

DINÂMICA DE N E K EM FOLHAS, FLORES E FRUTOS DE CAFEIEIRO ARÁBICO EM TRÊS NÍVEIS DE ADUBAÇÃO¹

DYNAMICS OF N AND K IN LEAVES, FLOWERS AND FRUITS OF ARABIC COFFEE (COFFEA ARABICA L.) USING THREE MANURING LEVELS

Bruno Galvêas LAVIOLA²; Hermínia Emilia Prieto MARTINEZ³; Ronessa Bartolomeu de SOUZA⁴; Victor Hugo Alvarez VENEGAS⁵

RESUMO: Conhecer a dinâmica 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 práticas de adubações. O objetivo deste trabalho foi acompanhar a dinâmica de N e K em frutos de cafeeiro da antese à maturação e compará-la à dinâmica do elemento em folhas dos ramos produtivos. O experimento foi realizado em Viçosa-MG durante agosto de 2001 a abril de 2002. Utilizaram-se três variedades de cafeeiro arábico 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. Foram avaliadas as concentrações de N e K nos frutos e folhas do 3º e 4º pares ao longo do período reprodutivo. As variedades apresentaram as maiores concentrações de N e K nos frutos no estágio de chumbinho, havendo redução na concentração dos elementos no estágio de expansão rápida. Nos estádios de crescimento suspenso e granação-maturação observou-se um novo aumento na concentração de N e K nos frutos. Nas folhas de ramos produtivos observaram-se decréscimos nas concentrações de N, no início do período reprodutivo, havendo recuperação posteriormente. As variedades não apresentaram um padrão regular nas curvas de variação da concentração de K nas folhas. Observou-se que não somente os níveis de adubação testados influenciaram na concentração dos elementos em folhas, flores e frutos das variedades de cafeeiro, mas também outros fatores, como a carga pendente de frutos.

PALAVRAS-CHAVE: Fisiologia vegetal. Nutrição mineral. Estádio reprodutivo. Elementos minerais.

INTRODUÇÃO

O cafeeiro arábico é considerado uma planta que apresenta alta exigência nutricional, sendo o N seguido pelo K os nutrientes mais requeridos pela cultura. De acordo com Matiello et al. (2005), o N desempenha papel importante na expansão da área foliar, no crescimento da vegetação e na formação dos botões florais, sendo constituintes de aminoácidos, e se localiza, principalmente, nos cloroplastos das folhas, exercendo função importante na atividade fotossintética. O potássio é mais requerido na fase reprodutiva do cafeeiro, principalmente no enchimento dos grãos, apresentando função importante na

síntese e transporte de carboidratos para os frutos.

As exigências nutricionais do cafeeiro adulto e a distribuição dos nutrientes dependem principalmente da idade da planta, do crescimento vegetativo e da produção de frutos. De acordo com Corrêa et al. (1986), a exigência nutricional é crescente a partir dos primeiros 6 meses até 78 meses de idade após o plantio (6,5 anos) e apresenta comportamento semelhante à acumulação de matéria seca. Além disso, com a idade, o crescimento do sistema radicular do cafeeiro aumenta a eficiência de recuperação de nutrientes do solo, elevando o aproveitamento dos fertilizantes aplicados (PREZOTTI, 2001).

A demanda por nutrientes pelo cafeeiro ao longo dos anos, segundo Malavolta et al. (2002), não varia em

¹ Parte da Tese de Mestrado em Fitotecnia do primeiro autor, apresentada à Universidade Federal de Viçosa – UFV.

² Engenheiro. Agrônomo. Bolsista CNPq. E-mail: laviolabg@yahoo.com.br.

³ Professora do Departamento de Fitotecnia – UFV, E-mail: herminia@ufv.br.

⁴ Pesquisadora da EMBRAPA Hortaliças, E-mail: ronessa@cnph.embrapa.br.

⁵ Professor do Departamento de Solos – UFV, E-mail: vhav@ufv.br.

Received: 23/03/06 Accept: 12/09/06

virtude da produção, pois quando a frutificação é baixa, o crescimento de ramos novos e a formação de folhas substituem o fruto como dreno de carboidratos e nutrientes.

Paralelamente ao crescimento vegetativo, competindo por água, nutrientes e carboidratos, o cafeeiro inicia entre setembro e outubro o período reprodutivo com a floração. Malavolta *et al.* (2002) verificaram quantidades médias estimadas de macronutrientes extraídas pelas flores dos cultivares Mundo Novo e Catuaí Amarelo de, 74,3 kg ha⁻¹ de N, 79,5 kg ha⁻¹ de K, 69,0 kg ha⁻¹ de Ca, e 39,0 kg ha⁻¹ de Mg. Diante desse fato, estes autores sugerem que a adubação do cafeeiro deve iniciar antes do florescimento, pois a absorção de nutrientes começa antes da antese floral. O atendimento dessa demanda nutricional depende da absorção pelas raízes e do transporte no xilema (AMARAL, 1991; DAMATTA *et al.*, 1999; RENA, 2000), o que enfatiza a tese da antecipação da adubação, sempre considerando outros aspectos como o uso e manejo da irrigação suplementar e a umidade no solo (MALAVOLTA *et al.*, 2002).

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, quando ocorre novo incremento na absorção de nitrogênio e potássio e no acúmulo de matéria seca, a partir do sexto e sétimo meses após a antese.

A época de fornecimento dos fertilizantes para o cafeeiro deve coincidir com o período de maior consumo de nutrientes para sustentar o crescimento vegetativo e a frutificação. No entanto, devem ser consideradas também as condições climáticas. Segundo Matiello *et al.* (2005), 73 % 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 necessário nesta época, ficando as demais épocas com as reservas formadas.

Conhecer a dinâmica dos nutrientes minerais nas variedades de cafeeiro, principalmente, no que se refere às flores e frutos, é uma importante informação para se identificar o período de maior exigência nutricional pela planta e, desta forma, melhorar a eficiência das práticas de adubação. Além disso, conhecer as variações nos teores de nutrientes nas folhas e sua mobilização para flores e frutos durante a fase reprodutiva de variedades de cafeeiro em diferentes ambientes é importante para o diagnóstico do status nutricional das plantas.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi acompanhar a dinâmica de N e K em frutos de cafeeiro arábico da antese à maturação e compará-la à dinâmica desses elementos em folhas dos ramos produtivos em três níveis de adubação.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante um período de oito meses compreendido entre agosto de 2001 a abril de 2002 em Área Experimental da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, com altitude de 651 m, latitude sul 20°45' e longitude oeste 42°51', em talhão de café implantado em Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico, cujas características químicas podem ser observadas no Tabela 1.

Foram realizados três experimentos, sendo utilizadas, em cada ensaio, três variedades de cafeeiro arábico, Catuaí Vermelho IAC-99, Rubi MG-1192 e Acaiaí IAC-474-19, plantadas em blocos ao acaso no espaçamento de 2,0 x 1,0 m. As plantas receberam níveis de adubação e calagem com base na análise do solo designados baixo, adequado e alto desde o plantio. No ano agrícola de 2001/2002 empregaram-se as doses apresentadas nas Tabelas 2 e 3.

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

Nível	Prof.	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	CTC	V
Adubação	(cm)	H ₂ O	mg/dm ³			cmol/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 = Porcentagem de saturação por bases

pH em H₂O = relação 1:2,5

CTC = Capacidade de troca de cátions

P, K = Extrator Mehlich 1

Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺ = KCl 1 mol/lH + AL = Método Ca(OAc)₂ 0,5 mol/l, pH = 7**Tabela 2.** Adubação empregada no ano agrícola de 2001/2002

Nível de Adubação	Calcário	N	P2O5	K2O
	t/ha	g/planta		
Baixo	0,13	42	6,4	25,6
Adequado	0,33	105	16	64
Alto	0,46	147	22	89,6

O calcário foi aplicado a lanço superficialmente à lança antecedendo o período chuvoso. Os demais adubos foram parcelados em aplicações semanais realizadas de novembro a março, ao solo, de forma localizada pela utilização de fertirrigação por gotejamento, com o suporte do “software” SISDA_{café} (MANTOVANI; COSTA, 1998); c) Micronutrientes: Zn, B e Cu foram supridos por meio de três aplicações foliares anuais (dez., jan. e fev.), utilizando-se sulfato de zinco, ácido bórico, oxicloreto de cobre e cloreto de potássio (como adjuvante), na concentração de 4 g/L de cada adubo.

O delineamento experimental empregado em cada ensaio foi feito em blocos casualizados, distribuídos em um esquema de parcelas subdivididas no tempo, compondo três variedades de café e 12 períodos de amostragem, 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.

As amostragens iniciaram-se em 4 de setembro

de 2001, quando houve antese floral, ocasião em que se coletaram folhas e flores, sendo este considerado como dia zero. A partir desta data, efetuaram-se coletas periódicas de folhas e frutos durante o desenvolvimento reprodutivo do cafeeiro nos seguintes períodos: aos 28, 42, 63, 84, 105, 133, 154, 175, 196, 210 e 224 dias após a antese. Os frutos foram colhidos aleatoriamente na parcela de ramos pertencentes ao terço médio da planta e as folhas foram correspondentes ao 3º e 4º pares, na posição distal, de ramos com frutos, também situados no terço médio da planta. A última amostragem foi realizada quando os frutos atingiram o ponto de maturação, ou seja, o estágio cereja, no dia 9 de maio de 2002.

O material vegetal coletado foi lavado em água desionizada e posto a secar em estufa de circulação de ar forçado 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 de malha de 0,841 mm e submetidos à análises químicas.

Para determinação dos teores de N, o material vegetal, seco e moído, foi submetido à digestão sulfúrica (JACKSON, 1958), bem como à extração com água, em banho-maria, a 45 °C, durante uma hora, para análise do nitrato. As amostras digeridas, oriundas da digestão sulfúrica, foram utilizadas para as análises dos teores de N amoniacal. A determinação do teor de K foi efetuada a partir da digestão nitricoperclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959). O nitrato foi determinado por colorimetria (CATALDO *et al.*, 1975), o N amoniacal pelo método colorimétrico de Nessler (JACKSON, 1958) e o K por fotometria de chama.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de

variância e regressão, selecionando-se os modelos que mais explicaram fisiologicamente a variação dos teores de N e K em folhas e frutos em função do tempo decorrido após a antese. Para explicar a variação dos elementos nos frutos, optou-se por um modelo descontínuo com duas equações de regressão.

Na seleção dos modelos testaram-se os coeficientes das equações de regressão ajustadas com base no quadrado médio do resíduo da análise de variância até o nível de 10% de significância. Na escolha do modelo, também considerou-se o coeficiente de determinação (R^2), optando-se pelo maior quando dois ou mais modelos foram significativos e explicavam o fenômeno.

Tabela 3. Produtividade Média (sacas/ha de café beneficiado) de três variedades de cafeeiro arábica submetidos a três níveis de adubação.

Nível de Adubação	Variedades		
	Acaia	Rubi	Catuai
Ano Agrícola 2000/2001			
Baixo	12,400	20,700	19,900
Adequado	18,300	33,200	30,100
Alto	25,800	40,100	38,800
Ano Agrícola 2001/2002			
Baixo	23,300	21,330	15,600
Adequado	35,130	42,030	15,050
Alto	44,550	40,480	39,050

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições do experimento em Viçosa, o período reprodutivo apresentou extensão de 32 semanas (224 dias). Com base na curva de acúmulo de matéria seca por fruto das variedades, podem-se verificar quatro estádios distintos durante a formação dos frutos (Figura 1). O primeiro estádio apresentou duração de 42 dias, havendo pequeno acúmulo de matéria seca, sendo este estádio denominado de chumbinho, em que, de acordo com Rena *et al.* (2001), se caracteriza por intensa divisão celular e ausência de crescimento expressivo no tamanho do fruto.

O segundo estádio (Figura 1) iniciou-se com rápido aumento no conteúdo de matéria seca nos frutos tendo duração entre 42 até 105 dias após a antese (63 dias). Este estádio é conhecido como estádio de rápida expansão, no qual se observa um rápido aumento do tamanho dos frutos, promovido mais efetivamente por

expansão celular. O aumento do acúmulo de matéria seca ocorre, principalmente, por deposição de substâncias de parede celular como celulose, hemiceluloses e pectinas (CANNEL, 1971; TAIZ; ZEIGER, 2004).

Após este segundo estádio, observou-se um terceiro, com duração dos 105 até 133 dias após a antese (28 dias). Neste estádio ocorreu paralisação no acúmulo de matéria seca por fruto, havendo até um leve declínio (Figura 1). Alguns autores denominam este estádio como crescimento suspenso.

Por fim, observou-se um quarto estádio de desenvolvimento dos frutos (Figura 1), com duração dos 133 até os 224 dias após a antese (91 dias). Neste estádio estão incluídas as últimas fases de formação dos frutos: granação e maturação. O acúmulo de matéria seca pelos frutos nestes estádios ocorre, principalmente, por deposição de matérias de reservas (RENA *et al.*, 2001). Em função do acúmulo de matéria seca ter ocorrido até os 224 dias após a antese, não foi possível a separação

destas fases, havendo sobreposição entre elas. Tais resultados diferem dos encontrados por Chaves (1982), o qual verificou acúmulo de matéria seca no fruto de cafeeiro da variedade Catuaí até os 217 dias após o aparecimento do chumbinho, permanecendo quase constante até os 252 dias, momento em que se efetuou a última amostragem. No entanto, o trabalho de Chaves (1982) foi realizado em Londrina-PR, localidade que apresenta características climáticas diferenciadas de Viçosa, o que acarreta uma fase reprodutiva mais longa. De acordo com Camargo *et al.* (2001), em locais de clima frio e altitudes elevadas, os estádios de desenvolvimento

do fruto se estendem mais, atrasando a maturação e colheita dos frutos. A duração do ciclo do cafeeiro pode ser variável entre variedades e linhagens, de região para região, bem como pode apresentar variações na mesma região, dependendo das condições climáticas ocorridas durante a fase reprodutiva em determinado ano. Camargo (1998) verificou que variações na época de florada em cafeeiro Mundo Novo, em Campinas-SP, entre o 2º decêndio de agosto ao 3º decêndio de outubro, ao longo de nove anos, o que influenciou diretamente na extensão do período reprodutivo.

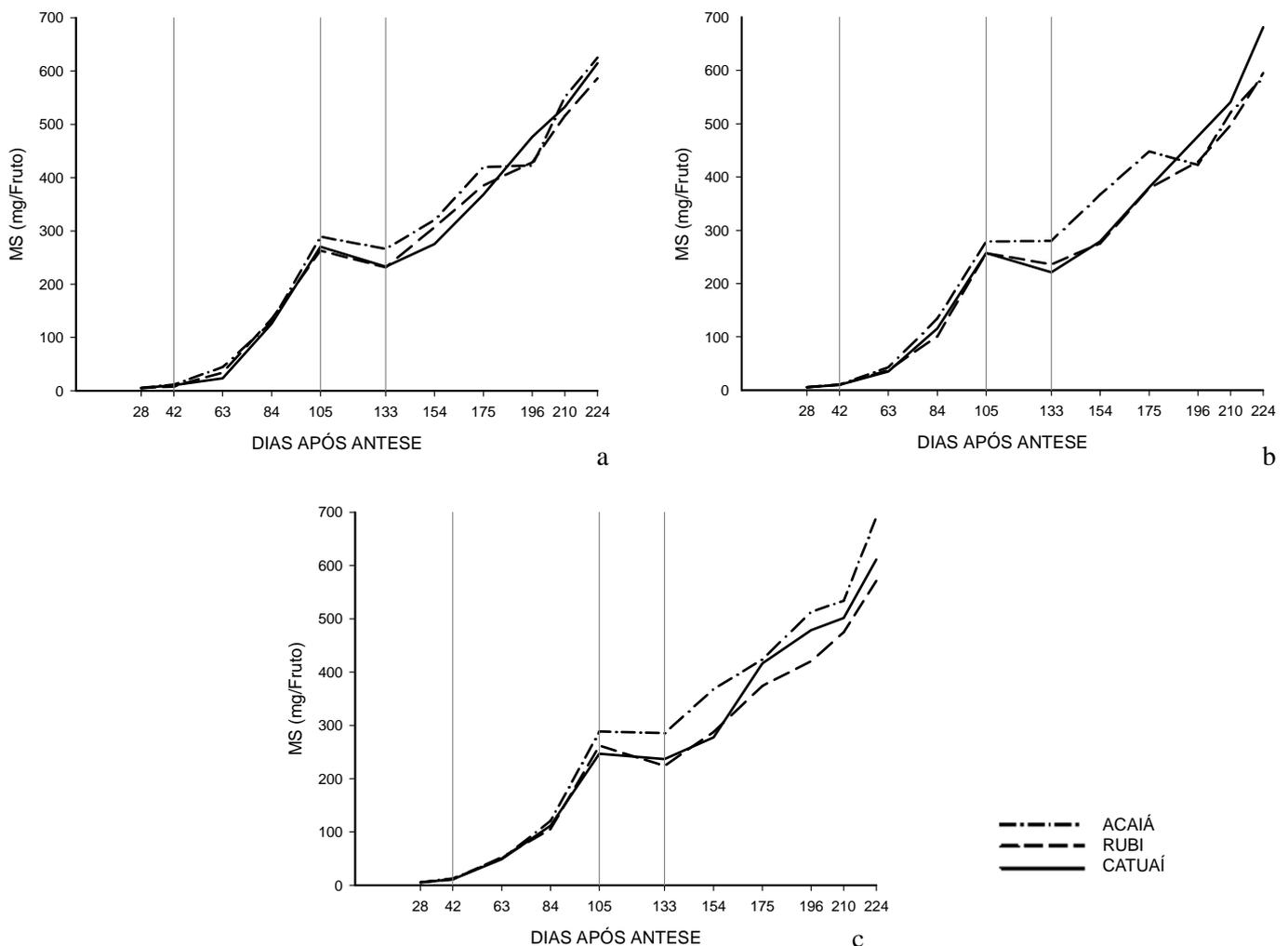


Figura 1. Acúmulo médio de matéria seca por fruto de três variedades de cafeeiro arábico no nível baixo (a), adequado (b) e alto (c) de adubação. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento dos frutos de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação.

Para melhor compreensão dos resultados, as fases fenológicas de desenvolvimento dos frutos estão delimitadas com barras verticais nos gráficos de acúmulo

de matéria seca pelos frutos, assim como nos gráficos da variação de concentração de N e K nos frutos e folhas das variedades.

O padrão das curvas de variação da concentração de N e K nos frutos das variedades ao longo do período reprodutivo (Figuras 2 e 3) foi semelhante entre os nutrientes, entre as variedades e os níveis de adubação (Tabelas 4 e 5). As curvas de variação do teor de N e K

no fruto das variedades encontradas nos diferentes níveis de adubação assemelham-se às observadas por Chaves (1982), o qual também estudou a variação de nutrientes em frutos da variedade Catuaí ao longo do período reprodutivo.

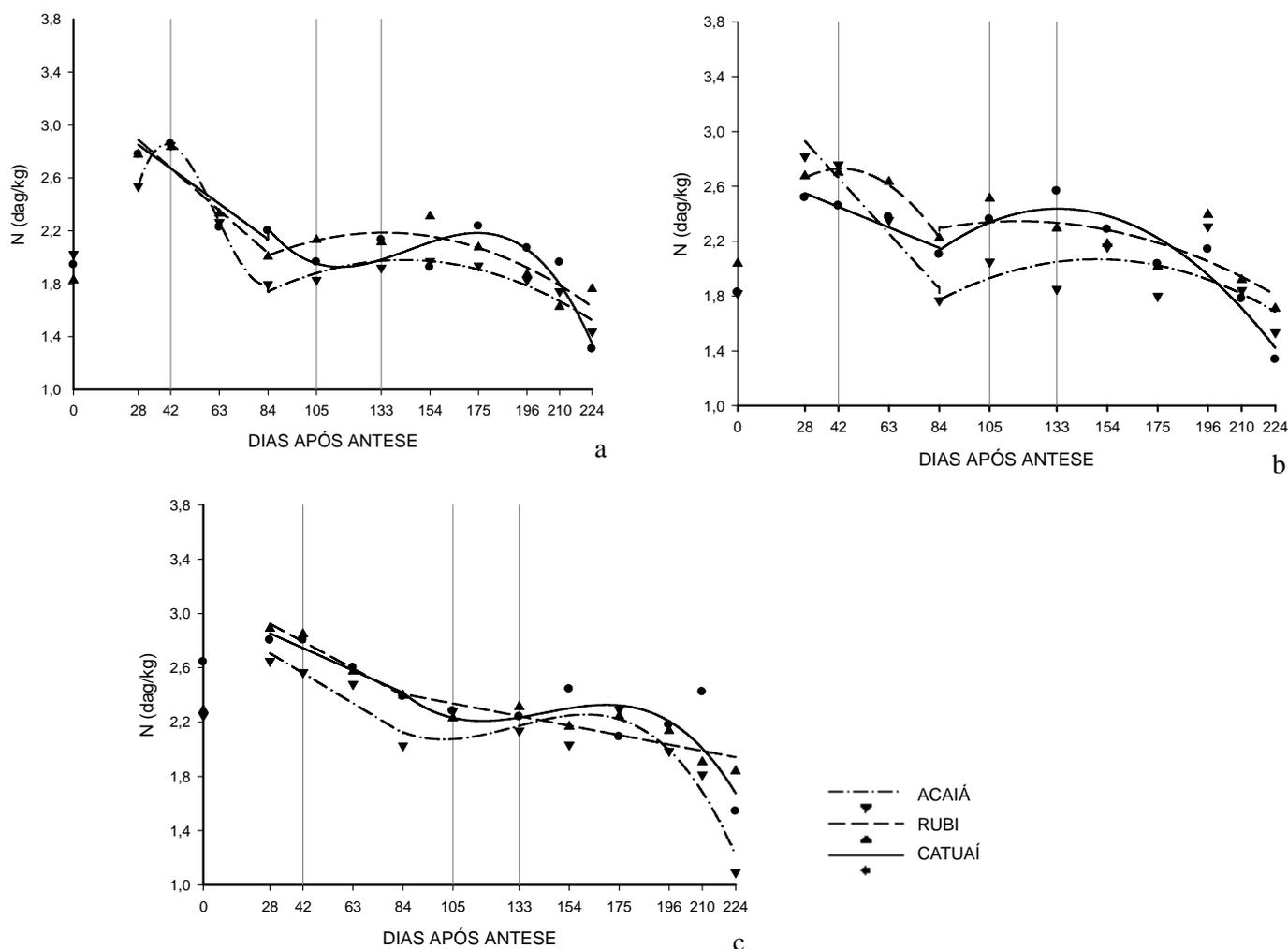


Figura 2. Concentração de nitrogênio em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, nos níveis baixo (a), adequado (b) e alto (c) de adubação. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento dos frutos de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação.

A concentração de N na flor das variedades Acaiá, Rubi e Catuaí no nível alto de adubação foram de 2,24, 2,28 e 2,64 dag/kg (Figura 2). A concentração de N na flor das variedades no nível alto de adubação foi superior à encontrada nas variedades nos níveis baixo e adequado de adubação. Tais resultados indicam que as variedades no nível alto de adubação estavam com melhor status nutricional em relação ao N no início do ciclo reprodutivo. As concentrações na flor, encontradas no nível alto de adubação, estão próximas à faixa de concentração adequada determinada por Martinez et al. (2003), de 2,29

a 2,59 dag/kg. Malavolta et al. (2002) encontrou concentrações 3,08 e 2,66 dag/kg de N em flores das variedades Catuaí e Mundo Novo. Estes resultados são superiores às maiores concentrações de N encontradas nas flores neste estudo. As concentrações iniciais de K nas flores das variedades estudadas (Figura 3) variaram entre 1,68 a 2,56 dag/kg. Com exceção da variedade Catuaí no nível alto de adubação, os valores encontrados estão na faixa de concentração considerada como adequada por Martinez et al. (2003) de 1,79 a 2,63 dag/kg. Os teores adequados nas flores podem ter sido

beneficiados pela concentração adequada do elemento no solo (Tabela 1) nos níveis de adubação. Malavolta et al. (2002) observaram que no momento da floração são extraídos pelas flores 19,5 e 20,8 % do N total e 20,7 e

23,1 % do K total contido nas variedades Catuaí e Mundo novo, sugerindo que as flores do cafeeiro constituem um forte dreno temporário de nitrogênio.

Tabela 4. Equações de regressão da concentração de nitrogênio em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, de acordo com o nível de adubação.

Variedades	Intervalo	Equação de Regressão	R ²
Nível Baixo de Adubação			
Acaiá	28-84 dias	$\hat{y} = -1,809 + 0,276^{0,14}x - 0,0051^{0,15}x^2 + 0,0000276^{0,19}x^3$	0,986
	84-24 dias	$\hat{y} = 0,573 + 0,0196^{\circ}x - 0,0000689^{\circ}x^2$	
Rubi	28-84 dias	$\hat{y} = 3,317 - 0,0153^{**}x$	0,921
	84-24 dias	$\hat{y} = 0,940 + 0,0185^{\circ}x - 0,0000692^{\circ}x^2$	
Catuaí	28-84 dias	$\hat{y} = 3,208 - 0,0127^{**}x$	0,904
	84-24 dias	$\hat{y} = 8,632 - 0,149^{*}x + 0,00107^{*}x^2 - 0,00000247^{*}x^3$	
Nível Adequado de Adubação			
Acaiá	28-84 dias	$\hat{y} = 3,467 - 0,0192^{**}x$	0,810
	84-24 dias	$\hat{y} = 0,524 + 0,0206^{*}x - 0,0000689^{*}x^2$	
Rubi	28-84 dias	$\hat{y} = 2,175 + 0,0257^{0,29}x - 0,000298^{0,16}x^2$	0,812
	84-24 dias	$\hat{y} = 1,700 + 0,0110^{0,20}x - 0,0000470^{\circ}x^2$	
Catuaí	28-84 dias	$\hat{y} = 2,749 - 0,00712^{*}x$	0,909
	84-24 dias	$\hat{y} = 0,229 + 0,0330^{**}x - 0,000123^{**}x^2$	
Nível Alto de Adubação			
Acaiá	28-84 dias	$\hat{y} = 3,002 - 0,0105^{*}x$	0,913
	84-24 dias	$\hat{y} = 5,410 - 0,0835^{0,23}x + 0,000672^{0,15}x^2 - 0,00000171^{\circ}x^3$	
Rubi	28-84 dias	$\hat{y} = 3,187 - 0,00941^{*}x$	0,940
	84-24 dias	$\hat{y} = 2,685 - 0,00332^{*}x$	
Catuaí	28-84 dias	$\hat{y} = 3,072 - 0,00781^{\circ}x$	0,781
	84-24 dias	$\hat{y} = 6,685 - 0,0991^{0,15}x + 0,000714^{0,13}x^2 - 0,00000166^{\circ}x^3$	

**, * e °, significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

Como se pode verificar, as máximas concentrações de N e K encontradas durante o desenvolvimento do fruto das variedades de cafeeiro (Fig. 2 e 3) ocorreram no estágio de chumbinho. De acordo com Rena et al. (2001), o fruto do cafeeiro neste estágio

está sob intensa divisão celular, porém com pequeno crescimento e acúmulo de matéria seca. Isto pode explicar as maiores concentrações de N e K observadas no estágio de chumbinho.

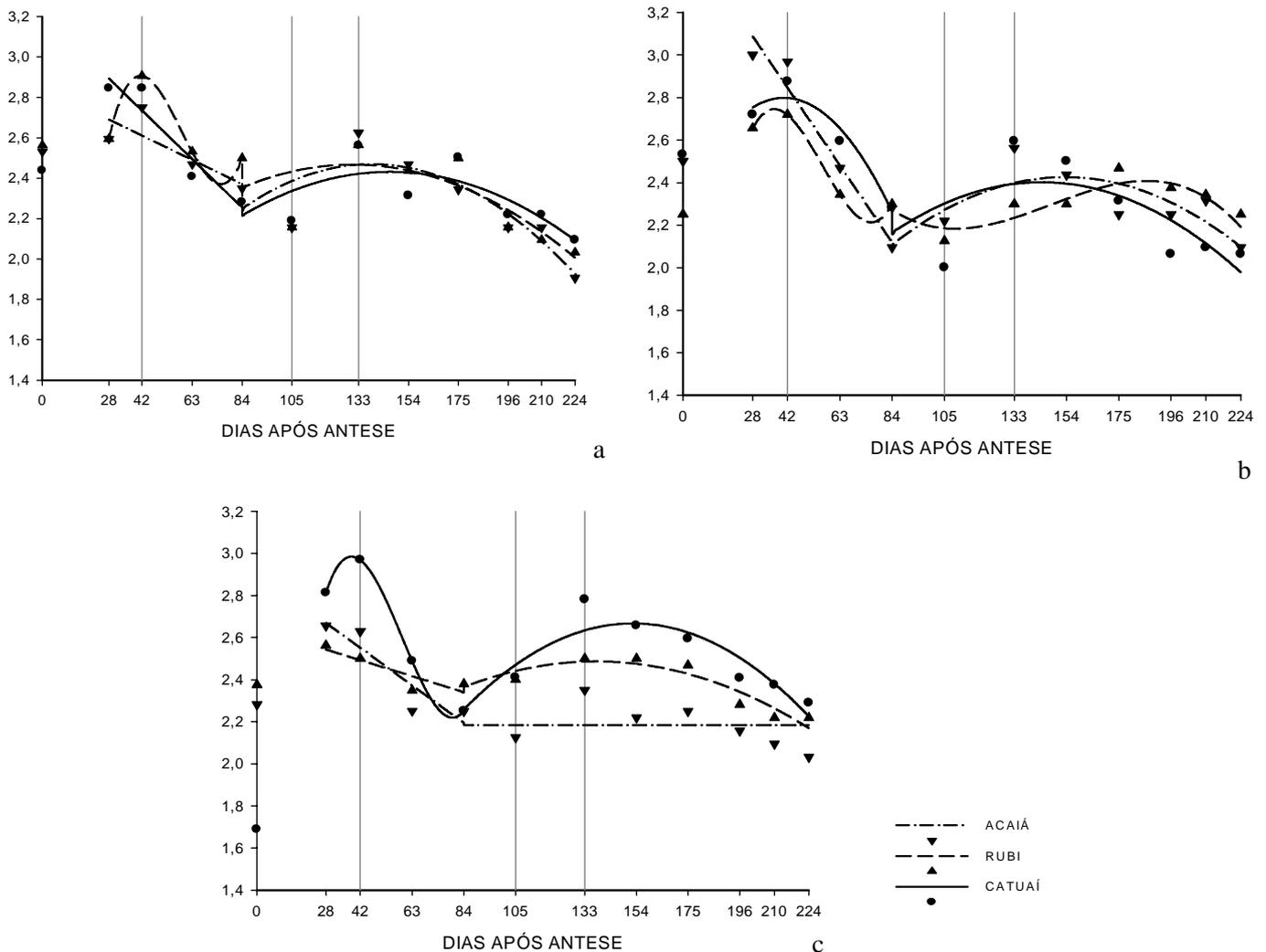


Figura 3. Concentração de potássio em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, nos níveis baixo (a), adequado (b) e alto (c) de adubação. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento dos frutos de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação.

Ao atingir a máxima concentração, observou-se que os maiores valores de concentração de N no fruto das variedades Rubi e Catuaí ocorreram no nível alto de adubação, sendo que para variedade Catuaí o valor foi igual no nível baixo de adubação (Figura 2). Pode-se verificar que o maior fornecimento de N no nível alto de adubação influenciou positivamente na concentração máxima de N nos frutos das variedades Rubi e Catuaí.

Quanto ao K (Figura 3), observou-se que os maiores valores ocorreram no nível baixo de adubação na variedade Rubi, no nível adequado de adubação na variedade Acaiá e no nível alto de adubação na variedade Catuaí, não apresentando uma resposta regular ao nível de adubação.

Após atingirem a máxima concentração de N e K no fruto (Figuras 2 e 3 e Tabelas 4 e 5), as variedades apresentaram decréscimos nas concentrações do elemento durante a fase de expansão rápida, até que se atingissem uma mínima concentração. Paralelamente à diminuição dos teores de N e K no fruto das variedades, houve um aumento no acúmulo de matéria seca dos frutos (Figura 1). Pode se verificar que a diminuição na concentração de N nos frutos neste estágio foi provocada por um efeito de diluição em função do acúmulo de matéria seca dos mesmos. No estágio de rápida expansão, de acordo com Rena et al. (2001), o aumento de matéria seca dos frutos, como o de crescimento absoluto ocorre devido à expansão celular e não pelo acúmulo de substâncias de reservas nos frutos.

Tabela 5. Equações de regressão da concentração de potássio em frutos de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, de acordo com o nível de adubação.

Variedades	Intervalo	Equação de Regressão	R ²
Nível Baixo de Adubação			
Acaiá	28-84 dias	$\hat{y} = 2,849 - 0,00569^{\circ}x$	0,624
	84-24 dias	$\hat{y} = 0,210 - 0,000369^*x$	
Rubi	28-84 dias	$\hat{y} = -1,415 + 0,256^*x - 0,00479^*x^2 + 0,0000274^{\circ}x^3$	0,839
	84-24 dias	$\hat{y} = 1,568 + 0,0137^{\circ}x - 0,0000527^*x^2$	
Catuaí	28-84 dias	$\hat{y} = 3,213 - 0,0114^{**}x$	0,863
	84-24 dias	$\hat{y} = 1,234 + 0,0163^*x - 0,0000560^*x^2$	
Nível Adequado de Adubação			
Acaiá	28-84 dias	$\hat{y} = 3,573 - 0,0173^{**}x$	0,910
	84-24 dias	$\hat{y} = 0,872 + 0,0202^{**}x - 0,0000660^{**}x^2$	
Rubi	28-84 dias	$\hat{y} = 0,441 + 0,150^{0,22}x - 0,00304^{0,19}x^2 + 0,0000180^{0,19}x^3$	0,940
	84-24 dias	$\hat{y} = 4,837 - 0,0603^{0,18}x + 0,000438^{0,15} - 0,00000099^{0,13}x^3$	
Catuaí	28-84 dias	$\hat{y} = 2,330 + 0,0230^{0,27}x - 0,000284^{0,12}x^2$	0,631
	84-24 dias	$\hat{y} = 1,030 + 0,0190^{**}x - 0,0000661^{**}x^2$	
Nível Alto de Adubação			
Acaiá	28-84 dias	$\hat{y} = 2,908 - 0,0085^{**}x$	0,772
	84-24 dias	$\hat{y} = y = 2,18$	
Rubi	28-84 dias	$\hat{y} = 2,644 - 0,00362^{0,29}x$	0,868
	84-24 dias	$\hat{y} = 1,681 + 0,0117^{0,18}x - 0,0000425^{0,13}x^2$	
Catuaí	28-84 dias	$\hat{y} = -0,299 + 0,204^{0,15}x - 0,00394^{0,14}x^2 + 0,0000223^{0,16}x^3$	0,926
	84-24 dias	$\hat{y} = 0,641 + 0,0265^{**}x - 0,0000870^{**}x^2$	

**, * e °, significativos a 1, 5 e 10 % de probabilidade, respectivamente.

Após atingir uma mínima concentração de N e K nos frutos no final da fase de rápida expansão e crescimento suspenso, observou-se um novo aumento na concentração de N e K nos frutos de todas as variedades estudadas (Figuras 2 e 3). A concentração de N e K nos frutos aumentou até que se atingisse um ponto de máxima no início a meados dos estádios de granação-maturação, ocorrendo novamente decréscimo na concentração do elemento até o final da fase reprodutiva. Durante toda a fase de granação-maturação observaram-se aumentos no acúmulo de matéria seca pelos frutos (Figura 1). No entanto, até que se atingisse a máxima concentração, não foi observado efeito de diluição do nutriente no fruto em função do aumento do acúmulo de matéria seca. Com base nisto, acredita-se que máxima translocação de N e K para os frutos no estádio de granação-maturação ocorreu no ponto em que os frutos atingiram a máxima concentração de N e K. A partir deste momento, a

translocação de N e K para os frutos foi diminuindo e o efeito de diluição em função do acúmulo de matéria seca fez com que a concentração do elemento nos frutos fosse diminuindo até o momento da colheita. Para N, a exceção ocorreu para a variedade Rubi no nível alto de adubação, a qual apresentou diminuição na concentração de N nos frutos do estádio de chumbinho até o final do estádio de granação-maturação. Para K, as exceções ocorreram para a variedade Acaiá no nível alto de adubação. Esta variedade no nível alto de adubação não apresentou variações significativas na concentração do elemento no fruto desde o final do estádio de expansão rápida até os 224 dias após antese, momento em que se colheram os frutos.

Alguns autores observaram aumento do conteúdo de N e K com o avançar da fase de formação dos frutos, mostrando que a partição de N e K para os frutos aumenta nas fases finais de formação. Moraes; Catani (1964)

verificaram que o acúmulo de 79 % e 72 % do conteúdo de N e K total do fruto ocorreu nos últimos 120 dias de formação do fruto em um ciclo reprodutivo de 210 dias; Ramirez *et al.* (2002) observaram em um ciclo reprodutivo de 240 dias que 90 % e 93 % do N e K total foram acumulados nos 180 dias finais, sendo o período de 60 a 90 dias responsável pelo acúmulo de 45 % do N total e o período de 90 a 120 dias após a floração responsável pelo acúmulo de 52% do K total; Chaves (1982) observou aumento no acúmulo de N e K nos frutos de cafeeiro da variedades Catuaí até 210 dias após o aparecimento do chumbinho em um ciclo reprodutivo de 252 dias.

Aos 224 dias após a floração, os maiores valores da concentração de N nos frutos das variedades Rubi e Catuaí ocorreram no nível alto de adubação (Figura 2). Estas variedades apresentaram também as maiores concentrações de N no nível alto de adubação na floração e no momento em que atingiram as maiores concentrações do elemento. Quanto ao nutriente K (Figura 3), aos 224 dias após a floração, os maiores valores da concentração nos frutos foram observados no nível alto de adubação

nas variedades Acaia e Catuaí e no nível adequado de adubação na variedade Rubi. Os menores valores foram encontrados no nível baixo de adubação nas variedades Acaia e Rubi e no nível adequado de adubação na variedade Catuaí. Tais resultados indicam que não somente o nível de adubação influencia na partição de nutrientes para os frutos, mas também outros fatores como a carga pendente de frutos.

O padrão das curvas de variação na concentração de N nas folhas das variedades de cafeeiro durante a fase reprodutiva (Figura 4), apesar de algumas poucas diferenças, foi considerado semelhante nos diferentes níveis de adubação (Tabela 6). Chaves (1982) encontrou padrão de comportamento diferenciado da variação de N nas folhas de ramos com frutos de cafeeiro da variedade Catuaí durante a fase reprodutiva. Este autor verificou que os teores de N nas folhas de ramos com frutos decresceu com o tempo de amostragem, sendo que nas concentrações estimadas os valores diminuíram de 3,08 dag/kg para um mínimo de 2,73 dag/kg dos 21 aos 233 dias após o aparecimento do chumbinho.

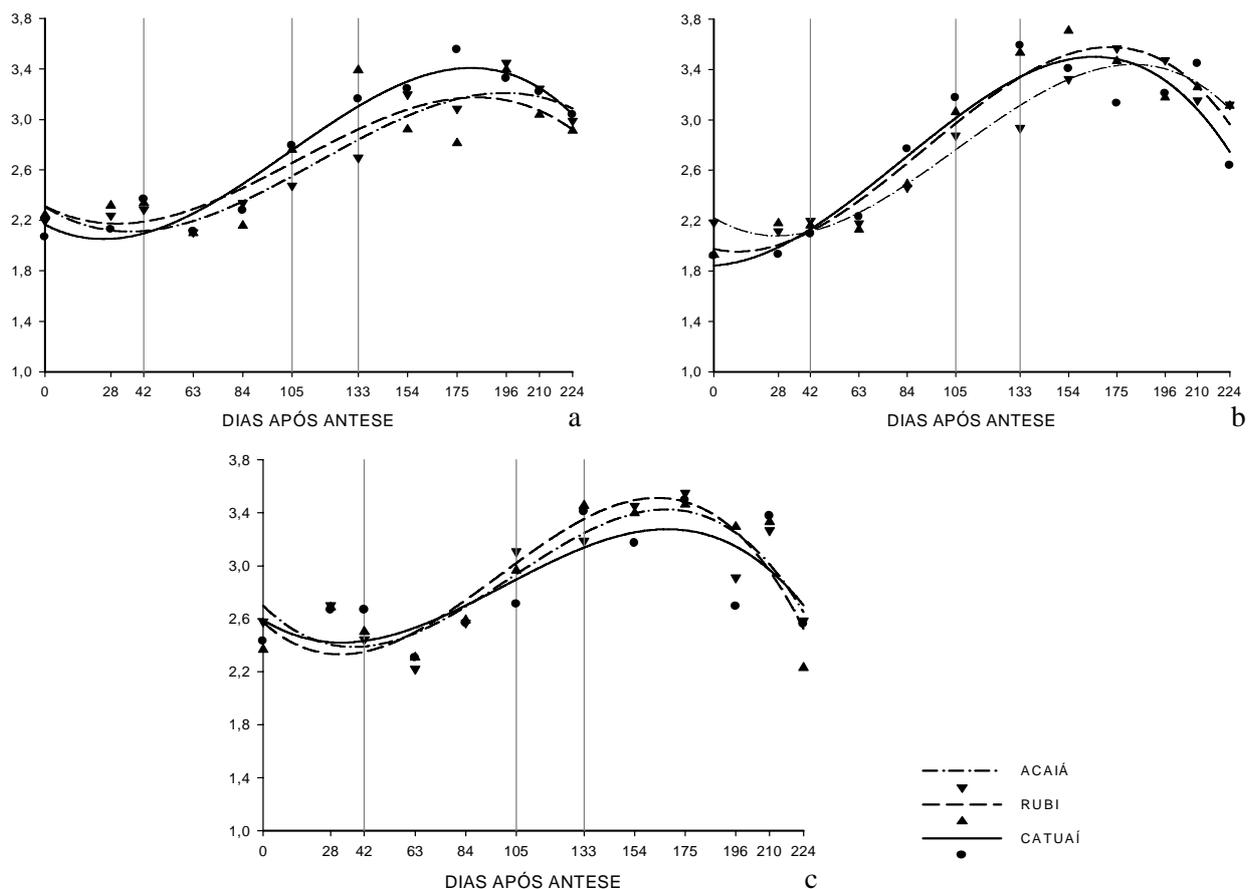


Figura 4. Concentração de nitrogênio em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, nos níveis baixo (a), adequado (b) e alto (c) de adubação. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento dos frutos de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação.

Os padrões diferenciados das curvas de variação da concentração de K no 3º e 4º pares de folhas ao longo do ciclo reprodutivo entre as variedades e nos níveis de adubação (Figura 5) devem-se à diferenças genéticas e à remobilização e intensidade de dreno do nutriente nas diferentes condições. Chaves (1982) encontrou padrão da variação de K nas folhas ao longo do ciclo reprodutivo de cafeeiro da variedade Catuaí semelhante aos ocorridos

com as variedades Rubi e Catuaí no nível alto de adubação. Este autor verificou diminuição nos teores foliares de K de 3,30 dag/kg para um mínimo 1,99 dag/kg dos 21 aos 150 dias após o aparecimento do chumbinho, havendo aumento na concentração foliar de K até os 252 dias. Já Souza (1972) encontrou resultados semelhantes ao observado na variação dos teores de K nas folhas da variedade Acaí no nível alto de adubação.

Tabela 6. Equações de regressão da concentração de nitrogênio em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, de acordo com o nível de adubação.

Variedades	Equação de Regressão	R ²
Nível Baixo de Adubação		
Acaí	$\hat{y} = 2,307 - 0,0115^*x + 0,000190^{**}x^2 - 0,000000548^{**}x^3$	0,923
Rubi	$\hat{y} = 2,312 - 0,009520,18x + 0,000181x^{2*} - 0,000000565^{**}x^3$	0,736
Catuaí	$\hat{y} = 2,166 - 0,00963^*x + 0,000220^{**}x^2 - 0,000000714^{**}x^3$	0,943
Nível Adequado de Adubação		
Acaí	$\hat{y} = 2,223 - 0,0109^*x + 0,000230^{**}x^2 - 0,000000733^{**}x^3$	0,967
Rubi	$\hat{y} = 1,975 - 0,00415^{0,28}x + 0,000210^{**}x^2 - 0,000000769^{**}x^3$	0,930
Catuaí	$\hat{y} = 1,844 + 0,000920^{0,45}x - 0,000170^*x^2 - 0,000000701^{**}x^3$	0,901
Nível Alto de Adubação		
Acaí	$\hat{y} = 2,699 - 0,0179^*x + 0,000292^{**}x^2 - 0,000000953^{**}x^3$	0,785
Rubi	$\hat{y} = 2,573 - 0,0162^*x + 0,000304^{**}x^2 - 0,00000104^*x^3$	0,807
Catuaí	$\hat{y} = 2,591 - 0,0112^{0,26}x + 0,000207^*x^2 - 0,000000693^*x^3$	0,587

**, * e °, significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

No momento da floração os maiores teores de N e K nas folhas ocorreram no nível alto de adubação, com exceção para a variedade Rubi em relação ao nutriente K, a qual apresentou o maior valor no nível baixo de adubação (Figuras 4 e 5, Tabelas 6 e 7). Os menores teores de N e K foram observados no nível adequado de adubação para todas as variedades.

No instante em que as variedades apresentaram as mínimas concentrações de N nas folhas, os maiores valores foram observados no nível alto de adubação (Figura 4). Os maiores teores de N observados nas folhas, no nível alto de adubação, estão coerentes com os resultados encontrados por Gallo *et al.* (1999) que observaram aumentos nos teores de N nas folhas na fase

de chumbinho à medida que se aumentaram as doses de N aplicadas ao solo de 200 a 400 kg/ha.

Observa-se que as máximas concentrações foliares de N foram atingidas após o momento em que se acredita ser o pico de translocação de N para os frutos no estágio de granação-maturação (Figura 4). Apesar disso, as concentrações de N nas folhas já vinham aumentando paralelamente a translocação de N para os frutos. Isto implica que os fatores relacionados ao aumento da absorção de N pelas raízes não são regulados apenas pela intensidade de dreno dos frutos, mas também por outros fatores que regulam a absorção do nutriente para a planta como um todo. Para o K não se observou resultado similar.

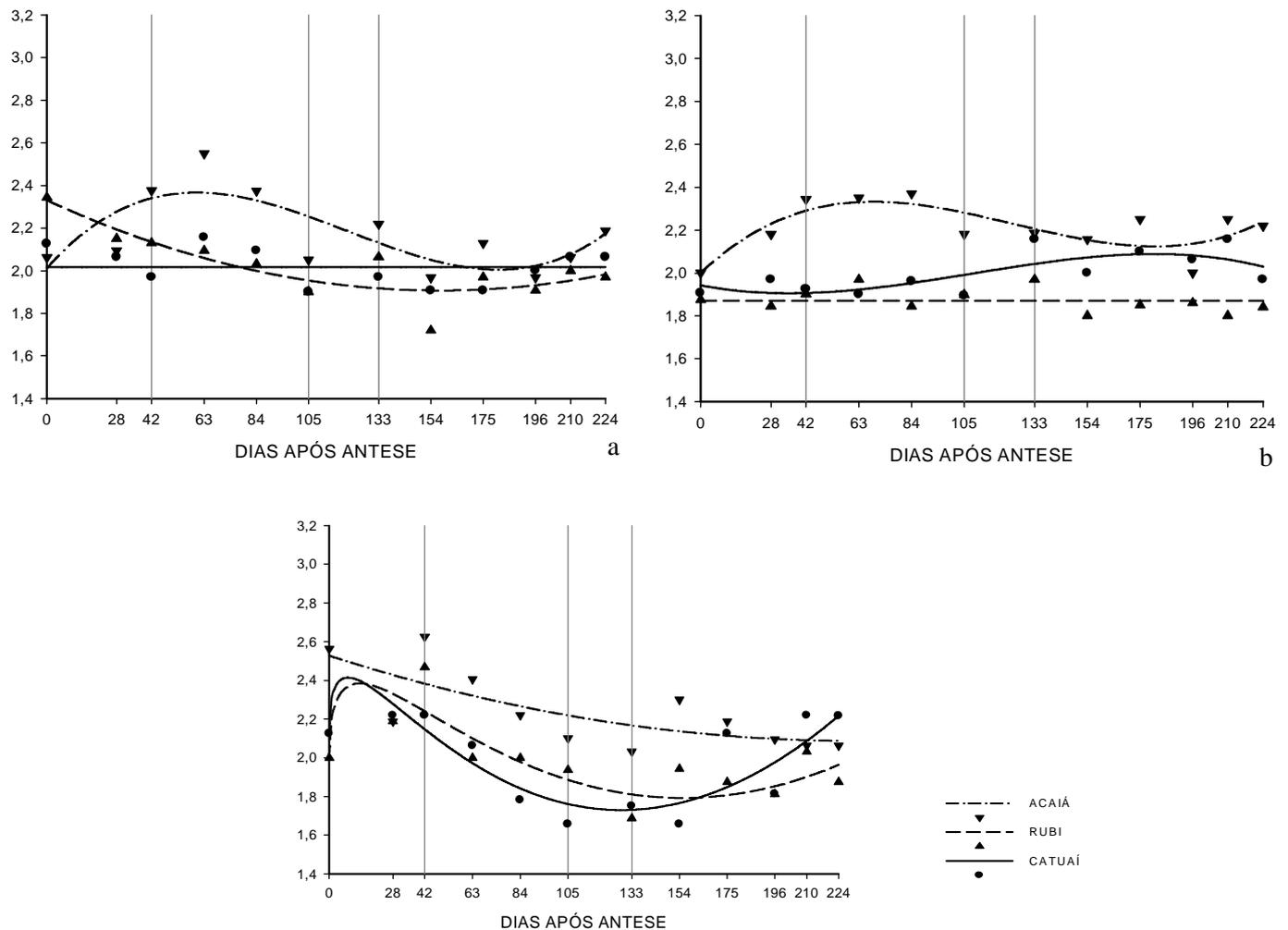


Figura 5. Concentração de potássio em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, nos níveis baixo (a), adequado (b) e alto (c) de adubação. As linhas verticais delimitam os estádios de desenvolvimento dos frutos de chumbinho, expansão rápida, crescimento suspenso e granação-maturação.

Aos 224 dias as maiores concentrações foliares de N foram observadas no nível adequado de adubação, com exceção da variedade Catuai que apresentou maior teor no nível baixo de adubação. Para K (Figura 5), as variedades Acaia, Rubi e Catuai exibiram maior teor foliar de K nos níveis adequado, baixo e alto, respectivamente.

Considerando o N e o K elementos de alta mobilidade no floema (MALAVOLTA, 1980; MARSCHNER, 1995; MARTINEZ *et al.*, 2003), dentre os fatores que podem influenciar sua concentração foliar destaca-se a carga de frutos. Maiores cargas de frutos podem promover maior remobilização e translocação de N e K das folhas para órgãos reprodutivos.

Verificou-se ao final do período reprodutivo que as concentrações iniciais de N nas folhas das variedades testadas foram recuperadas (Figura 4), atingindo valores superiores aos iniciais nos níveis baixo e adequado de

adubação. No nível alto de adubação, apesar de somente a variedade Catuai ter apresentado valores superiores aos iniciais, as concentrações foliares nas variedades Acaia e Rubi não foram muito menores. Além disso, neste nível, as variedades apresentaram menores variações entre as mínimas e as máximas concentrações de N nas folhas. Verificou-se que as concentrações de K nas folhas da variedade Acaia foram superiores às iniciais no nível baixo e adequado de adubação (Figura 5). A variedade Rubi apresentou recuperação dos teores iniciais somente no nível adequado de adubação no qual não se verificou variação, enquanto a variedade Catuai recuperou os teores iniciais de K nas folhas em todos os níveis de adubação. De modo geral, pode se dizer que a nutrição mineral das variedades, mesmo no nível baixo de adubação, foi adequada para suprir as exigências nutricionais das plantas com N e K.

Tabela 7. Equações de regressão da concentração de potássio em folhas de cafeeiro em função do tempo decorrido após a antese, de acordo com o nível de adubação.

Variedades	Equação de Regressão	R ²
Nível Baixo de Adubação		
Acaiá	$\hat{y} = 2,011 + 0,0133*x + 0,000147**x^2 + 0,000000409*x^3$	0,586
Rubi	$\hat{y} = 2,330 - 0,00538**x + 0,0000170**x^2$	0,735
Catuaí	$\hat{y} = y = 2,017$	
Nível Adequado de Adubação		
Acaiá	$\hat{y} = 2,000 + 0,0110** - 0,00011**x^2 + 0,000000296**x^3$	0,632
Rubi	$\hat{y} = y = 1,87$	
Catuaí	$\hat{y} = 1,942 - 0,00228^{0,21}x + 0,0000386^{\circ}x^2 - 0,000000119^{\circ}x^3$	0,542
Nível Alto de Adubação		
Acaiá	$\hat{y} = 2,528 - 0,0038^{\circ}x + 0,000000,21x^2$	0,557
Rubi	$\hat{y} = 1,997 + 0,214*x^{0,5} - 0,0373**x + 0,00152*x^{1,5}$	0,647
Catuaí	$\hat{y} = 2,125 + 0,224*x^{0,5} - 0,0481**x + 0,00225**x^{1,5}$	0,696

**, * e °, significativos a 1, 5 e 10% de probabilidade, respectivamente.

CONCLUSÕES

1. Os níveis de adubação influenciaram na concentração de N e K em frutos e folhas das variedades de cafeeiro arábico ao longo do período reprodutivo. Porém, as concentrações de N e K em folhas e frutos não foram influenciadas somente pelos níveis de adubação

empregados, mas também por outros fatores que determinam a taxa de distribuição dos elementos minerais nas plantas de cafeeiros, como a carga pendente de frutos.

2. O padrão das curvas de variação de N e K durante os estádios de formação dos frutos foi semelhante entre as variedades, bem como nos níveis de adubação.

ABSTRACT: The knowledge of mineral nutrients dynamics in coffee trees is an important information to identify the period of greater nutritional requirement by plant, improving the efficiency of manure techniques. The aim of this work was to follow the dynamics of N and K in fruits of coffee tree from anthesis to maturation and to compare them to element dynamics in leaves of productive branch. The experiment was accomplished in Viçosa-MG during August of 2001 to April of 2002. Three varieties of Arabic coffee plant were used distributed in three independents essays (levels of manuring low, sufficient and high), installed in randomized blocks with two repetitions using a scheme of split-plot in time. They were appraised the concentrations of N and K in the fruits and leaves of the 3rd and 4th equal along the reproductive period. The varieties presented the largest concentrations of N and K in the fruits in the first suspended growth stages, having reduction in the concentration of the elements in the stages of fast expansion. In the stages of suspended growth and formation-maturation was observed a new increase in the concentration of N and K in the fruits. In the 3rd and 4th pairs of productive branches leaves decreases were observed in the concentrations of N, in the beginning of the reproductive period, having recovery later. The varieties didn't present a regular pattern in the curves of variation of the concentration of K in the 3rd and 4th equal of leaves. It can be concluded that not only manuring levels tested influenced elements concentration in leaves, flowers and fruits of coffee varieties, but also other factors as concentrations in leaves during anthesis and pending load of fruits.

KEYWORDS: Plant physiology. Mineral nutrition. Reproductive stages. Mineral elements.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, J. A. T. **Crescimento vegetativo estacional do cafeeiro e suas interações com fontes de nitrogênio, fotoperíodo, fotossíntese e assimilação do nitrogênio.** 1991. 139 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Curso de Pós Graduação em Fitotecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.
- CAMARGO, A. P.; CAMARGO, M. B. P. de. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. **Bragantia**, Campinas, 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, 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Rio de Janeiro: PROCAFÉ, 1998, p. 231-232.
- 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, São Paulo, 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.
- DaMATTA, F. M.; AMARAL, J. A. T.; RENA, A. B. Growth periodicity in trees of *Coffea arabica* L. in relation to nitrogen supply and nitrate reductase activity. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 60, p. 223-229, 1999.
- GALLO, P. B.; RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A.; PEREIRA, L. C. E. Resposta de cafezais adensados à adubação NPK. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 341-351, 1999.
- 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. (Ed.). **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. 498 p.
- 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. 213 p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas.** Sao Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- 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. **Revista Brasileira de Agropecuária**, Brasília, v. 37, n. 7, p. 1017-1022, jul. 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.

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

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, 2003, p. 397-1442

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, 2003.

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, 16, 1994. **Resumos...** Ciência e Cultura, São Paulo, v. 16, n. 2, p. 142, 1964.

PREZOTTI, L. C. Fertilização do cafeeiro. In: ZAMBOLIM, L. **Tecnologias de produção de café com qualidade**. Viçosa: UFV, Departamento de Fitopatologia, 2001, p. 607-615.

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. **Adubação de inverno do cafeeiro**. Lavras: Epamig; CBP&D-Café, 2000. 2 p. (Circular Técnica, 120).

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