

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

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS DE CANOLA EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E SULFATADA**

**Fábio Teixeira Lucas**

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2012

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

**PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS DE CANOLA EM  
FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E SULFATADA**

**Fábio Teixeira Lucas**

Orientador: Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho

Co-orientador: Dr. José Mauro Valente Paes

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

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

JUNHO – 2012

Lucas, Fábio Teixeira  
L933p Produtividade e qualidade de grãos de canola em função da adubação  
nitrogenada e sulfatada / Fábio Teixeira Lucas. – – Jaboticabal, 2012  
xii, 43 f. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de  
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2012  
Orientador: Edson Luiz Mendes Coutinho  
Banca examinadora: José Eduardo Corá, Takashi Muraoka  
Bibliografia

1. *Brassica napus*. 2. Nitrogênio. 3. Enxofre. 4. Óleo. 5. Proteína.  
6. Diagnose foliar. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias  
e Veterinárias.

CDU 631.811:635.33

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço  
Técnico de Biblioteca e Documentação – UNESP, Campus de Jaboticabal, SP.  
e-mail: fabiotlucas@msn.com

## DADOS CURRICULARES DO AUTOR

**FÁBIO TEIXEIRA LUCAS**, natural de Uberaba, Estado de Minas Gerais, Brasil, nasceu em 10 de janeiro de 1987, filho de Isabel Cristina de Lima Teixeira Lucas e Ezio Lopes Lucas – Concluiu o segundo grau (ensino médio) no Colégio Cenecista Dr. José Ferreira, em Uberaba, MG, no ano de 2004. Graduado em Agronomia pelas Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU, em dezembro de 2008, onde defendeu a monografia para conclusão de curso intitulada “Produção e qualidade de híbridos de milho para silagem”, tendo como orientador o Prof. Espec. Francisc Henrique Silva. Também, é graduado no curso Tecnologia em Processos Gerenciais (Gestão de Agronegócios) pela Universidade de Uberaba – UNIUBE, em julho de 2008, defendendo a monografia “Fontes renováveis de energia”, sob orientação do Prof. M.Sc. Evandro José Rigo. É Especialista em Gestão Ambiental pela Universidade de Uberaba – UNIUBE (Pós-Graduação *Lato Sensu*), título recebido em janeiro de 2011, defendendo o trabalho “Biomassa como fonte de energia renovável” sob orientação do Prof. Espec. Paulo Henrique Lopes Alves. Em março de 2010 iniciou o curso de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – FCAV, Campus de Jaboticabal, SP, como Bolsista de Mestrado da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), sob orientação do Prof. Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho. No dia 14 de junho de 2012 obteve o título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo), defendendo a dissertação intitulada “Produtividade e qualidade de grãos de canola em função da adubação nitrogenada e sulfatada”.

“Se planejarmos para um ano,  
devemos plantar cereais!  
Se planejarmos para décadas,  
devemos plantar árvores!  
Se planejarmos para toda a vida,  
devemos educar o Homem!”

(Kwantsu, século III a.C.)

*Aos meus pais Ezio e Isabel e aos meus irmãos Heloísa e Breno, por estarem sempre ao meu lado, me apoiando e torcendo pelas minhas conquistas!*

*Aos meus avós João Teixeira e Cristina, Astromil e Selma, pelos ensinamentos da vida!*

### **Ofereço**

*A todos os meus amigos, aos professores e à minha família, que muito me incentivaram!*

### **Dedico**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que sempre esteve comigo!

À minha família, pelo apoio em todos os momentos, sejam eles bons ou ruins!

Aos meus pais Ezio e Isabel e aos meus irmãos Heloísa e Breno!

Aos meus avós João Teixeira e Cristina, Astromil e Selma!

Aos meus padrinhos Elcio, Regina e Vicente!

Aos meus tios-avôs Mário Lacerda e Miguel Teixeira e à minha bisavó Aracy dos Santos, que não se encontram mais entre nós, mas que lá de cima estão torcendo pelo meu sucesso!

A todos os professores das Faculdades Associadas de Uberaba – FAZU, que compartilharam suas experiências e conhecimentos durante minha graduação em Agronomia!

Ao meu professor e amigo Dr. José Mauro Valente Paes, pesquisador da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG, Uberaba, MG, que me abriu as portas após minha graduação e me guiou à vida acadêmica, sendo de fundamental importância para que eu chegasse até o mestrado, além de todo o apoio na instalação, condução e avaliações do meu experimento de campo, sendo meu co-orientador; Minha eterna gratidão!

Aos demais pesquisadores da EPAMIG, pela amizade e troca de conhecimentos!

À equipe de apoio da EPAMIG, pelo esforço dedicado no experimento de campo, sendo fundamental para o sucesso!

À CAPES, pela bolsa de mestrado, financiando meus estudos!

Além da EPAMIG, CAPES e FAZU, às instituições Cooperativa dos Empresários Rurais do Triângulo Mineiro – CERTRIM, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA TRIGO (em especial ao Dr. Gilberto Omar Tomm), Vale Fertilizantes S/A, Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM e Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Campus de Jaboticabal, SP, pela colaboração na realização do experimento, através de fornecimentos de materiais, preparo da área e avaliações dos tratamentos experimentais!

Ao meu professor orientador Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, por me acolher como aluno e cujas orientações foram de fundamental importância para que eu concluísse o curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo), e também pela sua paciência, dedicação e amizade!

Aos professores da FCAV-UNESP Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, Dra. Célia Regina Paes Bueno, Dr. Itamar Andrioli, Dr. José Carlos Barbosa, Dr. Renato de Mello Prado, Dr. William Natale e Dr. João Antônio Galbiatti, pelos conhecimentos concedidos nas disciplinas cursadas!

Ao Prof. Dr. José Carlos Barbosa, pela ajuda nas análises estatísticas!

Aos professores Dr. José Carlos Barbosa e Dra. Carolina Fernandes, membros da banca examinadora do exame geral de qualificação, pelas sugestões concedidas!

Aos professores Dr. José Eduardo Corá e Dr. Takashi Muraoka, membros da banca da defesa, pelas importantes contribuições!

À Cláudia Campos Dela Marta, Técnica do Laboratório do Departamento de Solos e Adubos, pelo cuidado e capricho nas análises químicas e pela amizade!

Ao Conselho do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo), pela oportunidade do estudo!

A todos os meus amigos, pelo companheirismo e amizade!

Enfim, aos amigos da FCAV-UNESP do Curso de Pós-Graduação em Agronomia!

Obrigado e abraços a todos!



## SUMÁRIO

	Página
<b>RESUMO</b> .....	xi
<b>SUMMARY</b> .....	xii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	3
2.1 A cultura da canola .....	3
2.2 Adubação com nitrogênio e enxofre .....	6
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	14
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	19
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	32
<b>6 REFERÊNCIAS</b> .....	33

**LISTA DE TABELAS**

	<b>Página</b>
<b>Tabela 1.</b> Precipitação e temperatura média mensal durante o período experimental – ano de 2010 .....	14
<b>Tabela 2.</b> Análise química para fins de fertilidade do solo na camada de 0 a 0,20 m .....	14
<b>Tabela 3.</b> Concentrações de N e S na folha diagnóstica em função das doses de N e S .....	19
<b>Tabela 4.</b> Teores de S no solo em função das doses de N e S .....	21
<b>Tabela 5.</b> Produtividade de grãos em função das doses de N e S .....	23
<b>Tabela 6.</b> Massa de 1.000 grãos em função das doses de N e S .....	28
<b>Tabela 7.</b> Teores de óleo e proteína bruta nos grãos em função das doses de N e S .....	31

## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>Figura 1.</b> Estádios e dias de desenvolvimento da cultura da canola.....	3
<b>Figura 2.</b> Folha utilizada para diagnose foliar.....	16
<b>Figura 3.</b> N na folha diagnóstica em função da adubação nitrogenada.....	20
<b>Figura 4.</b> S na folha diagnóstica em função da adubação sulfatada .....	20
<b>Figura 5.</b> S no solo nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m em função da adubação sulfatada.....	22
<b>Figura 6.</b> Produtividade de grãos em função da adubação nitrogenada e sulfatada ..	24
<b>Figura 7.</b> Isolinhas de produtividade de grãos em função da adubação nitrogenada e sulfatada.....	25
<b>Figura 8.</b> Produtividade de grãos em função das concentrações de N nas folhas .....	27
<b>Figura 9.</b> Massa de 1.000 grãos em função da adubação nitrogenada e sulfatada ...	29
<b>Figura 10.</b> Produtividade de grãos em função dos teores de S no solo .....	30

## PRODUTIVIDADE E QUALIDADE DE GRÃOS DE CANOLA EM FUNÇÃO DA ADUBAÇÃO NITROGENADA E SULFATADA

**RESUMO** – A canola (*Brassica napus*, L.) foi amplamente incentivada como cultura de produção de grãos para óleo no início da década de 1980. O óleo de canola é considerado um alimento saudável, e também é utilizado na produção de biodiesel. Além disso, a canola pode ser considerada boa opção no esquema de rotação de culturas. O nitrogênio é um dos nutrientes mais exigidos pela planta para aumento na produtividade, enquanto que o enxofre é essencial para proporcionar qualidade às sementes. Assim, objetivou-se avaliar os efeitos de doses de nitrogênio e enxofre na produtividade, nos teores de S-SO<sub>4</sub> no solo, nas concentrações de N e S nas folhas e nos teores de óleo e proteína bruta nos grãos de canola. O experimento foi realizado no município de Uberaba, Minas Gerais, na área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM, em Latossolo Vermelho distrófico, textura média, no ano de 2010. Utilizou-se o híbrido Hyola 401 em delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições e 20 tratamentos em esquema fatorial 5 x 4, sendo cinco doses de N (0, 60, 100, 140 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro doses de S (0, 15, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup>). A adubação nitrogenada e sulfatada aumentou a produtividade de grãos de canola, sem alterar significativamente os teores de óleo e proteína bruta. Doses superiores a 140 kg ha<sup>-1</sup> de N e 15 kg ha<sup>-1</sup> de S proporcionaram produtividades de grãos acima de 1100 kg ha<sup>-1</sup>. Concentrações superiores a 52 g kg<sup>-1</sup> de N nas folhas proporcionaram produtividades de grãos superiores a 1000 kg ha<sup>-1</sup>. Os maiores teores de S foram observados na camada de 0,15-0,30 m, indicando mobilidade do ânion sulfato. As menores produtividades de grãos foram observadas quando os teores de S no solo nessa camada eram menores que 4 mg dm<sup>-3</sup>. Portanto, a diagnose foliar se mostrou eficiente na avaliação do estado nutricional das plantas em termos de N, ao passo que os teores de S na camada de 0,15-0,30 m em amostras de solo foram eficientes na avaliação da resposta da planta à adubação sulfatada.

Palavras-chave: *Brassica napus*, nitrogênio, enxofre, óleo, proteína, diagnose foliar.

## YIELD AND QUALITY OF CANOLA GRAINS AS AFFECTED BY NITROGEN AND SULPHATE FERTILIZATION

**SUMMARY** – The canola (*Brassica napus*, L.) was widely encouraged as an oil production crop at beginning of the 80's. The canola oil is considered a healthy food, and also utilized for biodiesel production. Besides, the canola can be considered a good option for the crop rotation system. The nitrogen is one of the most required nutrient by the plant for increase its production, while sulfur is essential to provide seed quality. This research was aimed to evaluate the effects of nitrogen and sulfur rates in productivity, S-SO<sub>4</sub> soil content, N and S leaf content, oil and crude protein content in canola grains. The experiment was conducted in Uberaba County, State of Minas Gerais, Brazil, at the experimental area of the Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM, in an Oxisol, in 2010. It was utilized the Hyola 401 hybrid in a randomized blocks design with four replicates and 20 treatments in a 5 x 4 factorial scheme, being five N rates (0, 60, 100, 140 and, 180 kg ha<sup>-1</sup>) and four S rates (0, 15, 30 and, 60 kg ha<sup>-1</sup>). The nitrogen and sulphate fertilization increased canola grain yield, without significantly change in oil and crude protein content. The rates higher than to 140 kg ha<sup>-1</sup> of N and 15 kg ha<sup>-1</sup> of S provided grain yield above 1,100 kg ha<sup>-1</sup>. Nitrogen concentrations higher than to 52 g kg<sup>-1</sup> in leaves provided grain yield higher than to 1,000 kg ha<sup>-1</sup>. The highest S content was observed at the 0.15-0.30 m layer, indicating the mobility of the sulfate anion. The lowest grain yield was observed when soil S content at this layer was lower than to 4 mg dm<sup>-3</sup>. Therefore, the foliar diagnosis has shown efficient to evaluate the plant N nutritional status, while S content at the 0.15-0.30 m layer in soil samples were efficient at the evaluation of the plant to the sulfur fertilization.

**Key-words:** *Brassica napus*, nitrogen, sulfur, oil, protein, foliar diagnosis.

## 1 INTRODUÇÃO

A canola (*Brassica napus*, L.) é principalmente cultivada na Europa, Ásia, América do Norte e Austrália, sendo normalmente empregada na produção de óleo comestível e biocombustível (ÖZTÜRK, 2010). Após a extração do óleo, o resíduo da semente, que é rico em proteína, pode ser utilizado na alimentação animal.

No Brasil, segundo TOMM (2007), a canola é cultivada principalmente nos Estados do Sul. Porém, existe grande interesse no seu cultivo na região Sudeste do Brasil devido a sua tolerância à seca e a possibilidade de utilizá-la em rotação com as culturas da soja, milho e feijão. Além disso, existe facilidade na adaptação do conjunto de máquinas, comumente utilizado no cultivo de cereais, para o seu plantio e colheita, associado ao fato que, como planta produtora de óleo, nessa região concentra-se grande parte das indústrias de beneficiamento, tanto para óleo comestível quanto para a produção de biodiesel.

De acordo com CHRISTEN (2001), a canola é considerada uma excelente cultura para rotação com cereais, existindo vários trabalhos que confirmam influência positiva sobre a produção de uma cultura subsequente. A sua inclusão no processo de rotação ajuda a interromper o ciclo de patógenos no solo (KIRKEGAARD et al., 1997), prevenindo um aumento de doenças nos cereais, proporcionando melhor controle das ervas daninhas, as quais se desenvolvem em função do uso contínuo de cereais (WALKER & BOOTH, 2001). O cultivo dessa *Brassica* pode, ainda, proporcionar melhoria da macroporosidade no subsolo causada pelo seu sistema radicular profundo (KIRKEGAARD et al., 1997).

Segundo DIAS (1992), a possibilidade de utilização do óleo de canola no Brasil pode representar aumento da disponibilidade interna de óleo e farelo, possibilitando a liberação de maior quantidade de soja para o mercado externo e como complemento do óleo diesel.

Portanto, para culturas recentemente introduzidas são necessárias pesquisas para se estabelecer apropriada tecnologia de produção para diferentes condições

ambientais. Dentro desse contexto, a exigência nutricional da cultura é considerada um dos fatores mais importantes, constituindo-se o N como o nutriente que mais promove o incremento na produtividade de grãos de canola (BRENNAN & BOLLAND, 2009). O excesso de N, entretanto, pode reduzir a produtividade e a qualidade dos grãos (JAN et al., 2010). Uma dose excessiva de N, ou a aplicação do mesmo em época inadequada, pode aumentar o N nos grãos, diminuindo o teor de óleo e seu valor comercial (AHMAD et al., 2007).

A canola é particularmente sensível à deficiência de S, a qual reduz a qualidade dos grãos (De PASCALE et al., 2008) e a produtividade (MALHI & GILL, 2006).

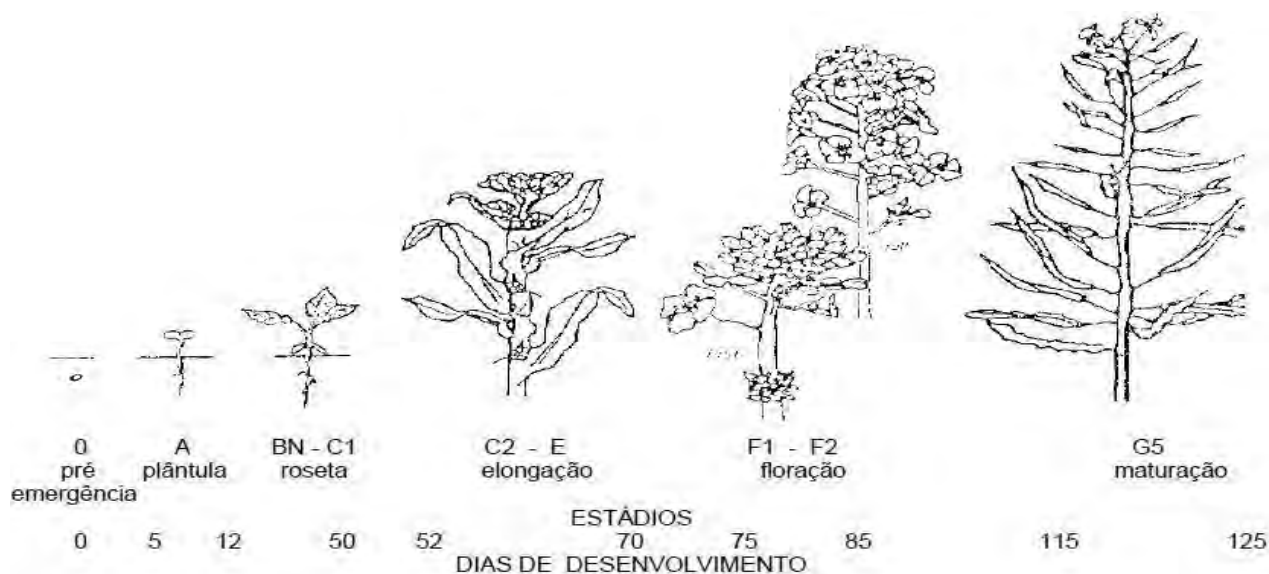
Por outro lado, a exigência em S e o metabolismo desse nutriente em plantas estão também relacionados à nutrição nitrogenada (REUVENY et al., 1980); o metabolismo do N é também fortemente afetado pela concentração de S na planta (JANZEN & BETTANY, 1984; DUKE & REISENAUER, 1986). Dentro desse contexto, FISMES et al. (2000), em condições de campo, verificaram que a deficiência de S em canola pode reduzir a eficiência de utilização do N e, ainda, que a carência de N pode também diminuir a eficiência de utilização do S.

Devido à carência de estudos sobre nutrição e adubação da canola e os solos da região do Cerrado serem de baixa fertilidade, o presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos da adubação com nitrogênio e enxofre na produtividade e nos teores de óleo e proteína bruta nos grãos. Procurou-se, ainda, relacionar com a produtividade de grãos os teores de S no solo e as concentrações de N e S na folha diagnóstica.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A cultura da canola

A canola é uma planta herbácea anual, com raiz pivotante e grande número de raízes secundárias fasciculadas. A haste é ereta, ascendente, ramificada, glabra, verde, variando de acordo com a espécie e, dependendo do meio onde se desenvolve, pode ser mais ou menos ramificada, podendo alcançar altura superior a 1,5 m na espécie *Brassica napus*, L. e até 1,0 m na espécie *Brassica campestris*, L. As folhas são glabras, mais ou menos recortadas, sendo as superiores cordiformes e as inferiores lobuladas e pecioladas, verde-azuladas a verde-claras, dependendo da espécie e variedade, apresentando disposição alternada no caule. A haste principal da planta de canola possui, em seu extremo, numerosas flores de pétalas amarelas, com 0,012 a 0,018 m de diâmetro. As flores são hermafroditas, agrupadas em racimos terminais, constando de quatro sépalas e quatro pétalas dispostas em cruz (CORDEIRO et al., 1999). A Figura 1 ilustra os estádios e dias de desenvolvimento da cultura.



**Figura 1.** Estádios e dias de desenvolvimento da cultura da canola.  
Fonte: THOMAS (1984) citado por MILLÉO & DONI FILHO (2001).



Segundo DIAS (1992), a história do seu cultivo não está bem esclarecida. Sabe-se que foi introduzida no Japão, pela China ou pela Península Coreana, há cerca de dois mil anos.

A canola é uma oleaginosa desenvolvida a partir do melhoramento genético da colza (*Brassica napus*, L. var. *oleifera* e/ou *Brassica campestris*, L. var. *oleifera*), sendo, portanto, uma crucífera (BAIER & ROMAN, 1992).

A utilização da canola se dá em razão de seus constituintes, principalmente lipídeos e proteína para a alimentação humana, óleo para uso industrial, adubo verde e forragem, além de seu potencial melífero (DIAS, 1992).

O óleo produzido é amarelo claro e sua composição varia de acordo com a variedade. O principal ácido gorduroso que entra em sua composição é o erúcico, cuja concentração será a responsável por determinar a utilização do produto final (HEMERLY, 1979).

Os grãos de canola atualmente produzidos no Brasil possuem em torno de 24 a 27% de proteína e, em média, 38% de óleo. Seu óleo é considerado um alimento saudável, pois apresenta elevada quantidade de ômega-3 (reduz triglicerídeos e controla arteriosclerose), vitamina E (antioxidante que reduz radicais livres), gorduras mono-insaturadas (que reduzem as gorduras de baixa densidade) e o menor teor de gordura saturada (atua no controle do colesterol de baixa densidade) de todos os óleos vegetais. Dos grãos de canola, além de óleo, usado para o consumo humano ou para a produção de biodiesel, se extrai o farelo, que possui de 34 a 38% de proteína, sendo excelente suplemento protéico na formulação de rações para bovinos, suínos, ovinos e aves (TOMM, 2007).

De acordo com CARRARO & BALBINO (1994), de 1987 a 1990, a maioria dos trabalhos de pesquisa com a cultura de colza foram desativados no Brasil. Em 1991, iniciou-se nova rede de pesquisa somente com avaliação de germoplasmas. Nessa oportunidade, foram introduzidos os híbridos de canola no Brasil. Além disso, a denominação canola foi liberada para substituir a denominação “colza” por todos os materiais criados fora do Canadá. Em nosso país, numerosos germoplasmas

anteriormente testados foram substituídos por novos materiais ou por germoplasmas re-selecionados.

Segundo ARANTES (1986), com base nos dados obtidos em experimento realizado em Uberaba, MG, a colza poderá constituir-se numa opção para o cultivo de inverno, sob irrigação, em Minas Gerais. A falta de adaptação apresentada pelas cultivares estudadas poderá ser solucionada por programa de melhoramento genético, envolvendo novas introduções e seleções locais. Portanto, segundo o autor, essa cultura deverá ser estudada em outras localidades de Minas Gerais, para obtenção de maiores informações sobre seu desempenho em diferentes ambientes.

CORDEIRO (1997), em avaliação de vários genótipos de canola durante dois anos agrícolas, observou que é viável a obtenção de características agrônômicas que favoreçam alta produtividade de grãos e sementes de alta qualidade sob irrigação em Viçosa, MG. Dentre o material testado, destacaram-se os híbridos “Hyola-401”, “Hyola-417” e “Iciola-41”, além das variedades “CTC-4” e “PFB-2”, com boas produtividades de grãos. Porém, os rendimentos encontrados pelo autor foram inferiores aos obtidos em Ponta Grossa, PR, e relatados por CARRARO & BALBINO (1994), com destaque para “Hyola-401” e “Iciola-41”. A variedade “CTC-4” alcançou boa produtividade em Paranapanema, SP, na mesma época. Em ambos os locais, os experimentos foram conduzidos em sequeiro.

De acordo com CORDEIRO et al. (1999), essa cultura é bastante atraente para os sistemas de cultivo que predominam no Brasil, principalmente na Região Sul, mas com potencial também para as Regiões Centro-Oeste e Sudeste. As qualidades dos produtos alimentícios oriundos da canola são de inegável valor, mas seu verdadeiro mérito agrícola está no fato da cultura ser uma crucífera, podendo, assim, ser utilizada nos esquemas de rotação, bem como proporcionar cobertura vegetal do solo no período de inverno. Tem papel importante, portanto, para auxiliar na utilização do sistema plantio direto na palha, que está em franca expansão por todo o território nacional.

## 2.2 Adubação com nitrogênio e enxofre

De acordo com EPSTEIN & BLOOM (2006), nenhuma deficiência é tão drástica em seus efeitos quanto a de N, cujas principais características são clorose generalizada, hábito estiolado e crescimento retardado e lento. Ainda, segundo os mesmos autores, as partes mais maduras da planta são as primeiras a se tornarem afetadas, pois o N transloca-se de regiões velhas para as mais jovens, que crescem ativamente.

De acordo com TROEH & THOMPSON (2007), são raros os solos que possuem N suficiente para o desenvolvimento das plantas. Em plantas em crescimento, a coloração verde pálida é o sintoma mais comum da deficiência de N. Devido a isso, as plantas respondem ao fertilizante nitrogenado, sendo o mais largamente aplicado nas culturas. Porém, o N, quando aplicado em excesso, afeta o crescimento vegetativo, fazendo com que a planta fique mais suculenta e com coloração verde escura, podendo prejudicar a produtividade em culturas de grãos.

Assim, o N é um dos nutrientes mais exigidos pela canola, constituindo-se também naquele que mais promove incrementos na produção da cultura. A canola necessita acumular entre 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup> de N para produzir 2500 kg ha<sup>-1</sup> de grãos (GRANT & BAILEY, 1993).

Comparada aos cereais, a canola requer uma quantidade maior de nutrientes, especialmente N. Neste sentido, HOCKING et al. (1997a) e BRENNAN & BOLLAND (2009) relataram, respectivamente, que a canola exige, aproximadamente, 25 e 40% mais N do que o trigo.

Segundo ÖZTÜRK (2010), a resposta na produtividade de grãos em função da adubação nitrogenada depende de várias variáveis ambientais, incluindo as condições climáticas, tipo de solo, fertilidade do solo, conteúdo de água e cultivar.

Os principais efeitos da adubação nitrogenada na cultura da canola têm sido associados ao aumento da área foliar (GAMMELVIND et al., 1996; LELEU et al., 2000; SVECNJAK & RENGEL, 2006), conteúdo de clorofila na folha (OGUNLELA et al., 1989) e número de vagens (GAMMELVIND et al., 1996; HOCKING et al., 1997a; LELEU et al.,

2000). Uma boa adubação nitrogenada conduz rápido desenvolvimento à área foliar, prolonga a vida das folhas e favorece a floração, contribuindo, assim, para o aumento da produtividade de grãos (WRIGHT et al., 1988).

O N ainda aumenta a produtividade de grãos devido influenciar nas variáveis de crescimento, tais como o número de ramos e de vagens por planta, grãos por vagem e massa de 1.000 grãos. ÖZTÜRK (2010), em estudo conduzido na Turquia durante dois anos, verificou que a aplicação de doses até 150 kg ha<sup>-1</sup> de N aumentaram significativamente a altura da planta, número de vagens por planta, massa de 1.000 grãos e produtividade de grãos.

Na Argentina, foi observado que a produtividade de grãos aumentou com 150 kg ha<sup>-1</sup> de N (SARANDON et al., 1996). SHEPPARDS & BATES (1980) verificaram aumento na produtividade aumentando-se as doses de N até 100 kg ha<sup>-1</sup>. Já IBRAHIM et al. (1989) verificaram que a produtividade aumentou com doses de N até 213 kg ha<sup>-1</sup>, enquanto que CHEEMA et al. (2001a) observaram que a máxima produtividade de grãos de canola foi encontrada utilizando-se a dose de 135 kg ha<sup>-1</sup> de N.

LAFOND & PAGEAU (2008), em experimento realizado em um Gleissolo húmico, observaram que a dose economicamente ótima, obtida por meio de equação de regressão, foi de 88 kg ha<sup>-1</sup> de N. Essa dose proporcionou incremento na produtividade de grãos, além de manter a quantidade de nitrato residual no solo, após a colheita da canola, inferior a 40 kg ha<sup>-1</sup>, ou seja, sem risco de lixiviação.

O excesso de N, entretanto, pode reduzir a produtividade e a qualidade dos grãos (CHEEMA et al., 2001b; LAANISTE et al., 2004). Uma dose excessiva de N, ou a aplicação do mesmo em época inadequada, pode aumentar o N nos grãos, diminuindo o teor de óleo e seu valor comercial (CHAMORRO et al., 2002).

JAN et al. (2010), em um solo de textura arenosa no Paquistão, observaram que os teores de proteína aumentaram significativamente até a dose de 160 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto que as concentrações de glucosinolatos foram aumentadas até 120 kg ha<sup>-1</sup> de N. Os autores verificaram, ainda, tendência na diminuição nos teores de óleo com o aumento das doses de N, concordando com MALIK et al. (2002). AHMAD et al. (2007),

em experimento realizado no mesmo país, também observaram que o teor de óleo diminuiu significativamente com doses crescentes de N.

ALI et al. (2003) observaram que o aumento das doses de N também aumentou o teor de proteína nos grãos. O máximo valor do teor de proteína foi encontrado com a aplicação da dose de 120 kg ha<sup>-1</sup> de N, enquanto que a dose de 90 kg ha<sup>-1</sup> de N proporcionou a maior produtividade de grãos e óleo.

RATHKE et al. (2005), em um solo arenoso, também observaram que altas doses de N causaram diminuição no teor de óleo, porém causaram efeitos positivos sobre a produtividade de grãos, armazenamento de CO<sub>2</sub> e teor de proteína nos grãos de canola.

HOCKING & STAPPER (2001), avaliando efeitos da época de semeadura, observaram que a semeadura tardia diminuiu em 40% a concentração de N na parte aérea das plantas de canola, diminuindo, nesse caso, o índice de eficiência dos fertilizantes nitrogenados. Nesse trabalho, a semeadura precoce foi essencial para alcançar eficiência na utilização de N, reduzir as perdas potenciais por lixiviação e desnitrificação e maximizar os retornos econômicos do fertilizante nitrogenado.

Além do N, o S é também um elemento essencial para o crescimento das plantas devido estar presente em compostos metabólicos importantes, tais como aminoácidos (metionina e cisteína), proteína e sulfolipídeos. A disponibilidade de S, entretanto, em muitas áreas, tem diminuído nos últimos anos, devido à utilização inadequada do solo, resultando na diminuição do teor de matéria orgânica. A exportação desse nutriente pelas colheitas e a utilização de fertilizantes “concentrados” sem S também têm contribuído para agravar os problemas nutricionais com esse macronutriente (SCHERER, 2001).

Levando-se em consideração a importância do S para as plantas, é necessária uma correta adubação sulfatada para evitar deficiências e/ou perdas por lixiviação. De acordo com ÖSTERHOLM & ASTRÖM (2004), as perdas de S por lixiviação são significativas e superiores às perdas por emissão de gases ou exportação pelas culturas. Devido a isso, ocorre redução da concentração de S no tecido das plantas (ERIKSEN et al., 2002). Segundo esses autores, a utilização de plantas com

capacidade elevada para absorção de S é importante para o processo de ciclagem desse elemento no solo, e contribui para diminuir a lixiviação e aumentar a disponibilidade de  $\text{SO}_4^{-2}$  para os cultivos subsequentes. Plantas de raízes agressivas e profundas também são importantes nesse processo de ciclagem de S no solo, pois disponibilizam para as culturas seguintes o S que até então estava em camadas mais profundas do solo.

Segundo SILVA et al. (2002), as plantas absorvem a maior parte do S via radicular. O transporte do S da solução do solo até o sistema radicular é feito principalmente por fluxo de massa, sendo que a maioria do S encontrado nas células é absorvida na forma de  $\text{SO}_4^{-2}$ .

A época ideal para a aplicação de S depende do tipo de fertilizante, da textura do solo e das condições de pluviometria. Os sulfatos são, em geral, muito solúveis em água e migram pelo perfil do solo em boas condições de umidade. Assim, aplicações de sulfatos a lanço, na superfície, ou incorporados, se tornam prontamente disponíveis para as plantas. Para a canola, as aplicações mais eficientes têm sido verificadas logo após o estágio de roseta, sem prejudicar a maturação ou a produtividade de grãos (GRANT & BAILEY, 1993).

De acordo com ZHAO et al. (2008), em estudo sobre a cultura da soja, o S é responsável por aumentar o número de raízes laterais, nódulos de raiz, conteúdo de clorofila nas folhas e a produtividade de grãos. Também, aumenta a quantidade de microorganismos no solo (bactérias, fungos e actinomicetos), atividade de catalase, urease, fosfatase neutra e polifenoloxidase em fase de crescimento. Com isso, o S aplicado é importante para promover o crescimento, rendimento e atividade microbiana no solo.

A probabilidade de resposta à adubação sulfatada é maior quando utilizadas culturas exigentes em S, como as brássicas (ex: canola). MALAVOLTA et al. (1984) observaram que as plantas de canola apresentaram aumento na produtividade de grãos quando adubadas com S desde os estágios iniciais até quase o fim do ciclo. Porém, as respostas variaram em função da época de aplicação e da dose utilizada. Esses

autores verificaram que a canola, no cerrado brasileiro, obteve resposta com aplicações de 60 kg ha<sup>-1</sup> de S.

ALVAREZ (2004), ao avaliar a produção de massa seca da parte aérea da canola em casa de vegetação, também encontrou resposta à adubação sulfatada, obtendo um teor crítico de 24,8 mg dm<sup>-3</sup>. Porém, o mesmo autor, em experimento de campo, em Argissolo Vermelho distrófico arênico, não obteve resposta para a canola, enquanto que o nabo forrageiro (*Raphanus sativus*, L.) respondeu ao S aplicado, chegando à máxima produção de massa seca com aplicação de 46,4 kg ha<sup>-1</sup>.

A canola, assim como a maioria das *Brassicaceae*, tem uma maior exigência em S do que outras espécies, tais como as gramíneas. Por exemplo, a produção de 1 t de grãos de canola requer, aproximadamente, 16 kg de S (Mc GRATH & ZHAO, 1996; BLAKE-KALFF et al., 2001), comparado com 2-3 kg para cada tonelada de grãos de trigo (ZHAO et al., 1999). De acordo com MILLÉO & DONI FILHO (2001), a demanda de S pela canola ocorre desde os estádios mais precoces até os mais avançados de desenvolvimento, ou seja, utilizado quase até o fim do ciclo, sendo as fases de floração e de formação de siliques e de grãos, as de maior demanda do nutriente.

Portanto, a canola é particularmente sensível à limitação ou deficiência de S, a qual reduz a qualidade dos grãos (ASARE & SCARISBRICK, 1995; De PASCALE et al., 2008) e a produtividade em aproximadamente 40% (SCHERER, 2001).

As folhas em desenvolvimento são as primeiras a mostrarem os sintomas de deficiência de S (BLAKE-KALFF et al., 1998). Em estágios de desenvolvimento mais tardios da canola, a carência de S pode levar a um crescimento mais lento e a planta apresentar menos folhas. As folhas jovens podem tornar-se cloróticas e apresentarem uma redução na atividade fotossintética. AHMAD & ABDIN (2000) demonstraram que uma adubação adequada com S aumentou os teores de rubisco, clorofila e proteína nas folhas superiores completamente expandidas de *Brassica juncea*, L. (mostarda) e *Brassica campestris*, L. Ainda, segundo os autores, isto implicou em uma superioridade na atividade fotossintética em comparação com as plantas que cresceram sem S.

MALIK et al. (2004), avaliando no Paquistão a influência de doses até 150 kg ha<sup>-1</sup> de S, observaram que a maior produtividade de grãos foi obtida com a dose de 100

kg ha<sup>-1</sup> desse nutriente. O teor de óleo aumentou progressivamente com o aumento das doses de S, obtendo valor máximo com a aplicação de 150 kg ha<sup>-1</sup>.

AHMAD et al. (2007), em um solo arenoso com 8,27 mg kg<sup>-1</sup> de S, também observaram que os teores de óleo e proteína responderam positivamente ao aumento da dose de S, assim como o conteúdo de glucosinolatos, que não é desejável.

Por outro lado, JAN et al. (2010), no Paquistão, em um solo com textura arenosa contendo 8,31 mg kg<sup>-1</sup> de S, utilizaram doses até 60 kg ha<sup>-1</sup> de S e observaram que os teores de óleo e proteína aumentaram significativamente até a dose de 40 kg ha<sup>-1</sup>. Houve, porém, aumento consistente na concentração de glucosinolatos utilizando-se a dose de 60 kg ha<sup>-1</sup> de S. No mesmo experimento, os autores estudaram épocas de aplicação (dose única na semeadura; metade da dose na semeadura e outra metade no estágio de roseta foliar; um terço da dose na semeadura, estágio de roseta foliar e florescimento precoce) e não verificaram influência significativa dessas épocas em todos os parâmetros qualitativos na cultura da canola.

Em experimento de campo durante quatro anos em um solo argiloso deficiente em S, MALHI (2005) observou que, na ausência da adubação com S, a produtividade de grãos, palha e absorção do referido nutriente foram muito baixos em plantas de canola que apresentaram deficiência. Por outro lado, houve aumento significativo na produtividade, no teor de óleo nos grãos e absorção de S com aplicação de fertilizante na dose de 10-20 kg ha<sup>-1</sup> de S em todos os anos.

Em três solos deficientes em S (teores de S nos três solos eram de 10; 9,4 e 8,2 mg kg<sup>-1</sup> na profundidade de 0-0,15 m), MALHI & GILL (2006), em estudo de campo durante três anos consecutivos, concluíram que o S contribuiu positivamente para o aumento na produtividade e qualidade de grãos de canola. Os autores, utilizando doses de até 15 kg ha<sup>-1</sup> de S, observaram que a dose de 10 kg ha<sup>-1</sup> proporcionou ótima produtividade. Porém, a qualidade dos grãos (óleo e proteína) e absorção de S responderam até a dose de 15 kg ha<sup>-1</sup> de S.

A exigência em S e o metabolismo desse nutriente em plantas estão relacionados à nutrição nitrogenada (REUVENY et al., 1980) e o metabolismo do N é também fortemente afetado pela concentração de S na planta (JANZEN & BETTANY,



1984; DUKE & REISENAUER, 1986). A deficiência de S tem causado diminuição na absorção de nitrato e na atividade da redutase de nitrato em milho e espinafre (FRIEDRICH & SCHRADER, 1978; PROSSER et al., 2001), provocando uma acumulação de nitrato em milho, trigo e canola (DIETZ, 1989; Mc GRATH & ZHAO, 1996; GILBERT et al., 1997). Recentemente, ABDALLAH et al. (2010), na presença de concentrações limitantes de S na solução nutritiva, não constataram alteração significativa na absorção de N pela canola.

Segundo EPSTEIN & BLOOM (2006), os sintomas de deficiência de S geralmente lembram os de deficiência em N, com plantas cloróticas e espigadas com baixo crescimento. Essa similaridade não é surpreendente, já que S e N são ambos constituintes de proteínas. A clorose causada pela deficiência de S, entretanto, geralmente surge inicialmente nas folhas jovens em vez de nas maduras, como na deficiência de N, pois, diferentemente do N, o S não é redirecionado para as folhas jovens na maioria das espécies. Entretanto, em muitas espécies de plantas, a clorose pode ocorrer simultaneamente em todas as folhas, ou mesmo inicialmente nas mais velhas.

FISMES et al. (2000), em condições de campo, verificaram que a deficiência de S em canola pode reduzir a eficiência de utilização do N (EUN: relação N na colheita/adubação nitrogenada) e que a deficiência de N também pode reduzir a eficiência de utilização do S (EUS).

ÖZTÜRK (2010), em experimento conduzido em solo com 3 mg kg<sup>-1</sup> de S, observou que o sulfato de amônio, além de proporcionar a maior produtividade de grãos, também proporcionou o maior teor de óleo nos grãos. Esse resultado foi atribuído à presença de S no fertilizante, uma vez que a concentração desse nutriente no solo era considerada baixa.

MALHI & GILL (2007), avaliando os efeitos interativos de N e S na cultura da canola em um luvisolo deficiente em S, observaram que, na ausência de S, o aumento da dose de N ocasionou sintomas mais severos de deficiência de S, reduções na produtividade de grãos e teor de óleo, porém não houve efeito no teor de proteína. As doses de N utilizadas foram 0, 50, 100 e 150 kg ha<sup>-1</sup> e as de S foram 0, 10, 20 e 30

kg ha<sup>-1</sup>. Quando o S foi aplicado, a produtividade de grãos de canola, a concentração de S e a absorção de N aumentaram com o aumento da dose de N. Porém, independentemente da dose de S, a adubação nitrogenada reduziu o teor de óleo e aumentou o teor de proteína nos grãos. Com isso, os autores concluíram que o uso de fertilizantes sulfatados foi fundamental para obter uma resposta positiva da canola à adubação nitrogenada em relação à produtividade, concentração de S e óleo nos grãos, e evitar os efeitos negativos da adubação em solos deficientes em S. A resposta da canola à aplicação de S foi, em geral, maior em altas doses de N.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado na área experimental do Instituto Federal do Triângulo Mineiro – IFTM, Campus de Uberaba, Minas Gerais, situada a 19°39'23" S e 47°57'29" W, a 798 metros de altitude. A região apresenta clima tropical semi-úmido e precipitação pluviométrica anual média de 1.684,6 mm. A temperatura média da região é de 21,4°C, apresentando nos meses mais quentes média de 23,2°C, e nos mais frios média de 19,4°C. A umidade média relativa do ar é de 71,4%.

A precipitação e a temperatura média mensal durante o período experimental são apresentadas na Tabela 1 – dados obtidos na Estação Climatológica Principal de Uberaba – EPAMIG/INMET (2010).

**Tabela 1.** Precipitação e temperatura média mensal durante o período experimental – ano de 2010.

Meses	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Precipitação (mm)	6,18	0,00	0,00	67,61	178,13	297,91	205,61
Temperatura média (°C)	20,4	22,3	22,2	24,8	24,6	26,0	27,3

Fonte: Estação Climatológica Principal de Uberaba – EPAMIG/INMET (2010).

A área experimental apresenta relevo suave e solo classificado, segundo critérios de EMBRAPA (2006), como Latossolo Vermelho distrófico textura média. Os atributos químicos do solo, determinados segundo RAIJ et al. (2001), encontram-se na Tabela 2.

**Tabela 2.** Análise química para fins de fertilidade do solo na camada de 0 a 0,20 m.

pH CaCl <sub>2</sub>	M.O. g dm <sup>-3</sup>	P Resina mg dm <sup>-3</sup>	K	Ca	Mg	H+Al	CTC	V	S-SO <sub>4</sub>
			-----		mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	-----		%	mg dm <sup>-3</sup>
4,7	12	30	0,9	13	4	31	48,9	37	2

Com o objetivo de elevar a saturação por bases a 70%, foram aplicadas, 60 dias antes da semeadura, 1,9 t ha<sup>-1</sup> de calcário (PRNT = 85,08%; PN = 99,87%; CaO =

36,40%; MgO = 14,00%). O material corretivo da acidez foi incorporado, por meio de aração e gradagem, até a profundidade de 0,20 m, no dia 29/06/2010.

Foi utilizado o híbrido Hyola 401 que, segundo TOMM (2007), é utilizado com sucesso em vários países devido à elevada estabilidade de rendimento em ambientes muito diversos (América do Norte, Oriente Médio, Ásia e América do Sul), sendo o mais precoce utilizado no Brasil. Possui as seguintes características: início da floração (44 a 74 dias), floração (dura de 19 a 33 dias), emergência até a colheita (107 a 135 dias), altura de plantas (0,86 a 1,26 m). O autor afirma que essa altura de plantas, aliada à arquitetura compacta, proporciona resistência ao acamamento, permite colheita rápida e passagem de menor quantidade de palha através da colhedora.

A semeadura foi realizada no dia 28/08/2010. As sementes de canola foram distribuídas visando obter, aproximadamente, uma população final de 300.000 plantas por hectare, a uma profundidade de 0,02 a 0,03 m. Devido à utilização de excesso de sementes, após 12 dias da emergência das plântulas, foi realizado desbaste para proporcionar a população de plantas mencionada.

Utilizou-se o delineamento em blocos ao acaso, com quatro repetições e 20 tratamentos em esquema fatorial 5 x 4 (cinco doses de N: 0, 60, 100, 140 e 180 kg ha<sup>-1</sup>; quatro doses de S: 0, 15, 30 e 60 kg ha<sup>-1</sup>). As parcelas foram compostas por cinco linhas de cinco metros de comprimento, espaçadas de 0,45 m entre si, com área total de 11,25 m<sup>2</sup> e área útil constituída pelas três linhas centrais (6,75 m<sup>2</sup>). As unidades experimentais foram separadas por carreadores de 1,0 m de comprimento.

As doses de N (fonte: uréia) foram parceladas da seguinte maneira: 20 kg ha<sup>-1</sup> de N na semeadura (exceto no tratamento sem N), e o restante da dose aplicada em cobertura quando as plântulas apresentavam quatro folhas completas, correspondendo a 30 dias após a semeadura, no dia 24/09/2010.

As doses de S foram aplicadas utilizando-se como fonte o superfosfato simples. Esse fertilizante atuou também como fonte de fósforo, sendo que o que faltou para integralizar a dose desse nutriente (100 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) foi complementado com superfosfato triplo. No tratamento sem S, foi utilizado como fonte de fósforo o superfosfato triplo.

Todos os tratamentos receberam, além do fósforo, adubação constante com  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de  $\text{K}_2\text{O}$  (fonte: cloreto de potássio). A adubação com uréia, superfosfato simples, superfosfato triplo e cloreto de potássio foi realizada a lanço, com posterior incorporação com grade, três dias antes da semeadura.

Para avaliação das concentrações de N e de S, foi coletada, de 30 plantas por parcela, no início do florescimento (43 dias após a emergência das plântulas), a folha mais recentemente desenvolvida, correspondendo à segunda folha expandida a partir da inflorescência (Figura 2). Na mesma época, foi realizada amostragem de solo para determinar as concentrações de S- $\text{SO}_4$  em duas profundidades (0-0,15 e 0,15-0,30 m). Em cada parcela, foi feita uma amostra composta constituída pela mistura de 12 amostras simples nas entrelinhas para cada profundidade, usando trado holandês. As coletas (folhas e solo) foram realizadas nos dias 19 e 20/10/2010 e enviadas imediatamente ao laboratório.



**Figura 2.** Folha utilizada para diagnose foliar.

Foi feito controle químico contra insetos, *Metopolophium dirhodum* (pulgão) e *Spodoptera frugiperda* (lagarta-do-cartucho), a base de endosulfan (437,5 g ha<sup>-1</sup> de i.a.). O controle das plantas daninhas foi realizado por meio de capina manual. Não foi observado dano proveniente da ação de doenças.

No dia 22/12/2010, na área útil de cada parcela, efetuou-se a colheita utilizando-se o sistema de corte e enleiramento. As plantas foram colhidas inteiras, cortando-se as raízes no campo, enleiradas e colocadas para secar em casa de vegetação durante cinco dias. Logo após, procedeu-se, manualmente, a trilhagem.

A produtividade de grãos foi avaliada colhendo-se as plantas da área útil de cada parcela. Visando ajustar a produtividade de grãos a 9% de umidade, subamostras foram secadas a 105°C para determinação da umidade. Determinou-se, também, a massa de 1.000 grãos em cada parcela.

Outra subamostra de grãos (de cada parcela) foi secada a 65-70°C com objetivo de se determinar o teor de óleo. Foi determinada, também, a concentração de N total nos grãos, expresso em g de N kg<sup>-1</sup> de massa seca, multiplicado por 0,625, visando estimar o teor de proteína bruta.

Para avaliação do teor de óleo foi utilizado extrator de Soxhlet, conforme recomendação de SILVA & QUEIROZ (2002).

As análises químicas das folhas e dos grãos (concentrações de N e de S) foram realizadas empregando-se metodologia descrita por BATAGLIA et al. (1983). Para isso, as folhas foram lavadas em água corrente e mergulhadas em solução com água deionizada, em ácido clorídrico e novamente em água deionizada. Após a remoção do excesso de água com papel toalha, as amostras foram colocadas em sacos de papel devidamente identificadas e levadas para secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 65°C, até atingirem massa constante. Em seguida, cada amostra foi submetida à moagem em moinho tipo Willey. Para análise de S no solo, a metodologia utilizada foi a descrita por CANTARELLA & PROCHNOW (2001). As amostras de solo foram peneiradas e colocadas para secar a sombra.

Durante o período experimental, foi realizada irrigação utilizando-se de um sistema autopropelido tipo canhão. A evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) foi estimada

conforme proposição de ALLEN et al. (2006), isto é, considerou-se o produto da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) pelo coeficiente da cultura ( $K_c$ ). Segundo esses autores, o coeficiente da cultura da canola varia com o seu desenvolvimento sendo: inicial (0,35), até 40 dias após emergência (DAE); médio (1,15), até 80 DAE; final (0,35), até próximo à colheita. A evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) foi estimada utilizando-se de dados obtidos por um tanque evaporímetro, denominado Tanque Classe A, em função de suas características ( $K_p$ ), segundo DOORENBOS & PRUITT (1977).

As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o pacote estatístico AgroEstat do Departamento de Ciências Exatas da FCAV-UNESP/Jaboticabal, SP (BARBOSA & MALDONADO JÚNIOR, 2011). Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, quando constatadas diferenças significativas (5% ou 1% de probabilidade), realizou-se estudos de regressão. Para produtividade de grãos ajustou-se uma superfície de resposta polinomial de segunda ordem, considerando-se como variável dependente a produtividade de grãos e como variáveis independentes, os componentes lineares e quadráticos assim como as interações entre as doses de N e S, utilizando-se o programa Statistica versão 10.0.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações de N e S nas folhas em função das doses de N e S podem ser verificadas na Tabela 3.

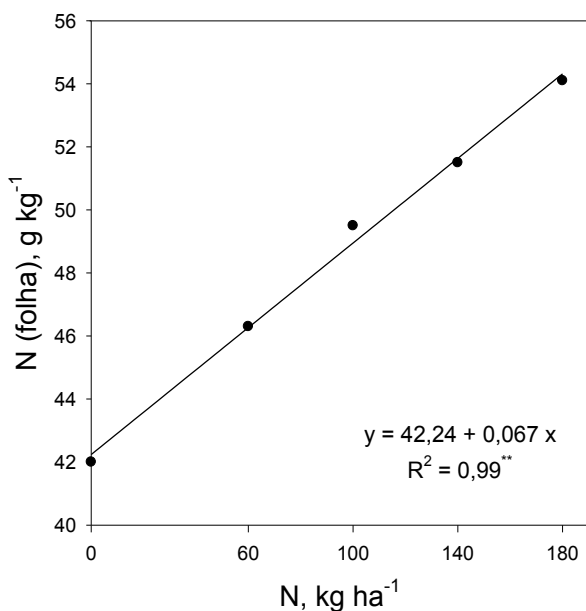
**Tabela 3.** Concentrações de N e S na folha diagnóstica em função das doses de N e S.

Causas da Variação	Folha	
	N	S
	g kg <sup>-1</sup>	
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	42,0	7,6
60	46,3	7,2
100	49,5	7,0
140	51,5	6,6
180	54,1	6,6
Teste F	33,65 <sup>**</sup>	16,74 <sup>**</sup>
Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	48,7	6,9
15	48,5	6,9
30	48,3	7,0
60	49,1	7,3
Teste F	0,25 <sup>NS</sup>	3,54 <sup>*</sup>
Interação N x S		
Teste F	0,27 <sup>NS</sup>	0,54 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	6,65	6,08

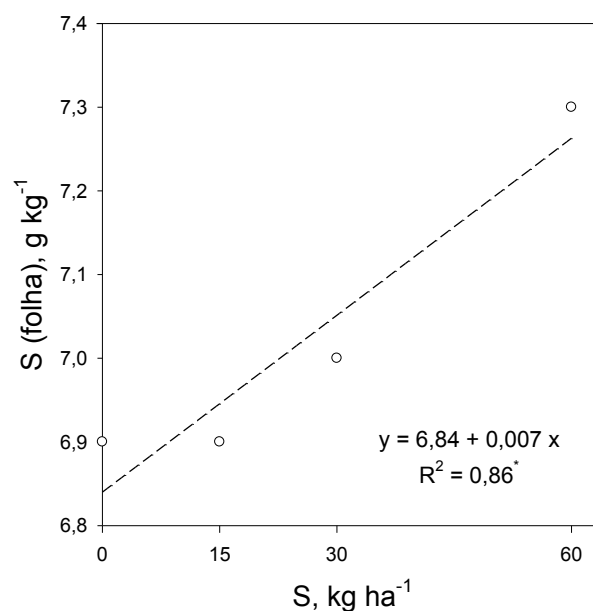
NS: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; \*: significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; C.V.: Coeficiente de Variação.

Verifica-se na Figura 3 que doses crescentes de N aumentaram a concentração desse nutriente nas folhas. Também, a concentração de S nas folhas aumentou com o incremento nas doses de S (Figura 4).





**Figura 3.** N na folha diagnóstica em função da adubação nitrogenada.



**Figura 4.** S na folha diagnóstica em função da adubação sulfatada.

Na ausência da adubação nitrogenada, as concentrações de N nas folhas eram próximas a 42 g kg<sup>-1</sup>, podendo ser consideradas como deficientes para a cultura da canola. Na ausência desse nutriente, as folhas mais velhas eram cloróticas, as plantas eram menores e visivelmente apresentavam menores quantidades de ramos e de vagens, caracterizando sintomas clássicos de carência de N. Não foram verificados sintomas visuais de deficiência de S nas plantas.

Também, na ausência de N, as concentrações de S nas folhas foram significativamente maiores (Tabela 3). Isso pode ser atribuído ao efeito de concentração em função do menor desenvolvimento das plantas sem N na adubação.

É importante mencionar ainda que o procedimento adotado para fins de diagnose foliar (época e folha amostrada) foi adequado, tendo-se em vista as relações significativas observadas entre as doses de N e S e as concentrações desses nutrientes nas folhas.

HOCKING et al. (1997b), utilizando a folha mais jovem da planta de canola, amostrada quando as plantas apresentavam 50% de florescimento, também verificaram

aumento na concentração de N com a adubação nitrogenada com as concentrações desse nutriente variando de 40 a 60 g kg<sup>-1</sup>, valores estes próximos aos encontrados no presente trabalho.

Por outro lado, sabe-se que os metabolismos do N e do S estão diretamente relacionados, sendo que a deficiência de um deles pode afetar a via de assimilação do outro (KOPRIVOVA et al., 2000). Neste sentido, FISMES et al. (2000) verificaram que a deficiência de N em canola reduziu a eficiência de utilização do S.

No presente trabalho isso não foi constatado, uma vez que sintomas de carência de N foram verificados somente nas plantas que não receberam N, mas o fornecimento desse nutriente não afetou a assimilação de S, visto que não houve interação significativa entre as doses de N e S em relação à concentração de N e S nas folhas.

Na Tabela 4 constam os teores de S no solo em função das doses de N e S.

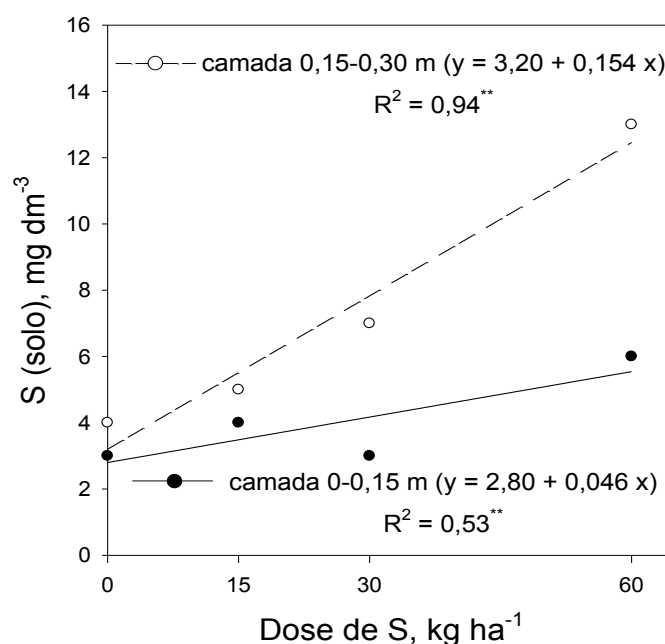
**Tabela 4.** Teores de S no solo em função das doses de N e S.

Causas da Variação	Solo	
	S-SO <sub>4</sub> (0-0,15 m)	S-SO <sub>4</sub> (0,15-0,30 m)
	mg dm <sup>-3</sup>	
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	4	7
60	3	7
100	4	6
140	4	7
180	4	7
Teste F	1,75 <sup>NS</sup>	0,20 <sup>NS</sup>
Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	3	4
15	4	5
30	3	7
60	6	13
Teste F	11,79 <sup>**</sup>	28,36 <sup>**</sup>
Interação N x S		
Teste F	0,52 <sup>NS</sup>	0,30 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	39,90	48,63

NS: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; C.V.: Coeficiente de Variação.

No solo, a adubação com S aumentou os teores desse nutriente tanto na camada de 0-0,15 m quanto na de 0,15-0,30 m. Não houve interação significativa entre as doses de N e S em relação aos teores de S no solo nas camadas de 0-0,15 m e de 0,15-0,30 m. Nota-se na Figura 5 que os maiores teores de S foram observados na camada de 0,15-0,30 m, indicando mobilidade do ânion sulfato.

ERIKSEN et al. (2002) relataram que as perdas por lixiviação podem ocasionar a redução na concentração de S no tecido das culturas, o que não foi verificado no presente trabalho. ÖSTERHOLM & ASTRÖM (2004), em trabalhos realizados na Finlândia, reforçam a importância da lixiviação no processo de perdas de S do solo, explicando que as perdas por emissão de gases ou exportação pelas culturas são insignificantes quando comparadas com as perdas por lixiviação.



**Figura 5.** S no solo nas camadas de 0-0,15 m e 0,15-0,30 m em função da adubação sulfatada.

Em relação à produtividade de grãos, houve interação significativa (Tabela 5) entre as doses de N e S, concordando com FISMES et al. (2000), MALHI (2005) e MALHI & GILL (2007), que também verificaram interação entre esses nutrientes,

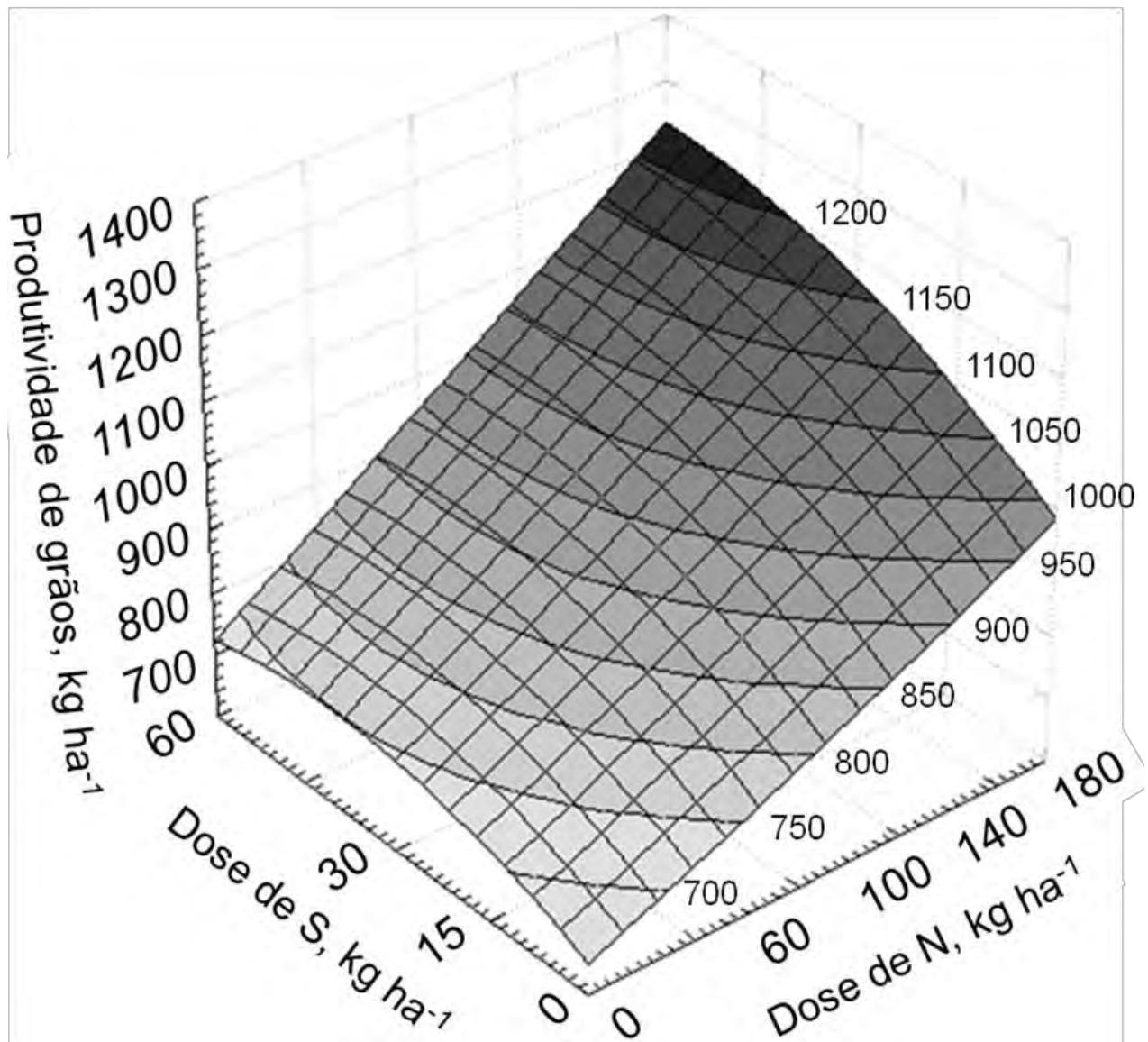
afirmando que a deficiência de S em canola pode reduzir a eficiência de utilização do N e, ainda, que a deficiência de N pode também reduzir a eficiência de utilização do S, interferindo negativamente na produtividade de grãos.

**Tabela 5.** Produtividade de grãos em função das doses de N e S.

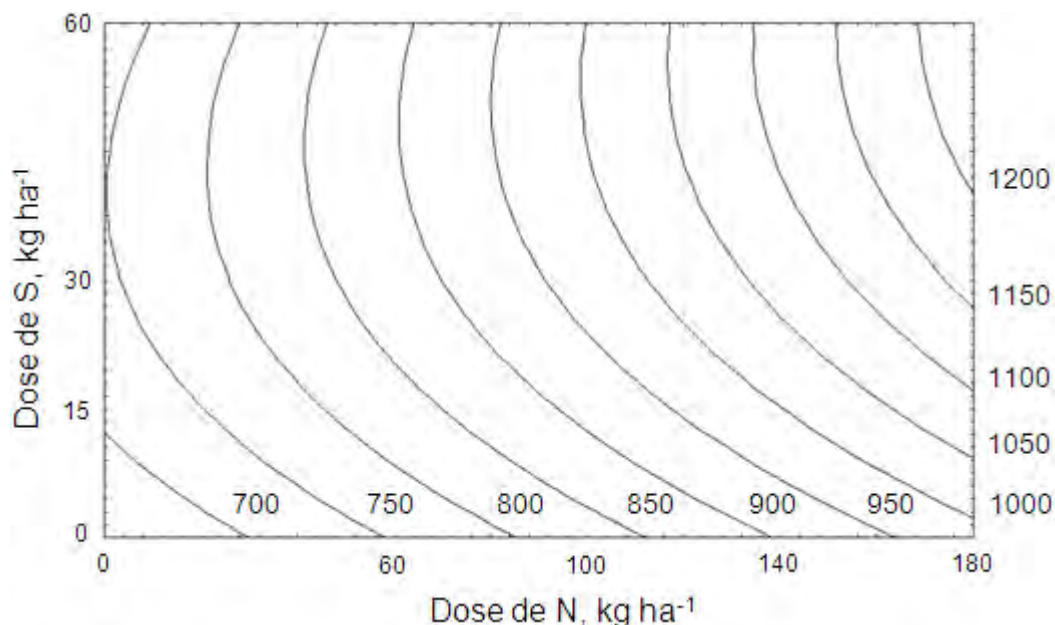
<b>Causas da Variação</b>	<b>Produtividade de grãos (kg ha<sup>-1</sup>)</b>
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	
0	709
60	810
100	987
140	972
180	1132
Teste F	39,10**
Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )	
0	831
15	888
30	979
60	990
Teste F	10,48**
Interação N x S	
Teste F	5,09**
C.V. (%)	11,43

\*\* : significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; C.V.: Coeficiente de Variação.

Em função disso, observa-se na Figura 6 a resposta da canola à adubação com N e S por meio de uma superfície de resposta polinomial de segunda ordem. A Figura 7 apresenta as combinações das doses de N e S que induzem a uma mesma produtividade (isolinhas) e representa cortes realizados na Figura 6 nas produtividades esperadas. Verifica-se que houve incrementos na produtividade de grãos na medida em que foram aumentadas as doses de N e S.



**Figura 6.** Produtividade de grãos em função da adubação nitrogenada e sulfatada.



$$\text{Produtividade de grãos (kg ha}^{-1}\text{)} = 648,358 + 1,709 N + 5,011 S + 0,000826 N^2 + 0,016222 N \times S - 0,062370 S^2$$

$$R^2 = 0,72^{**}$$

**Figura 7.** Isolinhas de produtividade de grãos em função da adubação nitrogenada e sulfatada.

Nota-se que para produtividades de grãos mais elevadas do que 1100 kg ha<sup>-1</sup> foram necessárias doses superiores a 140 kg ha<sup>-1</sup> de N e 15 kg ha<sup>-1</sup> de S.

Alguns trabalhos relatam que, em termos de produtividade de grãos de canola, a exigência de S tende a aumentar com o incremento da quantidade de N aplicado (MALHI, 2005; MALHI & GILL, 2006; AHMAD et al., 2007). RUBIO et al. (2007) observaram baixo incremento na produtividade de grãos em aplicações isoladas de N e S. Porém, a adição simultânea de ambos os nutrientes ocasionou aumento de 56% na produtividade, ressaltando a importância do S juntamente à adubação nitrogenada, conforme observado no presente trabalho.

Na Turquia, ÖZTÜRK (2010) verificou que a produtividade de grãos aumentou até a dose de 150 kg ha<sup>-1</sup> de N, porém sendo superior ao presente trabalho, com 3165 kg ha<sup>-1</sup>. Já IBRAHIM et al. (1989) verificaram que a produtividade aumentou com doses de N de até 213 kg ha<sup>-1</sup>. No entanto, alguns autores observaram redução na

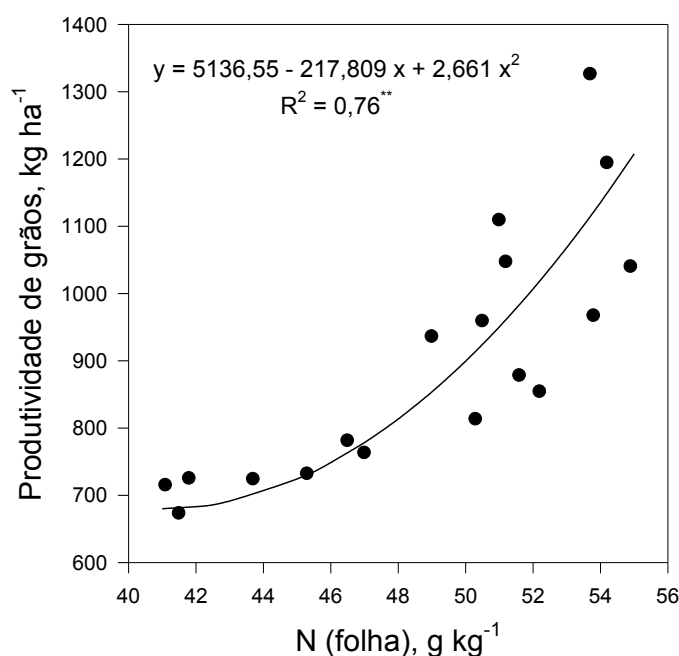
produtividade ao se utilizar doses acima de  $120 \text{ kg ha}^{-1}$  de N (HOCKING et al., 1997a; CHEEMA et al., 2001b, JAN et al., 2010).

Portanto, o N pode ser considerado como um dos nutrientes mais importantes para o incremento na produtividade de grãos de canola (GRANT & BAILEY, 1993; KUMAR et al., 2001; BRENNAN & BOLLAND, 2009), podendo favorecer o desenvolvimento da área foliar, prolongando a vida das folhas, beneficiando a floração (WRIGHT et al., 1988) e aumentando o número de vagens (GAMMELVIND et al., 1996; LELEU et al., 2000).

Segundo EPSTEIN & BLOOM (2006), a interação NxS deve ser levada em consideração nas recomendações de adubação. A utilização de fórmulas de adubo concentradas, sem S, pode ocasionar um baixo aproveitamento do N. Boa parte do N nas plantas está na forma de proteínas. O S é constituinte de dois aminoácidos (cisteína e metionina). A sua deficiência ocasiona a diminuição da produção desses aminoácidos e as proteínas que os contêm não podem ser formadas. Devido a isso, plantas insuficientemente supridas com S não conseguem assimilar o N em proteínas e o N se acumula na forma de aminas, amidas e aminoácidos solúveis. Assim, a importância do equilíbrio entre as concentrações de N e S no solo e na planta é refletida no crescimento e no estado nutricional, ou seja, doses mais altas de um desses elementos podem levar à menor disponibilidade do outro elemento para as plantas, prejudicando o rendimento da cultura.

De acordo com MALHI & GILL (2007), o uso de fertilizantes sulfatados é fundamental para obter resposta positiva da canola à adubação nitrogenada em relação à produtividade, concentração de S, óleo e proteína nos grãos. A resposta da aplicação de S em canola, segundo os autores, é em altas doses de N. Os mesmos afirmam que, considerando a alta exigência de S pela canola, quando utilizado solo deficiente desse nutriente, pode-se esperar resposta à fertilização sulfatada. Devido a isso, considera-se importante o planejamento da adubação sulfatada no momento do plantio, pois a exigência de S para produtividade de grãos e melhor qualidade tende a aumentar com o incremento das doses de N (MALHI, 2005).

Verifica-se na Figura 8 que a produtividade de grãos relacionou-se significativamente com as concentrações de N nas folhas. Nota-se que produtividades superiores a 1000 kg ha<sup>-1</sup> estiveram associadas a concentrações de N nas folhas superiores a 52 g kg<sup>-1</sup>.



**Figura 8.** Produtividade de grãos em função das concentrações de N nas folhas.

Também, o N pode proporcionar aumento nos números de ramos por planta e de grãos por vagem, além de aumentar a massa de 1.000 grãos (ÖZTÜRK, 2010), conforme verificado no presente trabalho, resultando em maiores produtividades.



Observa-se na Tabela 6 a massa de 1.000 grãos em função das doses de N e S.

**Tabela 6.** Massa de 1.000 grãos em função das doses de N e S.

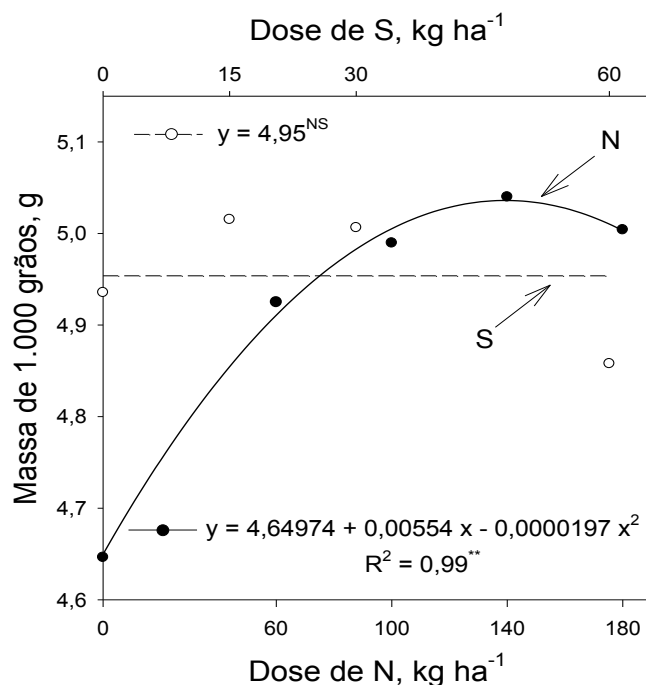
<b>Causas da Variação</b>	<b>Massa de 1.000 grãos (g)</b>
Doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	
0	4,646
60	4,925
100	5,153
140	5,040
180	5,000
Teste F	5,11 <sup>**</sup>
Doses de S ( $\text{kg ha}^{-1}$ )	
0	4,936
15	5,015
30	5,006
60	4,858
Teste F	0,94 <sup>NS</sup>
Interação N x S	
Teste F	1,03 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	6,81

NS: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; \*\*: significativo a 1% de probabilidade pelo teste F; C.V.: Coeficiente de Variação.

Observa-se na Figura 9 que apenas o N (doses até  $140 \text{ kg ha}^{-1}$ ) proporcionou incremento na massa de 1.000 grãos, corroborando resultados obtidos por ÖZTÜRK (2010).

Não foi verificada interação significativa entre as doses de N e S em relação à massa de 1.000 grãos. Possivelmente, o S foi importante para aumentar a quantidade de grãos, enquanto que o N, além da quantidade, deve ter aumentado o tamanho e a massa do grão. No entanto, deve-se considerar que o S, também, é um elemento importante para o crescimento das plantas por estar presente em vários compostos metabólicos (SCHERER, 2001) contribuindo, também, para aumentar o sistema radicular, conteúdo de clorofila nas folhas e a produtividade de grãos (ZHAO et al., 2008). SCHERER (2001) relatou que a canola é sensível à limitação ou deficiência de S, a qual reduz a produtividade de grãos em aproximadamente 40%.

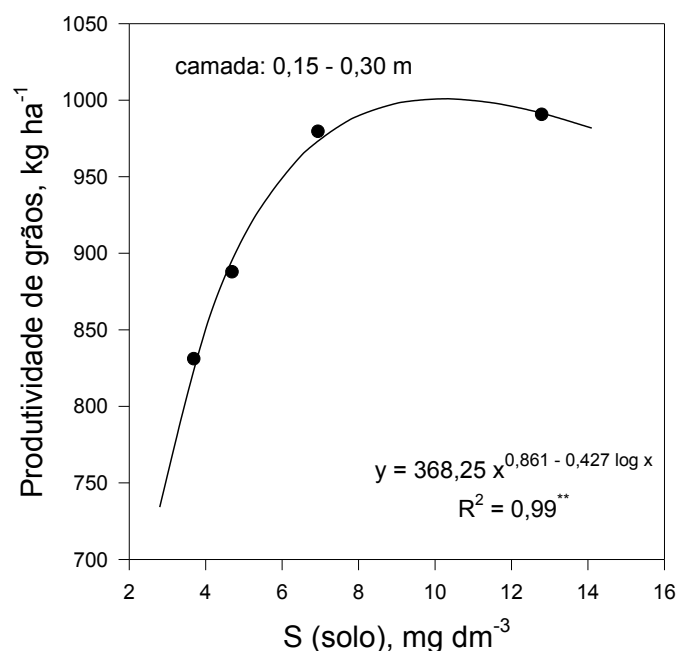
MALHI et al. (2005) observaram que a aplicação de 15 a 30 kg ha<sup>-1</sup> de S na maioria dos solos deficientes é suficiente para otimizar a produtividade de grãos de canola, conforme observado no presente trabalho.



**Figura 9.** Massa de 1.000 grãos em função da adubação nitrogenada e sulfatada.

Conforme relatado anteriormente, o S aplicado migrou em maior quantidade para a camada de 0,15-0,30 m, sendo esse comportamento de grande importância prática para uma correta amostragem de solo para fins de diagnóstico da disponibilidade de S e recomendação de adubação sulfatada. Nesse sentido, no Estado de São Paulo, RAIJ et al. (1996) recomendam a análise de amostras de subsolo para avaliar a disponibilidade de S, pois o sulfato tende a acumular no subsolo.

Apesar das controvérsias sobre a interpretação dos níveis de suficiência de S no solo (RHEINHEIMER et al., 2005), parece que as faixas de concentração sugeridas por RAIJ et al. (1996) foram adequadas para a cultura da canola. Nota-se na Figura 10 que baixas produtividades de grãos foram obtidas quando os teores de S no solo (camada de 0,15-0,30 m) eram baixos ( $< 4 \text{ mg dm}^{-3}$ ).



**Figura 10.** Produtividade de grãos em função dos teores de S no solo.

Quando avaliados os teores de óleo e proteína nos grãos, verificou-se que não houve diferença significativa entre as doses de N e S, conforme Tabela 7.

No entanto, é controvertida a influência da adição de N e S nos teores de óleo e proteína nos grãos de canola. Ao contrário do presente trabalho, alguns autores verificaram incrementos significativos das doses desses nutrientes nos teores de óleo e proteína nos grãos de canola.

Mc GRATH & ZHAO (1996), MALIK et al. (2002), RATHKE et al. (2005), AHMAD et al. (2007) e JAN et al. (2010) verificaram tendência na diminuição do teor de óleo com a utilização de doses de N acima de 80 kg ha<sup>-1</sup>. CHEEMA et al. (2001b) e RATHKE et al. (2005) relataram que essa diminuição pode ser devida à menor disponibilidade de carboidratos para a síntese de óleo quando na presença de altas doses de N. Segundo KHAN et al (2002), essa diminuição ocorre pois há relação inversa entre os teores de óleo e proteína nos grãos, ou seja, altas doses de N aumentam o teor de proteína e consequentemente ocasionam a diminuição no teor de óleo. ALI et al. (2003), RATHKE

et al. (2005) e JAN et al. (2010) também verificaram que o aumento das doses de N aumenta o teor de proteína nos grãos.

Em relação ao S, alguns autores verificaram que doses crescentes aumentam progressivamente os teores de óleo e proteína, sendo considerado um nutriente importante na qualidade, além de desempenhar importante papel na composição química dos grãos (KHAN et al., 2002; MALIK et al., 2004; MALHI, 2005; MALHI & GILL, 2006; AHMAD et al., 2007).

**Tabela 7.** Teores de óleo e proteína bruta nos grãos em função das doses de N e S.

<b>Causas da Variação</b>	<b>Óleo</b>	<b>Proteína Bruta</b>
Doses de N (kg ha <sup>-1</sup> )	----- % -----	-----
0	31,7	27,8
60	32,8	28,7
100	32,5	27,8
140	32,2	26,9
180	31,7	27,7
Teste F	0,78 <sup>NS</sup>	0,60 <sup>NS</sup>
Doses de S (kg ha <sup>-1</sup> )		
0	32,0	27,4
15	31,7	28,8
30	33,1	27,3
60	31,8	27,7
Teste F	1,80 <sup>NS</sup>	0,89 <sup>NS</sup>
Interação N x S		
Teste F	1,04 <sup>NS</sup>	0,72 <sup>NS</sup>
C.V. (%)	6,84	11,57

NS: não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F; C.V.: Coeficiente de Variação.

No presente trabalho foram encontrados teores de óleo entre 31,7 e 33,1% e teores de proteína entre 26,9 e 28,8%, próximos aos observados no Brasil por TOMM (2007). Assim, embora na literatura consultada tenham sido encontrados alguns trabalhos relatando incrementos significativos do N e do S nos teores de óleo e proteína, uma possível justificativa para a ausência de resposta significativa à adubação nitrogenada e sulfatada pode ser devida à característica genética do híbrido utilizado.

## 5 CONCLUSÕES

- ✓ A adição de N e de S aumentou a produtividade de grãos de canola, sem alterar significativamente os teores de óleo e proteína bruta;
- ✓ Doses superiores a  $140 \text{ kg ha}^{-1}$  de N e  $15 \text{ kg ha}^{-1}$  de S foram necessárias para produtividades de grãos acima de  $1100 \text{ kg ha}^{-1}$ ;
- ✓ A diagnose foliar foi eficiente na avaliação do estado nutricional das plantas em termos de N, ao passo que os teores de S-SO<sub>4</sub> na camada de 0,15-0,30 m em amostras de solo foram eficientes na avaliação da resposta da planta à adição de S.

## 6 REFERÊNCIAS

ABDALLAH, M.; DUBOUSSET, L.; MEURIOT, F.; ETIENNE, P.; AVICE, J.C.; OURRY, A. Effect of mineral sulphur availability on nitrogen and sulphur uptake and remobilization during the vegetative growth of *Brassica napus* L. **Journal of Experimental Botany**, v.61, p.2635-2646, 2010.

AHMAD, A.; ABDIN, M.Z. Interactive effect of sulphur and nitrogen on the oil and protein contents and on the fatty acids profiles of oil in the seeds of rapeseed (*Brassica campestris* L.) and the mustard (*Brassica juncea* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.185, p.49-54, 2000.

AHMAD, G.; JAN, A.; ARIF, M.; JAN, M.T.; KHATTAK, R.A. Influence of nitrogen and sulfur fertilization on quality of canola (*Brassica napus* L.) under rainfed conditions. **Journal of Zhejiang University Science B**, v.8, p.731-737, 2007.

ALI, A.; MUNIR, M.K.; MALIK, M.A.; SALEEM, M.F. Effect of different irrigation and nitrogen levels on the seed and oil yield of canola (*Brassica napus* L.). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v.40, p.137-139, 2003.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA: Roma, 2006. 298p. (ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE, 56).

ALVAREZ, J.W.R. **Disponibilidade e resposta de culturas ao enxofre em solos do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2004. 84f. (Dissertação de Mestrado em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria).

ARANTES, N.E. **Estudos preliminares sobre o comportamento da colza em Uberaba, Minas Gerais**. Belo Horizonte: EPAMIG, 1986. 2p. (Pesquisando, 163).

ASARE, E.; SCARISBRICK, D.H. Rate of nitrogen and sulphur fertilizers on yield, yield components and seed quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Field Crop Research**, v.44, p.41-46, 1995.

BAIER, A.C.; ROMAN, E.S. Informações sobre a cultura da “canola” para o Sul do Brasil. In: SEMINÁRIO ESTADUAL DE PESQUISA DE CANOLA, 1, 1992, Cascavel, PR. **Resultados...** Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1992. p.1-10.

BARBOSA, J.C.; MALDONADO JÚNIOR, W. **AgroEstat** – Sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos, versão 1.0, 2011. Jaboticabal: FCAV-UNESP, 2011.

BATAGLIA, O.C.; FURLANI, A.M.C.; TEIXEIRA, J.P.F.; FURLANI, P.R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química em plantas**. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BLAKE-KALFF, M.; HARRISON, K.; HAWKESFORD, M.; ZHAO, J.; Mc GRATH, S. Distribution of sulfur within oilseed rape leaves in response to sulfur deficiency during vegetative growth. **Plant Physiology**, v.118, p.1337-1344, 1998.

BLAKE-KALFF, M.; ZHAO, J.; HAWKESFORD, M.; Mc GRATH, S. Using plant analysis to predict yield losses by sulphur deficiency. **Annals of Applied Biology**, v.138, p.123-127, 2001.

BRENNAN, R.F.; BOLLAND, M.D.A. Comparing the nitrogen and phosphorus requirements of canola and wheat for grain yield and quality. **Crop and Pasture Science**, v.60, p.566-577, 2009.

CANTARELLA, H.; PROCHNOW, L.I. Determinação de sulfato em solos. In: 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. p.225-230.

CARRARO, I.M.; BALBINO, L.C. **Avaliação de cultivares de canola – 1993**. Cascavel: OCEPAR, 1994. 25p. (OCEPAR. Informe Técnico, 001).

CHAMORRO, A.M.; TAMAGNO, L.N.; BEZUS, R.; SARANDON, S.J. Nitrogen accumulation, partition, and nitrogen-use efficiency in canola under different nitrogen availabilities. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.493-504, 2002.

CHEEMA, M.A.; SALEEM, M.; MALIK, M.A. Effect of row spacing and nitrogen management of agronomic traits and oil quality of canola (*Brassica napus* L.). **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v.38, p.15-18, 2001a.

CHEEMA, M.A.; MALIK, M.A.; HUSSAIN, A.; SHAH, S.H.; BASRA, S.M.A. Effects of time and rate of nitrogen and phosphorus application on the growth and seed and oil yields of canola (*Brassica napus* L.). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.186, p.103-110, 2001b.

CHRISTEN, O. Yield, yield formation and yield stability of wheat, barley and rapeseed in different crop rotations. **German Journal of Agronomy**, v.5, p.33-39, 2001.

CORDEIRO, L.A.M. **Avaliação de características agronômicas e qualidade de sementes de canola cultivada em Viçosa, MG**. Viçosa: UFV, 1997. 106f. (Dissertação de Mestrado em Fitotecnia – Produção Vegetal, Universidade Federal de Viçosa).



CORDEIRO, L.A.M.; REIS, M.S.; ALVARENGA, E.M. **A cultura da canola**. Viçosa: UFV, 1999. 50p.: il. (Cadernos Didáticos, 60).

De PASCALE, S.; MAGGIO, A.; ORSINI, F.; BOTTINO, A.; BARBIERI, G. Sulphur fertilization affects yield and quality of friarielli (*Brassica rapa* L. subs *sylvestris* L. Janch var. *esculenta* Hort.) grown on a floating system. **Journal of Horticultural Sciences and Biotechnology**, v.83, p.743-748, 2008.

DIAS, J.C.A. **Canola/Colza – Alternativa de inverno com perspectiva de produção de óleo comestível e energético**. Pelotas: EMBRAPA-CPATB, 1992. 46p. (EMBRAPA-CPATB. Boletim de Pesquisa, 3).

DIETZ, K.J. Leaf chloroplast development in relation to nutrient availability. **Journal of Plant Physiology**, v.134, p.544-550, 1989.

DOORENBOS, J.; PRUITT, J.O. **Guidlines for predicting crop water requirements**. Rome, FAO, 1977. 179p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DUKE, S.H.; REISENAUER, H.M. Roles and requirements of sulfur in plant nutrition. In: TABATABAI, M.A. (ed.). **Sulfur in agriculture**. Madison, WI: American Society of Agronomy, p.123-168, 1986.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306p.

EPAMIG/INMET. Estação Climatológica Principal de Uberaba. **Dados climáticos de Uberaba**. Uberaba, 2010.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A.J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 403p.

ERIKSEN, J.; OLESEN, J.E.; ASKEGAARD, M. Sulphate leaching and sulphur balances of an organic cereal crop rotation on three Danish soils. **European Journal of Agronomy**, v.17, p.1-9, 2002.

FISMES, J.; VONG, P.C.; GUCKERT, A.; FROSSARD, E. Influence of sulfur on apparent N-use efficiency, yield and quality of oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown on a calcareous soil. **European Journal of Agronomy**, v.12, p.127-141, 2000.

FRIEDRICH, J.W.; SCHRADER, L.E. Sulfur deprivation and nitrogen metabolism in maize seedlings. **Plant Physiology**, v.61, p.900-903, 1978.

GAMMELVIND, L.H.; SCHJOERRING, J.K.; MOGENSEN, V.O.; JENSEN, C.R.; BOCK, J.G.H. Photosynthesis in leaves and siliques of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Plant and Soil**, v.186, p.227-236, 1996.

GILBERT, S.M.; CLARKSON, D.T.; CAMBRIDGE, M.; LAMBERS, H.; HAWKESFORD, M.J.  $\text{SO}_4^{2-}$  deprivation has an early effect on the content of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase and photosynthesis in young leaves of wheat. **Plant Physiology**, v.115, p.1231-1239, 1997.

GRANT, C.A.; BAILEY, L.D. Fertility management in canola production. **Canadian Journal of Plant Science**, v.73, p.651-670, 1993.

HEMERLY, F.X. **Perspectivas da colza no Brasil**. 40p. (Departamento Técnico-Científico – DTC, 1979 – Vinculada ao Ministério da Agricultura).

HOCKING, P.J.; RANDALL, P.J.; De MARCO, D. The response of dryland canola to nitrogen fertilizer: partitioning and mobilization of dry matter and nitrogen, and nitrogen effects on yield components. **Field Crops Research**, v.54, p.201-220, 1997a.

HOCKING, P.J.; RANDALL, P.J.; De MARCO, D.; BAMFORTH, I. Assessment of the nitrogen status of field-grown canola (*Brassica napus*) by plant analysis. **Australian Journal of Experimental Agriculture**, v.37, p.83-92, 1997b.

HOCKING, P.J.; STAPPER, M. Effects of sowing time and nitrogen fertilizer on canola and wheat, and nitrogen fertilizer on Indian mustard. II. Nitrogen concentrations, N accumulation, and N fertilizer use efficiency. **Australian Journal of Agricultural Research**, v.52, p.635-644, 2001.

IBRAHIM, A.F.; ABUSTEIT, E.O.; EL-METWALLY, El-M.A. Response of rapeseed growth, yield, oil content and its fatty acids to nitrogen rates and application times. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v.162, p.107-112, 1989.

JAN, A.; AHMAD, G.; ARIF, M.; JAN, M.T.; MARWAT, K.B. Quality parameters of canola as affected by nitrogen and sulfur fertilization. **Journal of Plant Nutrition**, v.33, p.381-390, 2010.

JANZEN, H.H.; BETTANY, J.R. Sulphur nutrition of rapeseed: influence of fertilizer nitrogen and sulphur ratio. **Soil Science Society of America Journal**, v.84, p.100-107, 1984.

KHAN, N.; JAN, A.; IHSANULLAH, I.; KHAN, A.; KHAN, N. Response of canola to nitrogen and sulphur nutrition. **Asian Journal of Plant Sciences**, v.1, n.5, p.516-518, 2002.

KIRKEGAARD, J.A.; HOCKING, P.J.; ANGUS, J.F.; HOWE, G.N.; GARDNER, P.A. Comparison of canola, Indian mustard and Linola in two contrasting environments. II. Break-crop and nitrogen effects on subsequent wheat crops. **Field Crops Research**, v.52, p.179-191, 1997.

KOPRIVOVA, A.; SUTER, M.; CAMP, R.O. den; BRUNOLD, C.; KOPRIVA, S. Regulation of sulfate assimilation by nitrogen in Arabidopsis. **Plant Physiology**, v.122, p.737-746, 2000.

KUMAR, A.; SINGH, D.P.; BIKRAM, S.; YASHPAL, Y. Effects of nitrogen application and partitioning of biomass, seed yield and harvest index in contrasting genotype of oilseed brassicas. **Indian Journal of Agronomy**, v.46, p.528-532, 2001.

LAANISTE, P.; JAUDU, J.; EREMEEV, V. Oil content of spring oilseed rapeseeds according to fertilization. **Agronomy Research**, v.2, p.83-86, 2004.

LAFOND, J.; PAGEAU, D. Dose optimale économique d'azote et nitrates du sol après la récolte du canola. **Canadian Journal of Plant Science**, v.88, p.1035-1042, 2008.

LELEU, O.; VUYLSTEKER, C.; TETU, J.F.; DEGRANDE, D.; CHAMPOLIVIER, L.; RAMBOUR, S. Effect of two contrasted N fertilizations on rapeseed growth and nitrate metabolism. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.38, p.639-645, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; FORNASIERI FILHO, D.; CARVALHO, J.G.; MALAVOLTA, M.L.; ZAMBELLO, F.C. **Efeitos de doses e fontes de enxofre em culturas de interesse econômico. I- Capim colônia. II- Colza. III- Sorgo Sacarino.** São Paulo: Centro de Pesquisa e Promoção de Sulfato de Amônio, 1984. 60p. (Boletim Técnico, 3).

MALHI, S.S. Influence of four successive annual applications of elemental S and sulphate-S fertilizers on yield, S uptake and seed quality of canola. **Canadian Journal of Plant Science**, v.85, p.777-792, 2005.

MALHI, S.S.; GILL, K.S. Cultivar and fertilizer S rate interaction effects on canola yield, seed quality and S uptake. **Canadian Journal of Plant Science**, v.86, p.91-98, 2006.

MALHI, S.S.; GILL, K.S. Interactive effects of N and S fertilizers on canola yield and seed quality on S-deficient Gray Luvisol soils in northeastern Saskatchewan. **Canadian Journal of Plant Science**, v.87, p.211-222, 2007.

MALHI, S.S.; SCHOENAU, J.J.; GRANT, C.A. A review of sulphur fertilizer management for optimum yield and quality of canola in the Canadian Great Plains. **Canadian Journal of Plant Science**, v.85, p.297-307, 2005.

MALIK, M.A.; AZIZ, I.; KHAN, H.Z.; WAHID, M.A. Growth, seed yield and oil content response of canola (*Brassica napus* L.) to varying levels of sulphur. **International Journal of Agriculture & Biology**, v.6, n.6, p.1153-1155, 2004.

MALIK, M.A.; CHEEMA, M.A.; SAFEEM, M.F. Production efficiency of canola (*Brassica napus* L.) as affected by different NPK levels. **Pakistan Journal of Agricultural Sciences**, v.39, p.278-280, 2002.

Mc GRATH, S.P.; ZHAO, J. Sulphur uptake, yield responses and interaction between nitrogen and sulphur in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). **Journal of Agricultural Science**, v.126, p.53-62, 1996.

MILLÉO, M.V.R; DONI FILHO, L. Marcha de absorção de enxofre por plantas de canola. **Scientia Agraria**, Brasília, v.2, p.25-30, 2001.

OGUNLELA, V.; KULLMANN, A.; GEISLER, G. Leaf growth and chlorophyll content of oilseed rape (*Brassica napus* L.) as influenced by nitrogen supply. **Journal of Agronomy and Plant Science**, v.163, p.73-89, 1989.

ÖSTERHOLM, P.; ASTRÖM, M. Quantification of current and future leaching of sulfur and metals from Boreal acids sulfate soils, Western Finland. **Australian Journal of Soil Research**, v.42, p.547-551, 2004.

ÖZTÜRK, Ö. Effects of source and rate of nitrogen fertilizer on yield, yield components and quality of winter rapeseed (*Brassica napus* L.). **Chilean Journal of Agricultural Research**, v.70, p.132-141, 2010.

PROSSER, I.M.; PURVES, J.V.; SAKER, L.R.; CLARKSON, D.T. Rapid disruption of nitrogen metabolism and nitrate transport in spinach plants deprived of sulphate. **Journal of Experimental Botany**, v.52, p.113-121, 2001.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J.C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. (eds.). **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2001. 284p.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2ed. Campinas: IAC, 1996. 285p. (IAC. Boletim Técnico, 100).

RATHKE, G.W.; CHRISTEN, O.; DIEPENBROCK, W. Effects of nitrogen source and rate on productivity and quality of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) grown in different crop rotations. **Field Crops Research**, v.94, p.103-113, 2005.

REUVENY, Z.; DOUGALL, D.K.; TRINITY, P.M. Regulatory coupling of nitrate and sulphate assimilation pathways in cultured tobacco cells. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.77, p.6670-6672, 1980.

RHEINHEIMER, D.S.; ALVAREZ, J.W.R.; OSÓRIO FILHO, B.D.; SILVA, L.S.; BORTOLUZZI, E.C. Resposta de culturas à aplicação de enxofre e a teores de sulfato num solo de textura arenosa sob plantio direto. **Ciência Rural**, v.35, p.562-569, 2005.

RUBIO, G.; SCHEINER, J.D.; TABOADA, M.A.; LAVADO, R.S. Distribución de nitrógeno, fósforo y azufre en un cultivo de colza: efectos sobre el ciclado de nutrientes. **Ciência del Suelo**, v.25, n.2, p.189-194, 2007.

SARANDON, S.J.; CHAMORRO, A.M.; TAMAGNO, L.N.; BEZUS, R. Respuesta de la colza-canola (*Brassica napus* L. sp. *oleifera* forma annua) a la fertilización con N a la siembra. Efecto sobre la acumulación y participación de la materia seca, el rendimiento y sus componentes. **Revista de la Facultad de Agronomía**, La Plata, v.101, p.179-186, 1996.

SCHERER, H.W. Sulphur in crop production – invited paper. **European Journal of Agronomy**, v.14, p.81-111, 2001.

SHEPPARDS, S.C.; BATES, T.E. Yield and chemical composition of rape in response to nitrogen, phosphorus and potassium. **Canadian Journal of Soil Science**, v.60, p.153-162, 1980.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos**: métodos químicos e biológicos. 3ed. Viçosa: UFV, 2002. 235p.

SILVA, D.J.; VENEGAS, V.H.A.; RUIZ, H.A. Transporte de enxofre para as raízes de soja em três solos de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.8, p.1161-1167, 2002.

SVECNJAK, Z.; RENGEL, Z. Canola cultivars differ in nitrogen utilization efficiency at vegetative stage. **Field Crops Research**, v.97, p.221-226, 2006.

TOMM, G.O. **Cultivo de Canola**. Embrapa Trigo, 2007. (Sistemas de Produção, 3. – ISSN 1809-2985 Versão Eletrônica, Nov./2007.). Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Canola/CultivodeCanola/index.htm>>. Acesso em: 15/04/2011.

TROEH, F.R.; THOMPSON, L.M. Nitrogênio. In: DOURADO NETO, D.; DOURADO, M.N. (eds.). **Solos e fertilidade do solo**. São Paulo: Andrei Editora Ltda., 2007. p.311-341.

WALKER, K.C.; BOOTH, E.J. Agricultural aspects of rape and other *Brassica* products. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v.103, p.441-446, 2001.

WRIGHT, G.C.; SMITH, C.J.; WOODROOFE, M.R. The effect of irrigation and nitrogen fertilizer on rapeseed (*Brassica napus*) production in south eastern Australia. Growth and seed yield. **Irrigation Science**, v.9, p.1-13, 1988.

ZHAO, F.J.; HAWKESFORD, M.; Mc GRATH, S. Responses of two wheat varieties to sulphur addition and diagnosis of sulphur deficiency. **Plant and Soil**, v.181, p.317-327, 1999.

ZHAO, Y.; XIAO, X.; BI, D.; HU, F. Effects of sulfur fertilization on soybean root and leaf traits, and soil microbial activity. **Journal of Plant Nutrition**, v.31, p.473-483, 2008.