

ÍNDICE RELATIVO DE CLOROFILA E O ESTADO NUTRICIONAL EM NITROGÊNIO DURANTE O CICLO DO CAFEIEIRO FERTIRRIGADO⁽¹⁾

Leandro Jose Grava de Godoy⁽²⁾, Thiago da Silva Santos⁽³⁾,
Roberto Lyra Villas Bôas⁽⁴⁾ & João Batista Leite Júnior⁽⁵⁾

RESUMO

O clorofilômetro (SPAD-502, Minolta) é um aparelho portátil que permite obtenção do índice relativo de clorofila (IRC) de modo simples, rápido e não destrutivo no próprio campo, o qual se correlaciona com a concentração de N em várias culturas, e que pode tornar mais rápida a correção de deficiência, otimizando a utilização da fertirrigação. Objetivou-se com este trabalho verificar se o IRC pode ser indicativo do estado nutricional em N, podendo auxiliar no ajuste da fertirrigação nitrogenada durante o ciclo do cafeeiro. O experimento foi desenvolvido em Botucatu, SP, em área com cafeeiros do cultivar Catuaí Vermelho, com dois anos, no espaçamento de 2,5 x 0,8 m e irrigado por gotejamento. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, com quatro repetições, aplicando-se um tratamento sem adubação, mas com irrigação, e mais quatro tratamentos utilizando fertirrigação com 33, 66, 100 e 133 % da dose de N recomendada, parcelada semanalmente (52,8; 105,6; 160,0; e 212,7 kg ha⁻¹, respectivamente). O IRC aumentou linearmente com as doses de N, e a produtividade correlacionou-se significativamente com o IRC, do florescimento até a colheita, porém não com a concentração de N foliar. Os IRCs nos cafeeiros com maior produtividade foram de 81,5 a 83,2 (florescimento e início de expansão dos frutos), de 76,2 a 78,3 (expansão dos frutos), de 68,3 a 69,8 (início da granação),

⁽¹⁾ Recebido para publicação em fevereiro de 2006 e aprovado em outubro de 2007.

⁽²⁾ Professor Doutor, Campus Experimental de Registro, Universidade Estadual Paulista – UNESP. Rua Tamekishi Takano 5, CEP 11900-000 Registro (SP). E-mail: legodoy@registro.unesp.br

⁽³⁾ Graduando em Agronomia. Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, FCA/UNESP. Bolsista de Iniciação Científica do CNPq. E-mail: thisilvasantos@hotmail.com

⁽⁴⁾ Professor Adjunto do Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, FCA/UNESP. Bolsista de produtividade CNPq. E-mail: rlvboas@fca.unesp.br

⁽⁵⁾ Doutor em Agronomia, Irrigação e Drenagem. Departamento de Recursos Naturais/Ciência do Solo, FCA/UNESP. E-mail: jbleitejr@hotmail.com

de 64,0 a 65,9 (na granação) e de 61,7 a 62,7 unidades SPAD (na maturação). O clorofilômetro pode ser utilizado para definir a probabilidade de resposta ao N no decorrer do ciclo do cafeeiro.

Termos de indexação: *Coffea arabica* L., clorofilômetro, SPAD, fertirrigação e nitrogênio.

SUMMARY: *RELATIVE CHLOROPHYLL INDEX AND NITROGEN STATUS OF FERTIGATED COFFEE PLANTS DURING THE CROP SEASON*

The chlorophyll meter (SPAD-502, Minolta) is a portable device that measures the relative chlorophyll index (RCI) in a simple, fast and non-destructive way in the field. This index is correlated with leaf N concentration in several crops, and allows the correction of N deficiency, optimizing fertigation. The objective of this study was to test RCI as an indicator of the nitrogen status in coffee trees to adjust fertigation during the development cycle. The experiment was carried out in Botucatu, state of São Paulo, Brazil, in an area with two-year old coffee plants of cultivar "Red Catuaí", spaced at 2.5 x 0.8 m, under drip irrigation. The experiment had a randomized block design with four replications and five treatments: control treatment under irrigation and without fertilization, and four N rates using fertigation with 33, 66, 100, and 133 % of the recommended annual N rate (52.8; 105.6; 160.0 and 212.7 kg ha⁻¹, respectively). The fertilizer treatments were split in weakly applications. The RCI increased linearly with the N rates and the yield was significantly correlated with RCI, from flowering to harvest. However, there was no correlation between beans yield with the leaf N concentration. The RCIs of high yielding coffee plants were 81.5–83.2 (flowering and beginning of fruit filling), 76.2–78.3 (fruit expansion) 68.3 - 69.8 (beginning of grain formation), 64.0–65.9 (during grain formation) and 61.7–62.7 SPAD units (grain maturation). The chlorophyll meter can be used throughout the coffee development cycle to define the likelihood of N response in coffee trees.

Index terms: chlorophyll meter, *Coffea arabica* L., fertigation, nitrogen, SPAD.

INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de café, tendo atingido a produção de 40 milhões de sacas no ano de 2004/05 (AGRIANUAL, 2005). Segundo Mantovani (2001), aproximadamente 200 mil dos 2,2 milhões de hectares da cafeicultura brasileira (2000/01) são irrigados, o que representa aproximadamente 10 % da área plantada com café e 8,7 % da área irrigada no Brasil. O sistema por gotejamento é o que mais se ajusta à irrigação do cafeeiro e permite a adoção da fertirrigação, motivo pelo qual muitos produtores o vêm adotando.

De acordo com Rajj et al. (1996), a adubação nitrogenada de produção deve ser parcelada em três ou quatro aplicações no sistema convencional e em seis a oito quando fertirrigado, principalmente em solos arenosos. O uso da fertirrigação na cultura do café permite aumentar o número de aplicações em até 36 ou mais, sem aumentar a necessidade de mão-de-obra, podendo elevar a eficiência de utilização do N e reduzir as doses aplicadas. Assim, há redução nos custos com adubação e nos riscos com a contaminação

do lençol freático com nitrato, decorrente do fertilizante nitrogenado aplicado e não utilizado pelas plantas. No entanto, com o custo e a importância da adubação nitrogenada para o cafeeiro, é interessante que haja um indicativo do momento da adubação e da eficiência de utilização do N, a fim de aplicá-lo somente quando a planta precisa, reduzindo as doses utilizadas e, conseqüentemente, as perdas de N.

O método mais utilizado para monitorar o estado nutricional do cafeeiro é a análise química das folhas, sendo utilizada a concentração de N para definição da dose de N em cobertura em cafeeiros em produção (Ribeiro et al., 1999). Embora os sintomas de deficiência de N no cafeeiro, segundo Malavolta et al. (1997), sejam bem conhecidos (folhas velhas amareladas e pouca brotação), a diagnose visual tem baixa eficácia, além de ser subjetiva, não sendo um bom método para otimizar o uso da fertirrigação com N.

O clorofilômetro (SPAD-502 da Minolta) é um aparelho portátil que permite obtenção de um índice relativo da clorofila na folha (IRC), com base na intensidade da coloração verde das folhas, o qual se

correlaciona com o teor de clorofila e o de N na folha de diversas culturas, como milho (Chapman & Barreto, 1997), algodão (Malavolta et al., 2004), batata (Minotti et al., 1994), arroz (Peng et al., 1993) e trigo (Follet et al., 1992). A utilização desse índice, que pode ser obtido de forma simples, rápida e não-destrutiva, no campo, pode tornar mais rápida a correção de uma deficiência, otimizando a utilização da fertirrigação (Godoy et al., 2003). Ao utilizar o clorofilômetro para monitorar o estado nutricional em N, deve-se ter certeza de que outros fatores não estão influenciando a leitura do aparelho, como espessura da folha, estágio fenológico, genótipo, sombreamento e metodologia de leitura. Além disso, o IRC não responde ao consumo de luxo de N pela planta e a correlação entre o IRC e a concentração de N pode deixar de ocorrer.

Lima Filho et al. (1997) obtiveram correlações significativas entre a leitura do clorofilômetro e os teores de clorofila de folha de cafeeiro cv. Catuaí Amarelo, com 12 meses de idade, verificando também correlação das leituras do clorofilômetro com a concentração de N foliar. Resultados semelhantes foram obtidos por Torres Netto et al. (2005) em folhas de *Coffea canephora* Pierre de diferentes idades e por Reis et al. (2006) em folhas de *Coffea arabica* L. No entanto, poucos trabalhos têm avaliado a utilização do clorofilômetro em cafeeiros em produção, durante os estádios fenológicos, e correlacionado as leituras com a produtividade.

Objetivou-se com este trabalho verificar se o IRC pode ser indicativo do estado nutricional em N, auxiliando no ajuste da fertirrigação nitrogenada durante o ciclo do cafeeiro.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu, SP, de agosto de 2002 a agosto de 2003, em uma área com cafeeiros do cultivar Catuaí Vermelho, linhagem IAC-81, com dois anos (primeiro ano produtivo), no espaçamento de 2,5 m entre linhas e 0,8 m entre plantas. O solo onde foi instalado o experimento foi identificado como Nitossolo Vermelho distrófico textura argilosa (Embrapa, 1999), com as seguintes características químicas, na profundidade de 0 a 20 cm, segundo a metodologia de análise de Raij et al. (2001): pH (CaCl₂) de 5,7; 31 g dm⁻³ de MO; 90 mg dm⁻³ de P (resina); 24,2; 2,9; 60 e 34 mmol_c dm⁻³ de H + Al, K, Ca e Mg, respectivamente; saturação por bases (V) de 80 %. A composição granulométrica do solo, na profundidade de 0 a 20 cm, de acordo com o método da Embrapa (1997), foi de 120, 410 e 470 g kg⁻¹ de areia, silte e argila, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados com quatro repetições, e cada

parcela experimental foi constituída de quatro linhas (espaçadas de 2,5 m), com seis plantas por linha (0,8 m entre plantas); a parcela útil foi constituída das duas linhas centrais, desprezando duas plantas da extremidade de cada linha, sendo, portanto, quatro plantas úteis por parcela.

Os tratamentos empregados baseados na recomendação de adubação feita por Raij et al. (1996) – 32 g de N por planta (4 x 8 g de N por planta) – foram os seguintes: (1) controle sem N, mas com irrigação; (2) fertirrigação com 33 % da dose de N recomendada (10,56 g de N por planta – 0,203 g de N por planta semanalmente – 52,8 kg ha⁻¹ no total); (3) fertirrigação com 66 % da dose de N recomendada (21,12 g de N por planta – 0,406 g de N por planta semanalmente – 105,6 kg ha⁻¹ no total); (4) fertirrigação com 100 % da dose de N recomendada (32,00 g de N por planta – 0,615 g de N por planta semanalmente – 160,0 kg ha⁻¹ no total); e (5) fertirrigação com 133 % da dose de N recomendada (42,56 g de N por planta – 0,818 g de N por planta semanalmente – 212,7 kg ha⁻¹ no total). O parcelamento semanal da dose de N foi calculado para 52 semanas.

De acordo com a análise de solo, não foi necessária a adubação fosfatada. A adubação potássica foi aplicada via fertirrigação, semanalmente, na dose total de K₂O de 16 g por planta (80 kg ha⁻¹ no total), na forma de cloreto de potássio. Foi realizada a aplicação de ácido bórico na dose de 4,7 g por planta (23,5 kg ha⁻¹) e de sulfato de zinco na dose de 4,0 g por planta (20,0 kg ha⁻¹), via fertirrigação, dividida em três aplicações.

O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento (tubogotejador “Chatpn”), com um tubo de irrigação por linha de plantio controlado por um registro de esfera de 1,9 cm de diâmetro em cada parcela. O tubo gotejador utilizado apresentava as seguintes características: pressão de serviço de 78,4 kPa, espaçamento entre gotejadores de 20 cm e vazão nominal de 4, L h⁻¹ m⁻¹. O manejo da irrigação se baseou na leitura de tensiômetros instalados em cada parcela nas profundidades de 20 e 40 cm. Para se realizar a fertirrigação foi utilizado um injetor de fertilizantes do tipo Venturi, e a fonte de N usada foi a uréia. A fertirrigação foi realizada de agosto de 2002 a agosto de 2003, com frequência semanal.

O Índice Relativo de Clorofila (IRC) foi determinado utilizando um medidor portátil, modelo SPAD-502 (*Soil and Plant Analysis Development*), da Minolta Co., Osaka, Japão. As leituras foram realizadas, quinzenalmente, no período da manhã, entre 9 e 10 h, sombreando o aparelho com o corpo para evitar interferência da luz solar, em quatro plantas por parcela. Antes de realizar as leituras, o aparelho foi calibrado com o verificador de leitura, de acordo com as recomendações do manual (Minolta, 1989). Em cada planta foi realizada a leitura em dois pontos (um de cada lado da nervura principal da folha) de duas folhas (terceiro ou quarto par de folhas a partir do ápice) dos quatro quadrantes da planta, num total de

16 leituras por planta. Os dois pontos amostrados por folha estavam localizados a 0,6 mm da margem da lâmina da folha – distância fixada pelo regulador de profundidade do aparelho.

As folhas utilizadas na determinação do IRC foram coletadas e analisadas no medidor de área foliar, modelo AAM-8 (Hayashi – Denkoh CO). Após essa determinação, as folhas foram secas em estufa com circulação de ar forçada a 60°C até atingirem massa constante, para determinação da fitomassa seca. O peso específico da folha (PEF) foi calculado pela divisão da fitomassa da folha pela área foliar e utilizado como indicativo da espessura da folha. Posteriormente, foi feita a análise da concentração de N na fitomassa seca das folhas, segundo método descrito por Malavolta et al. (1997).

Para avaliação da produtividade, foram colhidos os grãos das parcelas experimentais (quatro plantas por parcela), sendo a umidade corrigida para 12 %, e os valores convertidos para a produtividade de café beneficiado por hectare.

Foi elaborada uma tabela com as faixas de IRC de acordo com o estágio fenológico e com a probabilidade de resposta à fertirrigação nitrogenada no cafeeiro Catuai. Para isso, foi considerado, para cada fase do ciclo do cafeeiro, o menor valor de IRC observado, nas

plantas do tratamento controle (sem N), nas plantas que foram adubadas com as doses de N de 52,8 a 160,0 kg ha⁻¹ e nas plantas que receberam a dose de N de 212,7 kg ha⁻¹, correspondendo, respectivamente, às probabilidades altas, médias e baixas de resposta à fertirrigação nitrogenada.

Os resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão, utilizando o aplicativo Sisvar versão 4.6 (Ferreira, 2004). As médias dos resultados do IRC em função das datas de amostragem foram comparadas a 5 % de risco pelo teste de Tukey. Foram estabelecidas correlações lineares como medida de dependência entre a leitura do clorofilômetro e outras variáveis com o teor de N na folha e a produtividade, utilizando o teste t para verificar a significância do coeficiente de correlação, segundo Gomes (2000).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores do IRC variaram significativamente com as doses de N aplicadas via fertirrigação, com efeito linear em todas as datas de amostragem (Quadro 1). Como não houve interação significativa entre as doses de N e as datas de amostragem para os valores do IRC, estes foram discutidos, separadamente,

Quadro 1. Resumo da análise de regressão linear ($\hat{y} = b_0 + b_1x$) do IRC em função das doses de N (kg ha⁻¹) aplicadas via fertirrigação, no período de 29/8/2002 a 18/6/2003

Causas da variação		Média dos resultados													
		Datas das leituras (dias após o transplântio) [estádio fenológico]													
		29/08 (544) [a]	20/09 (565) [b]	19/10 (594) [c]	30/10 (615) [c]	21/11 (636) [c]	14/12 (659) [d]	06/01 (681) [d]	21/01 (696) [d]	06/02 (711) [e]	30/03 (765) [e]	09/04 (775) [e]	08/05 (804) [f]	26/05 (822) [f]	18/06 (844) [g]
% da dose de N ⁽¹⁾	kg ha ⁻¹	Unidades SPAD													
0	0	76,8	76,0	76,3	77,5	72,8	69,7	61,8	65,2	64,8	60,1	58,7	57,6	54,0	53,1
33	52,8	79,6	79,9	79,8	79,7	75,9	73,8	65,1	66,5	66,3	63,3	61,5	60,5	57,2	55,0
66	105,6	80,6	79,7	78,8	80,4	74,4	72,4	66,0	66,7	66,7	62,3	61,6	60,1	56,4	55,7
100	160,0	80,5	81,3	80,8	81,4	75,7	74,1	65,3	66,8	68,3	66,7	65,3	63,8	59,2	59,5
133	212,7	81,6	83,2	81,5	82,4	78,3	76,2	68,3	68,6	69,8	68,5	65,9	64,0	62,7	61,7
Médias		79,8a	80,0a	79,4a	80,2a	75,4b	73,2c	65,3de	66,8d	67,2d	64,2ef	62,5fg	61,2g	57,9h	57,0h
Regressão		L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L	L
		**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
Intercepto (b ₀)		77,73	76,91	77,17	77,99	73,32	70,56	62,72	65,32	60,16	64,81	58,68	58,01	54,03	52,66
Coefficiente linear (b ₁)		0,020	0,030	0,021	0,021	0,020	0,025	0,025	0,013	0,038	0,035	0,022	0,030	0,036	0,040
Coefficiente de determinação (R ²)		0,80	0,89	0,79	0,95	0,69	0,50	0,80	0,86	0,89	0,98	0,93	0,89	0,88	0,96
CV (%)		1,6	1,9	1,9	1,5	2,3	1,6	2,3	2,1	1,7	4,8	3,0	3,0	3,7	4,5

⁽¹⁾ Dose de N recomendada por Rajj et al. (1996) para cafeeiro com dois anos de idade – quatro aplicações de 8 g por cova (160 kg ha⁻¹). a: início do florescimento; b: pleno florescimento; c: expansão dos frutos (chumbinho); d: enchimento de grãos; e: granação; f: maturação (Cereja); g: após a colheita. Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5 %. ns: não-significativo; *: significativo a 5 %; **: significativo a 1 % pelo teste de F; L: linear.

em cada data de amostragem. Nota-se o baixo coeficiente de variação em todas as datas, o que revela boa precisão nas medidas, aprovando o método utilizado para determinação do IRC em cafeeiro adulto.

No início do florescimento (29/8/2002) o IRC aumentou linearmente com o aumento das doses de N, numa proporção aproximada de duas unidades SPAD a cada 100 kg ha⁻¹ de N (Quadro 1). Guimarães et al. (1999), trabalhando com tomate cultivado em dois solos e doses de N, também observaram aumento linear do IRC com o aumento das doses de N, em ambos os solos, de modo semelhante (2,5 unidades SPAD a cada 100 kg ha⁻¹ de N).

Na segunda data de amostragem, os valores de IRC tiveram maior amplitude (maior coeficiente linear – *b*₁) em relação aos valores da primeira amostragem (Quadro 1), o que, provavelmente, pode ter melhorado o ajuste da equação com coeficiente de determinação igual a 0,89. Nesta data, as plantas apresentaram-se em pleno florescimento; de acordo com Malavolta et al. (2002), as flores do cafeeiro constituem-se num forte dreno de nutrientes, o que pode explicar a maior variação da coloração das folhas em função das doses de N aplicadas.

Na fase de expansão dos frutos (19/10 a 21/11/2002), o coeficiente do IRC em relação às doses de N via fertirrigação não variou muito, e o aumento do IRC foi de aproximadamente 2,1 unidades SPAD a cada 100 kg ha⁻¹ de N, diferindo apenas o coeficiente de determinação das equações de regressão, que foi maior em 30/10/2002 (615 dias após o transplantio), provavelmente, coincidindo com o pico de crescimento dos frutos e alto crescimento vegetativo (1,1 a 1,4 internódios formados por mês), segundo Santinato (2001). Os frutos do cafeeiro, durante sua expansão, podem drenar aproximadamente 95 % do total de N recentemente absorvido, causando sintomas de deficiência N na folha e restringindo o crescimento vegetativo (Amaral et al., 2001).

No início do enchimento de grãos (14/12/2002) foi observada redução no ajuste da equação, com coeficiente de determinação de 0,50 (Quadro 1), considerado baixo, embora significativo. No final da fase de enchimento dos grãos foi observada menor resposta (menor *b*), embora significativa, do IRC em relação às doses de N (Quadro 1). Esse período corresponde à fase de transição, em que os frutos cessam seu crescimento e iniciam as transformações no grão. Na granação e maturação dos frutos (6/2 a 26/5) foi observada maior resposta do IRC em relação às doses de N. Nesta fase fenológica do cafeeiro ocorre a síntese de novos produtos a partir dos compostos em solução, dando formação aos grãos (Camargo & Camargo, 2001), e, portanto, cessa o processo de expansão destes, período de maior demanda de N do que a granação (Malavolta et al., 1981). Assim, essa maior resposta do IRC em relação às doses de N, na granação, reflete a demanda de N pela planta no período anterior para o crescimento (enchimento) dos grãos.

Por ocasião da colheita (26/5/2003), foi observada a maior resposta do IRC em relação às doses de N aplicadas – efeito este proporcionado provavelmente pela exportação de nutrientes, principalmente o N. Segundo Nazareno & Mendes (2001), o cafeeiro do cultivar Catuai pode apresentar depauperamento precoce nas primeiras safras, por mostrar elevada produção, esgotando as reservas da planta para atender à demanda pela carga de frutos, levando algumas plantas à morte.

Parte das necessidades nutricionais para formação de nova vegetação e de frutos é satisfeita pela mobilização de reservas da planta e não somente extraída do solo. De acordo com Malavolta & Lima Filho (1998), em cafeeiros adequadamente nutridos, 23,5 % do N contido nos frutos veio das respectivas reservas, enquanto em plantas deficientes essa mobilização aumenta para 43,3 %.

Mesmo aplicando uma dose 33 % superior à recomendada por Raij et al. (1996) para o cafeeiro não irrigado, não houve ponto de inflexão da curva que pudesse indicar o ponto de máximo do IRC. O mesmo ocorreu com a produtividade de grãos, que também aumentou linearmente com as doses de N aplicadas via fertirrigação, não havendo um ponto de máxima (Figura 1). Schepers et al. (1992), para a cultura do milho, Minotti et al. (1994), para a cultura da batata, e Reis et al. (2006), para a cultura do café, quando encontraram resposta quadrática do IRC da folha, também obtiveram resposta quadrática da produtividade em relação às doses de N. Respostas lineares do IRC e da produção de fitomassa seca da planta de cafeeiro, com 12 meses de idade, em relação à dose de N, foram obtidas por Lima Filho et al. (1997).

A necessidade de maior dose de N (42,6 g de N por cova) que a recomendada para o Estado de São Paulo (32,0 g de N por cova) por Raij et al. (1996) pode estar associada à maior produtividade de grão em condições de fertirrigação, caracterizando maior demanda de N pelo cafeeiro.

Os valores do IRC, nas plantas de todos os tratamentos, reduziram-se significativamente com o decorrer do período reprodutivo (Quadro 1), parte pela maior demanda de N em função do crescimento dos frutos, concomitante ao crescimento vegetativo, e parte pela redução na espessura das folhas, estimada pelo peso específico (Figura 2), pois folhas mais grossas podem acarretar maiores valores do IRC (Chapman & Barreto, 1997). Neilsen et al. (1995) observaram comportamento inverso do IRC das folhas de macieira fertirrigada com N, em que houve aumento com o decorrer do ciclo, justificado, em parte, pelo aumento da espessura das folhas. A redução do IRC de novembro de 2002 até junho de 2003 (Quadro 1) não ocorreu devido à redução da espessura das folhas (Figura 2), uma vez que estas se tornaram mais densas em junho do que comparadas às folhas de novembro, o que poderia levar a aumento do valor do IRC.

Um outro fator que pode ter influenciado a redução do IRC com o decorrer do ciclo é a variação da irradiância solar, pois, com aumento da disponibilidade de luz, há menor necessidade de produção de clorofila. Segundo Carelli et al. (2006), as folhas de cafeeiro têm a capacidade de se adaptar a alterações na disponibilidade de irradiância.

Assim como na cultura do milho, a variação do IRC com os estádios fenológicos (Argenta et al., 2004) não permite a adoção de um único valor crítico do IRC para a cultura do café, devendo ser estabelecidos IRCs de referência para cada estágio fenológico.

A concentração de N nas folhas não mostrou correlação significativa com o IRC no início das avaliações (Quadro 2), apresentando pequena amplitude entre todos os tratamentos (26,3 a 28,5 g kg⁻¹ em setembro e 29,5 a 30,5 g kg⁻¹ em novembro). A correlação melhorou a partir da terceira avaliação (9/1), provavelmente pelo aumento na demanda de N pela planta nesta fase, embora a concentração desse nutriente não tenha variado significativamente com as suas doses (28,5 a 29,0 g kg⁻¹ em janeiro). Lima Filho et al. (1997)

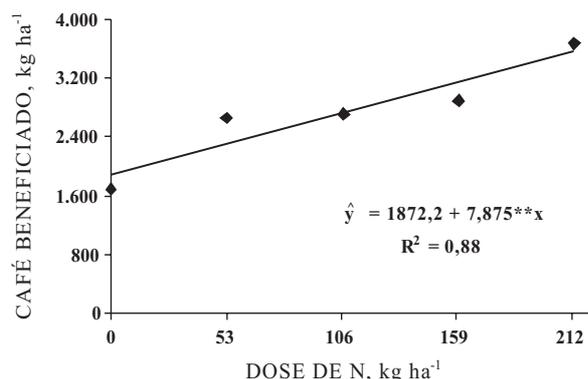


Figura 1. Produtividade de café beneficiado em função das doses de N aplicadas via fertirrigação.

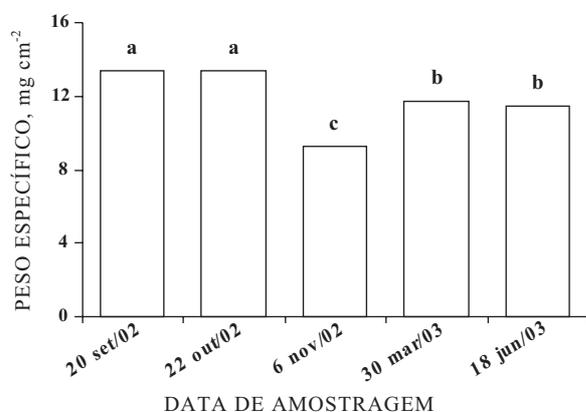


Figura 2. Peso específico da folha em função das datas de amostragem (média dos cinco tratamentos). Letras iguais não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5%.

e Reis et al. (2006) encontraram correlação positiva e significativa entre o IRC e a concentração de N foliar no cafeeiro ($r = 0,73^{**}$ e $r = 0,94^{**}$, respectivamente) com boa amplitude (6 a 19 g kg⁻¹ e 26 a 37 g kg⁻¹, respectivamente), conseguida em mudas com 12 meses (cv. Catuaí Amarelo) e em plantas de cafeeiro (cv. Catuaí Vermelho) com 5 anos de idade, respectivamente. A correlação mais forte entre a concentração de N e o IRC foi obtida na granação (30/3), logo após fase de alta demanda de N (expansão dos frutos), havendo variação da concentração desse nutriente na folha de 26,2 a 28,7 g kg⁻¹. Após a colheita (18/6), a concentração de N foliar foi de 25,6 a 26,4 g kg⁻¹ e a correlação com o IRC foi moderada ($r = 0,51^{**}$).

Um método proposto por Peng et al. (1993) para melhorar a correlação entre a concentração de N e o IRC é corrigir os valores deste dividindo-os pelo valor da espessura da folha. Esse procedimento foi adotado no experimento, utilizando como índice de espessura o peso específico da folha, mas somente melhorou a correlação entre o IRC corrigido e a concentração de N na folha após a colheita (Quadro 2). Argenta et al. (2002) também não observaram melhoria nas correlações corrigindo o IRC com a espessura da folha de milho. Para que este procedimento melhorasse as correlações entre o IRC e as concentrações de N, seria necessário que a espessura da folha variasse em função da dose de N, o que não foi verificado no experimento.

Não houve correlação significativa entre as concentrações de N foliar e a produtividade, e, talvez, este seja um dos motivos de não se utilizar a concentração de N foliar como indicativo para a adubação, no segundo ano agrícola (Raij et al., 1996). Os valores do IRC, entretanto, apresentaram correlação significativa moderada com a produtividade, provavelmente pela maior sensibilidade do aparelho do que a concentração de N (Quadro 3). Reis et al. (2006) concluíram, para cafeeiro cv. Catuaí Vermelho, no quinto ano agrícola, que a produtividade correlacionou-se positivamente com o IRC e com a concentração de N foliar.

No cafeeiro fertirrigado, a aplicação do fertilizante pode ser feita em qualquer época e de modo imediato, logo após a detecção da necessidade do N, verificada pela comparação com os valores de referência do IRC. No entanto, a época recomendada para aplicação de fertilizantes é de setembro a março (Raij et al., 1996; Ribeiro et al., 1999). A correlação mais forte entre o IRC e a produtividade ($r = 0,79$) foi observada em novembro (expansão dos frutos – “chumbinho”).

De acordo com Silveira et al. (2003), a elaboração de um quadro com os valores de IRC em razão da probabilidade de resposta à adubação nitrogenada é uma informação importante para orientação dos produtores na tomada de decisão sobre a necessidade da aplicação do adubo. No quadro 4 são apresentadas as faixas de IRC de acordo com o estágio fenológico e com a probabilidade de resposta à fertirrigação nitrogenada no cafeeiro Catuaí.

Quadro 2. Coeficiente de correlação de Pearson entre o IRC (unidades SPAD) e a concentração de N foliar, em datas de amostragem (n = 20 pontos amostrados por data)

Data de amostragem do IRC	Característica	
	Concentração de N	Concentração de N corrigido ⁽¹⁾
	g kg ⁻¹	
20/9	-0,15ns	-0,34ns
22/11	-0,12ns	-0,17ns
9/1	0,55*	-0,29ns
30/3	0,80**	0,70**
18/6	0,51*	0,72**

⁽¹⁾ Corresponde ao IRC dividido pela espessura da folha estimada. ns: não-significativo; *: significativo a 5%; **: significativo a 1% pelo teste t.

Quadro 3. Coeficiente de correlação de Pearson entre a produtividade de grãos beneficiados e o IRC (unidades SPAD) e a concentração de N foliar (CN), em datas de amostragem (n = 20 pontos amostrados por data)

Data de amostragem do IRC ou da CN	Característica	
	Concentração de N (g kg ⁻¹)	IRC (unidades SPAD)
20/9	0,43ns	0,61**
22/11	-0,32ns	0,79**
9/1	0,28ns	0,45ns
30/3	0,44ns	0,53*
18/6	0,31ns	0,61*

ns: não-significativo; *: significativo a 5%; **: significativo a 1%, pelo teste t.

No presente experimento, a aplicação do N foi feita semanalmente (52 semanas); portanto, a adubação com 0,818; 0,406 a 0,615; e 0,206 g de N por planta corresponderia às doses a serem aplicadas para alta, média e baixa probabilidade de resposta à aplicação de N, respectivamente. No entanto, estas doses devem ser ajustadas para cada condição em função da produtividade esperada, cultivar, idade do cafeeiro e condições edafoclimáticas. Esta pode ser uma vantagem da utilização do clorofilômetro, pois pode auxiliar na tomada de decisão da aplicação do N e para verificar, após a aplicação, se a dose foi o suficiente, de modo rápido e simples, no próprio campo. É importante que, para utilização do clorofilômetro como auxiliar na recomendação de adubação, a obtenção do IRC obedeça ao método utilizado no experimento.

Como pode haver variação do IRC com o genótipo, espaçamento, manejo da cultura e outros fatores, um outro método preconizado por Piekielek et al. (1992), para tomada de decisão sobre a necessidade da adubação nitrogenada com base no IRC, é a utilização

do índice de suficiência de N (ISN). O ISN é calculado pelo quociente entre o IRC de uma parcela e o de outra que recebe alta dose de N, que serve como referência. Quando o ISN for menor que 0,95, é necessária a aplicação de N, porém não se leva em consideração o grau de deficiência para que possa ser calibrada a dose de N a ser aplicada.

Neste experimento, foi calculado o ISN considerando o valor do IRC nas plantas que receberam a maior dose de N (212,7 kg ha⁻¹) como valor de referência. O valor do ISN nas plantas que não foram adubadas com N foi menor que 0,95 durante todo o ciclo, indicando a deficiência de N (Figura 3). As plantas que receberam as doses de N de 52,6 e 105,6 kg ha⁻¹ apresentaram o ISN menor que 0,95 somente a partir da granação, permanecendo até a colheita. O ISN nas plantas fertirrigadas com a dose recomendada para cafeeiro não-irrigado (160 kg ha⁻¹) foi maior que 0,95 praticamente durante todo o ciclo; no entanto, as plantas não atingiram a mesma produtividade daquelas que receberam a maior dose

Quadro 4. Valores de IRC nos estádios fenológicos do cafeeiro cv. Catuaí Amarelo, em razão da probabilidade de resposta à fertirrigação nitrogenada

Estádio fenológico	Probabilidade de resposta à fertirrigação nitrogenada		
	Alta	Média	Baixa
Florescimento e início da expansão dos frutos (agosto a outubro)	76,0	78,8	81,5
Início do enchimento (novembro a meados de dezembro)	69,7	72,4	76,2
Final do enchimento e início da granação (janeiro a março)	60,1	62,3	68,3
Durante a granação (abril a maio)	57,6	60,1	64,0
Da maturação à colheita (junho a agosto)	53,1	55,0	61,7

Nas condições do experimento, para as probabilidades de resposta à fertirrigação nitrogenada alta, média e baixa, as doses a serem aplicadas, semanalmente, deveriam ser de 0,818; 0,406 a 0,615; e 0,206 g de N por planta, respectivamente. Estas doses devem ser ajustadas em função da produtividade esperada, cultivar, idade do cafeeiro e condições edafoclimáticas.

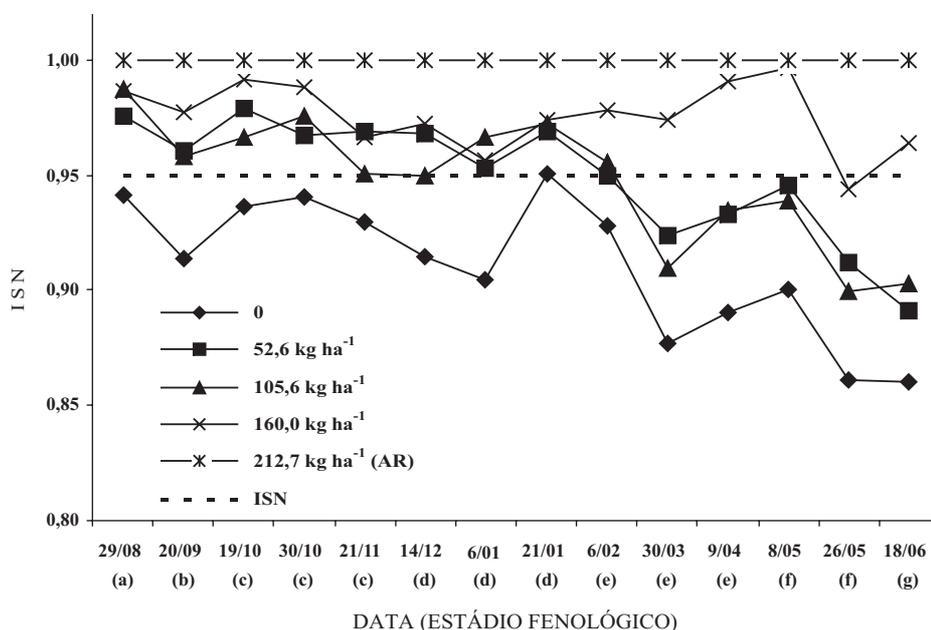


Figura 3. Índice de suficiência de nitrogênio (ISN) calculado pelo quociente entre o IRC de uma parcela e o de outra que recebe alta dose de N (referência), durante o ciclo do cafeeiro. O valor do IRC nas plantas que receberam a maior dose de N (212,7 kg ha⁻¹) foi considerado como valor de referência. (a): início do florescimento; (b): pleno florescimento; (c): expansão dos frutos (chumbinho); (d): enchimento de grãos; (e): granação; (f): maturação (cereja); e (g): após a colheita.

(33 % acima da recomendada – 212,7 kg ha⁻¹). A utilização do ISN de 0,97 ou 0,98 como proposto por Rozas & Echeverría (1998) e, ou, o ajuste mais

adequado das doses de N a serem aplicadas de acordo com o ISN merecem maiores estudos para a cultura do cafeeiro.

Os valores de IRC (em unidades SPAD) nos cafeeiros que atingiram as maiores produtividades foram de 81,5 a 83,2 da florada até o meio da expansão dos frutos (final de agosto a final de outubro); de 76,2 a 78,3 do final da expansão ao início do enchimento (início de novembro até meados de dezembro); de 68,3 a 69,8 do final do enchimento até o início da granação (de janeiro a março); de 64,0 a 65,9 durante a granação (de abril a maio); e de 61,7 a 62,7 da maturação até a colheita (maio a junho).

CONCLUSÕES

1. O índice relativo de clorofila (IRC) aumentou de forma linear com as doses de N, no período entre o florescimento e a colheita.

2. Houve variação do IRC durante o ciclo, reduzindo do florescimento até a colheita, impossibilitando a adoção de um único nível crítico para todos os estádios fenológicos do cafeeiro.

3. Coeficientes de correlação significativos entre a concentração de N foliar e o IRC ocorreram a partir da fase de enchimento de grãos.

4. A produtividade correlacionou-se significativamente com o IRC desde o florescimento até a colheita, porém a correlação mais forte foi obtida na fase de expansão dos frutos – “chumbinho” (novembro).

5. O clorofilômetro pode ser utilizado para definir a probabilidade de resposta a N no decorrer do ciclo do cafeeiro.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de iniciação concedida a Thiago da Silva Santos.

LITERATURA CITADA

- AGRIANUAL 2005. FNP Consultorias & Comércio. Anuário da agricultura brasileira. São Paulo, 2005. 544p.
- AMARAL, J.A.T.; MATTA, D.A. & RENA, A.B. Effects of fruiting on the growth of arabica coffee trees as related to carbohydrate and nitrogen status and nitrate reductase activity. *Braz. J. Plant. Physiol.*, 13:66-74, 2001.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. & SANGOI, L. Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize. *Ci. Rural*, 34:1379-1387, 2004.
- ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; MIELNICZUK, J. & BORTOLINI, C.G. Parâmetros de planta como indicadores do nível de nitrogênio na cultura do milho. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:519-527, 2002.
- CAMARGO, A.P. & CAMARGO, M.B.P. Definição e esquematização das fases fenológicas do cafeeiro arábica nas condições tropicais do Brasil. *Bragantia*, 60:65-68, 2001.
- CARELLI, M.L.C.; FAHL, J.I. & RAMALHO, J.D.C. Aspects of nitrogen metabolism in coffee plants. *Braz. J. Plant. Physiol.*, 18:9-21, 2006.
- CHAPMAN, S.C. & BARRETO, H.J. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agron. J.*, 89:557-562, 1997.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo. 2.ed. Rio de Janeiro, 1997. 212p.
- FERREIRA, D.F. SISVAR versão 4.6. Lavras, Universidade Federal de Lavras, 2004. 32p.
- FOLLET, R.H.; FOLLET, R.F. & HALVORSON, A.D. Use of a chlorophyll meter to evaluate the nitrogen status of dryland winter wheat. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 23:687-697, 1992.
- GODOY, L.J.G.; VILLAS BOAS, R.L. & GRASSI FILHO, H. Adubação nitrogenada na cultura do milho baseada na medida do clorofilômetro e no índice de suficiência em nitrogênio (ISN). *Acta Sci. Agron.*, 25:373-380, 2003.
- GOMES, F.P. Curso de estatística experimental. 14.ed. Piracicaba, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000. 477p.
- GUIMARÃES, T.G.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; ALVAREZ V., V.H. & MONNERAT, P.H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com as formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivado em dois tipos de solo. *Bragantia*, 58:209-216, 1999.
- LIMA FILHO, O.F.; MALAVOLTA, E. & CABRAL, C.P. Avaliação preliminar de um medidor portátil de clorofila como ferramenta para o manejo da adubação nitrogenada do cafeeiro. *Braz. Arq. Biol. Technol.*, 40:642-650, 1997.
- MALAVOLTA, E. & LIMA FILHO, O.F. Estudos sobre a nutrição de nitrogênio e potássio para a vegetação e a produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISAS CAFEIEIRAS, 24., Poços de Caldas, 1998. Anais. Brasília, MAA-PROCAFÉ, 1998. CD-ROM.
- MALAVOLTA, E.; FAVARIM, J.L.; MALAVOLTA, M.; CABRAL, C.P.; HEINRICH, R. & SILVEIRA, J.S.M. Repartição de nutrientes nos ramos, folhas e flores de cafeeiro. *Pesq. Agropec. Bras.*, 37:1017-1022. 2002.
- MALAVOLTA, E.; NOGUEIRA, N.G.L.; HEINRICH, R.; HIGASHI, E.N.; RODRIGUEZ, V.; GUERRA, E.; OLIVEIRA, S.C. & CABRAL, C.P. Evaluation of nutritional status of the cotton plant with respect to nitrogen. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.*, 35:1007-1019, 2004.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C. & OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas: Princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba, POTAFOS, 1997. 201p.
- MALAVOLTA, E.; YAMADA, T. & GUIDOLIN, J.A. Nutrição e adubação do cafeeiro. Piracicaba, Instituto da Potassa e Fosfato, 1981. 224p.
- MANTOVANI, E.C. A irrigação do cafeeiro. Brasília, Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 2001. p.50-55. (ITEM – Irrigação e Tecnologia Moderna, 48)
- MINOLTA. Manual for chlorophyll meter SPAD-502. Osaka, Minolta Radiometric Instruments Division, 1989. 22p.
- MINOTTI, P.L.; HALSETH, D.E. & SIECKZA, J.B. Field chlorophyll measurements to assess the nitrogen status of potato varieties. Hort. Sci., 29:1497-1500, 1994.
- NAZARENO, A. & MENDES, G. Cultivares com potencialidade para lavouras irrigadas. In: SANTOS, C.M. Irrigação da cafeicultura no Cerrado: Palestras. Uberlândia, 2001. p.125-135.
- NEILSEN, D.; HOGUE, E.J.; NEILSEN, G. & PARCHOMCHUK, P. Using SPAD-502 values to assess the nitrogen status of apple trees. Hort. Sci., 30:508-512, 1995.
- PENG, S.; GÁRCIA, F.V.; LAZA, R.C. & CASSMAN, K.G. Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimate of rice leaf nitrogen concentration. Agron. J., 85:987-990, 1993.
- PIEKIELEK, W.P. & FOX, R.H. Use of a chlorophyll meter to predict side dress requirements for maize. Agron. J., 84:59-65, 1992.
- RAIJ, B.van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H. & QUAGGIO, J.A. Análises químicas para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas, IAC/FUNDAG, 2001. 285p.
- RAIJ, B.van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas, IAC/FUNDAG, 1996. 286p. (Boletim Técnico, 100)
- REIS, A.R.; FURLANI JUNIOR, E.; BUZETTI, S. & ANDREOTTI, M. Diagnóstico da exigência em nitrogênio pela utilização do medidor portátil de clorofila. Bragantia, 65:163-171, 2006.
- 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. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 359p.
- ROZAS, H.S. & ECHEVERRÍA, H.E. Relación entre las lecturas del medidor de clorofila (Minolta SPAD 502) en distintos estadios del ciclo del cultivo de maíz y el rendimiento em grano. R. Fac. Agron., 103:37-44, 1998.
- SANTINATO, R. Avanços de tecnologia na cultura do café. In: SANTOS, C.M. Irrigação da cafeicultura no Cerrado: Palestras. Uberlândia, Universidade Federal de Uberlândia, 2001. p.79-82.
- SCHEPERS, J.S.; FRANCIS, D.D.; VIGIL, M. & BELOW, F.E. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter reading. Comm. Soil Sci. Plant Anal., 23:2173-2187, 1992.
- SILVEIRA, P.M.; BRAZ, A.J.B.P. & DIDONET, A.D. Uso do clorofilômetro como indicador da necessidade de adubação nitrogenada em cobertura no feijoeiro. Pesq. Agropec. Bras., 38:1083-1087, 2003.
- TORRES NETO, A.; CAMPOSTRINI, E.; OLIVEIRA, J.G. & BRESSAN SMITH, R.E. Photosynthetic pigments, nitrogen, chlorophyll fluorescence and SPAD-502 readings in coffee leaves. Sci. Hortic., 104:199-209, 2005.