

Capítulo

13

Dirceu Mattos Junior¹
José Antônio Quaggio²
Heitor Cantarella²
Antônio Enedi Boaretto³

NITROGÊNIO E ENXOFRE NA CULTURA DOS CITROS

ABSTRACT

NITROGEN AND SULFUR IN CITRUS CROP

The maintenance of high fruit yield of citrus groves depends, among other factors, on the sound management of soil fertility, which is attained with correct liming and fertilization of tropical soils. Nitrogen (N) is a key building element of amino acids, nucleic acids and proteins in plants. The adequate supply of this nutrient significantly affects yield of citrus fruits, because of its role on regulation of photosynthesis rates, carbohydrate synthesis, specific leaf weight, total plant biomass production and carbon allocation to different tree parts. Sulfur is also a constituent of amino acids and other proteins like ferredoxins and phytochelatin. It is involved in the

¹ Eng. Agr., Dr., Pesquisador Científico V, Instituto Agrônomo (IAC), Centro Citros Sylvio Moreira. Rodovia Anhanguera, km 158, CEP 13490-970, Cordeirópolis, SP. Bolsista do CNPq; e-mail: ddm@iac.sp.gov.br.

² Eng. Agr., Dr. Pesquisador Científico VI, Instituto Agrônomo (IAC), Centro de Solos e Recursos Ambientais. Av. Barão de Itapura, 1481, CEP 13001-970, Campinas, SP. Bolsista do CNPq.

³ Eng. Agr., Dr. Professor Adjunto, Centro de Energia Nuclear na Agricultura/USP, Laboratório de Nutrição de Plantas, Av. Centenário, 303, CEP 13416-000, Piracicaba, SP. Bolsista do CNPq.

chlorophyll synthesis. Nitrogen and S contents in the plant vary depending on the concentration of these nutrients in plant tissues, partitioning of dry mass of leaves, stems and roots, and on the tissue age, which characterize distinct nutrient demands by trees. Fine tuning N supply based on the nutritional status and fruit yield of trees with basis on the current guidelines for citrus fertilization must be taken by growers as a good agricultural practice. Approximately 25% to 50% of applied amounts of N in the citrus groves are recovered by trees, which proportions vary as a function of tree age, timing and efficiency of application, soil acidification, and losses of N by nitrate leaching and ammonia volatilization. Available information point out that adequate supply of S for citrus is easily attained with application of nitrogen, phosphorus, and other micronutrient fertilizers containing this element. These latter in addition to other products used for pest control will supply amounts much greater than those required by trees. However, changing the use of those fertilizers and products to other with few or no S will require, in the future, the use of fertilizers containing S within the fertilization program of citrus groves.

RESUMO

A manutenção da alta produtividade dos pomares cítricos depende, entre outros fatores, do manejo adequado da fertilidade do solo com a aplicação correta da calagem e da adubação nos solos tropicais. O nitrogênio (N) é um nutriente-chave na formação de aminoácidos, ácidos nucleicos e proteínas essenciais à planta. O suprimento adequado desse nutriente influencia largamente a produção de frutos dos citros, por regular a taxa fotossintética e a síntese de carboidratos, o peso específico das folhas, a produção de biomassa total e a alocação de carbono em diferentes órgãos na planta. O enxofre (S) é também constituinte de aminoácidos, componente estrutural de ferredoxinas, fitoquelatinas e outras proteínas, e responsável pela síntese de clorofila. Os conteúdos de N e S na planta variam em função da concentração desses nutrientes, da distribuição da massa seca das folhas, ramos e raízes e da idade dos tecidos da planta, o que caracteriza uma demanda pelos citros bastante distinta. O ajuste da aplicação de N em função do estado nutricional e da produção de frutos, contemplado pelas atuais tabelas de recomendação da adubação, deve constar das boas práticas de manejo do citricultor. Estima-se que 25% a 50% das quantidades de N fornecidas pela adubação são aproveitadas pelos citros, cujas proporções variam em função da idade das plantas, do suprimento do nutriente nas épocas de demanda, da eficiência de modos de aplicação e parcelamentos, da acidificação do solo e das perdas do nutriente por lixiviação de nitrato e volatilização de amônia nos pomares. As informações disponíveis apontam que o suprimento adequado de S para os citros é atingido com a aplicação de fertilizantes nitrogenado, fosfatado e com micronutrientes que conttenham esse nutriente, e que, associado ao uso de outros insumos contra pragas e doenças, suprem quantidades bastante superiores às aquelas requeridas. Contudo, eventuais mudanças no controle fitossanitário para produtos com pouco ou nenhum S podem requerer, no futuro, a inclusão de fertilizantes contendo S no programa de adubação.

1. INTRODUÇÃO

Os citros compreendem um grande grupo de plantas do gênero *Citrus* e outros gêneros afins (*Fortunella* e *Poncirus*) ou híbridos da família Rutaceae, representando na maioria por laranjas, tangerinas, limões, limas (ácidas e doces), pomelos, cidras e toranjas. Essas plantas perenes apresentam características mesofítica e perenifolia, contudo, são cultivadas em várias regiões do mundo, adaptando-se a diferentes condições edafoclimáticas (SPIEGEL-ROY e GOLDSCHMIDT, 1996).

A produção mundial de citros é de aproximadamente 102,7 milhões t por ano, ocupa uma extensa área cultivada, de 7,6 milhões ha, e supera em grande parte a de outras fruteiras tropicais e subtropicais como banana, maçã, manga, pêra, pêssego e mamão (FAO, 2006). Os maiores produtores de laranjas são o Brasil e os Estados Unidos, que, juntos, representam 45% da produção total mundial e cerca de 85% da produção de suco concentrado. Em nosso País, o cultivo de citros ocorre principalmente no Estado de São Paulo, que é responsável por cerca de 80% da produção brasileira de laranjas.

O potencial de produção de frutos, em pomares comerciais, é determinado pelo valor genético das variedades de copas e de porta-enxertos. Contudo, a produção final está relacionada à densidade de plantio, ao crescimento vegetativo, à eficiência fotossintética, à intensidade de florescimento e fixação e massa dos frutos, e ao manejo do pomar – destacadamente água e nutrientes (DAVIES e ALBRIGO, 1994).

São vários os elementos minerais que afetam a produção dos citros, por isso, o suprimento de nutrientes é um fator primário do sistema agrícola, e as características da região dos trópicos (solos, clima e cultivares) justificam ações de pesquisa, desenvolvimento e divulgação de informações aos componentes do agronegócio. Destaca-se que, além da área significativa de cultivo dos citros, a intensidade de exploração do solo tem sido uma necessidade econômica do setor. Reflexo disso é a evolução da densidade de plantio no campo, que evoluiu nas três últimas décadas de menos de 200 plantas ha⁻¹ para 450 a 600 plantas ha⁻¹ (De NEGRI et al., 2005).

O manejo da fertilidade do solo na citricultura, que compreende práticas de calagem e adubação, visa:

- Corrigir barreiras químicas ao crescimento radicular, permitindo maior aprofundamento das raízes e, conseqüentemente, melhor utilização da água armazenada no solo, que é fundamental à citricultura brasileira, tendo em vista sua prática, em grande parte, sem irrigação;

- Suprir os nutrientes que não estão disponíveis no solo, em quantidades suficientes e em sincronia com os períodos de maior demanda pela planta, visando otimizar a produção e a qualidade de frutos;

- Maximizar o retorno econômico da adubação, e

- Evitar excessos de nutrientes no sistema, que possam causar efeitos prejudiciais ao ambiente.

Para o manejo eficiente dos pomares é necessário o uso de ferramentas de diagnóstico, como as análises de solo e de folhas, capazes de avaliar a disponibilidade de nutrientes no sistema solo-planta e, assim, caracterizar deficiências ou excessos. É também necessário conhecer o potencial de produtividade dos diferentes talhões para ajustar as doses de fertilizantes de acordo com as quantidades de nutrientes exportadas com a colheita.

As etapas do programa de adubação dos citros englobam:

- Monitoramento da fertilidade do solo por meio das avaliações dos resultados das análises de solo e de folhas e do diagnóstico de campo;

- Tomada de decisão para definição de doses de corretivos e fertilizantes em função da produtividade esperada dos talhões;

- Definição de fontes, épocas e modo de aplicação, e

- Avaliação da evolução da produtividade e da qualidade dos frutos e análise de pontos críticos.

Nos itens a seguir são discutidas a participação do nitrogênio (N) e do enxofre (S) na nutrição dos citros, as recomendações de adubação e a eficiência de uso de fertilizantes nos pomares.

2. NITROGÊNIO E ENXOFRE NA NUTRIÇÃO DE PLANTAS CÍTRICAS

O N é um nutriente-chave na formação de DNA, RNA, outras proteínas e aminoácidos essenciais na planta. É também importante compo-

nente estrutural da molécula da clorofila, requerida no processo fotossintético. A produção de frutos dos citros é largamente influenciada pelo suprimento de N (ALVA e PARAMASIVAM, 1998), pelo fato de esse nutriente regular a taxa fotossintética e a síntese de carboidratos (KATO, 1986), o peso específico das folhas (SYVERTSEN e SMITH, 1984), a produção de biomassa total e a alocação de carbono em diferentes órgãos na planta (LEA-COX et al., 2001). Por essas razões, o N é considerado o nutriente mais importante para os cítricos, com participação no crescimento, produção e qualidade dos frutos.

Os citros armazenam grande quantidade de N na biomassa, que pode ser redistribuída, principalmente, para órgãos em desenvolvimento como folhas e frutos (MATTOS JUNIOR et al., 2003a; FENILLI et al., 2004). Assim, o decréscimo no suprimento de N pode não afetar a produção de frutos imediatamente; contudo, quando fornecido em quantidade inferior à exportada com as colheitas, as árvores sofrerão redução gradativa na densidade de folhas e no crescimento da copa, com prejuízos na produção em anos posteriores.

No estágio inicial da carência de N, as plantas ficam amarelecidas (notadamente as folhas mais velhas), há redução do número e do tamanho dos frutos e, em casos mais severos de deficiência, pode ocorrer seca de ramos. Por outro lado, o excesso desse nutriente provoca vegetação exuberante, com folhas graúdas, redução na diferenciação floral e, conseqüentemente, na frutificação.

As faixas para interpretação de teores foliares¹ de N para laranjas são: baixo, < 23 mg kg⁻¹; adequado, entre 23 e 27 mg kg⁻¹; e excessivo, > 30 mg kg⁻¹. Para limões e lima ácida Tahiti, as faixas de interpretação do teor de N foliar são: baixo, < 17 mg kg⁻¹; adequado, entre 18 e 22 mg kg⁻¹; e excessivo, > 22 mg kg⁻¹ (QUAGGIO et al., 2005).

O enxofre (S) é constituinte de aminoácidos (cisteína e metionina), componente estrutural de ferredoxinas, fitoquelatinas e outras proteínas, e também responsável pela síntese de clorofila. Na citricultura, as informa-

¹ Terceira ou quarta folha a partir do fruto, geradas na primavera, com aproximadamente seis meses de idade, normalmente em fevereiro e março, em ramos com frutos de 2 a 4 cm de diâmetro.

ções acerca deste nutriente são bastante limitadas, já que, tradicionalmente, o manejo da cultura no campo, com utilização de fertilizantes e insumos para tratamento fitossanitário contendo S, parece suprir a demanda da planta. CHAPMAN (1968) observou que, em condições controladas, plantas submetidas à omissão de S no meio de cultura apresentaram folhas mais novas amareladas, semelhantes àquelas deficientes em N, e folhas em fluxos de crescimento posteriores com clorose acentuada, menor tamanho e sujeitas à abscisão prematura.

Embora os sintomas causados pelo excesso de S na planta não ocorram comumente, é possível que a aplicação do elemento sobre as folhas e frutos cause injúrias. Os sintomas aparecem principalmente nos tecidos expostos ao sol, onde ocorre desde necrose de pequenas manchas arredondadas até áreas extensas de cor verde claro a amarelo. Nos frutos, a injúria pode ser superficial, afetando a parte mais externa da casca ou a polpa (TURREL, 1949).

Para o S, as faixas para interpretação de teores foliares são: baixo, $< 2,0 \text{ mg kg}^{-1}$; adequado, entre 2,0 e $3,0 \text{ mg kg}^{-1}$; e excessivo $> 5,0 \text{ mg kg}^{-1}$.

Os conteúdos de N e S na planta inteira variam em função da concentração desses nutrientes, da distribuição da massa seca nas diversas partes da planta (folhas, ramos e raízes) e da idade dos tecidos (jovens, maduros e senescentes). A Figura 1 mostra que num pomar de laranja Hamlin plantado em solo arenoso (fração areia = 970 g kg^{-1}), na Flórida, Estados Unidos, com produtividade de 15 t ha^{-1} , o conteúdo de N da planta excede em cerca de dez vezes aquele de S. Resultados obtidos com laranja Pêra sobre Cravo, com quatro anos de idade, num Latossolo Vermelho Escuro do Estado de São Paulo (BOARETTO et al., 2004), com produtividade de 20 t ha^{-1} , demonstram que a relação entre o teor de N ($300 \text{ g planta}^{-1}$) e o teor de S (24 g planta^{-1}) na planta é bastante similar à relatada por Mattos Junior et al. (2003c). Essa relação é importante para a caracterização da demanda desses nutrientes pelos citros e para a tomada de decisão quanto à adubação do pomar.

3. RECOMENDAÇÕES DE ADUBAÇÃO NA CITRICULTURA

As recomendações de adubação dos citros envolvem aplicações de N, P e K por via sólida, em superfície, ou por fertirrigação, e dos micronutrientes boro (B), cobre (Cu), zinco (Zn) e manganês (Mn) via foliar,

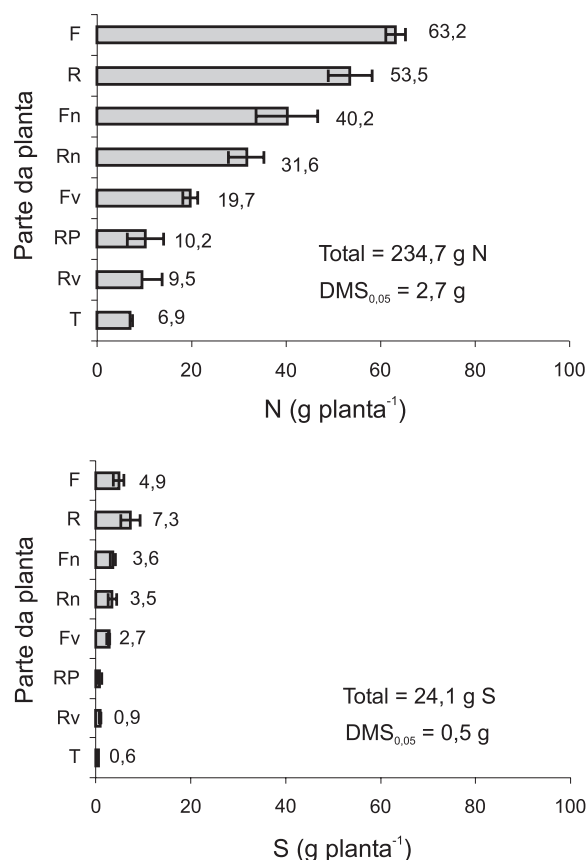


Figura 1. Conteúdos de nitrogênio e enxofre nas várias partes de laranja Hamlin sobre Swingle, com 5-6 anos de idade. Legenda: F = fruto; R = raízes; Fn = folhas novas; Rn = ramos novos, com < 1,5 cm diâmetro; Fv = folhas velhas; RP = raiz principal; Rv = ramos velhos com > 1,5 cm diâmetro; e T = tronco. DMS_{0,05} indica a diferença mínima significativa para o conteúdo de N entre partes da planta (Probabilidade = 0,05); barras horizontais indicam o erro padrão da média (n = 3).

Fonte: Adaptada de MATTOS JUNIOR et al. (2003c).

utilizando-se sais solúveis. No caso do B, a aplicação via solo é desejável. Para o Cu, recomenda-se a aplicação em pomares jovens, quando o uso de fungicidas cúpricos é pouco requerida; já em pomares adultos, o tratamento fitossanitário supre adequadamente a demanda da planta.

Distinguem-se três fases da cultura para a aplicação de fertilizantes: **a.** plantio; **b.** formação – árvores jovens, com idade até cinco anos, e **c.** produção – árvores adultas (QUAGGIO et al., 2005). Não se dispõe de estratégias específicas para a aplicação de S nos pomares pelo fato deste nutriente ser fornecido em quantidades normalmente superiores à demanda da planta através do uso de fertilizantes e insumos fitossanitários contendo enxofre.

3.1. Nitrogênio, fósforo, potássio e micronutrientes

No plantio, aplica-se o P em profundidade no sulco, em doses de até 80 g m⁻¹ de P₂O₅, preferencialmente na forma de superfosfato simples para otimizar o fornecimento de Ca e de S às mudas novas.

Após o plantio, as doses de N, P e K recomendadas são para a formação da planta, tanto do sistema radicular como da copa, e, portanto, levam em consideração a idade do pomar e os resultados da análise de solo para P e K, visando atender às necessidades de crescimento da copa e o início da produção de frutos. Assim, as doses de N variam, do primeiro ao quinto ano após o plantio, de 100 a 500 g planta⁻¹ ano⁻¹.

A recomendação de adubação nitrogenada para os pomares em produção é feita com base na avaliação do estado nutricional das árvores, que pode ser obtida através da análise de folhas. Outro critério adotado considera as estimativas da exportação de nutrientes pelos frutos, que representam: 1,2 a 1,9 kg t⁻¹ de N e K, quantidades bastante superiores às de P (0,18 kg t⁻¹), Ca (0,52 kg t⁻¹), Mg (0,10 kg t⁻¹), S (0,10 kg t⁻¹) e micronutrientes.

Um cálculo simples para exemplificar a dimensão desses números pode ser feito para um talhão de laranjas com produtividade de 45 t ha⁻¹, no qual se estima que a exportação somente do N através da colheita varie entre 54 e 85 kg ha⁻¹. Assim, a quantidade disponível do nutriente no solo para sustentar essa produção deverá ser bastante significativa. Ao contrário, a exportação de S pelos frutos chegaria apenas a 4,5 kg ha⁻¹.

Considerando-se principalmente as variáveis estado nutricional, reserva de nutrientes no solo e potencial de produção de frutas no pomar, foram preparadas tabelas de recomendação de adubação para N, P e K, com doses de N que variam de 50 a 260 kg ha⁻¹ ano⁻¹ (QUAGGIO et al., 2005).

A absorção de N pelos citros é baixa nos meses mais frios e secos e aumenta relativamente na primavera e verão, período das águas, quando as plantas saem do repouso vegetativo, emitem novos fluxos vegetativos e florescem (WALLACE e GARDNER, 1946; KATO e KUBOTA, 1982a). Essa diferença é ainda explicada pela taxa diferencial da atividade da redutase de nitrato entre os períodos mais quentes e mais frios e a incorporação do N em aminoácidos durante a via metabólica do nutriente (KATO e KUBOTA, 1982b). Assim, nessa época, deve haver boa reserva do nutriente e equilíbrio na biomassa das plantas para garantir pleno florescimento e fixação dos frutos (BUSTAN e GOLDSCHMIDT, 1998).

Estudos utilizando o isótopo estável ^{15}N como traçador, aplicado tanto em pomares adultos como em plantas em casa de vegetação, demonstram como a maior absorção relativa de N coincide com a época de florescimento (Figura 2). Nota-se que mesmo nas condições controladas de casa de vegetação, onde as variações de temperatura são menos acentuadas e a disponibilidade de água é mais constante para o crescimento das plantas, os resultados são semelhantes. Vale acrescentar que sob essas condições o crescimento vegetativo é maior, daí a taxa de absorção do nutriente ser mais intensa. Boaretto et al. (1999) estimaram que as taxas de absorção de N pela laranjeira Pêra, com um ano de idade, foram de $5 \text{ mg dia}^{-1} \text{ planta}^{-1}$ no período de 45 a 75 dias após o início da primavera, $27 \text{ mg dia}^{-1} \text{ planta}^{-1}$ no período de 120 a 180 dias e $6 \text{ mg dia}^{-1} \text{ planta}^{-1}$ no período entre 180 e 360 dias.

O parcelamento das doses de N em três ou quatro aplicações durante o ano aumenta a eficiência da adubação, por evitar perdas de nutrientes no solo com a água de drenagem, o que ocorre, principalmente, em solos arenosos, e por adequar a demanda de nutrientes em diferentes períodos de desenvolvimento das plantas, isto é, do florescimento à maturação dos frutos.

Quanto à recomendação geral de adubação foliar dos citros, as soluções de B (200 a 300 mg L^{-1}), Cu (600 a 1.000 mg L^{-1}), Mn (300 a 700 mg L^{-1}) e Zn (500 a 1.000 mg L^{-1}), são aplicadas três a seis vezes ao ano, de acordo com a idade das plantas e o grau de deficiência observado. São aplicados até 10 L da solução por planta em pomares adultos. Para Cu, Mn e Zn, utilizam-se sais de sulfato ou cloreto.

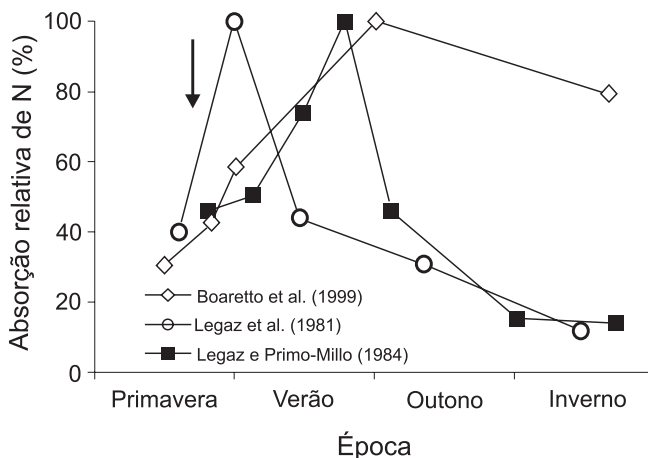


Figura 2. Absorção relativa de nitrogênio por plantas de citros, avaliada em ensaios com adição de fertilizante marcado com o isótopo ^{15}N . A seta indica a época aproximada do início do florescimento das plantas.

3.2. Enxofre

As fontes mais comuns de S na citricultura são os fertilizantes sulfato de amônio e superfosfato simples, aplicados no solo, os sulfatos de manganês e de zinco, aplicados via foliar, e os defensivos sulfato de cobre e enxofre elementar, também aplicados via foliar.

A Tabela 1 ilustra o potencial de aporte de S na citricultura, considerando o uso das fontes citadas no parágrafo anterior. Nota-se que as quantidades de S fornecidas podem alcançar valores bastante superiores ($> 250 \text{ kg ha}^{-1} \text{ S}$) aqueles demandados pelos citros quando se considera a remoção do nutriente pela colheita e o seu conteúdo, relativo ao N, na planta toda (itens 2 e 3.1). Destaca-se que o manejo do pomar é planejado para otimizar a produtividade, por essa razão, o uso contínuo do sulfato de amônio não representa a melhor estratégia a ser adotada visando o suprimento de S às plantas, em vista do seu custo por unidade de N, do seu elevado índice de acidez (RAIJ, 1991) e dos possíveis prejuízos que podem advir ao pomar com a acidificação do solo (item 4.2). Porém, a aplicação eventual, em um dos parcelamentos dos adubos nitrogenados, pode ser uma estratégia eficiente para o fornecimento de S.

Tabela 1. Estimativa do suprimento potencial de enxofre em pomar adulto de laranjeira em produção¹.

Recomendação	Dose	Fonte	S
Macronutrientes (kg ha⁻¹)	(kg ha ⁻¹)		(kg ha ⁻¹)
N	170	Sulfato de amônio	195
P (P ₂ O ₅)	60	Superfosfato simples	35
Micronutrientes^{2,3} (g L⁻¹)			
Mn	0,5	Sulfato de manganês	2,5-3,5
Zn	0,75	Sulfato de zinco	3,5-5,0
Tratamento fitossanitário^{2,4} (g L⁻¹)			
Cu	1,5	Sulfato de cobre (II)	2,5-5,0
S	2,0	S elementar	20-30
Total			258,5-273,5

¹ Densidade de plantio = 400 plantas ha⁻¹; idade = 10 anos; teor foliar adequado de N = 23-27 g kg⁻¹; teor médio de P-resina no solo = 13-30 mg kg⁻¹; produtividade = 45 t ha⁻¹. As práticas comuns no pomar estão destacadas na área cinza.

² Volume de solução = 7,5 L planta⁻¹.

³ Três a quatro aplicações ao ano.

⁴ Uma a duas aplicações ao ano.

Outros fertilizantes solúveis, como o sulfato de potássio (K_2SO_4) e o sulfato de potássio e magnésio ($K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$), constituem fontes de S, porém, são poucos os estudos estabelecidos para avaliar o efeito desses na produção e qualidade dos frutos cítricos. Isso se deve ao seu elevado custo, quando comparado ao do cloreto de potássio (KCl).

Koo e Reese (1972) avaliaram a aplicação de K em três experimentos com árvores jovens de laranja Hamlin e pomelo Marsh, e pomar adulto de laranja Valência. Os resultados de cinco anos de avaliações com Hamlin mostraram que não houve efeito significativo da aplicação tanto de KCl como de K_2SO_4 sobre o crescimento da plantas jovens, avaliado pelo diâmetro do tronco. No experimento com pomelo, a produtividade média de quatro safras aumentou de 124 kg planta⁻¹ para 147 kg planta⁻¹ com o aumento das doses de K_2O , de 94 kg ha⁻¹ para 188 kg ha⁻¹, respectivamente. Apesar da grande resposta em produção e tamanho de frutos pela aplicação desse nutriente, não houve diferença significativa entre as fontes testadas.

No Brasil, a ocupação de solos sob cerrado, com baixos teores de matéria orgânica, e o aumento do uso de fórmulas concentradas de fertilizantes contendo pouco S levou à instalação de experimentos para avaliar a resposta de diversas culturas à aplicação desse nutriente. Para os citros, foi observado incremento da produção de frutos, avaliada em uma única colheita, com a aplicação de S num pomar do Estado de São Paulo, em solo tipo Entisol Quartzarênico cujo teor de S era de 5 mg dm⁻³ (MALAVOLTA et al., 1987). Os autores citaram que essa resposta seguiu a mesma tendência observada para outras espécies e que o teor foliar de S de 2,0 g kg⁻¹ correspondeu a 90% da produção máxima da cultura.

Por outro lado, em pomar de laranjeira Pêra, nos três primeiros anos após o plantio, a aplicação de doses de até 30 kg ha⁻¹ de S na forma de sulfato de amônio, sulfato de potássio e magnésio, e gesso agrícola, não causou efeito sobre a produção de frutos, comparada ao tratamento sem aplicação do nutriente (MATTOS JUNIOR, 1989). Embora houvesse variação significativa nos teores de S no solo, para as doses testadas, tanto em superfície (por exemplo, 9 mg dm⁻³ e 25 mg dm⁻³) como na camada de 20 a 40 cm (por exemplo, 20 mg dm⁻³ e 45 mg dm⁻³) de profundidade, os efeitos sobre os teores foliares desse nutriente foram menos consistentes, e situaram-se também em torno de 2,0 g kg⁻¹.

Ensaio de campo mais recentes¹, usando-se K_2SO_4 como fonte de K e S para laranjeiras em produção, têm demonstrado tendência similar. Embora os teores de enxofre no solo tenham variado significativamente, com a aplicação de doses de K de 0 a 300 kg ha⁻¹ de K_2O , os teores foliares de S da laranjeira mostraram-se constantes, em torno de 3,4 g kg⁻¹. Esse teor mais elevado, comparado àqueles reportados nos experimentos anteriores, sugere que o emprego de produtos fitossanitários para o controle de pragas (por exemplo, ácaro da falsa ferrugem) e doenças (por exemplo, rubelose, mancha preta e alternária) tem se tornado uma prática mais comum nos pomares de citros.

Fertilizantes orgânicos, resíduos (por exemplo, compostos de lixo e biossólidos) e gesso agrícola ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) constituem outras fontes de S, porém, menos utilizadas na citricultura. Os materiais orgânicos apresentam teores de S relativamente baixos (< 3 g kg⁻¹; base úmida) (RAIJ et al., 1997). Também têm o uso limitado em vista, principalmente, da disponibilidade limitada de grandes volumes para aplicação na agricultura, da qualidade e uniformidade de lotes de produção e de restrições à presença de contaminantes e metais pesados. Contudo, destacam-se os efeitos indiretos favoráveis que causam sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, como melhoria da estrutura e do armazenamento de água, incremento da CTC e controle do pH, o que justificaria seu emprego na citricultura (ABREU JUNIOR et al., 2005).

O uso de gesso agrícola e de misturas gesso + calcário na citricultura foi bastante discutido nos anos 80, em vista dos efeitos benéficos da melhoria do ambiente radicular observados em outras culturas agrícolas. Contudo, experimentos desenvolvidos em pomares de citros, utilizando esses insumos, não demonstraram resultados positivos no incremento da produção de frutos que justificasse seu emprego como condicionador de solo (BOARETTO et al., 1996; QUAGGIO et al., 1998).

A maior limitação ao uso do gesso, observada em diferentes ensaios conduzidos pelo IAC, nos anos 80 e 90, com várias culturas, inclusive citros, é devida à rápida movimentação dos íons Ca^{2+} e SO_4^{2-} nos solos

¹ QUAGGIO et al. (2006), dados não publicados.

paulistas, pela predominância de camadas com carga líquida negativa em toda a extensão do perfil. Solos muito específicos, porém, podem expor carga líquida positiva em camadas mais profundas, nas quais o teor de matéria orgânica é menor. Com isso, a movimentação do Ca^{2+} e do SO_4^{2-} é bem mais lenta, o que resulta em resposta positiva e econômica ao uso do gesso como condicionador do ambiente radicular.

4. USO DO NITROGÊNIO NA AGRICULTURA

Grande parte das perdas de nitrogênio nos sistemas agrícolas está relacionada à baixa eficiência de uso do N (EUN). O aumento dessas perdas no mundo tem sido reportado como fator: **a.** de contribuição às emissões de gases que levam ao aquecimento global e **b.** da contaminação de águas de subsuperfície pelo excesso de nitrato (NO_3^-) (IPCC, 1994).

É possível desenvolver modelos para quantificar as transformações e o transporte do N nos agroecossistemas e identificar as melhores práticas de manejo que promovam o aumento da EUN e a redução das perdas (DELGADO, 2001a,b; 2002). Embora condições de clima, uso da terra, características do solo e suprimento de N sejam correlacionados àquelas perdas, o manejo das adubações e da irrigação são fatores-chave para aumentar a EUN (DELGADO, 2001a,b; SHAFFER e DELGADO, 2002).

Para explicar a eficiência de absorção do N é importante entender os vários processos no solo que afetam o ciclo do N, que são: adsorção iônica, remoção pela erosão, percolação/lixiviação, imobilização, mineralização, volatilização e desnitrificação. Esses processos são controlados por fatores de natureza física, química e microbiológica do solo, disponibilidade de energia e água.

4.1. Eficiência de uso do nitrogênio na citricultura

A eficiência de absorção do N por culturas anuais é de 40% a 50% (CRASWELL e GODWIN, 1984; HALLBERG, 1987) e, em média, é menor nas culturas perenes. Em pomares de citros, varia entre 25% e 50% do N aplicado.

A Tabela 2 resume alguns dos principais trabalhos de pesquisa sobre aproveitamento do N pelos citros, estimado pela técnica do traçador (^{15}N), desenvolvidos em diferentes países e condições de avaliação. Obser-

Tabela 2. Aproveitamento do nitrogênio pelos citros, estimado pela técnica do traçador (^{15}N).

Copa/Porta-enxerto	Idade das plantas	Fertilizante ¹	Modo de aplicação do fertilizante	Aproveitamento do N pela planta ²	Observação	Referência
	(anos)			(% do aplicado)		
Shamouti/Lima doce ³	22	NK	Fertirrigado	40-56	Pomar	a
Pêra/Cravo	1,5	UR	Sólido em superfície	33-61	Vaso fechado; sem frutos	b
Redblush/Volkameriano						
Redblush/Azeda ⁴	4	NA	Fertirrigado	24-84	Lisímetro	c
<i>Citrus mitis</i>	1,5	SA, UR, NCa e NK	Solução nutritiva	14(UR)-38(SA) ¹	Vaso aberto; lixiviação de N minimizada	d
Valencia late/Troyer	3	SA	Fertirrigado	35	Contêiner	e
Hamlin/Swingle	5-6	NA e UR	Sólido em superfície	26(UR)-40(NA) ¹	Pomar	f
Lane late/Carrizo	1, 2 e 3	NA	Fertirrigado	6-31	Pomar	g
Pêra/Cravo	4	SA	Sólido em superfície	16-38	Pomar	h

¹ NA = nitrato de amônio, NCa = nitrato de cálcio, NK = nitrato de potássio, UR = uréia e SA = sulfato de amônio.

² Representa o ^{15}N absorvido pela planta toda após aplicação do fertilizante marcado com o isótopo.

³ Subenxertada com laranja azeda.

⁴ Diferentes doses de N testadas.

^aFEIGENBAUM et al. (1987); ^bBOARETTO et al. (1999); ^cLEA-COX et al. (2001); ^dNATALE e MARCHAL (2002); ^eMAR-TÍNEZ et al. (2002); ^fMATTOS JUNIOR et al. (2003a); ^gMENINO (2005); ^hBOARETTO et al. (no prelo).

va-se que há coerência entre os números apresentados na tabela e a faixa de valores indicada anteriormente. Valores superiores a 50% são justificados pelas aplicações parceladas de N durante o ano, em fertirrigação (FEIGENBAUM et al., 1987; LEA-COX et al., 2001), ou pela ausência de lixiviação (BOARETTO et al., 1999), ou por condições específicas, quando as plantas apresentam baixo suprimento do nutriente, limitando a produção (LEA-COX et al., 2001). Valores mais baixos (MENINO, 2005) podem ser atribuídos a:

a. menor aproveitamento do N por plantas jovens no campo, devido ao sistema radicular ainda incipiente, quando comparado ao das árvores maiores, e

b. perdas de N no solo (arenoso e com alto pH), através da lixiviação de nitrato, relacionada ao regime de precipitação do local, da volatilização de amônia e da desnitrificação nas camadas com acúmulo de exsudatos de raízes (C), onde a irrigação favorece a formação de microsítios anaeróbios no solo.

O N do fertilizante que se acumula nos frutos, e depois é exportado na colheita, é uma parcela daquele que é absorvido pela planta, correspondendo a apenas 10% a 18% do total aplicado no solo, sendo que 13% a 15% deste se acumula na parte aérea e 4% a 7% nas raízes (MATTOS JUNIOR et al., 2003a; BOARETTO et al., no prelo). Isso demonstra que parte da demanda de N pelos citros é suprida pela reserva do nutriente na biomassa da planta.

Estimativas detalhadas dos vários componentes do balanço de N em pomares de citros são difíceis de se obter. Alva et al. (2006b), usando dados de um estudo em pomar de laranja Hamlin, com 20 anos de idade e produtividade de 115 t ha⁻¹, demonstraram que 180 kg ha⁻¹ de N, ou seja, cerca de 44% do total do nutriente adicionado ao pomar, foram extraídos pelos frutos. Ainda, cerca de 107 kg ha⁻¹ foram incorporados na biomassa da planta. Nesse trabalho, a estimativa da adição total do nutriente no pomar, realizada com dados disponíveis na literatura, foi de 407 kg ha⁻¹, sendo que 280 kg ha⁻¹ foram provenientes da adubação, 90 kg ha⁻¹ da reciclagem de resíduos da biomassa das árvores (raízes velhas, folhas senescentes e pequenos ramos oriundos de podas laterais e de ponteiros), 11 kg ha⁻¹ da precipitação atmosférica, 6 kg ha⁻¹ da fixação não simbiótica e 20 a 25 kg ha⁻¹ do N inorgânico do solo.

As perdas de N, por via gasosa, e o N residual no solo foram estimados em 58 kg ha⁻¹. Por último, cerca de 65 kg ha⁻¹ de N não teriam sido computados nessa estimativa dos vários componentes desse balanço de N.

Embora essas estimativas, obtidas por Alva et al. (2006b), tenham sido comparadas a outras, obtidas com a simulação de dados no programa LEACHEM, considerar que 64% do N aplicado na forma de nitrato de amônio sejam removidos pelos frutos, de um pomar pouco adensado (286 plantas ha⁻¹), num Arenosol Quartzarênico da Flórida (Estados Unidos), tanto via fertirrigação como via aplicação sólida em superfície, parece superestimar os dados obtidos nos estudos que utilizaram o ¹⁵N.

4.2. Lixiviação de nitrato

A transformação do N aplicado como uréia ou nitrato de amônio no solo pode ser rápida, cerca de 7 dias nos meses de verão, e se dá através da nitrificação ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$) (KHAKURAL e ALVA, 1995, 1996). O NO_3^- liberado na solução do solo está sujeito à absorção pelas raízes e à perda por lixiviação com a água de percolação, já que não é retido no complexo de troca de cargas negativas predominantes nas camadas superficiais do solo. A perda de N por lixiviação de NO_3^- tem maior possibilidade de ocorrer em solos com textura mais arenosa.

A eficiência das diferentes formas do fertilizante nitrogenado, considerando a produção de frutos e as perdas de NO_3^- em subsuperfície, foi demonstrada em estudos desenvolvidos na Flórida, em solos de textura arenosa (ALVA e PARAMASIVAM, 1998; ALVA et al., 1998). Observaram-se que a aplicação de fertilizante na forma sólida e solúvel (SS), quatro vezes ao ano, foi menos eficiente que a fertirrigação (FRT), aplicada mais que 15 vezes, ou que uma aplicação de fertilizante de liberação lenta (LL). Alva et al. (1998) estimaram que as quantidades de N requeridas para a produção de uma tonelada de laranjas foram: 1,79 kg como LL, 2,58 kg como FRT e 2,75 kg como SS.

De acordo com Alva et al. (2006a), mantendo-se boas práticas de manejo, com aplicação correta da água de irrigação e dos fertilizantes nos períodos de maior demanda pela cultura, é possível alcançar produtividades bastante elevadas, com o aumento da EUN no pomar. Neste trabalho, os pesquisadores demonstraram que foi possível alcançar produtividades de

até 90 t ha⁻¹ em pomar de laranja Hamlin, utilizando-se 2,2 a 2,3 kg de N por tonelada de fruta em sistema SS ou FRT, o que correspondeu à aplicação de 260 kg ha⁻¹ do nutriente.

Os fertilizantes de liberação lenta (LL) são recobertos por substâncias orgânicas ou resinas sintéticas, na maioria derivadas de uréia, como poliamidas, enxofre e outros polímeros, cujas características, em função da temperatura e umidade do solo, definem a curva de liberação dos nutrientes. Embora a eficiência de uso possa ser maior em determinadas condições, o custo tem sido um fator limitante a seu emprego na citricultura.

4.3. Acidificação do solo

Durante a nitrificação, para cada NH₄⁺ oxidado ocorre a liberação de dois íons hidrogênio (H⁺) na solução do solo. O resultado desse processo é a acidificação do solo. A absorção de N pelas raízes também influencia a variação do pH do solo.

He et al. (1999) observaram que o pH do solo diminuiu de uma a duas unidades após quatro anos de aplicação de 112 kg ha⁻¹ de N em pomar de pomelos, num Neossolo Quartzarênico na Flórida. A acidificação do solo foi acompanhada de lixiviação de NO₃⁻ e da perda de P, Ca e K abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular.

Outro estudo de campo, em pomar de laranja Valência, demonstrou que, após cinco anos do início da fertilização nitrogenada no solo, quando se utilizaram uréia e nitrato de amônio como fontes de N, houve um decréscimo do pH do solo de até 1,7 unidade (CANTARELLA et al., 2003). A liberação de H⁺ para a solução do solo, devido à nitrificação e absorção de NH₄⁺ pela laranja, contribuiu para o decréscimo da adsorção de bases no complexo de troca (CTC). Um efeito bastante importante da acidificação e lixiviação de NO₃⁻ foi a perda de Ca, Mg e K no perfil do solo e conseqüente redução da saturação por bases, pois o transporte do NO₃⁻ no solo ocorre associado àquelas bases (Tabela 3). Esse efeito foi bastante acentuado na camada superficial do solo quando se utilizou a maior dose de N na forma de nitrato de amônio. Diferenças quanto à redução do pH do solo e perda de bases para as duas fontes testadas podem ser atribuídas a perdas de N por volatilização de NH₃ da

Tabela 3. Resultados da análise química de amostras de solo coletadas cinco anos após o início da adubação nitrogenada utilizando uréia e nitrato de amônio (NA).

Dose de fertilizante	pH (CaCl ₂)		Ca ²⁺ + Mg ²⁺ + K ⁺		Saturação por bases	
	Uréia	NA	Uréia	NA	Uréia	NA
N (kg ha ⁻¹)			-- (mmol _c dm ⁻³) --		----- (%) -----	
PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM: 0 a 20 cm						
20	5,6	5,8	47	64	67	77
100	5,5	4,9	40	40	65	51
180	4,9	4,4	45	28	58	38
260	4,7	4,1	33	19	47	24
PROFUNDIDADE DE AMOSTRAGEM: 20 a 40 cm						
20	5,3	5,6	27	36	55	68
100	5,8	5,3	35	37	69	64
180	5,5	5,1	40	32	67	59
260	5,3	4,8	33	27	62	48

Fonte: CANTARELLA et al. (2003).

uréia fertilizante. Da mesma forma, o efeito de fontes dos adubos nitrogenados reflete sobre a quantidade de N lixiviado no perfil do solo (MATTOS JUNIOR et al., 2003b).

4.4. Volatilização de amônia

Em solos de reação alcalina (pH elevado), qualquer adubo que contenha N amoniacal está sujeito a perdas de N por volatilização de amônia (NH₃). No entanto, em solos ácidos, predominantes na região citrícola brasileira, as perdas esperadas devem ser pequenas para a maioria dos fertilizantes, exceto para a uréia, aplicada na superfície do solo.

No solo, a uréia é hidrolisada pela ação da urease, processo este que consome H⁺ e provoca um aumento localizado do pH do solo, na região próxima do local de aplicação, que afeta o equilíbrio químico das formas amônio e amônia. As perdas de amônia aumentam, ainda, em função de condições ambientais, como alta temperatura (FENN e KISSELL, 1974; MATTOS JUNIOR et al., 2003b) umidade do solo (FRENEY et al., 1992) e

alto gradiente de concentração de NH_3 na atmosfera, favorecido pela velocidade do vento (MATTOS JUNIOR et al., 2003b). Medidas da perda de N por volatilização de amônia em pomar da Flórida (Estados Unidos) demonstraram que as taxas variam proporcionalmente com o aumento da temperatura do ar, representada pelas condições de dia e noite, e também com o aumento do potencial de pressão de vapor do gás na superfície do solo, acima dos coletores utilizados no pomar (Tabela 4).

Tabela 4. Perda de N por volatilização de amônia após aplicação de fertilizantes em solo arenoso em pomar de laranja Hamlin, na Flórida (Estados Unidos).

Fonte de N	Ventilação ¹	Dia ²	Noite ²	Prob. < F
-- N-NH ₃ (mg m ⁻² h ⁻¹) --				
Nitrato de amônio	Desligada	5,2	2,7	0,1208
	Ligada	12,0	6,0	0,0062
Uréia	Desligada	9,4	5,3	0,0044
	Ligada	22,9	12,7	0,0407

¹ Refere-se ao uso de ventilador interno à câmara de volatilização para simular diferentes condições de remoção da NH_3 imediatamente acima da superfície do solo.

² Dados representam a média de quatro repetições.

Fonte: MATTOS JUNIOR et al. (2003b).

As maiores taxas de volatilização de amônia a partir da uréia ocorrem durante os três primeiros dias após a aplicação, decrescendo em seguida (Figura 3). A volatilização de NH_3 nos pomares de citros é mais significativa quando o fertilizante nitrogenado é aplicado em solos arenosos, com menor poder tampão (CTC), pH elevado, e que recebem altas doses de N. A aplicação do fertilizante na superfície do solo coberto com resíduos vegetais tende a aumentar as taxas de perdas de N em razão da barreira formada pelos resíduos entre o grânulo do fertilizante e o solo, da manutenção da umidade do solo na camada superficial por períodos mais prolongados e da maior atividade de enzimas do grupo das aminoidrolases, das quais a urease é a mais importante (TABATABAI, 1994).

O manejo do mato na citricultura procura minimizar a competição das plantas daninhas. A aplicação de herbicidas na linha de plantio e a roçada mecânica do mato na entrelinha, lançando os resíduos sob a copa, onde os

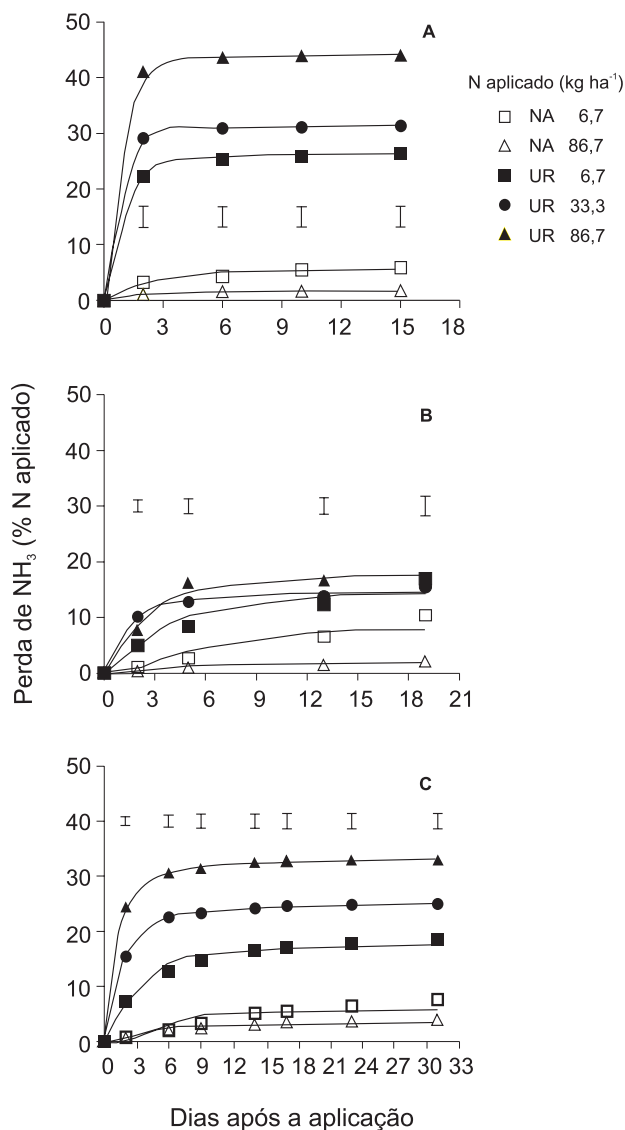


Figura 3. Perda de nitrogênio por volatilização de amônia em pomar de citros com a aplicação de doses de uréia (UR) e nitrato de amônio (NA), em diferentes anos (A = 1996, B = 1997, C = 1999). Legenda: barras verticais indicam a diferença mínima significativa pelo teste de Tukey (Probabilidade < 0,05).

Fonte: CANTARELLA et al. (2003).

fertilizantes são normalmente aplicados, tornaram-se práticas bastante comuns. A incorporação do fertilizante no solo de pomares já instalados é normalmente uma operação difícil e que pode causar sérias injúrias ao sistema radicular dos citros.

Avaliações em pomares comerciais têm mostrado que a perda por volatilização de NH_3 pode variar de 15% a 45% do N aplicado na superfície do solo como uréia, enquanto na forma de nitrato de amônio a perda é insignificante. Essa amplitude na perda por volatilização NH_3 depende de condições climáticas (CANTARELLA et al., 2003; MATTOS JUNIOR et al., 2003b).

O reflexo da perda por volatilização sobre a produção da laranja é mostrado na Figura 4. Tomando-se como base a dose média e 150 kg ha^{-1} de N, a eficiência da uréia foi cerca de 25% menor do que a do nitrato de amônio. Contudo, em condições mais favoráveis à volatilização, como ausência de chuvas e altas temperaturas logo após a aplicação da uréia, essa diferença poderá ser mais expressiva. Parte da perda do N pode ser compensada por preço menor da uréia, que, às vezes, chega a ser cerca de 20% a 30% menor comparado ao nitrato de amônio.

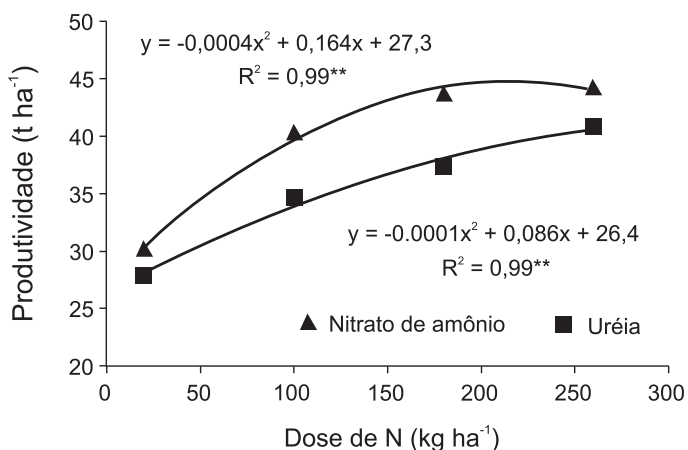


Figura 4. Curvas de resposta de laranja Valência a doses de nitrogênio aplicadas na forma de nitrato de amônio e uréia.

Fonte: CANTARELLA et al. (2003).

O aumento no número de parcelamentos do N reduz a perda do nutriente tanto por lixiviação, por reduzir a concentração de íons-N na solução do solo, como por volatilização. Assim, o uso de doses menores, aplicadas várias vezes, no período de maior demanda de N, pode ser uma alternativa para reduzir a perda do elemento e aumentar sua eficiência de uso pelos citros. Entretanto, o número excessivo de parcelamentos poderá aumentar os custos com a aplicação de fertilizantes, além de provocar deficiência temporária de N pela aplicação de doses pequenas em período de alta demanda.

5. COMENTÁRIOS FINAIS

O N é um elemento essencial para a produção e a sustentabilidade da citricultura. O caráter dinâmico do ciclo do N na agricultura, condicionado pelas transformações bioquímicas e conseqüente impacto sobre as características químicas do solo, como o pH, e pelo transporte do nitrato por lixiviação no perfil do solo ou da amônia por volatilização para a atmosfera, demanda a adoção de estratégias de manejo que otimizem a sua eficiência de uso (EUN). Resultados de pesquisa sugerem que a EUN é geralmente menor que 50% do total aplicado no pomar.

Assim, o ajuste de doses em função do estado nutricional e da produção de frutos, contemplado pelas atuais tabelas de recomendação da adubação dos citros, o emprego adequado de diferentes fontes dos fertilizantes nitrogenados, a escolha do modo de aplicação e do parcelamento das doses, procurando adequar o suprimento do N aos períodos de maior demanda pela planta e de menor probabilidade de perda em épocas de chuvas intensas, devem constar das boas práticas de manejo do citricultor.

As informações disponíveis apontam que o suprimento adequado de S para os citros é atingido com a aplicação de fertilizantes nitrogenado, fosfatado e micronutrientes que contenham esse nutriente, e que, associado ao uso de outros insumos contra pragas e doenças, cuja pressão de controle aumentou significativamente nos últimos anos na citricultura, suprem quantidades bastante superiores a uma demanda de 20-30 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de S. Eventuais mudanças no controle fitossanitário para produtos com pouco ou nenhum S podem requerer, no futuro, a inclusão obrigatória de fertilizantes contendo S no programa de adubação de citros.

6. REFERÊNCIAS

ABREU JUNIOR, C. H.; OLIVEIRA, F. C.; SILVA, F. C.; BERTON, R. S. Uso de resíduos orgânicos no pomar. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC, Fundag, 2005. p. 871-896.

ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S. Nitrogen management for high yield and quality of citrus in sandy soils. **Soil Science Society of America Journal**, v. 62, p. 1335-1342, 1998.

ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S.; OBREZA, T. A.; SCHUMANN, A. W. Nitrogen best management practice for citrus trees: I. Fruit yield, quality, and leaf nutritional status. **Scientia Horticulturae**, v. 107, p. 233-244, 2006a.

ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S.; FARES, A.; OBREZA, T. A.; SCHUMANN, A. W. Nitrogen best management practice for citrus trees. II. Nitrogen fate, transport, and components of N budget. **Scientia Horticulturae**, v. 109, p. 223-233, 2006b.

BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; RÊGO, I. C. Calagem e gessagem na citricultura. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE CITROS: Nutrição e Adubação, 4., 1996, Bebedouro. **Anais...** Campinas: Fundação Cargill, 1996. p. 115-130.

BOARETTO, A. E.; UETA, F. Z.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M. Acúmulo de nutrientes em laranjeira 'Pêra'/'Cravo' em início de produção. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2004. CD-ROM.

BOARETTO, A. E.; SCHIAVINATTO NETO, P.; MURAOKA, T.; TRIVELIN, P. O. C.; BISSANI, C. A. Eficiência da aplicação de ¹⁵N-uréia no solo e nas folhas de laranjeiras jovens. **Laranja**, v. 20, p. 477-502, 1999.

BOARETTO, A. E.; UETA, F. Z.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T.; MATTOS JUNIOR, D. Efficiency of nitrogen fertilization on citrus orchard. **Acta Horticulturae**. (no prelo).

BUSTAN, A.; GOLDSCHMIDT, E. E. Estimating the cost of flowering in a grapefruit tree. **Plant, Cell and Environment**, v. 21, p. 217-224, 1998.

CANTARELLA, H.; MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A. Fruit yield of Valencia sweet orange fertilized with different N sources and the loss of applied N. **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, v. 67, p. 1-9, 2003.

CHAPMAN, H. D. The mineral nutrition of citrus. In: REUTHER, W. et al. (Ed.). **The citrus industry**. Riverside: University of California, 1968. v. 2, p. 127-289.

CRASWELL, A.; GODWIN, D. C. The efficiency of nitrogen fertilizers applied to cereals in different climates. **Advances in Plant Nutrition**, v. 1, p. 1-55, 1984.

DAVIES, F. S.; ALBRIGO, L. O. **Citrus**. Wallingford: Cab International, 1994. 254 p.

DE NEGRI, J. D.; STUCHI, E. S.; BLASCO, E. E. A. Planejamento e implantação do pomar cítrico. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC, Fundag, 2005. p. 409-427.

DELGADO, J. A. Quantifying the loss mechanisms of nitrogen. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, p. 389-398, 2002.

DELGADO, J. A. Potential use of innovative nutrient management alternatives to increase nutrient use efficiency, reduce losses, and protect soil and water quality. **Special Issue of the Journal of Communications in Soil Science and Plant Analysis**. New York: Marcel Dekker Inc., 2001a.

DELGADO, J. A. Use of simulations for evaluation of best management practices on irrigated cropping systems. In: SHAFFER, M. J. et al. (Ed.). **Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management**. Boca Raton: Lewis Publishers, 2001b. p. 355-381.

FEIGENBAUM, S.; BIELORAI, H.; ERNER, Y.; DASBERG, S. The fate of ^{15}N labeled nitrogen applied to mature citrus trees. **Plant and Soil**, v. 97, p. 179-187, 1987.

FENILLI, T. B.; BOARETTO, A. E.; BENDASSOLLI, J. A.; TRIVELIN, P. C. O.; MURAOKA, T. Dinâmica do nitrogênio em laranjeiras jovens cultivadas em solução nutritiva. **Laranja**, v. 25, p. 461-472, 2004.

FENN, L. B.; KISSELL, D. E. Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils: II. Effects of temperature and rate of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ application. **Soil Science Society of America Journal**, v. 38, p. 606-610, 1974.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Citrus fruit fresh and processed: annual statistics. 2005**. Disponível em: <<http://apps.fao.org>>. Acesso em: 17 mar. 2006.

FRENEY, J. R.; DENMEAD, O. T.; WOOD, A. W.; SAFFIGNA, P. G.; CHAPMAN, L. S.; HAM, G. J.; HURNEY, A. P.; STEWART, R. L. Factors controlling ammonia loss from covered sugarcane fields fertilized with urea. **Fertiliser Research**, v. 31, p. 341-349, 1992.

HALLBERG, G. K. Agricultural chemicals in ground water: extent and implications. **American Journal of Alternative Agriculture**, v. 2, p. 3-15, 1987.

HE, Z. L.; ALVA, A. K.; CALVERT, D. V.; BANKS, D. J. Effects of nitrogen fertilization of grapefruit trees on soil acidification and nutrient availability in a Riviera fine sand. **Plant and Soil**, v. 206, p. 11-19, 1998.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Radioactive forcing of climate change. In: BOLIN, B. et al. (Ed.). **The 1994 report to the scientific assessment working group of IPCC. Summary for Policymakers**. Geneva, Switzerland: World Meteorological Organization United Nations Environment Program, 1994.

KATO, T. Nitrogen metabolism and utilization in citrus. **Horticultural Reviews**, v. 8, p. 181-216, 1986.

KATO, T.; KUBOTA, S. Effects of low temperature in autumn on the uptake, assimilation and partitioning of nitrogen in *Citrus* trees. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 51, p. 1-8, 1982a.

KATO, T.; KUBOTA, S. Reduction and assimilation of 145N -nitrate by *Citrus* trees in cold season in comparison with summer. **Journal of the Japanese Society for Horticultural Science**, v. 50, p. 413-420, 1982b.

KHAKURAL, B. R.; ALVA, A. K. Hydrolysis of urea in two sandy soils under citrus production as influenced by rate and depth of placement. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 26, p. 2143-2156, 1995.

KHAKURAL, B. R.; ALVA, A. K. Transformations of urea and ammonium nitrate in an Entisol and Spodosol under citrus production. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 27, p. 3045-3057, 1996.

KOO, R. C. J.; REESE, R. L. A comparison of potash sources and rates for citrus. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, v. 85, p. 1-5, 1972.

LEA-COX, J. D.; SYVERTSEN, J. P.; GRAETZ, D. A. Springtime ¹⁵N-nitrogen uptake, partitioning, and leaching losses from young bearing *Citrus* trees of differing nitrogen status. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 126, p. 242-251, 2001.

LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E. Influence of flowering, summer and autumn flushes on the absorption and distribution of nitrogen compounds in citrus. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 1, p. 224-233, 1984.

LEGAZ, F.; PRIMO-MILLO, E.; YÚFERA, E. P.; GIL, C. Dynamics of ¹⁵N-labelled nitrogen nutrients in 'Valencia' orange trees. **Proceedings of the International Society of Citriculture**, v. 2, p. 575-582, 1981.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; ROSOLEM, C. A.; FAGERIA, N. K.; GUIMARÃES, P. T. G. Sulphur responses of Brazilian crops. **Journal of Plant Nutrition**, v. 10, p. 2153-2158, 1987.

MARTÍNEZ, J. M.; BAÑULS, A.; QUIÑONES, B.; MARTÍN, B.; PRIMO-MILLO, E.; LEGAZ, F. Fate and transformations of ¹⁵N labelled nitrogen applied in spring to *Citrus* trees. **Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, v. 77, p. 361-367, 2002.

MATTOS JUNIOR, D. **Efeitos de fontes e doses de enxofre na cultura do citros em formação**. 1989. 70 p. Trabalho de graduação (Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Unesp, Jaboticabal, 1989.

MATTOS JUNIOR, D.; GRAETZ, D. A.; ALVA, A. K. Biomass distribution and ¹⁵N-nitrogen partitioning in citrus trees on a sandy Entisol. **Soil Science Society of America Journal**, v. 67, p. 555-563, 2003a.

MATTOS JUNIOR, D.; ALVA, A. K.; PARAMASIVAM, S.; GRAETZ, D. Nitrogen mineralization and volatilization in sandy Entisol under citrus trees. **Communication in Soil Science and Plant Analysis**, v. 54, p. 1803-1824, 2003b.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K. Nutrient content of biomass components of Hamlin sweet orange trees. **Scientia Agricola**, v. 60, p. 155-160, 2003c.

MENINO, M. R. R. S. B. G. V. **Eficiência da utilização do azoto em jovens laranjeiras ‘Lane Late’ enxertadas em citranjeira ‘Carrizo’ na campina de Faro**. 2005. 278 p. Dissertação (Doutorado) – Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa, 2005.

NATALE, W.; MARCHAL, J. Absorção e redistribuição de nitrogênio (^{15}N) em *Citrus mitis* Bl. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, p.183-188, 2002.

QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Resposta da laranjeira ‘Valência’ à aplicação de calcário e gesso. **Laranja**, v. 19, p. 383-398, 1998.

QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H. Manejo da fertilidade do solo na citricultura. In: MATTOS JUNIOR, D. et al. (Ed.). **Citros**. Campinas: IAC, Fundag, 2005. p. 482-507.

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

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. **Recomendações de adubação e calagem no Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 300 p. (Boletim 100).

SHAFFER, M. J.; DELGADO, J. A. Essentials of a National nitrate leaching index assessment tool. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 57, p. 327-335, 2002.

SPIEGEL-ROY, P.; GOLDSCHMIDT, E. E. **Biology of citrus**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. 230 p.

SYVERTSEN, J. P.; SMITH, M. L. Light acclimation in *Citrus* leaves. I. Changes in physical characteristics, chlorophyll, and nitrogen content. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, v. 109, p. 807-812, 1984.

TABATABAI, M. A. Soil enzymes. In: WEAVER, R. W. (Ed.). **Methods of soil analysis**. Part 2 - Microbiological and biochemical properties. 3 ed. Madison, WI: ASA, 1994. p. 775-833.

TURREL, F. M. A study of the physiological effects of elemental sulphur dust on citrus fruits. **Plant Physiology**, v. 24, p. 13-62, 1949.

WALLACE, R. R.; GARDNER, F. E. Seasonal absorption of nutrient ions by orange trees in sand culture. **Proceedings of the American Society for Horticultural Science**, v. 47, p. 107-118, 1946.

