

BRUNO GALVÊAS LAVIOLA

**ALOCAÇÃO DE FOTOASSIMILADOS E NUTRIENTES EM FOLHAS E
FRUTOS DE CAFEIRO EM DIFERENTES ALTITUDES DE CULTIVO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

L412a
2007

Laviola, Bruno Galvêas, 1980-

Alocação de fotoassimilados e nutrientes em folhas e
frutos de cafeeiro em diferentes altitudes de cultivo /
Bruno Galvêas Laviola. – Viçosa, MG, 2007.
x, 136f. : il. ; 29cm.

Orientador: Herminia Emilia Prieto Martinez.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Café - Adubos e fertilizantes. 2. Café - Nutrição.
3. Fisiologia vegetal. 4. Plantas - Nutrição. 5. Fertilidade
do solo. 6. Adubos e fertilizantes. I. Universidade Federal
de Viçosa. II. Título.

CDD 22.ed. 633.7381

BRUNO GALVÊAS LAVIOLA

ALOCAÇÃO DE FOTOASSIMILADOS E NUTRIENTES EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEIRO EM DIFERENTES ALTITUDES DE CULTIVO

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 17 de setembro de 2007.

Prof. Julio Cesar Lima Neves

Prof. Cosme Damião Cruz
(Co-Orientador)

Prof. Ney Sussumu Sakiyama

Dr. Paulo Cesar de Lima

Prof^a. Herminia Emilia Prieto Martinez
(Orientadora)

Dedico,

aos meus pais,

Francisco Assis Ricardo Laviola

Regina Coeli Torres Galvêas Laviola

à minha avó,

Luzia de Maria Carlos Torres

à minha noiva,

Tatiana Barbosa Rosado

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso de Mestrado e Doutorado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

À professora Hermínia Emilia Prieto Martinez, pela orientação segura, pela amizade, pelos sábios ensinamentos e pela presença constante em todos os momentos decisivos.

Ao professor Cosme Damião Cruz, pelos conselhos e pela orientação em estatística, fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao professor Luiz Carlos Chamhum Salomão, pela importante contribuição no desenvolvimento desse trabalho.

Aos professores Julio César Lima Neves e Prof. Ney Sussumu Sakiyama, bem como, ao Dr. Paulo Cesar de Lima, pelas sábias sugestões.

À HERINGER por ter nos cedido o Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC) para realização de grande parte deste trabalho.

Ao engenheiro agrônomo Sebastião Marcos Mendonça e aos funcionários Sinésio e Angélica, da HERINGER pela disposição em ajudar durante as amostragens no CEPEC.

Aos meus pais Francisco e Regina, pelo incentivo e pelas lições de vida.

À minha avó Luzia pelo apoio e interesse para que eu pudesse completar minha caminhada.

Ao meu irmão Erickson, pela amizade e apoio em todos os momentos.

A Tatiana, pela companhia, pelo apoio na realização deste trabalho e, sobretudo pelo amor.

A todos os professores que contribuíram para o meu crescimento profissional e humano.

À Camila, Ana Paula e Luciana pelo auxílio, amizade e agradável convívio durante a realização de minhas análises laboratoriais.

A secretária do Departamento de Fitotecnia Mara, pela sua atenção e atendimento sempre que necessário.

Aos meus amigos de república Antonio Almeida, Edmar e Lucione, pela amizade.

Aos grandes amigos Welison e Carlos Eduardo, pelas divertidas conversas de final de tarde.

Aos funcionários Domingos e Itamar, pelo auxílio no laboratório e, em especial, ao Dimas, pela amizade e ajuda nas análises dos nutrientes.

A todos que, de alguma forma, contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

BRUNO GALVÊAS LAVIOLA, filho de Francisco Assis Ricardo Laviola e Regina Coeli Torres Galvêas Laviola, nasceu em 28 de junho de 1980, em Muriaé, estado de Minas Gerais.

Realizou o curso primário na Escola Estadual Santo Agostinho, em São Francisco do Glória - MG .

Em 1997, concluiu o curso de Técnico em Contabilidade na Escola Estadual Padre Alfredo Kobal, em Miradouro – MG.

Em outubro de 1998 iniciou o curso de graduação em Agronomia pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), em Alegre, estado do Espírito Santo, tendo colado grau em maio de 2003.

Entre março de 2003 e agosto de 2004 cursou o Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Em agosto de 2004 iniciou o Curso de Doutorado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa (UFV), submetendo-se à defesa de tese em setembro de 2007.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
ALOCAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEEIROS EM VIÇOSA-MG.....	8
ALOCAÇÃO DE FOTOASSIMILADOS EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEEIRO CULTIVADO EM DUAS ALTITUDES.....	33
ALOCAÇÃO DE N, P E K EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEEIRO CULTIVADO EM QUATRO ALTITUDES	59
ALOCAÇÃO DE Ca, Mg E S EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEEIRO CULTIVADO EM QUATRO ALTITUDES.....	85
ALOCAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEEIRO CULTIVADO EM DUAS ALTITUDES.....	109
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	134

RESUMO

LAVIOLA, Bruno Galvêas, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, Setembro de 2007.
Alocação de fotoassimilados e nutrientes em folhas e frutos de cafeeiro em diferentes altitudes de cultivo. Orientadora: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-Orientadores: Luiz Carlos Chamhum Salomão e Cosme Damião Cruz.

Em regiões de maior altitude observa-se que o cafeeiro leva maior tempo para completar o seu ciclo. Em função disso, é possível que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados em regiões de maior altitude seja mais tardio. Desta forma, as épocas e intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando em conta, o período de maior exigência nutricional do cafeeiro em cada região. Determinou-se a alocação de fotoassimilados e nutrientes em frutos de cafeeiro arábico, da antese à maturação, em diferentes altitudes. Para este estudo foram efetuados dois experimentos, sendo um no município de Viçosa e outro em Martins Soares, ambos pertencentes ao estado de Minas Gerais. Em Viçosa, a 650 m de altitude, o experimento foi realizado com três variedades de cafeeiro distribuídas em três ensaios independentes (níveis de adubação baixo, adequado e alto), instalados em blocos ao acaso com duas repetições em esquema de parcelas subdivididas no tempo. Já, em Martins Soares, o experimento constituiu-se da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada a 720, 800, 880 e 950 m de altitude, em esquema de parcela subdividida no tempo, no delineamento inteiramente ao acaso, com três repetições. Em Viçosa, não se observou efeito das variedades, bem como dos níveis de adubação no acúmulo de

macronutrientes em frutos nem em sua concentração nas folhas ao longo do período reprodutivo. Analisando ambos os experimentos verifica-se que a elevação da altitude de cultivo, de 650 m em Viçosa a 720 e 950 m em Martins Soares, influenciou o ciclo reprodutivo, como também no acúmulo de nutrientes e carboidratos em frutos de cafeeiro. Em menores altitudes o ciclo reprodutivo foi mais precoce e o acúmulo de nutrientes e carboidratos nos frutos ocorreu em maior velocidade. O acúmulo de nutrientes e carboidratos, assim como, a formação dos frutos foram mais críticos em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar tais processos em menor espaço de tempo. De modo geral, a altitude influenciou na variação das concentrações foliares de nutrientes e carboidratos, apesar de não se ter observado um padrão de resposta da concentração foliar ao aumento da altitude. Conclui-se que a elevação da altitude de cultivo do cafeeiro retarda o acúmulo de nutrientes e carboidratos em frutos e folhas de cafeeiro.

ABSTRACT

LAVIOLA, Bruno Galvêas, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, September, 2007.
Assimilate and nutrient allocation in leaves and fruits of coffee plant cultivated in different altitudes Adviser: Herminia Emilia Prieto Martinez. Co-Advisers: Luiz Carlos Chamhum Salomão and Cosme Damião Cruz.

The coffee plant takes longer time to complete its reproductive cycle in areas of higher altitude. It is possible that the nutritional peak demand in coffee plants planted in those areas occurs later than in areas of smaller altitude. This way, the times and intervals among the fertilization practices should be differentiated considering the period of larger nutritional demand of the coffee plant in each area. There was determined the nutrients and carbohydrate allocation in fruits of arabic coffee plant during the period comprehended among the anthesis and the maturation in different altitudes, as well as, the variation of these contents in leaves of the productive branches. Two experiments were carried out for this study, one in Viçosa and other in Martins Soares, both cities in Minas Gerais state - Brazil. In Viçosa, which is located at an altitude of 650 meters, the experiment was carried out with three varieties of arabic coffee tree distributed in three independent essays (low, sufficient and high fertilization levels), installed in randomized block design with two repetitions using a split-plot in time scheme. In Martins Soares, the experiment was constituted of the coffee plant variety (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivated at 720, 800, 880 and 950 meters of

altitude. The experimental design was completely randomized design with 3 repetitions using split-plot in time scheme. In Viçosa, there were not observed varieties neither fertilization effects in the accumulation of macronutrient by the fruit and in these contents in the leaves, along the reproductive period. Analyzing both experiments it is verified that the elevation of the altitude, from 650 meters in Viçosa to 720 and 950 meters in Martins Soares, influenced the reproductive cycle, as well as the nutrients and carbohydrate accumulation in coffee plant fruits. In smaller altitudes the reproductive cycle was more precocious and the nutrients and carbohydrates accumulation in fruits happened faster. The nutrients and carbohydrates accumulation for the fruits, as well as, the filling of grains were more critical in these conditions, since the plant needs to complete these processes in a shorter time. In general, the altitude where the crop is cultivated influenced in the variation of the contents of nutrients in leave. In spite of that, it was not observed a standard answer of the nutrients concentration in the leave to the increase of the altitude. It was concluded that the cultivation altitude of the coffee plant influenced the nutrients and carbohydrates accumulation in fruits and coffee plant leaves.

INTRODUÇÃO GERAL

O cafeeiro é uma planta que completa o ciclo fenológico em dois anos. No primeiro ano fenológico, durante os meses de dias longos, ocorre à formação do corpo vegetativo da planta, com gemas axilares que poderão ser vegetativas ou reprodutivas, dependendo do estímulo. O segundo ano fenológico do cafeeiro inicia-se com a floração, após um choque hídrico nas gemas florais. Após a fecundação da flor, inicia-se o desenvolvimento do fruto, entre os meses de setembro a junho, passando pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, granação e maturação. As fases fenológicas do cafeeiro são bem definidas, porém, segundo Camargo (1998), podem, contudo, adiantar ou atrasar em função do clima e da região, inclusive da altitude.

No decurso da fase reprodutiva do cafeeiro, os frutos constituem o dreno preferencial na partição de assimilados e nutrientes, sendo comum, em anos de cargas altas de frutos, ocorrerem mortes de raízes. A força ou intensidade do dreno depende do tamanho e da atividade do dreno, sendo o tamanho igual ao peso total do tecido-dreno e a atividade à taxa de translocação de assimilados e nutrientes por unidade de peso do tecido dreno (Taiz e Zeiger, 2004). Quanto maior a produção de frutos, maior será o tamanho do dreno. A atividade do dreno tem sua intensidade relacionada também à presença e a atividade das enzimas de clivagem da sacarose, a sacarose sintase e a invertase ácida, pois elas catalisam a primeira etapa de utilização da sacarose. Geromel et al. (2005) verificaram maior atividade da enzima sacarose sintase durante o

desenvolvimento dos frutos de cafeeiro em meados do estágio de granação, aproximadamente aos 175 dias após antese (DAA).

Os frutos em desenvolvimento mobilizam prioritariamente os assimilados, sem, contudo, modificar o padrão sazonal da translocação. Os ramos com alta produção de frutos importam carboidratos, sendo que o excedente permite aos ramos produzir mais folhas e reter mais frutos. Os ramos laterais secundários podem contribuir significativamente para o crescimento dos frutos. A presença de frutos estimula a fotossíntese da planta, tanto que cafeeiros frutíferos produzem mais matéria seca que os sem frutos, fato que é atribuído à menor taxa de fotorrespiração nos cafeeiros com frutos (Rena & Maestri, 1985).

Durante a formação do fruto do cafeeiro e nos diversos estádios de desenvolvimento, há variações na concentração e na quantidade dos elementos acumulados, assim como variação na produção de matéria seca. De acordo com Moraes & Catani (1964) a absorção de nitrogênio, potássio, fósforo e acúmulo de matéria seca são intensificados a partir do quarto mês após a floração, havendo novo incremento na absorção de nitrogênio, potássio e no acúmulo de matéria seca no sexto e sétimo meses após a antese. Segundo Matiello et al. (2005), a quantidade de nutrientes exigida no estágio de chumbinho é pequena, aumentando, significativamente, a partir das passagens dos frutos para os estádios de expansão rápida, granação e maturação dos frutos. Cerca de 70 % do crescimento vegetativo ocorre de outubro a abril, sendo o consumo de nutrientes para a frutificação também concentrado nesse período (mais de 80 %). Dessa forma, foi sugerido que o fornecimento de nutrientes, pelas adubações, é mais importante nesta época, ficando as demais épocas com as reservas formadas. Já Malavolta et al. (2002) sugerem que a adubação do cafeeiro deve iniciar-se antes do

florescimento, pois a absorção de nutrientes para suprir a fase reprodutiva inicia se antes da antese.

No Brasil, geralmente, o cafeeiro arábico vem sendo cultivado em regiões com altitudes que variam de 400 a 1.500 m. As diferentes altitudes de cultivo provocam alterações morfológicas e fisiológicas que influenciam no ciclo vegetativo e reprodutivo da planta.

Em regiões de maior altitude a planta de cafeeiro leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo. A influência da altitude no ciclo reprodutivo do cafeeiro está relacionada, principalmente, às temperaturas mais amenas. De acordo com Larcher (2004) a temperatura possui influência indireta no crescimento e no curso de desenvolvimento e efeito direto via processos regulatórios da planta. Sob menores temperaturas, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas.

A temperatura abaixo ou acima da ideal influencia de forma diferenciada a morfologia e fisiologia da planta, bem como o crescimento e desenvolvimento do cafeeiro. Em temperaturas acima de 23 °C, o desenvolvimento e a maturação dos frutos são acelerados, levando, frequentemente à perda de qualidade (Camargo, 1985). Sugere-se que, acima de 24 °C, a assimilação do carbono seria reduzida (Nunes et al., 1968). Períodos prolongados com temperaturas superiores a 30 °C danificam a folhagem (Franco, 1958). Temperaturas relativamente elevadas, na época da floração, reduzem o vingamento das floradas e podem provocar a formação de “estrelinhas”, ou seja, flores abortadas, com impactos negativos diretos sobre a produção, particularmente nos anos em que a estação seca se prolonga (Camargo, 1985). Em folhas destacadas, a máxima fotossíntese ocorre a uma temperatura de 24 °C, sendo que acima de 34 °C a fotossíntese seria praticamente nula (Rena & Maestri, 1985; DaMatta, 2004). No

entanto, estes valores se referem à temperatura do ar, sendo que a temperatura da folha pode atingir valores maiores. Ronquim et al. (2006) observaram que a temperatura do ar estava em torno de 35 °C enquanto a temperatura da folha chegou a atingir aproximadamente 38 °C. Freitas et al. (2003) observaram que a temperatura foliar em cafeeiros cultivados a pleno sol ultrapassou 40 °C.

É possível que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados em regiões de maior altitude seja mais tardio que em regiões de menores altitudes. Desta forma, as épocas e intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando em conta, o período de maior exigência da planta de cafeeiro em cada região.

O conhecimento da dinâmica de assimilados e nutrientes em frutos e folhas de cafeeiro durante a fase reprodutiva em diferentes altitudes de implantação da lavoura pode ser importante para se ajustar as práticas de adubação ao período de maior requerimento nutricional pelo cafeeiro.

O objetivo deste trabalho foi determinar a alocação fotoassimilados e nutrientes minerais em frutos e folhas de cafeeiro, da antese à maturação, em lavouras implantadas em diferentes altitudes.

REFERÊNCIAS

CAMARGO, A.P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, v.11, p.13-26, 1985.

CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. p.41-42.

DaMATTA, F.M.. Ecophysiological constrains on the production of shaded and unshaded coffee: a review. **Field Crops Research**, v.86, p.99-114, 2004.

FRANCO, C.M. Influence of temperature on growth of coffee plant. **IBEC Research Institute**, Bulletin 16, 1958. 24p.

FREITAS, R.B. de; OLIVEIRA, L.E.M. de; DELÚ FILHO, N.; SOARES, A.M. Influência de diferentes níveis de sombreamento no comportamento fisiológico de cultivares de café (*Coffea arabica* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, v.27, n.4, p.804-810, 2003.

GEROMEL, C.; MAZZAFERA, P.; MARRACINNI, P.R.; FERREIRA, L.P.VIEIRA, G.E.; PEREIRA, L.F.P. Açúcares solúveis, sacarose sintase e sacarose fosfato sintase durante o desenvolvimento do fruto de café, sob diferentes condições de luz e carga. SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2005. CD-ROOM.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004. 531p.

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

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil**: novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA /PROCAFE, 2005. 438p.

MORAES, F.R.P.de; CATANI, R.A. A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante o seu desenvolvimento. In: **Reunião Anual da SBPC**. Resumos das comunicações à XVI Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, São Paulo, v.16, n.2, p.142, 1964.

NUNES, M.A.; BIERHUIZEN, J.F.; PLOEGMAN, C. Studies on productivity of coffee. In: Effect of light, temperature and CO₂ concentration on photosynthesis of *Coffea arabica*. **Acta Botanica Neerlandica**, v.17, p.93-102, 1968.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**. v.11, n.126, p.26-40, 1985.

RONQUIM, J.C.; PRADO, C.H.B.A.; NOVAES, P.; FAHL, J.I.; RONQUIM, C.C. Carbon gain in *Coffea arabica* during clear and cloudy days in the wet season. **Experimental Agriculture**, v.42, p.147-164, 2005.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

ALOCAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEEIROS EM VIÇOSA-MG

RESUMO

Conhecer a alocação de nutrientes minerais em cafeeiro é uma importante informação para identificar o período de maior exigência nutricional pela planta e desta forma, melhorar a eficiência das adubações. Determinou-se alocação de macronutrientes em frutos e folhas de cafeeiro da antese à maturação. O experimento foi realizado com três variedades de cafeeiro, distribuídas em três ensaios independentes (níveis de adubação baixo, adequado e alto), instalados em blocos ao acaso com duas repetições em um esquema de parcelas subdivididas no tempo. Não se observou efeito das variedades, bem como dos níveis de adubação no acúmulo de macronutrientes em frutos nem em suas concentrações nas folhas ao longo do período reprodutivo. As maiores taxas de acúmulo de matéria seca (MS), N, P, K, Ca, Mg e S em frutos foram observadas no estágio de expansão rápida do fruto, entre os 79 e 85 dias após antese (DAA). Os acúmulos de Ca e Mg ocorreram com maior velocidade no estágio de chumbinho comparado aos demais nutrientes. Foram observados maiores acúmulos de N e P no estágio de expansão rápida e de MS e K no estágio granação. Já a proporção de acúmulo de S em frutos foi semelhante nos dois estádios citados anteriormente. De modo geral, constatou-se que as menores concentrações foliares de N, Ca e Mg ocorreram entre os estádios de chumbinho/expansão rápida e de K no estágio de granação. Com relação a P

e S, as menores concentrações foliares foram observadas no início e final do estágio reprodutivo.

Termos para indexação: *Coffea arabica* L.; Fisiologia vegetal; Nutrição mineral; Desenvolvimento do fruto.

MACRONUTRIENT ALLOCATION IN FRUITS AND LEAVES OF COFFEE PLANTS IN VIÇOSA-MINAS GERAIS STATE - BRAZIL

ABSTRACT

Important information to identify the period of larger nutritional demand for the coffee plant is the known of the mineral nutrients dynamics in the plant which can improve the efficiency of the fertilization practices. There was determined the macronutrients allocation in fruits of arabic coffee plant along the period comprehended among the anthesis and the maturation, as well as, the variation of these contents in leaves of the productive branches. The experiment was carried out with three varieties of arabic coffee tree distributed in three independents essays (low, sufficient and high fertilization levels), installed in randomized block design with two repetitions using a split-plot in time scheme. There were not observed varieties neither fertilization effects in the macronutrient accumulation in the fruit and in these contents in leaves, along the reproductive period. The largest accumulation rates of dry matter (DM), N, P, K, Ca, Mg and S were observed at the first fast expansion fruit stadium, among 79 to 85 DAA (Day after the anthesis). Compared to the other nutrients, the accumulation of Ca and Mg occurred faster in the first suspended growth stadium. The highest accumulations of N and P were observed at the first fast expansion stadium. For DM and K the highest

accumulation rates occurred at the grain formation-maturation stadium. For S the fruit accumulations were similar in the stadiums. In general, it was verified that the lowest leave contents of N, Ca and Mg occurred among the first suspended growth stadium and the fast expansion stadium. For K, the lowest foliar content occurred in the formation-maturation stadium. Regarding P and S, the lowest foliar content was observed in the beginning and in the final of the reproductive stadium.

Index terms: *Coffea arabica* L ; Plant physiology; Mineral nutrition; Development of the fruit

INTRODUÇÃO

O fornecimento de fertilizantes ao cafeeiro para suprir as necessidades nutricionais depende, principalmente, das exigências da planta para manutenção do crescimento vegetativo e das exigências para formação dos frutos. Durante a fase reprodutiva do cafeeiro, os frutos são os drenos preferenciais na partição de nutrientes (Rena et al., 1985) e, quanto maior for a produção de frutos, maior será a exigência nutricional das plantas.

Durante o desenvolvimento, os frutos passam pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação (Rena et al. 2001), havendo diferença entre os estádios na alocação de nutrientes minerais para os frutos (Laviola et al., 2007). Desta forma, além das quantidades de nutrientes a serem aplicados é importante, também, a identificação da fase de formação dos frutos com maior taxa de acúmulo de nutrientes, ou seja, com maior demanda nutricional.

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante o período reprodutivo são importantes ferramentas para estimar as necessidades nutricionais da

cultura, bem como identificar os momentos mais adequados para aplicação de fertilizantes. Na Costa Rica, Ramirez et al. (2002) verificaram que mais de 50 % do acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiro ocorreu até 90 dias após a floração, no estágio de expansão rápida, em um ciclo reprodutivo de 240 dias, de março a outubro. No Brasil, normalmente, o período reprodutivo do cafeeiro ocorre de setembro a junho (Camargo & Camargo, 2001), sendo que os estágios de formação dos frutos podem adiantar ou atrasar em função do clima e da região (Camargo, 1998). Desta forma é imprescindível o estudo do acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante a fase reprodutiva nas condições climáticas do Brasil para identificar o período de maior exigência nutricional da cultura e, assim, melhorar a eficiência das adubações.

O objetivo deste trabalho foi determinar a alocação de macronutrientes em frutos e folhas de cafeeiro e identificar o período de maior exigência nutricional da cultura durante o ciclo reprodutivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido durante um período de oito meses, entre agosto de 2001 e abril de 2002, em Área Experimental da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, com altitude de 651 m, 20°45' sul e 42°51' oeste, em talhão de café implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, cujas características químicas podem ser observadas na Tabela 1.

Foram realizados três experimentos, sendo cada um com um nível de adubação diferenciado. O experimento 1 recebeu o nível de adubação baixo, o ensaio 2 o nível de adubação adequado e o ensaio 3 o nível de adubação alto (Tabela 2). As plantas que constituíam o nível de adubação adequado receberam N, P e K com base na marcha de

acúmulo, considerando-se a média de nutrientes acumulados para as cultivares Mundo Novo e Catuaí, conforme Malavolta (s.d.). O Ca e Mg foram fornecidos via calcário dolomítico com base em análises de solo, considerando-se 60% de saturação em bases como ideal para o cafeeiro (Guimarães et al., 1999). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante de fertilizantes nitrogenados e fosfatados. As plantas dos experimentos receberam os níveis de adubação e calagem desde o plantio. Cada experimento continha três variedades de cafeeiro arábico, Catuaí Vermelho IAC-99, Rubi MG-1192 e Acaíá IAC-474-19, plantadas no espaçamento de 2,0 x 1,0 m em blocos ao acaso. No ano agrícola de 2001/2002 as plantas apresentavam 4 anos de idade.

Tabela 1 – Características químicas dos solos da área experimental nos três níveis de adubação

Nível Adubação	Prof. (cm)	pH H ₂ O	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V	
			-----mg/dm ³ -----		-----cmol _e /dm ³ -----							%
Baixo	0-20	6,0	4,1	82	2,1	0,6	0,0	3,0	2,91	5,91	49	
	20-40	5,8	1,0	37	1,4	0,4	0,0	2,3	1,89	4,19	45	
Adequado	0-20	5,9	6,6	80	2,4	0,7	0,0	4,0	3,30	7,30	45	
	20-40	5,5	1,2	50	1,7	0,4	0,1	3,3	2,23	5,53	40	
Alto	0-20	5,6	5,0	78	2,3	0,9	0,0	4,9	3,40	8,30	41	
	20-40	5,2	1,3	36	1,4	0,4	0,3	4,3	1,89	6,19	31	

SB = Soma de bases trocáveis

V = Saturação por bases

pH em H₂O = relação 1:2,5

CTC = Capacidade de troca de cátions a pH 7

P, K = Extrator Mehlich 1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1 mol/L

H + AL = Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/l, pH = 7

O calcário foi aplicado à superfície, a lanço, antecedendo o período chuvoso. Os demais adubos foram parcelados em aplicações semanais, realizadas de novembro a março ao solo de forma localizada mediante fertirrigação por gotejamento, com o suporte do “software” SISDA_{café} para determinação da lâmina de água (Mantovani e Costa, 1998); Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais (dezembro, janeiro e fevereiro), utilizando-se sulfato de zinco, ácido

bórico, oxiclreto de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g/L de cada adubo.

Em cada experimento, utilizaram-se um esquema de parcela subdividida no tempo no delineamento em blocos ao acaso, sendo as três variedades as parcelas e os 12 tempos de coleta as subparcelas, com duas repetições. Cada parcela foi constituída de 25 plantas dispostas em cinco fileiras, ocupando uma área de 50 m². Consideraram-se como parcela útil as nove plantas dispostas no centro das três fileiras centrais da parcela.

Tabela 2 – Adubação empregada no ano agrícola de 2001/2002

Nível de Adubação	Calcário t/ha	Ng/planta.....	P ₂ O ₅	K ₂ O
Baixo	0,13	42	6,4	25,6
Adequado	0,33	105	16	64
Alto	0,46	147	22	89,6

As amostragens iniciaram-se em 4 de setembro de 2001, quando houve a antese (florada principal), ocasião em que se coletaram folhas, sendo este considerado como tempo zero. A partir desta data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro: aos 28, 42, 63, 84, 105, 133, 154, 175, 196, 210 e 224 dias após a antese (DAA). Foram coletados 100 frutos de cada parcela até a 3^a amostragem, 60 frutos da 4^a à 7^a amostragem e 20 frutos por parcela da 8^a amostragem em diante. Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, de ramos pertencentes ao terço médio da planta e as folhas foram correspondentes ao 3^o e 4^o pares, na posição distal, de ramos com frutos. Coletaram-se, durante todas as amostragens, 15 folhas por parcela. A última amostragem foi realizada quando os frutos atingiram o ponto de maturação, ou seja, o estágio cereja, em 17 de abril de 2002.

O material vegetal coletado foi lavado em água deionizada e posto a secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingir peso constante, conforme descrito

por Jones Junior et. al (1991). Após este processo, os materiais vegetais foram pesados e moídos em moinho tipo Wiley, passados em peneira e submetidos a análises químicas.

Para determinação dos teores de N em frutos e folhas, o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão sulfúrica (Jackson, 1958), bem como a extração com água, em banho-maria a 45 °C, durante 1 hora, para análise do nitrato. As amostras digeridas, oriundas da digestão sulfúrica, foram utilizadas para as análises dos teores de N amoniacal. Para determinação de P, K, Ca, Mg e S efetuaram-se a digestão nitricoperclórica (Johnson e Ulrich, 1959).

O nitrato foi determinado por colorimetria (Cataldo et al., 1975), o N amoniacal pelo método colorimétrico de Nessler (Jackson, 1958), o P por redução do fosfomolibdato pela vitamina C, conforme descrito por Braga & Defelipo (1974), o K por fotometria de chama, enquanto que o Ca e Mg foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (ASSOCIATION – AOAC, 1975), e o S foi avaliado por turbidimetria do sulfato (Jackson, 1958).

O acúmulo dos nutrientes por fruto (mg/fruto) foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS do Fruto (mg)} \times \text{Concentração do Nutriente (dag/kg)}}{100}$$

Pela análise de variância conjunta não se constataram efeitos significativos de variedades e de níveis de adubação sobre o acúmulo de macronutrientes em frutos nem sobre as concentrações em folhas de cafeeiro ao longo do período reprodutivo. Por esta razão, os resultados são apresentados como a média das observações.

Para explicar fisiologicamente o acúmulo de macronutrientes em frutos e a variação de nutrientes em folhas, utilizaram-se modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros e polinomiais. A escolha dos modelos não-lineares foi de acordo com o ajuste (porcentagem da variância explicada, R^2) e melhor

representação do fenômeno. Os modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros são:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)} \qquad \hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = Ponto máximo da curva
b = Parâmetro de ajuste
x₀ = Ponto de inflexão

a = y_{max} - y_{min}
b = Parâmetro de ajuste
x₀ = Ponto de inflexão
y₀ = Ponto de mínimo da curva

Como o fruto de cafeeiro apresenta um modelo de crescimento seguindo uma dupla curva sigmoidal, ajustaram-se dois modelos para representar o acúmulo de MS e macronutrientes em frutos durante o período reprodutivo.

O ponto de inflexão foi correspondente ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo de matéria seca e nutrientes em frutos. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, mg/dia) foi determinada pelo acúmulo de matéria seca e nutrientes no ponto de inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

Os pontos de curvatura mínima (PC_{min}) e máxima (PC_{max}) foram calculados conforme método citado por Venegas et al. (1998), utilizando os parâmetros das equações não lineares:

$$PC_{\min} = x_0 - 2b$$

$$PC_{\max} = x_0 + 2b$$

No caso onde se utilizou o modelo cúbico, considerou-se como PC_{min} a estimativa obtida pela regressão correspondente ao início do estágio de formação do fruto e PC_{max} o valor correspondente ao final do estágio de formação do fruto.

O PC_{min} indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos expressivos no acúmulo de MS e macronutrientes. Já o PC_{max} indica o momento em que o acúmulo dos elementos começa a se estabilizar.

O acúmulo relativo (AR_e) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo acúmulo em cada estágio de formação do fruto. Os valores em porcentagem foram obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$AR_e = A_f - A_i$$

AR_e = Acúmulo relativo no estágio de formação do fruto
 A_f e A_i = Acúmulo no final e início do estágio

$$\% = \frac{AR_e}{AT} * 100$$

AT = Acúmulo alcançado aos 266 DAA

Foi calculada a diferença das concentrações foliares no início do ciclo reprodutivo (floração) em relação às concentrações foliares de macronutrientes nos respectivos momentos de máxima taxa de acúmulo para os frutos nos estádios de rápida expansão e granação-maturação. Este gradiente de concentração indica se houve competição folha/fruto ao longo do ciclo reprodutivo pela translocação dos elementos em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições de Viçosa (MG), o ciclo reprodutivo do cafeeiro teve duração de 224 dias, tendo a floração ocorrido em 4 de setembro de 2001 e a maturação dos frutos em 17 de abril de 2002. No entanto, observou-se que o acúmulo de matéria seca não se estabilizou neste período apesar dos frutos apresentarem a coloração típica de frutos maduros (Figura 1; Tabela 3). A duração do ciclo reprodutivo observado foi considerada curta comparativamente ao período de 252 dias observado por Chaves (1982) em Londrina, PR, porém foi próxima ao valor observado por Souza (1972), em Viçosa. É provável que as condições edafoclimáticas da área experimental, principalmente altitude (651 m) e temperatura, tenham influenciado para que ocorresse um menor período de formação dos frutos.

Durante o desenvolvimento, os frutos passaram por quatro estádios distintos: chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação (Cannel, 1971a; Rena et al., 2001), como pode ser observado na curva de acúmulo de matéria seca nos frutos (Figura 1; Tabela 3).

O estágio de chumbinho teve início após a floração e durou até 66 dias após a antese (DAA). O acúmulo de matéria seca nos frutos foi pouco expressivo neste estágio (Figura 1; Tabela 3), fato que está relacionado ao crescimento dos frutos estar ocorrendo mais por multiplicação celular e menos por expansão (Rena et al., 2001; Leon & Fournier, 1962). O frutos no estágio de chumbinho apresentam altas taxas respiratórias (Cannel, 1971b) sendo que a maior parte dos fotoassimilados que a eles chegam é convertida em energia para formação de novas células, impedindo o acúmulo de reservas.

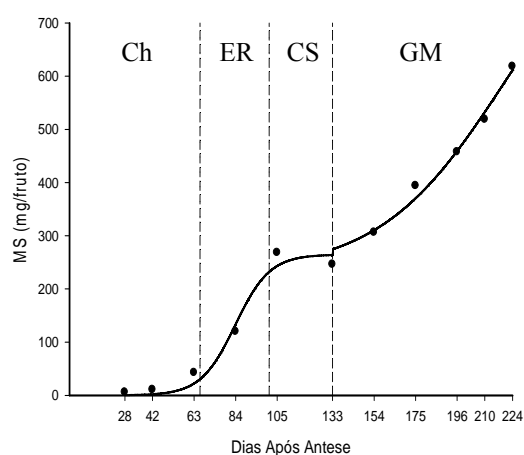


Figura 1 – Acúmulo médio de matéria seca em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento do fruto de chumbinho (Ch), expansão rápida (ER), crescimento suspenso (CS) e granação-maturação (GM)

Aos 66 DAA (09/11/2001) iniciou-se o estágio de expansão rápida (Figura 1; Tabela 3), havendo incremento de matéria seca nos frutos até o final do estágio, aos 101 DAA (14/12/2001). O aumento de matéria seca neste estágio está relacionado principalmente à expansão celular (Rena et al., 2001), sendo a absorção de água

essencial neste processo (Marenco & Lopes, 2005). É provável que o aumento de matéria seca nos frutos durante a expansão celular esteja relacionado ao aumento da síntese de polissacarídios para formação da parede expandida. De acordo com Taiz & Zeiger (2004), durante o alongamento celular polímeros de parede são continuamente sintetizados, ao mesmo tempo em que a parede preexistente se expande. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) de matéria seca veio a ocorrer aos 84 DAA (Tabela 4), momento este de maior exigência no estágio de expansão rápida na partição de fotoassimilados para os frutos. A taxa máxima de acúmulo de matéria seca foi maior no estágio de expansão rápida, comparado à observada no estágio de granação-maturação (Tabela 4).

Tabela 3 – Equações de regressão do acúmulo de MS e macronutrientes em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese

Variável	Períodos	Modelos	R ² (%)
MS	28 - 133	$\hat{Y} = 264,7580 / (1 + \exp(-(x-83,8387)/8,7361))$	97,6
	105 - 224	$\hat{Y} = 231,3752 + 718,1386 / (1 + \exp(-(x-220,2999)/31,7427))$	98,2
N	28 - 133	$\hat{Y} = 5,7556 / (1 + \exp(-(x-84,3932)/9,1044))$	96,6
	105 - 224	$\hat{Y} = 5,5771 + 3,9994 / (1 + \exp(-(x-167,3431)/9,8023))$	97,2
P	28 - 133	$\hat{Y} = 0,4030 / (1 + \exp(-(x-82,7670)/9,2812))$	96,9
	105 - 224	$\hat{Y} = 1,5975 - 0,0244x + 0,000155x^2 - 0,000000294x^3$	77,7
K	28 - 133	$\hat{Y} = 6,7326 / (1 + \exp(-(x-87,7072)/12,1429))$	99,4
	105 - 224	$\hat{Y} = 3,9276 + 12,1525 / (1 + \exp(-(x-186,6445)/43,4950))$	97,7
Ca	28 - 133	$\hat{Y} = 0,0552 + 0,7777 / (1 + \exp(-(x-86,4176)/17,8646))$	95,2
	105 - 224	$\hat{Y} = 0,6045 + 0,6790 / (1 + \exp(-(x-165,6505)/31,1818))$	98,8
Mg	28 - 133	$\hat{Y} = 0,0425 + 0,4207 / (1 + \exp(-(x-83,4445)/12,2330))$	94,9
	105 - 224	$\hat{Y} = 0,4365 + 0,3066 / (1 + \exp(-(x-169,9298)/8,4785))$	96,7
S	28 - 133	$\hat{Y} = 0,3709 / (1 + \exp(-(x-85,0228)/10,5483))$	98,3
	105 - 224	$\hat{Y} = 0,3496 + 0,2713 / (1 + \exp(-(x-161,198))$	95,0

O estágio de crescimento suspenso teve duração de 32 dias entre 101 e 133 DAA (Figura 1; Tabela 3) no qual se observou acúmulo de matéria seca pouco expressivo nos frutos. É provável que o pequeno crescimento neste estágio esteja relacionado à reciclagem e síntese de enzimas e compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2004), antes empregados na síntese de polímeros de parede, para serem utilizados como precursores na síntese de compostos de reservas no estágio de granação-maturação.

Por fim, aos 133 DAA (16/01/2002) iniciou-se o estágio de granação-maturação que durou até 224 DAA (Figura 1). O estágio de granação-maturação se caracteriza pela deposição de matéria de reserva, principalmente, nas sementes (Rena et al., 2001; Astolfi et al., 1981). A TMAD de matéria seca nos frutos ocorreu aos 220 DAA e foi de 5,655 mg/fruto/dia (Tabela 4), sendo esta inferior à taxa máxima observada no estágio de expansão rápida (7,571 mg/fruto/dia). No entanto, o estágio de granação-maturação foi mais extenso, permitindo maior acúmulo no final desta fase. Devido a isto, observaram-se maiores acúmulos relativos de matéria seca no estágio de granação-maturação, com 55,1% do acúmulo total comparado ao estágio de expansão rápida, com 39,42 % do acúmulo total de matéria seca (Tabela 5). Maiores acúmulos relativos de matéria seca no estágio de granação-maturação também foram observados por Ramirez et al. (2002).

A curva de acúmulo de macronutrientes em frutos de cafeeiro (Figura 2; Tabela 3) seguiu o mesmo padrão do acúmulo de matéria seca em frutos (Figura 1; Tabela 3), apresentando acúmulos mais expressivos nos estádios de expansão rápida e granação-maturação.

As maiores TMAD de N, P, K, Ca, Mg e S foram observadas no estágio de expansão rápida do fruto (Tabela 4) e ocorreram entre 83 e 88 DAA (26/11 a 01/12/2001). Esta foi à época de maior exigência em macronutrientes pela cultura durante o período reprodutivo, sendo imprescindível à disponibilidade destes nutrientes no solo para absorção pelas raízes.

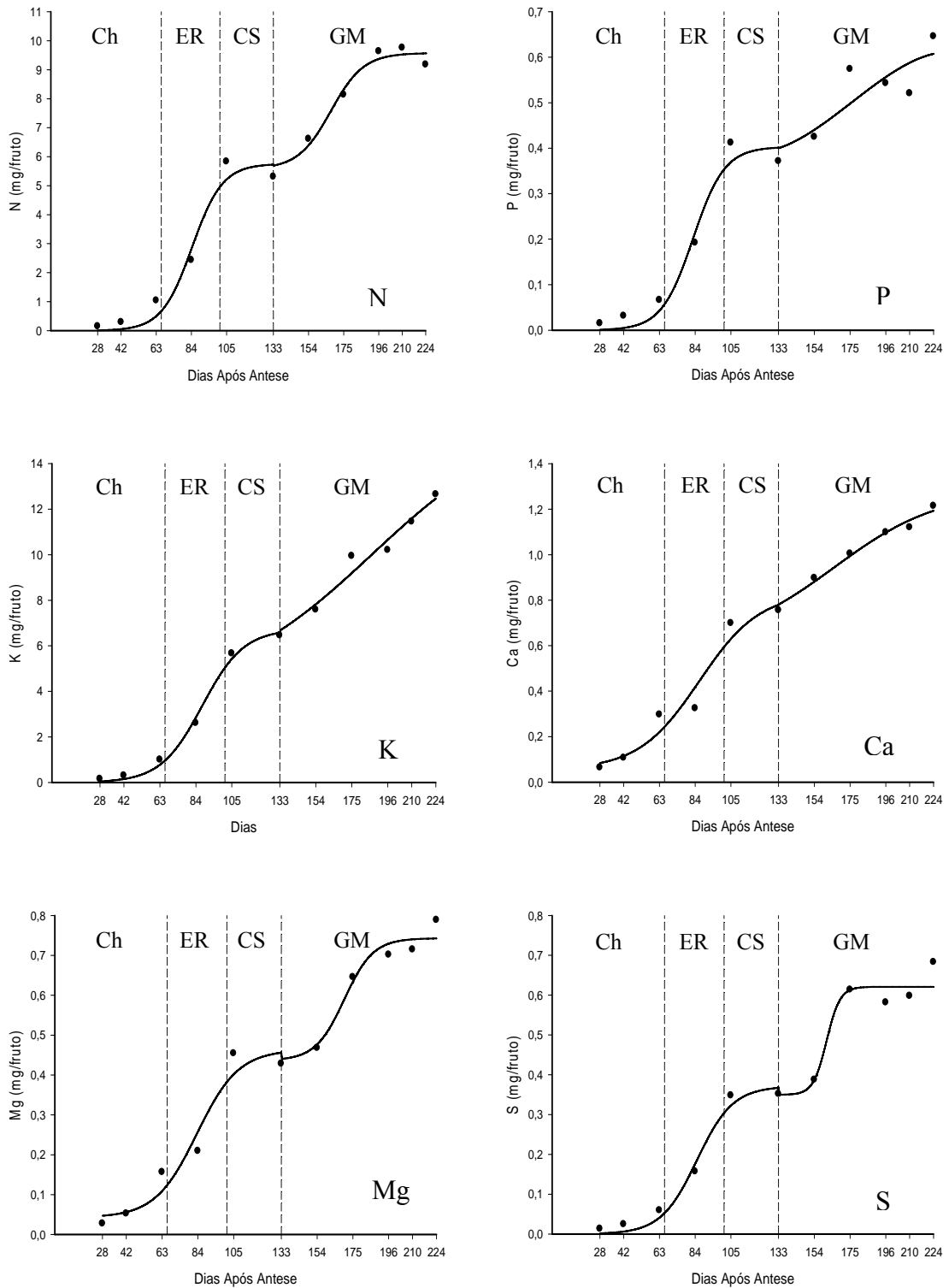


Figura 2 – Acúmulo médio de N, P, K, Ca, Mg e S em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento do fruto de chumbinho (Ch), expansão rápida (ER), crescimento suspenso (CS) e granação-maturação (GM)

É possível que as altas taxas de translocação de água para os frutos no estágio de expansão rápida (Ramirez et al, 2002), necessária para a expansão celular (Taiz & Zeiger, 2004; Marengo & Lopes, 2005), venham a causar, conseqüentemente, o carreamento de nutrientes minerais para os frutos. Desta forma, acredita-se que as altas taxas de acúmulo de macronutrientes nesta época sejam, em parte, efeitos da translocação de água para os frutos. A deficiência hídrica no estágio de expansão rápida do fruto não irá prejudicar somente a expansão do endocarpo (Rena e Maestr, 2000), mas também o acúmulo de macronutrientes, necessários aos processos metabólicos de formação dos grãos.

Tabela 4 – Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, mg/dia) de matéria seca e macronutrientes e ponto de curvatura mínima (PC_{min} , dias) e máxima (PC_{max} , dias)

Variável	Períodos	X_{TMAD}	TMAD	PC_{min}	PC_{max}
MS	28 - 133	84	7,571	66	101
	105 - 224	220	5,655	105	224
N	28 - 133	84	0,158	66	103
	105 - 224	167	0,102	148	187
P	28 - 133	83	0,011	64	101
	105 - 224	176	0,003	133	224
K	28 - 133	88	0,139	63	112
	105 - 224	186	0,070	133	224
Ca	28 - 133	86	0,011	51	122
	105 - 224	165	0,005	133	228
Mg	28 - 133	83	0,008	59	108
	105 - 224	170	0,008	153	187
S	28 - 133	85	0,009	64	106
	105 - 224	161	0,017	153	169

No estágio de chumbinho, observou-se maior porcentagem de acúmulo de Ca e Mg comparado aos outros macronutrientes (Tabela 5). É provável que o maior acúmulo de Ca no estágio de chumbinho esteja relacionado à grande importância deste nutriente nos processos de divisão celular e na estabilização de membranas e paredes celulares das novas células formadas (Marschner, 1995; Marengo & Lopes, 2005). Com relação ao Mg, este pode ter sido requerido em maior quantidade para acelerar a atividade de

ATPases (Marschner, 1995), já que o fruto no estágio de chumbinho possui alta taxa respiratória (Rena et al, 2001; Cannell, 1971b). Estes resultados ressaltam a importância da realização da calagem nos meses de julho e agosto de modo que haja tempo suficiente para que o calcário reaja no solo e libere Ca e Mg para absorção pelas plantas e translocação para os frutos no estágio de chumbinho.

No estágio de expansão rápida foram observados, também, maiores acúmulos relativos de N e P (Tabela 5). É importante ressaltar que o estágio de expansão rápida apresentou duração de 35 dias, enquanto o estágio de granação 91 dias (Figura 1 e 2; Tabela 3). Portanto, o maior acúmulo no estágio de expansão rápida é resultante das maiores TMAD (Tabela 4).

É provável que os nutrientes acumulados em maior proporção no estágio de expansão rápida sejam armazenados, principalmente no vacúolo das células dos frutos (Epstein & Bloom, 2006; Marschner, 1995). Posteriormente, os nutrientes devem ser utilizados gradativamente no metabolismo, de acordo com seus requerimentos específicos ao longo das fases complementares de formação dos frutos dos cafeeiros.

Tabela 5 – Acúmulo relativo (AR_e , mg/fruto) de acordo com a variável avaliada nos estádios de formação do fruto de cafeeiros

Variável	Chumbinho		Expansão Rápida		Cresc. Suspenso		Gran.-Maturação	
	AR_e	%	AR_e	%	AR_e	%	AR_e	%
MS	30,412	4,97	201,7	33,01	31,613	5,17	347,5	56,85
N	0,674	7,05	4,282	44,77	0,772	8,07	3,836	40,11
P	0,057	9,36	0,297	48,83	0,048	7,86	0,206	33,95
K	0,965	7,74	4,079	32,73	1,53	12,28	5,889	47,25
Ca	0,243	20,39	0,351	29,45	0,185	15,51	0,413	34,65
Mg	0,124	16,7	0,258	34,78	0,074	9,93	0,287	38,59
S	0,052	8,45	0,252	40,52	0,063	10,14	0,254	40,89

Assim como ocorreu para o acúmulo de matéria seca, o maior acúmulo relativo de K foi observado no estágio de granação-maturação (Tabela 4). O K é um nutriente de alta mobilidade e possui função importante no transporte de fotoassimilados no floema

(Marschner, 1995), fazendo com que a deposição de biomassa no fruto seja acompanhada, necessariamente, pelo acúmulo de K. Além disso, o K é um nutriente requerido na ativação de diversas enzimas que são essenciais na síntese de compostos orgânicos, entre estes o amido (Marengo & Lopes, 2005; Marschner, 1995).

No estágio de granação-maturação, que teve início aos 133 DAA (16/01/2002), a translocação macronutrientes para os frutos se manteve (Figura 1), porém foi mais lenta, com menores taxas de acúmulo (Tabela 4) comparado ao estágio de expansão rápida. As maiores taxas de acúmulo de macronutrientes neste estágio ocorreram entre 161 DAA (13/02/2002) e 186 DAA (10/03/2002), sendo este o período de maior exigência nutricional pela cultura no estágio de granação-maturação.

O início de estabilização (PC_{max} , Tabela 4) no acúmulo de macronutrientes em frutos ocorreu aos 187 DAA (11/03/2002) para N e Mg e aos 169 (21/02/2002) DAA para S. A partir destas datas o fornecimento dos nutrientes pouco influencia na formação do fruto de cafeeiro. Os nutrientes K, P e Ca não apresentaram estabilização em seus acúmulos no final do ciclo.

A ordem de acúmulo de macronutrientes pelos frutos, em mg/fruto (Figura 2), na época em que se obteve o máximo acúmulo foi a seguinte: K (12,60) > N (9,79) > Ca (1,18) > Mg (0,78) > S (0,69) > P (0,65). A ordem de extração foi semelhante a encontrada por Chaves (1982). Correa et al. (1984) e Ramirez et al. (2002) também encontraram resultados semelhantes, porém, observaram maior extração de P em relação a S.

Pelos resultados encontrados, é possível inferir que as práticas de adubação devem começar antes do início do estágio de expansão rápida do fruto. No caso do ano agrícola 2001/02, em Viçosa, o fornecimento de nutrientes deveria ser iniciado antes dos 66 DAA (09/11/2001). Além da época de adubação, uma maior proporção de

macronutrientes deve ser fornecido até o fim do estágio de expansão rápida. Este estágio, que apresentou duração de apenas 63 dias em um ciclo de 224 dias, foi responsável pelo acúmulo de, aproximadamente, 50% dos macronutrientes. Já no estágio de granação-maturação, o último parcelamento das adubações deve ocorrer antes da taxa de acúmulo de macronutrientes atingir seu valor máximo. Nas condições experimentais, o último parcelamento da adubação deveria ocorrer antes dos 176 DAA (28/02/2002). No entanto, devem-se considerar, também, outros aspectos como o uso e manejo de irrigação suplementar e a umidade no solo para se efetuar as adubações (Malavolta et al., 2002).

Sendo a análise foliar uma importante ferramenta para o diagnóstico nutricional das plantas, em cafeeiro, esta deve ser realizada antes da fase de expansão rápida do fruto (Martinez et al., 1999). Nas condições de Viçosa, neste ano agrícola (2001-2002), a análise foliar deveria ser realizada antes de 09 de novembro, momento em que se iniciou a fase de expansão rápida e o acúmulo de nutrientes em frutos. Apesar disso, mais estudos são necessários, pois floradas mais tardias podem retardar o início da fase de expansão do fruto (Camargo, 1998).

De modo geral, o padrão da curva de variação na concentração de macronutrientes em folhas de ramos produtivos foi semelhante entre os nutrientes N, Ca e Mg e entre P e S (Figura 3; Tabela 6). Foram observadas menores concentrações foliares de N, Ca e Mg no início do período reprodutivo e maiores concentrações no final do ciclo. Com relação a P e S, as folhas apresentaram menores concentrações no início e no final do ciclo, sendo estes períodos mais críticos para absorção de P e S. A similaridade entre as curvas da variação das concentrações foliares de P e S pode estar relacionada ao fato destes dois elementos serem absorvidos na forma de ânions (Marschner, 1995), sendo semelhantes os mecanismos de absorção.

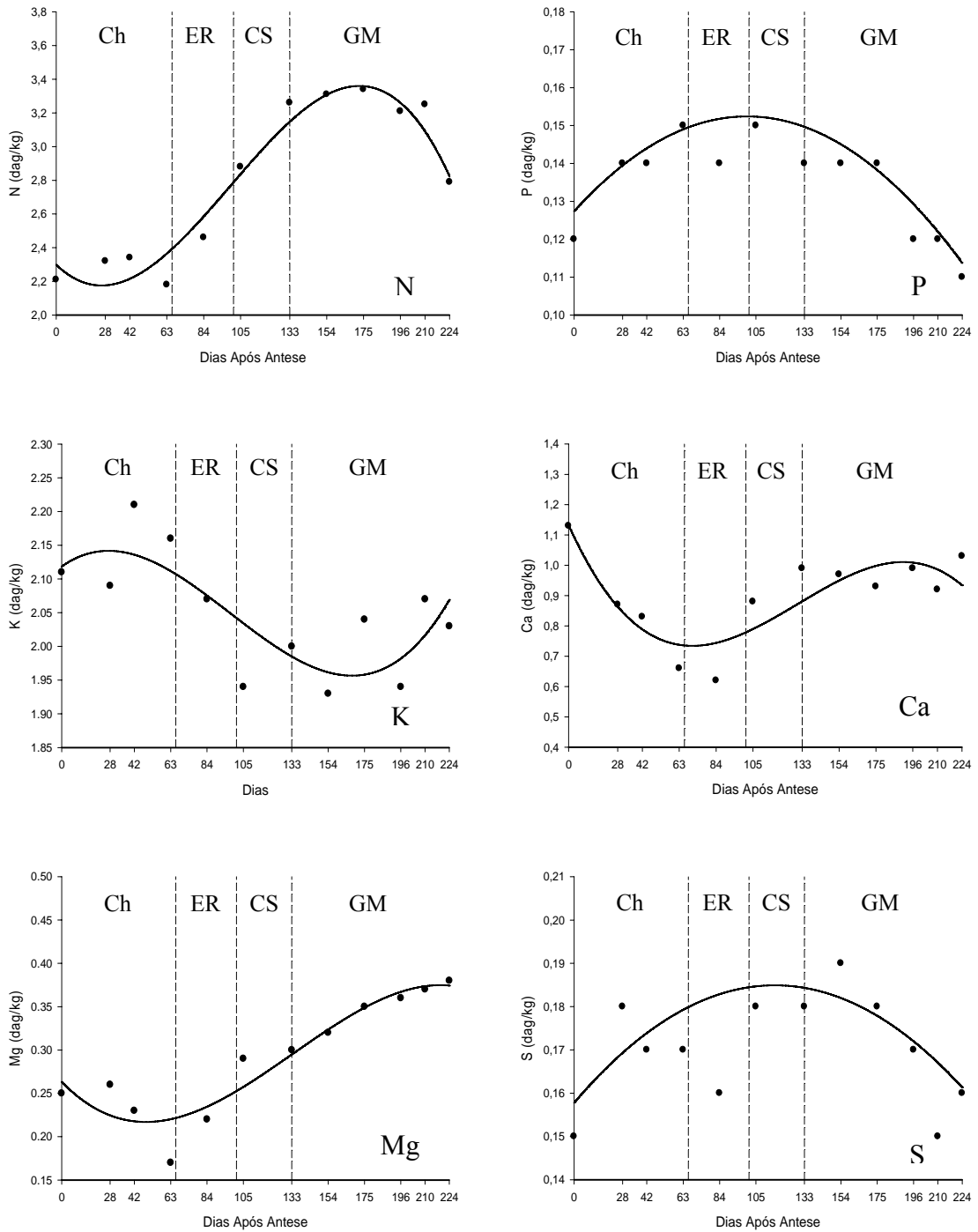


Figura 3 – Variação na concentração de N, P, K, Ca, Mg e S em folhas de ramos produtivos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento do fruto de chumbinho (Ch), expansão rápida (ER), crescimento suspenso (CS) e granação-maturação (GM).

O padrão da curva de variação da concentração foliar de K ao longo do período reprodutivo foi diferente em relação aos demais nutrientes (Figura 3). A concentração foliar de K foi máxima no início do ciclo reprodutivo e apresentou uma concentração mínima aos 168 DAA (Tabela 6), próximo ao momento de maior taxa de acúmulo de K nos frutos no estágio de granação-maturação (Tabela 4). Considerando a característica de alta mobilidade do K no floema (Epstein & Bloom, 2006), é possível que nesta época tenha havido remobilização de K das folhas para os frutos.

Tabela 6 – Equações de regressão da concentração de macronutrientes em folhas de café em função do tempo decorrido após a antese, ponto de mínimo (dias) e de máximo (dias)

Variável	Equação	R ² (%)	X min.	Xmáx.
N	$\hat{Y} = 2,298 - 0,0100X + 0,000223X^2 - 0,00000075X^3$	94,4	26	173
P	$\hat{Y} = 0,127 + 0,000501X - 0,00000251X^2$	89,6	224	100
K	$\hat{Y} = 2,118 + 0,0018X - 0,0000389X^2 + 0,00000013X^3$	77,9	168	27
Ca	$\hat{Y} = 1,133 - 0,0128X + 0,000125X^2 - 0,00000032X^3$	73,4	71	190
Mg	$\hat{Y} = 0,263 - 0,0021X + 0,0000257X^2 - 0,000000064X^3$	94,2	49	219
S	$\hat{Y} = 0,157 + 0,000468X - 0,00000202X^2$	45,2	0	116

Na Tabela 7 podem-se observar as concentrações de macronutrientes em folhas retiradas de ramos reprodutivos na floração (início do período reprodutivo) comparada às concentrações foliares de macronutrientes nos respectivos momentos de máxima taxa de acúmulo em frutos nos estádios de rápida expansão e granação-maturação. É possível observar que as concentrações de N, P e S nos estádios de rápida expansão e granação-maturação aumentaram nas folhas em relação ao início do período reprodutivo (florada). Isto indica que o suprimento do solo e a taxa de absorção de N, P e S pelas raízes foram suficientes para suprir as demandas dos frutos e das folhas. Quanto aos nutrientes K e Ca foi observado redução nas concentrações foliares nos estádios de expansão rápida e granação-maturação em relação à época da florada. Estas observações permitem inferir que houve competição folha/fruto pela partição de K e Ca. Para Mg observou-se

competição folha/fruto apenas no estágio de expansão rápida, sendo o suprimento do elemento adequado no estágio de granação-maturação.

Tabela 7 – Concentrações foliares de macronutrientes na floração (C_F) comparada às concentrações foliares no momento da TMAD dos elementos para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação-maturação (C_{GM})

Variável	Florada dag kg ⁻¹	Expansão Rápida		Granação-Maturação	
		dag kg ⁻¹	$C_{ER} - C_F$	dag kg ⁻¹	$C_{GM} - C_F$
N	2,29	2,55	+ 0,26	3,34	+ 1,05
P	0,12	0,15	+ 0,03	0,16	+ 0,04
K	2,11	2,07	- 0,04	1,97	- 0,14
Ca	1,13	0,74	- 0,39	0,98	- 0,15
Mg	0,26	0,23	- 0,03	0,34	+ 0,08
S	0,15	0,18	+ 0,03	0,18	+ 0,03

CONCLUSÕES

1. No estágio de expansão rápida, entre 79 e 85 DAA, foram observados as maiores taxas de acúmulo de MS, N, P, K, Ca, Mg e S para os frutos durante o período reprodutivo.
2. O acúmulo de Ca e Mg precederam os demais nutrientes apresentando no estágio de chumbinho maior porcentagem de acúmulo comparado aos demais elementos.
3. Os maiores acúmulos relativos de N e P ocorreram no estágio de expansão rápida e de MS e K no estágio de granação-maturação. O acúmulo de S foi próximo nos dois estádios de formação dos frutos.
4. Foi observada competição folha/fruto na translocação de K e Ca no estágio expansão rápida e granação-maturação. Para Mg, observou-se competição apenas no estágio de expansão-rápida.
5. As adubações do cafeeiro com macronutrientes devem iniciar-se antes do estágio de expansão rápida do fruto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12. ed. Washington, D.C., 1975. 1094 p.

ASTOLFI, P.T.; PEDROSO, P.A.C.; CARVALHO, N.M.; SADER, R. Maturação de sementes de café (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). **Científica**, v.9, p. 89-294, 1981.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, n.113, p.73-85, 1974.

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

CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. p.41-42.

CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. PartIV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. **Kenya Coffee**, v.36, p.175-180, 1971a.

CANNEL, M.G.R. Changes in the respiration and growth rates of developing fruits of *Coffea arabica* L. **Journal Hort. Science**, v.46, p.263-272, 1971b.

CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNES, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.6, n.1, p.71-80, 1975.

CHAVES, J.C.D. **Concentração de nutrientes em frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*Coffea arabica* L. CV. Catuaí)**. 1982, 131f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Curso de Pós Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, ESALQ-USP, 1982.

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

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora planta, 2006. 401p.

GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, 1999. p.289-302.

JACSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1958. 498p.

JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, v.766, 1959. p.32-33.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B. de; ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.319-329, 2007.

LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**, v.12, p.65-74, 1962.

MALAVOLTA, E. **Nutrição, adubação e calagem do cafeeiro**. São Paulo: Copas Fertilizantes, s.d. 43p.

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

MANTOVANI, E.C., COSTA, L.C. **Manual do SISDA 2.0 – Workshop Internacional sobre Manejo Integrado das Culturas e Recursos Hídricos**. Viçosa: 1998. 153p.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York, Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H.E.P.; CARVALHO, J.G.; SOUZA, R.B. Diagnose foliar. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5^a Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viosa: 1999. p.144-168.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrientes por los frutos y bandolas de café Caturra durante um ciclo de desarrollo y maduración en AQUIARES, Turrialba, Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v.26, n.1, p.33-42. 2002.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Relações hídricas no cafeeiro, **Item**, v.48, p.34-41, 2000.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p.101-128.

SOUZA, V.H.da S. e. **Variações no teor de alguns elementos minerais nas folhas e frutos de café (Coffea arabica L. Var. Mundo Novo)**. 1972. 43p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Programa de Pós Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S.; SIMON, B.A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **The American Physiological Society**. p.389-395, 1998.

ALOCAÇÃO DE FOTOASSIMILADOS EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEIEIRO CULTIVADO EM DUAS ALTITUDES

RESUMO

A compreensão da alocação de fotoassimilados em folhas e frutos de cafeeiro pode ser uma importante ferramenta para se identificar os períodos de maior demanda de fotoassimilados e desta forma melhorar as práticas culturais a fim de maximizar a produção destes compostos. Determinou-se a alocação de fotoassimilados em frutos e folhas de cafeeiro arábico, da antese à maturação, em duas altitudes. O experimento foi constituído da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada a 720 e 950 m de altitude, no município de Martins Soares-MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 3 repetições, usando um esquema de parcela subdividida no tempo. O aumento da altitude estendeu o ciclo reprodutivo do cafeeiro, demandando maior tempo para formação dos frutos. A altitude de 720 m acelerou o acúmulo de amido, açúcares solúveis totais (AST), açúcares redutores (AR) e açúcares não redutores (ANR) em frutos de cafeeiro. O acúmulo de amido na altitude de 720 m antecedeu o acúmulo de amido na altitude de 950 m, apresentando os frutos maior porcentagem de acúmulo relativo no estágio de expansão rápida. O enchimento de grãos foi mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta completou a formação dos frutos em menor espaço de tempo. No estágio de expansão rápida a concentração de carboidratos em folhas do 3º e 4º pares decresceu bruscamente, sendo este indicado

como o período mais crítico da concentração de carboidratos em folhas. Conclui-se que a altitude influenciou na alocação de fotoassimilados em frutos e na variação da concentração de carboidratos em folhas de cafeeiro.

Termos para indexação: Fisiologia vegetal; *Coffea arabica* L. carboidratos; temperatura;

ABSTRACT

ALLOCATION OF ASSIMILATES IN FRUITS AND LEAVES OF COFFEE PLANTS CULTIVATED IN TWO DIFFERENT ALTITUDES

The understanding of the assimilates partition between leaves and coffee plant fruits can be an important tool to identify the periods of larger assimilates demand and this way to improve the cultural practices in order to maximize the production of these compounds. There was determined the allocation of carbohydrates in fruits of arabic coffee plant during the period comprehended among the anthesis and maturation in two different altitudes, as well as, the variation in its content in leaves of these productive branches. The experiment was constituted of the coffee plant variety (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivated at 720 and 950 m above the sea level in Martins Soares-Minas Gerais State – Brazil. The experimental design was completely randomized with three repetitions using split-plot in time scheme. The altitude of the crop location influenced the reproductive cycle of the coffee plant, providing larger time for formation of the fruits in higher areas. The altitude of 720 m contributed to a larger acceleration in the accumulation of starch, TSS (Total Soluble Sugar), RS (Reducing Sugar) and NRS (Non-Reducing Sugar) in coffee plant fruits. The accumulation of starch in the altitude of 720 m preceded the accumulation of starch in the altitude of 950 m, presenting larger

earnings percentage in the fast expansion stadium. The formation of grains was more critical in conditions of low altitude, since the plant needs to complete these processes in smaller space of time. In the stadium of fast expansion the carbohydrates concentration in leaves in the 3rd and 4th leave pairs of productive branches decreased abruptly indicating this is the most critic period for the carbohydrates concentration in leaves. It is concluded that the altitude influenced in the extension of the cycle, as well as in the assimilate accumulation by the fruits and that variation in coffee plant leaves.

Index terms: Plant physiology; *Coffea arabica* L.; carbohydrates; Temperature.

INTRODUÇÃO

O cafeeiro, nas condições de cultivo a pleno sol, é caracterizado como planta que apresenta bienalidade de produção, com alternância de safras significativas ao longo dos anos. A bienalidade de produção parece estar associada à incapacidade da planta de cafeeiro de sintetizar, em anos de alta produção de frutos, fotoassimilados suficientes para suprir as demandas da frutificação e, paralelamente, as necessidades para o crescimento dos órgãos vegetativos (Carvalho et al, 1993; Rena & Maestri, 1985).

Sendo os frutos os drenos preferenciais de fotoassimilados durante o período reprodutivo, Rena et al. (1996) relatam elevado grau de dependência do estado nutricional da planta e da relação funcional entre folha e fruto. A dependência do cafeeiro desta relação funcional deve-se à característica da espécie de não regular a carga de frutos que, em grande quantidade em relação à área foliar, provoca distúrbios fisiológicos, como a seca de ponteiros (Rena & Carvalho, 2003).

As concentrações de carboidratos nos órgãos das plantas servem como indicativo da atividade metabólica do tecido, essencial para o crescimento do órgão. O

estudo do “status” metabólico, relativo aos teores de hidratos de carbono, pode ser utilizado como referência para se avaliar o estado de depauperamento da planta (Neto et al., 2006).

Os principais carboidratos, não estruturais, acumulados em folhas e frutos de cafeeiro são o amido e os açúcares solúveis redutores e não redutores. Dentre os açúcares redutores, os principais são a glicose e frutose, enquanto o principal açúcar não redutor é a sacarose, sendo este mobilizado nos processos de transporte na direção fonte/dreno (Taiz & Zeiger, 2004).

A compreensão da partição de fotoassimilados entre folhas e frutos de cafeeiro pode ser uma importante ferramenta para se identificar os períodos de maior demanda de fotoassimilados, durante o estágio reprodutivo. Com esta informação, seria possível maximizar, por meio de práticas culturais, a produção de fotoassimilados nos períodos mais críticos, de forma que a planta viesse a produzir carboidratos em quantidades suficientes para o desenvolvimento dos frutos e para manutenção do crescimento vegetativo, reduzindo a bienalidade de produção.

Em regiões de maior altitude observa-se que o cafeeiro leva maior tempo para completar o seu ciclo. Essa informação leva a crer que o pico de exigência em fotoassimilados pelo cafeeiro cultivado em regiões de maiores altitudes seja mais tardio que em regiões de menores altitudes.

O objetivo deste trabalho foi determinar a alocação de fotoassimilados em frutos e folhas de cafeeiro arábico, da antese à maturação, em lavouras cultivadas em duas altitudes.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de setembro de 2005 a julho de 2006, no Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC), localizado no município de Martins Soares, MG. O experimento constituiu da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivado em duas altitudes (Tabela 1). Ressalta-se que as plantas referentes à altitude de 720 m (recepadas em 2002) apresentavam, na ocasião da implantação do experimento, o formato de copa semelhante às plantas da altitude de 950 m.

Tabela 1 – Caracterização das lavouras de cafeeiro Catuaí IAC 44 utilizadas no experimento

Tratamento (m)	Idade	Espaçamento	Produtividade (sc/ha)**
720	4 anos*	2,0 x 1,0 m	21
950	11 anos	1,7 x 0,7 m	34

* Lavoura recepada em 2002

** Uma saca pesa 60 kg de café beneficiado

No mês de agosto de 2005 foi realizada a análise química do solo de cada talhão da propriedade (Tabela 2) para efetuar a correção de acidez do solo e o fornecimento de nutrientes minerais. O fornecimento de macronutrientes foi via solo, em função da fertilidade do solo e da carga pendente de frutos (Guimarães et al., 1999) (Tabela 3). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante de fertilizantes nitrogenados. Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais aos 8, 72 e 103 dias após a antese (19/10/2005, 22/12/2005 e 22/01/2006), utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, hidróxido de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g/L de cada adubo.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente ao acaso distribuído em um esquema de parcelas subdividas no tempo, com 2 parcelas (altitudes), 12 subparcelas (datas de amostragens) e três repetições. Para cada altitude foram

selecionadas três parcelas com 20 plantas dispostas em quatro fileiras, que constituíram as parcelas experimentais.

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos solos da área experimental

Altitude (m)	MO	pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	dag/kg		mg/dm ³			cmol _c /dm ³		
720	3,58	6,1	27,0	132	4,2	0,9	0	4,29
950	4,61	5,2	7,5	116	2,4	0,3	0	8,25

Altitude	CTC	S	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		mg/dm ³	%	mg/dm ³				
720	9,73	22,46	56	27,1	104,0	45,3	3,9	1,54
950	11,25	24,13	27	13,5	28,1	12,4	3,1	1,54

Altitude	Análises Granulométricas (dag/kg)					Classe Textural	Retenção de água (kg/kg) (equivalente de umidade)
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
720	25	21	14	40		Argilo-Arenoso	0,273
950	40	17	10	33		Franco-Argilo-Arenoso	0,178

pH em H₂O = relação 1:2,5

CTC = Capacidade de troca de cátions

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu = Extrator Mehlich 1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1 mol/l

H + AL = Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/l, pH = 7

S = Fosfato monocálcico em ácido acético

O período amostral iniciou-se após 11 de outubro de 2005, quando houve antese (florada principal) e a partir dessa data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro: aos 34 (14/11/2005), 52 (02/12/2005), 65 (15/12/2005), 85 (04/01/2006), 100 (19/01/2006), 114 (12/02/2006), 134 (22/02/2006), 161 (21/03/2006), 190 (19/04/2006), 217 (16/05/2006), 239 (08/06/2006) e 266 (04/07/2006) dias após a antese (DAA). Para análise de carboidratos foram selecionadas as amostras referentes aos 34, 52, 100, 114, 161, 217, 266 DAA, sendo que para a análise de amido em folhas foram perdidas as amostras referentes aos 34 DAA. Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, em ramos pertencentes ao terço médio da planta e as folhas coletadas foram aquelas correspondentes aos 3º e 4º pares, contadas a partir do ápice, de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. Em todas as amostragens foram coletado 1 a 2 gramas de frutos/parcela. Para amostragem de folhas foi utilizado um furador de rolhas de 1,9 cm de diâmetro, coletando 7 discos (aproximadamente 500 mg de matéria fresca) por parcela em cada

uma das amostragens. Essas coletas foram realizadas no período da manhã, no intervalo das 08:00 às 10:00 h. Após as coletas, os frutos e os discos foliares foram congelados em nitrogênio líquido e, posteriormente, armazenados em freezer a -60 °C.

Tabela 3 – Adubação empregada no ano agrícola de 2005/2006

Altitude (m)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/ha		
720	390	0	200
950	370	0	70

Antes de iniciarem-se as análises, as amostras de folhas e frutos foram transferidas para uma estufa de circulação forçada, a 70 °C, por 72 horas, para a determinação da massa seca. Para a análise de açúcares solúveis totais (AST) as amostras foram transferidas para almofariz e maceradas adicionando-se etanol 80% fervente e areia lavada. O produto da maceração foi transferido quantitativamente para tubos plásticos e centrifugado a 3.300 g, por 10 min. O precipitado foi lavado com 2,5 mL de etanol 80%, por mais três vezes, e centrifugado, e os sobrenadantes combinados tiveram seu volume completado para 25 mL. Dos 25 ml de solução etanólica foram retirados 10 ml e evaporados até *secura*, em evaporador rotativo a vácuo, a 45 °C. O resíduo da evaporação foi ressuspensionado em 5 mL de água destilada e armazenado a -20 °C, até o momento das análises. Os açúcares solúveis totais foram obtidos por reação com antrona, segundo metodologia preconizada por McCready et al (1950). Os açúcares redutores (AR) foram quantificados pela técnica de Nelson (1944) e Somogy (1952).

Para a extração do amido, o resíduo das extrações alcoólicas foi tratado com 5,75 mL de ácido perclórico 30%, por três vezes, permitindo-se tempos de reação, de 20, 30 e 20 min, para cada extração, respectivamente. Transcorrido o tempo de reação, foram acrescentados ao extrato 6 mL de água destilada e, em seguida, o material foi centrifugado a 3.300 g, por 10 min. Os sobrenadantes assim obtidos foram combinados,

completando-se, então, o volume para 50 mL com água destilada. O amido foi quantificado por reação com antrona (Hodge & Hodfreiter, 1962).

O acúmulo dos carboidratos por fruto (mg/fruto) foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS do Fruto (mg)} \times \text{Concentração do Carboidrato (\%)}}{100}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo de carboidratos em frutos utilizaram-se modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros, conforme descrito abaixo. A escolha dos modelos não-lineares foi feita de acordo com a porcentagem da variância explicada (R^2) e a melhor representação do fenômeno.

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)} \qquad \hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = Ponto máximo da curva
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão

a = $y_{\max} - y_{\min}$
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão
 y_0 = Ponto de mínimo da curva

O ponto de inflexão foi correspondente ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo de matéria seca e carboidratos em frutos. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, mg/dia) foi determinada pelo acúmulo de matéria seca e carboidratos no ponto de inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

Os pontos de curvatura mínima (PC_{\min}) e máxima (PC_{\max}) foram calculados conforme método citado por Venegas et al. (1998) utilizando os parâmetros das equações não lineares:

$$PC_{\min} = x_0 - 2b$$

$$PC_{\max} = x_0 + 2b$$

O PC_{\min} indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos expressivos no acúmulo nutrientes. Já o PC_{\max} indica o momento em que o acúmulo dos nutrientes começa a se estabilizar.

O acúmulo relativo (AR_e) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo acúmulo em cada estágio de formação do fruto, sendo os valores em porcentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$AR_e = A_F - A_I$$

$$\% = \frac{AR_e}{AT} * 100$$

AR_e = Acúmulo relativo no estágio de formação do fruto
 A_F e A_I = Acúmulo no final e início do estágio

AT = Acúmulo alcançado aos 266 DAA

Durante o período reprodutivo foram registradas as temperaturas mínimas e máximas, a umidade relativa (UR) entre 9 e 10 horas da manhã em intervalos de tempo semanais (Tabela 4) e o índice pluviométrico em cada mês (Tabela 5).

Tabela 4 – Médias das temperaturas médias, mínimas e máximas e umidade relativa ocorridas durante o período reprodutivo do cafeeiro em duas altitudes durante o ano agrícola 2005/06

Temperaturas	Altitudes (m)	
	720	950
Temp. Mínima Média (°C)	16,22	17,33
Temp. Máxima Média (°C)	30,22	26,94
Umidade Relativa (%)	73,33	81,50

Tabela 5 – Índice pluviométrico mensal (mm) durante o ano agrícola 2005/06 em Martins Soares MG

Ano 2005					Ano 2006						
Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
12,0	168,4	59,3	353,5	278,2	7,0	131,0	256,5	121,8	31,0	8,0	13,8

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A extensão do ciclo do cafeeiro, bem como, a duração dos estádios reprodutivos foram influenciados pela altitude de cultivo da lavoura (Figura 1.; Tabela 6, 7 e 8). Na altitude de 720 m observou-se que o fruto necessitou de 211 dias (10/05/2005) para sua formação, enquanto que a 950 m a formação do fruto foi até 262 dias após a antese (DAA) (30/06/2005). É provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Tabela 4) tenha influenciado nas reações enzimáticas e no transporte de fotoassimilados (Larcher, 2004), ampliando o tempo de formação do fruto do cafeeiro. A duração do ciclo nas duas altitudes foi maior comparada à observada por Laviola et al. (2007) em Viçosa, os quais verificaram um ciclo de 224 dias para formação dos frutos de cafeeiro. Porém, Viçosa está a 650 m de altitude, o que evidencia a redução da extensão do ciclo do cafeeiro em menores altitudes.

Durante seu desenvolvimento, independentemente da altitude, os frutos passaram por cinco estádios distintos de formação, sendo estes, de acordo com Rena et al. (2001), chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação (Tabela 7). De acordo com Camargo (1998) os estádios de formação dos frutos são bem definidos, porém, estes podem adiantar-se ou atrasar-se em função do clima e da região, inclusive a altitude. Cada estágio de formação possui funções fisiológicas e metabólicas próprias, essenciais à formação final da semente de café (Cannel, 1971; Coombe, 1976).

No estágio de chumbinho, os frutos apresentaram acúmulo pouco expressivo de matéria seca, amido e açúcares solúveis totais (AST) (Figura 1; Tabela 6 e 7). De acordo com Cannel (1971) e Leon & Fournier (1962) os frutos de cafeeiro neste estágio apresentam elevada taxa de divisão celular e de respiração celular, o que impossibilitaria o acúmulo de compostos de reserva (amido), bem como, de açúcares

redutores (AR) e não redutores (ANR). O processo de divisão celular apresenta alta demanda por energia metabólica (ATP) proveniente da degradação de carboidratos durante a respiração celular (Taiz & Zeiger, 2004; Marenco & Lopes, 2005).

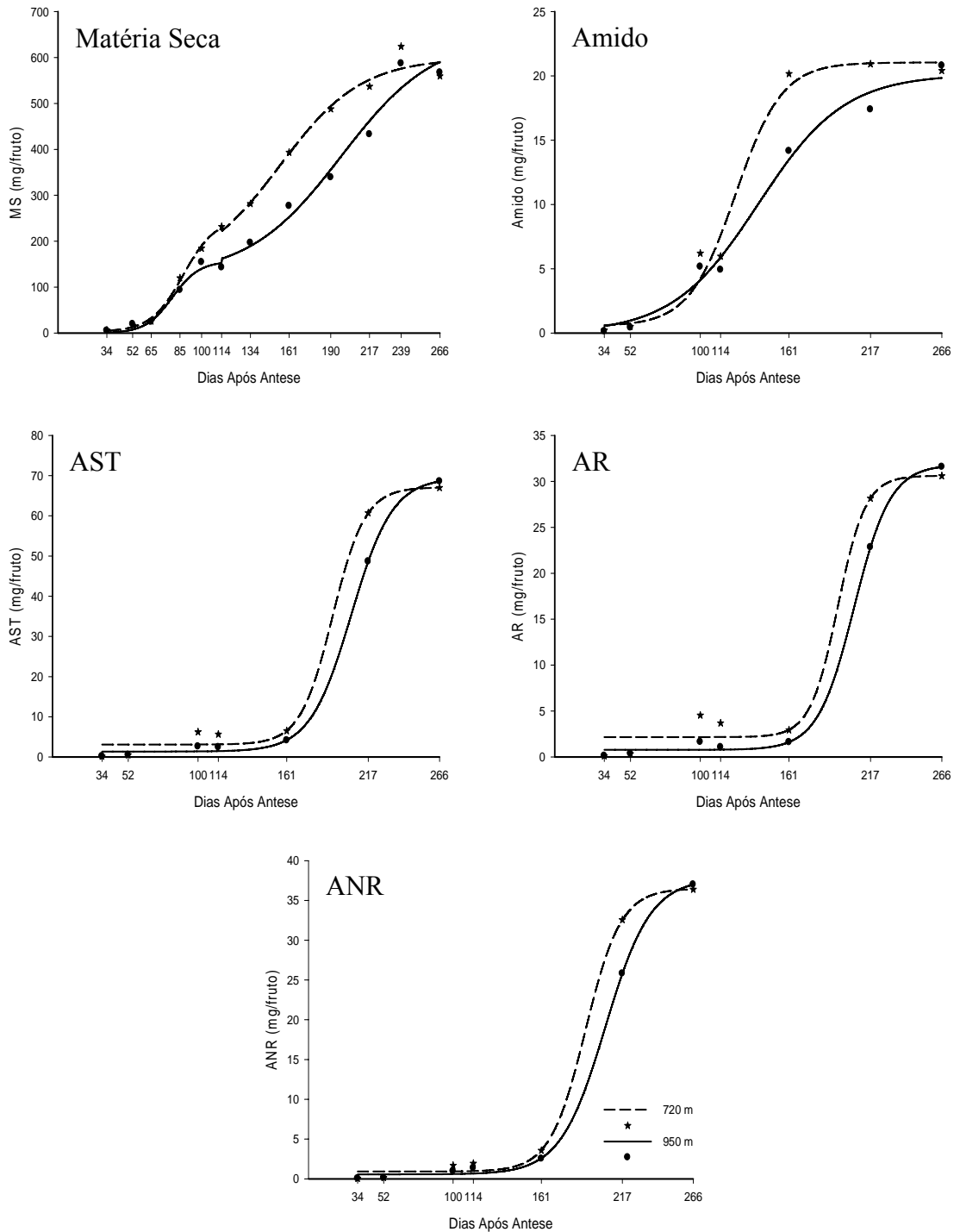


Figura 1 – Acúmulo de MS, Amido, AST, AR, ANR em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em duas altitudes

O estágio de expansão rápida (Figura 1; Tabela 6 e 7) se caracteriza, principalmente, por rápido alongamento das células dos frutos, atingindo no final do estágio cerca de 80 % do tamanho final do fruto (Rena et al., 2001; Cannel, 1971). No estágio de expansão rápida se observou acúmulo expressivo de matéria seca nos frutos, sendo que na altitude de 720 m ocorreu maior acúmulo relativo comparado à altitude de 950 m (Tabela 9).

Tabela 6 - Equações de regressão do acúmulo de carboidratos em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese

Variável	Altitude (m)	Período (DAA)	Modelo	R ² (%)
MS	720	34-114	$\hat{y} = 3,0983+246,5243/(1+\exp(-(x-87,2082)/11,1720))$	99,7
		100-266	$\hat{y} = 131,5992+466,9270/(1+\exp(-(x-154,5708)/28,4426))$	98,0
	950	34-114	$\hat{y} = 156,1461/(1+\exp(-(x-79,7382)/9,3653))$	97,7
		100-266	$\hat{y} = 124,7881+521,8913/(1+\exp(-(x-197,4214)/32,4306))$	97,4
Amido	720	34-266	$\hat{y} = 0,5441+20,5001/(1+\exp(-(x-124,2719)/15,9602))$	98,4
	950	34-266	$\hat{y} = 20,1197/(1+\exp(-(x-140,0073)/29,5487))$	98,6
AST	720	34-266	$\hat{y} = 3,0773+64,0312/(1+\exp(-(x-192,6058)/11,1126))$	99,4
	950	34-266	$\hat{y} = 1,3435+68,1647/(1+\exp(-(x-205,4079)/14,20))$	99,9
AR	720	34-266	$\hat{y} = 2,1605+28,4595/(1+\exp(-(x-194,6231)/9,4999))$	98,5
	950	34-266	$\hat{y} = 0,7760+31,0492/(1+\exp(-(x-205,7942)/12,5106))$	99,8
ANR	720	34-266	$\hat{y} = 0,9164+35,5774/(1+\exp(-(x-191,5638)/12,2265))$	99,8
	950	34-266	$\hat{y} = 0,5603+37,1713/(1+\exp(-(x-205,3609)/15,5644))$	99,9

No estágio de expansão rápida, a ascensão no acúmulo de amido (PC_{min}) ocorreu após o pico de acúmulo de matéria seca nos frutos (X_{TMAD}), indicando que o aumento de massa seca neste estágio não está relacionado ao acúmulo de compostos de reserva (Tabela 8). O acúmulo de matéria seca no estágio de expansão rápida está relacionado, principalmente, à deposição de material de parede (Coombe, 1976), essencial para o processo de alongamento celular (Marenco & Lopes, 2005).

No estágio de expansão rápida não se observou aumento de grande magnitude no acúmulo de AST, AR e ANR nos frutos de cafeeiro, assim como, não foram

observados efeitos da altitude (Tabela 9). É possível que a maior parte dos fotoassimilados drenados para os frutos nesta época tenha sido convertida em polímeros de parede (Taiz & Zeiger, 2004), impedido que estes fossem acumulados nos frutos.

O ponto em que ocorreu a taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD}) de carboidratos deu-se no estágio de granação dos frutos, sendo este influenciado pela altitude de cultivo do cafeeiro (Tabela 8). O X_{TMAD} de amido, AST, AR e ANR apresentaram tendência de ser mais tardio na maior altitude de cultivo. Além disso, as taxas máximas de acúmulo diário (TMAD) também foram influenciadas pela altitude de cultivo, apresentando maiores valores na altitude de 720 m. Os maiores valores de TMAD indicam que na altitude de 720 m a partição de carboidratos para os frutos de cafeeiro ocorreu em maior velocidade que na altitude de 950 m.

Tabela 7 – Delimitação dos estádios de formação do fruto de cafeeiro (DAA) durante o período reprodutivo com base nas curvas de acúmulo de matéria seca em frutos.

Altitude (m)	Chumbinho	Exp. Rápida	Cresc. Susp.	Granação	Maturação*
720	0-65 (65)	65-109 (44)	109-114 (5)	114-211 (97)	211-266 (55)
950	0-61 (61)	61-98 (37)	98-114 (17)	114-262 (148)	262-266 (4)

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

** Os valores entre parênteses representam à duração (dias) dos estádios.

A síntese de amido e outros carboidratos em frutos de cafeeiro são dependentes, primeiramente, das enzimas de clivagem da sacarose, as quais, também possuem influência na velocidade de transporte no floema na direção fonte/dreno (Taiz & Zeiger, 2004). Geromel et al. (2005a) verificaram maior atividade da enzima sacarose sintase durante o desenvolvimento dos frutos de cafeeiro em meados do estágio de granação, aproximadamente aos 175 DAA. Outras enzimas relacionadas à hidrólise da sacarose em frutos de cafeeiro são as invertases, estas, porém com maior atividade na fase inicial de desenvolvimento do fruto (Geromel et al., 2001). Sendo a atividade enzimática

influenciada pela temperatura (Larcher, 2004) é possível que as menores temperaturas ocorridas na altitude de 950 m (Tabela 4) tenham influenciado na atividade das enzimas de clivagem da sacarose diminuindo a velocidade de acúmulo de MS e carboidratos em frutos.

Tabela 8 – Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diária (TMAD, mg/fruto/dia) e ponto de curvatura mínima (PC_{min} , DAA) e máxima (PC_{max} , DAA) em duas altitudes

Variável	Altitude (m)	Período	X_{TMAD}	TMAD	PC_{min}	PC_{max}
MS	720	34-114	87	5,5110	65	109
		100-266	154	4,1025	114	211
	950	34-114	80	4,1665	61	98
		100-266	197	4,0222	132	262
Amido	720	34-266	124	0,320	92	156
	950	34-266	140	0,170	81	199
AST	720	34-266	192	1,436	170	215
	950	34-266	205	1,198	177	234
AR	720	34-266	194	0,746	176	214
	950	34-266	206	0,620	181	231
ANR	720	34-266	191	0,726	167	216
	950	34-266	205	0,596	174	236

No estágio de granação (Tabela 7), também chamado de enchimento do endosperma, a matéria seca é depositada, principalmente, nas sementes (Rena et al., 2001), sendo o amido um dos principais compostos de reserva (Giorgine & Campos, 1992). O acúmulo de amido nos frutos cessou antes do final do estágio de granação, ou seja, as reservas das sementes são acumuladas antes dos frutos completarem sua formação final (Tabela 8) De acordo com Puschmann (1975), o crescimento do endosperma, onde se encontra a maior parte do amido, é restringido pelo endocarpo lignificado antes da formação final do fruto. O subsequente crescimento do fruto é devido à expansão do pericarpo.

Na altitude de 720 m o acúmulo de amido nos frutos cessou antes do acúmulo deste composto na altitude de 950 m (Figura 1). Além disso, houve maior acúmulo relativo (AR_e) de amido no estágio de expansão rápida a 720 m quando comparado ao

que ocorreu a 950 m de altitude (Tabela 9). Por outro lado, a 950 m, o maior acúmulo ocorreu na granação. Desta forma, observa-se que parece haver uma compensação no acúmulo de amido entre os dois estádios. Se no estádio de expansão rápida o acúmulo de amido é mais acelerado, no estádio de granação o acúmulo será em menor velocidade e vice-versa. Com estes resultados pode se inferir que o acúmulo de amido em frutos é mais precoce em menores altitudes. Desta forma, enchimento de grãos é mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar estes processos em menor espaço de tempo. Em menores altitudes o tempo para formação dos frutos é menor. Havendo algum estresse para a planta, pode não ter tempo para a recuperação, com prejuízo na formação final do fruto. Em contra partida, em maiores altitudes o tempo de formação dos frutos é maior, e sob uma situação de estresse os danos podem ser proporcionalmente menores para a formação final dos frutos. Além disso, em menores altitudes as plantas de cafeeiro podem sofrer um maior desgaste por apresentarem um menor período de formação dos frutos. Menores períodos de formação dos frutos podem exigir mais das plantas, que necessitam absorver nutrientes e produzir carboidratos em menor espaço de tempo para suprir as necessidades dos frutos.

O acúmulo de açúcares solúveis em frutos de cafeeiro iniciou-se na metade final do estádio de granação e encerrou-se na fase de maturação dos frutos (Figura 1; Tabela 7 e 8). O aumento do conteúdo de açúcares solúveis em frutos no final do ciclo reprodutivo ocorre, principalmente, na polpa do fruto (Geromel et al., 2005b) e está associado às mudanças morfo-fisiológicas relacionadas ao amadurecimento (Rena et al., 2001; Puschmann, 1975).

Verificou-se que o acúmulo de AST, AR e ANR em frutos no estádio de granação na altitude de 720 m antecedeu o acúmulo destes compostos na altitude de 950

m, como pode ser verificado observando os valores de PC_{\min} e PC_{\max} na Tabela 8, evidenciando o efeito da altitude no acúmulo de açúcares na polpa.

Tabela 9 – Acúmulo relativo (AR_e , mg/fruto) de acordo com o estágio de formação do fruto de cafeeiro em duas altitudes

Variável	Altitude (m)	Chumbinho		Exp Rápida		Cresc. Susp		Granação		Maturação*	
		AR_e	%	AR_e	%	AR_e	%	AR_e	%	AR_e	%
MS	720	32,8	5,56	186,3	31,58	10,15	1,72	312,9	53,10	47,34	8,03
	950	18,6	3,15	118,1	20,00	15,52	2,63	431,8	73,12	6,49	1,10
Amido	720	1,032	4,91	5,201	24,72	1,372	6,52	13,35	63,45	0,08	0,41
	950	1,298	6,54	2,613	13,17	1,987	10,01	13,90	70,07	0,04	0,20
AST	720	3,078	4,59	0,034	0,05	0,020	0,03	53,71	80,13	10,184	15,20
	950	1,346	1,96	0,033	0,05	0,074	0,11	66,81	97,44	0,301	0,44
AR	720	2,161	7,06	0,003	0,01	0,002	0,01	24,146	78,90	4,292	14,03
	950	0,776	2,46	0,005	0,02	0,015	0,05	30,685	97,18	0,093	0,30
ANR	720	0,918	2,52	0,040	0,11	0,021	0,06	29,48	80,98	5,947	16,13
	950	0,564	1,52	0,034	0,09	0,067	0,18	36,11	97,63	0,211	0,57

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado se antes.

O acúmulo de AST, AR e ANR nos frutos de cafeeiro iniciou-se próximo ao momento em que se estabilizou acúmulo de amido nos frutos (Tabela 8). É provável que a maior parte dos fotoassimilados drenados para os frutos no estágio de granação primeiro tenha sido direcionada para conversão em composto de reserva na semente e, só após completar este processo, tenha se iniciado o acúmulo de açúcares solúveis.

Os efeitos da altitude no ciclo reprodutivo, bem como no acúmulo de amido, AST, AR e ANR estão relacionados, principalmente, a variações de temperaturas máximas entre as altitudes (Tabela 4). A temperatura possui influência direta sobre processos regulatórios da planta, sendo que em menores temperaturas a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas (Larcher, 2004).

A exposição de um tecido-dreno a baixas temperaturas inibe as atividades que necessitam de energia metabólica e resulta na diminuição da velocidade do transporte em direção ao dreno. A atividade de um dreno está relacionada à presença e a atividade

das enzimas de clivagem da sacarose, a sacarose sintase e a invertase ácida, pois elas catalisam a primeira etapa de utilização da sacarose. Em menores temperaturas, a atividades destas enzimas é restringida, portanto, diminuindo a velocidade do transporte de fotoassimilados no floema (Taiz & Zeiger, 2004).

Apesar de a temperatura ser um dos principais fatores a influenciar na fisiologia da planta, outros fatores, como a disponibilidade hídrica podem também ter atuado na absorção e distribuição de nutrientes na planta, bem como, no desenvolvimento dos frutos. O solo na altitude de 720 m apresenta maior capacidade de retenção de água em relação ao solo da outra altitude (Tabela 2). Como em janeiro de 2005, o índice pluviométrico foi de apenas 7 mm (Tabela 5), a umidade do solo a 720 m pode ter se mantido mais próxima da capacidade de campo por maior espaço de tempo em relação ao solo das demais altitudes.

A concentração de amido no 3º e 4º pares de folhas decresceu bruscamente no início do período reprodutivo, até 100 a 114 DAA, independentemente da altitude de cultivo (Figura 2). A queda na concentração de amido nas folhas nesta época, está relacionada, principalmente, às demandas por fotoassimilados nos frutos, bem como, as exigências para o crescimento vegetativo, o qual é intenso até meados de janeiro (Amaral et al., 2001). Segundo Priestley (1962), as conversões de amido para açúcar ocorrem em ocasiões de crescimento vegetativo intenso, quando as reservas são usadas para suportar a atividade meristemática de ápices caulinares e também o crescimento de frutos. Após os 100 DAA, verificou-se que a concentração de amido em folhas se elevou novamente na altitude de 720 m, enquanto que na altitude de 950 m a concentração deste composto manteve-se baixa, apresentando uma pequena tendência de aumento no final do ciclo reprodutivo. É possível que a maior concentração de amido em folhas na altitude de 720 m esteja relacionada á menor produção de frutos (Tabela

1). Uma menor produção de frutos pode ter resultado em menor força de dreno (Taiz & Zeiger, 2004) ocorrendo, com isto, balanço positivo de fotoassimilados nas folhas, que pode ser armazenado na forma de amido (Marenco & Lopes, 2005). Apesar disso, Janardhan et al (1971) encontraram níveis elevados de amido em ramos com carga elevada, sendo improvável que as concentrações de amido nas folhas e ramos esteja apenas relacionadas a formação dos frutos.

A concentração de AST e AR, conforme ocorreu com o conteúdo de amido, também decresceu bruscamente no início do período reprodutivo, até em torno dos 114 DAA (Figura 2). É provável que a maior parte do açúcar sintetizado neste período tenha sido mobilizada para o crescimento vegetativo e para a frutificação. Com relação ao ANR (Figura 2.), observou-se queda nas folhas no início do ciclo reprodutivo apenas na altitude de 950m, enquanto que a 720 m de altitude, a concentração de ANR nas folhas se elevou de 52 DAA a, aproximadamente, 90 DAA. É provável que a quebra do amido, que estava em maior concentração inicial na altitude de 720 m (Figura 2), tenha resultado em uma maior síntese de sacarose.

Ao final do ciclo, observa-se que a concentração de ANR se elevou, superando as suas concentrações no início do ciclo (Figura 2), ao contrário do que ocorreu para AST e AR (Figura 2). Os frutos no final do ciclo reprodutivo deixam, gradativamente, de serem drenos prioritários (Rena & Carvalho, 2003) e a taxa de crescimento vegetativo tende também a diminuir em função do declínio na temperatura (Amaral et al., 2001) e, resultado disso, o transporte de ANR diminui, podendo assim elevar sua concentração na fonte (folha).

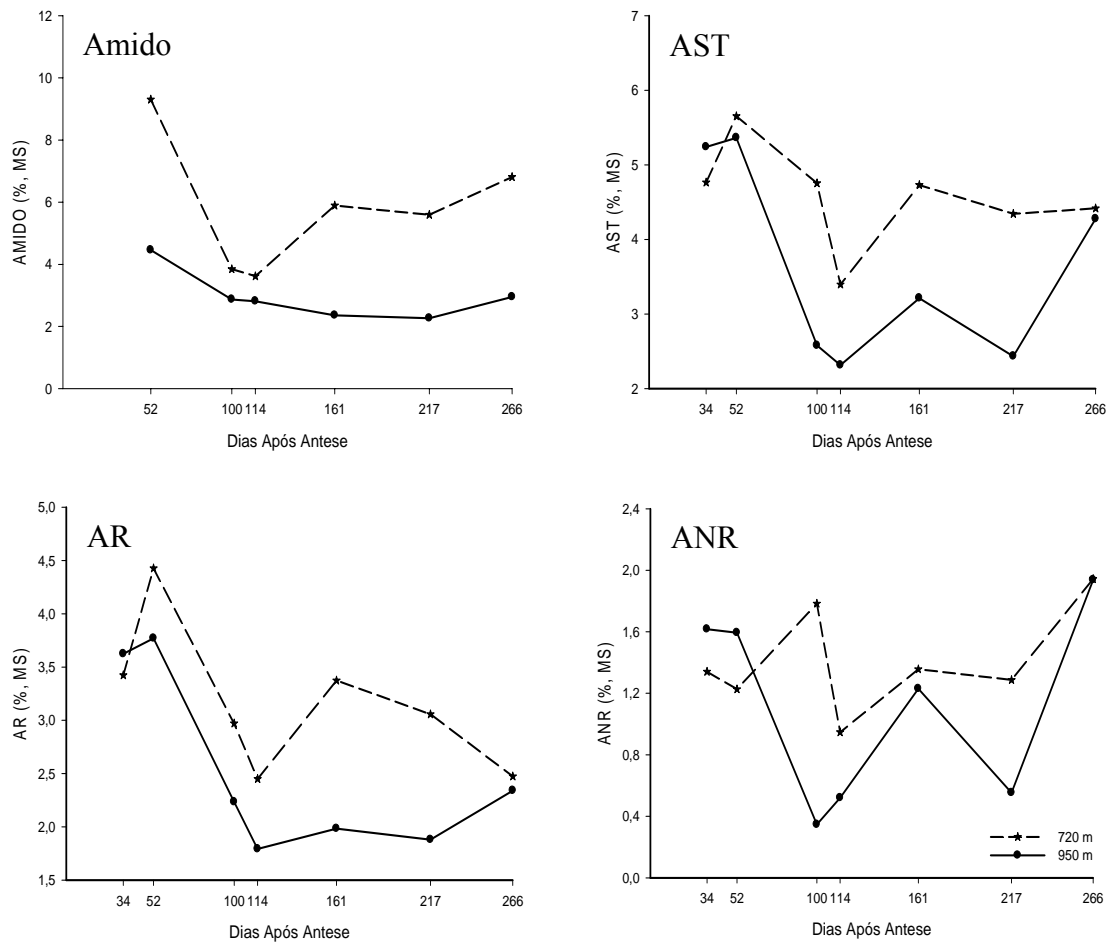


Figura 2 – Concentração de Amido, AST, AR, ANR em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em duas altitudes.

O estágio de expansão rápida do fruto (Figura 1 e Tabela 6 e 7) parece ser o período mais crítico da concentração de carboidratos nas folhas de cafeeiro (Figura 2). De acordo com Wormer & Ebagole (1965) e Patel (1970) quanto mais intensa a frutificação, menor o teor de amido nos ramos, podendo até ocorrer o esgotamento total das reservas na fase de expansão rápida dos frutos. No entanto, verifica-se pela Tabela 9 que a fase de maior demanda de fotoassimilados pelos frutos é o estágio de granação, que ocorreu após os 114 DAA. O estágio de expansão rápida é também o período de maior crescimento vegetativo (Amaral et al., 2001) atingindo-se no estágio de granação uma área foliar fotossinteticamente ativa superior à do início do ciclo reprodutivo (Castro, 2002). Como a produção de fotoassimilados pela planta depende não só da taxa

fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mas, também da área foliar, é possível que na época de granação haja um maior número de folhas (maior área foliar) para suprir um mesmo número de frutos. Desta forma, haveria um menor esgotamento das reservas orgânicas de cada folha, podendo em alguns casos haver aumento do conteúdo de compostos de reservas, como o observado na Figura 2.

As práticas culturais adequadas no início do período reprodutivo, principalmente relacionadas à nutrição mineral, são importantes para proporcionar rápido aumento da área foliar das plantas e, posteriormente, garantir granação adequada dos frutos do cafeeiro. Por outro lado, sendo os frutos drenos prioritários, se não houver aumento significativo da área foliar até final do estágio de expansão rápida pode haver esgotamento das plantas no período de maior demanda (granação) e desta forma, intensificação do fenômeno da bienalidade de produção do cafeeiro. É importante ressaltar que as reservas foliares de amido são apenas um indicativo do status metabólico da planta, pois por si só não possuem capacidade de sustentar o crescimento vegetativo e o enchimento de grãos, processos estes altamente dependentes da fotossíntese corrente (Carvalho et al., 1993).

CONCLUSÕES

1. A elevação da altitude de cultivo do cafeeiro estendeu ciclo, bem como o acúmulo de carboidratos em frutos e folhas de cafeeiro.
2. Na altitude de 720 m houve antecipação no acúmulo de amido, AST, AR e ANR em frutos de cafeeiro.
3. A granação dos frutos é mais crítica em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar este processo em menor espaço de tempo.

REFERÊNCIAS

AMARAL, J.T.; DaMATTA, F.M.; RENA, A.B. Effects of fruiting on the growth of arabica coffee trees as related to carbohydrate and nitrogen status and to nitrate reductase activity. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13. n.1, p.66-74, 2001.

CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. p.41-42.

CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. PartIV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. **Kenya Coffee**, v.36, p.175-180, 1971.

CARVALHO, C.H.S. de; RENA, A.B.; PEREIRA, A.A.; CORDEIRO, A.T. Relação entre produção, teores de N, P, Ca, Mg, amido e seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.6, p.665-673, 1993.

CASTRO, A.M. de. **Efeito de desfrutificações seqüenciais sobre o crescimento e produção de cafeeiro arábico..** 2002, 97p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal) – Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.

COOMBE, B.G. The development of fleshy fruits. **Annual Review Plant Physiology**, v.27, p.507-28, 1976.

GEROMEL, C.; ALVARENGA, A.A.; DELÚ FILHO, N. Papel da invertase no enchimento de grãos de café em diferentes estádios de desenvolvimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 27, 2001, Uberaba, MG. **Anais...** Rio de Janeiro : PROCAFÉ, 2001. p.248-249.

GEROMEL, C.; MAZZAFERA, P.; MARRACINNI, P.R.; FERREIRA, L.P.VIEIRA, G.E.; PEREIRA, L.F.P. Açúcares solúveis, sacarose sintase e sacarose fosfato sintase durante o desenvolvimento do fruto de café, sob diferentes condições de luz e carga. SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2005a. CD-ROOM .

GEROMEL, C.; FERREIRA, L.F.P.; CAVALARI, A.A.; PEREIRA, L.F.P.; VIEIRA, L.G.E.; LEROY, T.; MAZZAFERA, P.; MARRACINNI, P. Metabolismo de açúcares durante o desenvolvimento de frutos de café. SIMPÓSIO DE PESQUISAS DOS CAFÉS DO BRASIL, 4, 2005, Londrina, PR. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 2005b. CD-ROOM.

GIORGINE, J.F.; CAMPOS, C.A.S.P. Changes in the content of soluble sugars and starch synthesis and degradation during germination and seedling growth of *coffea arabica* L. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.4, n.1, p.11-15, 1992.

GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, 1999. p.289-302.

HODGE, J.E.; HODFREITER, B.R. Determination of reducing sugars and carbohydrates. In: WILSTER, R.L., WOLFROM, M.L. (eds.). **Methods in carbohydrate chemistry**. New York: Academic Press, v.1, 1962. p.390-394.

JANARDHAN, K.V.; GOPAL N.H.; RAMAIAH P.K. Carbohydrate reserves in relation to vegetative growth, flower bud formation and crop levels in arabica coffee. **Indian Coffee**, n.35, p.145-148, 1971.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004, 531p.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R. B. de; ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.319-329, 2007.

LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**, v.12, p.65-74, 1962.

McCREADY, R.M.; GUGGLOZ, J.; SILVEIRA, V. & OWENS, H.S. Determination of starch and amylose in vegetables: application to peas. **Analytical Chemistry**, v.22, p.1156-1158, 1950.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

NELSON, N.A. A photometric adaptation of the Somogy method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, n.153, p.375-380, 1944.

NETO, E.G.G.; MAGALHÃES, M.M.; LIVRAMENTO, D.E.; ALVES, J.D.; BARTHOLO, G.F.; CARVALHO, G.R.; FRIES, D.D.; LIMA, A.A.; MELO, E.F.; SILVEIRA, N.M.; HENRIQUE, P.C. Teores de carboidratos em folhas de diferentes genótipos de cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 32., 2006, Poços de Caldas, MG. **Anais...**Rios de Janeiro: PROCAFÉ, 2006. p.279.

PATEL R.Z. A note on the seasonal variations in starch content of different parts of arabica coffee trees. **East Africa Agricultura Forest Journal**, n.36, p.1-4, 1970.

PRIESTLEY, C.A. **Carbohydrate resources within the perennial plant**. Commonwealth Agricultural Bureaux, England. 1962. 116p.

PUSCHMANN, R. **Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação**. 1975, 35f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

RENA, A.B.; NACIF, A.P.; GONTIJO, P. de T.; PEREIRA, A.A. Fisiologia do cafeeiro em plantios adensados. In: SIMPÓSIO INTERNATIONAL SOBRE CAFÉ ADENSADO, Londrina, 1994. **Anais...** Londrina: Instituto Agrônômico do Paraná, 1996. p.73-85.

RENA, A.B. & CARVALHO, C.H.S. Causas abióticas da seca de ramos e morte de raízes em café. In: ZAMBOLIN, L. **Produção integrada de café**. Viçosa: Departamento de Fitopatologia, UFV, 2003. p.197-222.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001, p.101-128.

SOMOGY, M. Notes of sugar determination. **Journal of Biological Chemistry**, n.95, p.19-23, 1952.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

WORMER T.M., EBAGOLE H.E. Visual scoring of starch in *Coffea arabica* L. II. Starch in bearing and non-bearing branches. **Experimental Agriculture**, n.1, p.41-53, 1965.

VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S.; SIMON, B.A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **The American Physiological Society**. p.389-395, 1998.

ALOCAÇÃO DE N, P E K EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEIEIRO CULTIVADO EM QUATRO ALTITUDES

RESUMO

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante o período reprodutivo são importantes ferramentas para estimar as necessidades nutricionais da cultura, bem como identificar os momentos mais adequados para aplicação de fertilizantes. Determinou-se a alocação de MS, N, P e K em frutos e folhas de cafeeiro arábico da antese à maturação em quatro altitudes. O experimento constituiu-se da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada a 720, 800, 880 e 950 m de altitude, no município de Martins Soares-MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 3 repetições, usando um esquema de parcela subdividida no tempo. Com a elevação da altitude houve influência no ciclo reprodutivo do cafeeiro, que demandou maior tempo para formação dos frutos em altitude elevada. No estágio de expansão rápida os acúmulos relativos de MS e N, P e K foram maiores na altitude de 720 m, comparado, principalmente à altitude de 950 m. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) no estágio de granação apresentou tendência de ser mais tardia com a elevação da altitude. De modo geral, a altitude influenciou na variação das concentrações foliares de nutrientes, apesar de não se ter observado um padrão de resposta da concentração foliar ao aumento da altitude. De acordo com os resultados

experimentais, verificou-se que a demanda de N, P e K é relativamente elevada já no estágio de expansão rápida do fruto, embora a fase de maior demanda tenha sido a de granação do fruto. Conclui-se que a altitude influenciou no acúmulo de N, P e K em frutos e na variação da variação dos nutrientes em folhas de cafeeiro.

Termos para indexação: Fisiologia vegetal; *Coffea arabica* L. nutrição mineral; temperatura;

ABSTRACT

ALLOCATION OF N, P, AND K IN LEAVES AND FRUITS OF COFFEE PLANT CULTIVATED IN FOUR DIFERENT ALTITUDES

The nutrient accumulation curves of coffee plant fruits during the reproductive period are important tools to estimate the nutritional needs of the culture, as well as to identify the most appropriate moments for fertilizers application. There was determined the allocation of dry matter (DM), N, P and K in fruits of arabic coffee plant in the period comprehended among the anthesis and the maturation in four altitudes, as well as, the variation of these contents in leaves of the productive branches. The experiment was constituted of the coffee plant variety (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivated at 720, 800, 880 and 950 m high, in the municipal district of Martins Soares - Minas Gerais State - Brazil. The experimental design was completely randomized with three repetitions using split-plot in time scheme. The altitude where the crop was located influenced in the reproductive cycle of the coffee plant, providing larger time for the formation of the fruits from trees located in higher areas. In the fast expansion stadium the percentage of accumulation of DM, N, P and K were larger in 720 m above the sea,

compared, mainly to the altitude of 950 m. The DMAR (daily maximum accumulation rate) at the hardening stadium presented tendency of being reached latter with the elevation of the altitude. In general, the altitude influenced the variation of the leave nutrient contents. Besides that there was not observed a standard pattern in that variation. In agreement with the experimental results, it was verified that the demand of N, P and K is already elevated in the stadium of fast expansion of the fruit, although the phase of larger demand has been the hardening phase.

Index terms: Plant physiology; *Coffea arabica* L.; Mineral nutrition; Temperature.

INTRODUÇÃO

Em geral, no Brasil o cafeeiro arábico vem sendo cultivado em regiões com altitudes que variam de 400 a 1.200 m (Matiello et al., 2005). As diferentes altitudes de cultivo provocam alterações morfológicas e fisiológicas que influenciam no ciclo vegetativo e reprodutivo da planta.

Em regiões de maior altitude o cafeeiro leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo. A influência da altitude no ciclo reprodutivo do cafeeiro está relacionada, principalmente, às temperaturas mais amenas. De acordo com Larcher (2004), a temperatura possui influência indireta sobre o crescimento e no curso de desenvolvimento (devido a seu efeito quantitativo sobre o suprimento de energia proveniente do metabolismo basal e sobre os processos biossintéticos) e efeito direto via processos regulatórios da planta. Sob menores temperaturas, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas.

Os frutos, durante o desenvolvimento, passam pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação (Rena et al., 2001; Rena & Maestri, 1985). Os estádios de formação dos frutos são bem definidos, porém, segundo Camargo (1998), estes podem adiantar ou atrasar em função do clima e da região, inclusive a altitude.

Na fase reprodutiva do cafeeiro, os frutos são os drenos preferenciais por carboidratos e nutrientes minerais, levando, muitas vezes, à carência de nutrientes em outros órgãos das plantas (Carvalho et al, 1993; Rena & Maestri, 1985). Carvalho et al. (2005) verificaram que cerca de 45% da matéria seca acumulada no final do ciclo reprodutivo estava nos frutos, evidenciando a força de dreno que os frutos exercem.

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante o período reprodutivo são importantes ferramentas para estimar as necessidades nutricionais da cultura, bem como identificar os momentos mais adequados para aplicação de fertilizantes (Ramirez et al., 2002).

O fornecimento de nutrientes minerais para o cafeeiro deve ser suficiente para suprir as demandas dos frutos, bem como, dos órgãos vegetativos. Desta forma, é importante que o suprimento de nutrientes, através das adubações, venha a anteceder os picos de acúmulo de nutrientes pelos frutos. Além disso, é possível, que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados em regiões de maiores altitudes seja mais tardio que em regiões de menores altitudes. Assim, as épocas e intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando em conta, o período de maior exigência da planta de cafeeiro em cada região.

O objetivo deste trabalho foi determinar a alocação de N, P e K em frutos e folhas de cafeeiro arábico da antese à maturação, em quatro altitudes de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de setembro de 2005 a julho de 2006, no Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC), localizado no município de Martins Soares, MG. O experimento foi constituído da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada em quatro altitudes (Tabela 1). Ressalta-se que as plantas referentes à altitude de 720 m (recepadas em 2002) apresentavam, na ocasião da implantação do experimento, o formato de copa semelhante às plantas das demais altitudes.

Tabela 1 – Caracterização das lavouras de cafeeiro Catuaí IAC 44 utilizadas no experimento

Tratamento (m)	Idade	Espaçamento	Produtividade (sc/ha)**
720	4 anos*	2,0 x 1,0 m	21
800	10 anos	2,0 x 1,0 m	41
880	10 anos	2,0 x 1,0 m	49
950	11 anos	1,7 x 0,7 m	34

* Lavoura recepada em 2002

** Uma saca pesa 60 kg de café beneficiado

Em agosto de 2005 foi realizada a análise química e física do solo de cada talhão da propriedade (Tabela 2) cujos resultados foram usados para se efetuar a correção de acidez do solo e o fornecimento de nutrientes minerais. O fornecimento de macronutrientes foi via solo, em função da fertilidade do solo e da carga pendente de frutos (Guimarães et al., 1999) (Tabela 3). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante de fertilizantes nitrogenados. Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais (19/10/2005, 22/12/2005 e 22/01/2006), utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, hidróxido de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g/L de cada adubo.

O esquema experimental utilizado foi de parcela subdividida no tempo, sendo 4 altitudes e 12 épocas de amostragem, em delineamento inteiramente ao acaso, com 3

repetições. Para cada altitude foram selecionadas três parcelas com 20 plantas dispostas em quatro fileiras.

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos solos da área experimental

Altitude (m)	MO	pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	dag/kg		mg/dm ³		cmol _c /dm ³			
720	3,58	6,1	27,0	132	4,2	0,9	0	4,29
800	3,58	5,9	18,9	195	4,6	0,8	0	5,45
880	3,20	5,0	21,1	117	2,2	0,3	0	7,43
950	4,61	5,2	7,5	116	2,4	0,3	0	8,25

Altitude (m)	CTC	S	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		mg/dm ³	%	mg/dm ³				
720	9,73	22,46	56	27,1	104,0	45,3	3,9	1,54
800	11,35	32,39	52	34,9	68,7	26,4	6,6	4,03
880	10,23	36,54	27	20,9	77,5	32,3	6,4	1,83
950	11,25	24,13	27	13,5	28,1	12,4	3,1	1,54

Altitude (m)	Análises Granulométricas (dag/kg)					Retenção de água (kg/kg) (equivalente de umidade)
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila	Classe Textural	
720	25	21	14	40	Argilo-Arenoso	0,273
800	37	19	6	38	Argilo-Arenoso	0,174
880	43	21	6	30	Franco-Argilo-Arenoso	0,182
950	40	17	10	33	Franco-Argilo-Arenoso	0,178

pH em H₂O = relação 1:2,5

CTC = Capacidade de troca de cátions

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu = Extrator Mehlich 1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1 mol/l

H + AL = Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/l, pH = 7

S = Fosfato monocálcico em ácido acético

As amostragens iniciaram-se em 11 de outubro de 2005, quando houve antese (florada principal), ocasião em que se coletaram folhas, sendo este considerado como tempo zero. A partir desta data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro: aos 34, 52, 65, 85, 100, 114, 134, 161, 190, 217, 239 e 266 dias após a antese (DAA). Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, de ramos pertencentes ao terço médio da planta e as folhas foram correspondentes aos 3º e 4º pares, contadas a partir do ápice, de ramos com frutos. Foram coletados 100 frutos/parcela nas quatro primeiras amostragens, 60 frutos/parcela entre a quinta e a oitava amostragem e 20 frutos/parcela nas amostragens seguintes. As folhas foram coletadas em um número fixo de 15 folhas/parcela durante todas as amostragens.

Tabela 3 – Adubação empregada no ano agrícola de 2005/2006

Altitude (m)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	kg/ha		
720	390	0	200
800	400	0	150
880	400	0	150
950	370	0	70

Durante o período reprodutivo foram registrados dados relativos às temperaturas mínimas e máximas, a umidade relativa (UR) entre 9 e 10 horas da manhã em intervalos de tempo semanais (Tabela 4) e o índice pluviométrico (Tabela 5).

O material vegetal coletado foi lavado em água desionizada e posto a secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingir peso constante, conforme, descrito por Jones Junior et. al (1991). Após este processo, os materiais vegetais foram pesados em balança de precisão, moídos em moinho tipo Wiley, de aço inoxidável, passados em peneira e acondicionados em embalagens de papel devidamente identificadas para realização das análises químicas.

Para determinação dos teores de N, P e K o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão sulfúrica (Jackson, 1958) e à nitroperclórica (Johnson e Ulrich, 1959). As amostras digeridas, oriundas da digestão sulfúrica foram utilizadas para a análise do teor de N, enquanto que as amostras processadas pela digestão nitroperclórica foram usadas para as análises dos teores de P e K. O N foi determinado de acordo com o método micro Kjeldahl descrito por Bremner (1965), o P foi determinado por redução do fosfmolibdato pela vitamina C, conforme descrito por Braga e Defelipo (1974) e o K por fotometria de emissão de chama.

O acúmulo dos nutrientes por fruto (mg/fruto) foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS do Fruto (mg)} \times \text{Concentração do Nutriente (dag/kg)}}{100}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo de N, P e K em frutos e a variação de nutrientes em folhas utilizaram-se modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros e polinomiais. A escolha dos modelos não-lineares foi de acordo com a porcentagem da variância explicada (R^2) e melhor representação do fenômeno. As regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros são:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = Ponto máximo da curva
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão

$$\hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = $y_{\max} - y_{\min}$
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão
 y_0 = Ponto de mínimo da curva

Como o fruto de cafeeiro apresenta um modelo de crescimento seguindo uma dupla curva sigmoideal, ajustaram-se dois modelos para representar o acúmulo de MS e nutrientes em frutos durante o período reprodutivo.

O ponto de inflexão foi correspondente ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo de matéria seca e nutrientes em frutos. A taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, mg/dia) foi determinada pelo acúmulo de matéria seca e nutrientes no ponto de inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

O ponto de curvatura mínima (PC_{\min}) e máxima (PC_{\max}) foi calculado conforme método citado por Venegas et al. (1998) utilizando os parâmetros das equações não lineares:

$$PC_{\min} = x_0 - 2b$$

$$PC_{\max} = x_0 + 2b$$

O PC_{\min} indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos expressivos no acúmulo nutrientes. Já o PC_{\max} indica o momento em que o acúmulo dos nutrientes começa a se estabilizar.

O acúmulo relativo (AR_e) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo acúmulo em cada estágio de formação do fruto, sendo os valores em porcentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$AR_e = A_F - A_I$$

AR_e = Acúmulo relativo no estágio de formação do fruto
 A_F e A_I = Acúmulo no final e início do estágio

$$\% = \frac{AR_e}{AT} * 100$$

AT = Acúmulo alcançado aos 266 DAA

Calculou-se a diferença das concentrações foliares no início do ciclo reprodutivo, na época da floração (C_F), em relação às concentrações foliares de N, P e K nos respectivos momentos de ocorrência da TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação (C_G). Este gradiente de concentração indica se houve competição fruto/folha pelo acúmulo de NPK nos momentos de maior exigência nutricional da cultura.

Tabela 4 – Médias das temperaturas médias, mínimas e máximas e umidade relativa (UR) ocorridas durante o período reprodutivo do cafeeiro em quatro altitudes.

Temperaturas	Altitudes (m)			
	720	800	880	950
Temp. Mínima Média (°C)	16,22	17,28	18,94	17,33
Temp. Máxima Média (°C)	30,22	29,89	29,50	26,94
Umidade Relativa (%)	73,33	77,50	65,67	81,50

Tabela 5 – Índice pluviométrico mensal durante o ano agrícola 2005/06 em Martins Soares (MG)

Ano 2005					Ano 2006						
Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
12,0	168,4	59,3	353,5	278,2	7,0	131,0	256,5	121,8	31,0	8,0	13,8

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral nas condições de Martins Soares (MG), o ciclo reprodutivo do cafeeiro teve duração total de 266 dias após antese (DAA), tendo a floração principal ocorrido no dia 11/10/2005 e a colheita no dia 04/07/2006. A duração do ciclo pode ser considerada longa quando comparada à observada por Laviola et al. (2007) em Viçosa, a qual foi de 224 dias. É possível que fatores climáticos sejam responsáveis pela diferença entre o ciclo reprodutivo nas duas localidades.

Os frutos, durante sua formação, passaram por cinco estádios distintos seguindo um modelo de crescimento sigmoidal duplo (Coombe, 1976), coincidindo com o reportado por Cannel (1971) e Rena et al., (2001). No Brasil esses estádios se denominam chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação (Figura 1; Tabela 6 e 7).

No estágio de chumbinho, que se inicia após a floração, os frutos começam seu crescimento por divisão celular (Rena et al., 2001; Leon & Fournier, 1962), no qual se observa um pequeno aumento em tamanho e ganho de matéria seca (Figura 1; Tabela 6). O estágio de chumbinho apresentou duração variando entre 61 e 66 DAA (11 a 16/12/2005) (Tabela 7), não se verificando efeito da altitude na extensão deste estágio.

O estágio de expansão rápida do fruto apresentou tendência de ser menos extenso à medida que a altitude diminuiu, com exceção para altitude de 720 m em que não foi possível identificar de forma visível o fim deste estágio (Figura 1, Tabela 6 e 7). Na altitude de 800 m o estágio de expansão rápida ocorreu entre 67 e 100 DAA (17/12/2005 a 19/01/2006) enquanto a 950 m o mesmo estágio foi entre 61 e 98 DAA (11/12/2005 a 17/01/2006) (Tabela 7). O aumento de matéria seca no estágio de expansão rápida esta relacionado, principalmente, à expansão celular, com deposição de

material de parede (Coombe, 1976), sendo o fluxo de água para os frutos, essencial para este processo (Marenco & Lopes, 2005).

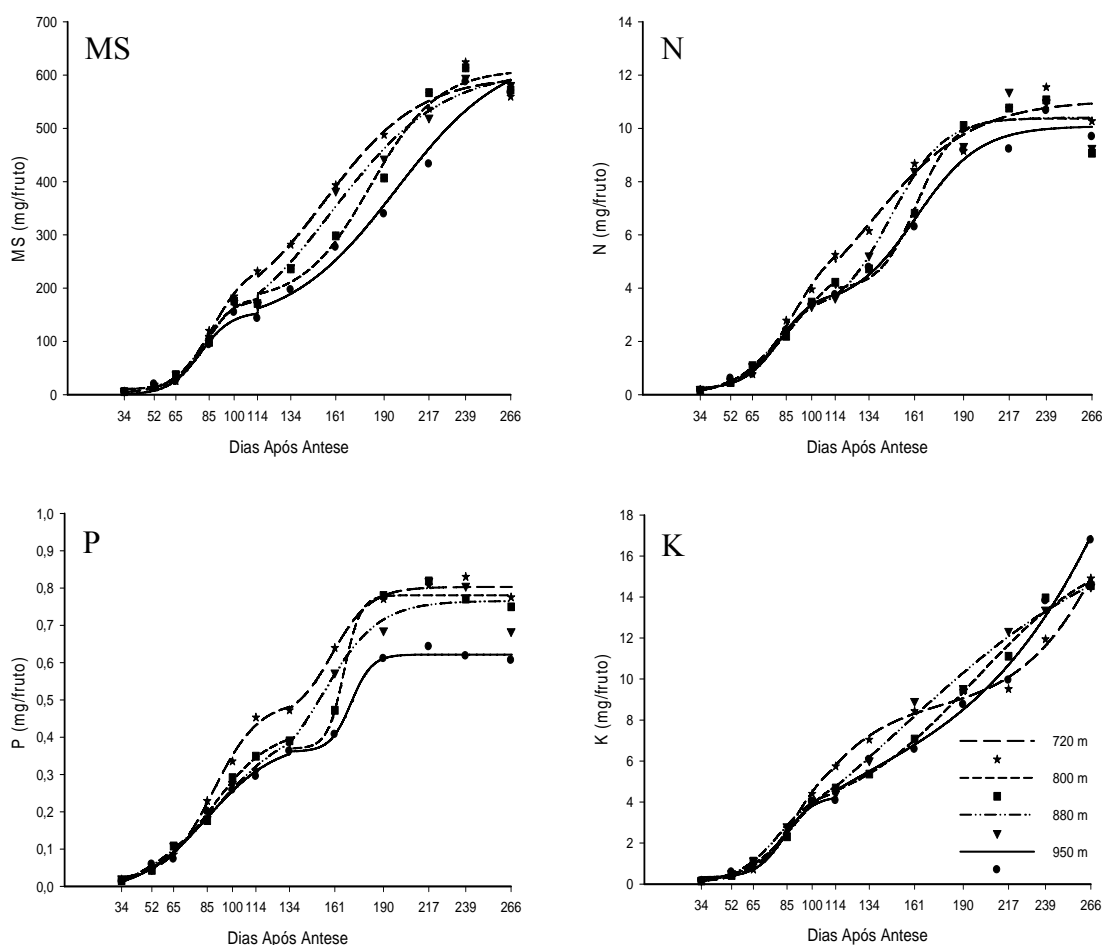


Figura 1 – Acúmulo de MS , N , P e K em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes

O estágio de crescimento suspenso apresentou maior duração à medida que se foi aumentando a altitude (Figura 1, Tabela 6 e 7). É possível que a desaceleração de crescimento neste estágio esteja relacionada à reciclagem e síntese de enzimas e compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2004), antes empregados na síntese de polímeros de parede, para serem utilizados como precursores na síntese de compostos de reservas no estágio de granação. Na menor altitude é provável que os frutos tenham apresentado maiores taxas metabólicas, estimuladas por maiores temperaturas máximas (Tabela 4), realizando os processos de síntese em menor espaço de tempo.

Tabela 6 - Equações de regressão do acúmulo de MS e N, P e K em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a atese

Variável	Altitude (m)	Período	Modelo	R ² (%)	
MS	720	34 - 114	$\hat{y} = 3,0983+246,5243/(1+\exp(-(x-87,2082)/11,1720))$	99,7	
		100 - 266	$\hat{y} = 131,5992+466,9270/(1+\exp(-(x-154,5708)/28,4426))$	98,0	
	800	34 - 114	$\hat{y} = 10,1586+174,0190/(1+\exp(-(x-83,1578)/8,6302))$	98,6	
		100 - 266	$\hat{y} = 173,9505+436,6964/(1+\exp(-(x-181,8763)/20,2356))$	98,2	
	880	34 - 114	$\hat{y} = 9,5054+170,4282/(1+\exp(-(x-81,2099)/8,9412))$	99,1	
		100 - 266	$\hat{y} = 80,5608+530,4816/(1+\exp(-(x-159,0731)/32,9222))$	98,6	
	950	34 - 114	$\hat{y} = 156,1461/(1+\exp(-(x-79,7382)/9,3653))$	97,7	
		100 - 266	$\hat{y} = 124,7881+521,8913/(1+\exp(-(x-197,4214)/32,4306))$	97,4	
	N	720	34 - 114	$\hat{y} = 0,04432+6,12615/(1+\exp(-(x-90,0043)/14,4775))$	99,4
			100 - 266	$\hat{y} = 1,84864+9,20705/(1+\exp(-(x-134,5159)/30,5242))$	96,6
800		34 - 114	$\hat{y} = -0,05345+5,35910/(1+\exp(-(x-89,5334)/17,4935))$	99,8	
		100 - 266	$\hat{y} = 3,91535+6,45218/(1+\exp(-(x-162,0779)/11,0483))$	95,8	
880		34 - 114	$\hat{y} = 0,11523+3,76387/(1+\exp(-(x-79,07)/12,6209))$	99,9	
		100 - 266	$\hat{y} = 2,86071+7,54807/(1+\exp(-(x-146,4310)/15,8966))$	95,5	
950		34 - 114	$\hat{y} = 0,20569+3,69928/(1+\exp(-(x-81,2527)/10,5884))$	99,5	
		100 - 266	$\hat{y} = 3,23268+6,85262/(1+\exp(-(x-161,8099)/18,8719))$	98,0	
P		720	34 - 114	$\hat{y} = 0,01539+0,48267/(1+\exp(-(x-88,6941)/13,6783))$	99,6
			114 - 266	$\hat{y} = 0,44156+0,36145/(1+\exp(-(x-159,2629)/11,5562))$	98,8
	800	34 - 134	$\hat{y} = -0,00215+0,42546/(1+\exp(-(x-87,5777)/17,7065))$	99,4	
		114 - 266	$\hat{y} = 0,36938+0,41149/(1+\exp(-(x-166,4192)/4,9526))$	98,6	
	880	34 - 114	$\hat{y} = -0,02699+0,47934/(1+\exp(-(x-90,0677)/24,4373))$	99,4	
		114 - 266	$\hat{y} = 0,27303+0,49254/(1+\exp(-(x-154,1664)/2,7303))$	94,2	
	950	34 - 134	$\hat{y} = -0,01902+0,40905/(1+\exp(-(x-85,227)/20,6244))$	99,0	
		134 - 266	$\hat{y} = 0,36124+0,26054/(1+\exp(-(x-170,6349)/6,2003))$	99,0	
	K	720	34 - 114	$\hat{y} = 0,07840+6,51407/(1+\exp(-(x-90,6592)/12,6202))$	99,8
			100 - 266	$\hat{y} = -26,40545+0,54726x-0,00296x^2+0,000005588x^3$	99,2
800		34 - 114	$\hat{y} = 0,05967+5,46452/(1+\exp(-(x-88,2105)/14,28285))$	99,5	
		100 - 266	$\hat{y} = 3,05092+13,718/(1+\exp(-(x-196,2295)/39,3032))$	99,3	
880		34 - 114	$\hat{y} = 0,09335+4,62817/(1+\exp(-(x-80,1946)/12,2093))$	99,9	
		100 - 266	$\hat{y} = -2,77801+20,70348/(1+\exp(x-152,6756)/69,0745))$	98,8	
950		34 - 114	$\hat{y} = 0,32359+3,9733/(1+\exp(-(x-83,5546)/8,4002))$	99,0	
		100 - 266	$\hat{y} = -5,88694+0,1643x-0,00089x^2+0,000002252x^3$	98,7	

O estágio de granação compreendeu de 114 DAA (02/02/2006) até 211 DAA (10/05/2006) na altitude de 720 m e até 262 DAA (30/06/2006) na altitude de 950 m. Assim, o ciclo reprodutivo do cafeeiro foi maior com o aumento da altitude. É provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Tabela 4) tenham influenciado nas

reações enzimáticas e no transporte de fotoassimilados (Larcher, 2000), ampliando o tempo de formação do fruto de cafeeiro. O estágio de granação se caracteriza por deposição de substâncias de reserva, principalmente nas sementes as quais alcançam sua matéria seca final enquanto os frutos estão ainda verdes (Rena et al., 2001; Astolfi et al., 1981).

Tabela 7 – Delimitação dos estádios de formação do fruto de cafeeiro (DAA) durante o período reprodutivo com base nas curvas de acúmulo de matéria seca em frutos. Os valores entre parênteses representam à duração (dias) dos estádios

Altitude (m)	Chumbinho	Exp. Rápida	Cresc. Susp.	Granação	Maturação*
720	0-65 (65)	65-109 (44)	109-114 (5)	114-211 (97)	211-266 (55)
800	0-67 (67)	67-100 (33)	100-114 (14)	114-222 (108)	222-266 (44)
880	0-63 (63)	63-99 (36)	99-114 (15)	114-224 (110)	224-266 (42)
950	0-61 (61)	61-98 (37)	98-114 (17)	114-262 (148)	262-266 (4)

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

** Os valores entre parênteses representam à duração (dias) dos estádios.

Após o estágio de granação iniciou-se o estágio de maturação, que se caracteriza, principalmente, pelo aumento do teor de açúcares e por mudanças na coloração da casca do fruto (Rena et al., 2001; Puschmann, 1975). Apesar de na Tabela 7 o estágio de maturação ter ido até 266 DAA (época da última amostragem), na altitude de 720 m a mudança na coloração da casca do fruto de verde para vermelho ocorreu visualmente em menor tempo.

As curvas de acúmulo de N, P e K em frutos de cafeeiro (Figura 1) seguiram o mesmo padrão da curva de acúmulo de MS em frutos (Figura 1), apresentando incrementos significativos de acúmulo nos estádios de expansão rápida e de granação, sendo maior neste último.

De modo geral, no estágio de expansão rápida, a TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) de MS, N, P e K foi maior na altitude de 720 m comparativamente as demais altitudes (Tabela 8). A TMAD de MS, N, P e K no estágio de expansão rápida perdurou entre 79 e 90 DAA (29/12/2005 a 09/01/2006), havendo tendência de ser

atingida mais tardiamente na altitude de 720 m, quando comparado, principalmente a altitude de 950 m. A maior TMAD observada na altitude de 720 m pode ter sido responsável pela tendência de maior intervalo de tempo decorrido para obtenção desse valor (Tabela8).

Tabela 8 – Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diária (TMAD, mg/fruto/dia) e ponto de curvatura mínima (PC_{min} , DAA) e máxima (PC_{max} , DAA) em quatro altitudes

Variável	Altitude (m)	Período	X_{TMAD}	TMAD	PC_{min}	PC_{max}	
MS	720	34 - 114	87	5,5110	65	109	
		100 - 266	154	4,1025	114	211	
	800	34 - 114	83	5,0323	67	100	
		100 - 266	182	5,3944	141	222	
	880	34 - 114	81	4,7844	63	99	
		100 - 266	159	4,0279	93	224	
	950	34 - 114	80	4,1665	61	98	
		100 - 266	197	4,0222	132	262	
	N	720	34 - 114	90	0,1057	61	114
			100 - 266	134	0,0753	114	196
800		34 - 114	89	0,0765	55	114	
		100 - 266	162	0,1458	140	184	
880		34 - 114	79	0,0745	54	104	
		100 - 266	146	0,1186	115	178	
950		34 - 114	81	0,0872	60	102	
		100 - 266	162	0,0907	124	200	
P		720	34 - 114	89	0,0088	61	114
			114 - 266	159	0,0078	136	182
	800	34 - 134	87	0,0060	52	134	
		114 - 266	166	0,0205	157	176	
	880	34 - 114	90	0,0049	41	114	
		114 - 266	154	0,0075	121	187	
	950	34 - 134	85	0,0049	44	126	
		134 - 266	171	0,0105	158	183	
	K	720	34 - 114	90	0,1287	65	114
			100 - 266	266	0,1576	114	266
800		34 - 114	88	0,0956	60	114	
		100 - 266	196	0,0872	118	266	
880		34 - 114	80	0,0947	56	105	
		100 - 266	152	0,0749	114	266	
950		34 - 114	83	0,1177	67	100	
		100 - 266	266	0,1660	114	266	

É provável que o acúmulo de nutrientes nos frutos no estágio de expansão ocorra por fluxo em massa decorrente das altas taxas de translocação de água para os frutos

neste estágio (Ramirez et al., 2002), necessária para expansão celular (Coombe, 1976; Taiz & Zeiger, 2004).

A TMAD nos estágio de granação apresentou tendência de ser alcançada mais precocemente a 720 m comparada à altitude de 950 m. A 720 m, a TMAD de N ocorreu aos 134 DAA (22/02/2006) enquanto a 950 m este ponto foi alcançado aos 162 DAA (22/03/2006). Para P, a TMAD a 720 m ocorreu aos 159 DAA (19/03/2006) enquanto que a 950 m de altitude a TMAD veio a ocorrer aos 171 DAA (31/03/2006). Estes seriam os momentos de maior requerimento nutricional da cultura, para estes nutrientes, no estágio de granação. Seria importante que a última parcela da adubação para suprir as demandas metabólicas da frutificação antecedesse estes momentos.

O ponto de curvatura mínima (PC_{min}) é o momento, em dias, em que se inicia a ascensão das taxas de acúmulo e o ponto de curvatura máxima (PC_{max}) é o momento em que o acúmulo de MS e nutrientes começa a se estabilizar. O PC_{min} é uma importante informação para se saber a partir de quando se inicia a translocação significativa de nutrientes para os frutos. Já o PC_{max} está relacionado ao momento em que a translocação de nutrientes para os frutos se reduz. O PC_{min} e a PC_{max} também foram utilizadas para delimitar os estágios de desenvolvimento dos frutos (Tabela 7) com base nas curvas de acúmulo de matéria seca (Figura 1, Tabela6).

Na primeira curva de crescimento sigmoidal não se observou efeito evidente da altitude sobre o PC_{min} e PC_{max} referentes ao acúmulo de nutrientes, apesar de se ter constatado que o PC_{max} ocorreu em menor tempo na altitude de 950 m (Tabela8).

O período compreendido entre a PC_{min} , no início do ciclo, e o PC_{max} no final do ciclo está relacionado ao período em que se devem fazer as práticas de adubações.

Embasado nos valores de PC_{min} (Tabela 8) no início do ciclo, pode-se inferir que o primeiro parcelamento da adubação para suprir as exigências frutificação deve-se

iniciar antes de 55 a 60 DAA (05/12 a 10/12/05) para N, de 41 a 61 DAA (21/11 a 11/12/05) para P e de 56 a 67 DAA (06/12 a 17/12/2005) para K.

Na segunda curva de crescimento sigmoidal o acúmulo de N e P nos frutos estabilizou antes do acúmulo de MS, não se observando efeito da altitude na estabilização do acúmulo (PC_{max}) de N e P em frutos de cafeeiro no final do ciclo. É provável que outros fatores fisiológicos e climáticos (principalmente temperatura máxima, Tabela 4) tenham influenciado na absorção e partição de nutrientes para os frutos de cafeeiro. De modo geral, o acúmulo de N se estabilizou entre 178 e 200 DAA (07 a 29/04/2006) e de P entre 176 e 187 DAA (05 a 16/04/2006).

Quanto ao K, não houve paralisação em sua translocação para os frutos até a maturação (Figura 1 e Tabela 7). O K é um nutriente de alta mobilidade (Marschner, 1995), e mesmo que as condições ambientais não favoreçam sua absorção do solo, este pode ser remobilizado dentro da planta durante todo o ciclo do cafeeiro. Além disso, o K é um nutriente requerido na ativação de diversas enzimas que são essenciais na síntese de compostos orgânicos, incluindo açúcares solúveis (Marenco & Lopes, 2005; Marschner, 1995), cuja síntese aumenta com a maturação dos frutos.

Apesar de não se ter observado efeito da altitude no período de consumo de nutrientes pelos frutos (entre PC_{min} e PC_{max}), pode-se observar, na Tabela 9, que a altitude influenciou na proporção de consumo dos nutrientes nos estádios de formação dos frutos.

De modo geral, pode-se verificar que houve maior acúmulo relativo (AR_e) de MS e N, P e K no estágio expansão rápida a 720 m quando comparado ao que ocorreu a 950 m de altitude (Tabela 9). Por outro lado, no estágio de granação, observou-se maior proporção no acúmulo de nutrientes a 950 m comparado a 720 m de altitude. Desta forma, observa-se que parece haver uma compensação no acúmulo de nutrientes entre

os dois estádios. Se no estádio de expansão o acúmulo é mais acelerado, no estádio de granação o acúmulo será em menor velocidade e vice-versa. Com estes resultados pode se inferir que o acúmulo de nutrientes em frutos é mais precoce em menores altitudes. As práticas de adubação em regiões de baixa altitude devem fornecer maior proporção de nutrientes nas primeiras adubações comparada a regiões de altitudes mais elevadas, embora as condições de disponibilidade hídrica devam ser consideradas.

Tabela 9 – Acúmulo relativo (AR_e, mg/fruto) de acordo com o estádio de formação do fruto de cafeeiro em quatro altitudes

Variável	Altitude (m)	Chumbinho		Exp Rápida		Cresc. Susp		Granação		Maturação*	
		AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%
MS	720	32,8	5,56	186,3	31,58	10,15	1,72	312,9	53,1	47,34	8,03
	800	33,35	5,52	129,2	21,39	16,9	2,8	378,4	62,65	46,12	7,64
	880	29,17	4,93	130,3	22,03	16,25	2,75	370,5	62,68	44,96	7,61
	950	18,6	3,15	118,1	20	15,52	2,63	431,8	73,12	6,491	1,1
N	720	0,969	8,86	3,902	35,69	0,319	2,92	5,171	47,3	0,572	5,24
	800	1,105	10,66	2,229	22,18	0,84	8,1	6,095	58,79	0,028	0,27
	880	0,938	9,02	2,297	22,08	0,421	4,05	6,695	64,35	0,053	0,51
	950	0,682	6,78	2,592	25,77	0,47	4,68	6,308	62,71	0,006	0,06
P	720	0,088	10,95	0,321	39,97	0,024	2,94	0,367	45,65	0,004	0,5
	800	0,099	12,71	0,183	23,44	0,063	8,06	0,436	55,79	0	0
	880	0,092	12,03	0,164	21,43	0,065	8,56	0,437	57,14	0,006	0,83
	950	0,078	12,47	0,169	27,24	0,062	9,96	0,313	50,32	0	0
K	720	0,833	5,57	4,526	30,29	0,349	2,33	4,097	27,41	5,141	34,4
	800	1,069	7,23	2,791	18,88	0,893	6,04	7,329	49,58	2,7	18,27
	880	1,003	6,89	2,902	19,93	0,544	3,73	8,041	55,21	2,075	14,24
	950	0,577	3,4	3,166	18,36	0,5	2,95	12,12	71,43	0,653	3,85

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

A influência da altitude de cultivo do cafeeiro no acúmulo de nutrientes em frutos é mais evidente quando de compara com o acúmulo de N, P e K em Viçosa-MG a 651 m de altitude (Capítulo I) com os resultados obtidos neste trabalho em Martins Soares-MG. Verificou-se que em Viçosa o acúmulo de nutrientes nos frutos foi mais precoce que na menor altitude em Martins Soares. Em Martins Soares os maiores acúmulos relativos (AR_e) foram observados no estádio de granação, enquanto que a 651

m de altitude em Viçosa, os maiores AR_e foram observados no estágio de expansão rápida do fruto.

O efeito da altitude no desenvolvimento dos frutos e no acúmulo de nutrientes está relacionado, principalmente, às ocorrências de maiores temperaturas máximas à medida que se diminui a altitude. Na Tabela 4 pode-se observar que a temperatura máxima média foi menor à medida que se aumentou a altitude de cultivo. De acordo com Camargo (1985), temperaturas acima de 23 °C levam ao aceleração da maturação dos frutos.

O amadurecimento dos frutos em temperaturas menores é retardado pelo fato das plantas requererem maior temperatura para este processo do que o necessário para o crescimento das partes vegetativas da planta (Larcher, 2004). Além de influenciar nos processos de amadurecimento, a temperatura também pode alterar a taxa de transporte de nutrientes, assim como, a partição de fotoassimilados no floema. Segundo Taiz & Zeiger (2004) o resfriamento de um tecido-dreno inibe as atividades que necessitam de energia metabólica e resulta na diminuição da velocidade do transporte em direção ao dreno. De acordo com Rena & Maestri (1985), a temperatura ótima para assimilação de CO_2 pelo cafeeiro varia de 20 a 30° C, dependendo da temperatura em que as plantas foram aclimatadas nos dias anteriores.

A taxa de absorção de íons minerais da solução do solo pelas raízes é menor em temperaturas menores. A elevação da temperatura aumenta a velocidade de difusão e de fluxo em massa de íons para as raízes, a penetração de íons no espaço livre aparente via apoplasto, estimula a absorção e o acúmulo de íons nas células das raízes e favorece o transporte nos condutos do xilema. Além disso, o aumento da temperatura acelera a atividade respiratória da planta, incrementa o metabolismo nas raízes e a produção de

ATP, liberando energia, que é utilizada de diversos modos para a absorção de íons (Marenco & Lopes, 2005).

Apesar de a temperatura ser um dos principais fatores a influenciar na fisiologia da planta, outros fatores, como a disponibilidade hídrica podem também ter influenciado na absorção e distribuição de nutrientes na planta, bem como, no desenvolvimento dos frutos. O solo na altitude de 720 m apresenta maior capacidade de retenção de água em relação ao solo das outras altitudes (Tabela 2). Como em janeiro de 2005 o índice pluviométrico foi de apenas 7 mm (Tabela 5), o solo a 720 m pode ter se mantido na capacidade de campo por maior espaço de tempo em relação ao solo das demais altitudes.

De modo geral, não se observou um padrão de resposta da variação na concentração de N, P e K nas folhas no 3º e 4º pares à mudança de altitude (Figura 2; Tabela 10). Na altitude de 720 m as concentrações foliares de N e K foram maiores que nas demais altitudes. É possível que na altitude de 720 m as maiores temperaturas (Tabela 4) tenham contribuído para uma maior taxa de absorção destes nutrientes nesta altitude (Marenco & Lopes, 2005). Além disso, na altitude de 720 m foi observada menor produtividade em relação às demais altitudes (Tabela 1), assim, pode ter havido menor remobilização destes nutrientes das folhas para os frutos.

Pode-se observar que após a estabilização no acúmulo de N e P (Figura 1) ocorreu redução na concentração foliar destes nutrientes (Figura 2). Por outro lado, o acúmulo de K nos frutos (Figura 1) perdurou até a última amostragem, sendo observado também aumento nas concentrações foliares deste elemento na mesma época (Figura 2). É possível que algum sinalizador possa atuar junto aos sistemas de transportes presentes no sistema radicular estimulando a absorção de certo nutriente (Epstein & Bloom,

2006). Estes sinalizadores podem ser fitormônios, pH da seiva do xilema ou mesmo nutrientes minerais (Epstein & Bloom, 2006; Sentenac & Grignon, 1985).

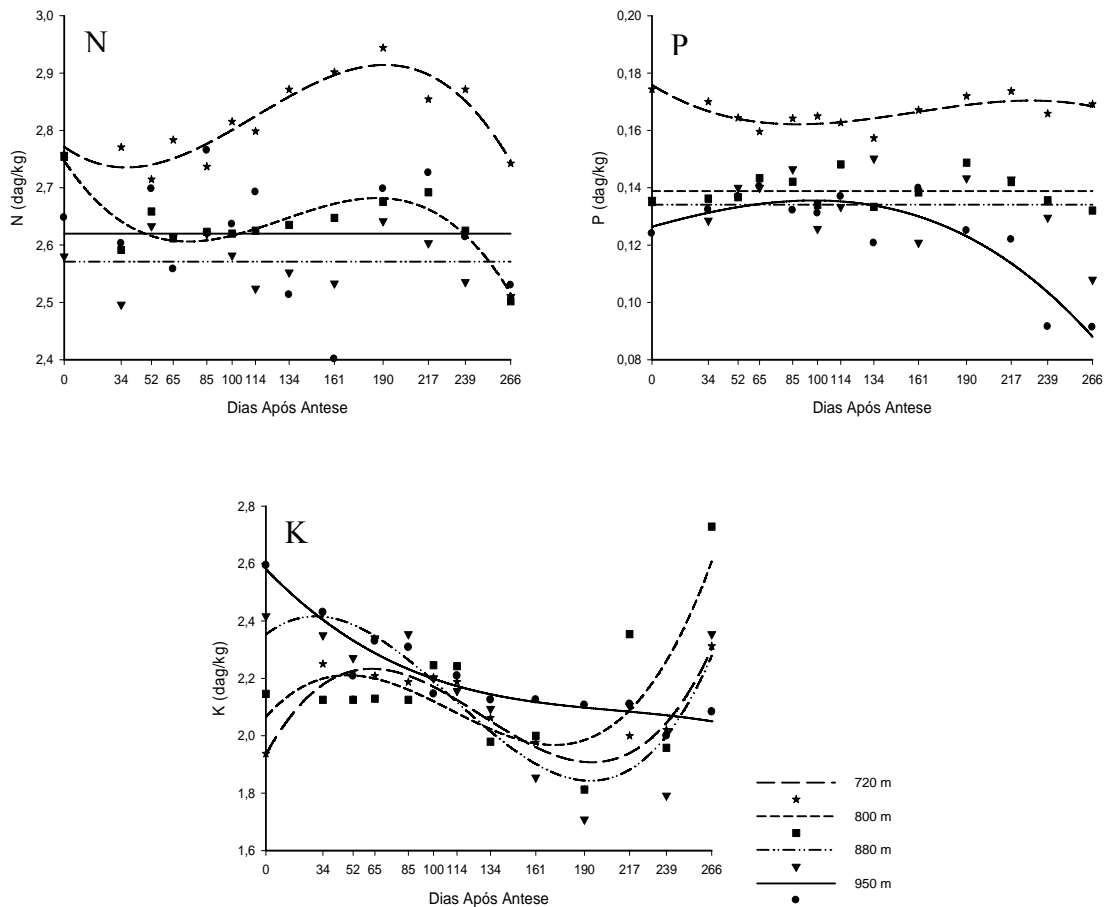


Figura 2 – Variação na concentração de N, P e K em folhas de café em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes

Na Tabela 11 pode-se observar as concentrações foliares de macronutrientes em ramos produtivos na floração (início do período reprodutivo) comparado às concentrações foliares de macronutrientes nos respectivos momentos da taxa máxima de acúmulo diário (TMAD) para os frutos nos estádios de rápida expansão e granação. Assim como verificado na Figura 2, não foi possível observar um padrão de efeito da altitude sobre as variações nas concentrações foliares comparadas ao início do ciclo reprodutivo.

Tabela 10 - Equações de regressão da variação nas concentrações de N, P e K em folhas de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes, ponto de mínimo (X_{\min} , dias) e máximo (X_{\max} , dias)

Variável	Altitude (m)	Modelo	R ² (%)	X _{min}	X _{max}
N	720	$\hat{y} = 2,771 - 0,00208x + 0,0000335x^2 - 0,0000000980x^3$	85,1	37	191
	800	$\hat{y} = 2,746 - 0,00438x + 0,0000414x^2 - 0,000000106x^3$	83,7	266	0
	880	$\hat{y} = \bar{y} = 2,571$	---	---	---
	950	$\hat{y} = \bar{y} = 2,621$	---	---	---
P	720	$\hat{y} = 0,175 - 0,000356x + 0,00000280x^2 - 0,0000000590x^3$	61,1	88	0
	800	$\hat{y} = \bar{y} = 0,138$	---	---	---
	880	$\hat{y} = \bar{y} = 0,134$	---	---	---
	950	$\hat{y} = 0,126 + 0,000161x - 0,000000423x^2 - 0,0000000272x^3$	81,4	266	98
K	720	$\hat{y} = 1,935 + 0,0105x - 0,000111x^2 + 0,000000287x^3$	85,7	190	266
	800	$\hat{y} = 2,065 + 0,00655x - 0,0000861x^2 + 0,000000259x^3$	53,7	172	266
	880	$\hat{y} = 2,353 + 0,00448x - 0,0000872x^2 + 0,000000260x^3$	76,3	193	30
	950	$\hat{y} = 2,580 - 0,00604x + 0,0000265x^2 - 0,0000000424x^3$	89,0	266	0

De modo geral, observou-se aumento nas concentrações foliares de N e K na altitude de 720 m em relação ao início do ciclo (Tabela 11). Isto indica que o suprimento no solo e a taxa de absorção de N e K pelas raízes nesta altitude foram suficientes para suprir as demandas dos frutos e das folhas. Além disso, na altitude de 720 m a produtividade foi menor, o que resultou em menor extração de nutrientes pelos frutos (Tabela 2). Já para P, nesta mesma altitude, não foram observadas variações de grande magnitude nas concentrações foliares comparado ao início do período reprodutivo. Para K, com exceção na altitude de 950 m, observou-se uma tendência de haver maior competição folha/fruto pelo nutriente no estágio de granação nos momentos das TMAD nos frutos. Isto indica que é no estágio de granação o período mais crítico em relação à nutrição com K ao cafeeiro.

Tabela 11 - Concentrações foliares de macronutrientes na floração (C_F) comparada às concentrações foliares no momento da TMAD dos elementos para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação (C_G) em quatro altitudes

Variável	Altitude (m)	Florada (dag kg ⁻¹)	Crescimento Rápido		Granação	
			dag kg ⁻¹	$C_{ER} - C_F$	dag kg ⁻¹	$C_G - C_F$
N	720	2,771	2,784	+0,013	2,858	+0,087
	800	2,746	2,609	-0,137	2,672	-0,073
	880	2,571	2,571	0	2,571	0
	950	2,621	2,621	0	2,621	0
P	720	0,175	0,162	-0,012	0,166	-0,008
	800	0,138	0,138	0	0,138	0
	880	0,134	0,134	0	0,134	0
	950	0,126	0,135	+0,009	0,127	+0,001
K	720	1,935	2,198	+0,263	2,303	+0,368
	800	2,065	2,153	+0,088	1,999	-0,066
	880	2,353	2,287	-0,066	1,935	-0,418
	950	2,580	2,237	-0,066	2,050	-0,530

CONCLUSÕES

1. A altitude influenciou na extensão do ciclo reprodutivo do cafeeiro, bem como no acúmulo de N, P e K em frutos.
2. Houve tendência da TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) no estágio de granação ser alcançada mais tarde com elevação da altitude.
3. Independentemente da altitude, os maiores acúmulos relativos de acúmulo de MS, N, P e K foram observados no estágio de granação do fruto.
4. Na menor altitude o acúmulo de N, P e K em frutos apresentou-se mais precoce.
5. De modo geral, a altitude influenciou na variação das concentrações foliares de N, P e K, apesar de não se ter observado um padrão de resposta da concentração foliar ao aumento da altitude.
6. Nas condições experimentais, a adubação do cafeeiro com N, P e K deve começar tão logo se inicie o estágio de expansão rápida do fruto, porém, em menor proporção comparada ao estágio de granação do fruto.

REFERÊNCIAS

ASTOLFI, P.T.; PEDROSO, P.A.C.; CARVALHO, N.M.; SADER, R. Maturação de sementes de café (*Coffea arabica* L. cv. Mundo Novo). **Científica**, v.9, p.289-294, 1981.

BRAGA, J.M.; DEFELIPO, B.V. Determinação espectrofotométrica de P em extratos de solo e material vegetal. **Revista Ceres**, v.21, n.113, p.73-85, 1974.

BREMNER, J.M. Total nitrogen. In: BLACK, C.A., ed. **Methods of soil analysis**. Madison: American Society of Agronomy, 1965. p.1149-1178.

CAMARGO, A.P. O clima e a cafeicultura no Brasil. **Informe Agropecuário**, v.11, p.13-26, 1985.

CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. p.41-42.

CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. PartIV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. **Kenya Coffee**, v.36, p.175-180, 1971.

CARVALHO, C.H.S. de; RENA, A.B.; PEREIRA, A.A.; CORDEIRO, A.T. Relação entre produção, teores de N, P, Ca, Mg, amido e seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28, n.6, p.665-673, 1993.

CARVALHO, C.H.S.; ALMEIDA, G.R.R.; MENDONÇA, J.M.A.; GARCIA, A.L.A.; SOUZA, T. Partição de matéria seca em cinco genótipos de café durante a época de formação dos frutos. Congresso Brasileiro de Pesquisas Cafeeiras. **Anais...** Guarapari-ES: 31, 2005, p.67-68.

COOMBE, B.G. The development of fleshy fruits. **Annual Review Plant Physiology**, v.27, p.507-28, 1976.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora planta, 2006. 401p.

GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, 1999. p.289-302.

JACSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1958. 498p.

JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, v.766, 1959. p.32-33.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004, 531p.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B. de; ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.319-329, 2007.

LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**, v.12, p.65-74, 1962.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York, Academic Press, 1995. 889p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA /PROCAFE, 2005. 438p.

PUSCHMANN, R. **Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação**. 1975, 35p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrientes por los frutos y bandolas de café Caturra durante um ciclo de desarrollo y maduración en AQUIARES, Turrialba, Costa Rica. **Agronomía Costarricense**, v.26, n.1, p.33-42, 2002.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuario**, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p.101-128.

SENTENAC, H. & GRIGNON, C. Effect of pH on Orthophosphate Uptake by Corn Roots. **Plant Physiology**, v.77, p.136-141, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S.; SIMON, B.A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **The American Physiological Society**, p.389-395, 1998.

ALOCAÇÃO DE Ca, Mg E S EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEIEIRO CULTIVADO EM QUATRO ALTITUDES

RESUMO

Conhecer a dinâmica de nutrientes minerais em cafeeiro permite identificar o período de maior exigência nutricional da planta e assim, melhorar a eficiência das práticas de adubação. Determinou-se a alocação de MS, Ca, Mg e S em frutos e folhas de cafeeiro, da antese à maturação, em quatro altitudes. O experimento foi constituído da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada a 720, 800, 880 e 950 m de altitude, no município de Martins Soares-MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 3 repetições, usando um esquema de parcela subdividida no tempo. O aumento da altitude influenciou no ciclo reprodutivo do cafeeiro, demandando maior tempo para formação dos frutos. No estágio de expansão rápida o acúmulo relativo de MS, Ca, Mg e S foram maiores na altitude de 720 m, comparado, principalmente à altitude de 950 m. A TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) no estágio de granação apresentou tendência de ser mais tardia com elevação da altitude. O consumo de nutrientes pelos frutos, assim como, o enchimento de grãos é mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar estes processos em menor espaço de tempo. De modo geral, na altitude de 720 m ocorreu maior competição fruto/folha pela partição de Ca, Mg e S.

Termos para indexação: Fisiologia vegetal; Nutrição mineral; Temperatura;

ABSTRACT

ALLOCATION OF Ca, Mg AND S IN FRUITS AND LEAVES OF COFFEE PLANT CULTIVATED IN FOUR ALTITUDES

Knowing the dynamics of mineral nutrients in coffee plant allows to identify the period of larger nutritional demand of the plant and to improve the efficiency of the fertilization practices. There was determined the allocation of dry matter (DM), Ca, Mg and S in fruits of arabic coffee plant during the period comprehended among the anthesis and maturation in four altitudes, as well as, the variation in the content of the elements in leaves of these productive branches. The experiment was constituted of the coffee plant variety (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivated to 720, 800, 880 and 950 m above the sea level in Martins Soares - Minas Gerais State - Brazil. The experimental design was completely randomized with 3 repetitions using split-plot in time scheme. The altitude where the crop was located influenced the reproductive cycle of the coffee plant, providing larger time for fruits formation in higher areas. In the fast expansion stadium the percentages of accumulation of DM and Ca, Mg and S were larger for crop located at 720 m high, than the percentages verified for the crop located at 950 m. The DMAR (daily maximum accumulation rate) at the hardening stadium presented tendency of being later in areas of higher altitude. The accumulation of nutrients for the fruits, as well as, the filling of grains is more critical in conditions of low altitude, since the plant needs to complete these processes in smaller space of time.

In general, in the high of 720 m above the sea, it happened larger competition fruit/leaf for the partition of Ca, Mg and S.

Index terms: Plant physiology; Mineral nutrition; Temperature.

INTRODUÇÃO

O cafeeiro é uma planta que leva dois anos para completar o ciclo fenológico. No primeiro ano fenológico, durante os meses de dias longos, ocorre a formação do corpo vegetativo da planta, com gemas axilares que poderão ser vegetativas ou reprodutivas, dependendo do estímulo (Rena & Maestri, 1985; Gouveia, 1984). O segundo ano fenológico do cafeeiro inicia-se com a floração, após um choque hídrico nas gemas florais. Após a fecundação da flor, inicia-se o período de desenvolvimento do fruto, entre os meses de setembro a julho, passando pelos estádios de chumbinho, expansão rápida, granação e maturação (Rena et al., 2001; Camargo & Camargo, 2001). As fases fenológicas do cafeeiro são bem definidas, porém, segundo Camargo (1998), estas podem adiantar ou atrasar em função do clima e da região, inclusive da altitude.

O crescimento do fruto do café em tamanho e matéria fresca segue modelo padrão de sigmóide dupla, embora modelo sigmóide simples já tenha sido relatado (Rena & Maestri, 1985). Laviola et al. (2007) verificaram forte acúmulo de matéria seca no fruto nos estádios de expansão rápida e granação, sendo que neste último estágio, o acúmulo de matéria seca pelo fruto perdurou até o momento da colheita.

Durante a formação do fruto do cafeeiro e nos diversos estádios de desenvolvimento, há variações na concentração e na quantidade dos nutrientes acumulados, assim como variação na produção de matéria seca. De acordo com Moraes & Catani (1964) o consumo de nutrientes e acúmulo de matéria seca são intensificados a

partir do quarto mês após a floração. Segundo Matiello et al. (2005), a quantidade de nutrientes exigida na fase de florada e chumbinho é pequena, aumentando, significativamente, a partir das passagens dos frutos para os estádios de expansão rápida e granação. Cerca de 73 % do crescimento vegetativo ocorre de outubro a abril, sendo o consumo de nutrientes para a frutificação também concentrado nesse período (mais de 80 %).

As curvas de acúmulo de nutrientes em frutos de cafeeiro durante o período reprodutivo são importantes ferramentas para estimar as necessidades nutricionais da cultura, bem como identificar os momentos mais adequados para aplicação de fertilizantes (Ramirez et al., 2002).

No Brasil o cafeeiro vem sendo cultivado em regiões com altitudes que variam de 400 a 1.200 m (Matiello et al., 2005). Em regiões de maior altitude a planta de cafeeiro leva maior tempo para completar o ciclo reprodutivo. A influência da altitude no ciclo reprodutivo do cafeeiro está relacionada, principalmente, às temperaturas mais amenas em maiores altitudes.

É possível que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados em regiões de maior altitude seja mais tardio que em regiões de menores altitudes. Desta forma, as épocas e intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando em conta, o período de maior exigência da planta de cafeeiro em cada região.

O objetivo deste trabalho foi determinar a alocação de Ca, Mg e S em frutos e folhas de cafeeiro, da antese à maturação, em quatro altitudes de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de setembro de 2005 a julho de 2006, no Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC), localizado no município de Martins Soares, MG. O experimento foi constituído da variedade de *Coffea arabica* L. Catuaí IAC-44 implantada em quatro altitudes (Tabela 1). Ressalta-se que as plantas referentes à altitude de 720 m (recepadas em 2002) apresentavam, na ocasião da implantação do experimento, o formato de copa semelhante às plantas das demais altitudes.

Tabela 1 – Caracterização dos tratamentos testados

Tratamento (m)	Idade	Espaçamento	Produtividade (sc/ha)**
720	4 anos*	2,0 x 1,0 m	21
800	10 anos	2,0 x 1,0 m	41
880	10 anos	2,0 x 1,0 m	49
950	11 anos	1,7 x 0,7 m	34

* Lavoura recepada em 2002

** Uma saca pesa 60 kg de café beneficiado

No mês de agosto de 2005 foi realizada a análise química do solo de cada talhão da propriedade (Tabela 2) para efetuar a correção de acidez do solo e o fornecimento de nutrientes minerais. O fornecimento de macronutrientes foi via solo, em função da fertilidade do solo e a carga pendente de frutos (Guimarães et al., 1999) (Tabela 3). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante de fertilizantes nitrogenados. Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais (19/10/2005, 22/12/2005 e 22/01/2006), utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, hidróxido de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g/L de cada adubo.

O delineamento experimental empregado foi inteiramente ao acaso distribuído em um esquema de parcelas subdividas no tempo, com 4 parcelas (altitudes), 12

subparcelas (datas de amostragens) e três repetições. Para cada altitude foram selecionadas três parcelas com 20 plantas dispostas em quatro fileiras, que constituíram as parcelas experimentais.

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos solos da área experimental em agosto de 2005

Altitude (m)	MO	pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	dag/kg		mg/dm ³		cmol _c /dm ³			
720	3,58	6,1	27,0	132	4,2	0,9	0	4,29
800	3,58	5,9	18,9	195	4,6	0,8	0	5,45
880	3,20	5,0	21,1	117	2,2	0,3	0	7,43
950	4,61	5,2	7,5	116	2,4	0,3	0	8,25

Altitude (m)	CTC	S	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		mg/dm ³	%	mg/dm ³				
720	9,73	22,46	56	27,1	104,0	45,3	3,9	1,54
800	11,35	32,39	52	34,9	68,7	26,4	6,6	4,03
880	10,23	36,54	27	20,9	77,5	32,3	6,4	1,83
950	11,25	24,13	27	13,5	28,1	12,4	3,1	1,54

Altitude (m)	Análises Granulométricas (dag/kg)					Classe Textural	Retenção de água (kg/kg) (equivalente de umidade)
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
720	25	21	14	40		Argilo-Arenoso	0,273
800	37	19	6	38		Argilo-Arenoso	0,174
880	43	21	6	30		Franco-Argilo-Arenoso	0,182
950	40	17	10	33		Franco-Argilo-Arenoso	0,178

pH em H₂O = relação 1:2,5

CTC = Capacidade de troca de cátions

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu = Extrator Mehlich 1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1 mol/l

H + AL = Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/l, pH = 7

S = Fosfato monocálcico em ácido acético

As amostragens iniciaram-se em 11 de outubro de 2005, quando houve antese (florada principal), ocasião em que se coletaram folhas sendo este considerado como tempo zero. A partir desta data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro: aos 34, 52, 65, 85, 100, 114, 134, 161, 190, 217, 239 e 266 dias após a antese (DAA). Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, de ramos pertencentes ao terço médio da planta e as folhas foram correspondentes aos 3º e 4º pares, contadas a partir do ápice, de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. Foram coletados 100 frutos/parcela nas quatro primeiras amostragens, 60 frutos/parcela entre a quinta e a oitava

amostragem e 20 frutos/parcela nas amostragens seguintes. As folhas foram coletadas em um número fixo de 15 folhas/parcela durante todas as amostragens.

Durante o período reprodutivo foram registradas as temperaturas mínimas e máximas, a umidade relativa (UR) entre 9 e 10 horas da manhã em intervalos de tempo semanais (Tabela 4) e o índice pluviométrico (Tabela 5).

Tabela 3 – Adubação empregada no ano agrícola de 2005/2006

Nível de Adubação (m)	N	P2O5	K2O
		kg/ha	
720	390	0	200
800	400	0	150
880	400	0	150
950	370	0	70

O material vegetal coletado foi lavado em água desionizada e posto a secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingir peso constante, conforme, descrito por Jones Junior et. al (1991). Após este processo, os materiais vegetais foram pesados em balança de precisão, moídos em moinho tipo Wiley, de aço inoxidável, passados em peneira de malha de 0,841 mm² e acondicionados em embalagens de papel devidamente identificadas para realização das análises químicas.

Para determinação dos teores de Ca, Mg e S o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão à nitroperclórica (Johnson e Ulrich, 1959). O Ca e o Mg foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (ASSOCIATION ... – AOAC, 1975), enquanto o S foi avaliado por turbidimetria do sulfato (Jackson, 1958).

O acúmulo dos nutrientes por fruto (mg/fruto) foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS do Fruto (mg)} \times \text{Concentração do Nutriente (dag/kg)}}{100}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo de nutrientes em frutos e a variação de nutrientes

em folhas utilizaram-se modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros e polinomial. A escolha dos modelos não-lineares foi de acordo com a variância explicada (R^2) e melhor representação do fenômeno. Os regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros são:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = Ponto máximo da curva
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão

$$\hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = $y_{\max} - y_{\min}$
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão
 y_0 = Ponto de mínimo da curva

Como o fruto de cafeeiro apresenta um modelo de crescimento seguindo uma dupla curva sigmoideal, ajustaram-se dois modelos para representar o acúmulo de MS e nutrientes em frutos durante o período reprodutivo.

O ponto de curvatura mínima (PC_{\min}) e máxima (PC_{\max}) foi calculado conforme método citado por Venegas et al. (1998) utilizando os parâmetros das equações não lineares:

$$PC_{\min} = x_0 - 2b$$

$$PC_{\max} = x_0 + 2b$$

O PC_{\min} indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos expressivos no acúmulo nutrientes. Já o PC_{\max} indica o momento em que o acúmulo dos nutrientes começa a se estabilizar.

O acúmulo relativo (AR_e) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo acúmulo em cada estágio de formação do fruto, sendo os valores em porcentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$AR_e = A_F - A_I$$

AR_e = Acúmulo relativo no estágio de formação do fruto
 A_F e A_I = Acúmulo no final e início do estágio

$$\% = \frac{AR_e}{AT} * 100$$

AT = Acúmulo alcançado aos 266 DAA

Calculou-se a diferença das concentrações foliares no início do ciclo reprodutivo, na época da floração (C_F), em relação às concentrações foliares de Ca, Mg e S nos respectivos momentos TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação (C_G). Este gradiente de concentração indica se houve competição fruto/folha pelo acúmulo de Ca, Mg e S nos momentos de maior exigência nutricional da cultura.

Tabela 4 – Temperaturas mínimas e máximas médias e umidade relativa (UR) ocorridas durante o período reprodutivo do cafeeiro em quatro altitudes

Temperaturas	Altitudes (m)			
	720	800	880	950
Temp. Mínima Média (°C)	16,22	17,28	18,94	17,33
Temp. Máxima Média (°C)	30,22	29,89	29,50	26,94
Umidade Relativa (%)	73,33	77,50	65,67	81,50

Tabela 5 – Índice pluviométrico mensal durante o ano agrícola 2005/06 em Martins Soares MG

Ano 2005					Ano 2006						
Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
12,0	168,4	59,3	353,5	278,2	7,0	131,0	256,5	121,8	31,0	8,0	13,8

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas curvas de acúmulo de matéria seca (Figura 1; Tabela 6) foi possível distinguir os cinco estádios de formação dos frutos, sendo estes, de acordo com Rena et al. (2001), denominados de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação (Tabela 7).

No estádio de chumbinho os frutos apresentam baixa taxa de crescimento (acúmulo de matéria seca), porém são elevadas as taxas respiratórias e de multiplicação celular (Cannel, 1971a; Leon & Fournier, 1962). O estádio de chumbinho apresentou duração variando entre 61 e 66 DAA (11 a 16/12/2005) (Tabela 7). Não se observou

neste trabalho efeito da altitude no acúmulo de MS, Ca, Mg e S em frutos de cafeeiro no estágio de chumbinho (Figura 1; Tabela 6, 7 e 8). É possível que os efeitos da altitude, principalmente os relacionados à temperatura (Tabela 4), influenciem menos nas primeiras semanas de formação do fruto de cafeeiro.

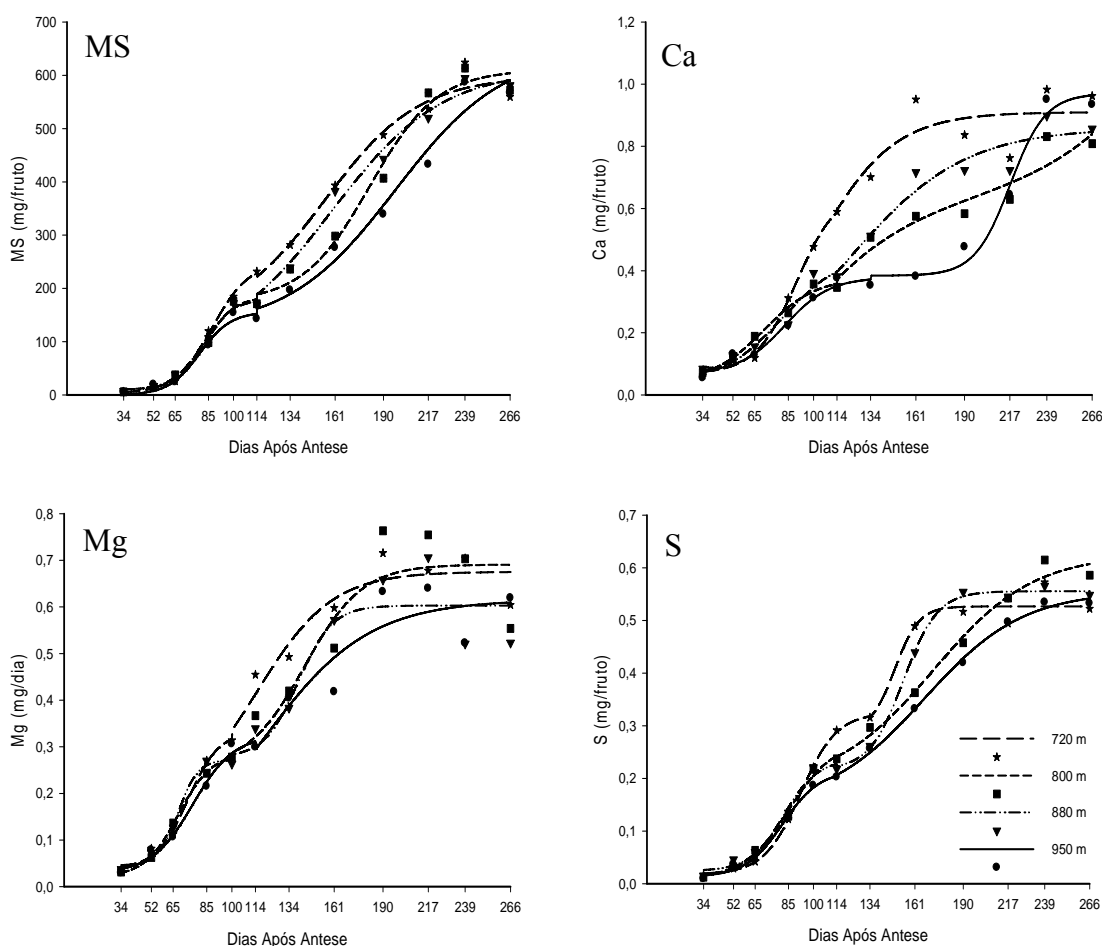


Figura 1 – Acúmulo de MS, Ca, Mg e S em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes

Pode-se observar que, no estágio de chumbinho a proporção de acúmulo de Ca e Mg foi maior comparada à de acúmulo de MS e S (Tabela 9). É provável que o maior acúmulo de Ca no estágio de chumbinho esteja relacionado à grande importância deste nutriente nos processos de divisão celular e na estabilização de membranas e paredes celulares das novas células formadas (Marschner, 1995; Marengo & Lopes, 2005). Com relação ao Mg, este pode ter sido requerido em maior quantidade para acelerar a atividade de ATPases (Marschner, 1995), já que o fruto no estágio de chumbinho possui

alta taxa respiratória (Rena et al, 2001; Cannel, 1971b). Estes resultados ressaltam a importância da realização da calagem nos meses de julho e agosto para que o calcário tenha tempo suficiente para reagir no solo e liberar Ca e Mg para absorção das plantas e translocação para os frutos no estágio de chumbinho.

Tabela 6 - Equações de regressão do acúmulo de MS e Ca, Mg e S em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese

Variável	Altitude (m)	Período	Modelo	R ² (%)
MS	720	34 - 114	$\hat{y} = 3,0983+246,5243/(1+\exp(-(x-87,2082)/11,1720))$	99,7
		100 - 266	$\hat{y} = 131,5992+466,9270/(1+\exp(-(x-154,5708)/28,4426))$	98,0
	800	34 - 114	$\hat{y} = \hat{Y} = 10,1586+174,0190/(1+\exp(-(x-83,1578)/8,6302))$	98,6
		100 - 266	$\hat{y} = 173,9505+436,6964/(1+\exp(-(x-181,8763)/20,2356))$	98,2
	880	34 - 114	$\hat{y} = 9,5054+170,4282/(1+\exp(-(x-81,2099)/8,9412))$	99,1
		100 - 266	$\hat{y} = 80,5608+530,4816/(1+\exp(-(x-159,0731)/32,9222))$	98,6
	950	34 - 114	$\hat{y} = 156,1461/(1+\exp(-(x-79,7382)/9,3653))$	97,7
		100 - 266	$\hat{y} = 124,7881+521,8913/(1+\exp(-(x-197,4214)/32,4306))$	97,4
Ca	720	34 - 114	$\hat{y} = 0,06881+0,59275/(1+\exp(-(x-90,0026)/12,2515))$	99,4
		100 - 266	$\hat{y} = 0,91010/(1+\exp(-(x-98,8445)/23,8213))$	81,9
	800	34 - 114	$\hat{y} = 0,04441+0,33211/(1+\exp(x-70,7687)/15,3902))$	98,4
		114 - 266	$\hat{y} = -1,09827+0,02244x-0,00010x^2+0,0000001764x^3$	90,3
	880	34 - 114	$\hat{y} = 0,35062-0,01505x+0,00025x^2-0,000001033x^3$	94,8
		114 - 266	$\hat{y} = 0,85902/(1+\exp(-(x-119,5827)/34,9757))$	91,6
	950	34 - 134	$\hat{y} = 0,06983+0,30843/(1+\exp(-(x-83,0292)/13,3889))$	97,0
		134 - 266	$\hat{y} = 0,38364+0,58624/(1+\exp(-(x-217,1613)/10,5631))$	97,9
Mg	720	34 - 100	$\hat{y} = 0,03950+0,29368/(1+\exp(-(x-73,7871)/9,3143))$	99,2
		85 - 266	$\hat{y} = 0,16535+0,51320/(1+\exp(-(x-115,0658)/22,3578))$	94,1
	800	34 - 100	$\hat{y} = 0,02124+0,26567/(1+\exp(-(x-68,0748)/9,9950))$	99,9
		85 - 266	$\hat{y} = 0,25345+0,43761/(1+\exp(x-143,2402)/17,2493))$	87,2
	880	34 - 100	$\hat{y} = 0,04449+0,22694/(1+\exp(-(x-67,9556)/5,9365))$	99,1
		85 - 266	$\hat{y} = 0,27644+0,32663/(1+\exp(-(x-139,5044)/10,2302))$	86,4
	950	34 - 114	$\hat{y} = 0,02946+0,29486/(1+\exp(-(x-76,7951)/12,2022))$	98,6
		114 - 266	$\hat{y} = 0,61541/(1+\exp(-(x-116,9673)/31,9635))$	81,3
S	720	34 - 134	$\hat{y} = 0,01830+0,30604/(1+\exp(-(x-92,2337)/10,8988))$	99,9
		114 - 266	$\hat{y} = 0,28949+0,23722/(1+\exp(-(x-148,9584)/7,2383))$	0,954
	800	34 - 114	$\hat{y} = 0,01102+0,25825/(1+\exp(-(x-85,2558)/13,2537))$	0,992
		100 - 266	$\hat{y} = 0,18558+0,44011/(1+\exp(-(x-172,046)/29,9914))$	0,989
	880	34 - 114	$\hat{y} = 0,02434+0,21190/(1+\exp(-(x-82,1982)/10,1618))$	0,982
		100 - 266	$\hat{y} = 0,21665+0,33904/(1+\exp(-(x-154,0678)/10,2236))$	0,998
	950	34 - 114	$\hat{y} = 0,01311+0,20181/(1+\exp(-(x-81,5785)/11,1354))$	0,994
		100 - 226	$\hat{y} = 0,14762+0,40801/(1+\exp(-(x-166,669)/29,5987))$	0,997

O estágio de expansão rápida do fruto apresentou tendência de ser menos extenso à medida que a altitude diminuiu, com exceção para altitude de 720 m em que não foi possível identificar de forma visível o fim deste estágio (Figura 1, Tabela 6 e 7). Na altitude de 800 m o estágio de expansão rápida ocorreu entre 67 e 100 DAA (17/12/2005 a 19/01/2006) enquanto a 950 m o mesmo estágio apresentou duração entre 61 e 98 DAA (11/12/2005 a 17/01/2006) (Tabela 7). O acúmulo de matéria seca no estágio de expansão rápida está relacionado, principalmente, à expansão celular, com deposição de material de parede (Coombe, 1976), sendo o fluxo de água para os frutos essencial ao alongamento celular (Marenco & Lopes, 2005). É plausível que o acúmulo de nutrientes nos frutos no estágio de expansão rápida ocorra por fluxo em massa decorrente das altas taxas de translocação de água para os frutos neste estágio (Ramirez et al., 2002), necessária para expansão celular (Coombe, 1976; Taiz & Zeiger, 2004).

O ponto de curvatura mínima (PC_{min}) indica o momento em que se iniciam ganhos de acúmulos expressivos nos frutos (Tabela 8). De modo geral, a diferença de tempo decorrido até os PC_{min} no estágio de expansão rápida nas diversas altitudes foi pequena, indicando pouco efeito da altitude sobre o início da ascensão de translocação de nutrientes para os frutos. Com base nos valores de PC_{min} (Tabela 8), é imprescindível que os nutrientes já estejam disponíveis para absorção pelo sistema radicular antes do início do estágio de expansão rápida (Tabela 7).

O tempo decorrido até a taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD}) de MS, Ca, Mg e S em frutos apresentou tendência de ser maior a 720 m comparado às outras altitudes (Tabela 7). A maior X_{TMAD} na altitude de 720 m está relacionada ao alcance de maiores TMAD nesta altitude. É provável que as maiores temperaturas máximas ocorridas na altitude de 720 m (Tabela 4) tenham proporcionado maiores atividades metabólicas (Larcher, 2004) nos frutos e, conseqüentemente, maior velocidade de

acúmulo de MS e nutrientes. Além disso, a maior capacidade de retenção de água no solo na altitude de 720 m (Tabela 2) pode ter contribuído para maior X_{TDMA} .

Tabela 7 – Delimitação dos estádios de desenvolvimento do fruto de cafeeiro (DAA) durante o período reprodutivo com base nas curvas de acúmulo de matéria seca em frutos. Os valores entre parênteses representam à duração (dias) dos estádios

Altitude (m)	Chumbinho	Exp. Rápida	Cresc. Susp.	Granação	Maturação
720	0-65 (65)	65-109 (44)	109-114 (5)	114-211 (97)	211-266 (55)
800	0-67 (67)	67-100 (33)	100-114 (14)	114-222 (108)	222-266 (44)
880	0-63 (63)	63-99 (36)	99-114 (15)	114-224 (110)	224-266 (42)
950	0-61 (61)	61-98 (37)	98-114 (17)	114-262 (148)	262-266 (4)

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

** Os valores entre parênteses representam à duração (dias) dos estádios.

Maiores acúmulos relativos (AR_e) de MS, Ca, Mg e S no estádio de expansão rápida do fruto foram observados na altitude de 720 m com relação às outras altitudes (Tabela 9). Assim, na altitude de 720 m houve, em proporção, maior consumo dos nutrientes, bem como de fotoassimilados. A maior TMAD nesta altitude (Tabela 8) influenciou para que houvesse maior acúmulo de nutrientes no final do estádio.

O estádio de crescimento suspenso apresentou maior duração à medida que se foi aumentando a altitude (Figura 1, Tabela 6 e 7). É possível que a menor velocidade de crescimento neste estádio esteja relacionada à reciclagem e síntese de enzimas e compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2004), antes empregados na síntese de polímeros de parede, para serem utilizados como precursores na síntese de compostos de reservas no estádio de granação.

O estádio de granação teve início aos 114 DAA (02/02/2006) apresentando duração até 211 DAA (10/05/2006) na altitude de 720 m e até 262 DAA (30/06/2006) na altitude de 950 m. O ciclo reprodutivo do cafeeiro foi maior com o aumento da altitude. É provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Tabela 4)

tenha influenciado nas reações enzimáticas e no transporte de fotoassimilados (Larcher, 2000), ampliando o tempo de formação do fruto de cafeeiro.

Tabela 8 – Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diário (TMAD, mg/fruto/dia) e ponto de curvatura mínima (PC_{min} , DAA) e máxima (PC_{max} , DAA) em quatro altitudes

Variável	Altitude (m)	Periodo	X_{TMAD}	TMAD	PC_{min}	PC_{max}
MS	720	34 - 114	87	5,5110	65	109
		100 - 266	154	4,1025	114	211
	800	34 - 114	83	5,0323	67	100
		100 - 266	182	5,3944	141	222
	880	34 - 114	81	4,7844	63	99
		100 - 266	159	4,0279	93	224
	950	34 - 114	80	4,1665	61	98
		100 - 266	197	4,0222	132	262
Ca	720	34 - 114	90	0,0120	66	114
		100 - 266	99	0,0095	114	146
	800	34 - 114	71	0,0054	40	102
		100 - 266	266	0,0045	114	266
	880	34 - 114	82	0,0056	34	114
		100 - 266	119	0,0061	50	190
	950	34 - 114	83	0,0057	34	114
		100 - 266	217	0,0138	196	238
Mg	720	34 - 114	74	0,0079	55	92
		114 - 266	115	0,0057	114	160
	800	34 - 134	68	0,006	48	88
		114 - 266	143	0,0063	114	178
	880	34 - 114	68	0,0095	56	80
		114 - 266	139	0,0079	119	160
	950	34 - 134	77	0,0060	52	101
		134 - 266	117	0,0048	134	181
S	720	34 - 114	92	0,0070	70	114
		100 - 266	149	0,0081	134	163
	800	34 - 114	85	0,0049	59	112
		100 - 266	172	0,0037	114	232
	880	34 - 114	82	0,0052	62	103
		100 - 266	154	0,0082	134	175
	950	34 - 114	81	0,0045	59	104
		100 - 266	167	0,0034	114	206

No estágio de granação, também chamado de enchimento do endosperma, a matéria seca é depositada, principalmente, nas sementes (Rena et al., 2001). A X_{TMAD} no estágio de granação (Tabela 8) foi mais precoce na altitude de 720 m comparada principalmente a altitude de 950 m. A 720 m de altitude a X_{TMAD} de MS ocorreu aos

154 DAA (06/02/2006), de Ca aos 99 DAA (12/12/2005), de Mg aos 115 DAA (28/12/2005) e de S aos 149 DAA (01/02/2006). Na altitude de 950 m a X_{TMAD} foi aos 197 DAA (21/03/2006) para MS, aos 217 DAA para Ca (10/04/2006), aos 117 DAA (30/12/2006) para Mg e aos 167 DAA para S. Estes foram os momentos de maior exigência nutricional do cafeeiro no estágio de granação, nas suas respectivas altitudes. A deficiência destes elementos poderia comprometer a fase final de formação da semente, já que Ca, Mg e S fazem parte de diversos processos enzimáticos e metabólicos (Marschner, 1995).

A estabilização (PC_{max}) no acúmulo de Ca, Mg e S no estágio de granação ocorreu em menor tempo na altitude de 720 m confrontado às demais (Tabela 8). Além disso, o acúmulo de nutrientes estabilizou antes do acúmulo de MS em frutos, ou seja, primeiro são acumulados os nutrientes para depois completar os processos de formação das sementes. O consumo de nutrientes pelos frutos, assim como, o enchimento de grãos é mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar estes processos em menor espaço de tempo. Em menores altitudes o tempo para formação dos frutos é menor. Havendo algum estresse para a planta pode não haver tempo para a recuperação, sendo a formação final do fruto prejudicada. Em contra partida, em maiores altitudes o tempo de formação dos frutos é maior, e sob uma situação de estresse os danos à formação final dos frutos podem ser, proporcionalmente, menores. Além disso, em menores altitudes as plantas de cafeeiro podem sofrer maior desgaste por apresentarem menor período de formação dos frutos. Menores períodos de formação dos frutos podem exigir mais das plantas, que necessitam absorver nutrientes e produzir carboidratos em menor espaço de tempo para suprir as necessidades dos frutos.

Tabela 9 – Acúmulo relativo (AR_e, mg/fruto) de acordo com o estágio de formação do fruto de cafeeiro em quatro altitudes

Variável	Altitude (m)	Chumbinho		Exp Rapida		Cresc. Susp		Granação		Maturação*	
		AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%
MS	720	32,8	5,56	186,3	31,58	10,15	1,72	312,9	53,1	47,34	8,03
	800	33,35	5,52	129,2	21,39	16,9	2,80	378,4	62,65	46,12	7,64
	880	29,17	4,93	130,3	22,03	16,25	2,75	370,5	62,68	44,96	7,61
	950	18,6	3,15	118,1	20,00	15,52	2,63	431,8	73,12	6,491	1,10
Ca	720	0,137	15,06	0,421	46,29	0,03	3,35	0,314	34,5	0,007	0,8
	800	0,19	22,65	0,143	17,04	0,024	2,90	0,336	39,97	0,146	17,45
	880	0,141	16,64	0,196	23,15	0,06	7,13	0,421	49,72	0,028	3,36
	950	0,12	12,41	0,183	18,93	0,048	5,00	0,611	63,37	0,003	0,27
Mg	720	0,122	18,04	0,262	38,89	0,028	4,22	0,256	37,89	0,006	0,94
	800	0,147	21,27	0,13	18,75	0,045	6,5	0,365	52,87	0,004	0,60
	880	0,114	18,93	0,157	26,04	0,03	5,01	0,302	49,99	0,001	0,02
	950	0,093	15,24	0,187	30,73	0,031	5,05	0,298	48,86	0,001	0,10
S	720	0,042	7,89	0,229	43,42	0,018	3,33	0,239	45,35	0,001	0,10
	800	0,063	10,38	0,142	23,44	0,037	6,16	0,313	51,53	0,052	8,50
	880	0,052	9,38	0,15	27,00	0,025	4,53	0,328	59,00	0,001	0,06
	950	0,041	7,49	0,137	25,24	0,027	5,01	0,335	61,9	0,02	0,35

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

A porcentagem de acúmulo relativo no estágio de granação (Tabela 9) foi maior nas altitudes mais elevadas comparada a menor altitude (720 m). Isto ocorreu, principalmente, em função do acúmulo de MS e nutrientes na altitude de 720 m ter se antecipado nas primeiras fases de formação do fruto.

Após o estágio de granação iniciou-se o estágio de maturação, que se caracteriza, principalmente, pelo aumento do teor de açúcares e por mudanças na coloração da casca do fruto (Rena et al., 2001; Puschmann, 1975). Apesar de na Tabela 7 o estágio de maturação ter ido até 266 DAA (época da última amostragem), na altitude de 720 m a mudança na coloração da casca do fruto de verde para vermelho foi detectada visualmente em menor tempo.

A influência da altitude de cultivo do cafeeiro no acúmulo de nutrientes em frutos é mais evidente quando se compara com o acúmulo de Ca, Mg e S em Viçosa-

MG a 651 m de altitude (Capítulo I), nesta tese, com os resultados obtidos neste trabalho em Martins Soares-MG. Verificou-se que em Viçosa o acúmulo de nutrientes nos frutos foi mais precoce que na menor altitude em Martins Soares. Em Martins Soares os maiores acúmulos relativos (AR_e) foram observados no estágio de granação, enquanto que a 651 m de altitude em Viçosa, os maiores AR_e foram observados no estágio de expansão rápida de fruto.

O efeito da altitude no acúmulo de matéria seca e de Ca, Mg e S está relacionado, principalmente, a ocorrência de menores temperaturas máximas nas maiores altitudes (Tabela 4). De acordo com Larcher (2004), a temperatura possui influência direta sobre processos regulatórios da planta. Sob menores temperaturas, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas.

A ocorrência de temperaturas amenas desfavorece a absorção de íons pelas raízes. A elevação da temperatura aumenta a velocidade de difusão e de fluxo em massa de íons para as raízes, a penetração de íons no espaço livre aparente via apoplasto, estimula a absorção e o acúmulo de íons nas células das raízes e favorece o transporte nos condutos do xilema. Além disso, o aumento da temperatura acelera a atividade respiratória da planta, incrementa o metabolismo nas raízes e a produção de ATP, liberando energia, que é utilizada de diversos modos para a absorção de íons (Marengo & Lopes, 2005).

Além de influenciar nos processos de absorção, a temperatura também pode alterar a taxa de transporte de nutrientes, assim como, a partição de fotoassimilados no floema. Segundo Taiz & Zeiger (2004), o resfriamento de um tecido-dreno inibe as atividades que necessitam de energia metabólica e resulta na diminuição da velocidade do transporte em direção ao dreno. De acordo com Rena & Maestri (1985), a

temperatura ótima para assimilação de CO₂ no cafeeiro varia de 20 a 30° C, dependendo da temperatura em que as plantas foram aclimatadas nos dias anteriores.

Apesar de a temperatura ser um dos principais fatores a influenciar na fisiologia da planta, outros fatores, como a disponibilidade hídrica, podem também ter atuado na absorção e distribuição de nutrientes na planta, bem como, no desenvolvimento dos frutos. O solo na altitude de 720 m apresenta maior capacidade de retenção de água em relação ao solo das outras altitudes (Tabela 2). Como em janeiro de 2005 o índice pluviométrico foi de apenas 7 mm (Tabela 5), o solo a 720 m pode ter se mantido na capacidade de campo por maior espaço de tempo em relação ao solo das demais altitudes.

De modo geral, na altitude de 950 m as concentrações foliares de Ca, Mg e S no 3° e 4° pares de folhas de ramos produtivos apresentaram tendência de ser menores comparadas às das demais altitudes durante todo o período de formação dos frutos (Figura 2; Tabela 10). É provável que as menores temperaturas ocorridas à altitude de 950 m tenham influenciado para que ocorressem menores concentrações, já que a temperatura possui efeito na absorção e distribuição de nutrientes (Marengo & Lopes, 2005; Taiz & Zeiger, 2004) No entanto, outros fatores, além da temperatura, podem ter atuado em conjunto na absorção e distribuição de nutrientes.

Na Tabela 11 pode-se observar a comparação entre as concentrações foliares de Ca, Mg e S na época da floração (início do período reprodutivo) com as concentrações foliares desses nutrientes nos respectivos momentos de máxima taxa de acúmulo diário (TMAD) para os frutos nos estádios de rápida expansão, granação. Pode-se observar que a concentração de Ca nas folhas diminuiu nos momentos das TMAD para o fruto independentemente da altitude. Tais observações mostram que houve competição fruto/folha pela partição de Ca. A competição fruto/folha ocorreu pelo nutriente

translocado no xilema, já que o Ca é um nutriente imóvel no floema (Epstein & Bloom, 2006; Marchsner, 1995). Quanto ao Mg e ao S, observou-se competição fruto/folha nos dois períodos de maior demanda pelo nutriente apenas na altitude de 720 m. A maior velocidade de acúmulo nos frutos na menor altitude pode ter influenciado para que houvesse uma maior pressão de competição, já que os frutos são drenos prioritários (Rena & Maestri, 1985).

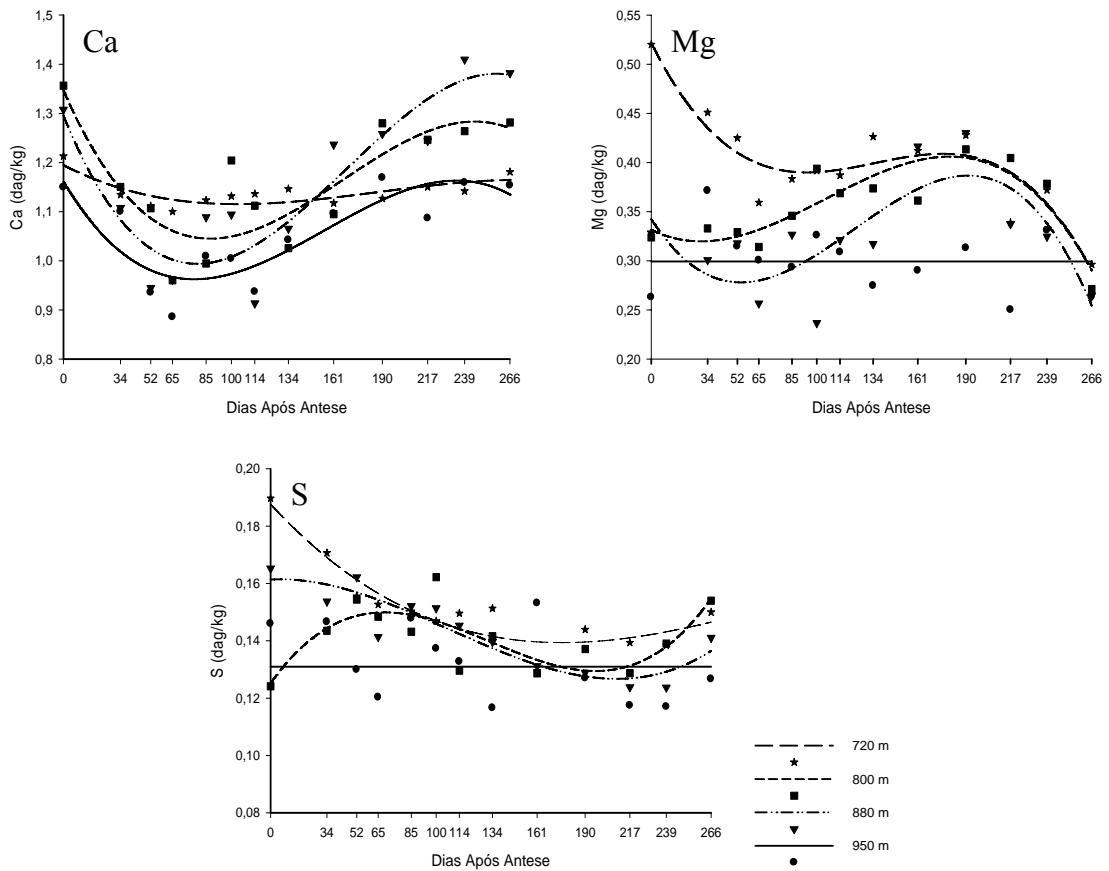


Figura 2 – Variação na concentração de Ca , Mg e S em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes

Tabela 10 - Equações de regressão da variação nas concentrações de Ca, Mg e S em folhas de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese em quatro altitudes, ponto de mínimo (X_{\min} , DAA) e máximo (X_{\max} , DAA)

Variável	Altitude (m)	Modelo	R ² (%)	X _{min}	X _{max}
Ca	720	$\hat{y} = 1,194 - 0,00175x + 0,0000116x^2 - 0,0000000207x^3$	63,5	104	0
	800	$\hat{y} = 1,346 - 0,00782x + 0,0000607x^2 - 0,000000121x^3$	71,2	87	0
	880	$\hat{y} = 1,295 - 0,00844x + 0,0000693x^2 - 0,000000137x^3$	83,4	80	258
	950	$\hat{y} = 1,161 - 0,00574x + 0,0000491x^2 - 0,000000104x^3$	73,0	78	234
Mg	720	$\hat{y} = 0,521 - 0,00341x + 0,0000278x^2 - 0,0000000688x^3$	83,1	266	0
	800	$\hat{y} = 0,331 - 0,000825x + 0,0000160x^2 - 0,0000000507x^3$	75,1	266	180
	880	$\hat{y} = 0,342 - 0,00262x + 0,0000311x^2 - 0,0000000844x^3$	59,2	266	191
	950	$\hat{y} = \bar{y} = 0,300$	---	---	---
S	720	$\hat{y} = 0,187 - 0,000626x + 0,00000245x^2 - 0,00000000253x^3$	87,6	176	0
	800	$\hat{y} = 0,125 + 0,000811x - 0,00000793x^2 + 0,0000000199x^3$	62,1	0	266
	880	$\hat{y} = 0,161 + 0,0000300x - 0,00000266x^2 + 0,00000000827x^3$	84,0	209	6
	950	$\hat{y} = \bar{y} = 0,132$	---	---	---

Tabela 11 - Concentrações foliares de macronutrientes na floração (C_F) comparada às concentrações foliares no momento da TMAD dos elementos para os frutos nos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação (C_G) em quatro altitudes

Variável	Altitude (m)	Florada (dag kg ⁻¹)	Crescimento Rápido		Granação	
			dag kg ⁻¹	$C_{ER} - C_F$	dag kg ⁻¹	$C_G - C_F$
Ca	720	1,194	1,116	-0,078	1,115	-0,079
	800	1,346	1,053	-0,293	1,269	-0,077
	880	1,295	0,994	-0,301	1,042	-0,253
	950	1,161	0,963	-0,198	1,156	-0,005
Mg	720	0,521	0,394	-0,127	0,393	-0,128
	800	0,331	0,334	+0,003	0,393	+0,062
	880	0,342	0,281	-0,061	0,351	+0,009
	950	0,300	0,300	0	0,300	0
S	720	0,187	0,149	-0,038	0,140	-0,047
	800	0,125	0,149	+0,024	0,131	+0,006
	880	0,161	0,150	-0,011	0,133	-0,028
	950	0,132	0,132	0	0,132	0

CONCLUSÕES

1. A altitude influenciou na extensão do ciclo do cafeeiro, bem como no acúmulo de Ca, Mg e S em frutos.

2. A TMAD (taxa máxima de acúmulo diário) no estágio de granação apresentou tendência de ser mais tardia com elevação da altitude.
3. Independentemente da altitude, os maiores acúmulos relativos de MS, Ca, Mg e S foram observados no estágio de granação do fruto.
4. Na menor altitude o acúmulo de Ca, Mg e S em frutos apresentou-se mais precoce.
5. De modo geral, na altitude de 720 m ocorreu maior competição fruto/folha pela partição de Ca, Mg e S.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12. ed. Washington, D.C: 1975. 1094p.

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

CAMARGO, A.P. As oito fases fenológicas da frutificação do cafeeiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEEIRAS, 24. Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro do Café, 1998. p.41-42.

CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. PartIV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. **Kenya Coffee**, v.36, p.175-180, 1971a.

CANNEL, M.G.R. Changes in the respiration and growth rates of developing fruits of *Coffea arabica* L. **Journal Hort. Science**, v.46, p.263-272, 1971b.

COOMBE, B.G. The development of fleshy fruits. **Annual Review Plant Physiology**, v.27, p.507-28, 1976.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora planta, 2006. 401p.

GOUVEIA, N.M. **Estudo da diferenciação e crescimento das gemas florais de Coffea arabica L.: observação sobre antese e maturação dos frutos**. Campinas, 1984. 237p. Dissertação (Mestrado em Biologia) – Instituto de biologia, UNICAMP.

GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, 1999. p.289-302.

JACSON, M. L. **Soil chemical analysis**. New Jersey, Prentice Hall, Inc., 1958. 498p.

JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, v.766, 1959. p.32-33.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004, 531p.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B. de; ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.319-329, 2007.

LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**, v.12, p.65-74, 1962.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York, Academic Press, 1995. 889p.

MATIELLO, J. B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil: novo manual de recomendações**. Rio de Janeiro: MAPA /PROCAFE, 2005. 438p.

MORAES, F.R.P.de; CATANI, R.A. A absorção de elementos minerais pelo fruto do cafeeiro durante o seu desenvolvimento. In: **Reunião Anual da SBPC**. Resumos das comunicações à XVI Reunião Anual da SBPC. Ciência e Cultura, São Paulo, v.16, n.2, p.142, 1964.

PUSCHMANN, R. **Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação**. 1975, 35p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrientes por los frutos y bandolas de café Caturra durante um ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. **Agronomia Costarricense**, v.26, n.1, p.33-42, 2002.

RENA, A. B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, n.126, p.26-40, 1985

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p.101-128.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004, 719p.

VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S.; SIMON, B.A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **The American Physiological Society**, p.389-395, 1998.

ALOCAÇÃO DE MICRONUTRIENTES EM FOLHAS E FRUTOS DE CAFEIEIRO CULTIVADO EM DUAS ALTITUDES

RESUMO

A produção do cafeeiro depende, dentre outros fatores, do suprimento e da intensidade de absorção dos nutrientes pelas raízes. O conhecimento do período de maior exigência dos nutrientes minerais pela planta é uma importante informação para melhorar a eficiência das práticas de adubação. Determinou-se a alocação de B, Cu, Fe, Mn e Zn em frutos e folhas de cafeeiro arábico, da antese à maturação, em duas altitudes. O experimento foi constituído da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivada a 720 e 950 m de altitude, no município de Martins Soares-MG. O delineamento experimental foi inteiramente ao acaso, com 3 repetições, usando um esquema de parcela subdividida no tempo. O aumento da altitude influenciou no ciclo reprodutivo do cafeeiro, demandando maior tempo para formação dos frutos. O consumo de nutrientes pelos frutos, assim como, o enchimento de grãos foi mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessitou completar estes processos em menor espaço de tempo. Em menores altitudes o tempo para formação dos frutos é menor. Havendo algum estresse para a planta, esta pode não ter tempo para recuperar-se, sendo a formação final do fruto prejudicada. Em contra partida, em maiores altitudes o tempo de formação dos frutos é maior, e sob uma situação de estresse os danos à

formação final do fruto podem ser proporcionalmente menores. Além disso, em menores altitudes, as plantas de cafeeiro podem sofrer um maior desgaste por apresentarem um menor período de formação dos frutos. Menores períodos de formação dos frutos podem exigir mais das plantas, que necessitam absorver nutrientes e produzir carboidratos em menor espaço de tempo para suprir as necessidades dos frutos. No estágio de expansão rápida a porcentagem de acúmulo de micronutrientes foi maior na altitude de 720 m, comparado à altitude de 950 m. De modo geral, a altitude influenciou na variação das concentrações foliares de nutrientes, apesar de não se ter observado um padrão de resposta da concentração foliar ao aumento da altitude. Conclui-se que a altitude influenciou na extensão do ciclo, bem como no acúmulo de micronutrientes em frutos e na variação de sua concentração em folhas de cafeeiro.

Termos para indexação: Fisiologia vegetal; *Coffea arabica* L. nutrição mineral; temperatura;

ABSTRACT

MICRONUTRIENTS ALLOCATION IN FRUITS AND LEAVES OF COFFEE PLANT CULTIVATED IN TWO ALTITUDES

The coffee plant production depends, among other factors, of the supply and absorption's intensity of the nutrients from the roots. The knowledge of the period of larger demand of the mineral nutrients for the plant is important information to improve the efficiency of the fertilization practices. There were determined the allocation of B, Cu, Fe, Mn and Zn in fruits of arabic coffee plant during the period comprehended among the anthesis and maturation cultivated in two altitudes, as well as, the variation

in the content of the elements in leaves of these productive branches. The experiment was constituted of the coffee plant variety (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 cultivated at 720 and 950 m above the sea level in Martins Soares-Minas Gerais State - Brazil. The experimental design was completely randomized with 3 repetitions using split-plot in time scheme. The altitude of the crop location influenced the reproductive cycle of the coffee plant, providing larger time for formation of the fruits in higher areas. The accumulation of micronutrients for the fruits, as well as, the loading of grains is more critical in conditions of low altitude, since the plant needs to complete these processes in smaller space of time. In the fast expansion stadium the percentages of accumulation of micronutrients were larger for crop located at 720 m above the sea, than the percentages verified for the crop located 950 m high. In general, the high above the sea level influenced in the variation of the contents of nutrients in leaves. In spite of the fact, there was not observed a standard pattern of that concentrations to the altitude increase. It can be concluded that the altitude where the crop is located influenced in the extension of the cycle, as well as in the micronutrientes accumulation in fruits and in the variation of these parameters in coffee plant leaves.

Index terms: Plant physiology; *Coffea arabica* L.; Mineral nutrition; Temperature.

INTRODUÇÃO

Os micronutrientes, apesar de requeridos em pequenas quantidades, são de grande importância para o crescimento, desenvolvimento e produção do cafeeiro (Miguel et al., 2002). Os micronutrientes mais importantes para cafeeiro são B, Cu, Fe, Mn e Zn (Malavolta et al., 2002). De modo geral, os solos em que se assenta a cafeicultura apresentam baixa disponibilidade de alguns micronutrientes (Martinez et

al., 2003a) devido à falta real ou mesmo por fatores que limitam a absorção, sendo comum a observação de sintomas de deficiência nas lavouras (Martinez et al., 2003b).

A melhor época para o fornecimento de nutrientes é dependente do período de maior consumo de nutrientes pelo cafeeiro para suprir as exigências do crescimento vegetativo e do desenvolvimento dos frutos (Matiello et al., 2005). Sendo os frutos os drenos preferenciais durante o período reprodutivo (Carvalho et al, 1993; Rena & Maestri, 1985), é importante que o suprimento de nutrientes, através das adubações, venha a anteceder os picos de acúmulo dos elementos nos frutos.

Em regiões de maior altitude observa-se que o cafeeiro leva maior tempo para completar o seu ciclo. Em função disso é possível que o pico de exigência nutricional em cafeeiros plantados em regiões de maiores altitudes seja mais tardio que em regiões de menores altitudes. Desta forma, as épocas e intervalos entre as práticas de adubação deveriam ser diferenciados, levando em conta, o período de maior exigência nutricional do cafeeiro em cada região.

O objetivo deste trabalho foi determinar a alocação de micronutrientes em frutos e folhas de cafeeiro arábico, da antese à maturação, em duas altitudes de cultivo.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante o período de setembro de 2005 a julho de 2006, no Centro de Pesquisas Cafeeiras Eloy Carlos Heringer (CEPEC), localizado no município de Martins Soares, MG. O experimento constituiu-se da variedade de cafeeiro (*Coffea arabica* L.) Catuaí IAC 44 implantado em duas altitudes (Tabela 1). Ressalta-se que as plantas referentes à altitude de 720 m (recepadas em 2002)

apresentavam, na ocasião da implantação do experimento, o formato de copa semelhante às plantas da altitude de 950 m.

Tabela 1 – Caracterização das lavouras de cafeeiro Catuaí IAC 44 utilizadas no experimento

Tratamento (m)	Idade	Espaçamento	Produtividade (sc/ha)**
720	4 anos*	2,0 x 1,0 m	21
950	11 anos	1,7 x 0,7 m	34

* Lavoura recepada em 2002

** Uma saca pesa 60 kg de café beneficiado.

No mês de agosto de 2005 foi realizada a análise química do solo de cada talhão da propriedade para efetuar a correção de acidez do solo e o fornecimento de nutrientes minerais (Tabela 2). O fornecimento de macronutrientes foi via solo, em função da fertilidade do solo e a carga pendente de frutos (Guimarães et al., 1999) (Tabela 3). O enxofre foi fornecido como elemento acompanhante de fertilizantes nitrogenados. Os micronutrientes Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais aos 8, 72 e 103 dias após a antese (19/10/2005, 22/12/2005 e 22/01/2006), utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, hidróxido de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g/L de cada adubo.

O esquema experimental utilizado foi de parcela subdividida no tempo, com 2 parcelas (altitudes), 12 subparcelas (datas de amostragens), em delineamento em blocos ao acaso, com 3 repetições. Para cada altitude foram selecionadas três parcelas com 20 plantas dispostas em quatro fileiras, que constituíram as parcelas experimentais.

As amostragens iniciaram-se em 11 de outubro de 2005, quando houve antese (florada principal), ocasião em que se coletaram folhas sendo este considerado como tempo zero. A partir dessa data efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro: aos 34, 52, 65, 85, 100, 114, 134, 161, 190, 217, 239 e 266 dias após a antese (DAA). Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela, de ramos pertencentes ao terço médio da planta e as folhas

foram correspondentes aos 3º e 4º pares, contadas a partir do ápice, de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. Foram coletados 100 frutos/parcela nas quatro primeiras amostragens, 60 frutos/parcela entre a quinta e a oitava amostragem e 20 frutos/parcela nas amostragens seguintes. As folhas foram coletadas em um número fixo de 15 folhas/parcela durante todas as amostragens.

Tabela 2 – Características químicas e físicas dos solos da área experimental

Altitude (m)	MO	pH (H ₂ O)	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al
	dag/kg		mg/dm ³			cmol _c /dm ³		
720	3,58	6,1	27,0	132	4,2	0,9	0	4,29
950	4,61	5,2	7,5	116	2,4	0,3	0	8,25

Altitude	CTC	S	V	Zn	Fe	Mn	Cu	B
		mg/dm ³	%			mg/dm ³		
720	9,73	22,46	56	27,1	104,0	45,3	3,9	1,54
950	11,25	24,13	27	13,5	28,1	12,4	3,1	1,54

Altitude	Análises Granulométricas (dag/kg)					Classe Textural	Retenção de água (kg/kg) (equivalente de umidade)
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila			
720	25	21	14	40		Argilo-Arenoso	0,273
950	40	17	10	33		Franco-Argilo-Arenoso	0,178

pH em H₂O = relação 1:2,5

CTC = Capacidade de troca de cátions

P, K, Fe, Zn, Mn, Cu = Extrator Mehlich 1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1 mol/l

H + AL = Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/l, pH = 7

S = Fosfato monocálcico em ácido acético

Tabela 3 – Adubação empregada no ano agrícola de 2005/2006

Altitude (m)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		kg/ha	
720	390	0	200
950	370	0	70

Durante o período reprodutivo foram registradas as temperaturas mínimas e máximas, a umidade relativa (UR) entre 9 e 10 horas da manhã em intervalos de tempo semanais (Tabela 4) e o índice pluviométrico (Tabela 5).

O material vegetal coletado foi lavado em água deionizada e posto a secar em estufa de circulação forçada de ar a 70 °C até atingir peso constante, conforme, descrito por Jones Junior et. al (1991). Após este processo, os materiais vegetais foram pesados em balança de precisão, moídos em moinho tipo Wiley e acondicionados em

embalagens de papel devidamente identificadas para posterior realização das análises químicas.

Para determinação dos teores de Cu, Fe, Mn e Zn o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão nitroperclórica (Johnson e Ulrich, 1959), sendo quantificados por espectrofotometria de absorção atômica (AOAC, 1975). O B foi analisado após digestão das amostras por via seca (calcinação em mufla a 550 °C) e foi determinado por colorimetria pelo método da Azometrina-H (Bingham, 1982).

O acúmulo dos micronutrientes por fruto ($\mu\text{g/fruto}$) foi calculado pela seguinte equação:

$$\text{Acúmulo} = \frac{\text{MS do Fruto (mg)} \times \text{Concentração do Nutriente (mg/kg)}}{1000}$$

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e regressão. Para explicar fisiologicamente o acúmulo de nutrientes em frutos e a variação de nutrientes em folhas utilizaram-se modelos de regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros e polinomial. A escolha dos modelos não-lineares foi de acordo com a porcentagem da variância explicada (R^2) e melhor representação do fenômeno. Os regressões não-lineares sigmoidais com 3 e 4 parâmetros são:

$$\hat{y} = \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = Ponto máximo da curva
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão

$$\hat{y} = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)}$$

a = $y_{\max} - y_{\min}$
b = Parâmetro de ajuste
 x_0 = Ponto de inflexão
 y_0 = Ponto de mínimo da curva

Como o fruto de cafeeiro apresenta um modelo de crescimento seguindo uma dupla curva sigmoideal, ajustaram-se dois modelos para representar o acúmulo de MS e nutrientes em frutos durante o período reprodutivo.

O ponto de inflexão foi correspondente ao momento em que ocorreram as taxas máximas de acúmulo de matéria seca e nutrientes em frutos. A taxa máxima de acúmulo

diário (TMAD, mg/dia) foi determinada pelo acúmulo de matéria seca e nutrientes no ponto de inflexão menos o acúmulo do dia anterior.

O ponto de curvatura mínima (PC_{\min}) e máxima (PC_{\max}) foi calculado conforme método citado por Venegas et al. (1998) utilizando os parâmetros das equações não lineares:

$$PC_{\min} = x_0 - 2b$$

$$PC_{\max} = x_0 + 2b$$

O PC_{\min} indica o momento na curva de acúmulo em que se iniciam ganhos expressivos no acúmulo nutrientes. Já o PC_{\max} indica o momento em que o acúmulo dos nutrientes começa a se estabilizar.

O acúmulo relativo (AR_e) foi obtido de acordo com as diferenças entre o mínimo e o máximo acúmulo em cada estágio de formação do fruto, sendo os valores em porcentagem obtidos em relação ao acúmulo final alcançado.

$$AR_e = A_F - A_I$$

AR_e = Acúmulo relativo no estágio de formação do fruto
 A_F e A_I = Acúmulo no final e início do estágio

$$\% = \frac{AR_e}{AT} * 100$$

AT = Acúmulo alcançado aos 266 DAA

Calculou-se a diferença das concentrações foliares no início do ciclo reprodutivo, na época da floração (C_F), em relação às concentrações foliares de micronutrientes em meados dos estádios de expansão rápida (C_{ER} , 87 DAA a 720 m e 79,5 DAA a 950 m) e granação (C_G , 162,5 DAA a 720 m e 188 DAA a 950 m). Este gradiente de concentração indica se houve competição fruto/folha pelo acúmulo de micronutrientes nos momentos de maior exigência nutricional da cultura.

Tabela 4 – Médias das temperaturas médias, mínimas e máximas e umidade relativa ocorridas durante o período reprodutivo do cafeeiro em duas altitudes

Temperaturas	Altitudes (m)	
	720	950
Temp. Mínima Média (°C)	16,22	17,33
Temp. Máxima Média (°C)	30,22	26,94
Umidade Relativa (%)	73,33	81,50

Tabela 5 – Índice pluviométrico mensal durante o ano agrícola 2005/06 em Martins Soares MG

Ano 2005					Ano 2006						
Ago	Set	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul
12,0	168,4	59,3	353,5	278,2	7,0	131,0	256,5	121,8	31,0	8,0	13,8

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A altitude de cultivo da lavoura influenciou na duração dos estádios reprodutivos, bem como, na extensão do ciclo do cafeeiro (Tabela 6). Na altitude de 720 m observou-se que o fruto necessitou de 211 dias (10/05/2005) para sua formação, enquanto que a 950 m a formação do fruto foi até 262 dias após a antese (DAA) (30/06/2005). É provável que a ocorrência de menores temperaturas máximas (Tabela 4) tenha influenciado nas reações enzimáticas e no transporte de fotoassimilados (Larcher, 2004), ampliando o tempo de formação do fruto de cafeeiro. A duração do ciclo nas duas altitudes foi maior comparada à observada por Laviola et al. (2007) em Viçosa, os quais verificaram um ciclo de 224 dias para formação dos frutos de cafeeiro. Porém, Viçosa está a 650 m de altitude, o que evidencia a redução da extensão do ciclo do cafeeiro em menores altitudes.

Durante seu desenvolvimento, independentemente da altitude, os frutos passaram por cinco estádios distintos de formação, sendo estes, de acordo com Rena et al. (2001), chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso, granação e maturação

(Tabela 6). Cada estágio de formação possui funções fisiológicas e metabólicas próprias, essenciais à formação final da semente de café (Cannel, 1971; Coombe, 1976).

Tabela 6 – Delimitação dos estádios de formação do fruto de cafeeiro (DAA) durante o período reprodutivo com base nas curvas de acúmulo de matéria seca em frutos. Os valores entre parênteses representam à duração (dias) dos estádios

Altitude (m)	Chumbinho	Exp. Rápida	Cresc. Susp.	Granação	Maturação
720	0-65 (65)	65-109 (44)	109-114 (5)	114-211 (97)	211-266 (55)
950	0-61 (61)	61-98 (37)	98-114 (17)	114-262 (148)	262-266 (4)

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

** Os valores entre parênteses representam à duração (dias) dos estádios.

As curvas de acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn estão representadas pela Figura 1 e Tabela 7. As curvas de acúmulo de micronutrientes em frutos de cafeeiro seguiram um modelo de sigmóide simples, com exceção para o Cu a 720 m e o Mn a 950 m de altitude. De modo geral, o padrão das curvas de micronutrientes em frutos difere do padrão de acúmulo de matéria seca em frutos, o qual segue um modelo de sigmóide dupla (Coombe, 1976; Rena & Maestri, 1985).

No estágio de Chumbinho (Tabela 6) os frutos apresentam baixa taxa de crescimento (acúmulo de matéria seca), porém elevada taxa respiratória e de multiplicação celular (Cannel, 1971; Leon & Fournier, 1962). Não se observou efeito da altitude no acúmulo de micronutrientes nos frutos de cafeeiro no estágio de chumbinho (Figura 1; Tabela 7, 8 e 9). É plausível que os efeitos da altitude, principalmente aos relacionados à temperatura (Tabela 4), influenciem menos nas primeiras semanas de formação do fruto de cafeeiro. De modo geral, a ascensão no acúmulo de micronutrientes (PC_{min} , Tabela 8) apresentou tendência de começar antes do início do estágio de expansão rápida. Isto indica que as demandas metabólicas por micronutrientes nos frutos iniciam-se um pouco antes do estágio de expansão rápida, no qual se observam incrementos significativos de matéria seca nos frutos (Cannel, 1971; Coombe, 1976).

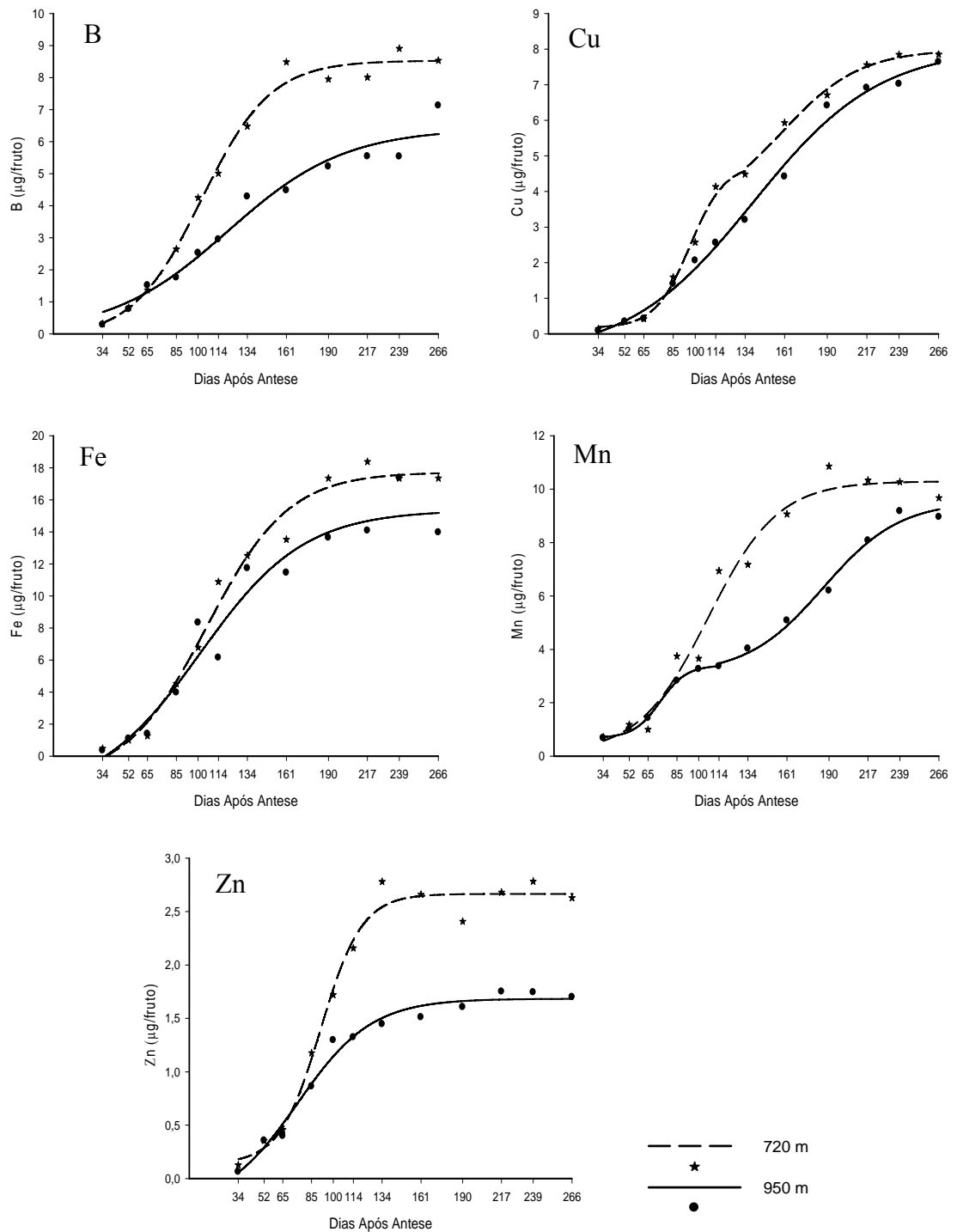


Figura 1 – Acúmulo de B , Cu , Fe , Mn e Zn em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em duas altitudes

Pode-se observar, no estágio de chumbinho, que os acúmulos relativos de B e Zn nos frutos foram maiores comparados aos acúmulos relativos dos outros micronutrientes (Tabela 9). É provável que o maior acúmulo de B e Zn no estágio de chumbinho esteja relacionado à grande importância destes nutrientes nos processos de divisão celular e na

estabilização de membranas das novas células formadas (Marschner, 1995; Marengo & Lopes, 2005).

Tabela 7 - Equações de regressão do acúmulo de micronutrientes em frutos de cafeeiros em função do tempo decorrido após a atese

Variável	Altitude (m)	Período (DAA)	Modelo	R ² (%)
B	720	34-266	$\hat{y} = -0,1336+8,6642/(1+\exp(-(x-102,3467)/23,9163))$	99,0
	950	34-266	$\hat{y} = 6,4097/(1+\exp(-(x-120,4642)/40,5818))$	96,4
Cu	720	34-134	$\hat{y} = 0,1694+4,6018/(1+\exp(-(x-96,4392)/12,0166))$	99,2
		114-266	$\hat{y} = 3,3409+4,6470/(1+\exp(-(x-159,1127)/26,7152))$	99,2
	950	34-266	$\hat{y} = -0,6381+8,6831(1+\exp(-(x-139,6711)/43,0022))$	99,3
Fe	720	34-266	$\hat{y} = -1,4979+19,2159/(1+\exp(-(x-106,1629)/28,2750))$	98,5
	950	34-266	$\hat{y} = -2,4301+17,7910/(1+\exp(-(x-101,7280)/35,7521))$	94,8
Mn	720	34-266	$\hat{y} = 0,0996+10,1966/(1+\exp(-(x-106,6915)/240336))$	97,6
		34-114	$\hat{y} = 0,6776+2,7235/(1+\exp(-(x-73,3391)/9,1945))$	99,9
	950	100-266	$\hat{y} = 3,0761+6,4690/(1+\exp(-(x-186,0927)/26,4541))$	98,9
Zn	720	34-266	$\hat{y} = 0,1354+2,5302/(1+\exp(-(x-91,3274)/14,3091))$	98,6
	950	34-266	$\hat{y} = -0,2669+1,9509/(1+\exp(-(x-75,4248)/25,6446))$	98,2

O estágio de expansão rápida (Tabela 6) se caracteriza, principalmente, por um rápido alongamento das células dos frutos, atingindo no final do estágio cerca de 80 % do tamanho final do fruto (Rena et al., 2001; Cannel, 1971). O acúmulo de matéria seca no estágio de expansão rápida esta relacionado, principalmente, à expansão celular, com deposição de material de parede (Coombe, 1976), sendo o fluxo de água para os frutos, essencial para o processo de alongamento celular (Marengo & Lopes, 2005). É plausível que o acúmulo de nutrientes nos frutos no estágio de expansão, em parte, ocorra por fluxo em massa decorrente das altas taxas de translocação de água para os frutos neste estágio (Ramirez et al., 2002), necessária para expansão celular (Coombe, 1976; Taiz & Zeiger, 2004).

No estágio de expansão rápida a altitude influenciou no acúmulo de micronutrientes nos frutos (Tabela 9). Foram observados, em proporção, maiores acúmulos relativos (AR_e) de B, Cu, Fe, Mn e Zn na altitude de 720 m com relação à

altitude de 950 m. A maior TMAD na altitude de 720 m (Tabela 8) influenciou para que houvesse maior acúmulo de nutrientes no final do estágio de expansão. É possível que as maiores temperaturas máximas (Tabela 4) ocorridas na altitude de 720 m tenham contribuído para que houvesse maiores taxas de translocação de micronutrientes para os frutos neste estágio.

Dentre todos os micronutrientes, o Zn foi o elemento que apresentou maior acúmulo relativo (%) no estágio de expansão rápida. O Zn apresenta papel importante na síntese de triptofano que é precursor para a síntese de ácido indol acético (AIA), que por sua vez é essencial para o processo de alongamento celular (Marschner, 1995).

Tabela 8 – Ponto da taxa máxima de acúmulo diário (X_{TMAD} , DAA), taxa máxima de acúmulo diária (TMAD, $\mu\text{g}/\text{fruto}/\text{dia}$) e ponto de curvatura mínima (PC_{\min} , DAA) e máxima (PC_{\max} , DAA) em duas altitudes

Variável	Altitude (m)	Período	X_{TMAD}	TMAD	PC_{\min}	PC_{\max}
B	720	34-266	102	0,091	55	150
	950	34-266	120	0,039	39	202
Cu	720	34-134	96	0,096	72	120
		114-266	159	0,043	106	213
	950	34-266	139	0,051	54	225
Fe	720	34-266	106	0,170	50	163
	950	34-266	101	0,124	30	173
Mn	720	34-266	106	0,106	59	155
		34-114	73	0,074	55	92
	950	100-266	186	0,061	133	239
Zn	720	34-266	91	0,044	63	120
	950	34-266	75	0,019	34	127

O estágio de crescimento suspenso se caracteriza por desaceleração no crescimento dos frutos de cafeeiro, apresentando baixas taxas de acúmulo de matéria seca (Rena et al., 2001). No entanto, em geral, o acúmulo de micronutrientes não desacelerou no estágio de crescimento suspenso, mantendo-se contínuo durante o estágio (Figura 1; Tabela 7 e 9). Neste estágio acredita-se que esteja havendo reciclagem e síntese de enzimas e compostos intermediários (Taiz & Zeiger, 2004),

antes empregados na síntese de polímeros de parede, para serem utilizados como precursores na síntese de compostos de reservas no estágio de granação. Tendo os micronutrientes papéis importantes na ativação de enzimas (Marschner, 1995), é possível que o acúmulo contínuo de micronutrientes no estágio de crescimento suspenso tenha ocorrido em função do aumento da demanda metabólica destes elementos.

No estágio de granação (Tabela 6), também chamado de enchimento do endosperma, a matéria seca é depositada, principalmente, nas sementes (Rena et al., 2001). A estabilização (PC_{max}) no acúmulo de micronutrientes no estágio de granação ocorreu em menor tempo na altitude de 720 m (Tabela 9), ou seja, a altitude influenciou na velocidade de transporte dos micronutrientes para os frutos. Além disso, o acúmulo de nutrientes estabilizou antes do final do estágio de granação. Primeiro são acumulados os nutrientes para depois completar os processos finais de formação das sementes. O consumo de nutrientes pelos frutos, assim como, o enchimento de grãos é mais crítico em condições de menor altitude, já que a planta necessita completar estes processos em menor espaço de tempo. Em menores altitudes o tempo para formação dos frutos é menor. Havendo algum estresse para a planta, esta pode não ter tempo para recuperar-se, sendo a formação final do fruto prejudicada. Em contra partida, em maiores altitudes o tempo de formação dos frutos é maior, e sob uma situação de estresse os danos à formação final do fruto podem ser proporcionalmente menores. Além disso, em menores altitudes as plantas de cafeeiro podem sofrer um maior desgaste por apresentarem um menor período de formação dos frutos. Menores períodos de formação dos frutos podem exigir mais das plantas, que necessitam absorver nutrientes e produzir carboidratos em menor espaço de tempo para suprir as necessidades dos frutos.

Tabela 9 – Acúmulo relativo (AR_e, µg/fruto) de micronutrientes de acordo com o estágio de formação do fruto de cafeeiro em duas altitudes

Variável	Altitude (m)	Chumbinho		Exp Rápida		Cresc. Susp		Granação		Maturação*	
		AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%	AR _e	%
B	720	1,369	16,07	3,428	40,23	0,436	5,12	3,206	37,62	0,082	0,96
	950	1,203	19,29	1,137	18,23	0,610	9,79	3,269	52,42	0,017	0,28
Cu	720	0,483	6,11	3,091	39,11	0,331	4,18	3,500	44,28	0,499	6,32
	950	0,563	7,40	1,118	15,61	0,694	9,13	5,123	67,34	0,040	0,53
Fe	720	2,146	12,15	6,456	36,55	0,841	4,76	7,825	44,31	0,393	2,23
	950	1,884	12,41	4,118	27,12	1,975	13,01	7,185	47,32	0,021	0,14
Mn	720	1,629	15,84	3,814	37,09	0,525	5,10	4,198	40,82	0,118	1,15
	950	1,242	13,43	1,985	21,47	0,142	1,54	5,829	63,06	0,046	0,50
Zn	720	0,482	18,09	1,913	60,53	0,140	5,23	0,430	16,13	0,001	0,02
	950	0,441	26,22	0,671	39,87	0,217	12,91	0,353	21,00	0,001	0,01

* Considerou-se como maturação o período após o início da estabilização no acúmulo de MS no fruto, embora as mudanças na coloração da casca correspondentes a maturação tenham iniciado antes.

O X_{TMAD} nas duas altitudes ocorreu entre meados do estágio de expansão rápida do fruto e início do estágio de granação do fruto, dependendo do micronutriente avaliado (Tabela 8). Apesar de a altitude não ter influenciado diretamente no X_{TMAD}, esta influenciou no TMAD, sendo observados maiores valores na altitude de 720 m.

A porcentagem de acúmulo relativo no estágio de granação (Tabela 9) foi maior na altitude de 950 m comparada à altitude de 720 m. Isto ocorreu, principalmente, em função do acúmulo de micronutrientes na altitude de 720 m ter se antecipado nas primeiras fases de formação do fruto.

Após o estágio de granação iniciou-se o estágio de maturação, que se caracteriza, principalmente, pelo aumento do teor de açúcares e por mudanças na coloração da casca do fruto (Rena et al., 2001; Puschmann, 1975). Apesar de na Tabela 7 o estágio de maturação ter perdurado até 266 DAA (época da última amostragem), na altitude de 720 m a mudança na coloração da casca do fruto de verde para vermelho foi visualmente em menor tempo.

Os efeitos da altitude no acúmulo de B, Cu, Fe, Mn e Zn estão relacionados, principalmente, a variações de temperaturas máximas entre as altitudes (Tabela 4). De

acordo com Larcher (2004) a temperatura possui influência direta sobre processos regulatórios da planta. Sob menores temperaturas, a velocidade das reações enzimáticas é reduzida e, conseqüentemente, as taxas fotossintéticas e respiratórias também são restringidas.

A ocorrência de temperaturas amenas desfavorece a absorção de íons pelas raízes. A elevação da temperatura aumenta a velocidade de difusão e de fluxo em massa de íons para as raízes, a penetração de íons no espaço livre aparente via apoplasto, estimula a absorção e o acúmulo de íons nas células das raízes e favorece o transporte nos condutos do xilema. Além disso, o aumento da temperatura acelera a atividade respiratória da planta, incrementa o metabolismo nas raízes e a produção de ATP, liberando energia, que é utilizada de diversos modos para a absorção de íons (Marengo & Lopes, 2005).

Além de influenciar nos processos de absorção, a temperatura também pode alterar a taxa de transporte de nutrientes e a partição de fotoassimilados no floema. Segundo Taiz & Zeiger (2004) o resfriamento de um tecido-dreno inibe as atividades que necessitam de energia metabólica e resulta na diminuição da velocidade do transporte em direção ao dreno. De acordo com Rena & Maestri (1985), a temperatura ótima para assimilação de CO₂ no cafeeiro varia de 20 a 30° C, dependendo da temperatura em que as plantas foram aclimatadas nos dias anteriores.

Apesar de a temperatura ser um dos principais fatores a influenciar na fisiologia da planta, outros fatores, como a disponibilidade hídrica podem também ter atuado na absorção e distribuição de nutrientes na planta, bem como, no desenvolvimento dos frutos. O solo na altitude de 720 m apresenta maior capacidade de retenção de água em relação ao solo das outras altitudes (Tabela 2). Como em janeiro de 2005 o índice pluviométrico foi de apenas 7 mm (Tabela 5), a umidade do solo a 720 m pode ter se

mantido próximo à capacidade de campo por maior espaço de tempo em relação ao solo das demais altitudes.

O fornecimento de micronutrientes ao cafeeiro, seja via solo ou via folha (Guimarães et al., 1999; Rena & Favaro, 2000), deve iniciar-se antes do estágio de expansão rápida do fruto. Nas condições experimentais, o fornecimento de B, Cu e Zn deveria ocorrer antes dos 34 DAA (09/11/2005). Se a aplicação de micronutrientes for via solo, esta deve ser efetuada após a florada devido às fontes de micronutrientes apresentarem, em geral, baixa taxa de liberação (Malavolta, 2006).

Se o fornecimento dos micronutrientes for via folha, este poderá ser efetuado aproximadamente a 30 DAA, já que a absorção de nutrientes via folha é um processo mais rápido comparado à absorção via solo (Rena & Favaro, 2000).

Calculando-se as médias dos momentos em que se estabiliza o acúmulo de B, Cu e Zn em frutos, verifica-se que estes momentos ocorrem aos 160 DAA a 720 m e 185 DAA na altitude de 950 m. Considerando três pulverizações anuais para o fornecimento dos micronutrientes (Matiello et al., 2005) e que a última pulverização deva ocorrer pelo menos 20 dias antes do fim do acúmulo de micronutrientes, pode-se fazer a seguinte sugestão de aplicação foliar: efetuar três pulverizações anuais, sendo que a primeira venha a ocorrer a aproximadamente 30 DAA, independente da altitude. Após a primeira pulverização, as demais devem ocorrer em um intervalo de 30-35 dias em altitudes próximas a 720 m e intervalos de 40-45 dias em altitudes próximas a 950 m. Independentemente da altitude, a concentração na calda de Zn deve ser em proporção superior nas duas primeiras pulverizações.

Dentre os três micronutrientes mais limitantes à produção do cafeeiro, o Zn é o único que não é fornecido eficientemente via solo, devido sua forte adsorção pelos colóides do solo, principalmente, em óxidos de Fe e Al (Malavolta, 2006). Para se fazer

somente o fornecimento do Zn via foliar, sugere-se que as pulverizações ocorram em intervalos de 25 a 30 dias, independentemente da altitude.

A variação na concentração de micronutrientes no 3º e 4º pares de folhas de ramos produtivos ao longo do ciclo reprodutivo do cafeeiro pode ser visualizada na figura 2 e tabela 10. De modo geral, observou-se uma menor concentração de B, Fe e Zn nas folhas do 3º e 4º pares no início do período reprodutivo, no estágio de expansão rápida do fruto, quando foi atingida uma mínima concentração. Quanto ao Cu e Mn, estes micronutrientes apresentaram uma mínima concentração nas folhas no estágio de granação. Durante todo o período reprodutivo, observou-se que as concentrações de B, Fe e Mn nas folhas foram maiores na altitude de 950 m, comparado à altitude de 720 m. Isto pode ter ocorrido em função da competição pela translocação dos elementos, já que os frutos na altitude de 720 m apresentaram maiores acúmulos finais dos nutrientes (Figura 1; Tabela 6).

Na tabela 11 tem-se a comparação das concentrações foliares em meados dos estádios de expansão rápida e de granação com as concentrações foliares observadas no início do ciclo reprodutivo (floração). Tais comparações indicam se houve competição, ao longo do ciclo reprodutivo, pela translocação dos micronutrientes. De modo geral, observou-se que a presença dos frutos resultou em forte competição fruto/folha pela partição dos micronutrientes, independentemente do estágio de formação dos frutos. Apesar disso, as concentrações de micronutrientes ao longo do período reprodutivo estiveram na maior parte do tempo dentro das faixas de referência estipuladas por Martinez, et al. (2004).

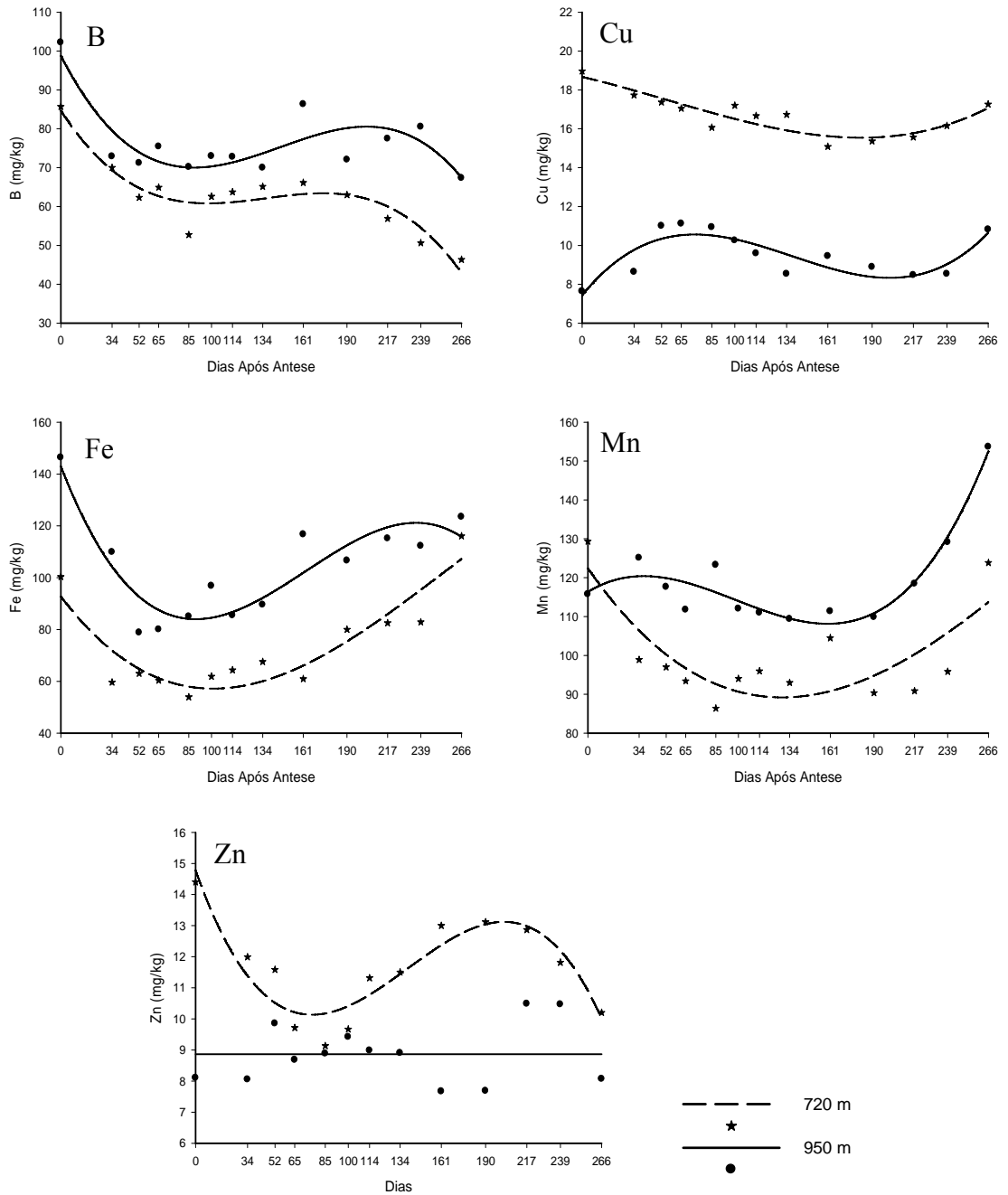


Figura 2 – Variação na concentração de B, Cu, Fe, Mn e Zn em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese em duas altitudes

Tabela 10 - Equações de regressão da variação nas concentrações de micronutrientes em folhas de cafeeiros em função do tempo decorrido após a antese em duas altitudes, ponto de mínimo (X_{\min} , dias) e máximo (X_{\max} , dias)

Variável	Altitude (m)	Modelo	R ² (%)	X _{min}	X _{max}
B	720	$\hat{y} = 84,6806 - 0,6003x + 0,0048x^2 - 0,0000117x^3$	87,2	266	0
	800	$\hat{y} = 98,8114 - 0,7604x + 0,0062x^2 - 0,0000141x^3$	73,9	266	0
Cu	880	$\hat{y} = 18,6776 - 0,0183x - 0,0000808x^2 + 0,000000477x^3$	81,5	183	0
	950	$\hat{y} = 7,4351 + 0,0964x - 0,0009x^2 + 0,00000216x^3$	73,8	0	266
Mn	720	$\hat{y} = 122,4093 - 0,5578x + 0,0027x^2 - 0,00000258x^3$	63,1	101	266
	800	$\hat{y} = 116,3268 + 0,2381x - 0,0040x^2 + 0,0000134x^3$	91,7	90	0
Fe	880	$\hat{y} = 92,7241 - 0,7361x + 0,0047x^2 - 0,00000615x^3$	83,9	129	122
	950	$\hat{y} = 143,0347 - 1,5084x + 0,0116x^2 - 0,0000238x^3$	81,8	159	266
Zn	720	$\hat{y} = 14,7820 - 0,1393x + 0,0013x^2 - 0,00000301x^3$	84,9	266	0
	800	$\hat{y} = \bar{y} = 8,8641$	----	----	----

Tabela 11 - Concentrações foliares de micronutrientes na floração (C_F) comparada às concentrações foliares em meados dos estádios de expansão rápida (C_{ER}) e granação (C_G) em duas altitudes

Variável	Altitude (m)	Florada (dag kg ⁻¹)	Crescimento Rápido		Granação	
			dag kg ⁻¹	$C_{ER} - C_F$	dag kg ⁻¹	$C_G - C_F$
B	720	84,68	60,98	- 23,69	63,25	- 21,43
	800	98,81	70,23	- 28,57	80,06	- 18,74
Cu	880	18,67	18,78	- 1,88	15,61	- 3,05
	950	7,43	10,54	+ 3,12	8,39	+ 0,97
Fe	720	92,72	57,76	- 34,96	66,51	- 26,20
	800	143,03	84,55	- 58,47	111,83	- 31,20
Mn	880	122,41	92,325	- 30,08	90,961	- 31,45
	950	116,33	116,99	+ 0,66	110,49	- 5,84
Zn	880	14,78	10,19	- 4,58	12,42	- 2,35
	950	8,86	8,86	----	8,86	----

CONCLUSÕES

1. A altitude influenciou na extensão do ciclo, bem como no acúmulo de micronutrientes em frutos e folhas de cafeeiro.
2. A altitude de 720 m contribuiu para um maior aceleração no acúmulo de micronutrientes em frutos.

3. A concentração de micronutrientes nas folhas de cafeeiro não foi influenciada apenas pela altitude de cultivo, mas também por outros fatores que podem influenciar a taxa de distribuição de nutrientes na planta.

REFERÊNCIAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 12. ed. Washington, D.C., 1975. 1094p.

BINGHAM, F.T. Boron. In: Page, A.L. (Ed.). **Methods of soil analysis**: chemical and microbiological properties. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p.431-447. (Serie Agronomy, 9).

CANNEL, M.G.R. Seasonal patterns of growth and development of arabica coffee in Kenya. PartIV. Effects of seasonal differences in rainfall on bean size. **Kenya Coffee**, v.36, p.175-180, 1971.

CARVALHO, C.H.S. de; RENA, A.B.; PEREIRA, A.A.; CORDEIRO, A.T. Relação entre produção, teores de N, P, Ca, Mg, amido e seca de ramos do Catimor (*Coffea arabica* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.28, n.6, p.665-673, 1993.

COOMBE, B.G. The development of fleshy fruits. **Annual Review Plant Physiology**, v.27, p.507-28, 1976.

GUIMARÃES, P.T.G.; GARCIA, A.W.R.; ALVAREZ V., V.H.; PREZOTTI, L.C.; VIANA, A.S.; MIGUEL, A.E.; MALAVOLTA, E.; CORRÊA, J.B., LOPES, A.S.; NOGUEIRA, F.D.; MONTEIRO, A.V.C. Cafeeiro. In: Ribeiro, A.C.; Guimarães, P.T.G.; Alvarez V., V.H. (Eds.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**, 5ª Aproximação. Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais – CFSEMG. Viçosa, 1999. p.289-302.

JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. **Analytical methods for use in plants analyses**. Los Angeles: University of California, 1959, v.766. p.32-33.

JONES JUNIOR, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H.A. **Plant analysis handbook: a practical sampling, preparation, analysis, and interpretation guide**. Athens, Georgia: Micro-Macro Publishing, 1991. 213p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, 2004, 531p.

LAVIOLA, B.G.; MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R. B. de; ALVAREZ V., V.H. Dinâmica de cálcio e magnésio em folhas e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.31, p.319-329, 2007.

LEON, J. & FOURNIER, L. Crecimiento y desarrollo del fruto de *Coffea arabica*. **Turrialba**, v.12, p.65-74, 1962.

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

MALAVOLTA, E. **Manual de Nutrição Mineral de Plantas**. 1. ed. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MARENCO, R.A.; LOPES, N.F. **Fisiologia vegetal**: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral. Viçosa: UFV, 2005. 451p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed., New York, Academic Press, 1995. 889p.

MARTINEZ, H.E.P.; MENEZES, J.F.S.; SOUZA, R.B.; ALVAREZ V., V.H.; GUIMARÃES, P.T.G. Faixas críticas de concentrações de nutrientes e avaliação do estado nutricional de cafeeiros em quatro regiões em Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.38, n.6, p.703-713, 2003a.

MARTINEZ, H.E.P ; NEVES, Y.P.; ZABINI, A.V. Diagnóstico do estado nutricional do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Produção Integrada de Café**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2003b, p.397-442.

MARTINEZ, H.E.P.; SOUZA, R.B. de; ALVAREZ V., V.H.; MENEZES, J.F.S.; NEVES, Y.P.; OLIVEIRA, J.A.; ALVARENGA, A. de P.; GUIMARÃES, P.T.G. **Nutrição mineral, fertilidade do solo e produtividade de cafeeiro nas regiões de Patrocínio, Manhuaçu, Viçosa, São Sebastião do Paraíso e Guaxupé.** 2.ed. Belo Horizonte: 2004. 60p. (EPAMIG. Boletim Técnico, 72)

MATIELLO, J.B.; SANTINATO, R.; GARCIA, A.W.R.; ALMEIDA, S.R.; FERNANDES, D.R. **Cultura de café no Brasil:** novo manual de recomendações. Rio de Janeiro: MAPA /PROCAFE, 2005. 438p.

MIGUEL, A.E.; MATIELLO, J.B.; VIANA, A.S.; JAPIASSU, L. Teores de micronutrientes nas amostras de solo analisadas pelo laboratório do mapa em Varginha, Sul de Minas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIRAS, 28, 2002, Caxambu. **Anais...** Rio de Janeiro: MAPA/PROCAFÉ, 2002. p.76-77.

PUSCHMANN, R. **Características bioquímicas do fruto do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) durante a maturação.** 1975, 35p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Curso de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa.

RAMÍREZ, F.; BERTSCH, F.; MORA, L. Consumo de nutrientes por los frutos y bandolas de café Caturra durante um ciclo de desarrollo y maduración en Aquiares, Turrialba, Costa Rica. **Agronomia Costarricense**, v.26, n.1, p.33-42, 2002.

RENA, A.B.; BARROS, R.S.; MAESTRI, M. Desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro. In: ZAMBOLIM L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001. p.101-128.

RENA, A.B.; FAVARO, J.R.A. Nutrição do cafeeiro via folha. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Café: produtividade, qualidade e sustentabilidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2000. p.149-208.

RENA, A.B.; MAESTRI, M. Fisiologia do cafeeiro. **Informe Agropecuário**, v.11, n.126, p.26-40, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719p.

VENEGAS, J.G.; HARRIS, R.S.; SIMON, B.A. A comprehensive equation for the pulmonary pressure-volume curve. **The American Physiological Society**. p.389-395, 1998.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fazendo a comparação entre os experimentos, verificou-se que a elevação da altitude de cultivo, de 650 m em Viçosa para 720 a 950 m em Martins Soares, retardou o ciclo reprodutivo do cafeeiro.

O acúmulo de Ca, Mg, B e Zn precedeu os demais nutrientes, apresentando no estágio de chumbinho maior acúmulo relativo (AR_e). É de grande relevância o fornecimento destes nutrientes a níveis adequados antes do início do ciclo do cafeeiro através das práticas de calagem, para Ca e Mg, e adubação foliar, para os micronutrientes.

A translocação de nutrientes e carboidratos no estágio de expansão rápida ocorre em maior velocidade na direção dos frutos em menores altitudes. No estágio de expansão rápida, as taxas máximas de acúmulo diário (TMAD) de matéria seca (MS) e nutrientes minerais em frutos foram maiores na menor altitude quando se compara os valores obtidos em Viçosa e Martins Soares. Com relação ao amido, também, se observou maiores valores de TMAD na altitude de 720 m comparado à altitude de 950 m. Por outro lado, no estágio de granação observou-se uma tendência inversa com maiores valores da TMAD em maiores altitudes. Porém, ainda assim, o tempo para se atingir a TMAD (X_{TMAD}) no estágio de granação foi mais curto na menor altitude.

O alocção de MS e nutrientes é mais precoce em altitudes menores, pois se observaram maiores acúmulos relativos (AR_e) de MS e nutrientes minerais nos estádios

iniciais de formação do fruto a 650 m, em Viçosa, comparados a 720 m até 950 m de altitude, em Martins Soares.

O acúmulo de nutrientes e amido em frutos estabilizou-se antes do acúmulo de MS, ou seja, primeiro são acumulados os nutrientes para depois completar os processos de formação das sementes.

A alocação de Ca, Mg, S, Zn, B, Cu, Mn, Fe, amido e açúcares solúveis em frutos no estágio de granação estabilizou-se (PC_{max}) em menor tempo na altitude de 720 m comparado às maiores altitudes. Para N e P, não se observou efeito da altitude na paralisação do acúmulo destes elementos nos frutos. O K não apresentou paralisação em sua translocação para os frutos até a maturação. O acúmulo de açúcares solúveis em frutos de cafeeiro iniciou-se na metade final do estágio de granação e finalizou-se na fase de maturação dos frutos.

De modo geral, a altitude influenciou nas concentrações foliares de nutrientes e carboidratos, apesar de não se ter observado um padrão de resposta na variação da concentração foliar ao aumento de altitude. Na altitude de 720 m as concentrações foliares de N, K, Ca, Mg, S, Cu, Zn e carboidratos apresentaram-se superiores comparado às maiores altitudes.

O padrão da curva de variação na concentração de nutrientes em folhas de ramos produtivos foi semelhante entre N, Ca, Mg, B, Zn, Fe, e Mn. Foram observadas menores concentrações foliares destes nutrientes no início do período reprodutivo e maiores concentrações no final do ciclo. Com relação a P e S, as folhas apresentaram menores concentrações no início e no final do ciclo. A concentração foliar de K foi máxima no início do ciclo reprodutivo e apresentou uma concentração mínima aos 161 DAA, próximo ao momento de maior taxa de acúmulo de K nos frutos no estágio de granação.

A concentração de amido e AST no 3º e 4º pares de folhas decresceu bruscamente no início do período reprodutivo, até 100 a 114 DAA, independentemente da altitude de cultivo. Após os 100 DAA, verificou-se que a concentração de amido em folhas se elevou novamente na altitude de 720 m, enquanto que na altitude de 950 m a concentração deste composto manteve-se baixa, apresentando uma pequena tendência de aumento no final do ciclo reprodutivo.

A adubação em regiões de baixa altitude deve fornecer uma maior proporção de nutrientes nas primeiras parcelas das adubações comparada a regiões de altitudes mais elevadas. Porém, independente da altitude de cultivo, a primeira parcela da adubação do cafeeiro deve ser realizada antes do estágio de expansão rápida do fruto, embora as condições de disponibilidade hídrica devam ser consideradas.

Conclui-se que a altitude de cultivo do cafeeiro influenciou no acúmulo de nutrientes e carboidratos em frutos e folhas de cafeeiro. Em menores altitudes, o acúmulo de nutrientes e carboidratos em frutos ocorreu em maior velocidade e, devido a isto, foi mais precoce.