

## EFEITO DE BORO E NITROGÊNIO NA CULTURA DO MILHO

## BORON AND NITROGEN EFFECT ON THE MAIZE CROP

DURVAL DOURADO NETO<sup>1,8</sup>JOSÉ LAÉRCIO FAVARIN<sup>2</sup>PAULO AUGUSTO MANFRON<sup>3,8</sup>FELIPE GUSTAVO PILAU<sup>4</sup>MÁRCIO AUGUSTO SOARES<sup>5</sup>REINALDO ANTONIO GARCIA BONNECARRÈRE<sup>6,8</sup>SILVANA OHSE<sup>7</sup>.

## RESUMO

Este trabalho avaliou o efeito do micronutriente boro e sua influência na adubação nitrogenada na cultura do milho. O experimento foi conduzido em área da ESALQ/USP, ano agrícola 2000/2001, utilizando-se o híbrido de milho Cargill 909. O delineamento experimental foi casualizado em blocos com quinze tratamentos e três repetições, onde o boro foi aplicado ao sulco de semeadura, associado ou não ao nitrogênio. As parcelas receberam 80kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, e 60kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O no sulco de semeadura. Determinaram-se os componentes de produção: número de espigas por

<sup>1</sup> Dr. Prof. Associado. Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Piracicaba, SP. [dourado@esalq.usp.br](mailto:dourado@esalq.usp.br)

<sup>2</sup> Dr. Prof. Associado. Departamento de Produção Vegetal, ESALQ/USP. Piracicaba, SP. [jlfavarin@esalq.usp.br](mailto:jlfavarin@esalq.usp.br)

<sup>3</sup> Dr. Prof. Titular. Departamento de Fitotecnia, CCR/UFMS. Santa Maria, RS. [pmanfron@esalq.usp.br](mailto:pmanfron@esalq.usp.br)

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo. MSc. Doutorando em Física do Ambiente Agrícola, ESALQ/USP. Piracicaba, SP. [fgpilau@esalq.usp.br](mailto:fgpilau@esalq.usp.br)

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo. MSc. Fazenda Nova América. Santa Cruz do Rio Pardo, SP. [masoares@novamerica.com.br](mailto:masoares@novamerica.com.br)

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo. MSc. Doutorando em Fitotecnia, ESALQ/USP. Piracicaba, SP. [rabonnec@esalq.usp.br](mailto:rabonnec@esalq.usp.br)

<sup>7</sup> Eng. Agrônomo. Dra. Pesquisadora. FAPEU/UFSC. Florianópolis, SC. [ohses@hotmail.com](mailto:ohses@hotmail.com)

<sup>8</sup> Bolsista CNPq

planta, comprimento da espiga, número de grãos por fileira, número de fileiras de grãos, comprimento dos grãos, massa de mil grãos e produtividade. Em função dos resultados, concluiu-se que a aplicação de nitrogênio em doses crescentes proporcionou aumento tanto da produtividade de grãos, como de uma série de outras variáveis que contribuíram para esse aumento. A máxima produtividade de grãos (9182kg.ha<sup>-1</sup>) foi obtida com 202,6kg.ha<sup>-1</sup> de N, sendo essa dose considerada inviável perante o incremento que proporcionou (9%) em relação à aplicação de 120kg.ha<sup>-1</sup> de N. Doses elevadas de boro (até 8kg.ha<sup>-1</sup>) aplicadas ao sulco de semeadura não exerceram influência sobre a produtividade de grãos, permitindo concluir que, nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, o risco de fitotoxicidade provocada pelo excesso desse elemento no sulco de semeadura é mínimo.

**Palavras chave:** nutrição mineral, rendimento, *Zea mays* L.

## ABSTRACT

This paper evaluated the micronutrient boron and its influence with nitrogen on corn crop. The experiment was carry out in area of ESALQ/USP, agricultural year of 2000/2001, being used the corn hybrid Cargill 909. The experimental design was completely randomized blocks with fifteen treatments and three repetitions, where the boron was applied at sowing moment, associated or not to nitrogen. All blocks received, at sowing time 80kg.ha<sup>-1</sup> of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, and 60kg.ha<sup>-1</sup> of K<sub>2</sub>O. The measured parameters were number of spikes for plant, spike length, number of grains per row, number of grain rows in the spike, grain length, mass of thousand grains and productivity of grains. In agreement with the obtained results it was ended that the nitrogen application in growing doses provided increase of productivity. The maxim productivity (9182kg.ha<sup>-1</sup>) was obtained using 202,6kg.ha<sup>-1</sup> of N, which is not recommended in relation to the application of 120kg.ha<sup>-1</sup> of N. High doses of boron (up to 8kg.ha<sup>-1</sup>) applied in the sowing did not influence the productivity, concluding that in the present conditions, the phytotoxicity risk provoked by the excess of that element in the sowing is minimum.

**Key words:** mineral nutrition, yield, *Zea mays* L.

## INTRODUÇÃO

De acordo com Fancelli & Dourado Neto (2000), dentre as estratégias básicas relacionadas à obtenção de produtividade elevada e lucrativa na cultura de milho, destaca-se a escolha da época correta de semeadura para a região, uso de genótipos

adequados para as condições do ambiente de produção e sua população, prolificidade, número médio de fileiras de grãos por espiga, número médio de grãos por fileira e da massa média do grão ou semente, recomendando-se ainda ações de intervenção fundamentadas em estádios fenológicos e a garantia do equilíbrio e do fornecimento de nutrientes em doses adequadas.

De acordo com Büll (1993) e Sá (1989), a maioria dos estudos realizados com adubação nitrogenada para a cultura do milho mostra que os melhores resultados são obtidos com a aplicação de 30kg.ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e de 90 a 120kg.ha<sup>-1</sup> entre 30 e 45 dias após a germinação, totalizando 120 a 150kg.ha<sup>-1</sup> de N. Yamada (1996) também relata que a aplicação de 30kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio no sulco de semeadura e do restante (90kg.ha<sup>-1</sup> de N) em cobertura, proporciona maior produtividade de grãos do que 15kg.ha<sup>-1</sup> de N por ocasião da semeadura e 105kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio em cobertura. Ferreira (1997), ao efetuar a aplicação de doses crescentes de nitrogênio na cultura de milho (0, 70, 140 e 210kg.ha<sup>-1</sup>), obteve máxima produtividade mediante a aplicação de 200kg.ha<sup>-1</sup> de N.

Entre os micronutrientes, o boro e o zinco, de acordo com Malavolta *et al.* (1987), são considerados extremamente importantes para a cultura de milho. Yamada & Lopes (1998) citam que a imobilidade do boro em plantas de milho é comprovada pela ocorrência de teores mais altos de boro em folhas velhas, quando comparadas a folhas mais jovens, principalmente em situações de deficiência do elemento na planta. Assim, os referidos autores sugerem que a aplicação de boro para a cultura de milho deve ser efetuada no solo para que seja plenamente aproveitado pela planta, uma vez que, se aplicado via foliar, não será retranslocado do local de aplicação e não suprirá as exigências dos tecidos a serem formados (tecidos jovens).

Segundo Woodruff *et al.* (1987), em um experimento envolvendo variações nas doses de diversos nutrientes, incluindo o boro, com população entre 70.000 e 80.000 plantas de milho por hectare, observaram efeitos benéficos do boro sobre a produtividade de grãos, sugerindo que aplicações de boro podem ser necessárias quando se intensifica o uso de práticas para o aumento da produtividade associado a adubações elevadas, principalmente, com potássio.

Quanto à necessidade de boro pela cultura de milho, Malavolta *et al.* (1991) citam que, a cada tonelada de grãos produzida são exportados 13 gramas de boro. De acordo com Yamada & Lopes (1998), geralmente, as doses de boro recomendadas para a cultura de milho variam de 0,5 a 1,0kg.ha<sup>-1</sup>.

Dentro desse contexto, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a influência de nitrogênio e boro e de suas respectivas interações nos componentes de produção da cultura de milho.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, USP, no município de Piracicaba, SP, (22°43’12”S, 47°38’54”O e 580 m).

O solo do local em que o experimento foi conduzido é classificado como Nitossolo Vermelho eutrófico textura argilosa/muito argilosa.

A Tabela 1 mostra a composição química do solo, de acordo com o Laboratório de Análise de Solos e Plantas pertencente ao Departamento de Solos e Nutrição de Plantas da ESALQ/USP.

O boro foi aplicado por ocasião da semeadura, no sulco, juntamente com os demais fertilizantes utilizados (cloreto de potássio e superfosfato simples). Como fonte, utilizou-se o ácido bórico (17% B), aplicado manualmente mediante o uso de recipiente graduado para a dose correspondente a cada tratamento.

O experimento foi instalado em área irrigada por pivô central, em sistema de plantio direto, iniciando em 24 de outubro de 2000, quando se efetuou a dessecação das plantas daninhas presentes na área com herbicida Glyphosate na dose de 3,0 L.ha<sup>-1</sup>, aplicado com pulverizador de barras regulado para a vazão de 200 L.ha<sup>-1</sup>.

A semeadura foi realizada manualmente no dia 01 de novembro de 2000, distribuindo-se nove sementes por metro linear de sulco. Cada parcela experimental foi composta por quatro linhas de 5 m de comprimento, com espaçamento de 0,8 m entre si, perfazendo área total de 16 m<sup>2</sup> e área útil de 6,4 m<sup>2</sup>, uma vez que as linhas externas foram consideradas bordaduras e que, por ocasião da colheita, descartou-se 0,5 m nas extremidades de cada linha central.

Como adubação de semeadura aplicou-se manualmente, no sulco, 80kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 60kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O, mediante o uso de superfosfato simples (18% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) e cloreto de potássio (60% K<sub>2</sub>O), respectivamente. A determinação da dose de tais elementos foi fundamentada nos resultados da análise do solo (Tabela 1), na eficiência das fontes utilizadas e nos valores de exportação desses nutrientes pela cultura de milho (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Ainda, por ocasião da semeadura, efetuou-se a adubação nitrogenada com 30kg.ha<sup>-1</sup> de N, apenas nos tratamentos que incluíam a aplicação do referido elemento, aplicando-se uréia (45% N) no sulco, juntamente com os fertilizantes mencionados anteriormente. O restante do nitrogênio, necessário para completar a dose requerida pelos diferentes tratamentos estudados, foi aplicado manualmente, em cobertura, na entrelinha, a uma distância de 25 cm do colmo, no momento em que as plantas de milho apresentavam 5 folhas plenamente expandidas.

O híbrido utilizado foi o Cargill 909, tipo simples, ciclo superprecoce, grão *flint* de cor laranja, com exigência calórica (número de graus-dia referente à duração da fase vegetativa da cultura) para o florescimento de 810°C.dia<sup>-1</sup>, apresentando como características, altura média de plantas de 2,2m e altura média de inserção de espiga de

1,2m, com população recomendada ideal entre 55.000 e 60.000 plantas por hectare.

Após a emergência das plântulas, quando as plantas de milho apresentavam duas folhas plenamente expandidas, realizou-se o desbaste objetivando assegurar o estande de 4,8 plantas por metro, de forma a perfazer a população de 60.000 plantas por hectare, a qual foi mantida até a colheita.

Os nutrientes avaliados no presente experimento foram o nitrogênio e o boro (Tabela 2).

A fenologia da cultura de milho foi avaliada utilizando a escala proposta por Fancelli (1986) e Fancelli & Dourado Neto (1997), que contempla diferentes estádios fenológicos ao longo do ciclo da cultura.

Os estádios de crescimento e desenvolvimento, que ocorrem anteriormente ao aparecimento das espigas, foram identificados mediante a avaliação do número de folhas plenamente expandidas, ou desdobradas, e os estádios posteriores à emissão das espigas foram identificados com base no desenvolvimento e na consistência dos grãos (Fancelli & Dourado Neto, 1997). O final de um estádio e o início de outro foi determinado quando 50% das plantas apresentavam as características particulares de cada estádio em questão.

Cabe salientar que, para a avaliação, foram consideradas como folhas plenamente expandidas as que apresentavam a linha de união lâmina-bainha, popularmente conhecida como “colar”, facilmente visível.

A prolificidade foi determinada através da simples contagem no número total de espigas colhidas na área útil da parcela experimental, dividindo-se pelo número de plantas, obtendo-se assim o número médio de espigas por planta.

A determinação do comprimento médio das espigas foi realizada após a colheita, separando-se aleatoriamente doze espigas colhidas em cada parcela, que medidas através do uso de escala graduada.

O número médio de grãos por fileira da espiga foi determinado mediante simples contagem dos grãos presentes nas fileiras das espigas amostradas aleatoriamente em cada parcela. Para tal, foram avaliadas doze espigas por parcela, sendo essas utilizadas na determinação do comprimento médio de espigas.

O número médio de fileiras de grãos da espiga foi determinado através de simples contagem. Foram amostradas doze espigas em cada parcela, sendo essas utilizadas na determinação do comprimento médio de espigas e do número médio de grãos por fileira.

Para determinar o comprimento médio dos grãos da espiga, considerou-se a diferença entre o diâmetro médio da espiga e o diâmetro médio do sabugo.

Após a debulha de todas as espigas colhidas na área útil das parcelas experimentais, determinou-se a massa de mil grãos, de acordo com a metodologia proposta por Brasil (1992), que corresponde à média da massa de oito amostras de cem grãos, submetidas à análise de desvio padrão, originadas de cada parcela. Assim, do

total de grãos oriundos da debulha, retiraram-se oito amostras ao acaso, contendo cem grãos cada, que foram submetidos à pesagem e à determinação imediata da umidade, possibilitando estimar a massa de mil grãos corrigida para 13% de umidade. Cabe salientar, que o conteúdo de água dos grãos foi obtido mediante o uso de um medidor de conteúdo de água de grãos, portátil, do modelo *Multi-grain*, marca *Jickey John*.

A produtividade foi obtida a partir da debulha e pesagem dos grãos oriundos de todas as espigas colhidas na área útil das parcelas experimentais (kg.parcela<sup>-1</sup>), que foi convertida para kg.ha<sup>-1</sup> e devidamente corrigida para 13% de umidade.

Os tratamentos constituíram-se de combinações dos fatores doses de nitrogênio e doses de boro, arrançados no esquema fatorial, totalizando 15 tratamentos (Tabela 2) e três repetições. O delineamento experimental utilizado foi em blocos completos casualizados. Foi realizada análise de variância da prolificidade, comprimento médio da espiga, número médio de grãos por fileira da espiga, número médio de fileiras de grãos da espiga, comprimento médio de grãos, massa de mil grãos e produtividade. Os efeitos de N e B, e de suas interações foram avaliados pelo teste F.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o exposto na Figura 1, a aplicação de doses crescentes de nitrogênio (DN) proporcionou um acréscimo no número de espigas por planta (PROLIF), sendo que, em relação aos tratamentos em que não se efetuou a aplicação de nitrogênio (0kg.ha<sup>-1</sup> de N), a aplicação de doses de 120kg.ha<sup>-1</sup> de N promoveu aumento médio de 1,07 para 1,29 espigas por planta, o que representa acréscimo de 20%. No entanto, ao elevar a dose de N de 120 para 240kg.ha<sup>-1</sup>, verificou-se que a diferença obtida na PROLIF não foi significativa.

Esses resultados estão de acordo com Ferreira (1997), que também observou aumento significativo do número de espigas por planta de milho ao efetuar a aplicação de doses crescentes de nitrogênio.

O comprimento médio da espiga (COMPESP) é uma das variáveis que pode interferir diretamente no número de grãos por fileira e, conseqüentemente, na produtividade da cultura de milho. Segundo Fancelli (1986), o comprimento das espigas na cultura de milho é definido, principalmente, no momento em que as plantas apresentam 12 folhas plenamente expandidas (Estádio 3). Sendo assim, qualquer adversidade que aconteça nessa fase, como disponibilidade inadequada de nutrientes (falta ou excesso), pode resultar em redução no comprimento das espigas e como conseqüência provocar queda na produtividade.

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4, pôde-se observar que houve um aumento significativo no comprimento médio das espigas de milho em função da aplicação de nitrogênio, uma vez que, o referido elemento exerceu forte influência sobre o COMPESP, conforme pode ser constatado na Tabela 3 que mostra

nível de significância menor que 0,00001 para a fonte de variação DN. Assim, conforme apresentado na Figura 2, a aplicação de 120kg.ha<sup>-1</sup> de N proporcionou aumento médio de 22% no comprimento das espigas em relação aos tratamentos em que a aplicação de N foi ausente (0kg.ha<sup>-1</sup> de N). No entanto, ao elevar as doses de N de 120kg.ha<sup>-1</sup> para 240kg.ha<sup>-1</sup>, o aumento foi pouco expressivo (3%).

Cabe destacar que os resultados obtidos estão de acordo com o relatado por Büll (1993). Este cita que a aplicação de nitrogênio proporciona elevação de produtividade na cultura de milho, a qual pode ser atribuída, dentre outros fatores, aos efeitos positivos do referido elemento sobre o aumento do comprimento da espiga.

Quanto ao boro, não se notou influência significativa da aplicação de doses crescentes dos mesmos sobre a variável comprimento de espiga. Tal resultado pode ter sido obtido pelo fato de o solo apresentar teor suficiente de boro (0,35 mg.dm<sup>-3</sup>) para suprir as necessidades da cultura do milho, não permitindo o aparecimento de sinais de deficiência, mesmo na ausência de aplicação do mesmo. É válido lembrar que Fancelli & Dourado Neto (2000) colocam como ideais para a cultura de milho, teores de boro entre 0,1 e 0,3 mg.dm<sup>-3</sup>. No entanto, é importante destacar também, que altas doses de boro aplicadas no sulco de semeadura (8kg.ha<sup>-1</sup>) não interferiram negativamente sobre o comprimento das espigas de milho.

Conforme resultados apresentados na Tabela 4, a aplicação de nitrogênio em doses crescentes exerceu grande influência no número de grãos por fileira (NGF), uma vez que, proporcionou aumento significativo nos valores obtidos. Nos tratamentos em que se efetuou a aplicação de 120kg.ha<sup>-1</sup> de N, o NGF foi aumentado em aproximadamente 25%, quando comparado aos tratamentos em que o nitrogênio não foi aplicado (0kg.ha<sup>-1</sup> de N). Ao elevar a dose de N de 120 para 240kg.ha<sup>-1</sup>, observou-se que o aumento no número de fileiras de grãos na espiga apresentou menor nível de significância (em torno de 2%). Tais resultados podem ser confirmados ao analisar os valores do teste F (Tabela 3), em que o nível de significância para a fonte de variação DN foi de 0,06%.

Também na Tabela 3, notou-se que o valor do nível de significância para a fonte de variação DN x DB foi de 0,007% para a variável número de grãos por fileira (NGF), o que demonstra ter existido certa influência da interação de nitrogênio com boro sobre o NGF.

Ao analisar a Figura 3, verificou-se que nos tratamentos em que o nitrogênio não foi aplicado (0kg.ha<sup>-1</sup> de N) a adição de boro no sulco de semeadura somente proporcionou aumento significativo mediante aplicação de 8kg.ha<sup>-1</sup> de B, sendo que a aplicação da referida dose proporcionou aumento de 30% no NGF, em relação aos demais tratamentos (0, 1, 2 e 4kg.ha<sup>-1</sup> de B).

Quando se utilizou a dose de 120kg.ha<sup>-1</sup> de N, os resultados obtidos foram semelhantes, uma vez que, apenas a aplicação de 8kg.ha<sup>-1</sup> de boro no sulco de semeadura proporcionou respostas significativas. Cabe salientar, porém, que para essa dose de N, o aumento do NGF proporcionado pela referida dose de boro foi menor do que quando

o N não foi aplicado, ou seja, de apenas 8,8%. Assim, é importante ressaltar que a aplicação de 120kg.ha<sup>-1</sup> de N reduziu a influência da aplicação de boro sobre o NGF.

Nos tratamentos em que foram aplicados 240kg.ha<sup>-1</sup> de N, a aplicação de boro no sulco de semeadura em doses crescentes, também não provocou alterações significativas do número de grãos por fileira para doses de até 4kg.ha<sup>-1</sup> de B. Porém, observou-se que no tratamento em que a referida dose de N foi aplicada, a aplicação de 8kg.ha<sup>-1</sup> de B provocou significativa redução (19%) no NGF.

Desta maneira, os resultados obtidos levam a concluir que o NGF foi influenciado significativamente pelo boro, quando o referido elemento foi aplicado em alta dose no sulco de semeadura (8kg.ha<sup>-1</sup>). Todavia, tal influência variou de acordo com a dose de nitrogênio aplicada, uma vez que, quanto maior a dose de N, menores foram os efeitos benéficos do boro sobre o NGF. É importante destacar que ao utilizar alta dose de N (240kg.ha<sup>-1</sup>), os efeitos da aplicação de alta dose de boro sobre o NGF passaram a ser negativos, ou seja, ao aplicar 240kg.ha<sup>-1</sup> de N, a aplicação 8kg.ha<sup>-1</sup> de B provocou queda no número de grão por fileira das espigas de milho.

Ao observar os resultados do teste F para a variável número de fileiras de grãos da espiga (NFG) apresentados na Tabela 3, verificou-se que, para todas as fontes de variação estudadas, o nível de significância foi muito superior a 5%. Esse resultado indica que, nas condições em que o trabalho foi desenvolvido, não houve influências significativas tanto do nitrogênio, como do boro, aplicados em doses crescentes, sobre o número de fileiras de grãos da espiga, conforme demonstrado na Tabela 4; as espigas pertencentes a todos os tratamentos estudados apresentaram uma média de aproximadamente 14 fileiras de grãos.

O comprimento médio dos grãos (COMPGRAO), determinado a partir da diferença entre o diâmetro médio da espiga e o diâmetro médio do sabugo, não foi influenciado significativamente pela aplicação de doses crescentes de nitrogênio e boro, conforme resultados do teste F apresentados na Tabela 3, onde se observou que para todas as fontes de variação, o nível de significância foi superior a 5%.

A massa de mil grãos (M1000G) é considerada um importante componente de produtividade de grãos, isso porque após o florescimento, qualquer tipo de estresse a que a planta seja submetida, de natureza biótica ou abiótica, poderá afetá-lo significativamente (Fancelli & Dourado Neto, 2000). Assim, a deficiência ou a fitotoxidez provocada por algum elemento, como boro ou nitrogênio, por exemplo, poderá reduzir a massa de grãos das plantas de milho.

De acordo com o demonstrado pelo teste F (Tabela 3), a aplicação de boro em doses crescentes (DN) e a aplicação de boro juntamente com nitrogênio (DN x DB) não exerceram influência significativa sobre a variável massa de mil grãos, pois o nível de significância para as referidas variáveis foi maior que 5%.

Ainda, cabe salientar que não foram observadas diferenças na M1000G para a fonte de variação DN, o que demonstra não ter havido influência significativa

das doses crescentes de N sobre a massa de mil grãos. Tais resultados diferiram dos reportados por Ferreira (1997), que observou aumento de 24,5% na massa de mil grãos de milho ao aplicar dose de 210kg.ha<sup>-1</sup> de N. Também, Sangoi & Almeida (1994), ao efetuarem um experimento em que aplicaram nitrogênio em doses crescentes, verificaram efeito linear da adubação nitrogenada sobre a massa de mil grãos de milho, sendo que a aplicação de 150kg.ha<sup>-1</sup> de N proporcionou aumento de 7% em relação à testemunha (0kg.ha<sup>-1</sup> de N). Os referidos autores destacaram que o aumento na massa de mil grãos pode ter sido conseguido devido ao fato de que as maiores doses de nitrogênio mantiveram a atividade fotossintética por um período mais prolongado, o que resultou no maior acúmulo de carboidratos nos grãos.

Os resultados obtidos mostraram claramente a importância do nitrogênio para o aumento da produtividade (PROD) na cultura de milho, uma vez que, o referido elemento teve influência significativa (nível de significância menor que 0,001%) sobre a referida variável.

Observando a Tabela 4, verifica-se que a aplicação de 120kg.ha<sup>-1</sup> de nitrogênio proporciona aumento de 92% na produtividade em relação aos tratamentos onde a aplicação de nitrogênio não foi efetuada (0kg.ha<sup>-1</sup> de N), ou seja, analisando a estimativa do modelo de regressão polinomial da Figura 4, notou-se que quando a aplicação de N foi nula a produtividade obtida foi de 4354,7kg.ha<sup>-1</sup>, ao passo que quando aplicou-se 120kg.ha<sup>-1</sup> de N, obteve-se 8379,9kg.ha<sup>-1</sup> de grãos.

Através da análise de regressão da curva de resposta quadrática, observou-se que a produtividade máxima foi obtida com a dose de 202,6kg.ha<sup>-1</sup> de N, na qual foram produzidos 9182,2kg.ha<sup>-1</sup> de grãos, o que equivale a um aumento de 108% e 9% em relação à produtividade obtida com 0kg.ha<sup>-1</sup> e 120kg.ha<sup>-1</sup> de N, respectivamente.

Estes resultados foram semelhantes aos obtidos por Coelho (1987), que obtiveram aumento de 80% na produtividade de grãos ao aplicarem 120kg.ha<sup>-1</sup> de N, e por Ferreira (1997), o qual obteve máxima produtividade de grãos da cultura de milho mediante a aplicação de 201,2kg.ha<sup>-1</sup> de N. Também estão de acordo com o exposto por Büll (1993) para a cultura de milho. Neste os melhores resultados são obtidos com a aplicação 30kg.ha<sup>-1</sup> de N na semeadura e 90kg.ha<sup>-1</sup> de N em cobertura, totalizando 120kg.ha<sup>-1</sup> de N, normalmente não sendo economicamente viável o uso de doses de N muito acima desses valores. Tal afirmação foi constatada também por Sangoi & Almeida (1997) que obtiveram aumento de 67% na produtividade ao elevarem a dose de N de 0kg.ha<sup>-1</sup> para 100kg.ha<sup>-1</sup>, sendo que para doses superiores (150kg.ha<sup>-1</sup> de N), o incremento foi de apenas 5%.

Ainda, ao analisar os resultados do teste F (Tabela 3) para a variável produtividade (PROD), verifica-se que a aplicação de doses crescentes de boro, no sulco de semeadura da cultura de milho, não alterou significativamente os resultados obtidos, possibilitando concluir que, nas condições em que o experimento foi conduzido, mesmo aplicando doses oito vezes superiores (até 8kg.ha<sup>-1</sup>) às comumente recomendadas

para a cultura,  $1,0\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de B (Yamada & Lopes, 1998), não houve acréscimo na produtividade e nem prejuízos causados por deficiência ou fitotoxidez.

A aplicação de boro em doses crescentes no sulco de semeadura não influenciou significativamente a produtividade, o que pode ser atribuído aos altos teores de argila e de matéria orgânica do solo (alta capacidade de adsorção do elemento) e/ou à alta solubilidade da fonte utilizada (ácido bórico), a qual pode ter sido parcialmente lixiviada antes de ser absorvida totalmente pela cultura. Também pode se atribuir ao teor do elemento ( $0,35\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$ ) disponível no solo utilizado para a condução do experimento, o qual pode ser considerado ideal para o desenvolvimento da cultura de milho, de acordo com valores (entre  $0,1$  e  $0,3\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) citados por Fancelli & Dourado Neto (2000). Cabe salientar, que os resultados obtidos são semelhantes aos descritos por Büll (1993) que também não observou respostas da cultura de milho à aplicação de boro e cita que, de maneira geral, as respostas da cultura de milho a aplicações de boro não são consistentes. Touchton & Boswell (1975) e Abreu & Lopes (1985) também não observaram respostas da cultura de milho à aplicação do referido nutriente. É válido destacar ainda que Chapman *et al.*, 1997 e Yamada, 2000 citam que, apesar de haver uma série de trabalhos que previnem a aplicação de maiores doses de boro no solo que as atualmente praticadas, a faixa entre a deficiência e a fitotoxidez na planta é muito estreita e que ainda não há até o momento evidências que suportem essa idéia.

## CONCLUSÕES

Em função dos resultados obtidos nas condições do experimento, pode-se concluir que: (i) até o momento em que as plantas apresentavam quatro folhas plenamente desdobradas, não haviam sinais visuais de diferenças entre os tratamentos estudados, o que leva a concluir que somente a partir desse estágio é que as plantas passaram a realmente depender dos nutrientes disponíveis no solo e aumentaram a demanda pelos mesmos (absorção); (ii) a aplicação de nitrogênio em doses crescentes proporcionou aumento tanto da produtividade de grãos, como de outras variáveis que contribuíram para esse aumento como comprimento da espiga e prolificidade. Para todas essas variáveis os melhores resultados foram proporcionados pela aplicação de  $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N, sendo que a aplicação do dobro da dose ( $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N) não resultou em acréscimos significativos nos valores obtidos; (iii) a máxima produtividade de grãos ( $9182\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) foi obtida mediante o uso da dose de  $202,6\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N, sendo esta dose considerada inviável perante o incremento que proporcionou (9%) em relação à aplicação de  $120\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N; (iv) nenhum dos nutrientes estudados (B e N) exerceu influência significativa sobre as variáveis número de fileira de grãos (NFG) e comprimento dos grãos (COMPGRAO); (v) a aplicação de doses elevadas de boro (até  $8\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) no sulco de semeadura não influenciou significativamente os componentes de produção da cultura de milho, o que pode ser atribuído aos altos teores de argila e de matéria orgânica

do solo em que se conduziu o experimento (alta capacidade de adsorção do elemento) e/ou à alta solubilidade das fontes utilizadas (ácido bórico). Por outro lado, a não ocorrência de deficiência dos referidos elementos nos tratamentos em que os mesmos não foram aplicados pode ter sido devido ao fato de que os níveis, no solo, eram satisfatórios para suprir as necessidades da cultura; e (vi) a aplicação de boro em alta dose ( $8\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) no sulco de semeadura exerceu influência significativa sobre o número de grãos por fileira da espiga (NGF). Quanto maior a dose de N aplicada, menores foram os efeitos benéficos do boro sobre o NGF, sendo que altas doses de N ( $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) potencializaram os efeitos negativos do excesso de boro aplicado no sulco de semeadura sobre o número de grãos por fileira, ou seja, ao aplicar  $240\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de N, a aplicação de  $8\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  de B provocou queda de 19% no NGF das espigas de milho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, C.A.; LOPES, A.S. Identificação de deficiências de micronutrientes em cinco solos de várzeas da região de cerrado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 2., Belém, 1985. **Resumos**. Campinas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.76.
- BRASIL. Ministério da agricultura e reforma agrária. **Regras para análise de sementes**. Brasília, 1992. 365p.
- BÜLL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: BÜLL, L.T.; CANTARELLA, H. **Cultura do milho: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.
- CHAPMAN, V.J.; EDWARDS, D.G.; BLAMEY, F.P.C.; ASCHER, C.J. Challenging the dogma of a narrow supply range between deficiency and toxicity of boron. In: BELL, R.W.; RERKASEM, B. **Boron in soils and plants**. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1997. p.151-155.
- COELHO, A.M. Balanço de nitrogênio ( $^{15}\text{N}$ ) na cultura do milho (*Zea mays* L.) em um Latossolo Vermelho-escuro fase cerrado. Lavras, 1987. 142p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras.
- FANCELLI, A.L. **Plantas alimentícias: guia para aula, estudos e discussão**. Piracicaba: CALQ, 1986. 131p.
- FANCELLI, A.L.; Dourado Neto, D. Fenologia do milho. In: Fancelli, A.L.; Dourado Neto, D. (Coord.). **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba: Publique, 1997. p.131-134.
- FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. **Produção de milho**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 360p.
- FERREIRA, A.C.B. Efeitos da adubação com N, Mo e Zn sobre a produção, qualidade de grãos e concentração de nutrientes no milho. Viçosa, 1997. 73p. Tese (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

- MALAVOLTA, E.; DANTAS, J.P. Nutrição e adubação do milho. In: Paterniani, E.; Viegas, G.P. **Melhoramento e produção do milho**. 2.ed. Campinas: Fundação Cargill, 1987, v.2, p.541-593.
- MALAVOLTA, E.; BOARETTO, A.E.; PAULINO, V.T. Micronutrientes: uma visão geral. In: Ferreira, M.E.; Cruz, M.C.P. **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS, 1991. p.1-34.
- SÁ, J.C.M. Efeito de doses e época de aplicação de nitrogênio na produção de milho, após resteva de aveia preta (*Avena strigosa*), sob plantio direto. In: FUNDAÇÃO ABC. **Resultados de pesquisa 88/89**. Ponta Grossa, 1989. (Boletim Técnico, 4).
- SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio para a cultura de milho num solo com alto teor de matéria orgânica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.29, n.1, p.13-24, 1994.
- TOUCHTON, J.T.; BOSWELL, F.C. Boron application for corn grown on selected southeastern soils. **Agronomy Journal**, v.67, n.2, p.197-200, 1975.
- WOODRUFF, J.R.; MOORE, F.W.; MUSEN, H.L. Potassium, boron, nitrogen, and lime effects on corn yield and ear leaf nutrient concentrations. **Agronomy Journal**, v.79, n.3, p.520-524, 1987.
- YAMADA, T. Adubação nitrogenada do milho. Quanto, como e quando aplicar? **Informações Agronômicas**, n.74, p.1-5, 1996.
- YAMADA, T. Boro: será que estamos aplicando a dose suficiente para o adequado desenvolvimento das plantas? **Informações Agronômicas**, n.90, p.1-5, 2000.
- YAMADA, T.; LOPES, A.S. Balanço de nutrientes na agricultura brasileira. **Informações Agronômicas**, n.84, p.1-8, 1998.

**Tabela 1.** Resultado da análise química de solo da área experimental<sup>1</sup>

pH	MO	P	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V	B <sup>3</sup>	Cu	Fe	Mn	Zn <sup>3</sup>
CaCl <sub>2</sub>	%	mg.kg <sup>-1</sup>			mmol.c.dm <sup>-3</sup>				%		mg.dm <sup>-3</sup>			
5,3 <sup>(1)</sup>	3,3	53	5,5	45	16	34	66,5	100,5	66	0,35	5,8	36	51,4	2,0
5,2 <sup>(2)</sup>	3,1	33	5,3	42	17	34	64,3	98,3	65	0,32	6,2	41	57,4	2,1

<sup>1</sup> Profundidade de 0 a 10 cm; <sup>2</sup> Profundidade de 0 a 20 cm; <sup>3</sup> Boro extraído pelo método de água quente e zinco através da solução de DTPA

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos estudados.

Tratamento	Nutrientes e Doses	
1	Nitrogênio (0kg.ha <sup>-1</sup> )	Testemunha A (sem e Boro)
2	Nitrogênio (0kg.ha <sup>-1</sup> )	1kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
3	Nitrogênio (0kg.ha <sup>-1</sup> )	2kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
4	Nitrogênio (0kg.ha <sup>-1</sup> )	4kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
5	Nitrogênio (0kg.ha <sup>-1</sup> )	8kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
6	Nitrogênio (120kg.ha <sup>-1</sup> )	Testemunha B (sem Boro)
7	Nitrogênio (120kg.ha <sup>-1</sup> )	1kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
8	Nitrogênio (120kg.ha <sup>-1</sup> )	2kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
9	Nitrogênio (120kg.ha <sup>-1</sup> )	4kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
10	Nitrogênio (120kg.ha <sup>-1</sup> )	8kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
11	Nitrogênio (240kg.ha <sup>-1</sup> )	Testemunha C (sem Boro)
12	Nitrogênio (240kg.ha <sup>-1</sup> )	1kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
13	Nitrogênio (240kg.ha <sup>-1</sup> )	2kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
14	Nitrogênio (240kg.ha <sup>-1</sup> )	4kg.ha <sup>-1</sup> de Boro
15	Nitrogênio (240kg.ha <sup>-1</sup> )	8kg.ha <sup>-1</sup> de Boro

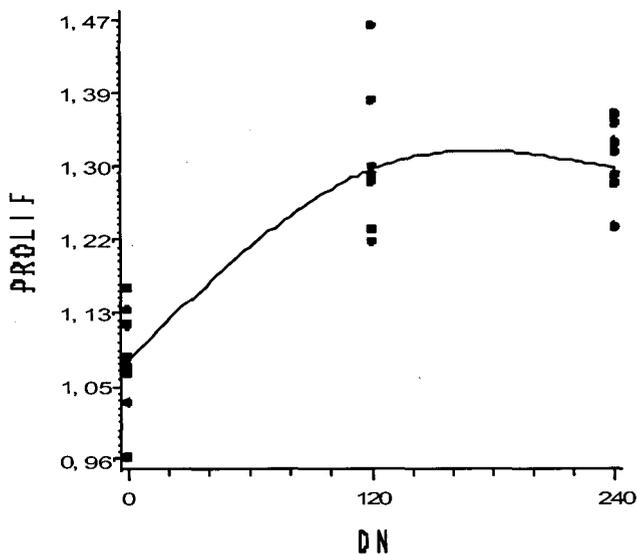
**Tabela 3.** Resultado do teste F para avaliar o efeito das doses de nitrogênio (DN,kg.ha<sup>-1</sup>) e boro (DB,kg.ha<sup>-1</sup>) e suas interações sobre variáveis número de grãos por fileira (NGF), prolificidade (PROLIF), massa de mil grãos (M1000G), produtividade (PROD), comprimento médio de espiga (COMPESP) e comprimento médio de grão (COMPGRAO).

Variável	Fonte	GL <sup>1</sup>	F <sup>2</sup>	PROB <sup>3</sup>
NFG	Bloco	2	1,75570	0,18287
NFG	DN	2	0,84090	0,43709
NFG	DB	4	1,36090	0,26024
NFG	DNxDB	8	0,36850	0,93248
NGF	Bloco	2	10,64730	0,00013
NGF	DN	2	8,55550	0,00061
NGF	DB	4	0,63590	0,63921
NGF	DNxDB	8	5,31410	0,00007
PROLIF	Bloco	2	3,94640	0,02537
PROLIF	DN	2	12,57470	0,00004
PROLIF	DB	4	0,52660	0,71663
PROLIF	DNxDB	8	0,87880	0,54046
M1000G	Bloco	2	5,79420	0,00535
M1000G	DN	2	0,16430	0,84890
M1000G	DB	4	1,15270	0,34240
M1000G	DNxDB	8	0,70010	0,68984
PROD	Bloco	2	7,76170	0,00112
PROD	DN	2	14,50530	≤0,00001
PROD	DB	4	1,62830	0,18110
PROD	DNxDB	8	0,33710	0,94750
COMPESP	Bloco	2	11,04120	0,00010
COMPESP	DN	2	16,00590	≤0,00001
COMPESP	DB	4	0,34980	0,84299
COMPESP	DNxDB	8	0,42530	0,90056
COMPGRAO	Bloco	2	9,31530	0,00035
COMPGRAO	DN	2	0,52490	0,59470
COMPGRAO	DB	4	1,35570	0,26205
COMPGRAO	DNxDB	8	0,66280	0,72143

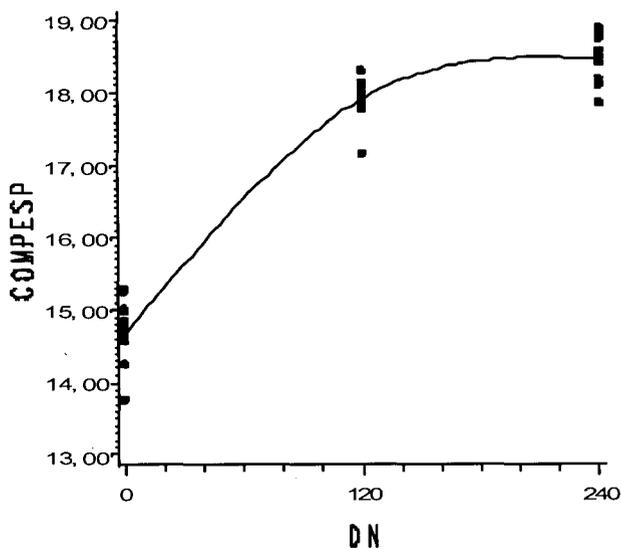
<sup>1</sup> Graus de liberdade; <sup>2</sup> Valor F; <sup>3</sup> Probabilidade

**Tabela 4.** Valores médios de prolificidade (PROLIF, espiga.planta<sup>-1</sup>), número de fileiras de grãos por espiga (NFG), número de grãos por fileira (NGF), comprimento do grão (COMPGRAO, cm) e da espiga (COMPESP, cm), massa de mil grãos (M1000G, g) e produtividade (PROD,kg.ha<sup>-1</sup>) em função das doses (kg.ha<sup>-1</sup>) de nitrogênio (DN) e boro (DB).

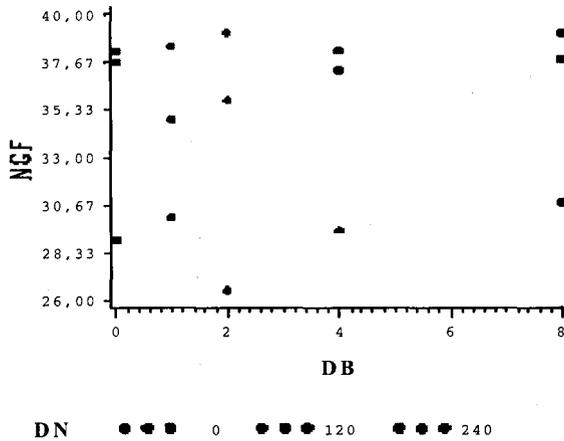
DN	DB	PROLIF	NFG	NGF	COMPGRAO	COMPESP	M1000G	PROD
0	0	1,2	14,1	29,6	1,2	14,9	208,0	3759,3
0	1	1,0	14,2	30,1	1,3	14,8	225,1	4464,9
0	2	1,1	14,3	26,5	1,4	15,0	227,0	4790,4
0	4	1,1	14,1	29,4	1,2	13,8	212,9	3245,0
0	8	1,1	14,2	37,8	1,2	14,7	212,3	4587,8
120	0	1,2	14,1	37,0	1,4	17,9	234,6	8199,9
120	1	1,3	14,2	34,8	1,3	18,1	234,9	8494,9
120	2	1,2	14,6	35,8	1,4	17,2	245,0	8467,8
120	4	1,2	13,9	37,3	1,4	18,0	253,4	7499,0
120	8	1,3	14,5	39,1	1,4	17,9	234,3	8701,8
240	0	1,4	14,6	38,4	1,5	18,6	247,0	9789,3
240	1	1,3	14,4	38,4	1,4	18,8	235,5	9411,8
240	2	1,4	14,6	39,1	1,5	18,9	258,0	9293,0
240	4	1,2	14,1	38,3	1,4	18,2	241,0	8200,7
240	8	1,2	14,3	30,8	1,4	18,1	243,2	8720,7



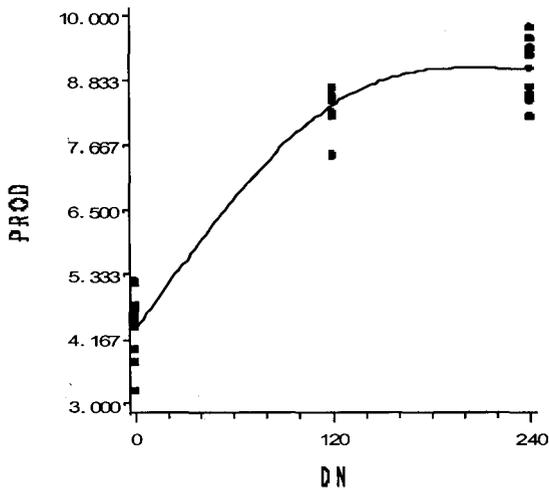
**Figura 1.** Prolifidade (PROLIF) das plantas de milho em função de doses de nitrogênio (DN, kg.ha<sup>-1</sup>) ( $r^2=0,686$ ).



**Figura 2.** Comprimento médio de espigas de milho (COMPESP, cm) em função de doses de nitrogênio (DN, kg.ha<sup>-1</sup>) ( $r^2=0,699$ ).



**Figura 3.** Número médio de grãos por fileira (NGF), em função da aplicação de doses crescentes de B e de N. ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ).



**Figura 4.** Produtividade da cultura de milho (PROD,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) em função de doses de nitrogênio (DN,  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ) ( $r^2=0,701$ ).