumentam o seu teor de água, o que é favorecido pela adubação potássica na forma de KCl (Gouny, 1973). Um maior teor de umidade nos frutos favorece a proliferação de microorganismos e, segundo Leite (1991), em qualquer condição adversa aos grãos de café beneficiados, a polifenoloxidase atua sobre os compostos fenólicos, diminuindo sua ação antioxidante sobre os aldeídos, consequentemente, facilitando a oxidação destes últimos. Nesta situação, produzem-se quinonas, as quais agem como inibidor da ação da enzima polifenoloxidase, o que parece confirmar a atuação dos microorganismos, devido ao aumento do teor de açúcares redutores com o incremento das doses da fonte KCl e redução dos açúcares não redutores e totais, conforme observado por Silva et al. (1999). A redução da qualidade do café com uma consequência do uso do KCl pode ser então um efeito desse dois fatores, isto é, um, direto do íon halogênico (Cl^-) sobre a

polifenoloxidase e o indireto, pelo aumento da umidade dos grãos e conseqüente proliferação e atuação dos microorganismos, reduzindo a qualidade da bebida do café.

3 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V.H.; FREIRE, F.M.; LEITE, R.A. Crescimento de mudas de café em função de fósforo e enxofre disponíveis de dois solos de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11, 1984, Londrina, SC. *Anais...* São Paulo: GERCA/IBC, 1984. p.48-51.

AMORIM, H.V. **Aspectos bioquímicos e histoquímicos do grão de café verde relacionados com a determinação da qualidade.** Piracicaba: USP/ESALQ, 1978. 85p. (Tese - "Livre Docente" em Bioquímica)

→AMORIM, H.V. Estado nutricional do cafeeiro e qualidade da bebida. *Revista de Agricultura*, Piracicaba, v.43, n.2, p.93-103, jun. 1968.

AMORIM, H.V. **Relação entre alguns compostos orgânicos do grão do café verde com a qualidade da bebida.** Piracicaba: ESALQ, 1972. 136p. (Tese - Doutorado em Bioquímica).

AMORIM, H.V.; LEGENDRE, M.G.; AMORIM, V.L., ANGELO, A.J.S.; ORY, R.L. Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. VII. Total carbonyls, activity of polyphenol oxidase, and hydroperoxides. *Turrialba*, San José, v.26, n.2, p.193-195, abr./jun. 1976.

AMORIM, H.V.; SCOTON, L.C.; CASTILHO, A.; PIMENTEL GOMES, F.; MALAVOLTA, E. Estudo sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XXI. Efeito da adubação N P e K e orgânica na composição mineral do grão e na qualidade da bebida. *Anais da ESALQ*, Piracicaba, v.24, p.215-227, 1967.

AMORIM, H.V.; SILVA, D.M. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and quality of the beverage. *Nature*, New York, v.219, n.27, p.381-382, july. 1968.

- AMORIM, H.V.; TEIXEIRA, A.A.; GUERCIDO, M.A.; CRUZ, V.F.; MALAVOLTA, E. Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. II. Phenolic compounds. **Turrialba**, San Jose, v.24, n.2, p.217-221, abr./jun. 1974.
- AMORIM, H.V.; TEIXEIRA, A.A.; MORAES, R.S.; REIS, A.J.; PIMENTEL GOMES, F.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre alimentação mineral do cafeeiro XXVII. Efeito da adubação N, P e K no teor de macro e micronutrientes do fruto e na qualidade da bebida do café. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.30, p. 323-333, 1973.
- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO CAFÉ. **Coffee Business**, v.3, 1998. 107p.
- ARAÑA, M.L. Fertilización con cloruro de potasio y con sulfato de potasio en plantaciones de café. I. Verificación de la absorción de iones K, Cl y S por medio de analisis foliar. **Cenicafé**, Caldas, v.18, n.2, p.47-54, abr./jun. 1967.
- ARCILA-PULGARIN, J.; VALÊNCIA-ARISTIZÁBAL, G. Relación entre la actividade de la polifenol oxidasa (P.F.O.) y las pruebas de catacion como medidas de la calidad de la bebida del cafe. **Cenicafé**, Caldas, v.26, n.2, p.55-71, abr./jun.1975.
- BARROS, U.V.; SANTINATO, R.; MATIELLO, J.B.; BARBOSA, C.M. Níveis de nitrogênio e potássio para formação e produção do cafeeiro adensado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23, 1997, Manhuaçu, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1997. p.50-51.
- BITANCOURT, A.A. As fermentações e podridões da cereja de café. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v.32, p.7-14, jan. 1957.
- CARVAJAL, J.F. **Cafeto: cultivo y fertilización**. 2.ed. Berna: Instituto Internacional de La Potassa, 1984. 254p.
- CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.de R.; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.449-454, mar. 1994.

- CARVALHO, V.D. de; CHALFOUN, S.M.; CHAGAS, S.J. de R. Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 15, 1989, Maringá, PR. **Anais...** Rio de Janeiro: MEC/IBC, 1989. p.25-26.
- CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P. de. A composição química do cafeeiro. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v.33, n.1, p.45-52, mar. 1958.
- CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P.; BERGAMIN, H. A concentração de cloro em folhas de café. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.26, p. 97-98, 1969.
- CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; BITTENCOURT, V.C.; JACINTO, A.O.; GRANER, C.A.F.A. Concentração e a quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro, *Coffea arabica*, L.; Var. Mundo Novo (B.Rodr.) Choussy, aos dez anos de idade. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.24, p.97-106, 1967.
- CERVELLINI, G.S.; IGUE, T. Adubação mineral e orgânica do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.53, n.1, p.83-93, 1994.
- CHAGAS, S.J. de R.; CARVALHO, V.D.; COSTA, L. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.8, p.555-561, ago. 1996.
- CHAGAS, S.J. de R.; CARVALHO, V.D.; COSTA, L.; ROMANIELLO, M.M. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. II – Valores de acidez titulável e teores de açúcares (redutores, não redutores e totais). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.20, n.2, p.224-231, abr./jun. 1996.
- CHALFOUN, S.M.S. **O café (*Coffea arabica* L.) na Região Sul de Minas Gerais-relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos**. Lavras:UFLA, 1996. 171p. (Tese – Doutorado em Fitotecnia).
- CLIFFORD, M.N. Chemical and physical aspects of green coffee and coffee products. In: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. **Coffee, botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croomhelm, 1985a. p.305-359.

CLIFFORD, M.N. Chlorogenic acids. In: CHARKE, R.J.; MACRAE, R. **Coffee**. London: Elsevier, 1985b. p.153-202.

CLIFFORD, M.N.; RAMIREZ-MARTINEZ, J.R. Tannins in wet-processed coffee beans and coffee pulp. **Food Chemistry**, Oxford, v.40, n.2, p.191-200, May 1991.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Lavras, 1989. 159p.

DENTAN, E. The microscopic structure of the coffee bean. In: CLIFFORD, M.N.; WILLSON, K.C. **Coffee, botany, biochemistry and production of beans and beverage**. London: Croombelm, 1985. p.284-304

EATON, F.M. Chlorine. In: CHAPMAN, H.D. **Diagnostic criteria for plants and soils**. California: Divison of Agricultural Sciences, 1966. p.93-135.

→ FELDMAN, J.R.; RYDER, W.S.; KUNG, J.T. Importance of non volatile compounds to the flavor of coffee. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v.17, p.733-739, 1969.

FOX, P.F. **Food enzymology**. London: Elsevier Applied Science, 1991. 378p.

FRAGA Jr., C.G.; CONAGIN, A. Delineamentos e análises de experimentos com cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v.15, n.17, p.177-191, 1956.

GOUNY, P. Observaciones sobre el comportamiento del vegetal en presencia de iones de cloro. **Revista de la Potassa**, Berna, v.45, n.5, p.1-14, 1973

GUIMARÃES, P.TG. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas Gerais**. Piracicaba: ESALQ, 1986. 140p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

HOFFMANN, C.R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A.; ENVANGELISTA, A.R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.79-86, jan./mar. 1995.

HORMAN, I.; VIANI, R. The caffeine-chlorogenate complex of coffee. Na NMR study. In: INTERNACIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, 5, 1971, Lisbon. Paris: ASIC, 1971. p.102-111.

ILLY, A.; VIANI, R. **Expresso coffee: the chemistry of quality.** London: Academic Press, 1995. 253p.

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Flavour profiles of commercial roasted and ground coffee samples from Brasil.** London, 1991a. n.p. (Sensory Report).

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Quantitative descriptive flavour profiling of coffees from COOPARAÍSO-MG, Brasil.** London, 1991b. n.p. (Report de Evaluacion Sensorial).

IUPAC. Nomenclature of cyclitols. **The Biochemical Journal**, London, v.153, n.1, p.23-31, jan. 1976.

JAYARAMA, R.P.; ALWAR, A.; NAIDU, R. Latest concept of fertiser usage in coffe plantations with respect to nitrogen, phosphorus and potassium. **Indian Coffe**, Bangalore, v.589, n.9, p.9-12, 1994.

LEITE, I.P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica*, L.).** Lavras: ESAL, 1991. 131p. (Dissertação - Mestrado em Ciência de Alimentos)

LOCKHART, E.E. **Chemistry of coffee.** New York: The Coffe Brewing Institute, 1957. 20p. (Publication, 25).

LOPES, A.S. **Solos sob "cerrado": características, propriedades e manejo.** Piracicaba, POTAFOS, 1984. 162p.

LOTT, W.L.; McCLUNG, A.C.; MEDCALF, J.C. **Deficiência de enxofre no cafeeiro.** São Paulo: IBEC, 1960. 32p. (Boletim Técnico, 32).

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. IV - Café.** São Paulo: SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986a. 41p. (Boletim Técnico, 4).

- MALAVOLTA, E. **Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro.** In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade.** Piracicaba: POTAFOS, 1986b. p.136-274.
- MALAVOLTA, E. **Nutrição mineral e adubação do cafeeiro: colheitas econômicas máximas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1993. 210p
- MALAVOLTA, E; GRANER, E.A.; SARRUGE, J.R.; GOMES, L. Estudos sobre a alimentação mineral do cafeeiro. XI. Extração de macro e micronutrientes na colheita pelas variedades "Bourbon Amarelo", "Caturra Amarelo" e "Mundo Novo". **Turrialba**, San José, v.13, n.3, p.188-189, jul./set. 1963.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas.** Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p
- MATIELLO, J.B. **Sistemas de produção na cafeicultura moderna.** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 1995. 102p.
- MENDES, J.E.T. Adubação do cafeeiro. In: **I curso de cafeicultura.** 3.ed. Campinas: Instituto Agronômico de São Paulo, 1957. p.149-150.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principales of plant nutrition.** 4.ed. Berna: International Potash Institute, 1987. 687p.
- MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; NETTO, K.A. Estudos de fontes e doses de enxofre na formação de cafeeiros em Latossolo Vermelho Amarelo húmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 17, 1991, Varginha, MG. **Anais...**Rio de Janeiro: MAARA/SNPA/EMBRAPA, 1991. p.102-106.
- MULLER, L.E. Coffee nutrition. In: CHILDERS, N.F. **Fruit nutrition.** New Bruswich: Horticultural Publications, 1966. p.685-776.
- N'GORAN, K. Effets du chlore sur le comportement de quelques clones de caféiers robusta sur le littoral Ivoirien. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIN ON COFFEE, 13, 1989, Paipa (Colômbia). Paris: ASIC, 1990. p.564-572.

NAVELLIER, P. Coffe. In: **ENCYCLOPÉDIA of Industrial Chemical Analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1970. v.19, p.373-447.

NORTHMORE, J.M. Raw bean colours and the quality of Kenya arabica coffee. In: **INTERNACIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE**, 3, 1967, Trieste. Paris: ASIC, 1967. p.405-414.

OHIOKPEHAI, O.; BRUMEN, G.; CLIFFORD, M.N. The chlorogenic acid content of some peculiar green coffee beans and the implications for beverage quality. In: **INTERNACIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE**, 10, 1982, Salvador. Paris: ASIC, 1982. p.177-186.

OLIVEIRA, J.A.; PEREIRA, J.E. Efeito da adubação nitrogenada e potássica na formação e produção do cafeeiro em LVHd. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS**, 14, 1987, Campinas, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1987. p.133-136.

PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.P.; MESQUITA FILHO, L. Manejo da adubação para formação de lavouras cafeeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.1, p.33-42, jun. 1986.

PEREIRA, R.G.F.A. Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica* L.) "estritamente mole". Lavras:UFLA, 1997. 96p. (Tese – Doutorado em Ciência dos Alimentos)

PIMENTA, C.J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de diferentes frutos colhidos em quatro estádios de maturação**. Lavras:UFLA, 1995. 94p. (Dissertação – Mestrado em Ciências dos Alimentos).

PRETE, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica*, L.) e sua relação com a qualidade da bebida**. Piracicaba: ESALQ, 1992. 125p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.

ROBINSON, D.S.; ESKIN, N.A.M. **Oxidative enzymes in foods**. New York: Elsevier Applied Science, 1991. 314p.

- ROTENBERG, B.; IACHAN, A. Contribuição ao estudo enzimático do grão de café. I. Tirosinase e lacase. **Revista Brasileira de Tecnologia**, São Paulo, v.3, n.3, p.155-159, set. 1972.
- SANINT, O.B.; VALÊNCIA, A. Actividade enzimática en el grano de café en relación con la calidade de la bebida. I. Duración de la fermentación. **Cenicafé**, Caldas, v.21, n.2, p.59-71, 1970.
- SANTINATO, R.; OLIVEIRA, L.H.; PEREIRA, E.M. Efeitos do uso de salitre de potássio como fonte de nitrogênio e potássio na adubação química do cafeeiro - Carmo do Paranaíba/MG - 1992/1996. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 22, 1996, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** São Paulo: SDR/PROCAFÉ/EMBRAPA/DENAC/CATI, 1996. p.180-184.
- SILVA, E.B. **Potássio para cafeeiro: efeito de fontes, doses e determinação de cloreto**. Lavras: UFLA, 1995. 87p. (Dissertação – Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas).
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G.; CHAGAS, S.J. de R.; COSTA, L. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.335-345, mar. 1999.
- SNOECK, D.; N'GORAN, K.; SNOECK, J. Étude des formes de potassium sur chimisme foliare des caféiers robuste en Côte d'Ivoire - Influence du chlore. **Café Cacao Thé**, Paris, v.30, n.1, p. 37-50, jan./mar. 1986.
- SONDHEIMER, E. On the distribution of caffeic acid and the chlorogenic acid isomers in plants. **Archives of Biochemistry & Biophysics**, New York, v.74, p.131-138, 1958.
- STEPHANS, D. A note on the correlations between coffee yields and soil analysis in Uganda. **East African Agriculture and Forestry Journal**, Nairobi, v.32, n.4, p.456-458, 1967.
- STEVENS, W.L. Análise estatística do ensaio de variedades de café. **Bragantia**, Campinas, v.9, p.103-123, 1949.



URIBE-HENAO, A.; MESTRE-MESTRE, A. Efecto de nitrogênio el fosforo y el potassio sobre la producción de café. **Cenicafé**, Chinchina, v.27, n.4, p.158-173, out./dez. 1976.

VAN BÜREN, J. Fruit phenolics. In: HULME, A.C. **The biochemistry of fruits and their products**. New York: Academic Press, 1970. v.1, p.268-304.

VAN DER STEGAN, G.H.D.; VAN DUIJIN, J. Analysis of chlorogenic acids in coffee. In: INTERNACIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIUM ON COFFEE, 9, 1980, London. Paris: ASIC, 1980. p.107-112.

VIANA, A.S.; FLORENCE, M.L.D.; GARCIA, A.W.R.; FIORANTE, N. Estudos de fontes e doses de enxofre e zinco na formação de cafeeiros em solo Led. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13, 1986, São Lourenço, MG. **Anais...**Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1986. p.66-68.

VIANA, A.S.; GARCIA, A.W.R.; CORRÊA, J.B.; MATA, J.M. Estudo de níveis e relação N/K em cafeeiros plantados em solo LE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985, Caxambu, MG. **Anais...**Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985a. p.139-142.

VIANA, A.S.; GARCIA, A.W.R.; LACERDA, M.P.; FIORANTE, N. Níveis e relação N/K em cafezais plantados em espaçamento 2 x 1 m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985, Caxambu, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985b. p.66-69.

VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; CORRÊA, J.B.; LACERDA, M.P.; FIORANTE, N. Doses de parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985, Caxambu, MG. **Anais...**Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985c. p.146-148.

WELLMAN, F.L. **Coffee: botany, cultivation and utilization**. Londres: Leonard Hill Limited, 1961. 488p.

WHITAKER, H.R. **Principles of enzymology for the food sciences**. New York: Marcel Dekker, 1972. p.571-582.

[REDACTED]

WINSTON, E.C.; LITTLEMORE, J.; SCUDANORE-SMITH, P.; O'FARRELL, P.J.; WIFFEN, D.; DOOGAN, V.J. Effect of nitrogen and potassium on growth and yield of coffee (*Coffea arabica* L.) in tropical Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v.32, n.2, p.217-224, 1992.

ZAWISTOWSKI, J.; BILIADERIS, C.G.; ESKIN, N.A.N. Polyphenoloxidases. In: ROBINSON, D.S.; ESKIN, N.A.M. **Oxidative enzymes in foods**. New York: Elsevier Applied Science, 1991. p.217-274.

ZEHLER, E.; KREIPE, H.; GETTING, P.A. **Sulfato de potássio e cloreto de potássio: sua influência na produção e na qualidade das plantas cultivadas**. Campinas: Fundação Cargil, 1986. 111p.

CAPÍTULO 2

FONTES E DOSES DE POTÁSSIO NA PRODUÇÃO DO CAFEEIRO EM LATOSSOLO ROXO E LATOSSOLO VERMELHO AMARELO

RESUMO

SILVA, Enilson de Barros. **Fontes e doses de potássio na produção do cafeeiro em Latossolo Roxo e Latossolo Vermelho Amarelo.** Lavras: UFLA, 1999. 105p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

Foram conduzidos dois experimentos de campo nas Fazendas Experimentais da EPAMIG, sendo um em Latossolo Roxo (LR) em São Sebastião do Paraíso (MG) e o outro em Latossolo Vermelho Amarelo (LV) em Patrocínio (MG) com o objetivo de avaliar a resposta do cafeeiro à aplicação de fontes e doses de potássio. Usaram-se, em ambos os locais de cultivo, cafezais da espécie *Coffea arabica*, L. da cultivar Catuaí Vermelho, linhagem MG-99 com idade de seis anos, com uma planta por cova no espaçamento 3,5 x 0,7m. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três fontes de K sendo: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) nas parcelas e quatro doses de K (0, 100, 200 e 400kg ha⁻¹) aplicadas nas subparcelas com quatro blocos. Foi avaliada a produção de grãos de café beneficiados em quatro safras (1995 a 1998), em cada local de cultivo. O cafeeiro respondeu positivamente em produção de grãos às aplicações de doses crescentes de K em cada fonte utilizada. As doses de K para produção máxima foram de 213,9kg, 226,5kg e 223,0kg.ha⁻¹, respectivamente das fontes KCl, K_2SO_4 e KNO_3 . A dose de K média foi igual a 221,1kg de K ha⁻¹ com produção média de 46,4sacas ha⁻¹. Houve uma sequência em ordem decrescente de melhores resultados entre as fontes: $K_2SO_4 = KNO_3 > KCl$ para produção de grãos de café beneficiados.

ABSTRACT

SILVA, Enilson de Barros. **Sources and doses of potassium in the yield of the coffee tree on Red Dusky Latosol and Yellow Red Latosol.** Lavras: UFLA, 1999. 105 p. (Thesis – Doutorate in Soils and Plant Nutrition).

Two field experiments were conducted on the Experimental Farms of the EPAMIG, one on a Red Dusky Latosol (RDL) in São Sebastião do Paraíso (MG) and the other on Yellow Red Latosol (YRL) in Patrocínio (MG) with the objective of evaluating the response of coffee tree to application of sources and doses of potassium. In both the growing places, coffee plantations of the species *Coffea arabica* L. of the cultivar Catuai Vermelho and line MG-99, aged six years were utilized with a plant per hole at the spacing 3.5 x 0.7m. The experimental design was in randomized blocks in the split plot scheme, by utilizing three sources of K: potassium chloride(KCl), potassium sulphate (K_2SO_4) and potassium nitrate (KNO_3) in the plots and four doses of K (0, 100, 200 and 400kg ha⁻¹) applied in the subplots with four blocks. Yield of processed coffee grains in four crops (1995 to 1998) in each growing place was evaluated. The coffee tree in grain yield responded to the applications of increased doses of K in each source utilized. The doses of K for maximum yield were of 213.9kg, 226.5kg and 223.0kg.ha⁻¹, respectively from the sources KCl, K_2SO_4 and KNO_3 . The average dose of K was equal to 221.1kg of K ha⁻¹ with an average yield of 46.4sacks ha⁻¹. There was a sequence in decreasing order of best results among the sources: $K_2SO_4 = KNO_3 > KCl$ for yield of processed coffee grains.

1 INTRODUÇÃO

A cultura do cafeeiro continua sendo uma das principais fontes de divisas para o Brasil. Apesar da importância desta cultura, sabe-se que a produtividade média brasileira é baixa quando comparada com a de outros países.

A baixa produtividade está associada à reduzida densidade de plantio, à falta de poda e ao manejo das lavouras. Além desses fatores, existem outros como a acidez de superfície e subsuperfície, a baixa quantidade de corretivos e adubos aplicados, que impedem o potencial de produção das variedades e linhagens cultivadas seja atingido.

As exigências do cafeeiro em relação à adubação potássica podem ser verificadas pela quantidade de potássio (K) encontrada nas partes vegetativas, bem como nos frutos do cafeeiro, desempenhando esse nutriente um papel importante no desenvolvimento e na produção desta planta.

Em geral, altos teores de K estão relacionados às colheitas elevadas, levando ao questionamento da hipótese de “consumo de luxo” deste nutriente pelo cafeeiro. Ainda são necessários estudos mais completos sobre a adubação potássica do cafeeiro, principalmente sobre seus efeitos nos anos de baixa e alta na produção; por período mais prolongados.

O objetivo deste trabalho foi estudar fontes e doses de potássio na produção do cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos, um deles Latossolo Roxo (LR), fase floresta tropical subperenifolia transicional para Cerrado, na Fazenda Experimental da EPAMIG em São Sebastião do Paraíso (MG), município cuja

altitude é 940 m, latitude de 20°54'S, longitude a 46°59'W, precipitação pluviométrica média anual de 1.627 mm, sendo o clima classificado como Cwa, segundo Köppen (Antunes, 1986). O outro experimento foi em Latossolo Vermelho Amarelo (LV), fase Cerrado, na Fazenda Experimental da EPAMIG em Patrocínio (MG), município situado a altitude de 934 m, latitude de 18°57'S, longitude de 47°00'W, precipitação pluviométrica média anual de 1.400 mm e classificação climática Cwa, segundo Köppen (Antunes, 1986).

Para a caracterização dos solos foram coletadas amostras, em horizonte Ap, compostas de 0 a 20cm de profundidade que, depois de secas ao ar e passadas em peneira de 2mm, foram analisadas química e fisicamente. As análises químicas foram: pH em água; Ca, Mg e Al foram extraídos pelo KCl 1mol L⁻¹; P e K pelo Mehlich 1 (HCl 0,05mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,025mol L⁻¹) e matéria orgânica pelo método colorimétrico de acordo com EMBRAPA (1997). O enxofre (S-SO₄⁻²) foi extraído por fosfato diácido de cálcio (Ca(H₂PO₄)₂) segundo Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1985). A análise física foi realizada determinando-se a textura do solo pelo método da pipeta (Camargo et al., 1986). Os resultados para os dois solos são mostrados na Tabela 1. Os dados de precipitação registrados durante o período experimental estão representados na Tabela 2, resumidas em totais mensais por ano.

TABELA 1. Características químicas e físicas de amostras da camada de 0 a 20cm (horizonte Ap) dos dois solos^{1/}. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Características	Latossolo Roxo	Latossolo Vermelho Amarelo
pH (água)	6,0 AcF	5,9 AcM
P (mg dm ⁻³)	7,0 B	3,0 B
K (mg dm ⁻³)	70,0 M	63,0 M
Ca (cmol _c dm ⁻³)	3,8 M	3,4 M
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,9 M	1,3 A
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,1 B	0,1 B
t (cmol _c dm ⁻³)	5,0 M	5,0 M
T (cmol _c dm ⁻³)	7,5 M	7,1 M
m (%)	2,0 B	2,0 B
V (%)	65,0 M	69,0 A
M.O. (dag kg ⁻¹)	2,6 M	3,1 A
S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)	19,5	17,5
Areia (dag kg ⁻¹)	24	22
Silte (dag kg ⁻¹)	23	31
Argila (dag kg ⁻¹)	53	47

1/ Laboratório de Fertilidade e Física do Solo - DCS/UFLA - Lavras - MG

AcF - Acidez fraca; AcM - Acidez média; B - Baixo; M - Médio; A - Alto (CFSEMG, 1989)

TABELA 2. Dados de precipitação no período de janeiro de 1994 a dezembro de 1998 das duas áreas experimentais. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Mês	Precipitação (mm)											
	São Sebastião do Paraíso						Patrocínio					
	1994	1995	1996	1997	1998	Média	1994	1995	1996	1997	1998	Média
Jan ¹	291,8	313,1	335,2	489,0	174,6	320,7	417,9	147,5	191,8	460,0	35,5	250,54
Fev ^{1,2}	122,1	478,0	129,2	158,6	475,7	272,7	105,9	333,5	138,0	108,0	333,0	203,68
Mar ^{1,2}	151,4	145,1	180,3	97,9	117,1	138,3	291,0	193,6	182,5	195,0	135,0	199,42
Abr	38,4	122,2	58,8	41,4	126,1	77,3	93,1	64,5	71,5	36,0	81,5	69,32
Mai	104,8	82,2	70,4	71,7	109,1	87,6	67,3	178,5	26,3	40,0	37,5	69,92
Jun	7,9	9,8	31,2	131,5	1,0	36,2	8,4	0,0	0,0	40,0	6,0	10,88
Jul	12,9	12,9	0,0	0,0	0,0	5,1	6,0	0,0	19,5	0,0	2,5	5,6
Ago	0,0	0,0	17,6	0,0	37,9	11,1	0,0	0,0	8,8	0,0	0,0	1,76
Set ^{1,1}	0,0	39,8	131,8	75,4	87,7	66,9	0,5	76,5	130,7	73,05	78,5	71,9
Out ^{1,1}	141,4	15,6	156,2	161,2	135,0	121,8	105,5	99,0	73,1	116,0	113,6	101,4
Nov	275,8	121,8	361,1	218,8	127,8	221,0	173,7	151,4	226,5	128,0	152,0	166,3
Dez	309,3	434,1	172,9	292,7	292,7	300,3	311,6	441,8	279,7	284,0	190,7	301,6
Total	1455,8	1774,6	1644,7	1738,2	1684,7	1659,0	1580,9	1686,3	1348,4	1480,1	1165,8	1452,3

^{1/} Época de florescimento do cafeeiro ^{1/2} Época de enchimento dos frutos

Usaram-se, em ambos os locais de cultivo, cafezais da espécie *Coffea arabica* L. da cultivar Catuaí Vermelho e linhagem MG-99 com idade de seis anos, com uma planta por cova no espaçamento 3,5 x 0,7m. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três fontes de K sendo: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) nas parcelas e quatro doses de K (0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹) que equivalem às doses de 0, 120, 240 e 480kg de K₂O ha⁻¹ aplicadas nas subparcelas com quatro blocos. Estas doses foram baseadas no trabalho de Silva (1995) e estabelecidas na expectativa de encontrar resposta do cafeeiro à aplicação dessas doses em cada fonte utilizada. A parcela experimental foi constituída de três linhas de oito covas, formando um total de 24 covas por parcela, sendo consideradas como parcelas úteis as seis covas centrais.

A adubação nitrogenada e fosfatada (básica) foi aplicada em doses recomendadas para lavoura do mesmo porte e idade, segundo a CFSEMG (1989), utilizando-se uréia e MAP (fosfato monoamônico), respectivamente. Os tratamentos e a adubação básica foram parcelados em quatro vezes iguais a cada ano. De novembro a janeiro, os experimentos receberam pulverização a alto volume de sulfato de zinco a 0,5% e de ácido bórico a 0,3% da calda, para o controle preventivo de deficiências, além dos controles fitossanitários e demais tratamentos culturais.

Avaliou-se a produção de grãos das seis covas úteis, colhidos por derriça no pano, quando se estimou previamente na lavoura, a presença de 5% de frutos verdes. Após colhidos os frutos foram secos em terreiro cimentado, pesados e beneficiados. As quantidades de café beneficiado por parcela útil foram convertidas em produção de sacas de 60kg por hectare. As produções de grãos de café beneficiados foram avaliados por quatro safras, de 1994/95 até 1997/98, em cada local.

Os dados de produção de grãos de café beneficiados por safra, por biênio (média da safra de baixa e alta produção consecutivas) e média das quatro safras (1995 a 1998) para ambos os locais, separadamente, foram submetidos à análise de variância e regressão polinomial, cujas equações foram ajustadas às médias de produção em função das doses de K para cada fonte de K. A partir das equações significativas, estimaram-se as doses de K para a produção máxima para cada fonte de K e local. Utilizou-se o programa SISVAR, versão 3.03, nas análises dos dados e adotaram-se os níveis de significância de 1%, 5% e 10%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção anual de grãos de café beneficiado

A análise de variância para produção de grãos de café beneficiados mostrou que houve resposta significativa com o aumento das doses de K na forma de K_2SO_4 na safra 1996; para KCl e K_2SO_4 na safra 1997 e para todas as fontes aplicadas na safra 1998 em São Sebastião do Paraíso (LR). Em Patrocínio (LV), as respostas foram para o K_2SO_4 na safra 1996; para K_2SO_4 e KNO_3 na safra 1997 e para todas as fontes utilizadas na safra 1998 (Anexo A).

Os resultados da produção de café beneficiado, em saca de 60kg ha^{-1} , das quatro safras, ou seja, dos dois biênios e da média das quatro safras, nos dois locais de cultivo (LR e LV) sobre os efeitos de fontes e doses de potássio encontraram-se na Tabela 3.

TABELA 3. Produção de café, por safra e por biênios de produção, durante quatro safras agrícolas em função de fontes e doses de K, em Latossolo Roxo (LR) e Latossolo Vermelho Amarelo (LV). UFLA, Lavras - MG, 1999.

Fonte de K	Doses de K (kg ha ⁻¹)	Sacas de 60 kg beneficiadas ha ⁻¹						Média Anual
		Safra				Biênio		
.....São Sebastião do Paraíso (LR).....								
KCl	0	24,25	64,13	0,75	42,97	44,19	21,86	33,02
	100	18,63	69,08	1,35	56,38	43,85	28,87	36,36
	200	26,30	68,53	2,73	57,76	47,41	30,25	38,83
	400	23,45	57,68	5,50	51,72	40,56	28,61	34,59
Média		23,16	64,86	2,58	52,21	44,00	27,40	35,70
K ₂ SO ₄	0	17,58	54,40	2,35	48,12	35,99	25,24	30,61
	100	20,20	63,20	3,55	59,01	41,70	31,28	36,49
	200	22,60	53,43	8,60	59,53	38,01	34,07	36,04
	400	24,18	53,50	6,33	55,43	38,84	30,88	34,86
Média		21,14	56,13	5,21	55,52	38,64	30,37	34,50
KNO ₃	0	18,15	61,18	1,20	47,56	39,66	24,38	32,02
	100	22,45	75,80	1,90	52,04	49,13	26,97	38,05
	200	17,20	69,65	1,05	57,46	43,43	29,25	36,34
	400	20,88	56,10	0,73	51,07	38,49	25,90	32,20
Média		19,67	65,68	1,22	52,03	42,68	26,63	34,65
.....Patrocínio (LV).....								
KCl	0	37,95	85,57	18,48	44,40	61,76	31,44	46,60
	100	38,55	86,94	26,60	49,04	62,75	37,82	50,88
	200	37,33	96,73	20,39	56,64	67,03	38,52	52,77
	400	40,03	81,51	17,54	50,84	60,77	34,19	47,48
Média		38,47	87,69	20,75	50,23	63,08	35,49	49,43
K ₂ SO ₄	0	37,23	86,32	16,58	38,02	61,78	27,30	44,54
	100	43,83	89,08	27,06	49,83	66,46	38,44	52,45
	200	47,68	99,97	33,46	55,70	73,83	44,58	59,20
	400	33,93	84,19	20,51	44,06	59,06	32,29	45,67
Média		40,67	89,89	24,40	46,90	65,28	35,65	50,47
KNO ₃	0	39,85	80,36	14,88	42,48	60,11	28,68	44,39
	100	37,35	86,95	26,18	49,11	61,15	37,65	49,90
	200	44,70	91,31	28,64	55,95	68,01	42,30	55,15
	400	39,53	80,83	36,12	47,49	60,18	41,81	50,99
Média		40,36	84,86	26,46	48,76	62,36	37,61	50,11

Para ambos os locais estudados, as safras 1996 e 1998 foram anos de alta produção dos cafeeiros. Observou-se que, em Patrocínio, independente do efeito dos tratamentos, as produções foram mais elevadas do que em São Sebastião do Paraíso, independente dos anos de alta ou baixa produção. A bienalidade da produção do cafeeiro, ou seja, um ano de alta produção seguida de outra de baixa produção é prejudicial à expectativa de resposta aos tratamentos, diminuindo a sua consistência na sequência anual. As melhores respostas à aplicação das doses de K e a produção dentro de cada fonte foram encontradas nos anos de alta produção do cafeeiro.

Pela Tabela 4, verifica-se que na safra 1995, ou seja, um ano de baixa produção, não se observaram respostas significativas às doses de K para cada fonte em ambos os solos. Por outro lado, verifica-se, pela Tabela 1, que os teores de K no solo, em ambos os locais, são considerados médios, segundo CFSEMG (1989), sendo reduzidas as respostas à aplicação deste nutriente nesta condição.

Na safra 1997, de baixa produção do cafeeiro, em São Sebastião do Paraíso, foram necessários mais de 122,4kg de K ha⁻¹, na forma de KCl, para obter-se uma produção máxima inferior àquela encontrada utilizando-se a fonte K₂SO₄ conforme se verifica a diferença entre as doses para produção máxima na Tabela 4. Do mesmo modo, comparando-se as fontes K₂SO₄ e KNO₃, observa-se que houve a necessidade de 184,2kg de K ha⁻¹ a mais de KNO₃ em relação K₂SO₄, para um aumento de 4,6sacas ha⁻¹, em Patrocínio (Tabela 4). Com esses resultados, pode-se observar que naquela safra (de baixa produção), a fonte K₂SO₄ proporcionou um ganho em ambos os solos, tendo sido destacada sua maior eficácia, além de minimizar o efeito da alternância da produção.

TABELA 4. Equações de regressão polinomial ajustadas para produção como variáveis dependentes das doses de K, produção máxima e doses estimadas para produção máxima das fontes de K, para quatro safras em LR e LV. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Fonte de K	Equações de regressão	R ²	Produção máxima (sacas ha ⁻¹)	Doses máximas de K (kg ha ⁻¹)
São Sebastião do Paraíso (LR)				
.....1994/95.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	NS			
KNO ₃	NS			
.....1995/96.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	NS			
KNO ₃	$y = 62,84 + 0,11964^{**}x - 0,000344^{**}x^2$	0,85	73,2	173,9
.....1996/97.....				
KCl	$y = 0,43 + 0,01226^{**}x$	0,98	5,3	400,0
K ₂ SO ₄	$y = 1,69 + 0,04386^{**}x - 0,000079^{**}x^2$	0,78	7,8	277,6
KNO ₃	NS			
.....1997/98.....				
KCl	$y = 43,71 + 0,13599^{**}x - 0,000291^{**}x^2$	0,95	59,6	233,7
K ₂ SO ₄	$y = 48,83 + 0,10519^{**}x - 0,000223^{**}x^2$	0,93	61,2	235,9
KNO ₃	$y = 47,01 + 0,08295^{**}x - 0,000181^{**}x^2$	0,93	56,5	229,1
Patrocínio (LV)				
.....1994/95.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	NS			
KNO ₃	NS			
.....1995/96.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	$y = 84,63 + 0,11930^{**}x - 0,000297^{**}x^2$	0,76	96,6	200,8
KNO ₃	$y = 80,01 + 0,10378^{**}x - 0,000253^{**}x^2$	0,98	90,7	205,1
.....1996/97.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	$y = 16,20 + 0,15410^{**}x - 0,000357^{**}x^2$	0,99	32,8	215,8
KNO ₃	$y = 17,90 + 0,04886^{**}x$	0,90	37,4	400,0
.....1997/98.....				
KCl	$y = 43,58 + 0,09544^{**}x - 0,000191^{**}x^2$	0,89	55,5	249,8
K ₂ SO ₄	$y = 37,86 + 0,15966^{**}x - 0,000360^{**}x^2$	0,99	55,6	221,8
KNO ₃	$y = 41,85 + 0,11389^{**}x - 0,000248^{**}x^2$	0,95	54,6	229,6

NS, * e ** não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

Em ambos os solos, no primeiro ano da condução dos experimentos, não se obtiveram respostas aos tratamentos, o que pode ser atribuído a um efeito residual da aplicação da adubação potássica com KCl remanescente no solo e que foi aplicado em adubações anteriores.

Estes resultados concordam com Viana et al.(1985b), Cervellini e Igue (1994) no Brasil, e Winston et al. (1992) no Quênia com a espécie arábica. Os autores citados não encontraram resposta à aplicação de K ao solo na produção do cafeeiro, semelhante ao ocorrido no primeiro ano agrícola deste trabalho, sendo o KCl a fonte utilizada pelos autores. Por outro lado, a variação da produção pode ser em parte explicada pelas variações climáticas estacionais registradas durante o período experimental em ambos os locais (Tabela 2).

Nos anos de safra menor, a dose de K para máxima produção foi elevada, principalmente quando a resposta foi linear com a fonte KCl em São Sebastião do Paraíso e KNO_3 em Patrocínio na safra 1997, mostrando a necessidade de um maior suprimento desse nutriente mesmo para se obter produções inferiores (Tabela 4). Na última safra (1998), devido à exaustão dos teores de K no solo na testemunha e associado à alta produção registrada, as respostas foram mais consistentes, em ambos os locais. Observa-se que a dose média para a produção máxima de 57 sacas ha^{-1} , independente da fonte utilizada, foi de 233,3kg de K ha^{-1} .

Resultados próximos a estes foram encontrados por Guimarães (1986) para terceira safra (1977), com a dose de 235kg de K ha^{-1} na ausência de adubação orgânica. Oliveira e Pereira (1987) obtiveram a melhor produção da cultivar Catuaí Amarelo com a aplicação de 200kg de K ha^{-1} e Jayarama, Alwar e Naidu (1994) conduziram um experimento por 30 anos na Índia e chegaram à recomendação de 180kg de K ha^{-1} , para obtenção da melhor produção na forma de KCl.

3.2 Produção por biênio e média de quatro safras

De acordo com os comentários de Stevens (1949) e Fraga Jr. e Conagin (1956), para maior precisão e uniformidade estatística na interpretação dos efeitos da alternância de produção, bastante comum no cafeeiro, os dados serão também discutidos através da produção por biênio e pela média das quatro safras.

Pela análise de variância dos dados de produção verifica-se que houve resposta significativa para as doses de K aplicadas com a fonte KNO_3 no biênio 95/96 e para todas as fontes utilizadas no biênio 97/98 em São Sebastião do Paraíso. Em Patrocínio, houve resposta para fonte K_2SO_4 no biênio 95/96 e todas as fontes aplicadas no biênio 97/98. Em relação à produção média de quatro safras houve resposta significativa para todas as fontes utilizadas em ambos os locais (Anexo A). Os dados médios encontram-se na Tabela 3 e as equações de regressão ajustadas estão na Tabela 5.

Verifica-se que no biênio 95/96 foram obtidas maiores produções do que no biênio 97/98 em ambos os locais (Tabela 3). Em Patrocínio, as produções em cada biênio foram mais elevadas do que em São Sebastião do Paraíso, conforme observado para as produções anuais, isoladamente (Tabela 3). Coincidentemente, um surto de ferrugem ocorreu, apesar de ser controlada, em São Sebastião do Paraíso na safra 1996, prejudicando a safra do ano seguinte (1997) que foi uma safra de baixa produção.

Observa-se, pela Tabela 5, que não houve resposta significativa para aplicação das doses de K nas fontes KCl e K_2SO_4 em São Sebastião do Paraíso e nas fontes KCl e KNO_3 , em Patrocínio, no biênio 95/96. Este resultado possivelmente justifica-se pela ausência de resposta significativa na safra 1995 (de baixa produção) em ambos os locais (Tabela 4).

TABELA 5. Equações de regressão polinomial ajustadas para produção como variáveis dependentes das doses de K, produção máxima e doses estimadas para produção máxima das fontes de K para dois biênios e média das quatro safras em LR e LV. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Fonte de K	Equações de regressão	R ²	Produção máxima (sacas ha ⁻¹)	Doses máximas de K (kg ha ⁻¹)
São Sebastião do Paraíso (LR)				
.....Biênio 1995/96.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	NS			
KNO ₃	y = 39,91 + 1,59773**x ^{0,5} - 0,08498**x	0,89	47,4	88,4
.....Biênio 1997/98.....				
KCl	y = 22,20 + 0,07151**x - 0,000139**x ²	0,97	31,4	257,2
K ₂ SO ₄	y = 25,26 + 0,07449**x - 0,000151**x ²	0,99	34,5	246,7
KNO ₃	y = 24,18 + 0,04242*x - 0,000095*x ²	0,96	28,9	223,3
.....Média anual.....				
KCl	y = 32,84 + 0,05174**x - 0,000118**x ²	0,98	38,5	219,2
K ₂ SO ₄	y = 31,12 + 0,05047**x - 0,000103*x ²	0,85	37,3	245,0
KNO ₃	y = 32,63 + 0,05094**x - 0,000131**x ²	0,83	37,6	194,4
Patrocínio (LV)				
.....Biênio 1995/96.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	y = 60,75 + 0,11364*x - 0,000292**x ²	0,89	71,8	194,6
KNO ₃	NS			
.....Biênio 1997/98.....				
KCl	NS			
K ₂ SO ₄	y = 27,04 + 0,15687**x - 0,000358**x ²	0,99	44,2	219,1
KNO ₃	y = 28,76 + 0,10446**x - 0,000179**x ²	0,99	44,0	291,8
.....Média anual.....				
KCl	y = 46,54 + 0,05883**x - 0,000141**x ²	0,99	52,7	208,6
K ₂ SO ₄	y = 43,89 + 0,13525**x - 0,000325**x ²	0,96	58,0	208,1
KNO ₃	y = 44,71 + 0,07695**x - 0,000153**x ²	0,97	54,4	251,0

NS, * e ** não significativo, significativo ao nível de 5 e 1%, respectivamente.

Para o biênio 1997/98, faltou resposta estatística às doses de K na forma de KCl somente em Patrocínio, todavia, a melhor safra ocorreu, em ambos os locais de cultivo, na safra 1998 (Tabela 4), último ano de avaliação dos tratamentos, os quais influenciaram significativamente as respostas para este biênio.

Em São Sebastião do Paraíso, a dose que proporcionou a máxima produção entre os biênios estudados foram observados no intervalo de 88,4 a 257,2kg de K ha⁻¹, registrando-se a menor dose de K quando se utilizou a fonte KNO₃ e a maior dose registrada com a fonte KCl (Tabela 5). Em Patrocínio, esta dose foi observada no intervalo entre 194,6 a 291,8kg de K ha⁻¹, sendo a menor dose com a fonte K₂SO₄ e a maior com a fonte KNO₃; em que as produções foram mais elevadas, exigindo maior aplicação de K.

Quando se comparam os resultados da produção média das quatro safras (1995 a 1998) observa-se uma maior consistência de resposta em relação às produções obtidas por safra individual e por biênio entre os locais, conforme se verifica nas Tabelas 4 e 5. Em Patrocínio, as produções da média anual foram superiores as obtidas em São Sebastião do Paraíso (Tabela 3) com doses de K para máxima produção próximas a encontrada neste último local. Este resultado pode estar associada a fração silte mais elevada (Tabela 1) que possivelmente possibilitou maior disponibilidade de K para o cafeeiro de formas de K não trocáveis advindas de minerais primários ricos neste nutriente.

Verifica-se, na Tabela 5 e Figura 1, que houve resposta quadrática da produção média das quatro safras, com o aumento das doses de K para cada fonte nos dois locais de cultivo, e que as produções máximas encontram-se no intervalo de 194,4 a 251,5kg de K ha⁻¹.

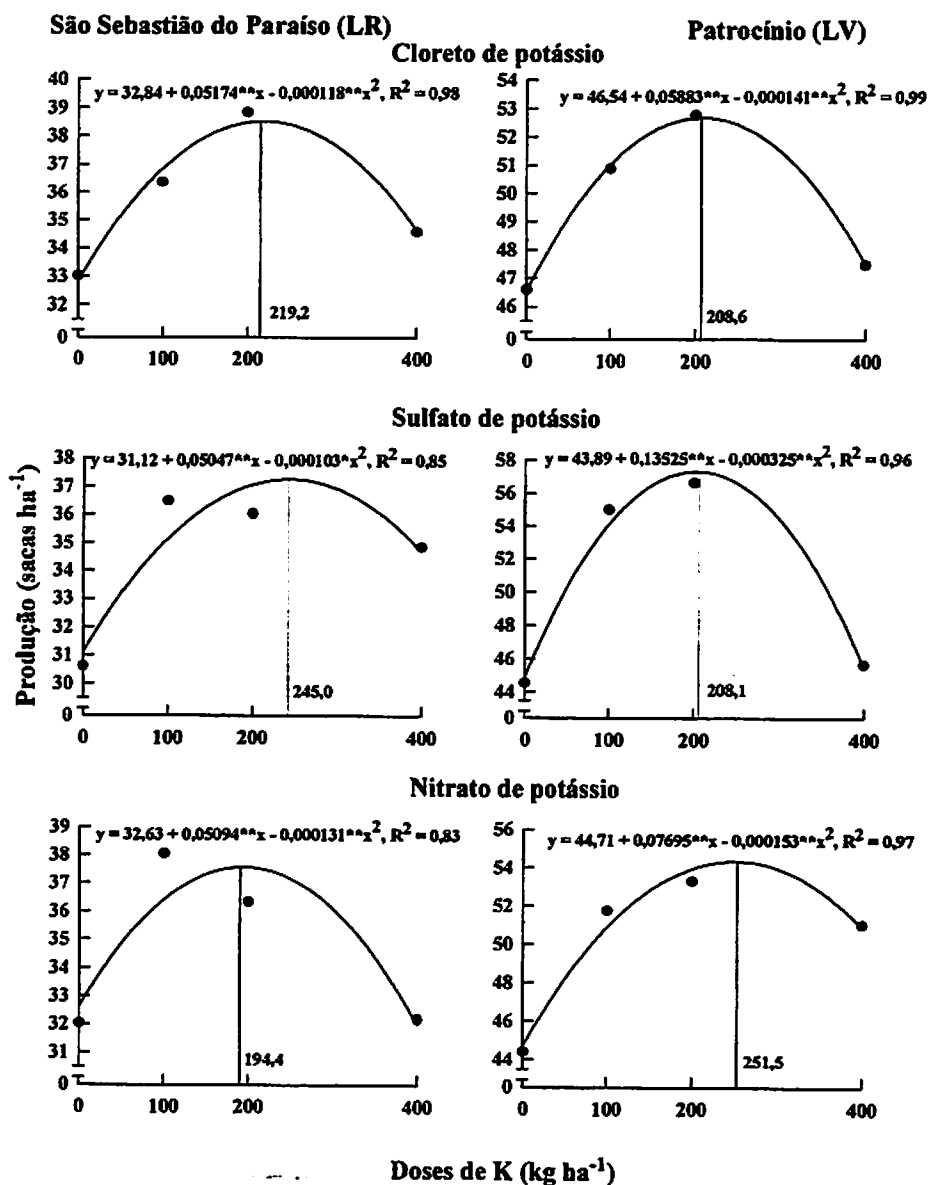


FIGURA 1. Regressões entre doses de K e a produção média de café, das quatro safras (1995 a 1998) para três fontes de K, nos solos LR e LV. UFLA, Lavras - MG, 1999

Silva (1995) aplicou doses crescentes entre 0 a 572kg de K ha⁻¹ em um Latossolo Roxo de São Sebastião do Paraíso e não encontrou resposta significativa. Viana et al. (1985b) e Winston et al. (1992) também não encontraram resposta do cafeeiro quando aplicaram doses inferiores a 200kg de K ha⁻¹. Viana et al. (1985a) e Jayarama, Alwar e Naidu (1994) encontraram efeito significativo das adubações sobre a produção de café com dose inferior a 200kg de K ha⁻¹. Já Barros et al. (1997) encontraram, em sistema adensado, que as maiores produções foram encontradas com a aplicação de 498kg de K ha⁻¹. Guimarães (1986) e Oliveira e Pereira (1987) encontraram as melhores produções de 62 e 32sacas ha⁻¹ com doses de 235 e 200kg de K ha⁻¹, respectivamente, estando dentro do intervalo acima verificado neste trabalho.

Pelas comparações acima, existe bastante divergência entre os resultados obtidos pelos vários autores em comparação com os resultados alcançados neste trabalho, o que possivelmente se deve às variações de cultivares, período avaliado e condições edafoclimáticas de cada local, principalmente eventuais alterações climáticas que se desviaram da normalidade considerada favorável à cultura do cafeeiro

4 CONCLUSÕES

O cafeeiro respondeu positivamente em produção de grãos às aplicações de doses crescentes de K em cada uma das fontes utilizadas.

As doses de K máximas para produção média de quatro safras foram de 213,9kg, 226,5kg e 223,0kg ha⁻¹, respectivamente das fontes KCl, K₂SO₄ e KNO₃. A dose de K média foi de 221,1kg de K ha⁻¹ com produção de 46,4sacas ha⁻¹.

Os melhores resultados das fontes estudadas foram obtidas, na sequência, em ordem decrescente $K_2SO_4 = KNO_3 > KCl$ para a produção de grãos de café beneficiados.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p.9-13, jun. 1986.
- BARROS, U.V.; SANTINATO, R.; MATIELLO, J.B.; BARBOSA, C.M. Níveis de nitrogênio e potássio para formação e produção do cafeeiro adensado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23, 1997, Manhuaçu, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1997. p.50-51.
- CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: IAC, 1986. 94p.
- CERVELLINI, G.S.; IGUE, T. Adubação mineral e orgânica do cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v.53, n.1, p.83-93, 1994.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Lavras, 1989. 159p.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solo. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FRAGA Jr., C.G.; CONAGIN, A. Delineamentos e análises de experimentos com cafeeiros. **Bragantia**, Campinas, v.15, n.17, p.177-191, 1956.
- GUIMARÃES, P.T.G. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuaí) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas Gerais**. Piracicaba: ESALQ, 1986. 140p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

- JAYARAMA, R.P.; ALWAR, A.; NAIDU, R. Latest concept of fertiser usage in coffee plantations with respect to nitrogen, phosphorus and potassium. **Indian Coffee**, Bangalore, v.589, n.9, p.9-12, 1994.
- OLIVEIRA, J.A.; PEREIRA, J.E. Efeito da adubação nitrogenada e potássica na formação e produção do cafeeiro em LVHd. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 14, 1987, Campinas, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1987. p.133-136.
- SILVA, E.B. **Potássio para cafeeiro: efeito de fontes, doses e determinação de cloreto**. Lavras: UFLA, 1995. 87p. (Dissertação - Solos e Nutrição de Plantas).
- STEVENS, W.L. Análise estatística do ensaio de variedades de café. **Bragantia**, Campinas, v.9, p.103-123, 1949.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. (Boletim Técnico, 5).
- VIANA, A.S.; GARCIA, A.W.R.; LACERDA, M.P.; FIORANTE, N. Níveis e relação N/K em cafezais plantados em espaçamento 2 x 1m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985, Caxambu, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985a. p.66-69.
- VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; CORRÊA, J.B.; LACERDA, M.P.; FIORANTE, N. Doses de parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985, Caxambu, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985b. p.146-148.
- WINSTON, E.C.; LITTLEMORE, J.; SCUDANORE-SMITH, P.; O'FARRELL, P.J.; WIFFEN, D.; DOOGAN, V.J. Effect of nitrogen and potassium on growth and yield of coffee (*Coffea arabica* L.) in tropical Queensland. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, East Melbourne, v.32, n.2, p.217-224, 1992.

CAPÍTULO 3

ADUBAÇÃO POTÁSSICA DO CAFEEIRO: PRODUÇÃO, FAIXAS CRÍTICAS DE NUTRIENTES NO SOLO E NAS FOLHAS

RESUMO

SILVA, Enilson de Barros. **Adubação potássica do cafeeiro: produção, faixas críticas de nutrientes no solo e nas folhas.** Lavras: UFLA, 1999. 105p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um sobre Latossolo Roxo (LR) no município de São Sebastião do Paraíso (MG) e o outro sobre Latossolo Vermelho Amarelo (LV) no município de Patrocínio (MG), ambos em Fazendas Experimentais da EPAMIG com o objetivo de estimar as faixas críticas de K e S no solo e N, K, S e Cl nas folhas em função de doses de três fontes de K. Usaram-se, em ambos os locais, cafezais da cultivar Catuaí Vermelho com idade de seis anos, com uma planta por cova no espaçamento 3,5 x 0,7m. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três fontes de K sendo: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) nas parcelas e quatro doses de K (0, 100, 200 e 400kg ha⁻¹) aplicadas nas subparcelas com quatro blocos. Foram avaliados a produção de grãos de café beneficiados, os teores no solo de K (Mehlich 1) e S-SO₄⁻² (fosfato diácido de cálcio) e os teores foliares de N, K, S e Cl do 3^o e 4^o par de folhas do cafeeiro durante quatro safras (1995 a 1998), em cada local. As faixas críticas no solo e foliar foram avaliados para média de quatro safras do cafeeiro. O cafeeiro respondeu em produção de grãos à aplicação de doses de cada fonte de K em ambos os locais de cultivo. As faixas críticas para o cafeeiro, correspondentes a 90-100% da produção máxima no solo foram de 83,9 - 152,6mg dm⁻³ para o K e 31,4 - 39,7mg dm⁻³ para o S-SO₄⁻². Para teores foliares, as faixas críticas foram para o N de 29,1 - 30,5g kg⁻¹, para o K de 15,7 - 17,6g kg⁻¹, para o S de 1,59 - 1,69g kg⁻¹ e para o Cl de 1,10 - 2,78g kg⁻¹.

ABSTRACT

SILVA, Enilson de Barros. **Potassium fertilization of the coffee tree: yield, critical ranges of nutrients in the soil and in leaves.** Lavras: UFLA, 1999. 105p. (Thesis – Doutorate in Soils and Plant Nutrition).

Two experiments were conducted, one being on Red Dusky Latosol (RDL) in the country of São Sebastião do Paraíso (MG) and the other on Yellow Red Latosol (YRL) in the town of Patrocínio (MG), both on the Experimental Farms of the EPAMIG (MG). With the objective of estimating the critical ranges of K and S in the soil and N, K and S and Cl in leaves in terms of doses of three doses of K. In both the places, coffee trees of the cultivar Catuaí Vermelho, aged six years, with a plant per hole at the spacing 3.5 x 0.7m were utilized. The experimental design was in randomized blocks in the split plot scheme by utilizing three sources of K, namely: potassium chloride (KCl), potassium sulphate (K_2SO_4) and potassium nitrate (KNO_3) in the plots and four doses of K (0, 100, 200 and 400kg ha⁻¹) applied in the subplots with four blocks. Yield of processed coffee grains, soil K contents (Mehlich 1) and $S-SO_4^{-2}$ (calcium diacidic phosphate) and leaf contents of N, K, S and Cl of the third and fourth pair of leaves of the coffee tree over four crops (1995 to 1998) in each place were evaluated. The critical ranges of the soil and leaf were evaluated for mean of four crops of the coffee tree. The coffee tree responded in grain yield to the application of doses from each source of K in both growing places. The critical ranges for the coffee tree, corresponding to 90-100 % of the maximum yield of the soil were of 83.9 – 152.6mg dm³ for K and 31.4 – 39.7mg dm³ for $S-SO_4^{-2}$. To the leaf content, the critical ranges were for N of 29.1 – 30.5g kg⁻¹, for K of 15.7 – 17.6g kg⁻¹, for S of 1.59 – 1.69g kg⁻¹ and for Cl of 1.10 – 2.78g kg⁻¹.

1 INTRODUÇÃO

A avaliação do estado nutricional das culturas tem sido um desafio para pesquisadores em Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, principalmente em países onde ocorrem limitações na produtividade das culturas decorrentes de desequilíbrios nutricionais e/ou elevada distrofia do solo para as plantas.

No Brasil, esta questão é ainda mais complexa, visto que os solos brasileiros são, na sua maior parte, muito intemperizados e pobres em nutrientes, o que requer aplicação de elevadas quantidades de fertilizantes. Se por um lado a aplicação de fertilizantes é muito onerosa, por outro os custos financeiros da fertilização do solo agravam a dificuldade para o desenvolvimento de uma agricultura mais lucrativa. Portanto, é necessário otimizar cada vez mais o uso dos insumos, de modo a obter o maior rendimento das culturas com menor custo possível.

O diagnóstico realizado por meio da análise do solo tem recebido, ultimamente, suporte adicional através da análise foliar. A possibilidade de uma interpretação interativa com suporte na análise foliar e na análise de solo é uma alternativa para avaliar comportamento das plantas num sentido edáfico mais completo.

No caso de culturas perenes há maior possibilidade de se diagnosticar os problemas pela análise foliar e tentar corrigi-los no mesmo ano agrícola, existindo, inclusive, ajustes na recomendação de adubação para o cafeeiro que levam em conta resultados da diagnose foliar (Malavolta, 1993).

Existem várias definições para nível crítico. Como na prática da adubação, o objetivo final não é a maior produção física, mas sim o maior lucro, tem sido aceita a definição do nível crítico fisiológico-econômico que é “a faixa

de teores do elemento na folha abaixo da qual a colheita cai e acima da qual a adubação não é mais econômica” (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

O objetivo deste trabalho foi determinar as faixas críticas de K e S no solo e foliar de N, K, S e Cl, em função das doses de três fontes de potássio, em dois solos diferentes, cultivados com o cafeeiro.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos de campo nas Fazendas Experimentais da EPAMIG em Latossolo Roxo (LR) de São Sebastião do Paraíso (MG) e em Latossolo Vermelho Amarelo (LV) de Patrocínio (MG). As características químicas e físicas em amostras dos solos coletadas em horizonte Ap encontram-se na Tabela 1.

Usaram-se, em ambos os locais, cafezais da espécie *Coffea arabica*, L. da cultivar Catuaí Vermelho e linhagem MG-99 com idade de seis anos, com uma planta por cova no espaçamento 3,5 x 0,7 m. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três fontes de K sendo: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) nas parcelas e quatro doses de K (0, 100, 200 e 400kg ha^{-1}) aplicadas nas subparcelas, que correspondem à aplicação das doses de cada fonte de KCl (0, 208, 416 e 832kg da fonte ha^{-1}), K_2SO_4 (0, 250, 500 e 1000kg da fonte ha^{-1}) e KNO_3 (0, 275, 550 e 1100kg da fonte ha^{-1}) nas subparcelas com quatro blocos. A parcela experimental foi constituída de três linhas de oito covas, formando um total de vinte quatro covas por parcela, sendo a parcela útil as seis covas centrais.

TABELA 1. Características químicas e físicas de amostras da camada de 0 a 20cm (horizonte Ap) dos dois solos^{1/}. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Características	Latossolo Roxo	Latossolo Vermelho Amarelo
PH (água)	6,0 AcF	5,9 AcM
P (mg dm ⁻³)	7,0 B	3,0 B
K (mg dm ⁻³)	70,0 M	63,0 M
Ca (cmol _c dm ⁻³)	3,8 M	3,4 M
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,9 M	1,3 A
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,1 B	0,1 B
t (cmol _c dm ⁻³)	5,0 M	5,0 M
T (cmol _c dm ⁻³)	7,5 M	7,1 M
M (%)	2,0 B	2,0 B
V (%)	65,0 M	69,0 A
M.O. (dag kg ⁻¹)	2,6 M	3,1 A
S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)	19,5	17,5
Areia (dag kg ⁻¹)	24	22
Silte (dag kg ⁻¹)	23	31
Argila (dag kg ⁻¹)	53	47

1/ Laboratório de Fertilidade e Física do Solo - DCS/UFLA - Lavras - MG

AcF - Acidez fraca; AcM - Acidez média; B - Baixo; M - Médio; A - Alto (CFSEMG, 1989)

A adubação nitrogenada e fosfatada (básica) foi aplicada em doses recomendadas para lavoura do mesmo porte e idade, segundo a CFSEMG (1989), utilizando-se uréia e MAP (fosfato monoamônico), respectivamente. Os tratamentos e a adubação básica foram parcelados em quatro vezes iguais a cada ano. De novembro a janeiro, os experimentos receberam pulverização a alto volume de sulfato de zinco a 0,5% e de ácido bórico a 0,3% da calda, para o controle preventivo de deficiências, além dos controles fitossanitários e tratos culturais.

Avaliou-se a produção de grãos das seis covas úteis, colhidos por derriça no pano, quando se estimou previamente na lavoura, a presença de 5% de frutos verdes. Após colhidos os frutos foram secos em terreiro cimentado, pesados e

beneficiados. As quantidades de café beneficiado por parcela útil foram convertidas em produção de sacas de 60kg por hectare. As produções de grãos de café beneficiados foram avaliados por quatro safras, de 1994/95 até 1997/98, em cada local.

As análises de solo foram feitas em amostras retiradas antes da arruação, na profundidade de 0 a 20cm (Malavolta, 1992), para determinação do teor de K no solo, pelo Mehlich 1, e de enxofre na forma de sulfato ($S-SO_4^{2-}$) que foi extraído por fosfato diácido de cálcio ($Ca(H_2PO_4)_2$) segundo Tedesco, Volkweiss e Bohnen (1985), nas quatro safras, em cada local de cultivo.

A amostragem para as determinações dos teores de N, K, S e Cl nas folhas foram feitas, segundo recomendação de Malavolta (1993), ou seja, colhendo-se 3^o e 4^o pares de folhas a partir das pontas dos ramos laterais, inseridos na altura média da planta e ao redor da mesma, no verão, nas quatro safras, em cada local de cultivo.

Os teores dos nutrientes nas folhas foram assim determinados: os teores de nitrogênio total das amostras foram determinados pelo método micro Kjeldahl segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997). No extrato, obtido por digestão nitroperclórica, foram dosados os teores totais de K, por fotometria de chama; os de S total, por turbidimetria (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997). Os teores de cloreto nas folhas foram determinados pelo método potenciométrico descrito por Silva et al. (1998).

As variáveis estudadas foram submetidas a análise de variância e estudos de regressão, cujas equações foram ajustadas à produção de grãos de café beneficiados, média de quatro safras, em função das doses das fontes de K aplicadas, em ambos os locais. A partir das equações obtidas, estimaram-se as doses para 90 e 100% da produção máxima de grãos de café beneficiados.

As faixas críticas de K e S-SO₄⁻² no solo e N, K, S e Cl nas folhas, participantes de cada fonte de K, foram estimadas, substituindo-se as doses das fontes de K necessárias para obter 90 e 100% da produção máxima, nas equações que relacionam as doses das fontes aplicadas com seus teores dos nutrientes no solo e nas folhas para ambos os locais.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção de grãos de café beneficiado

Pela análise de variância para a produção de grãos de café beneficiados, média de quatro safras, mostrou que as doses de cada fonte aplicadas nos dois solos influenciaram significativamente esta variável (Anexo A).

As equações quadráticas foram as que melhor se ajustaram à produção média, de quatro safras, de grãos de café beneficiados para todas as fontes de K nos solos estudados (Figura 1). O modelo explica aumentos significativos na produção de grãos com a aplicação das doses das fontes de K. Após atingir um ponto máximo, a produção decresce em resposta às doses mais elevadas de cada fonte de K, indicando desequilíbrio nutricional causado pela competição catiônica e aniônica (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

A partir das equações da Figura 1, estimaram-se as produções e as doses das fontes de K correspondentes à produção máxima e 90% da máxima (Tabela 2). No índice de 90% da produção máxima, estima-se representar a máxima eficiência econômica (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

As doses de cada fonte que permitiram máxima produção apresentaram variações em função da porcentagem de K encontrada em cada fonte aplicada. Em termos de doses de K verifica-se que a variação foi de 194,4 a 245,0kg ha⁻¹ em São Sebastião do Paraíso e de 208,1 a 251,4kg ha⁻¹ em Patrocínio (Tabela 2).

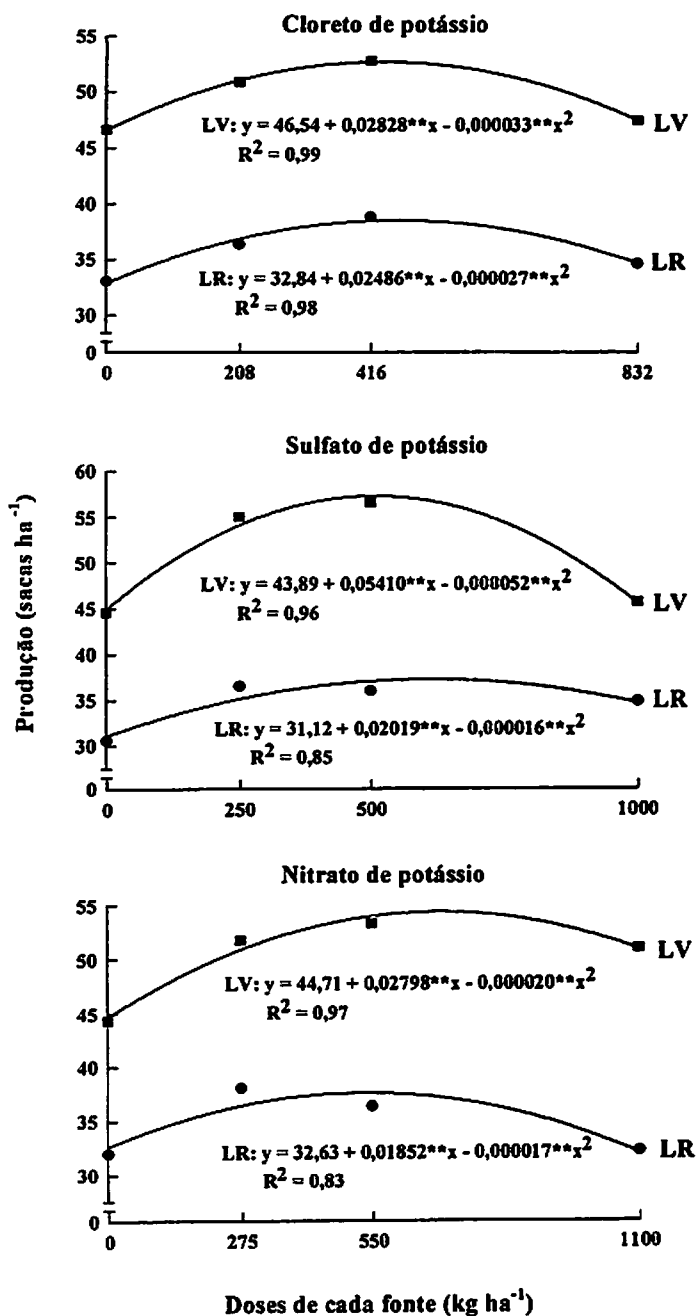


FIGURA 1. Produção de grãos de café beneficiados, média de quatro safras, pelo cafeeiro em função das doses de cada fonte nos solos LR e LV. UFLA, Lavras - MG, 1999. (**significativo a 1%).

TABELA 2. Produção estimada de grãos de café beneficiados, correspondente à produção máxima e 90% da máxima e as doses de cada fonte de K para promover essas produções. Lavras - MG, 1999.

Fonte de K	Produção (sacas ha ⁻¹)		Dose da fonte (kg ha ⁻¹)	
	90%	máxima	90%	máxima
.....São Sebastião do Paraíso (LR)				
KCl	34,7	38,5	82,1 (39,5) ^{II}	455,9 (219,2)
K ₂ SO ₄	33,8	37,3	150,7 (60,3)	612,5 (245,0)
KNO ₃	34,0	37,6	79,8 (29,0)	534,6 (194,4)
.....Patrocínio (LV)				
KCl	47,4	52,7	31,6 (15,2)	433,9 (208,6)
K ₂ SO ₄	52,2	58,0	187,3 (74,9)	520,3 (208,1)
KNO ₃	49,0	54,4	175,3 (63,7)	691,3 (251,4)

^{II} Doses de K encontram-se entre parênteses.

Os dados (Figura 1 e Tabela 2) não mostram uma distinta diferença entre as fontes de K, em termos de doses de K aplicadas, dentro de cada local de cultivo para produção máxima de grãos, que foi refletida pela resposta do cafeeiro às doses de K seguirem a mesma tendência. Mas, as produções obtidas em Patrocínio (LV) foram superiores em relação a São Sebastião do Paraíso (LR). Esta diferença pode estar associada à fração silte mais elevada (Tabela 1) que possivelmente possibilitou maior disponibilidade de K para o cafeeiro de forma de K não-trocável de minerais primários contidos nesta fração textural, conforme discutida no Capítulo 2.

Pela análise inicial dos dois solos verifica-se que os teores de K são considerados médios pela CFSEMG (1989), conforme se observa na Tabela 1. Portanto, as doses médias de K das fontes para máxima produção estão próximas da recomendação para produção de 35 sacas ha⁻¹, segundo a CFSEMG (1989) e Matiello (1995), quando os teores no solo estão em 60 a 120mg de K dm⁻³, faixa esta considerada de teor médio de K.

As doses de cada fonte correspondentes a 90% da máxima produção de grãos indicam reduções médias de 88%, 70% e 80% das doses de KCl, K₂SO₄ e KNO₃, respectivamente, para se atingir a produção máxima. Essas grandes reduções na dose da fonte é acompanhada de uma redução de apenas 10% da produção, representando, assim, uma considerável economia com a adubação potássica e levando certamente a uma relação custo/benefício substancialmente menor.

Tomando-se por base a dose recomendável de cada fonte de K (90% da produção máxima estimada) verifica-se, para as condições desta pesquisa, uma quantidade inferior àquela obtida por Viana et al. (1985a e b), Oliveira e Pereira (1987), Santinato, Oliveira e Pereira (1996) e Barros et al. (1997), apesar dos autores terem encontrado esta dose para a máxima produção física de grãos de café beneficiados.

Em experimentos de campo, geralmente, não há viabilidade econômica quando se busca a produção máxima. Isto porque de acordo com a “Lei dos incrementos decrescentes”, os incrementos crescentes de fertilizantes correspondem a aumentos decrescentes da produção, e a “colheita máxima econômica” situa-se sempre pouco abaixo da colheita máxima fisiológica (Raij, 1991 e Hoffmann et al., 1995).

3.2 Faixas críticas de nutrientes

As equações que relacionam o K e S-SO₄⁻² no solo e N, K, S e Cl nas folhas e as doses de cada fonte de K aplicadas nos solos LR e LV são apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3. Equações de regressão ajustadas para K e S-SO₄⁻² no solo e foliares de N, K, S e Cl (y) como variável dependente das doses de cada fonte de K (x = kg ha⁻¹), média de quatro safras e dois solos (LR e LV). UFLA, Lavras - MG, 1999.

Variável	Equações de regressão	R ²
.....São Sebastião do Paraíso (LR)		
.....KCl.....		
K solo (mg.dm ⁻³)	y = 76,9 + 0,17855**x	0,93
K foliar (g.kg ⁻¹)	y = 16,1 + 0,00377**x	0,98
Cl foliar (g.kg ⁻¹)	y = 0,84 + 0,00354**x	0,99
.....K₂SO₄.....		
K solo (mg dm ⁻³)	y = 72,1 + 0,21925**x	0,95
S-SO ₄ ⁻² solo(mg dm ⁻³)	y = 28,9 + 0,02763**x	0,98
K foliar (g kg ⁻¹)	y = 17,8 + 0,00332**x	0,89
S foliar (g kg ⁻¹)	y = 1,54 + 0,00022**x	0,97
.....KNO₃.....		
K solo (mg dm ⁻³)	y = 66,8 + 0,17338**x	0,97
N foliar (g kg ⁻¹)	y = 28,1 + 0,00311**x	0,98
K foliar (g kg ⁻¹)	y = 15,4 + 0,00288**x	0,98
.....Patrocínio (LV).....		
.....KCl.....		
K solo (mg.dm ⁻³)	y = 60,8 + 0,15795**x	0,97
K foliar (g.kg ⁻¹)	y = 13,5 + 0,00614**x	0,98
Cl foliar (g.kg ⁻¹)	y = 0,91 + 0,00505**x	0,99
.....K₂SO₄.....		
K solo (mg dm ⁻³)	y = 56,7 + 0,12711**x	0,97
S-SO ₄ ⁻² solo(mg dm ⁻³)	y = 27,8 + 0,01096**x	0,99
K foliar (g kg ⁻¹)	y = 15,7 + 0,00486**x	0,91
S foliar (g kg ⁻¹)	y = 1,57 + 0,00025**x	0,92
.....KNO₃.....		
K solo (mg dm ⁻³)	y = 59,7 + 0,11483**x	0,98
N foliar (g kg ⁻¹)	y = 29,3 + 0,00291**x	0,99
K foliar (g kg ⁻¹)	y = 12,5 + 0,00582**x	0,84

** significativo ao nível de 1%.

Com as doses estimadas para cada fonte (Tabela 2) e substituindo-as nas equações ajustadas entre o teor K e $S-SO_4^{-2}$ no solo e N, K, S e Cl foliar e as doses de cada fonte de K aplicadas em ambos os solos (Tabela 3), estimaram-se as faixas críticas dos mesmos (Tabela 4). Os modelos lineares ajustaram-se aos teores dos nutrientes no solo e nas folhas em função das doses aplicadas de cada fonte de K (Tabela 3).

TABELA 4. Faixas críticas de K e $S-SO_4^{-2}$ no solo e foliares de N, K, S e Cl estimadas para o cafeeiro em cada fonte de K aplicadas em dois solos e média destas, para 90-100% da produção máxima. UFLA, Lavras – MG, 1999.

Nutriente	LR ^{1/}		LV ^{2/}		Média ^{3/}	
	90%	100%	90%	100%	90%	100%
KCl						
K solo (mg dm ⁻³)	91,60	158,30	65,80	129,33	78,70	143,82
K foliar (g kg ⁻¹)	16,40	17,82	13,70	16,16	15,05	16,99
Cl foliar (g kg ⁻¹)	1,13	2,45	1,07	3,10	1,10	2,78
K₂SO₄						
K solo (mg dm ⁻³)	105,00	206,39	80,50	122,84	92,75	164,62
$S-SO_4^{-2}$ solo (mg dm ⁻³)	33,00	45,82	29,80	33,58	31,40	39,70
K foliar (g kg ⁻¹)	18,30	19,83	16,60	18,23	17,45	19,03
S foliar (g kg ⁻¹)	1,57	1,67	1,61	1,70	1,59	1,69
KNO₃						
K solo (mg dm ⁻³)	80,60	159,49	79,80	139,08	80,20	149,29
N foliar (g kg ⁻¹)	28,30	29,76	29,90	31,31	29,10	30,54
K foliar (g kg ⁻¹)	15,60	16,94	13,60	16,52	14,60	16,73
Média^{4/}						
K solo (mg dm ⁻³)	92,40	174,73	75,37	130,42	83,89	152,58
K foliar (g kg ⁻¹)	16,77	18,20	14,63	16,97	15,70	17,59

^{1/} São Sebastião do Paraíso

^{2/} Patrocínio

^{3/} Médias dos dois locais

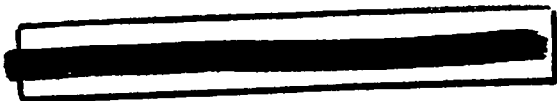
^{4/} Médias entre as fontes de K

Em relação ao teor de K no solo extraído por Mehlich 1, de modo geral, os valores dos coeficientes lineares de cada fonte de K no LR de São Sebastião do Paraíso são superiores aos encontrados no LV de Patrocínio verificando-se que o K esteve mais disponível no primeiro solo (Tabela 3). As faixas críticas de K no LR foram mais elevadas do que no LV (Tabela 4).

Em São Sebastião do Paraíso, as faixas críticas de K no solo estavam na seguinte ordem crescente: K_2SO_4 (105,00 a 206,39mg dm^{-3}), KCl (91,60 a 158,30mg dm^{-3}) e KNO_3 (80,60 a 159,49mg dm^{-3}). Por outro lado, em Patrocínio, encontram-se na seguinte ordem crescente: KNO_3 (79,80 a 139,08mg dm^{-3}), K_2SO_4 (80,50 a 122,84mg dm^{-3}) e KCl (65,80 a 129,33mg dm^{-3}), respectivamente. Em São Sebastião do Paraíso, a faixa crítica de K no solo entre as fontes avaliadas foi, em média, entre 92,40 a 174,73 mg dm^{-3} e, em Patrocínio, entre 75,37 a 130,42mg dm^{-3} , sendo que no LV as faixas críticas foram menores a encontrada no LR, devendo levar em consideração que as produções ocorridas em Patrocínio foram superiores às obtidas no outro local (Figura 1).

Tomando-se por base a faixa crítica de K no solo média, dos dois solos, que é de 83,89 a 152,58mg dm^{-3} . Esta faixa encontra-se próxima da faixa adequada proposta por Malavolta (1986b) para o cafeeiro, de 117 a 156mg dm^{-3} , e acima do que é considerado limitante para a produção do cafeeiro por Pavan, Chaves e Mesquita Filho (1986), de 23,4mg dm^{-3} . Esta mesma faixa encontra-se também próxima da faixa proposta por Guimarães (1986) que considera, como faixa ideal, teores entre 112 a 150mg dm^{-3} para safras de alta produção do cafeeiro.

Com os dados de enxofre ($S-SO_4^{-2}$) no solo, extraído pelo fosfato diácido de cálcio, foram ajustadas equações de regressão em função das doses da fonte K_2SO_4 para média das quatro safras e dois solos (Tabela 3). O modelo que melhor se ajustou ao teor de $S-SO_4^{-2}$ no solo foi o linear.



Observa-se pela, Tabela 3 que, de modo geral, o coeficiente angular referente ao modelo linear da equação ajustada para LR (São Sebastião do Paraíso) é superior aos obtidos no LV (Patrocínio), proporcionando maior disponibilidade de $S-SO_4^{-2}$ para LR de São Sebastião do Paraíso em relação ao LV de Patrocínio.

Pela Tabela 4, as faixas críticas de $S-SO_4^{-2}$ no solo que é superior no LR do que no LV, possa estar associado a maior disponibilidade de ânion no LR, revelada pelo coeficiente mais elevado (Tabela 3). Estas faixas críticas encontradas estão acima do valor encontrado por Alvarez V., Freire e Leite (1984) com mudas de café, em solo de textura argilosa, com $19mg$ de $S-SO_4^{-2} dm^{-3}$, que os autores definiram como sendo correspondente à 80% da produção máxima de matéria seca da parte aérea, sendo o $S-SO_4^{-2}$ extraído pelo fosfato diácido de cálcio. Também as faixas críticas registradas no presente trabalho estão acima do teor encontrado por Malavolta (1986a) que registrou, um teor crítico de $15mg$ de $S-SO_4^{-2} dm^{-3}$ no solo, extraído pelo acetato de amônio. As faixas críticas registradas neste trabalho estão próximas ao teor encontrado por Viana et al. (1986) de $35mg$ de $S-SO_4^{-2} dm^{-3}$, sendo extraído pelo extrator fosfato diácido de cálcio, estimado para produção máxima do cafeeiro.

A partir das doses estimadas de cada fonte para obtenção de 90 e 100% da produção máxima (Tabela 2), em que o nutriente é íon participante da fonte, e substituindo-as nas equações ajustadas entre os teores de N, K, S e Cl foliar determinados no 3^o e 4^o par de folhas do cafeeiro, em função das doses aplicadas de cada fonte de K (Tabela 3), estimaram-se as faixas críticas destes nutrientes nas folhas (Tabela 4).

As equações de regressão ajustadas para os teores foliares de N em função das doses de KNO_3 (Tabela 3) e as faixas críticas deste nutriente para

média de quatro safras em dois solos (LR e LV) cultivado com cafeeiro encontram-se na Tabela 4.

Observa-se que houve aumento linear dos teores de N foliar com aumento das doses de KNO_3 , em ambos os solos. De modo geral, o teor de N nas folhas do cafeeiro do experimento de São Sebastião do Paraíso, teve a melhor resposta à aplicação de KNO_3 em relação a Patrocínio, onde se registrou coeficiente angular mais elevado.

A partir das doses de KNO_3 estimadas para obtenção de 90 e 100% da produção máxima (Tabela 2) e substituindo-as nas equações ajustadas entre os teores de N nas folhas do cafeeiro, em função das doses aplicadas (Tabela 3), estimaram-se as faixas críticas de N para média das quatro safras nos dois locais. O conceito de faixa crítica utilizada foi aquele proposta por Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), que define faixa crítica como a amplitude de teores do nutriente na folha abaixo da qual a colheita reduz-se e acima da qual a adubação não é econômica.

Estas faixas críticas estão na faixa adequada proposta por Malavolta (1993), de 27 a 32g de N kg^{-1} , e abaixo dos teores encontrados por Viana et al. (1985a, b e c), mas está acima daquele teor obtido por Santinato, Oliveira e Pereira (1986), com a mesma fonte de K, sendo que os teores foram determinados por estes autores para a máxima produção (100%).

Em relação ao K foliar, as faixas críticas foram estimadas utilizando a dose recomendável de cada fonte para obtenção de 90 e 100% da produção máxima (Tabela 2) com procedimento igual ao utilizado para o N foliar.

Ao contrário das faixas críticas de N, em média, as faixas de K foram elevadas em São Sebastião do Paraíso (Tabela 4). Verifica-se, portanto, que as faixas estão abaixo da faixa considerada adequada para o cafeeiro como foi proposto por Malavolta (1993), de 19 e 24g de g kg^{-1} . Mas, as faixas encontradas

estão acima dos teores encontrados por Viana et al. (1985a, b e c) para a máxima produção do cafeeiro e abaixo do teor encontrado por Santinato, Oliveira e Pereira (1996), de 22 g kg^{-1} .

Para o S foliar do cafeeiro, as faixas críticas foram calculados semelhantemente ao procedimento adotado para o N e K foliar, mas utilizando as doses de K_2SO_4 (Tabela 2), em ambos os locais de cultivo. As faixas críticas de S, em ambos os locais de cultivo são bastante similares (Tabela 4), que se encontram na faixa adequada proposta por Malavolta (1993), de $1,5$ a $2,0\text{ g kg}^{-1}$ e abaixo ao correspondente nível crítico determinado em folhas coletadas no verão por Malavolta (1986a), de $2,0\text{ g kg}^{-1}$, estando acima do teor encontrado por Viana et al. (1986) de $1,06\text{ g kg}^{-1}$ e Miguel, Matiello e Netto (1991) de $1,27\text{ g kg}^{-1}$.

As faixas críticas de Cl foliar foram estimados com a dose de KCl, conforme procedimento adotado para N, K e S foliar (Tabela 2). Pelos coeficientes angulares ajustados observa-se que houve maior absorção de Cl em Patrocínio (LV) do que em São Sebastião do Paraíso (LR), conforme Tabela 3. Para o Cl, não existe faixa crítica comparável, para folhas do 3^o e 4^o par colhidas no verão. Portanto, pela Tabela 4, verifica-se que a faixa crítica para o cafeeiro encontrada neste trabalho está entre $1,10$ a $2,78\text{ g de Cl kg}^{-1}$.

Os teores foliares de Cl para o cafeeiro registrados na literatura são elevados (Catani et al., 1967; Catani, Moraes e Bergamin, 1969; Snoeck, N'Goran e Snoeck, 1986, N'Goran, 1990, Silva et al., 1998), porém não são teores ou faixas críticas. Mas, Araña (1967) relata que o cafeeiro requer baixas quantidades de Cl e considera como nível crítico um teor de $2,0\text{ g de Cl kg}^{-1}$, sendo esta proposta uma primeira tentativa. Por outro lado, Malavolta (1986b) considera crítica valores em torno de $5,0\text{ g de Cl kg}^{-1}$. Os autores citados não basearam, objetivamente, em experimentos para estimar o nível crítico foliar de

Cl para o cafeeiro. Snoech, N'Goran e Snoeck (1986) observaram redução na produção do cafeeiro com teores acima de 13g de Cl kg⁻¹.

4 CONCLUSÕES

O cafeeiro respondeu em produção de grãos à aplicação de doses de cada fonte de K em ambos os locais de cultivo.

As faixas críticas para a produção média de quatro safras do cafeeiro, correspondentes a 90-100% da produção máxima foram para K no solo de 83,9-152,6mg dm⁻³ e, para S-SO₄²⁻ de 31,4-39,7mg dm⁻³.

As faixas críticas nas folhas do cafeeiro foram: 29,1-30,5g kg⁻¹ para N; 15,7-17,6g kg⁻¹ para K; 1,59-1,69g kg⁻¹ para S e 1,10-2,78g kg⁻¹ para Cl.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ V., V.H.; FREIRE, F.M.; LEITE, R.A. Crescimento de mudas de café em função de fósforo e enxofre disponíveis de dois solos de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 11, 1984, Londrina, PR. *Anais...*São Paulo: GERCA/IBC, 1984. p.48-51.
- ARAÑA, M.L. Fertilización con cloruro de potasio y con sulfato de potasio en plantaciones de café. I. Verificación de la absorción de iones K, Cl y S por medio de análisis foliar. *Cenicafé*, Caldas, v.18, n.2, p.47-54, abr./jun. 1967.
- BARROS, U.V.; SANTINATO, R.; MATIELLO, J.B.; BARBOSA, C.M. Níveis de nitrogênio e potássio para formação e produção do cafeeiro adensado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 23, 1997, Manhuaçu, MG. *Anais...* Rio de Janeiro: SDR/PROCAFÉ/PNFC, 1997. p.50-51.

CATANI, R.A.; MORAES, F.R.P.; BERGAMIN, H. A concentração de cloro em folhas de café. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.26, p. 97-98, 1969.

CATANI, R.A.; PELLEGRINO, D.; BITTENCOURT, V.C.; JACINTO, A.O.; GRANER, C.A.F.A. Concentração e a quantidade de micronutrientes e de alumínio no cafeeiro, *Coffea arabica*, L.; Var. Mundo Novo (B.Rodr.) Choussy, aos dez anos de idade. **Anais da ESALQ**, Piracicaba, v.24, p.97-106, 1967.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Lavras, 1989. 159p.

GUIMARÃES, P.T.G. **Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L. cv. Catuai) à adubação mineral e orgânica em solos de baixa fertilidade do Sul de Minas Gerais**. Piracicaba: ESALQ, 1986. 140p. (Tese - Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

HOFFMANN, C.R.; FAQUIN, V.; GUEDES, G.A.A.; EVANGELISTA, A.R. O nitrogênio e o fósforo no crescimento da braquiária e do colônio em amostras de um latossolo da região Noroeste do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.19, n.1, p.79-86, jan./mar 1995.

MALAVOLTA, E. **ABC da análise de solos e folhas**. São Paulo: Ceres, 1992. 124p.

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. IV - Café**. São Paulo: SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986a. 41p. (Boletim Técnico, 4).

MALAVOLTA, E. Nutrição, adubação e calagem para o cafeeiro. In: RENA, A.B.; MALAVOLTA, E.; ROCHA, M.; YAMADA, T. (eds.). **Cultura do cafeeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1986b. p.136-274.

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

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 201p.
- MATIELLO, J.B. **Sistemas de produção na cafeicultura moderna**. Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 1995. 102p.
- MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; NETTO, K.A. Estudos de fontes e doses de enxofre na formação de cafeeiros em Latossolo Vermelho Amarelo húmico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 17, 1991, Varginha, MG. **Anais...** Rio de Janeiro: MAARA/SNPA/EMBRAPA, 1991. p.102-106.
- N'GORAN, K. Effets du chlore sur le comportement de quelques clones de caféiers robusta sur le littoral Ivoirien. In: INTERNATIONAL SCIENTIFIC COLLOQUIN ON COFFEE, 13, 1989, Paipa (Colômbia). Paris: ASIC, 1990. p.564-572.
- OLIVEIRA, J.A.; PEREIRA, J.E. Efeito da adubação nitrogenada e potássica na formação e produção do cafeeiro em LVHd. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 14, 1987, Campinas, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1987. p.133-136.
- PAVAN, M.A.; CHAVES, J.C.P.; MESQUITA FILHO, L. Manejo da adubação para formação de lavouras cafeeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.21, n.1, p.33-42, jun. 1986.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.
- SANTINATO, R.; OLIVEIRA, L.H.; PEREIRA, E.M. Efeitos do uso de salitre de potássio como fonte de nitrogênio e potássio na adubação química do cafeeiro - Carmo do Paranaíba/MG - 1992/1996. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 22, 1996, Águas de Lindóia, SP. **Anais...** São Paulo: SDR/PROCAFÉ/EMBRAPA/DENAC/CATI, 1996. p.180-184.
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G; MALTA, M.R. Chloride analysis methods and contents in leaves, grains and husk of coffee. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**. Madison, v.29, n.15-16, p.2319-2331, Sept. 1998.

- SNOECK, D.; N'GORAN, K.; SNOECK, J. Étude des formes de potassium sur chimisme foliare des caféiers robusta en Côte d'Ivoire - Influence du chlore. *Café Cacao Thé*, Paris, v.30, n.1, p. 37-50, jan./mar. 1986.
- TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise do solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. (Boletim Técnico, 5).
- VIANA, A.S.; FLORENCE, M.L.D.; GARCIA, A.W.R.; FIORANTE, N. Estudos de fontes e doses de enxofre e zinco na formação de cafeeiros em solo LEd. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 13, 1986, São Lourenço, MG. *Anais...* Rio de Janeiro: IBC/GERCA, 1986. p.66-68.
- VIANA, A.S.; GARCIA, A.W.R.; CORRÊA, J.B.; MATA, J.M. Estudo de níveis e relação N/K em cafeeiro plantados em solo LE. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985, Caxambu, MG. *Anais...* Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985a. p.139-142.
- VIANA, A.S.; GARCIA, A.W.R.; LACERDA, M.P.; FIORANTE, N. Níveis e relação N/K em cafezais plantados em espaçamento 2x1m. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, 1985, Caxambu, MG. *Anais...* Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985b. p.66-69.
- VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; CORRÊA, J.B.; LACERDA, M.P.; FIORANTE, N. Doses de parcelamento de adubação nitrogenada e potássica para formação e produção do cafeeiro em solo de cerrado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 12, Caxambu, 1985. *Anais...* Rio de Janeiro: IBC/ GERCA, 1985c. p.146-148.

CAPÍTULO 4

FONTES E DOSES DE K NA QUALIDADE DOS GRÃOS DE CAFÉ BENEFICIADOS PROVENIENTES DE LAVOURAS CULTIVADAS EM DUAS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS

RESUMO

SILVA, Enilson de Barros. Fontes e doses de K na qualidade dos grãos de café beneficiados provenientes de lavouras cultivadas em duas condições edafoclimáticas. Lavras: UFLA, 1999. 105p. (Tese – Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas).

Foram instalados dois experimentos, sendo um no município de São Sebastião do Paraíso em Latossolo Roxo (LR) e outro em Patrocínio em Latossolo Vermelho Amarelo (LV) com o objetivo de verificar o efeito de fontes e doses de K nas características físicas, físico-químicas e químicas dos grãos de café beneficiados de lavouras cultivadas em duas condições edafoclimáticas. Em ambos os locais, os experimentos foram delineados em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três fontes de K: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) nas parcelas e quatro doses de K (0, 100, 200 e 400kg de K ha^{-1}) aplicadas nas subparcelas com quatro blocos. Usou-se nos experimentos a espécie *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí Vermelho no espaçamento 3,5 x 0,7m, com uma planta por cova. As avaliações foram: atividade enzimática da polifenoloxidase, índice de coloração, acidez titulável total, açúcares totais e compostos fenólicos (totais e ácido clorogênico). Os valores dos parâmetros qualitativos dos grãos de café beneficiados mostraram que a fonte KCl teve uma resposta inferior em termos de qualidade dos grãos em relação às fontes K_2SO_4 e KNO_3 . Estas últimas fontes tiveram melhor resposta quando aplicadas nas condições de São Sebastião do Paraíso do que nas de Patrocínio. Em termos de doses aplicadas, os melhores resultados para qualidade dos grãos foram obtidos com as doses de 200kg de K ha^{-1} na forma de KCl e K_2SO_4 e 100kg de K ha^{-1} na forma de KNO_3 .

ABSTRACT

SILVA, Enilson de Barros. Sources and doses of K on the quality of processed coffee grains coming from crops cultivated under two edaphoclimatic conditions. Lavras: UFLA, 1999. 105p. (Thesis – Doutorate in Soils and Plant Nutrition).

Two experiments were set up, one being in the country of São Sebastião do Paraíso on Red Dusky Latosol (RDL) and the other in Patrocínio on Yellow Red Latosol (YRL), with the objective of verifying the effects of sources and doses of K on the physical, physicochemical and chemical characteristics of the processed coffee grains from crops cultivated in two edaphoclimatic conditions. In both sites, the experiments were designed in randomized blocks in split plot scheme, by utilizing three sources of K: potassium chloride (KCl), potassium sulphate (K_2SO_4) and potassium nitrate (KNO_3) in the plots and four doses of K (0, 100, 200 and 400kg of K ha^{-1}) applied in the subplots with four blocks. In the experiments, the species *Coffea arabica* L., cultivar Catuaí Vermelho at the spacing 3.5 x 0.7m, with a plant per hole was used. The evaluations were: enzyme activity of polyphenyloxidase, coloration index, total titrable acidity, total sugars and phenolic compounds (total and chlorogenic acid). The values of the qualitative parameters of the processed coffee grains showed that the KCl source had an inferior response in terms of grain quality in relation to the sources K_2SO_4 and KNO_3 . These latter sources had a better response when applied under the conditions of São Sebastião do Paraíso than under those of Patrocínio. In terms of doses applied, the best results for grain quality were obtained with doses of 200kg of K ha^{-1} as KCl and K_2SO_4 and 100kg of K ha^{-1} as KNO_3 .

1 INTRODUÇÃO

A exigência de qualidade pelo mercado internacional, bem como o aumento da produção de cafés suaves por outros países, podem ser considerados como um dos fatores responsáveis pelo declínio ocorrido nas taxas de exportação do café brasileiro num passado ainda recente. Mas repercutiram positivamente algumas campanhas de melhoria de qualidade do café brasileiro, ensejando a difusão e adoção de novas tecnologias que, aliadas a uma política mais agressiva de “marketing”, reverteram a situação de inferioridade, perante os concorrentes internacionais.

Para uma maior competitividade do café brasileiro através da melhoria do produto, torna-se necessário apoiar-se numa pesquisa multidisciplinar, voltada para a identificação e qualificação dos atributos de qualidade da bebida, que é o interesse final.

A influência do local de cultivo na qualidade da bebida tem sido discutida e sua explicação carece de estudos mais aprofundados. No estado de Minas Gerais, o enfoque é regional e voltado para uma valorização promotora do produto no mercado. Existe, portanto, uma caracterização dos aspectos regionais da qualidade do café na Zona da Mata, Sul de Minas e Região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Vale do Jequitinhonha, sem nenhuma referência, nestes locais, do efeito da adubação potássica na qualidade do café. A adubação potássica do cafeeiro é importante para proporcionar elevadas produções, mas pouco se sabe sobre os seus efeitos na qualidade da bebida do café, sendo necessárias maiores investigações sobre este assunto.

O objetivo deste trabalho foi verificar o efeito de fontes e doses de K nas características físicas, físico-químicas e químicas dos grãos de café beneficiados sob duas condições edafoclimáticas diferentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos, sendo um em Latossolo Roxo (LR), fase floresta tropical subperenifolia transicional para Cerrado, na Fazenda Experimental da EPAMIG em São Sebastião do Paraíso (MG), município cuja altitude é 940m, latitude de 20°54'S, longitude de 46°59'W, precipitação pluviométrica média anual de 1.627mm, sendo o clima classificado como Cwa, segundo Köppen (Antunes, 1986). O outro experimento foi em Latossolo Vermelho Amarelo (LV), fase Cerrado, na Fazenda Experimental da EPAMIG em Patrocínio (MG), município situado a altitude de 934m, latitude de 18°57'S, longitude de 47°00'W, precipitação pluviométrica média anual de 1.400mm e classificação climática Cwa, segundo Köppen (Antunes, 1986). As características químicas e físicas em amostras dos solos coletadas em horizonte Ap encontram-se na Tabela 1.

Usaram-se, em ambos os locais, cafezais da espécie *Coffea arabica*, L. da cultivar Catuaí Vermelho e linhagem MG-99 com idade de seis anos, com uma planta por cova no espaçamento 3,5 x 0,7m. O delineamento experimental foi em blocos casualizados no esquema de parcelas subdivididas, utilizando-se três fontes de K sendo: cloreto de potássio (KCl), sulfato de potássio (K_2SO_4) e nitrato de potássio (KNO_3) nas parcelas e quatro doses de K (0, 100, 200 e 400kg ha⁻¹) aplicadas nas subparcelas com quatro blocos. A parcela experimental foi constituída de três linhas de oito covas, formando um total de vinte quatro covas por parcela, sendo a parcela útil as seis covas centrais.

A adubação nitrogenada e fosfatada (básica) foi aplicada em doses recomendadas para lavoura do mesmo porte e idade, segundo a CFSEMG (1989), utilizando-se uréia e MAP (fosfato monoamônico), respectivamente. Os tratamentos e a adubação básica foram parcelados em quatro vezes iguais a cada

ano. De novembro a janeiro, os experimentos receberam pulverização a alto volume de solução de sulfato de zinco a 0,5% e de ácido bórico a 0,3%, para o controle preventivo de deficiências, além dos controle fitossanitários e tratos culturais.

TABELA 1. Características químicas e físicas de amostras da camada de 0 a 20cm (horizonte Ap) dos dois solos^{1/}. UFLA, Lavras - MG, 1999.

Características	Latossolo Roxo	Latossolo Vermelho Amarelo
pH (água)	6,0 AcF	5,9 AcM
P (mg dm ⁻³)	7,0 B	3,0 B
K (mg dm ⁻³)	70,0 M	63,0 M
Ca (cmol _c dm ⁻³)	3,8 M	3,4 M
Mg (cmol _c dm ⁻³)	0,9 M	1,3 A
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,1 B	0,1 B
t (cmol _c dm ⁻³)	5,0 M	5,0 M
T (cmol _c dm ⁻³)	7,5 M	7,1 M
m (%)	2,0 B	2,0 B
V (%)	65,0 M	69,0 A
M.O. (dag kg ⁻¹)	2,6 M	3,1 A
S-SO ₄ ⁻² (mg dm ⁻³)	19,5	17,5
Areia (dag kg ⁻¹)	24	22
Silte (dag kg ⁻¹)	23	31
Argila (dag kg ⁻¹)	53	47

1/ Laboratório de Fertilidade e Física do Solo - DCS/UFLA - Lavras - MG

AcF - Acidez fraca; AcM - Acidez média; B - Baixo; M - Médio; A - Alto (CFSEMG, 1989)

Os parâmetros qualitativos, referentes aos tratamentos aplicados em cada ano agrícola, por local de cultivo, foram determinados em amostras de grãos de café beneficiados moídos em moinho tipo Croton Mod.TE-580, em peneira de 30mesh. As avaliações foram: atividade enzimática da polifenoloxidase, índice de coloração, acidez titulável total, açúcares totais, compostos fenólicos totais e ácido clorogênico (determinado nos dois últimos anos agrícolas) conforme metodologia descrita a seguir.

O método de extração da enzima polifenoloxidase consiste na extração descrita por Draetta e Lima (1976), tendo sido pesados 5g da amostra de café previamente moída e adicionados 40mL da solução de fosfato de potássio 0,1mol L⁻¹ a pH 6,0, agitando-se a amostra por 5 minutos. Todo material utilizado foi mantido gelado. Após a agitação, foi feita a filtração, utilizando-se papel de filtro Whatman nº 1. A atividade da polifenoloxidase foi determinada pelo método descrito por Ponting e Joslyng (1948), utilizando-se o extrato da amostra sem DOPA (3,4 dihidroxifenil-alanina), como branco, expressa em U g⁻¹ de grãos beneficiados (U é unidade de atividade enzimática equivalente a 0,001 da densidade ótica por minuto).

O índice de coloração foi determinado pelo método descrito por Singleton (1966) e adaptado para o café, como segue: foram pesadas 2g da amostra de café moídas e colocadas em erlenmeyer e adicionados 50mL de água destilada. Em seguida, as amostras foram homogenizadas em agitador elétrico por 1 hora. Fez-se a filtração em papel de filtro e tomaram-se 5mL do filtrado, adicionando-se 10mL de água destilada a essa alíquota. Estas amostras foram deixadas em repouso por 20 minutos e lidas em comprimento de onda de 425nm em espectrofotômetro.

A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1mol L⁻¹ de acordo com técnica descrita pela Association of Official Analytical Chemists (1970) e expressa em mL de NaOH 100g⁻¹ de amostra.

Os açúcares totais foram extraídos pelo método de Lane-Enyon, citado pela Association of Official Analytical Chemists (1970), determinados pela técnica de Somogy, adaptada por Nelson (1944). Os compostos fenólicos totais foram extraídos pelo método de Goldstein e Swain (1963), utilizando-se como extrator o metanol 50% e identificados de acordo com o método de Folin Denis, descrito pela Association of Official Analytical Chemists (1970).

O ácido clorogênico total foi extraído segundo metodologia preconizada por Menezes (1990), como descrito a seguir: pesou-se 1g de amostra moída de grãos de café beneficiados e extraiu-se através de refluxo com isopropanol 70% em água durante 4 horas em erlenmeyer. Após resfriar, os extratos foram completados até 200mL com isopropanol 70% num balão volumétrico e depois filtrados. Os extratos filtrados ficaram congelados a -4°C até a realização das análises.

A determinação do ácido clorogênico foi feita por cromatografia líquida de alta eficiência (“High Performance Liquid Chromatography – HPLC”) utilizando-se um sistema isocrático em aparelho da Marca Shimadzu com detector U.V. (SPD-M10A) no valor de absorvância de 300nm. A fase móvel utilizada foi na proporção de 90% de metanol e 10% de ácido fosfórico a 1% para que houvesse a união dos isômeros do ácido clorogênico tendo, no final, o total com um fluxo de 1mL minuto⁻¹ em coluna de fase reversa C₁₈ de 25cm e volume de injeção de 20μL. A pressão de trabalho nesta coluna foi de 157atm. O ajuste do HPLC foi feito com fase móvel pura (branco), antes da leitura dos padrões de ácido clorogênico e das amostras. O padrão foi preparado com ácido clorogênico p.a. dissolvido em isopropanol 70% e uma curva padrão de 0, 100, 200, 400, 800 e 1000mg de ácido clorogênico L⁻¹.

As variáveis qualitativas dos grãos de café beneficiados foram submetidas à análise de variância e estudos de regressão, cujas equações ajustadas às variáveis em função das doses de K de cada fonte de K aplicadas em ambos os solos. Utilizou-se nas análises o programa SISVAR 3.03 e adotaram-se os níveis de significância de 5% e 1%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Numa tentativa de reduzir o efeito das variações edafoclimáticas que alteram a qualidade da bebida do café optou-se por uma discussão dos resultados pela média das quatro safras, para ambos os solos, obtendo-se dessa forma uma análise de variância mais representativa.

Verificou-se, pela análise conjunta de cada variável avaliada, efeito significativo da interação local de cultivo, fonte e doses de K para todas as variáveis analisadas (Tabela 2), o que sugere um comportamento diferenciado das fontes e doses de K aplicadas no dois locais.

Os resultados médios da atividade enzimática da polifenoloxidase, índice de coloração, acidez titulável total, açúcares totais, compostos fenólicos totais e ácido clorogênico total dos grãos de café beneficiados encontram-se na Tabela 3.

TABELA 2. Resumo da análise de variância e respectivos níveis de significância para atividade enzimática da polifenoloxidase (PFO), índice de coloração (IC), acidez titulável total (ATT), açúcares totais (AT), compostos fenólicos totais (CFT) e ácido clorogênico total (ACT) de grãos de café beneficiados para média de quatro safras em dois locais de cultivo.

Causas de variação	GL	Variáveis qualitativas					
		PFO	IC	ATT	AT	CFT	ACT
Blocos (Local)	6	5,89	0,00158	73,82	0,25955*	0,23844**	0,31344**
Local de cultivo (L)	1	195,59**	0,00040	2752,04**	0,02313	0,98010**	0,97405**
Fontes de K (F)	2	112,05**	0,03789**	2021,90**	0,91045**	0,61885**	1,20719**
L x F	2	4,58	0,06574**	1447,13**	0,08808	0,08948*	2,47854**
Resíduo (a)	12	3,24	0,00228	57,86	0,05863	0,02333	0,05432
Dose de K (D)	3	326,03**	0,13607**	5772,80**	7,34996**	1,60399**	5,89797**
L x D	3	9,39*	0,00592**	958,90**	0,54451**	0,26733**	0,13400**
F x D	6	13,55**	0,00446**	294,25*	0,33958**	0,15483*	1,02068**
L x F x D	6	14,38**	0,00317*	350,53*	0,21827*	0,18878*	0,04953*
Resíduo (b)	54	3,19	0,00110	151,90	0,07336	0,05281	0,02449
C.V. (a)		2,90	5,06	2,60	3,15	2,23	3,98
C.V. (b)		2,88	3,51	4,21	3,52	3,35	2,67
Média Geral		61,95	0,943	292,25	7,67	6,84	5,84

* e ** significativo ao nível de 5 e 1% pelo teste de F

TABELA 3. Valores médios das variáveis qualitativas dos grãos de café beneficiados para média de quatro safras em função de fontes e doses de K aplicadas em plantas sobre Latossolo Roxo (LR) e Latossolo Vermelho Amarelo (LV). UFLA, Lavras - MG, 1999.

Fonte de K	Doses de K (kg.ha ⁻¹)	Variáveis qualitativas ^{1/}					
		PFO	IC	ATT	AT	CFT	ACT ^{2/}
São Sebastião do Paraíso (LR)							
KCl	0	55,02	0,881	335	6,85	7,6	6,6
	100	60,38	0,997	315	8,00	7,2	6,1
	200	61,73	1,034	283	8,06	6,7	4,8
	400	57,46	0,931	307	7,53	7,2	5,6
Média		58,65	0,961	310	7,61	7,2	5,8
K ₂ SO ₄	0	55,20	0,947	308	7,01	7,2	6,7
	100	61,84	1,053	284	8,34	6,9	6,3
	200	66,85	1,136	255	8,60	6,4	5,6
	400	60,93	0,927	281	7,64	8,9	6,0
Média		61,21	1,016	282	7,90	7,4	6,2
KNO ₃	0	54,12	0,752	336	6,51	7,4	5,9
	100	66,56	0,923	288	8,66	6,5	4,5
	200	65,57	0,936	282	8,25	6,4	4,8
	400	61,40	0,827	293	6,85	7,0	5,7
Média		61,91	0,860	300	7,57	6,8	5,2
Patrocínio (LV)							
KCl	0	57,06	0,859	300	7,47	7,0	6,5
	100	63,15	1,006	284	7,97	6,8	6,2
	200	63,97	0,991	283	7,99	6,8	5,0
	400	60,31	0,938	301	7,38	6,8	6,0
Média		61,12	0,949	292	7,70	6,9	5,9
K ₂ SO ₄	0	61,06	0,807	303	7,42	7,0	6,3
	100	65,38	0,953	290	7,89	6,8	6,0
	200	68,37	1,032	277	8,37	6,4	5,3
	400	64,76	0,906	280	7,57	6,6	5,9
Média		64,89	0,925	288	7,81	6,7	5,9
KNO ₃	0	59,77	0,819	299	6,99	7,0	6,5
	100	67,20	1,036	274	8,12	6,6	5,5
	200	66,25	1,009	276	7,75	6,6	5,8
	400	63,26	0,933	277	7,02	6,7	6,3
Média		64,12	0,949	282	7,47	6,7	6,0

^{1/} PFO - Atividade enzimática de polifenoloxidase (U g⁻¹ de amostra), IC - índice de coloração (D.O. 435 nm), ATT - acidez titulável total (mL NaOH 100g⁻¹ de amostra), AT - açúcares totais (%), CFT - compostos fenólicos totais (%) e ACT - ácido clorogênico total (%)

^{2/} Média de dois safras (1997 e 1998).

3.1 Atividade enzimática da polifenoloxidase

Como se sabe, a atividade bioquímica de um material orgânico decorre da presença de enzimas ativas. A pesquisa desta atividade baseia-se na especificidade da ação enzimática e na possibilidade de determinar, sem ambigüidade, a natureza da transformação pela análise dos produtos formados. A quantidade do substrato transformado numa mistura racional completa, contendo o material ativo, menos substrato formado nas mesmas condições nos ensaios em branco, mede a atividade enzimática do material ensaiado. (Martelli e Panek, 1968).

Os resultados e as equações de regressão da atividade enzimática da polifenoloxidase, em $U\ g^{-1}$ de amostra em grãos de café beneficiados, colhidos em lavouras cultivadas em São Sebastião do Paraíso e em Patrocínio sob o efeito de fontes e doses de K encontram-se na Tabela 3 e Figura 1.

Em relação aos dados médios obtidos (Tabela 3), verifica-se que as atividades enzimáticas da polifenoloxidase, em Patrocínio, foram mais elevadas em relação aos obtidos em São Sebastião do Paraíso, quando se comparam os valores de atividade enzimática nos tratamentos que não receberam adubação potássica (testemunha = $0\ kg\ de\ K\ ha^{-1}$). Os cafés de São Sebastião do Paraíso, na ausência da fertilização potássica, foram classificados segundo tabela de classificação proposta por Carvalho et al. (1994), atribuindo-se aos grãos de café beneficiados colocação na faixa não aceitável (“riada” e “rio”), ao contrário do ocorrido em Patrocínio onde os cafés se classificaram na testemunha como aceitável (“dura”). Resultados semelhantes foram encontrados por Chagas, Carvalho e Costa (1996) que obtiveram uma maior atividade enzimática da polifenoloxidase nos municípios da Região do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, incluindo-se cafés do município de Patrocínio, em relação aos municípios do Sul de Minas Gerais.

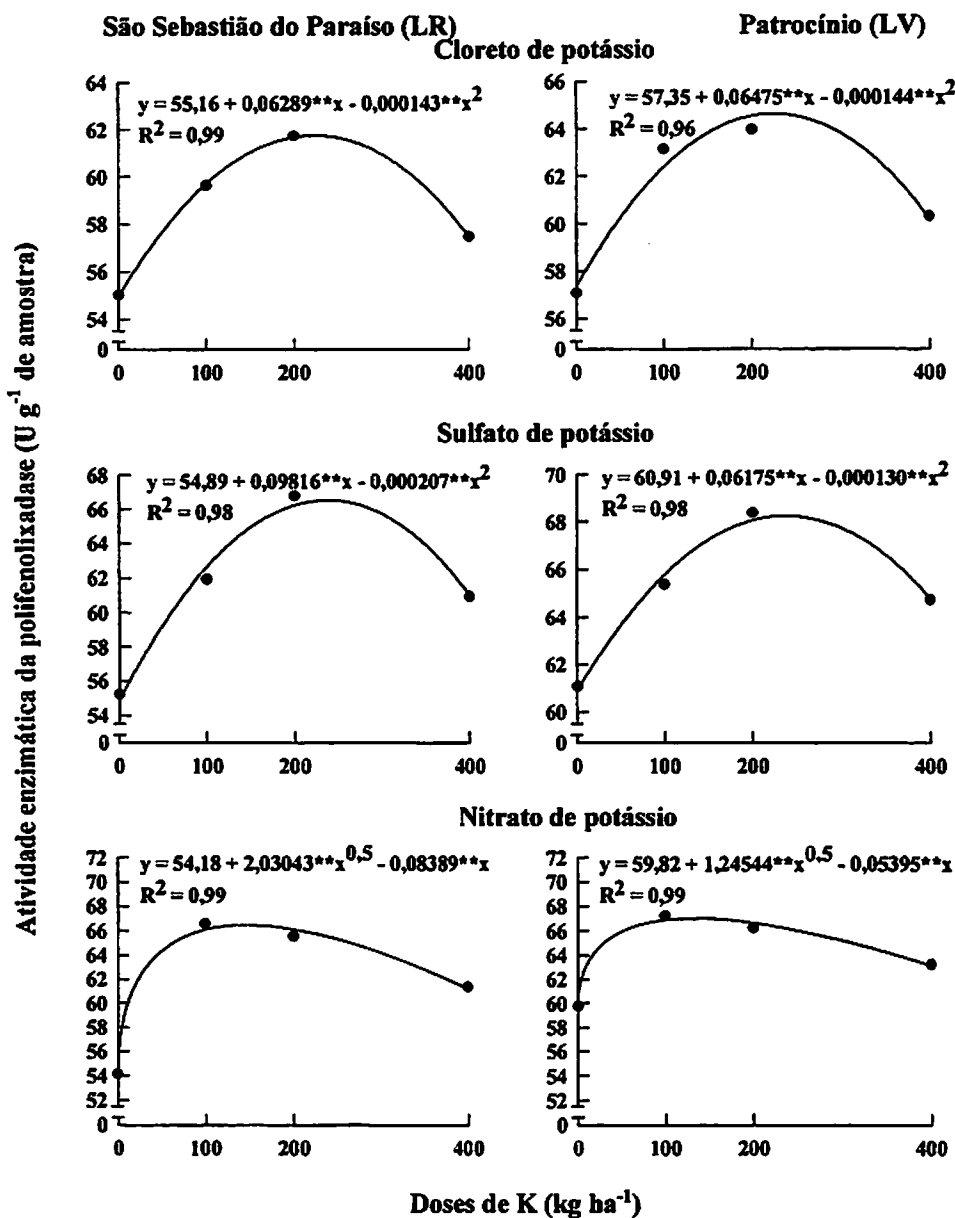


FIGURA 1. Atividade enzimática da polifenoloxidase em grãos de café beneficiados de cafeeiros cultivados em LR e LV sob efeito de três fontes e quatro doses de K, média de quatro safras (1995 a 1998). UFLA, Lavras - MG, 1999. (** significativo a 1%)

Verifica-se, pela Tabela 3 e Figura 1, que a dose de 200kg de K ha⁻¹ foi a que proporcionou a maior atividade enzimática da polifenoloxidase nas fontes KCl e K₂SO₄ e, para a fonte KNO₃, a dose de maior atividade foi de 100kg de K ha⁻¹. Para esta ocorrência houve ajustes de equações quadráticas para as fontes KCl e K₂SO₄, onde a redução da atividade ocorreu em dose superior a 200kg de K ha⁻¹. Para a fonte KNO₃, os melhores ajustes foram equações quadráticas base raiz quadrada, quando a redução da atividade ocorreu em dose superior a 100kg de K ha⁻¹, em ambos os solos. Portanto, verifica-se que a dose em torno de 200kg de K ha⁻¹ para KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ para KNO₃ proporcionaram as melhores atividades da polifenoloxidase, conforme representado na Figura 1.

Pela Tabela 3, observa-se que as amostras são classificadas, segundo a proposta de Carvalho et al. (1994), como bebida “mole” em São Sebastião do Paraíso com as fontes K₂SO₄ e KNO₃ e, em Patrocínio, como “estritamente mole” e “mole”, respectivamente. Para a fonte KCl, a classificação foi de bebida “dura” em São Sebastião do Paraíso e bebida “mole” em Patrocínio, sendo que, neste local, na ausência de adubação potássica, as amostras de café foram classificados como bebida “dura”, ao contrário de São Sebastião do Paraíso, quando foi classificado com bebida “riada” ou “rio”.

Por estes resultados, as fontes isentas de cloreto revelaram uma melhor resposta em São Sebastião do Paraíso em relação a Patrocínio, o que pode ser observado pela Figura 1, tendo a dose de 200kg de K ha⁻¹ nas fontes KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ na forma de KNO₃, propiciado um aumento da atividade enzimática da polifenoloxidase em São Sebastião do Paraíso em relação a Patrocínio. Na ausência da fertilização potássica em ambos solos, os valores pela avaliação química classificaram-se como não aceitável (“riada” e “rio”) e aceitável (“dura”) em ambos os locais, respectivamente (Tabela 3), sendo que as

fontes isentas de cloreto apresentaram uma maior resposta em São Sebastião do Paraíso.

A melhor resposta das fontes isentas de cloreto na classificação de bebida do café, em São Sebastião do Paraíso em relação a Patrocínio, pode ter sido parcialmente influenciada pela ocorrência de maior precipitação no primeiro local conforme se observa-se na Figura 2. Em ambiente mais úmido, os frutos das plantas que recebem elevadas quantidades de cloreto tornam-se mais higroscópicos (Gouny, 1973) e mais passivos da proliferação de microorganismos (Chalfoun, 1996). Segundo Amorim (1972), Zawstowski, Biliaderis e Eskin (1991) e Leite (1991), qualquer condição adversa aos grãos de café beneficiados proporciona a ativação das polifenoloxidasas que oxidariam os compostos fenólicos, diminuindo sua ação antioxidante sobre os aldeídos, sendo posteriormente inibidas competitivamente pelas quinonas formadas.



FIGURA 2. Dados de precipitação média do período de janeiro 1995 a dezembro de 1998 nos dois locais de cultivo. UFLA, Lavras - MG, 1999.

A fonte KCl teve um desempenho inferior às outras duas fontes em ambos os solos, o que se deve atribuir à atuação do íon cloreto em reduzir diretamente a atividade enzimática da polifenoloxidase. Esta enzima é ativada pelo íon cobre (Robison e Eskin, 1991), o qual é o seu catalisador, mas o cloreto, segundo Fox (1991), inibe sua atividade devido à interação ou reação com o cobre, propiciando uma redução na atividade enzimática na fonte KCl (Tabela 3). Por outro lado, sabe-se que certos ânions têm um poderoso efeito de desnaturação da proteína, isto é, alterações na estrutura quaternária, terciária e secundária, os quais são, em ordem decrescente, $\text{SCN}^- > \text{ClO}_4^- > \text{I}^- > \text{Cl}^- > \text{acetato} > \text{SO}_4^{2-}$.

De modo geral, verificou-se que as fontes isentas de cloro promoveram maior atividade enzimática da polifenoloxidase, com maior resposta para a fonte KNO_3 , com menor dose de K em relação à fonte K_2SO_4 (Figura 1).

Resultados semelhantes na avaliação de fontes e doses de K na qualidade do café foram obtidos por Silva et al. (1999) que encontraram maior atividade enzimática da polifenoloxidase com a fonte K_2SO_4 . Arcila-Pulgarim e Valência-Aristizábal (1975) não encontraram resposta à adubação potássica, mas observaram uma maior atividade da enzima polifenoloxidase, quando se aplicou sulfato de potássio.

Malavolta (1986) estudou o efeito de fontes e doses de S na qualidade da bebida mas não encontrou diferença na qualidade avaliada pela “prova da xícara”. A avaliação da qualidade, praticada convencionalmente através de provadores e conhecida como “prova da xícara”, é muito subjetiva (Chagas, Carvalho e Costa, 1996) quando se compara com o método da atividade enzimática da polifenoloxidase (avaliação química). Sendo aquela uma prova sensorial, seu resultado é questionável em termos de representar uma expressão universal de qualidade, o que dificulta estabelecer diferenças qualitativas entre as amostras de grãos de café beneficiados. Santinato, Oliveira e Pereira (1996) não

encontraram melhoria da qualidade (“prova da xícara”) com a aplicação de doses crescentes de K na forma de salitre de potássio (KNO_3).

3.2 Índice de coloração

O índice de coloração mede a cor do grão de café beneficiado que, segundo Amorim e Silva (1968), é devida à presença de clorofila, compostos fenólicos, etc., tendo este uma relação direta com a boa qualidade da bebida do café, e com o aumento da atividade enzimática da polifenoloxidase (Carvalho et al., 1994).

Os valores médios e equações de regressão ajustadas para o índice de coloração de grãos de café beneficiados colhidos nos dois locais estudados em função de fontes e dose de K encontram-se na Tabela 3 e Figura 3.

A orientação das curvas de efeito das fontes e doses de K, representativas do índice de coloração (Figura 3) é muito semelhante àquela contida nos gráficos que expressam a atividade enzimática da polifenoloxidase (Figura 1) em ambos os solos. As equações de regressão quadráticas e quadráticas base raiz quadrada foram as que melhores se ajustaram aos dados de índice de coloração (Figura 3).

Os grãos de café beneficiados com maior atividade da polifenoloxidase, ou seja, melhor qualidade de bebida, também possuem maior índice de coloração (Carvalho et al., 1994). Portanto, a discussão e a interpretação referente à polifenoloxidase (Tabela 3 e Figura 1) no ajuste das equações de regressão e as doses de K definidas para obtenção do maior índice de coloração, possuem uma relação positiva e direta, muito estreita, que pode ser visualizada na Tabela 3.

Cafés de melhor qualidade possuem maior atividade enzimática da polifenoloxidase e maior índice de coloração, conforme pesquisas desenvolvidas por Leite (1991), Chagas, Carvalho e Costa (1996), Carvalho et al. (1994), Silva (1995), Pimenta (1995), Chalfoun (1996) e Pereira (1997).

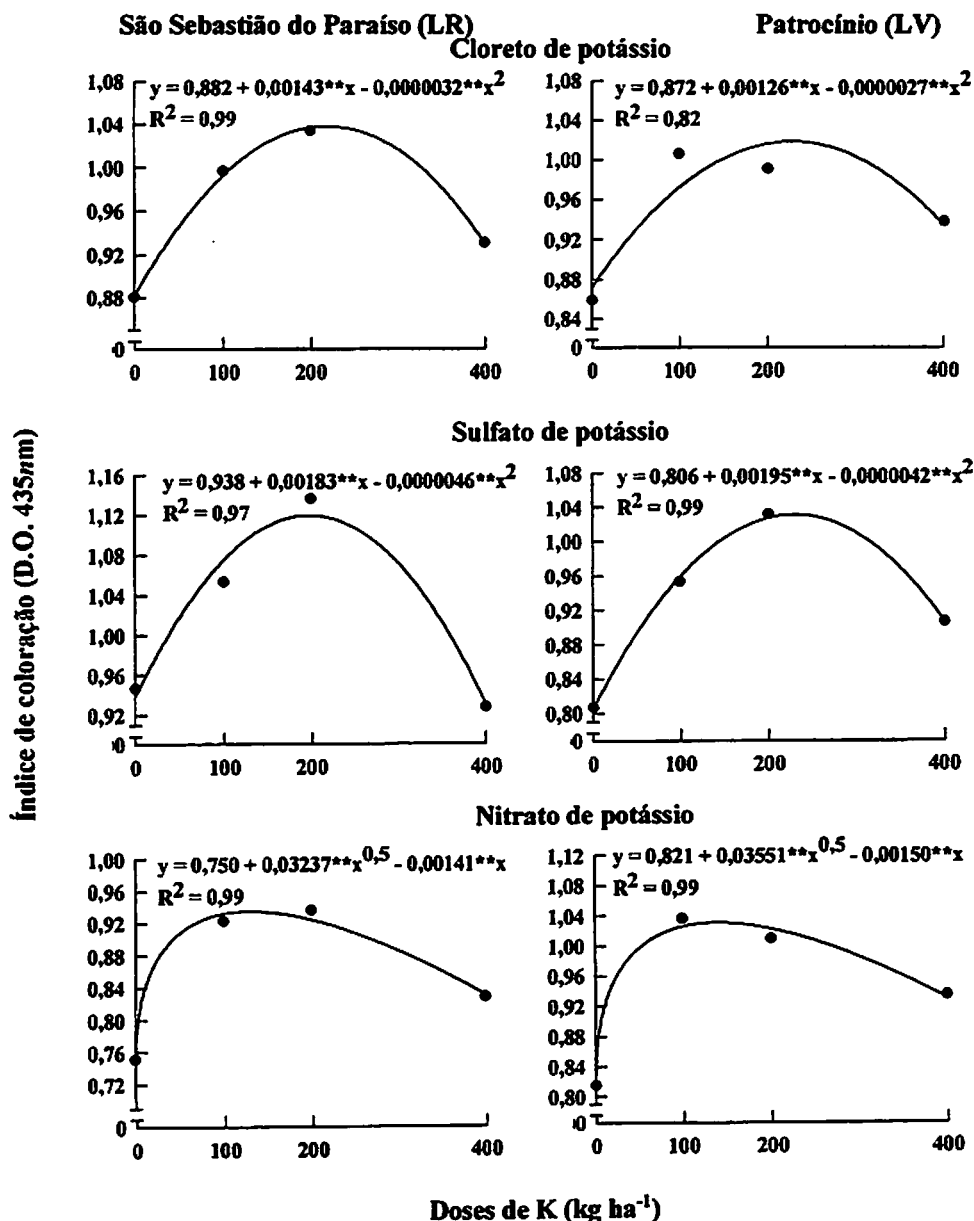


FIGURA 3. Índice de coloração de grãos de café beneficiados de cafeeiros cultivados em LR e LV sob efeito de três fontes e quatro doses de K, média de quatro safras (1995 a 1998). UFLA, Lavras - MG, 1999. (** significativo a 1%).

Os resultados dos índices de coloração para média das quatro safras consecutivas mostram que a melhor dose de K para as fontes KCl e K₂SO₄ foi de 200kg de K ha⁻¹ e, para a fonte KNO₃, de 100kg de K ha⁻¹, conforme se verifica na Tabela 3 e Figura 3, em que se observa que os valores do índice de coloração estão acima de 0,650, que é um limite proposto por Carvalho et al. (1994) para distinguir bebidas “riada” e “rio” (não aceitável) de outra melhor classificação de bebida com índice de coloração superior a esse. No presente caso, os índices de coloração registrados garantem, no mínimo, a classificação de uma bebida “dura” (aceitável).

3.3 Acidez titulável total

A acidez titulável total dos grãos de café beneficiados tem uma relação inversa com a qualidade da bebida do café, pois cafés de melhor qualidade possuem maior atividade enzimática da polifenoloxidase e índice de coloração e menor acidez (Carvalho et al., 1994).

Os resultados medidos e as equações de regressão ajustados para acidez titulável total em função das fontes e doses de K nos solos estudados, com diferentes condições edafoclimáticas encontram-se apresentados na Tabela 3 e Figura 4. As equações de regressão que melhor se ajustaram foram as quadráticas e quadráticas base raiz quadrada, em que se verificou uma redução da acidez com o aumento das doses de K em cada fonte e local de cultivo (Figura 4).

Pela Tabela 3, verifica-se maior acidez titulável total na testemunha em grãos de café colhidos em São Sebastião do Paraíso em relação aos colhidos em Patrocínio. Portanto, a melhor resposta no primeiro local está associada a uma maior polifenoloxidase para as fontes isentas de cloreto, que promoveram uma melhoria de qualidade da bebida do café colhido, ao contrário do que ocorreu em Patrocínio, no qual as fontes não tiveram o mesmo desempenho (Tabela 3).

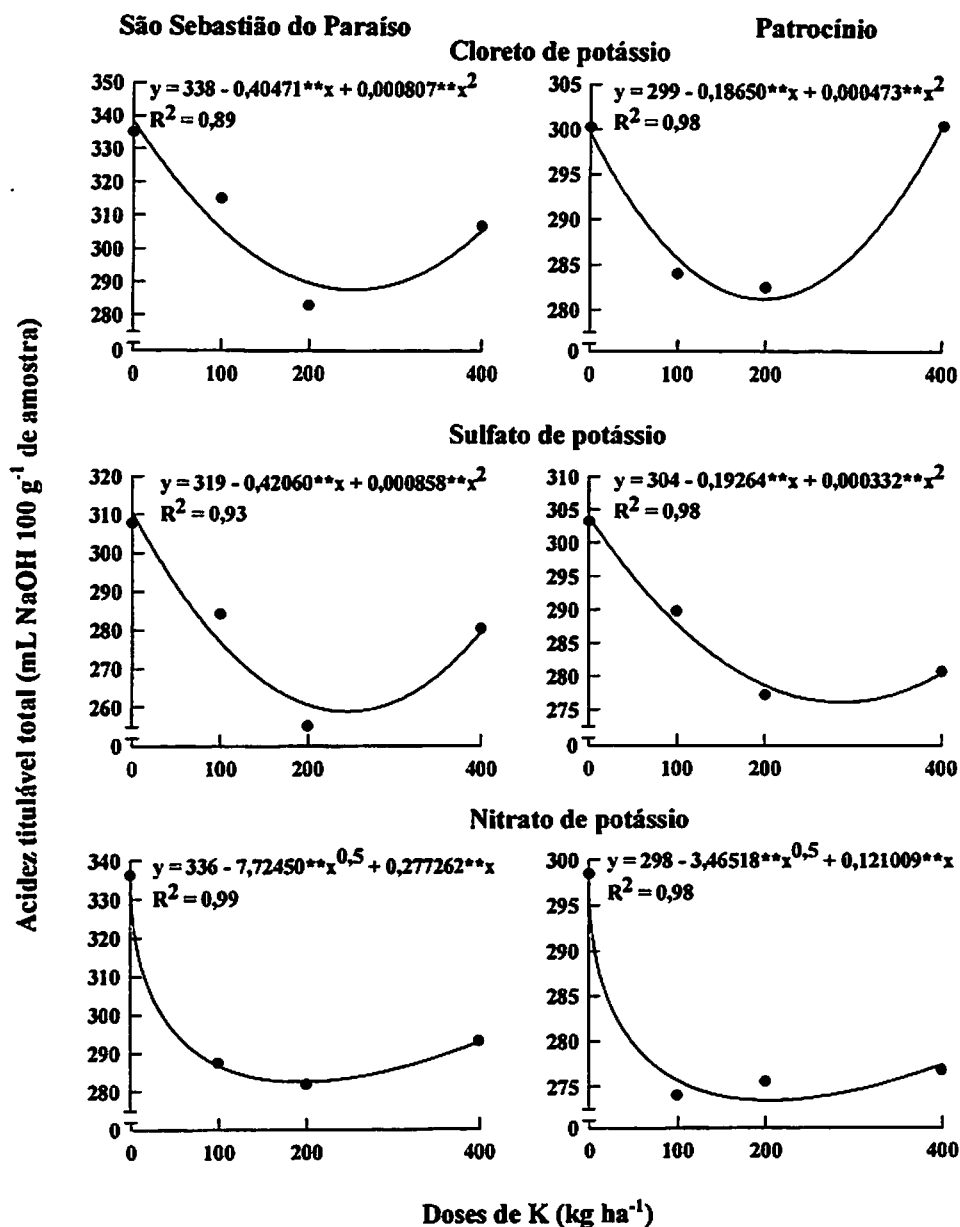


FIGURA 4. Acidez titulável total de grãos de café beneficiados de cafeeiros cultivados em LR e LV sob efeito de três fontes e quatro doses de K, média de quatro safras (1995 a 1998). UFLA, Lavras - MG, 1999. (** significativo a 1%)

As fontes isentas de cloreto proporcionaram menor acidez nos grãos colhidos em ambos os solos. A fonte KCl deve propiciar maior umidade aos grãos de café e, consequentemente, maior infestação de microorganismos favorecem a fermentação produzindo álcool, que é desdobrado em ácido acético, láctico, propiónico e butírico os quais proporcionam acentuados prejuízos na qualidade (Bitancourt, 1957 e Chalfoun, 1996). Em Patrocínio, houve menor efeito do KCl sobre a acidez titulável total dos grãos. A Organização Internacional do Café (OIC) destaca, literalmente, a acidez desejável da bebida descrita como “acidity” que é conferida pelos ácidos málico e cítrico, enquanto o termo “sourness” indica acidez imprópria, ou seja, uma fermentação indesejável (International...1991b). No caso em questão, possivelmente a fonte KCl promoveu uma acidez imprópria, devido à acidez titulável total ter uma relação inversa com a atividade enzimática da polifenoloxidase conforme se verifica pela orientação das curvas ajustadas, na média dos quatro safras, delineadas para as duas variáveis (Figuras 1 e 4).

Verificou-se também que as doses de 200kg de K ha⁻¹ para as fontes KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ para a fonte KNO₃, proporcionaram uma acidez mínima, coincidentes com as doses registradas para atingir a máxima atividade enzimática da polifenoloxidase e índice de coloração (Tabela 3).

Em São Sebastião do Paraíso, entre as fontes aplicadas, o K₂SO₄ promoveu menor acidez titulável total na média das quatro safras. Em Patrocínio, estas diferenças não foram muito evidentes, devido às causas já discutidas anteriormente, sendo que as fontes isentas de cloreto não diferiram estatisticamente do KCl (Tabela 3).

Ocorreu uma maior atividade enzimática da polifenoloxidase, maior índice de coloração e menor acidez titulável total com a dose de 200kg de K ha⁻¹ para as fontes KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ para fonte KNO₃ nos dois locais estudados, conforme se verifica-se nas Figuras 1, 3 e 4 para a média das quatro

safras. A conexão direta ou indireta entre estes parâmetros identifica com muita precisão a qualidade dos grãos de café beneficiado expressa bioquimicamente, segundo Leite (1991), Chagas, Carvalho e Costa (1996), Carvalho et al. (1994), Silva (1995), Pimenta (1995), Chalfoun (1996) e Pereira (1997).

3.4 Açúcares totais

Os açúcares totais são mais elevados em grãos de café beneficiados que propiciam melhor qualidade de bebida, possuindo, portanto, uma relação direta com atividade enzimática da polifenoloxidase e índice de coloração e inversa com a acidez titulável total. Os teores médios de açúcares totais e equações de regressão ajustadas encontram-se na Tabela 3 e Figura 5, onde se nota que houve um aumento nos teores de açúcares totais na média das quatro safras, tendo ocorrido efeito quadrático e quadrática base raiz quadrada.

Observa-se também uma relação direta entre a atividade enzimática da polifenoloxidase, índice de coloração e açúcares totais, e inversa entre a acidez titulável total, mas atingindo-se um equilíbrio desejável com a utilização da dose 200kg de K ha⁻¹ na forma de KCl e K₂SO₄ e de 100kg de K ha⁻¹ para fonte KNO₃, em ambos os solos, conforme se observam as tendências nas Figuras 1, 3, 4 e 5, para os dados médios das quatro safras. Verificam-se teores superiores de açúcares totais nos grãos colhidos em Patrocínio comparando-se com resultados de São Sebastião do Paraíso (Tabela 3), conforme comentário feito por Chagas et al. (1996) em que os teores de açúcares são superiores para cafés do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba em relação a cafés do Sul de Minas.

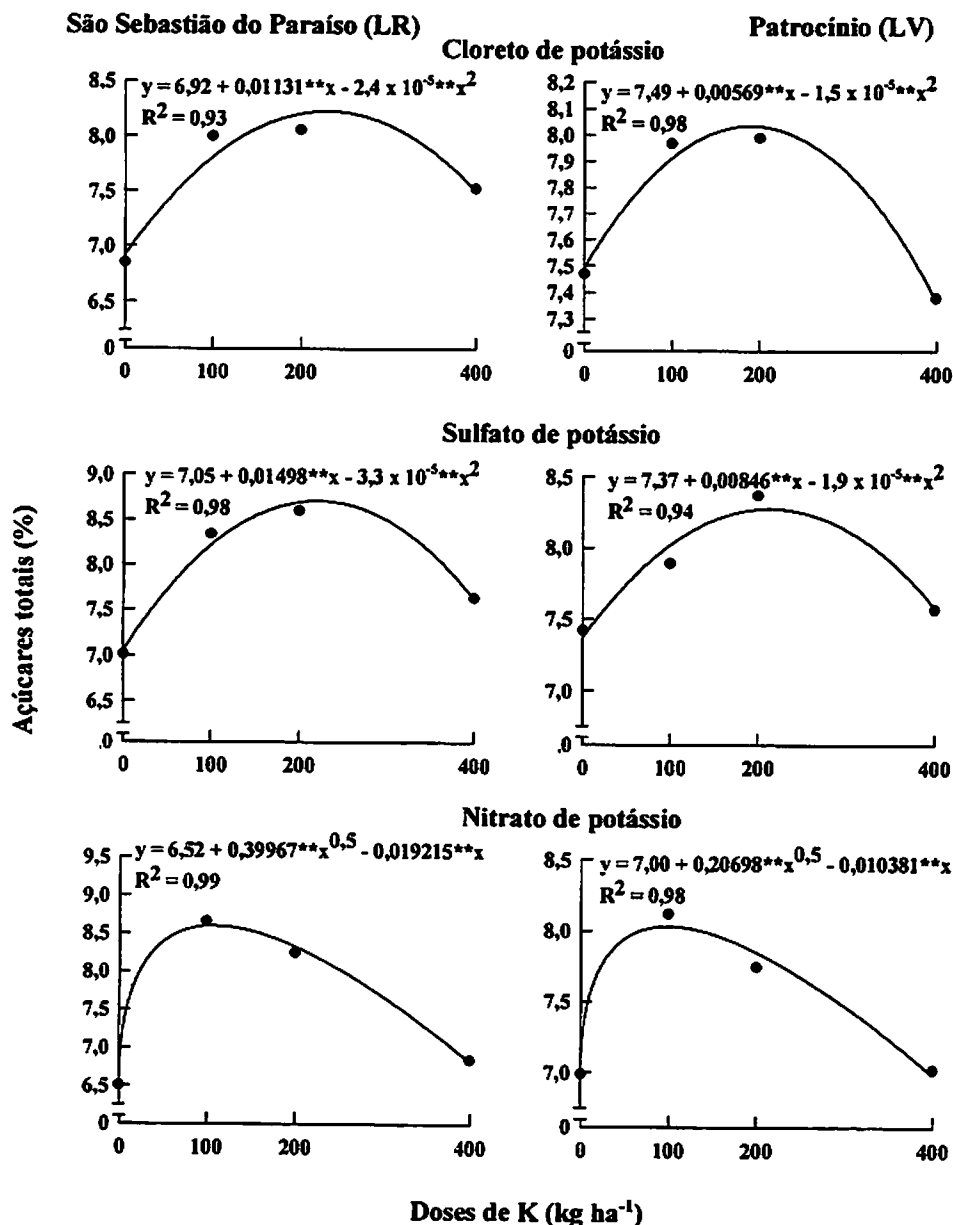


FIGURA 5. Teores de açúcares totais de grãos de café beneficiados de cafeeiros cultivados em LR e LV sob efeito de três fontes e quatro doses de K, média de quatro safras (1995 a 1998). UFLA, Lavras - MG, 1999. (**significativo a 1%)

No presente trabalho, os teores de açúcares totais determinados em grãos colhidos em São Sebastião do Paraíso, sob efeito de fontes e doses de K estão acima daquele observado por Navellier (1970), que foi de 8%. A melhor resposta encontrada em Patrocínio sob o efeito de fontes e doses de K aproximou-se do teor encontrado por aquele autor. Os teores encontrados na Tabela 3 estão próximos da faixa de 5 a 10% proposta por Prete (1992), que se baseou em vários autores.

Os açúcares podem contribuir para o sabor e aroma do café, conforme cita Amorim (1972), mas esses atributos ainda não participam das classificações oficiais de qualidade de bebida adotados no mercado, apesar de Amorim et al. (1976) afirmarem que os melhores cafés possuem maiores teores de açúcares totais, fato também verificado por Chagas et al. (1996) e Silva et al. (1999). Em adição, o sabor doce desejável em cafés “Gourmet” detectados pelo painel organolético (Sensorial) da OIC (International..., 1991a) é baseado na presença de açúcares dos grãos após a torração. Os açúcares, juntamente com os aminoácidos, são responsáveis pela cor caramelo no café torrado, que é obtida pelas reações de Maillard e/ou caramelização (Pereira, 1997).

3.5 Compostos fenólicos

A ocorrência de maior concentração de compostos fenólicos totais nos cafés de pior qualidade tem sido atribuída geralmente ao ataque de microorganismos (Amorim et al., 1974) e ao estágio de maturação dos frutos, como mencionado por Carvalho, Chalfoun e Chagas (1989) e Pimenta (1995).

Os teores médios e as equações de regressão relativos aos compostos fenólicos totais e ácido clorogênico em função de fontes e doses de K nos dois locais estudados encontram-se na Tabela 3 e Figuras 6 e 7. As doses de 200kg de

K ha⁻¹ na forma de KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ para KNO₃ foram as que proporcionaram menores teores destes compostos fenólicos da média das safras.

Os ácidos clorogênicos constituem os principais compostos fenólicos do café (Sondheimer, 1958). Por isso existe uma razão do efeito comum dos tratamentos sobre os teores de ácido clorogênico total e compostos fenólicos totais. Portanto, a comparação desta tendência de diminuição dos compostos fenólicos e o aumento das atividades da polifenoloxidase, observado na Tabela 2 e Figuras 1, 6 e 7, pela influência das doses de K nas fontes estudadas, indicam que estes compostos podem ter sido oxidados ou que em cafés de melhor qualidade há menos injúria (microbiana, mecânica ou fisiológica), uma vez que os compostos fenólicos aumentam quando há injúria nos grãos (Amorim e Silva, 1968).

O melhor efeito da aplicação das fontes e doses de K ocorreu em São Sebastião do Paraíso em relação a Patrocínio, pois na avaliação de compostos fenólicos totais, os maiores teores foram encontrados na fonte KCl para a média da fonte em São Sebastião do Paraíso e não havendo diferença entre elas em Patrocínio. O ânion acompanhante (Cl⁻) torna os grãos mais higroscópicos (Gouny, 1973) e, conseqüentemente facilita uma maior infecção por microrganismos, conforme já discutido para a atividade enzimática da polifenoloxidase em São Sebastião do Paraíso (LR), o que não se constatou em Patrocínio.

Na Tabela 3, verifica-se que os teores mínimos de compostos fenólicos encontrados nas doses de melhor resultado para as fontes, na média das quatro safras encontram-se abaixo do obtido por Carvalho, Chalfoun e Chagas (1989), que representam uma média de compostos fenólicos de 9,7% em frutos colhidos, em todos os estádios de maturação, conforme foi registrado nos dois locais estudados para cafés derriçados no pano.

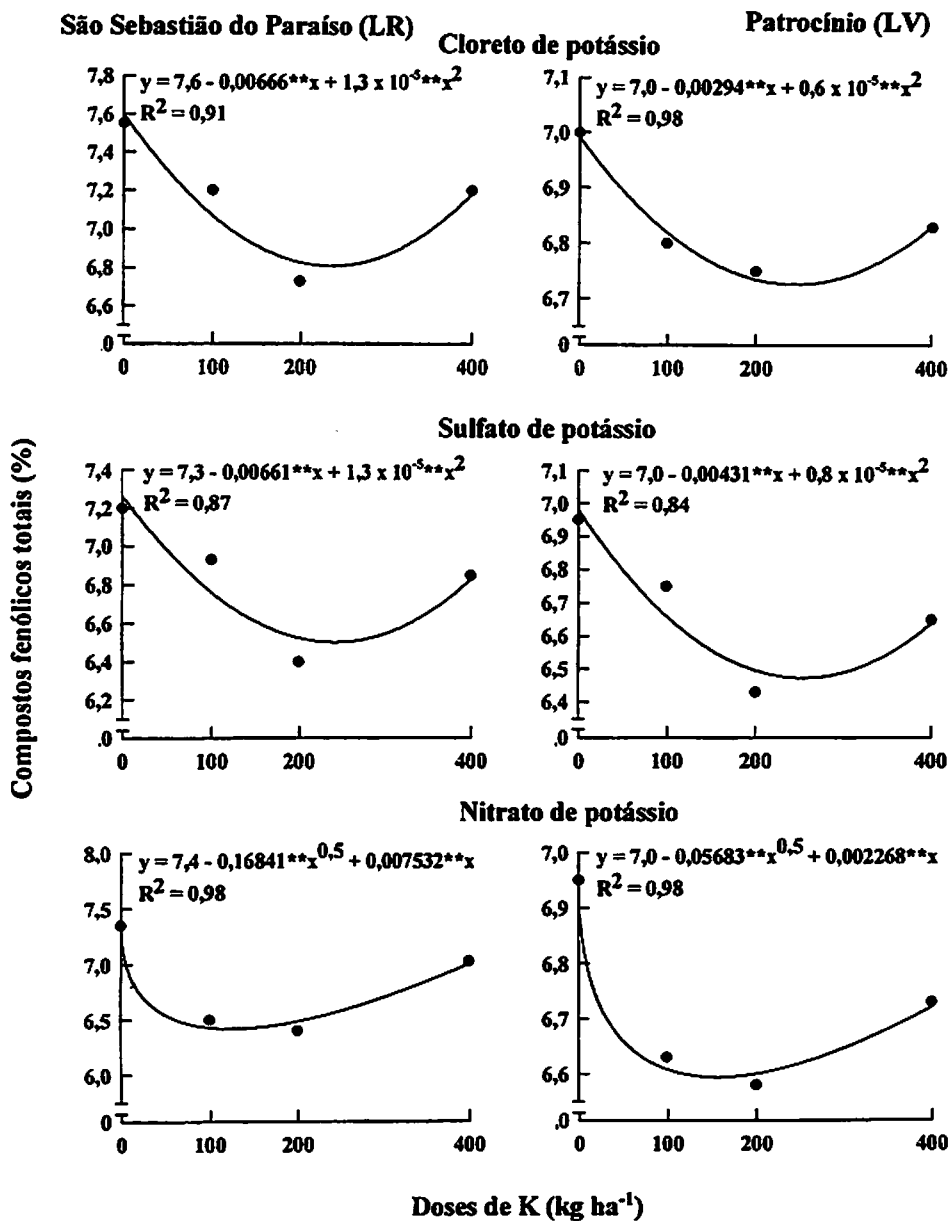


FIGURA 6. Teores de compostos fenólicos totais de grãos de café beneficiados de cafeeiros cultivados em LR e LV sob efeito de três fontes e quatro doses de K, média de quatro safras (1995 a 1998). UFLA, Lavras - MG, 1999. (** significativo a 1%)

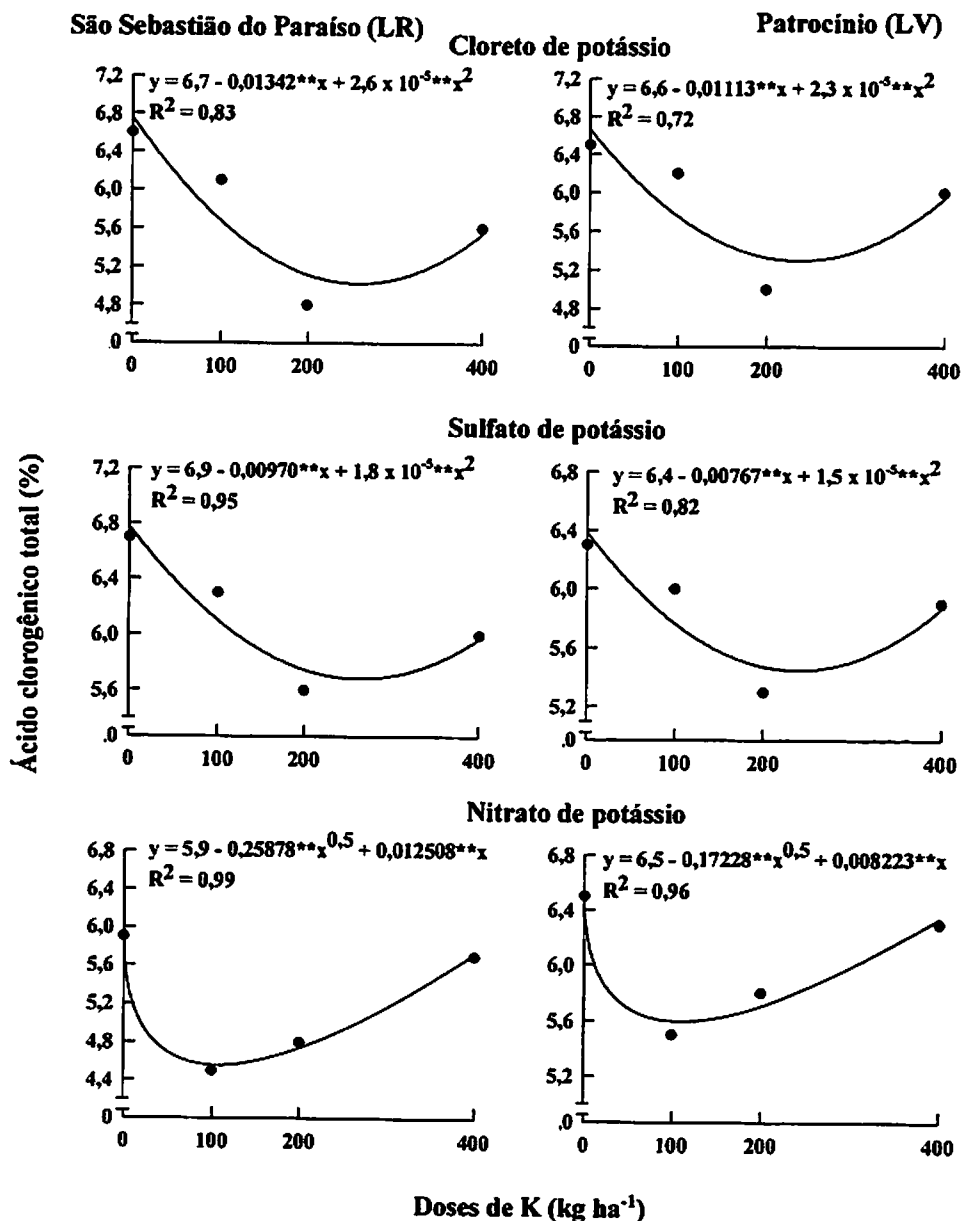


FIGURA 7. Teores de ácido clorogênico total de grãos de café beneficiados de cafeeiros cultivados em LR e LV sob efeito de três fontes e quatro doses de K, média de duas safras (1997 e 1998). UFLA, Lavras - MG, 1999. (** significativo a 1%)

Os teores de ácido clorogênico total encontrados pela aplicação de 200kg de K ha⁻¹ com as fontes KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ com a fonte KNO₃, em avaliação feita pelo método "HPLC" (Tabela 3), estão próximos do conteúdo para espécie arábica de 5 a 7,5% citados por Illy e Viani (1995) para café cru.

4 CONCLUSÕES

Os valores mais elevados da atividade enzimática da polifenoloxidase, índice de coloração e açúcares totais, e menores da acidez titulável total, compostos fenólicos totais e ácido clorogênico total dos grãos de café beneficiados mostraram que a fonte KCl teve uma resposta inferior, em termos de qualidade dos grãos, em relação às fontes K₂SO₄ e KNO₃.

As fontes isentas de cloreto apresentaram os melhores resultados nos parâmetros qualitativos dos grãos de café beneficiados quando aplicadas nas condições de São Sebastião do Paraíso do que nas de Patrocínio.

Em termos de doses aplicadas, os melhores resultados para os parâmetros que avaliam a qualidade dos grãos de café beneficiados foram obtidos com as doses de 200kg de K ha⁻¹ na forma de KCl e K₂SO₄ e 100kg de K ha⁻¹ na forma de KNO₃.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMORIM, H.V. **Relação entre alguns compostos orgânicos do grão do café verde com a qualidade da bebida.** Piracicaba: ESALQ, 1972. 136p. (Tese - Doutorado em Bioquímica).



AMORIM, H.V.; LEGENDRE, M.G.; AMORIM, V.L., ANGELO, A.J.S.; ORY, R.L. Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. VII. Total carbonyls, activity of polyphenol oxidase, and hydroperoxides. **Turrialba**, San José, v.26, n.2, p.193-195, abr./jun. 1976.

AMORIM, H.V.; SILVA, D.M. Relationship between the polyphenol oxidase activity of coffee beans and quality of the beverage. **Nature**, New York, v.219, n.27, p.381-382, July 1968.

AMORIM, H.V.; TEIXEIRA, A.A.; GUERCIO, M.A., CRUZ, V.F.; MALAVOLTA, E. Chemistry of Brazilian green coffee and the quality of the beverage. II. Phenolic compounds. **Turrialba**, San Jose, v.24, n.2, p.217-221, abr./jun. 1974.

ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.12, n.138, p.9-13, jun. 1986.

ARCILA-PULGARIN, J.; VALÊNCIA-ARISTIZÁBAL, G. Relacion entre la actividade de la polifenol oxidasa (P.F.O.) y las pruebas de catacion como medidas de la calidad de la bebida del café. **Cenicafé**, Caldas, v.26, n.2, p.55-71, abr./jun.1975.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. 11.ed. Washington, 1970. 1015p.

BITANCOURT, A.A. As fermentações e podridões da cereja de café. **Boletim da Superintendência dos Serviços do Café**, São Paulo, v.32, p.7-14, jan. 1957.

CARVALHO, V.D.; CHAGAS, S.J.de R.; CHALFOUN, S.M.; BOTREL, N.; JUSTE JUNIOR, E.S.G. Relação entre a composição físico-química e química do grão beneficiado e a qualidade de bebida do café. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.29, n.3, p.449-454, mar. 1994.

CARVALHO, V.D. de; CHALFOUN, S.M.; CHAGAS, S.J. de R. Relação entre classificação do café pela bebida e composição físico-química, química e microflora do grão beneficiado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 15, 1989, Maringá, PR. **Anais...** Rio de Janeiro: MEC/IBC, 1989. p.25-26.

- CHAGAS, S.J. de R.; CARVALHO, V.D.; COSTA, L. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.31, n.8, p.555-561, ago. 1996.
- CHAGAS, S.J. de R.; CARVALHO, V.D.; COSTA, L.; ROMANIELLO, M.M. Caracterização química e qualitativa de cafés de alguns municípios de três regiões produtoras de Minas Gerais. II – Valores de acidez titulável e teores de açúcares (redutores, não redutores e totais). *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v.20, n.2, p.224-231, abr./jun. 1996.
- CHALFOUN, S.M.S. *O café (Coffea arabica L.) na Região Sul de Minas Gerais-relação da qualidade com fatores ambientais, estruturais e tecnológicos*. Lavras:UFLA, 1996. 171p. (Tese – Doutorado em Fitotecnia).
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais*. Lavras, 1989. 159p.
- DRAETTA, I.S.; LIMA, D.C. Isolamentos e caracterização das polifenoloxidasas do café. *Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.7, p.3-28, 1976.
- FOX, P.F. *Food enzymology*. London: Elsevier Applied Science, 1991. 378p.
- GOLDSTEIN, J.L.; SWAIN, T. Changes in tannins in ripening fruits. *Phytochemistry*, Oxford, v.2, p.371-383, 1963.
- GOUNY, P. Observaciones sobre el comportamiento del vegetal en presencia de iones de cloro. *Revista de la Potassa*, Berna, v.45, n.5, p.1-14, 1973.
- ILLY, A.; VIANI, R. *Expresso coffee: the chemistry of quality*. London: Academic Press, 1995. 253p.
- INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. *Flavour profiles of commercial roasted and ground coffee samples from Brazil*. London, 1991a. n.p. (Sensory Report).

INTERNATIONAL COFFEE ORGANIZATION. **Quantitative descriptive flavour profiling of coffees from COOPARAÍSO-MG, Brasil.** London, 1991b. n.p. (Report de Evaluacion Sensorial).

LEITE, I.P. **Influência do local de cultivo e do tipo de colheita nas características físicas, composição química do grão e qualidade do café (*Coffea arabica*, L.).** Lavras: ESAL, 1991. 131p. (Dissertação - Mestrado em Ciência dos Alimentos)

MALAVOLTA, E. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. IV - Café.** São Paulo: SN Centro de Pesquisa e Promoção do Sulfato de Amônio, 1986. 41p. (Boletim Técnico, 4).

MARTELLI, H.L.; PANEK, A.D. **Bioquímica experimental.** Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1968. 112p.

MENEZES, H.C. **Variação dos monoisômeros e diisômeros do ácido cafeoilquínico com maturação de café.** Campinas: UNICAMP, 1990. 171p. (Tese – Doutorado em Ciência dos Alimentos).

NAVELLIER, P. **Coffe.** In: **ENCYCLOPÉDIA of Industrial Chemical Analysis.** New York: Joh Wiley & Sons, 1970. v.19, p.373-447.

NELSON, N. A photometric adaptation of Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemists**, Baltimore, v.153, n.1, p.370-380, 1944.

PEREIRA, R.G.F.A. **Efeito da inclusão de grãos defeituosos na composição química e qualidade do café (*Coffea arabica* L.) “estritamente mole”.** Lavras:UFLA, 1997. 96p. (Tese – Doutorado em Ciência dos Alimentos)

PIMENTA, C.J. **Qualidade do café (*Coffea arabica* L.) originado de diferentes frutos colhidos em quatro estádios de maturação.** Lavras:UFLA, 1995. 94p. (Dissertação – Mestrado em Ciências dos Alimentos).

PONTING, J.D.; JOSLYNG, M.A. Ascorbic acid oxidation and browning in apple tissue extracts. **Achives of Biochemistry**, New York, v.19, p.47-63, 1948.

- PRETE, C.E.C. **Condutividade elétrica do exsudato de grãos de café (*Coffea arabica*, L.) e sua relação com a qualidade da bebida.** Piracicaba: ESALQ, 1992. 125p. (Tese - Doutorado em Fitotecnia).
- ROBINSON, D.S.; ESKIN, N.A.M. **Oxidative enzymes in foods.** New York: Elsevier Applied Science, 1991. 314p.
- SANTINATO, R.; OLIVEIRA, L.H.; PEREIRA, E.M. Efeitos do uso de salitre de potássio como fonte de nitrogênio e potássio na adubação química do cafeeiro - Carmo do Paranaíba/MG - 1992/1996. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 22, 1996, Águas de Lindóia, SP. **Anais...**São Paulo: SDR/PROCAFÉ/EMBRAPA/DENAC/CATI, 1996. p.180-184.
- SILVA, E.B.; NOGUEIRA, F.D.; GUIMARÃES, P.T.G.; CHAGAS, S.J. de R.; COSTA, L. Fontes e doses de potássio na produção e qualidade do grão de café beneficiado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.3, p.335-345, mar. 1999.
- SINGLETON, V.L. The total phenolic content of grapes berries during the maturation of several varieties. **American Journal Enology Viticulture**, v.17, p.126-134, 1966.
- SONDHEIMER, E. On the distribution of caffeic acid and the chlorogenic acid isomers in plants. **Archives of Biochemistry & Biophysics**, New York, v.74, p.131-138, 1958.
- ZAWISTOWSKI, J.; BILIADERIS, C.G.; ESKIN, N.A.N. Polyphenoloxidases. In: ROBINSON, D.S.; ESKIN, N.A.M. **Oxidative enzymes in foods.** New York: Elsevier Applied Science, 1991. p.217-274.

ANEXO

ANEXO A

	Página
TABELA 1A Resumo da análise de variância e respectivos níveis de significância para produção referentes a quatro safras, dois biênios e média anual em dois locais de cultivo.....	104
TABELA 2A Resumo da análise de variância e respectivos níveis de significância para teor de K e $S-SO_4^{-2}$ no solo referentes à média de quatro safras em dois locais de cultivo.....	104
TABELA 3A Resumo da análise de variância e respectivos níveis de significância para teor foliar de N, K, S e Cl referentes à média de quatro safras em dois locais de cultivo.....	105

TABELA 1A.Resumo da análise de variância e respectivos níveis de significância para produção referentes a quatro safras, dois biênios e média anual em dois locais de cultivo.

São Sebastião do Paraíso							
F.V.	GL	Produção (sacas de 60 kg de café beneficiadas por ha)					
		1995 ^{1/}	1996 ^{1/}	1997 ^{1/}	1998 ^{1/}	1995/96 ^{2/}	1997/98 ^{2/}
Blocos	3	50,58	64,81	0,06	29,13	19,81	7,43
Fontes de K	2	49,05	447,76	65,69**	61,85	125,10*	62,32*
Resíduo (a)	6	47,65	185,74	0,28	36,66	31,93	9,37
Doses d. KCl	3	42,26	111,15	17,87**	178,51**	31,35	56,52**
Doses d. K ₂ SO ₄	3	33,24	89,61	31,56**	110,55*	22,44	54,72**
Doses d. KNO ₃	3	23,45	306,99**	0,97	67,21*	91,70*	16,82*
Resíduo (b)	27	47,34	52,82	0,31	30,79	24,23	7,68
C.V. (a)		32,37	21,90	17,71	11,37	13,52	10,86
C.V. (b)		32,27	11,68	18,57	10,42	11,78	9,85
Média Geral		21,32	62,22	3,00	53,25	41,77	28,13

Patrocínio							
F.V.	GL	Produção (sacas de 60 kg de café beneficiadas por ha)					
		1995 ^{1/}	1996 ^{1/}	1997 ^{1/}	1998 ^{1/}	1995/96 ^{2/}	1997/98 ^{2/}
Blocos	3	126,55	17,85	414,81*	95,89	46,01	75,82
Fontes de K	2	9,34	127,74	133,41	44,37	29,68	22,13
Resíduo (a)	6	492,01	53,70	87,33	124,20	147,24	50,41
Doses d. KCl	3	10,24	182,23	66,39	102,47*	40,11	43,57*
Doses d. K ₂ SO ₄	3	155,18	196,70*	220,71*	230,55**	167,21*	224,82**
Doses d. KNO ₃	3	38,47	199,95*	309,66*	123,83**	33,94	159,03**
Resíduo (b)	27	98,93	97,59	79,31	23,45	45,97	24,56
C.V. (a)		55,34	8,31	39,15	22,91	18,93	19,58
C.V. (b)		24,81	11,21	37,30	9,95	10,57	13,67
Média Geral		40,07	88,11	23,86	48,62	64,10	36,25

*, * e ** significativos ao nível de 10, 5 e 1% pelo teste de F, respectivamente

^{1/} Safras

^{2/} Média de duas safras de baixa e alta produção (biênio)

TABELA 2A.Resumo da análise de variância e respectivos níveis de significância para teor de K e S-SO₄⁻² no solo referentes à média de quatro safras em dois locais de cultivo.

F.V.	GL	São Sebastião do Paraíso		Patrocínio	
		K	S-SO ₄ ⁻²	K	S-SO ₄ ⁻²
Blocos	3	248,74	20,64	56,39	58,68
Fontes de K	2	2839,27**	968,95**	146,94	33,15
Resíduo (a)	6	190,86	12,68	182,80	37,84
Doses d. KCl	3	17239,44**	14,17	13005,46**	9,75
Doses d. K ₂ SO ₄	3	36776,14**	564,01**	12084,20**	88,33**
Doses d. KNO ₃	3	27335,59**	13,29	11826,88**	15,33
Resíduo (b)	27	251,10	12,78	119,27	10,18
C.V. (a)		9,00	11,10	11,73	18,77
C.V. (b)		10,33	11,15	9,48	9,74
Média Geral		153,38	32,06	115,19	32,76

** significativo ao nível de 1% pelo teste de F

TABELA 3A.Resumo da análise de variância e respectivos níveis de significância para teor foliar de N, K, S e Cl referentes à média de quatro safras em dois locais de cultivo.

F.V.	GL	São Sebastião do Paraíso				Patrocínio			
		N	K	S	Cl	N	K	S	Cl
Blocos	3	1,10	0,20	0,0049	0,0022	5,58*	1,85	0,0231	0,0256
Fontes de K	2	0,01	25,29**	0,0798**	8,6398**	2,19	28,70**	0,0597*	17,8703**
Resíduo (a)	6	0,66	1,19	0,0006	0,0026	1,11	1,34	0,008	0,0251
Doses d. KCl	3	0,54	7,34**	0,0032	6,3669**	0,33	19,44**	0,0023	12,9062**
Doses d. K ₂ SO ₄	3	0,96	9,02**	0,0386**	0,0421	1,06	18,97**	0,0524**	0,0698
Doses d. KNO ₃	3	8,72**	7,51**	0,0037	0,0455	7,54**	35,57**	0,0025	0,0491
Resíduo (b)	27	0,69	0,75	0,0023	0,0047	0,72	0,70	0,0044	0,0282
C.V. (a)		2,75	6,12	1,63	4,00	3,48	7,10	5,70	10,30
C.V. (b)		2,80	4,87	3,09	5,33	2,80	5,13	4,02	10,91
Média Geral		29,67	17,87	1,57	1,29	30,29	16,30	1,64	1,54

* e ** significativo ao nível de 5 e 1% pelo teste de F