

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO DE ALFACE-CRESPA, ACÚMULO DE NITRATO
NA PLANTA E LIXIVIAÇÃO DO ÍON NO SOLO EM FUNÇÃO
DE ADUBAÇÃO NITROGENADA.**

Thiago de Barros Sylvestre
Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2010

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**PRODUÇÃO DE ALFACE-CRESPA, ACÚMULO DE NITRATO
NA PLANTA E LIXIVIAÇÃO DO ÍON NO SOLO EM FUNÇÃO
DE ADUBAÇÃO NITROGENADA.**

Thiago de Barros Sylvestre

**Orientadora: Profa. Dra. Mara Cristina Pessôa da Cruz
Co-orientador: Prof. Dr. José Ricardo Mantovani**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL
Fevereiro de 2010

S985p Sylvestre, Thiago de Barros
Produção de alface crespa, acúmulo de nitrato na planta e
lixiviação do íon no solo em função de adubação nitrogenada / Thiago
de Barros Sylvestre. -- Jaboticabal, 2010
x, 41 f. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2010

Orientadora: Mara Cristina Pessôa da Cruz

Co-orientador: José Ricardo Mantovani

Banca examinadora: Manoel Evaristo Ferreira, Francisco
Maximino Fernandes

Bibliografia

1. *Lactuca sativa*-adubação-cobertura. 2. Alface crespa-
nitrogênio. 3. Alface crespa-produção I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 635.52

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço
Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

THIAGO DE BARROS SYLVESTRE – nascido em 7 de maio de 1986, na cidade de Taquaritinga – SP, graduou-se em Engenharia Agrônômica pelo Instituto Taquaritinguense de Ensino Superior, em dezembro de 2007. Em março de 2008 iniciou o curso de Mestrado no Programa de Pós-graduação em Agronomia (Ciência do Solo), na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV), Unesp, Campus de Jaboticabal – SP. Durante o mestrado foi bolsista da FAPESP e participou do XXXII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, Fortaleza (CE), 2009, no qual publicou dois resumos expandidos, “Adubação nitrogenada para alface crespa cv. Vanda” e “Resposta da *Brachiaria brizantha* à aplicação de soro ácido de leite”, o segundo como co-autor.

*Eu poderia suportar, embora não sem dor,
que tivessem morrido todos os meus amores,
mas enlouqueceria se morressem todos os meus amigos!*

Vinicius de Moraes

À Profa. Mara, não somente pela orientação,
mas sim, pela amizade, pelos conselhos,
exemplo de dedicação e conduta,
pelo aprendizado e por acreditar em meu potencial.
Muito Obrigado!

OFEREÇO

Aos meus pais, Nelson e Paula, e irmão, Matheus,
por serem as pessoas mais importantes da minha vida
e por estarem ao meu lado em todos os momentos.

Se cheguei até aqui, muito se deve a vocês
e isso eu jamais esquecerei!

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre ao meu lado, guiando meu caminho.

À Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pela oportunidade concedida.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de estudos concedida e pelo auxílio financeiro (reserva técnica) que possibilitaram a realização deste trabalho.

À toda minha família por sempre me incentivar e nunca me deixar desistir dos meus objetivos.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. José Ricardo Mantovani, pela amizade, pelos conselhos, pelo aprendizado.

Ao Prof. Dr. Manoel Evaristo Ferreira, pelo exemplo de profissionalismo, pela amizade.

Aos meus amigos, Sr. Rubens Pessôa da Cruz e Sra. Amélia Mazza Pessôa da Cruz, pela concessão das áreas experimentais, mas principalmente pelo forte laço de amizade que criamos, os meus sinceros agradecimentos!

Aos meus grandes amigos Felipe Batistella Filho e Fernando Kuhnen, pelos trabalhos em equipe, pelo auxílio na condução dos experimentos, pela amizade construída ao longo do tempo. Que esta, nunca se acabe. Muito obrigado, mesmo!

Ao Prof. Dr. Roque Takahashi, pelo incentivo para realizar a pós-graduação.

À Selma Guimarães Figueiredo, pela amizade e auxílio nas análises de laboratório.

Aos colegas do Laboratório de Fertilidade do Solo: Leonardo Mella de Godoi, Rita de Cássia Melo Guimarães, Carlos Alberto Kenji Taniguchi, Juan Gabriel, Thiago Martins dos Santos e Ana Flávia Gouveia de Faria, pela amizade e apoio na realização desse trabalho.

Aos amigos de república: Paulo Roberto Pala Martinelli e Rafael Gonçalves Peluco, pela amizade e convivência.

Aos amigos: Lays Emmanuelle, Getúlio de Freitas Seben, Lígia e Eduardo, pelos momentos de diversão e lazer.

A todos que de alguma maneira contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	ix
SUMMARY	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
3. MATERIAL E MÉTODOS	10
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	17
5. CONCLUSÕES	32
6. REFERÊNCIAS	33

PRODUÇÃO DE ALFACE-CRESPA, ACÚMULO DE NITRATO NA PLANTA E LIXIVIAÇÃO DO ÍON NO SOLO EM FUNÇÃO DE ADUBAÇÃO NITROGENADA

RESUMO – Conduziram-se dois experimentos em Latossolo Vermelho visando a avaliar o efeito da adubação nitrogenada em cobertura, na produção, no acúmulo de nitrato da parte aérea de alface-crespa, cv. Vanda, e na mobilidade do íon no solo, em duas épocas do ano (verão-outono e inverno). Nos dois experimentos, foi empregado delineamento experimental em blocos ao acaso, com sete tratamentos (doses de nitrogênio em cobertura) e cinco repetições. As doses foram 0; 30; 60; 90; 120; 150 e 180 kg ha⁻¹ de N (ureia), parceladas em três aplicações, aos oito (20% da dose), 16 (40% da dose) e 24 (40% da dose) dias após o transplântio. A colheita foi feita aos 34 e aos 42 dias após o transplântio, nos experimentos de verão-outono e inverno, respectivamente. Na matéria seca, foram determinados N orgânico + N-NH₄⁺ (NOA) e N-NO₃⁻. Após a colheita, foi feita amostragem de solo, parcela por parcela, nas profundidades de 0 a 20; 20 a 40 e 40 a 60 cm para avaliação de N-mineral (N-NH₄⁺ e N-NO₃⁻). O melhor aproveitamento do adubo nitrogenado aplicado em cobertura no cultivo da alface-crespa é obtido com até 60 kg ha⁻¹ de N, e a melhor combinação de produtividade e qualidade é também obtida com esta dose. Doses de até 180 kg ha⁻¹ de N não resultam em concentrações de NO₃⁻ em alface crespa, cv. Vanda, acima do limite tolerável para consumo, mas aumentam a quantidade de N-NO₃⁻ perdida por lixiviação, avaliada até 60 cm de profundidade.

Palavras-chave: *Lactuca sativa*, adubação em cobertura, nitrogênio.

LETTUCE YIELD, NITRATE ACCUMULATION IN PLANTS AND THE ION LEACHING IN SOIL AS A FUNCTION OF NITROGEN FERTILIZATION

SUMMARY – Two experiments were carried out in an Oxisol to evaluate the effect of nitrogen topdressing in the yield, nitrate accumulation in the shoots of lettuce, cv. Vanda, and nitrate leaching in soil, in two seasons (summer-autumn and winter). In both experiments it was used a randomized block design with seven treatments (nitrogen topdressing rates) and five replicates. Nitrogen rates were 0, 30, 60, 90, 120, 150 and 180 kg ha⁻¹ N (urea), applied at eight (20%), 16 (40%) and 24 (40%) days after transplanting. Plants were harvested at 34 and 42 days after transplanting, in summer-autumn and winter, respectively. Organic-N+NH₄⁺-N and NO₃⁻-N concentrations were determined in dry matter. After the harvest soil samples were collected at 0-20, 20-40 and 40-60 cm depth for NH₄⁺-N and NO₃⁻-N determinations. Better use of nitrogen topdressing for lettuce growth is obtained with 60 kg ha⁻¹ N and the best combination for productivity and quality is also achieved with this rate. Nitrogen rates up to 180 kg ha⁻¹ N do not result in NO₃⁻ concentrations in lettuce, cv. Vanda, above the recommended levels for consumption, but increase the amount of NO₃⁻-N lost by leaching up to 60 cm depth.

Keywords: *Lactuca sativa*, topdressing, nitrogen.

1 INTRODUÇÃO

A alface tem grande importância na alimentação e na saúde humana, destacando-se, principalmente, como fonte de vitaminas e sais minerais, além de apresentar propriedades tranquilizantes. É a hortaliça mais popular, tanto pelo sabor e qualidade nutritiva, quanto pela facilidade de aquisição, devido ao baixo custo, e de produção, uma vez que pode ser cultivada durante o ano todo.

A alface normalmente é produzida em cinturões verdes próximos aos grandes centros consumidores, dada a alta perecibilidade do produto no período de pós-colheita, a qual está associada ao alto teor de água e à grande área foliar. Nos locais de produção, são exigidas, além da qualidade, quantidade e, principalmente, regularidade de oferta do produto para atender ao mercado consumidor durante o ano todo.

O nitrogênio é o nutriente requerido em maiores quantidades pelas plantas, e sua deficiência limita rapidamente o desenvolvimento vegetal. O manejo correto da adubação nitrogenada é, portanto, muito importante para a obtenção de altas produções. No entanto, alta disponibilidade de nitrogênio pode provocar acúmulo de nitrato nas plantas, que não é prejudicial para elas, mas pode ser para humanos, em especial para bebês.

Dentre os vegetais, as hortaliças são a principal fonte de nitrato na alimentação humana, sendo que as hortaliças folhosas, como a alface e o espinafre, apresentam alta capacidade de acúmulo do íon. Além de espécie e cultivar, fatores edafoclimáticos também interferem no teor de nitrato nas plantas.

O manejo da adubação nitrogenada é complexo, e as quantidades recomendadas para hortaliças folhosas são muito grandes, repetidas em intervalos curtos, em áreas com irrigação abundante. A combinação destas variáveis pode

resultar em ganho de produtividade, mas a um custo ambiental alto, representado pela possibilidade de lixiviação e contaminação de águas superficiais e subterrâneas.

As perdas de nitrogênio por lixiviação ocorrem principalmente na forma de nitrato, que ao ser levado pela água da chuva através do perfil do solo atinge as águas subterrâneas e, por fim, rios e lagos. A contaminação dos mananciais de água com nitrato gera um processo acelerado de eutrofização, que reduz o oxigênio das águas, matando peixes e outros componentes da fauna aquática.

O uso de quantidade correta de adubo nitrogenado para qualquer cultura, mas particularmente para alface é, então, de grande importância, tanto para a produção com qualidade, como para a saúde humana e o meio ambiente. Neste sentido, objetivou-se, com o presente trabalho, avaliar o efeito da adubação nitrogenada em cobertura, na produção, no acúmulo de nitrato da parte aérea de alface-crespa, cv. Vanda, e na mobilidade do íon no solo, em duas épocas do ano.

2 REVISÃO DE LITERATURA

A alface é uma hortaliça de ciclo curto, com grande área foliar e sistema radicular pouco profundo, que se desenvolve melhor em solos arenoargilosos, ricos em matéria orgânica e com boa quantidade de nutrientes prontamente disponíveis (VIDIGAL et al., 1995; FILGUEIRA, 2003). Está entre as hortaliças folhosas mais consumidas no Brasil, particularmente nas regiões Sul e Sudeste, ocupando parcela importante do mercado brasileiro (LOPES et al., 2005).

A alface apresenta alta resposta à adubação nitrogenada, que inclui tanto aumento da produção e do tamanho das plantas, quanto melhora do aspecto visual (KATAYAMA, 1993; OSHE, 2000; SANTOS et al., 2001). Por isso, a aplicação de grandes quantidades de adubos nitrogenados para produção de alface é frequente, mas pode resultar em excesso de N e acúmulo de nitrato (N-NO_3^-) nas folhas e em lixiviação de nitrato no solo (GREENWOOD & HUNT, 1986; FONTES et al., 1997).

No Estado de São Paulo, a recomendação de adubação nitrogenada para a cultura da alface, em ambiente aberto, é de 100 a 130 kg ha^{-1} de N, sendo 40 kg ha^{-1} no transplântio das mudas e o restante em cobertura, em três aplicações, aos 10; 20 e 30 dias após o transplântio (TRANI et al., 1997). Anteriormente ao plantio, é recomendada a aplicação de 60 a 80 t ha^{-1} de esterco bovino (TRANI et al., 1997), que também é fonte de nitrogênio. Admitindo concentração média de N no esterco bovino de 23 g kg^{-1} (RAIJ et al., 1997), em base seca, e considerando o intervalo de doses recomendadas, a contribuição desta fonte pode chegar a valores entre 1.380 e 1.840 kg ha^{-1} de N. Nos estercos, o nitrogênio predomina na forma orgânica e terá de passar por processos de decomposição microbiana para ser convertido em formas minerais e, assim, tornar-se disponível para as plantas. Ou seja, apesar de as quantidades serem muito grandes, a

liberação é relativamente lenta, mas pode ser acelerada pela associação com o adubo mineral e pelo estreitamento da relação C/N.

A resposta das plantas de alface à adubação nitrogenada depende das cultivares, das condições de solo e de clima. Para alface lisa, THOMPSON & DOERGE (1996) verificaram produtividade máxima quando utilizaram 165 kg ha^{-1} de N. Por outro lado, McPHARLIN et al. (1995), em experimento realizado na Austrália empregando de 0 a 550 kg ha^{-1} de N, verificaram que a máxima produção de massa fresca da parte aérea de alface-lisa foi obtida com 288 e 344 kg ha^{-1} de N, no primeiro e no segundo anos, com produções de 93 e 100 t ha^{-1} , respectivamente. TEI et al. (2000), na Itália, utilizando 0; 50; 100 e 200 kg ha^{-1} de N, no verão, verificaram que a máxima produção comercial, 105 t ha^{-1} para alface cvs. Audran e Canasta, foi obtida com 155 kg ha^{-1} de N.

RESENDE et al. (2005) avaliaram a resposta de alface-americana cv. Raider, em Latossolo Vermelho distroférico de textura argilosa, na primavera-verão, a doses de N em cobertura (0; 60; 120 e 180 kg ha^{-1} de N) adicionais a 60 kg ha^{-1} de N no plantio, e concluíram que 149 kg ha^{-1} de N propiciaram o máximo rendimento de matéria fresca comercial, ou seja, 450 g/planta.

AQUINO et al. (2007) relataram, para alface 'Verônica', exportação de N equivalente a $57,9 \text{ kg ha}^{-1}$ para uma produção de 1.640 kg ha^{-1} de matéria seca da parte aérea, o que representa 39% do N mineral aplicado (150 kg ha^{-1} de N), e sugere a possibilidade de ocorrerem perdas indesejáveis, dos pontos de vista econômico e ambiental, em médio e longo prazos, principalmente por lixiviação.

Lixiviação é a translocação de sais solúveis que se dá por meio de fluxo descendente de água no perfil do solo (KIEHL, 1987). No caso do nitrogênio, a lixiviação é importante porque pode diminuir sensivelmente a quantidade de nitrato da camada arável e, conseqüentemente, reduzir a disponibilidade do nutriente. Ainda, quando excessiva, a lixiviação constitui um perigo potencial de contaminação de águas subterrâneas por nitrato.

O íon NO_3^- é fortemente repellido pelas cargas negativas dos coloides do solo, permanecendo na solução, e por isso pode ser lixiviado com facilidade, resultando em perda de nitrogênio e em possível contaminação do lençol freático e de cursos d'água

(DYNIA & CAMARGO, 1999). Dentre os fatores que influenciam na lixiviação de NO_3^- , estão a quantidade e o tipo do adubo nitrogenado aplicado, a textura do solo, a quantidade de água de chuvas e irrigação, e a profundidade do sistema radicular da planta cultivada. O sistema radicular da alface concentra-se nos primeiros centímetros do solo, e JACKSON et al. (1994) determinaram que 93% da massa total de raízes estavam concentradas na profundidade de 0 a 15 cm. A concentração das raízes nesta camada, associada às doses de N elevadas, ao ciclo curto e ao uso de irrigação fazem admitir que as perdas de N por lixiviação em áreas cultivadas com alface podem ser grandes. Nos cinturões verdes do Estado de São Paulo, os problemas com a lixiviação de NO_3^- são agravados pelo cultivo de hortaliças durante o ano todo, com sistema de irrigação suplementar intensa, e pela localização das culturas em áreas de baixada, próximas a cursos d'água e com lençol freático pouco profundo (OLIVEIRA et al., 2001a).

Para prevenir e minimizar a poluição de águas subterrâneas com nitrato, é necessário controlar as taxas de nitrogênio aplicadas anualmente ao solo, além de compreender os fatores que interferem na mobilidade do ânion no solo. As formas nítricas já presentes nos fertilizantes, ou produzidas por nitrificação do amônio ou de formas orgânicas, são rapidamente solubilizadas e permanecem na solução do solo. Esta alta solubilidade e a fraca interação com a matriz do solo possibilitam que o ânion acompanhe a frente de umedecimento da água no solo; assim, o nitrato tanto pode movimentar para baixo, sob condições de precipitação excessiva ou irrigação, quanto para cima, por capilaridade, durante estações extremamente secas (MUCHOVEJ & RECHCIGL, 1994). Em solos em que predominam cargas positivas na superfície dos colóides, e que, portanto, apresentam capacidade de troca aniônica, o nitrato pode ser adsorvido. A textura do solo e o conteúdo de matéria orgânica têm maior influência nas perdas por lixiviação. Solos de textura mais grosseira e de baixo conteúdo de matéria orgânica tendem a permitir maiores perdas de nitrato por lixiviação, enquanto as menores perdas devem ocorrer em solos argilosos (MUCHOVEJ & RECHCIGL, 1994).

Segundo KIRCHMANN & BERGSTRÖM (2001), a diminuição da lixiviação de nitrato não é uma questão da agricultura orgânica ou convencional, mas sim de introdução e utilização de medidas que não favoreçam este processo, tais como: uso de

culturas intercalares e cultivo mínimo. O mais importante para os autores é, no entanto, manter a quantidade de N aplicada em um nível que garanta a sustentabilidade de longo prazo do sistema de cultivo, o que implica redução da entrada de N em níveis um pouco abaixo do que seria necessário para a produção máxima.

De acordo com PEDREÑO et al. (1996), a redução da fertilização mineral diminuiu a lixiviação de nitrato no cultivo de plantas hortícolas, como alcachofra, repolho e batata. Houve, particularmente, diminuição acentuada de nitrato nas amostras de solo coletadas após o segundo cultivo. Como a produção foi apenas ligeiramente diminuída, a proposta de reduzir fertilizantes minerais está em conformidade com as boas práticas agrícolas e de proteção do meio ambiente.

OLIVEIRA et al. (2001b) avaliaram os teores de N-NO_3^- na solução de um Latossolo Amarelo cultivado com cana-de-açúcar, após a aplicação de três doses de lodo de esgoto parceladas em duas vezes (no plantio e na primeira soqueira), totalizando 1.647, 3.295 e 4.920 kg ha^{-1} de N. Num período de monitoramento que se estendeu por 396 dias após a aplicação da segunda dose do lodo, os autores verificaram, na solução do solo a 0,9 m de profundidade, teores de N-NO_3^- de 48,1 mg L^{-1} , na menor dose de lodo, e 124,5 mg L^{-1} , na maior dose. Constataram, também, que as concentrações de N-NO_3^- tenderam a diminuir com o passar do tempo, indicando a ocorrência de lixiviação do ânion para profundidades superiores a 0,9 m.

PRIMAVESI et al. (2006) relataram que doses de até 500 kg ha^{-1} de nitrogênio, parceladas em cinco vezes, na forma de ureia ou de nitrato de amônio, num Latossolo Vermelho distrófico típico, com 300 g kg^{-1} de argila, no período das chuvas, em pastagem de capim-coastcross, não proporcionam perdas significativas de nitrato para o lençol freático. Neste caso, as maiores variações nos teores de nitrato nas amostras de solo ocorreram na camada de 0 a 40 cm e estabilizaram-se em torno de 100 cm de profundidade.

A contaminação das águas subterrâneas com nitrato é preocupante, pois elas são a principal fonte de água potável em muitos municípios brasileiros (ALABURDA & NISHIHARA, 1998). Para alguns autores, como MUCHOVEJ & RECHCIGL (1995), águas com concentração de N-NO_3^- acima de 3 mg L^{-1} são consideradas impróprias para consumo humano. Entretanto, a Organização Mundial de Saúde (OMS)

estabeleceu, para água potável, concentração máxima aceitável de N-NO_3^- de 10 mg L^{-1} , mesmo valor admitido pelas legislações americana e brasileira (ALABURDA & NISHIHARA, 1998).

Nas plantas, o NO_3^- , principal forma de N absorvida, é transportado para as folhas via xilema, nas quais é reduzido a amônia (NH_3) no processo denominado redução assimilatória do NO_3^- , o qual é constituído por duas etapas. A primeira, no citoplasma das células, é catalisada pela enzima nitrato redutase e compreende a redução do N-NO_3^- a nitrito (N-NO_2^-). A segunda ocorre nos cloroplastos e é mediada pela nitrito redutase, havendo a redução do N-NO_2^- a N-NH_3 , a qual é incorporada em compostos orgânicos, originando os aminoácidos glutamato e glutamina, que, por sua vez, servem de substrato para a produção de todos os outros aminoácidos necessários para a síntese de proteínas (BREDEMEIER & MUNDSTOCK, 2000).

O acúmulo de N-NO_3^- em plantas resulta da diferença entre as quantidades absorvida e reduzida, de tal maneira que vegetais com sistema de absorção eficiente ou sistema de redução assimilatória ineficiente, devido à menor capacidade fotossintética, tendem a acumular mais N-NO_3^- do que outros. As hortaliças folhosas, como a alface, apresentam maior capacidade de acumular N-NO_3^- do que as que desenvolvem órgãos de armazenamento ou frutos (MAYNARD et al., 1976; BLOM-ZANDSTRA & EENINK, 1986).

Dentre os alimentos, os vegetais são as principais fontes de N-NO_3^- , contribuindo com cerca de 50% do total ingerido pelo homem (SCHRÖDER & BERO, 2001). O N-NO_3^- ingerido pelo homem, por meio dos alimentos, sofre ação microbiana na saliva e é reduzido a N-NO_2^- , o qual, por sua vez, reage com aminas e forma compostos N-nitrosos, como as nitrosaminas, os quais são carcinogênicos. Em crianças, o N-NO_2^- pode provocar a meta-hemoglobinemia, processo que leva ao impedimento do transporte de oxigênio dos alvéolos pulmonares para os tecidos, o que pode acarretar morte (SWANN, 1975; GREENWOOD & HUNT, 1986). Por outro lado, nas próprias hortaliças, e também em frutas, podem ser encontradas substâncias denominadas de fitoquímicos, como a alicina, o licopeno, a vitamina C e os carotenoides, que têm função antioxidante e, em condições normais, são capazes de inibir a formação de compostos

potencialmente carcinogênicos, como as nitrosaminas e os radicais livres (MONDIN, 1996; PRETTI, 2000).

Altas doses de fertilizantes nitrogenados favorecem o acúmulo de nitrato nas folhas das plantas, sendo que o excesso pode transformar-se através de reações bioquímicas em substâncias carcinogênicas, prejudiciais à saúde humana (MENGEL & KIRKBY, 1987). Além da adubação nitrogenada e do caráter genético, a disponibilidade de Mo, o sistema de cultivo, a intensidade de luz, a temperatura e a umidade do solo também podem afetar o acúmulo de nitrato nas plantas (MAYNARD et al., 1976; MONDIN, 1996). Diferenças entre cultivares de alface foram relatadas por MANTOVANI et al. (2005a): para as variedades de alface-crespa, Vera e Verônica, foram obtidos 539 e 529 mg/planta de NO_3^- na matéria seca da parte aérea, respectivamente, e para alface-americana (Lucy Brown e Tainá) e lisa (Elisa), 620; 655 e 451 mg/planta, respectivamente, com aplicação de 240 kg ha^{-1} de N.

Dos fatores ambientais, a intensidade luminosa é o que mais afeta a assimilação do NO_3^- pelas plantas. Em condições de baixa intensidade luminosa, a atividade da nitrato redutase diminui, ocorrendo acúmulo de N-NO_3^- (MAYNARD et al., 1976; RICHARDSON & HARDGRAVE, 1992). Dessa maneira, a concentração do íon na planta varia em função do horário de colheita, da época do ano e das condições climáticas (dias nublados ou ensolarados). De acordo com MENGEL & KIRKBY (1987), em baixa intensidade luminosa, a fotossíntese diminui, afetando a produção de ferredoxina que atua como agente redutor na redução assimilatória do N-NO_3^- , e com isso ocorre acúmulo do íon nos vacúolos. KROHN et al. (2003), ao efetuarem colheitas de alface em quatro horários diferentes, verificaram que as plantas colhidas à 0h e às 6h apresentaram teor de N-NO_3^- , em média, 40% maior do que as colhidas às 12h e às 18h.

Desta forma, a dose de N recomendada para a alface deve aliar a máxima produtividade ao menor acúmulo de N-NO_3^- nas folhas (McCALL & WILLUMSEN, 1998). De acordo com MANTOVANI et al. (2005a), em condições em que não há perdas por lixiviação, doses de N maiores do que 60 kg ha^{-1} não refletem em ganho de produção de alface e favorecem acúmulo de N-NO_3^- nas folhas.

TRANI et al. (1994) avaliaram doses de nitrogênio (0; 60; 120; 180 e 240 kg ha⁻¹ de N) para produção de rúcula (*Eruca vesicaria sativa*), em condições de campo, e verificaram teores de N-NO₃⁻ na parte aérea prejudiciais à saúde humana, com doses de N de 180 e 240 kg ha⁻¹. De acordo com os autores, a dose 120 kg ha⁻¹ de N resultou em 90% da produção máxima de matéria fresca de folhas e em teor de N-NO₃⁻ na matéria seca correspondente a 73% do valor considerado danoso à saúde.

A preocupação com características de qualidade dos alimentos, entre as quais a concentração de NO₃⁻ nos vegetais, levou a Comunidade Europeia a estabelecer, de acordo com a norma nº. 563/2002, os limites máximos permitidos para alface produzida em ambiente protegido e no campo, respectivamente, em 3,5 e 2,5 g kg⁻¹ de matéria fresca (SANTAMARIA, 2006). No Brasil, não existe legislação específica que regulamente os teores máximos permitidos de NO₃⁻, e, de modo geral, os limites estabelecidos pela Comunidade Europeia são tomados como referência.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos em condições de campo, em áreas adjacentes, nos períodos de fevereiro a abril de 2009 (verão-outono, experimento 1) e junho a julho de 2009 (inverno, experimento 2), no município de Jaboticabal-SP, localizado a 21°15'12" sul e 48°18'58" oeste, em altitude aproximada de 595 m.

Cerca de 30 dias antes da instalação de cada experimento, foi feita amostragem de solo na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Na amostra coletada antes do experimento 1, foram feitas determinações de atributos químicos e granulométricos e, na amostragem anterior ao segundo experimento, apenas de atributos químicos. Na Tabela 1, estão os resultados dos atributos químicos das duas áreas, determinados de acordo com os métodos descritos em RAIJ et al. (2001). O método empregado na análise granulométrica está descrito em CAMARGO et al. (1986), e os resultados foram: 340 g kg⁻¹ de areia, 20 g kg⁻¹ de silte e 640 g kg⁻¹ de argila. O solo do local é um Latossolo Vermelho.

Tabela 1. Atributos químicos do solo em que foram instalados os experimentos.

Experimento	P resina mg dm ⁻³	MO g dm ⁻³	pH CaCl ₂	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	CTC	V
				----- mmol _c dm ⁻³ -----					%
1. Verão-outono	167	24	6,0	2,6	52	19	15	89	83
2. Inverno	200	22	6,4	1,6	51	12	16	81	80

Nos dois experimentos, empregou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com sete tratamentos (doses de N em cobertura) e cinco repetições, totalizando 35 parcelas.

Os procedimentos de instalação e condução dos experimentos foram os mesmos. O preparo do solo da área foi feito por meio de aração e gradagem, e a seguir foram preparados cinco canteiros, espaçados 0,5 m entre si e com 1,20 m de largura, 17,5 m de comprimento e 0,20 m de altura. Com base no V% inicial do solo (Tabela 1), a calagem foi dispensada. Na área total dos canteiros, dez dias antes do transplante das mudas, foram distribuídas e incorporadas 10 t ha⁻¹ (base seca) de esterco bovino curtido, com as seguintes características: N total, 8,7 g kg⁻¹; MO, 393 g kg⁻¹; C orgânico, 118 g kg⁻¹; C/N, 14; matéria mineral insolúvel, 551 g kg⁻¹. O método empregado na determinação de N está descrito em TEDESCO et al. (1985), a determinação de C foi feita de acordo com BRASIL (2007) e para os demais atributos, foram adotados os procedimentos descritos em KIEHL (1985). Na adubação de plantio, foram aplicados, em área total, 40 kg ha⁻¹ de N, 100 kg ha⁻¹ de K₂O e 1 kg ha⁻¹ de B, utilizando ureia, cloreto de potássio e bórax, respectivamente. A adubação fosfatada não foi feita devido ao teor muito alto de P no solo (Tabela 1), de acordo com RAIJ et al. (1997).

As mudas de alface-crespa, cultivar Vanda, foram preparadas em bandejas de isopor de 200 células, empregando substrato comercial (Plantmax Hortaliças®). O transplante das mudas foi feito nos dias 28 de fevereiro e 6 de junho de 2009 para os experimentos 1 e 2, respectivamente.

Cada parcela possuía 2,5 m de comprimento e 1,2 m de largura, portanto área total de 3,0 m², e continha quatro linhas de plantas, com espaçamento de 0,30 m nas entrelinhas e 0,25 m entre plantas. A área útil de cada parcela foi formada pelas duas linhas centrais, desprezando-se duas plantas iniciais e finais de cada linha. A precipitação pluvial total no experimento 1 (verão-outono) foi de 170 mm, e no experimento 2 (inverno) foi de 78 mm (Figura 1). A complementação com irrigação foi feita quando necessário, aplicando uma lâmina de água de 3 a 4 mm, por meio de microaspersores com vazão de 28 L h⁻¹. A temperatura média durante o crescimento das plantas no verão-outono foi de 23°C, e no inverno, de 19°C.

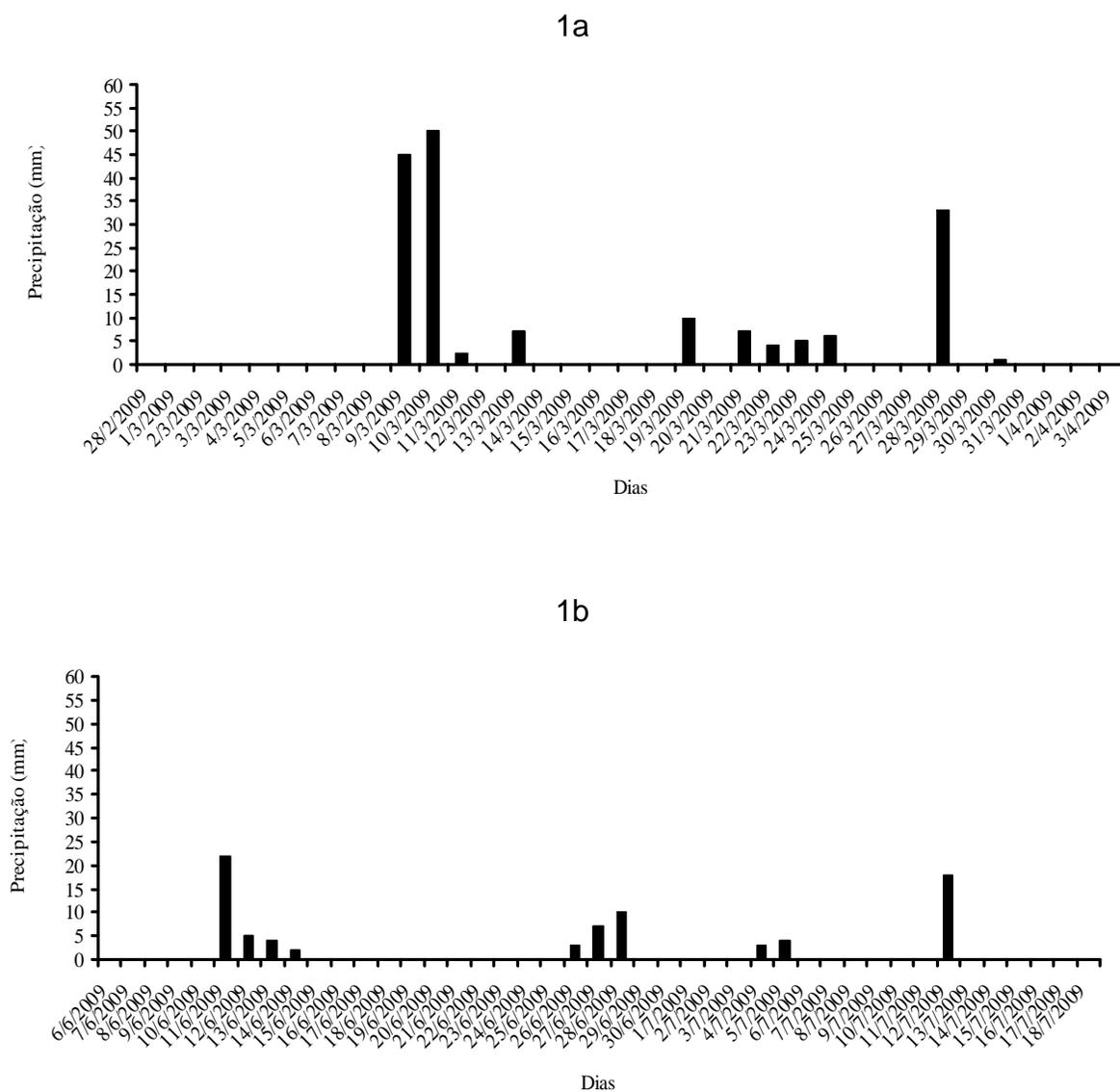


Figura 1. Precipitação pluvial nos experimentos de verão-outono (1a) e inverno (1b).

Foram aplicados, em cobertura, 0; 30; 60; 90; 120; 150 e 180 kg ha⁻¹ de N, parcelados em três aplicações, aos 8; 16 e 24 dias após o transplântio. Em cada adubação em cobertura, foram aplicados, respectivamente, 20%, 40% e 40% das doses de N, e o adubo utilizado foi a ureia. A cultura recebeu todos os tratamentos culturais necessários (capinas e pulverizações com inseticida para controle de mosca-branca).

A colheita da parte aérea das plantas cultivadas no verão-outono foi realizada 34 dias após o transplântio das mudas, em 3 de abril, e as plantas cultivadas no inverno

foram colhidas aos 42 dias após o transplântio das mudas, em 18 de julho de 2009. Um dia antes da colheita, foi feita a medida do diâmetro das plantas da área útil.

Na colheita, as plantas da área útil foram cortadas rente à superfície do solo e pesadas para a obtenção da produção de matéria fresca. De cada parcela, três plantas foram coletadas ao acaso para a determinação da matéria seca e das concentrações de N orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) e de N-NO₃⁻. A colheita foi feita entre 6h e 7h, pois, de acordo com MAYNARD et al. (1976), a intensidade luminosa e a temperatura influenciam no acúmulo de nitrato em plantas.

As subamostras formadas por três plantas de cada parcela foram rapidamente colocadas em sacos de plástico e mantidas em geladeira a 4°C, até serem lavadas, conforme recomendação de CARMO et al. (2000). Em seguida, as plantas foram secas em estufa com circulação forçada de ar, com temperatura em torno de 65°C, até atingirem peso constante, e moídas em moinho do tipo Willey. Após homogeneização, foram retirados cerca de 2 g de matéria seca, os quais foram triturados em almofariz para passar em peneira de 0,355 mm de abertura de malha. O material, finamente moído, foi empregado nas determinações de NOA e de N-NO₃⁻.

A determinação de NOA foi feita por digestão sulfúrica, seguida de destilação dos extratos em microdestilador Kjeldahl e titulação do destilado (CARMO et al., 2000). O procedimento compreendeu transferência de 0,1000 g de matéria seca da parte aérea das plantas de alface para tubos de digestão, adição de 1 mL de H₂O₂ 300 mL L⁻¹ e 7 mL de mistura digestora (H₂SO₄ concentrado p.a., água deionizada, CuSO₄.5H₂O, SeO₂ e Na₂SO₄), digestão a frio por uma noite, seguida de digestão em bloco digestor, iniciando a 100°C por trinta minutos e aumentando 50°C a cada 30 minutos até 300°C e, depois, 330°C. Após o clareamento das amostras, elas foram retiradas do bloco para esfriar. O material contido no tubo foi transferido para o destilador Kjeldahl, com o auxílio de 20 mL de água deionizada, e alcalinizado com 15 mL de solução de NaOH 18 mol L⁻¹. Nesta etapa, o N-NH₄⁺ produzido na digestão foi convertido a N-NH₃, a qual é levada ao condensador, arrastada por vapor de água e recolhida em solução de H₃BO₃ 20 g L⁻¹ + indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). A quantificação do nitrogênio da amostra foi feita por titulação com solução de H₂SO₄ 0,02 mol L⁻¹, previamente padronizada.

A extração do íon NO_3^- foi feita com água desionizada, seguida de destilação dos extratos em microdestilador Kjeldahl e titulação do destilado, conforme procedimento descrito em MANTOVANI et al. (2005b). Na extração, 0,2 g de matéria seca foram transferidos para copos de plástico. Em seguida, foram adicionados 20 mL de água desionizada, e as suspensões foram submetidas a aquecimento em banho-maria a 60°C , por 1 h. Neste tempo, as amostras foram submetidas a períodos de agitação de 5 min, seguidos de 15 min de repouso. As suspensões foram filtradas através de papel de filtro qualitativo e alíquotas de 5 mL dos filtrados foram transferidas para tubos de destilação. Após o acoplamento do tubo de destilação ao microdestilador Kjeldahl, adicionou-se 0,2 g de MgO p.a. por meio de medida calibrada para redução de N-NH_4^+ a N-NH_3 , e, na saída do condensador do aparelho de destilação, foi colocado erlenmeyer com capacidade para 125 mL, contendo 10 mL de solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} com mistura de indicadores (verde de bromocresol e vermelho de metila). Na destilação, foram coletados 50 mL do destilado em aproximadamente 5 minutos. Encerrada a destilação, retirou-se o erlenmeyer com o destilado e, em seu lugar, colocou-se outro erlenmeyer com capacidade para 125 mL contendo 10 mL de solução de H_3BO_3 20 g L^{-1} com mistura de indicadores. Adicionou-se, em seguida, ao conteúdo do tubo de destilação, 0,4 g de liga de Devarda, com auxílio de medida calibrada, para a redução do N-NO_3^- a N-NH_3 . Para a determinação do N-NO_3^- , considerou-se a quantidade de N-NO_2^- da amostra insignificante. Na nova destilação, coletaram-se 50 mL de destilado em aproximadamente 5 minutos. Uma prova em branco, a cada sete amostras, e uma solução-padrão contendo 50 mg L^{-1} de N-NH_4^+ e 50 mg L^{-1} de N-NO_3^- , a cada sete amostras, foram destiladas para avaliar a contaminação e a eficiência da destilação. A quantificação de N-NH_4^+ não foi feita, e a quantificação de N-NO_3^- foi feita por titulação com solução de H_2SO_4 $0,02 \text{ mol L}^{-1}$. O N-NO_3^- na matéria seca das plantas foi convertido em concentração de NO_3^- na matéria fresca.

Após a colheita, foi feita amostragem de solo, parcela por parcela, nas profundidades de 0 a 20; 20 a 40, e 40 a 60 cm. As subamostras foram coletadas ao acaso, 20 pontos por parcela, com sonda. As amostras compostas foram conservadas em freezer a -15°C , conforme recomendação de MATTOS Jr. et al. (1995), para posterior determinação de N-inorgânico (N-NH_4^+ e N-NO_3^-), segundo BREMNER &

KEENEY (1965). O procedimento está baseado na extração das formas inorgânicas de nitrogênio com solução de KCl, seguida de destilação por arraste de vapores e quantificação por meio de titulação. Após o descongelamento e a homogeneização das amostras, foram pesados 10 g de solo úmido para a determinação da umidade. Para erlenmeyer com capacidade para 250 mL, foram transferidos outros 10 g de amostra úmida. Em seguida, foram adicionados 100 mL de solução de KCl 1 mol L⁻¹ e a suspensão foi agitada por uma hora, em agitador com movimento circular-horizontal. Após a agitação, aguardou-se meia hora de repouso e filtrou-se a suspensão através de papel de filtração rápida. Alíquotas de 30 mL dos filtrados foram transferidas para tubos de destilação, e o procedimento adotado na destilação foi o mesmo descrito para as amostras de planta, mas neste caso empregou-se 0,2 g de liga de Devarda por amostra. A quantificação do nitrogênio nas formas amoniacal e nítrica foi feita por titulação com solução de H₂SO₄ 0,002 mol L⁻¹ padronizado.

Os dados de concentração do NOA na planta foram convertidos para NOA acumulado, multiplicando-se a concentração pela matéria seca da parte aérea das plantas de alface. Com os dados de NOA acumulados, foi calculada a Recuperação Aparente de Nitrogênio (RAN):

$$RAN (\%) = \left(\frac{NATA - NATT}{N \text{ aplicado}} \right) \times 100$$

Em que:

NATA = NOA acumulado (kg ha⁻¹) do tratamento adubado com 10 t ha⁻¹ de esterco, 40 kg ha⁻¹ de N no plantio e 30 ou 60; 90; 120; 150 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura;

NATT = NOA acumulado (kg ha⁻¹) do tratamento adubado com 10 t ha⁻¹ de esterco, 40 kg ha⁻¹ de N no plantio;

N aplicado = dose de N aplicada em cobertura (30 ou 60; 90; 120; 150 e 180 kg ha⁻¹).

Na análise estatística das variáveis diâmetro, produção, NOA acumulado e NO₃⁻ nas plantas, a análise de variância foi feita considerando experimento em blocos, com

sete tratamentos e cinco repetições. Para a análise dos teores de NH_4^+ e NO_3^- no solo, empregou-se delineamento em blocos com parcelas subdivididas, com as doses de N como tratamentos principais, nas parcelas, e as profundidades como tratamentos secundários, nas subparcelas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios obtidos para as variáveis diâmetro das plantas de alface, massa fresca por planta, produção por hectare, concentração de nitrato, nitrato acumulado por planta e N orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) acumulado estão nas Tabelas 2 e 3, respectivamente, para os experimentos de verão-outono e inverno. No experimento de verão-outono, houve efeito da aplicação de nitrogênio em cobertura, em todas as variáveis. No experimento de inverno, também houve efeito das doses de N em todas as variáveis, exceto no diâmetro das plantas. Tanto o diâmetro quanto a produção de matéria fresca de alface, nos dois experimentos, apresentaram resposta quadrática à adubação nitrogenada (Figuras 2 e 3). No experimento de verão-outono, o diâmetro máximo da parte aérea de alface (37,04 cm) foi obtido com 118 kg ha⁻¹ de N, e a produtividade máxima (20.141 kg ha⁻¹), com 106 kg ha⁻¹ de N. No experimento de inverno, a produtividade máxima (43.420 kg ha⁻¹) foi obtida com 108 kg ha⁻¹ de N, e o diâmetro máximo da parte aérea (38,17 cm), com 98 kg ha⁻¹ de N.

A aplicação de 60 kg ha⁻¹ de N em cobertura proporcionou 97 e 99% do diâmetro máximo das plantas para os experimentos de verão-outono e inverno, respectivamente, e 93 e 97% da produtividade máxima, evidenciando ser a dose de N em cobertura mais indicada para o cultivo de alface-crespa, em cultivo a campo, nas duas épocas. A dose 60 kg ha⁻¹ de N é o limite inferior da recomendação oficial de adubação nitrogenada em cobertura (60 a 90 kg ha⁻¹ de N) para o cultivo de alface, no Estado de São Paulo (TRANI et al., 1997). Nos experimentos, foi aplicado 1/6 da dose de adubo orgânico recomendada (10 t ha⁻¹ de esterco bovino curtido) e, com esta quantidade de esterco, foram aplicados 87 kg ha⁻¹ de N. Como apenas cerca de 20% do N orgânico aplicado na forma de esterco são mineralizados no primeiro ano (KLAUSNER et al., 1994), a quantidade de N disponibilizada pelo esterco foi menor do que 20 kg ha⁻¹, que,

somados aos 40 kg ha⁻¹ de N no plantio e aos 60 kg ha⁻¹ em cobertura, resultam em cerca de 120 kg ha⁻¹ de N, condição em que foram obtidos aproximadamente 90% da produtividade máxima. Para alface, RESENDE et al. (2005) avaliaram doses de N em cobertura (0; 60; 120 e 180 kg ha⁻¹ de N) adicionais a 60 kg ha⁻¹ de N aplicados no plantio, e concluíram que a aplicação de 149 kg ha⁻¹ de N propiciou máximo rendimento de matéria fresca comercial (450 g/planta). PÔRTO et al. (2008) obtiveram produtividade máxima de matéria fresca comercial de alface-americana (321,6 g/planta) com 95,7 kg ha⁻¹ de N mineral, aplicados em cobertura, sem adubação orgânica e mineral de plantio. MANTOVANI et al. (2005a), em experimento em vasos, em casa de vegetação, determinaram que 283 mg/vaso de N, equivalentes a 60 kg ha⁻¹ de N, foi a dose mais adequada para plantas dos grupos crespa, americana e lisa, pois o emprego de doses maiores não refletiu em ganho de produção, mas favoreceu o acúmulo de nitrato na parte aérea. Assim, exceção feita à dose determinada por RESENDE et al. (2005), todas as demais são próximas às obtidas no presente trabalho e, mesmo tendo sido determinadas em condições diferentes, estão nos limites do intervalo de doses recomendadas para adubação nitrogenada de alface, em cobertura, no Estado de São Paulo (TRANI et al., 1997).

Tabela 2. Diâmetro, produção, N orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) acumulado, concentração de NO₃⁻ e NO₃⁻ acumulado da parte aérea da alface 'Vanda' em função de adubação nitrogenada de cobertura, no experimento de verão-outono.

N cobertura	Diâmetro	Produção	NOA acumulado	NO ₃ ⁻	Massa fresca	NO ₃ ⁻ acumulado
kg ha ⁻¹	cm	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ MF	g/planta	mg/planta
0	32	12.835	19,1	0,03	112	3,44
30	36	15.919	26,3	0,11	142	15,37
60	36	20.251	29,5	0,26	164	44,08
90	36	19.879	31,0	0,40	154	62,30
120	37	18.813	33,2	0,47	147	67,28
150	36	19.206	32,5	0,48	167	78,69
180	35	16.905	32,2	0,51	145	72,04
Teste F ⁽¹⁾						
Tratamentos	12,16**	5,37**	6,50**	15,64**		25,76**
Blocos	1,30 ^{ns}	1,66 ^{ns}	5,61**	0,64 ^{ns}		3,24*
CV%	2,67	14,47	14,86	33,51		26,34

(1) ^{ns}, * e ** Não significativo, significativo a 5 e a 1% de probabilidade, respectivamente.

Tabela 3. Diâmetro, produção, N orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) acumulado, concentração de NO₃⁻ e NO₃⁻ acumulado da parte aérea da alface 'Vanda' em função de adubação nitrogenada de cobertura, no experimento de inverno.

N cobertura	Diâmetro	Produção	NOA acumulado	NO ₃ ⁻	Massa fresca	NO ₃ ⁻ acumulado
kg ha ⁻¹	cm	kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹	g kg ⁻¹ MF	g/planta	mg/planta
0	36	36.100	71,3	0,04	289	13,32
30	37	40.022	78,2	0,08	332	26,26
60	39	41.464	91,8	0,18	317	55,63
90	38	42.378	90,9	0,29	342	100,59
120	38	44.607	91,4	0,27	322	89,63
150	38	42.176	83,9	0,33	309	99,94
180	37	40.023	95,0	0,34	343	118,73
Teste F ⁽¹⁾						
Tratamentos	2,22 ^{ns}	3,26*	4,54**	12,28**		10,43**
Blocos	0,25 ^{ns}	1,61 ^{ns}	3,00*	5,53**		5,09**
CV%	4,01	8,04	10,77	35,07		39,04

(1) ns, * e ** Não significativo, significativo a 5 e a 1% de probabilidade, respectivamente.

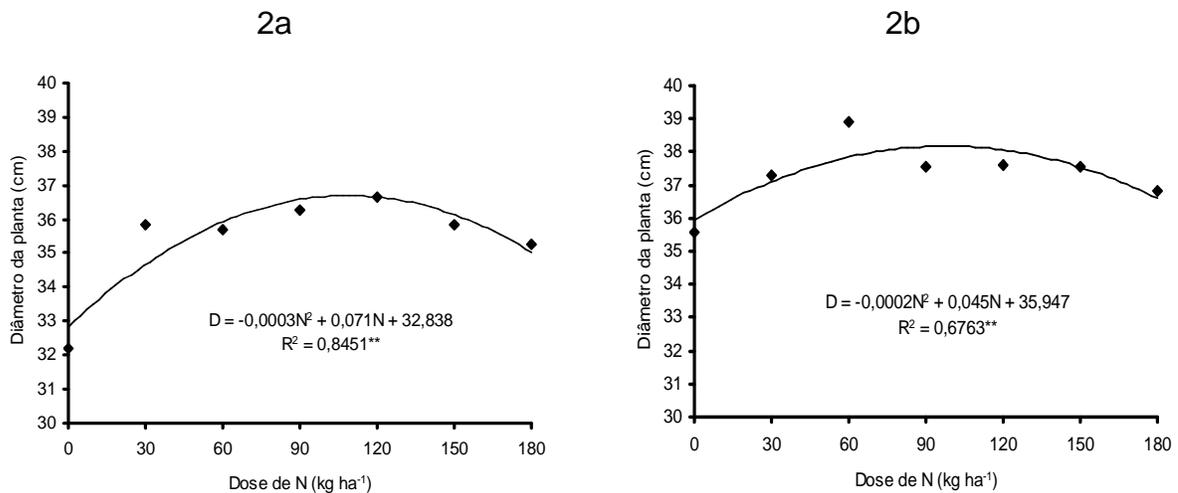


Figura 2. Diâmetro da parte aérea das plantas de alface 'Vanda', cultivadas no verão-outono (2a) e no inverno (2b), em função de adubação nitrogenada de cobertura.

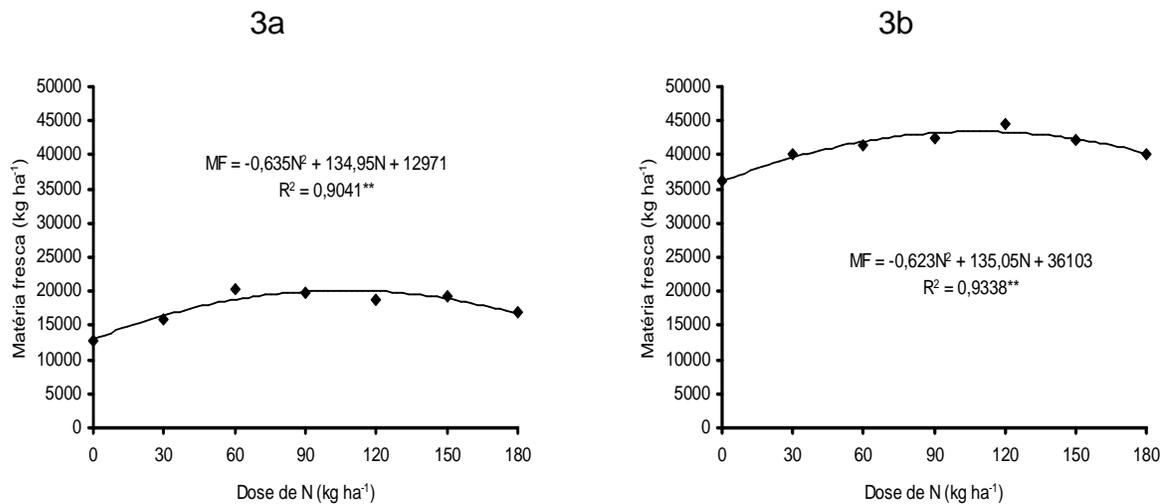


Figura 3. Matéria fresca da parte aérea das plantas de alface ‘Vanda’, cultivadas no verão-outono (3a) e inverno (3b), em função de adubação nitrogenada de cobertura.

As concentrações médias de N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) na parte aérea das plantas que receberam 0; 30; 60; 90; 120; 150 e 180 kg ha⁻¹ de N em cobertura foram 28,5; 32,1; 35,1; 36,0; 37,6; 37,4 e 37,7 g kg⁻¹, respectivamente. No inverno, para a mesma sequência de doses, foram: 33,1; 34,7; 39,1; 38,7; 39,6; 38,2 e 39,3 g kg⁻¹. A partir das concentrações de NOA e da produção de matéria seca, foram calculadas as quantidades acumuladas de NOA (Tabelas 2 e 3), as quais aumentaram com a adubação nitrogenada até as doses estimadas de 135 e 133 kg ha⁻¹, para os experimentos de verão-outono e de inverno, respectivamente (Figura 4).

O NOA acumulado, em kg ha⁻¹, é a quantidade de N exportada da área. Assim, comparando os resultados das Tabelas 2 e 3, pode-se observar que a exportação de N foi cerca de três vezes maior no inverno, e foi praticamente proporcional ao aumento de produção. Para alface ‘Verônica’, a exportação de N foi de 57,9 kg ha⁻¹ para uma produção de 1.640 kg ha⁻¹ de matéria seca (AQUINO et al., 2007), que é praticamente o dobro do que foi exportado pela cv. Vanda no verão (Tabela 2) e cerca de 2/3 do exportado no inverno (Tabela 3).

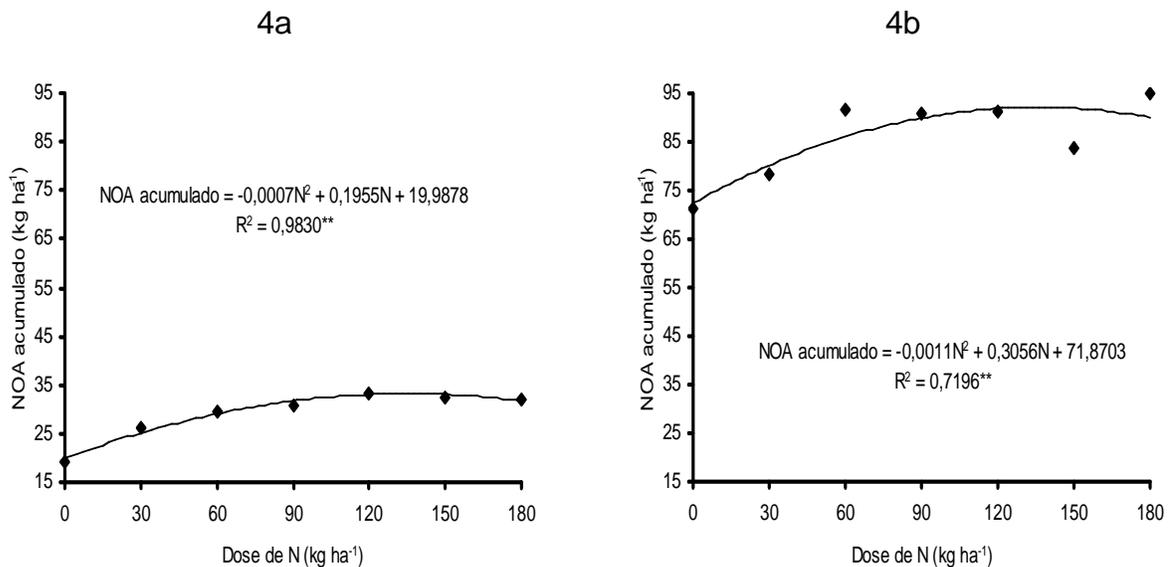


Figura 4. Quantidades acumuladas de N-orgânico+N-NH₄⁺ (NOA) na parte aérea das plantas de alface 'Vanda', cultivadas no verão-outono (4a) e inverno (4b), em função de adubação nitrogenada de cobertura.

A concentração de NO₃⁻ na matéria fresca da parte aérea das plantas de alface cultivadas no verão-outono aumentou com a dose de nitrogênio (Tabela 2) e a dose estimada igual a 138 kg ha⁻¹ de N resultou na maior concentração (Figura 5a). No experimento de inverno, houve aumento linear da concentração de NO₃⁻ com o aumento das doses de N (Figura 5b). A variação nas concentrações foi de 0,03 a 0,51 g kg⁻¹ de NO₃⁻ na matéria fresca, no verão-outono, e de 0,04 a 0,34 g kg⁻¹, no inverno (Tabelas 2 e 3). As concentrações obtidas no presente trabalho estão abaixo do limite máximo tolerável estabelecido pela norma n^o. 563/2002, da Comunidade Europeia, ou seja, 2,50 g kg⁻¹ na matéria fresca de alface cultivada a campo, e 3,50 g kg⁻¹, em ambiente protegido (SANTAMARIA, 2006). Os teores de NO₃⁻ em alface cultivada em solo normalmente não ultrapassam os limites estabelecidos pela Comunidade Europeia e, em diferentes condições e empregando outros métodos de quantificação de NO₃⁻ que não o utilizado no presente trabalho, há relatos de concentrações de NO₃⁻ (em g kg⁻¹ na matéria fresca) de: 0,03 (FONTES et al., 1997); 1,86 (CASTRO & FERRAZ Jr., 1998); 1,10 (TEI et al., 2000); 0,09 a 1,54 (MANTOVANI et al., 2005a), e 0,12 (PÔRTO et al., 2008).

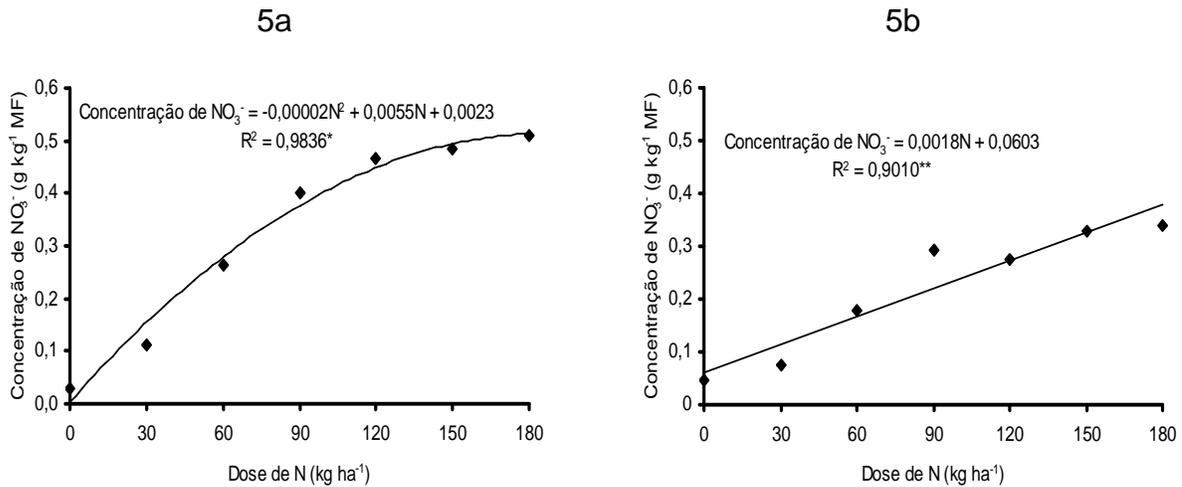


Figura 5. Concentrações de NO_3^- na matéria fresca da parte aérea das plantas de alface ‘Vanda’, cultivadas no verão-outono (5a) e inverno (5b), em função de adubação nitrogenada de cobertura.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, a ingestão diária aceitável de NO_3^- é de, no máximo, $3,65 \text{ mg kg}^{-1}$ de peso corporal (OSHE, 2000). Considerando a concentração de NO_3^- na matéria fresca das plantas, desprezando a contribuição de outras fontes de nitrato, como a água e as carnes, e admitindo o emprego de 60 kg ha^{-1} de N em cobertura, o consumo diário de alface para uma pessoa com 70 kg poderia ser, no máximo, $0,98$ e $1,42 \text{ kg}$ de alface-crespa cv. Vanda, produzida no verão-outono e no inverno, respectivamente. De acordo com MATTOS & MARTINS (2000), o consumo diário de alface por pessoa é, em média, 29 g .

Como ocorreu para concentração de NO_3^- , o NO_3^- acumulado na parte aérea das plantas ajustou-se ao modelo quadrático no experimento de verão-outono e ao modelo linear no inverno (Figura 6). A partir das equações da Figura 6, a dose de N estimada, que proporcionou 93 e 97% da produtividade máxima (60 kg ha^{-1} de N) no verão-outono e no inverno, resulta nas quantidades acumuladas de NO_3^- de $43,77$ e $54,24 \text{ mg/planta}$ em cada uma das épocas.

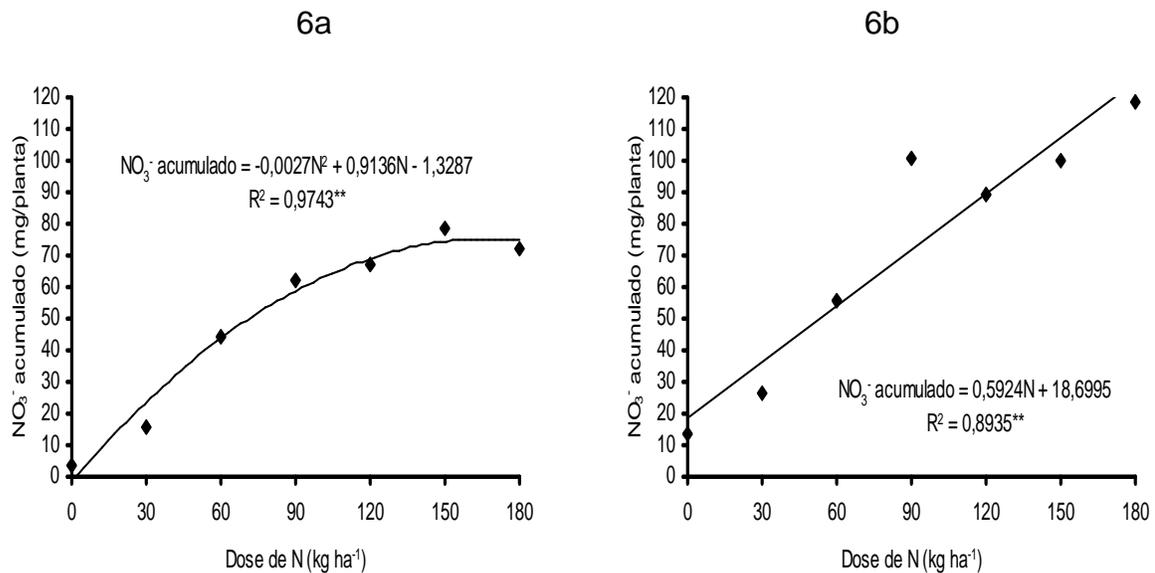


Figura 6. Quantidades acumuladas de NO_3^- na parte aérea das plantas de alface ‘Vanda’, cultivadas no verão-outono (6a) e inverno (6b), em função de adubação nitrogenada de cobertura.

A concentração de N-NO_3^- , independentemente do tratamento, foi muito pequena em relação ao N-total ($\text{NOA} + \text{N-NO}_3^-$) da planta (Figuras 7 e 8 para os experimentos de verão-outono e inverno, respectivamente), e aumentou com a dose de nitrogênio. A proporção de N-NO_3^- em relação ao N-total na planta variou de 0,45 a 6,87% e de 0,56 a 3,51%, nos experimentos de verão-outono e de inverno, respectivamente, no intervalo da menor para a maior dose de N. Observa-se, assim, que, no experimento de verão-outono, a maior dose de N ocasionou aumento na proporção de N-NO_3^- de 14 vezes em relação ao tratamento-testemunha e que, no experimento de inverno, o aumento foi de seis vezes. Portanto, a alface cultivada no verão-outono acumulou, proporcionalmente, mais N-NO_3^- do que a cultivada no inverno. Em baixa intensidade luminosa, a fotossíntese diminui, afetando a produção de ferredoxina que atua como agente redutor na redução assimilatória do N-NO_3^- , e com isso ocorre acúmulo de NO_3^- nos vacúolos (MENGEL & KIRKBY, 1987). No verão-outono, houve maior número de dias nublados e chuvosos (Figura 1), e este deve ser um dos fatores que contribuíram para a maior proporção de NO_3^- em relação ao N total nas plantas cultivadas nesta época do ano.

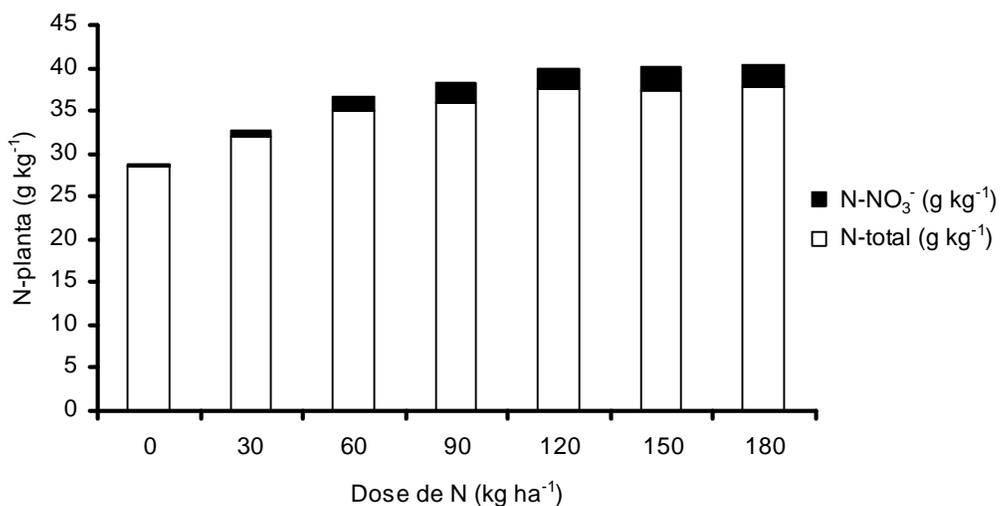


Figura 7. Proporção de N-NO₃⁻ em relação ao N-total de plantas em alfafa 'Vanda', em função das doses de N aplicadas em cobertura, no experimento de verão-outono.

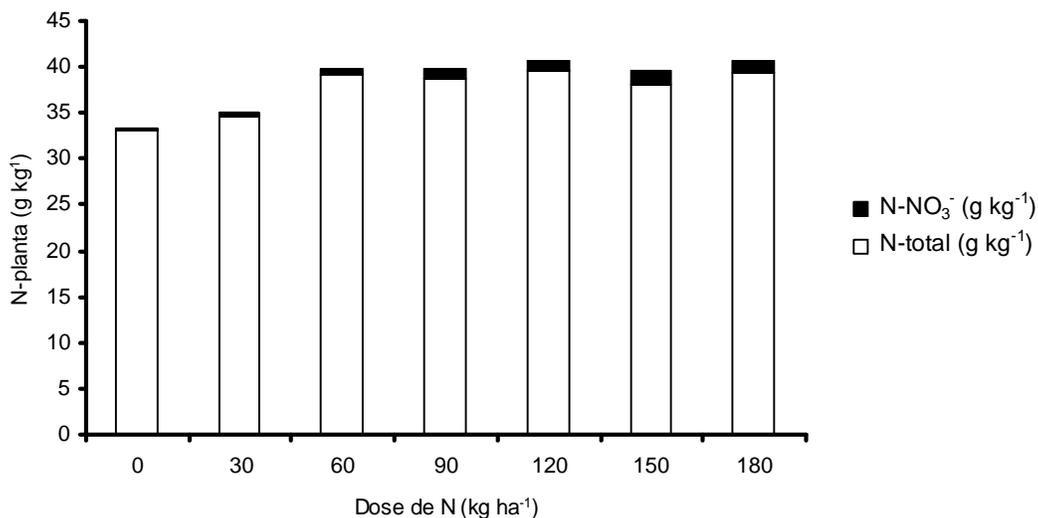


Figura 8. Proporção de N-NO₃⁻ em relação ao N-total de plantas em alfafa 'Vanda', em função das doses de N aplicadas em cobertura, no experimento de inverno.

Os valores de índices de recuperação aparente de nitrogênio (RAN), que fornecem a porcentagem do N aplicado, que foi incorporada na biomassa das plantas,

foram: 24; 17; 13; 11; 9 e 7% no experimento de verão-outono, com as doses 30; 60; 90; 120; 150 e 180 kg ha⁻¹ de N, respectivamente. No experimento de inverno, foram: 23; 34; 22; 17; 8 e 13% , considerando a mesma sequência de doses de N. Com 60 kg ha⁻¹ de N, foi obtida a melhor combinação de produção com recuperação do adubo aplicado, mas, mesmo neste caso, a recuperação foi muito baixa e sugere grande potencial de perda por lixiviação.

Na Tabela 4, estão os teores de N-NH₄⁺ obtidos nas amostras de solo coletadas nas profundidades de 0-20; 20-40, e 40-60 cm, nos dois experimentos. Houve efeito significativo da adubação nitrogenada em cobertura, nos teores de N-NH₄⁺ do solo, ao final dos experimentos, variando de 2,7 a 11,0 e de 6,2 a 12,6 mg kg⁻¹, no verão-outono e no inverno, respectivamente.

Tabela 4. Teores de N-NH₄⁺ no solo após a colheita da alface 'Vanda' nos experimentos de verão-outono e inverno, em função de adubação nitrogenada de cobertura e profundidade.

Dose de N	N-NH ₄ ⁺					
	Verão-outono			Inverno		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
kg ha ⁻¹	----- mg kg ⁻¹ de solo seco -----					
0	2,73	4,44	4,75	7,01	6,67	6,20
30	3,12	6,89	4,64	7,16	6,77	7,52
60	3,97	6,60	4,65	8,85	7,99	8,64
90	4,09	7,45	4,90	7,69	7,55	9,85
120	5,17	7,85	6,82	10,21	5,80	8,12
150	5,10	9,47	5,04	11,69	9,00	9,80
180	6,49	11,02	9,36	12,62	9,55	11,52
Teste F ⁽¹⁾						
Dose de N (N)	13,66**			10,09**		
Profundidade (P)	10,46**			4,73*		
N x P	0,35 ^{ns}			1,13 ^{ns}		
CV% (parcela)	14,66			12,49		
CV% (subparcela)	24,50			13,12		

⁽¹⁾ ns, * e ** Não significativo, significativo a 5 e a 1% de probabilidade, respectivamente.

O aumento das concentrações de N-NH₄⁺ no verão-outono foi linear nas camadas de 0-20 e 20-40 cm e quadrático na camada de 40-60 cm (Figura 9). No

inverno, o aumento foi linear em todas as profundidades (Figura 10). Houve também variação significativa dos teores de N-NH_4^+ entre as profundidades, sendo que os teores médios foram 4,4; 7,7 e 5,7 mg kg^{-1} nas profundidades de 0-20; 20-40, e 40-60 cm ao final do experimento de verão-outono, e de 9,3; 7,6 e 8,8 mg kg^{-1} , após o experimento de inverno (Tabela 4). No verão-outono, os maiores teores estavam na camada de 20-40 cm, e os menores, na de 0-20 cm (Figuras 9 e 11). Nesta camada, a condição de temperatura e aeração maiores deve ter favorecido a conversão de NH_4^+ a NO_3^- , o que justifica as concentrações menores de NH_4^+ . Condições ótimas de ocorrência das reações de amonificação são associadas com 50 a 70% de umidade no solo e temperatura entre 25 e 35°C (HAVLIN et al., 2005). Por outro lado, a nitrificação máxima ocorre quando a concentração de oxigênio no ar é de cerca de 20%, semelhante à do ar atmosférico (SAHRAWAT, 2008), o que é esperado que ocorra nos primeiros 20 cm, e a temperatura varia entre 30-35°C, com o ótimo a 25°C (SAHRAWAT, 2008). Assim, abaixo da camada de 0-20 cm, a conversão de NH_4^+ em NO_3^- pode ter sido prejudicada pela menor aeração e também pela menor temperatura. Outra possibilidade é que, como as aplicações de ureia em cobertura, nos dias 8 e 24 de março de 2009 foram seguidas de precipitação pluvial (Figura 1a), a própria ureia pode ter lixiviado e, na camada de 20-40 cm, mais úmida e pouco aerada, tenha sido convertida em NH_4^+ mas, em pequena proporção, em nitrato. Em experimento em colunas, utilizando-se de dois solos, SINGH et al. (1984) observaram que, em solo franco-arenoso, a ureia lixiviou com a água de irrigação, e as maiores concentrações de ureia foram observadas na frente de umedecimento, e que, em solo arenoso, a lixiviação da ureia foi mais rápida, devido à maior infiltração da água de irrigação.

No inverno, os maiores teores de N-NH_4^+ estavam na camada de 0-20 cm (Figuras 10 e 12). Precipitação pluvial ausente ou presente em pequena quantidade, nos dias em que foram realizadas as adubações em cobertura, isto é, 14; 22 e 30 de junho de 2009 (Figura 1b), é o fator que melhor explica a diferença entre as épocas. Em experimento em colunas, realizado por MANTOVANI et al. (2005c), houve variação significativa dos teores de N-NH_4^+ no solo após cultivo de alface, e a maior parte concentrou-se na camada de 40–60 cm.

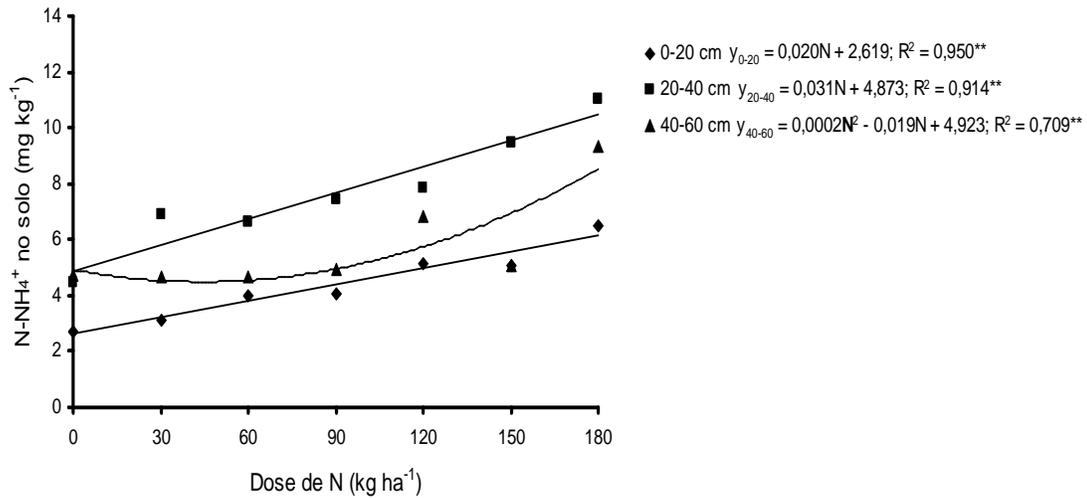


Figura 9. Teores de $N-NH_4^+$ no solo após o cultivo de alface 'Vanda' no experimento de verão-outono, em função da adubação nitrogenada de cobertura, para cada profundidade de amostragem.

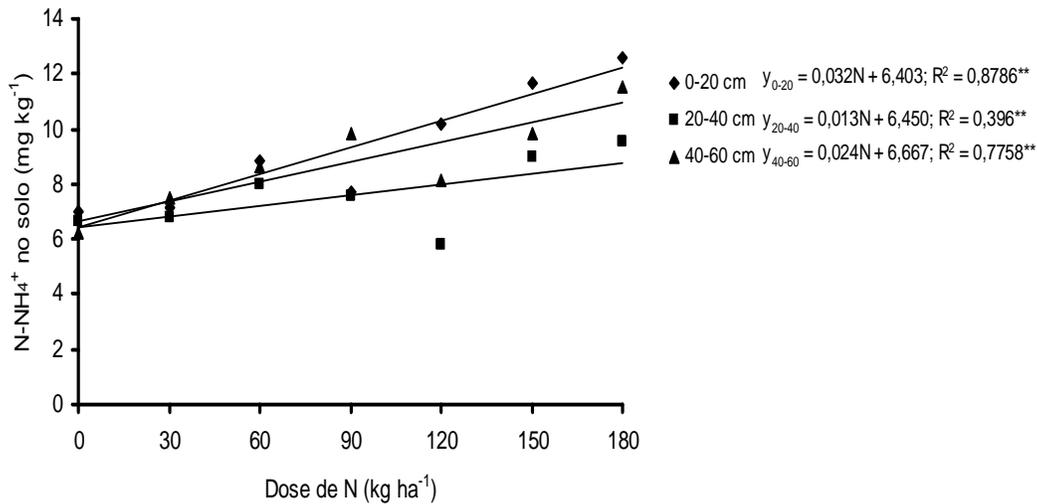


Figura 10. Teores de $N-NH_4^+$ no solo após o cultivo de alface 'Vanda' no experimento de inverno, em função da adubação nitrogenada de cobertura, para cada profundidade de amostragem.

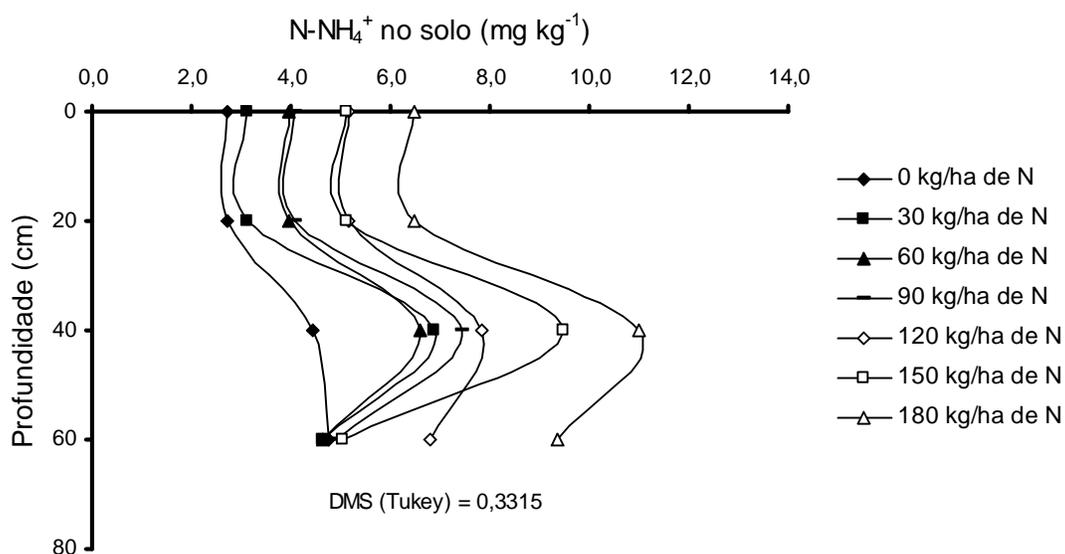


Figura 11. Teores de N-NH₄⁺ no solo após o cultivo de alface 'Vanda', no verão-outono, em função da profundidade, para cada dose de N em cobertura.

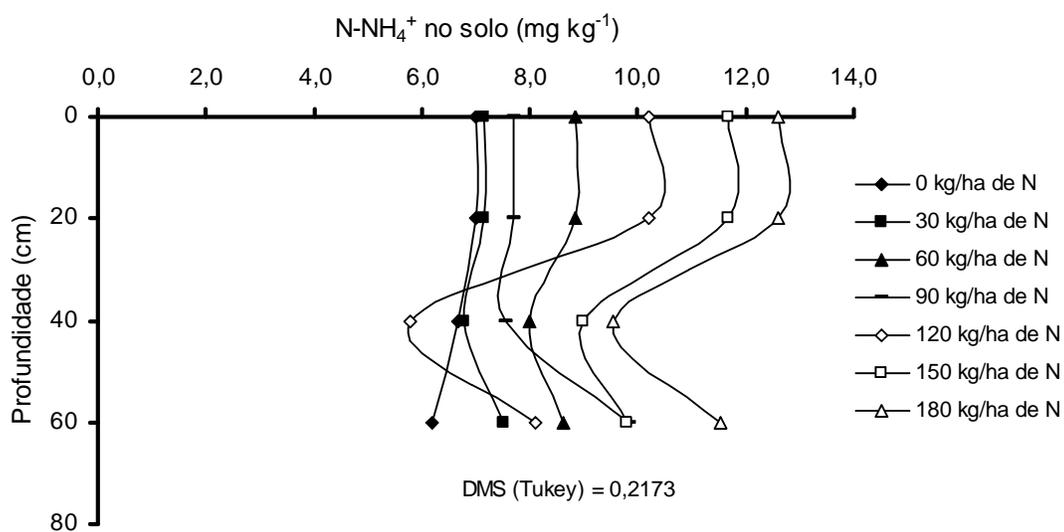


Figura 12. Teores de N-NH₄⁺ no solo após o cultivo de alface 'Vanda' no inverno, em função da profundidade, para cada dose de N em cobertura.

Os teores de N-NO_3^- no solo aumentaram com as doses de nitrogênio, tanto no experimento de verão-outono, quanto no de inverno (Tabela 5, Figuras 13 e 14). No verão-outono, os teores do íon no solo variaram de 3,3 a 24,8; 5,5 a 21,8 e 9,7 a 31,2 mg kg^{-1} (Tabela 5), nas profundidades de 0-20; 20-40, e 40-60 cm, respectivamente. No inverno, os teores de N-NO_3^- no solo variaram de 8,0 a 20,8; 10,0 a 18,9 e 10,4 a 18,2 mg kg^{-1} (Tabela 5) nas mesmas profundidades, respectivamente. O aumento do teor no solo, com o aumento das quantidades aplicadas, foi quadrático na camada de 0-20 cm, no experimento de verão-outono (Figura 13), e em todos os demais casos, foi linear (Figuras 13 e 14).

Tabela 5. Teores de N-NO_3^- no solo após a colheita das plantas de alface 'Vanda' cultivada no verão-outono e inverno, em função de adubação nitrogenada de cobertura e profundidade.

Dose de N	N-NO_3^-					
	Verão-outono			Inverno		
	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm	0-20 cm	20-40 cm	40-60 cm
kg ha^{-1}	----- mg kg^{-1} de solo seco -----					
0	3,29	5,52	9,75	7,97	9,99	10,39
30	4,93	7,47	12,89	9,11	11,22	11,70
60	6,76	11,46	15,40	10,80	13,63	13,21
90	10,24	16,28	19,41	13,38	13,84	12,26
120	12,65	19,21	20,68	17,15	13,01	14,23
150	16,12	22,57	21,55	20,79	13,96	12,69
180	24,76	21,84	31,15	20,79	18,88	18,17
Teste F ⁽¹⁾						
Dose de N (N)	43,99**			32,49**		
Profundidade (P)	32,38**			0,82 ^{ns}		
N x P	1,25 ^{ns}			3,73**		
CV% (parcela)	15,06			8,19		
CV% (subparcela)	15,04			9,29		

⁽¹⁾ ^{ns}, * e ** Não significativo, significativo a 5 e a 1% de probabilidade, respectivamente.

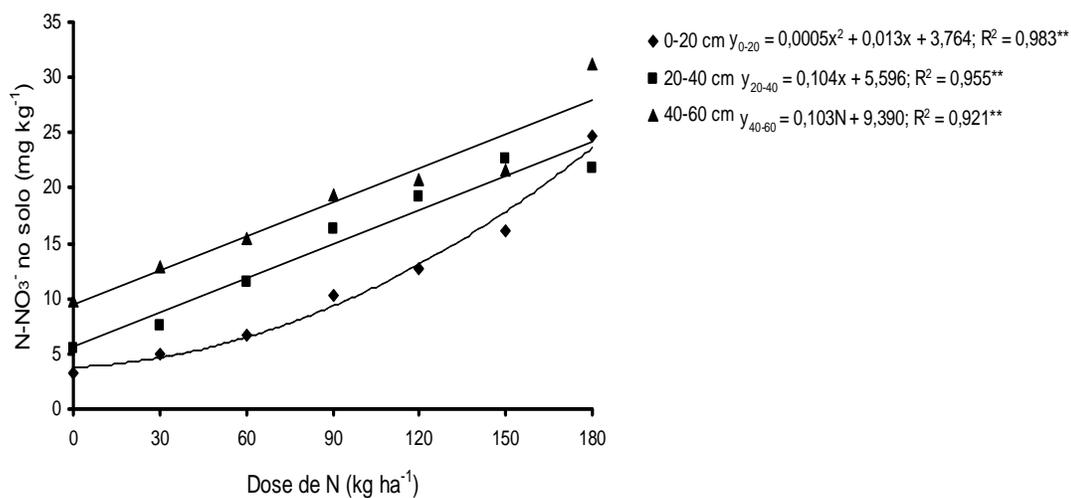


Figura 13. Teores de $N-NO_3^-$ no solo após o cultivo de alface 'Vanda' no verão-outono, em função da adubação nitrogenada de cobertura, para cada profundidade de amostragem.

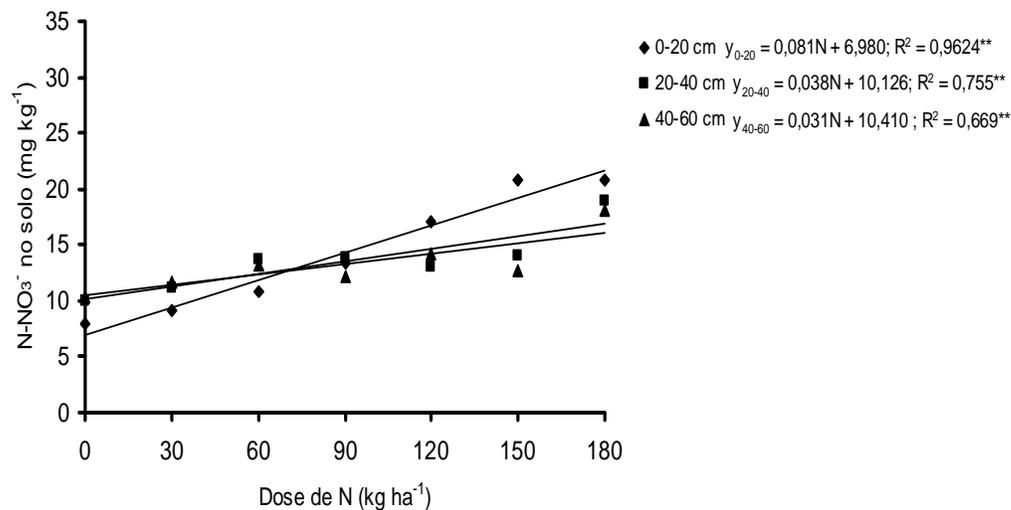


Figura 14. Teores de $N-NO_3^-$ no solo após o cultivo de alface 'Vanda' no inverno, em função da adubação nitrogenada de cobertura, para cada profundidade de amostragem.

Os teores de N-NO_3^- , nos dois experimentos, aumentaram em relação à profundidade (Figuras 15 e 16). Nos dois experimentos, os maiores teores estavam na camada de 40-60 cm, mas a variação entre as camadas de 20-40 e 40-60 cm foi pequena no experimento de inverno, em relação ao de verão-outono. Isso indica que, no verão-outono, a perda por lixiviação foi muito favorecida pela maior precipitação pluvial e, ainda, como o crescimento das plantas foi menor e a absorção de N pelas plantas também, mais nitrato ficou em solução e foi lixiviado.

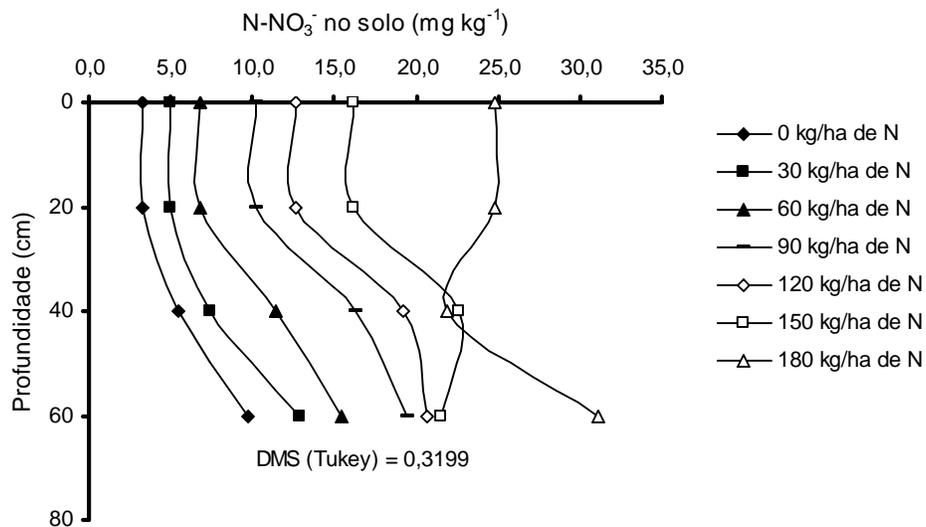


Figura 15. Teores de N-NO_3^- no solo após o cultivo de alface 'Vanda' no verão-outono, em função da profundidade, para cada dose de N em cobertura.

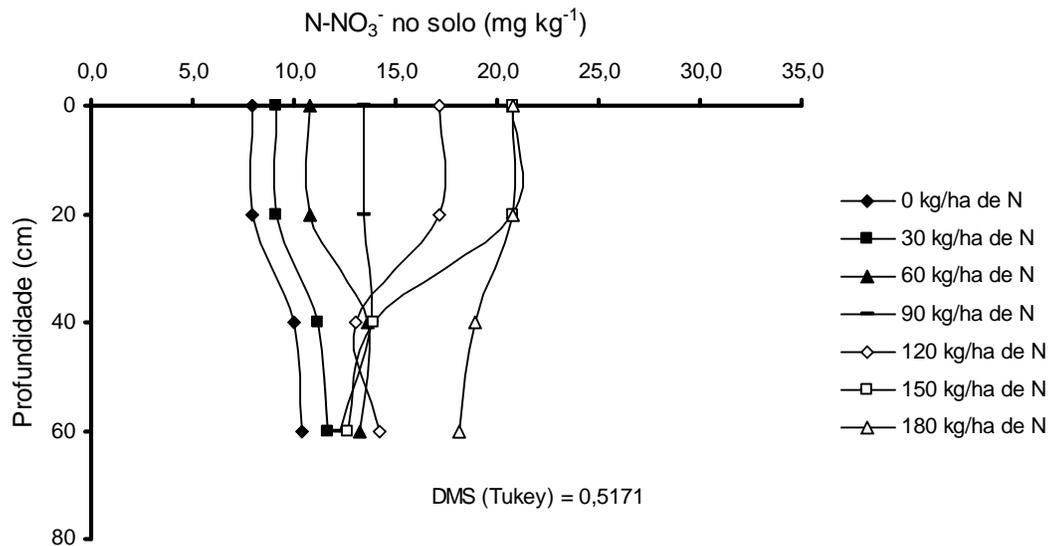


Figura 16. Teores de N-NO_3^- no solo após o cultivo de alface ‘Vanda’ no inverno, em função da profundidade, para cada dose de N em cobertura.

No experimento de verão-outono, em média, 36% do N-NO_3^- concentrou-se na camada de 40-60 cm, e no experimento de inverno, em média, 24%. Resultado semelhante foi observado por MANTOVANI et al. (2005c), em experimento em casa de vegetação, em colunas de PVC, utilizando composto de lixo urbano como fonte de nitrogênio. Os autores relataram que, na camada de 40-60 cm, os teores aumentaram com a aplicação do adubo orgânico até a dose de 107 t ha^{-1} , variando de 19 a 39 mg kg^{-1} , e cerca de 90% do N-NO_3^- concentrou-se na profundidade de 40-60 cm. RAMOS et al. (2002) relataram perdas de 150 a 300 kg ha^{-1} de N em áreas de cultivo de alcachofra, batata e cebola, na Comunidade Valenciana (Espanha), e DYNIA et al. (2006), em experimento de campo no Brasil, com a cultura do milho, por cinco anos consecutivos, observaram que as perdas de N para a camada de 0,6 a 3,0 m de profundidade, no tratamento que recebeu a aplicação de 431 kg ha^{-1} de N durante o período experimental, foi de 130 kg ha^{-1} .

5 CONCLUSÕES

- a) O melhor aproveitamento do adubo nitrogenado aplicado em cobertura, no cultivo de alface-crespa, cultivar Vanda, é obtido com até 60 kg ha^{-1} de N.
- b) A melhor combinação de produtividade e qualidade de alface-crespa, cultivar Vanda, é também obtida com 60 kg ha^{-1} de N em cobertura.
- c) Doses de até 180 kg ha^{-1} de N não resultam em concentrações de NO_3^- em alface-crespa, cv. Vanda, acima do limite tolerável para consumo.
- d) O aumento das doses de nitrogênio até 180 kg ha^{-1} aumenta a quantidade de N- NO_3^- perdida por lixiviação, avaliada até 60 cm de profundidade.

6 REFERÊNCIAS

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.32, p. 160-165, 1998.

AQUINO, L.A.; PUIATTI, M.; ABAURRE, M.E.O.; CECON, P.R.; PEREIRA, P.R.G.; PEREIRA, F.H.F.; CASTRO, M.R.S. Produção de biomassa, acúmulo de nitrato, teores e exportação de macronutrientes da alface sob sombreamento. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.25, p.381-386, 2007.

BLOM-ZANDSTRA, M.; EENINK, A.H. Nitrate concentration and reduction in different genotypes of lettuce. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v.111, p.908-911, 1986.

BRASIL. **Instrução Normativa SDA nº 28**, de 27 de julho de 2007. Diário Oficial da União. Brasília: 2007. p.11.

BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio em plantas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.30, p.365-372, 2000.

BREMNER, J.M.; KEENEY, D.R. Exchangeable ammonium, nitrate and nitrite by steam-distillation methods. In: BLACK, C.A. (Ed.) **Methods of soil analysis: Part 2**. Madison, ASA, 1965. p.1191-1206.

CAMARGO, O.A.; MONIZ, A.C.; JORGE, J.A.; VALADARES, J.M.A.S. **Métodos de análise química, mineralógica e física de solos do Instituto Agrônomo de Campinas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1986. 94p. (Boletim Técnico, 106)

CARMO, C.A.F.S.; ARAÚJO, W.S.; BERNARDI, A.C.C.; SALDANHA, M.F.C. **Métodos de análise de tecidos vegetais utilizados na Embrapa Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2000. 41p. (Circular técnica, 6)

CASTRO, S.R.P.; FERRAZ JUNIOR, A.S.L. Teores de nitrato nas folhas e produção da alface cultivada com diferentes fontes de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.16, p.65-68, 1998.

DYNIA, J.F.; CAMARGO, O.A. Retenção de nitrato num solo de carga variável, influenciada por adubação fosfatada e calagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, p.141-144, 1999.

DYNIA, J.F.; SOUZA, M.D.; BOEIRA, R.C. Lixiviação de nitrato em Latossolo cultivado com milho após aplicações sucessivas de lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.41, p.855-862, 2006.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa: UFV, 2003. 412 p.

FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G.; CONDE, R.M. Critical chlorophyll, total nitrogen, and nitrate-nitrogen in leaves associated to maximum lettuce yield. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.20, p.1061-1068, 1997.

GREENWOOD, D.J.; HUNT, J. Effect of nitrogen fertilizer on the nitrate contents of field vegetables grown in Britain. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.37, p.373-383, 1986.

HAVLIN, J.L.; BEATON, J.D.; TISDALE, S.L.; NELSON, W.L. **Soil fertility and fertilizers**. An introduction to nutrient management. 7. ed. New Jersey: Pearson Education, 2005. 515p.

JACKSON, L.E.; STIVERS, L.J.; WARDEN, B.T.; TANJI, K.K. Crop nitrogen utilization and soil nitrate loss in a lettuce field. **Fertilizer Research**, Wageningen, v.37, p.93-105, 1994.

KATAYAMA, M. Nutrição e adubação de alface, chicória e almeirão. In: FERREIRA, M.E.; CASTELLANE, P.D.; CRUZ, M.C.P. (Eds.) **Nutrição e adubação de hortaliças**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.141-148.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, J.C. Nitrogênio: dinâmica e disponibilidade no solo. In: FERNANDES, F.M.; NASCIMENTO, V.M. (Coord.). **Curso de atualização em fertilidade do solo**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p.139-157.

KIRCHMANN H.; BERGSTRÖM L. Do organic farming practices reduce nitrate leaching?. **Communications in Soil Science Plant Analysis**, New York, v.32, p.997-1028, 2001.

KLAUSNER, S.D.; KANNEGANTI, V.R.; BOULDIN, D.R. An approach for estimating a decay series for organic nitrogen in animal manure. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, p.897-903, 1994.

KROHN, N.G.; MISSIO, R.F.; ORTOLAN, M.L.; BURIN, A.; STEINMACHER, D.A.; LOPES, M.C. Teores de nitrato em folhas de alface em função do horário de coleta e do tipo de folha amostrada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21, p. 216-219, 2003.

LOPES, J. C.; RIBEIRO, L. G.; ARAÚJO, M. G.; BERALDO, M.R.B.S. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.143-147, 2005.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.758-762, 2005a.

MANTOVANI, J.R.; CRUZ, M.C.P.; FERREIRA, M.E.; BARBOSA, J.C. Comparação de procedimentos de quantificação de nitrato em tecido vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.53-59, 2005b.

MANTOVANI, J.R.; FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. Nitrato em alface e mobilidade do íon em solo adubado com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.40, p.681-688, 2005c.

MATTOS, L.L.; MARTINS, L.S. Consumo de fibras alimentares em população adulta. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.34, p.50-55, 2000.

MATTOS JÚNIOR, D.; CANTARELLA, H.; RAIJ, B. van. Manuseio e conservação de amostras de solo para preservação do nitrogênio inorgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.19, p.423-431, 1995.

MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V.; MINOTTI, P.L.; PECK, N.H. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**, New York, v.28, p.71-118, 1976.

McCALL, D.; WILLUMSEN, J. Effects of nitrate, ammonium and chloride application on the yield and nitrate content of soil-grown lettuce. **Journal of Horticultural Science & Biotechnology**, Inglaterra, v.73, p.698-703, 1998.

McPHARLIN, L. R.; AYLMORE, P. M.; JEFFERY, R. C. Nitrogen requirements of lettuce under sprinkler irrigation and trickle fertigation on a spearwood sand. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v.18, p.219-241, 1995.

MENGEL, K.; KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. 4.ed. Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

MONDIN, M. **Efeito de sistemas de cultivo na produtividade e acúmulo de nitrato em cultivares de alface**. 1996. 88f. Tese (Doutorado em Produção Vegetal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1996.

MUCHOVEJ, R.M.C.; REHCIGL, J.E. Impacts of nitrogen fertilization of pastures and turfgrasses on water quality. In: LAL, R.; STEWART, B.A. (Eds.) **Soil processes and water quality**. Lewis Publication, 1994. p. 91-135.

MUCHOVEJ, R.M.C.; REHCIGL, J.E. Nitrogen fertilizers. In: REHCIGL, J.E. (Ed.) **Soil amendments and environmental quality**. Boca Raton: Lewis Publishers, 1995. p.1-64.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Percolação de nitrato em latossolo amarelo distrófico afetada pela aplicação de composto de lixo urbano e adubação mineral. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p.731-741, 2001a.

OLIVEIRA, F.C.; MATTIAZZO, M.E.; MARCIANO, C.R.; MORAES, S.O. Lixiviação de nitrato em um Latossolo Amarelo distrófico tratado com lodo de esgoto e cultivado com cana-de-açúcar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.58, p.171-180, 2001b.

OSHE, S. Qualidade nutricional e acúmulo de nitrato em alface. In: SANTOS, O.S. (Ed.) **Hidroponia da alface**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000. p.10-24.

PEDREÑO, J.N.; MORAL, R.; GÓMEZ I.; MATAIX, J. Reducing nitrogen losses by decreasing mineral fertilization in horticultural crops of eastern Spain. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, v.59, p.217-221, 1996.

PÔRTO, M.L.; ALVES, J.C.; SOUZA, A.P.; ARAÚJO, R.C.; ARRUDA, J.A. Nitrate production and accumulation in lettuce as affected by mineral nitrogen supply and organic fertilization. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.26, p.227-230, 2008.

PRETTI, F. Valor nutracêutico das hortaliças. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.18, p.16-20, 2000. (Suplemento)

PRIMAVESI, O.; PRIMAVESI, A.C.; CORRÊA, L.A.; SILVA, A.G.; CANTARELLA, H. Lixiviação de nitrato em pastagem de *coastcross* adubada com nitrogênio. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Minas Gerais, v.53, p.683-690, 2006.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Adubação orgânica. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p.30-35. (Boletim Técnico, 100)

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (Eds.) **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285p.

RAMOS, C.; AGUT, A.; LIDÓN, A.L. Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). **Environmental Pollution**, Massachusetts, v. 118, p.215-223, 2002.

RESENDE, G.M.; ALVARENGA, M.A.R.; YURI, J.E.; MOTA, J.H.; SOUZA, R.J.; RODRIGUES JÚNIOR, J.C. Produtividade e qualidade pós-colheita da alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, p.976-981, 2005.

RICHARDSON, S.J.; HARDGRAVE, M. Effect of temperature, carbon dioxide enrichment, nitrogen form and rate of nitrogen fertilizer on the yield and nitrate content of two varieties of glasshouse lettuce. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.59, p.345-349, 1992.

SANTAMARIA, P. Review nitrate in vegetables: toxicity, content, intake and EC regulation. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.86, p.10-17, 2006.

SANTOS, R.H.S.; SILVA, F.; CASALI, V.W.D.; CONDE, A.R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, p.1395-1398, 2001.

SAHRAWAT, K.L Factors affecting nitrification in soils. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, p.1436-1446, 2008.

SCHRÖDER, F.G.; BERO, H. Nitrate uptake of *Lactuca sativa* L. depending on varieties and nutrient solution in hydroponic system PPH. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.548, p.551-555, 2001.

SINGH, M.; YADAV, D.S.; KUMAR, V. Leaching and transformation of urea in dry and wet soils as affected by irrigation water. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.81, n.3, p. 411-420, 1984

SWANN, P.F. The toxicology of nitrate, nitrite and N-nitroso compounds. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v.26, p.1761-1770, 1975.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188p.

TEI, F.; BENINCASA, P.; GUIDUCCI, M. Effect of nitrogen availability on growth and nitrogen uptake in lettuce. **Acta Horticulturae**, Leuven, n.533, p.385-392, 2000.

THOMPSON, A.L.; DOERGE, T.A. Nitrogen and water interactions in subsurface trickle-irrigated leaf lettuce: agronomic, economic, and environmental outcomes. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 163-168, 1996.

TRANI, P.E.; GRANJA, N.P.; BASSO, L.C.; DIAS, D.C.F.S.; MINAMI, K. Produção e acúmulo de nitrato pela rúcula afetados por doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.12, p.25-29, 1994.

TRANI, P.E.; PASSOS, F.A.; AZEVEDO FILHO, J.A. Alface, almeirão, chicória, escarola, rúcula e agrião d'água. In: RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.) **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo/Fundação IAC, 1997. p.168-169. (Boletim Técnico, 100)

VIDIGAL, S.M.; RIBEIRO, A.C.; CASALI, V.W.D.; FONTES, L.E.F. Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica. I - Ensaio de Campo. **Revista Ceres**, Viçosa, v.42, n.239, p.80-88, 1995.