EFEITOS METABÓLICOS DA INTERAÇÃO ZINCO X BORO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca)

VERA LÚCIA MARTINS DE CARVALHO

- Bióloga -

Orientador: Prof.Dr. EURÍPEDES MALAVOLTA

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia, Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

P I R A C I C A B A

Estado de São Paulo - Brasil

Março - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

C33le Carvalho, Vera Lúcia Martins de
Efeitos metabólicos da interação zinco x boro
sobre o desenvolvimento do feijoeiro (Phaseolus
vulgaris L. cv. Carioca). Piracicaba, 1991.
144 p. illus.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Feijão - Interação zinco-boro - Efeito 2.
Feijão - Metabolismo 3. Feijão - Nutrição I. Escola
Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

CDD 635.652

**EFEITOS METABÓLICOS DA INTERAÇÃO ZINCO x BORO SOBRE O DESENVOL-
VIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca)**

VERA LÚCIA MARTINS DE CARVALHO

Aprovada em: 17.04.1991

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Eurípedes Malavolta	CENA/USP
Profa. Dra. Neusa de Lima Nogueira	CENA/USP
Prof. Dr. Takashi Muraoka	CENA/USP
Prof. Dr. João Domingos Rodrigues	IBBMA/UNESP
Prof. Dr. José Figueiredo Pedras	IBBMA/UNESP

Prof.Dr. EURIPEDES MALAVOLTA

Orientador

Ao TÉRCIO, TATIANA e DÉBORA,
pela compreensão

*"Lâmpada para os meus pés
é a tua palavra..."*

AGRADECIMENTOS

A autora consigna sinceros agradecimentos:

. Ao Professor Doutor Eurípedes Malavolta, pela valiosa orientação;

. À Bióloga Cleusa Pereira Cabral e Maria Lígia Malavolta, pela dedicação profissional e amiga;

. À Doutora Neusa de Lima Nogueira e à bióloga Mônica Lanzoni, pelo auxílio na consecução da análise histológica e ultraestrutural;

. Aos amigos Doutor Daniel Piccini Anton, agrônomo Oscar Fontão de Lima Filho e Ronaldo Stefanutti pelo incentivo amigo;

. À Bibliotecária Kátia M. Andrade Ferraz, pelo auxílio na elaboração das referências bibliográficas;

. À Maria Edine de Gáspari Tavares, pelos serviços datilográficos;

. Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo apoio financeiro;

. Às seguintes instituições: FEALQ/FINEP, FAPESP e CIAGRI, que contribuíram para a execução da pesquisa;

. Aos demais amigos e funcionários que incentivaram a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO	ix
SUMMARY	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. No solo	3
2.2. Absorção e transporte	3
2.3. Interações	5
2.3.1. Interação Zn x outros nutrientes	5
2.3.2. Interação B x outros nutrientes	8
2.3.3. Interação Zn x B	10
2.4. Deficiência e toxicidade	12
2.4.1. Zinco	13
2.4.2. Boro	15
2.5. Papel na planta	17
2.5.1. Zinco	17
2.5.2. Boro	21
3. MATERIAL E MÉTODOS	27
3.1. Obtenção das plantas e tratamentos	27
3.2. Condução do experimento	28
3.3. Análise e determinação analítica dos nutrien <u>tes</u>	29

3.4. Cálculo dos parâmetros da análise de cresci <u>mento</u>	30
3.5. Estudo Anátomo-histológico e ultraestrutu <u>ral</u>	30
3.5.1. Obtenção do material	30
3.5.2. Preparação do material para exames óptico e eletrônico	31
3.5.3. Microtomia e coloração	32
3.5.4. Exames microscópicos e obtenção de fotografias	32
3.6. Delineamento experimental e métodos estatís <u>ti</u> <u>cos</u>	33
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Produção de matéria seca	35
4.1.1. Raiz	38
4.1.2. Caule	43
4.1.3. Folha	46
4.1.4. Vagens	49
4.1.5. Matéria seca total	52
4.2. Parâmetros da análise de crescimento	57
4.2.1. Altura	57
4.2.2. Área foliar	59
4.2.3. Área foliar específica	61
4.2.4. Razão de área foliar	62
4.3. Observações anátomo-histológicas e ultraes <u>tru</u> <u>turais</u>	64

4.3.1. Anátomo-histológicas	64
4.3.2. Ultraestruturais	66
4.4. Macronutrientes na planta	69
4.4.1. Nitrogênio	69
4.4.2. Fósforo	72
4.4.3. Potássio	77
4.4.4. Cálcio	81
4.4.5. Magnésio	85
4.4.6. Enxofre	88
4.5. Micronutrientes na planta	95
4.5.1. Boro	95
4.5.2. Cobre	103
4.5.3. Ferro	107
4.5.4. Manganês	111
4.5.5. Zinco	114
5. CONCLUSÕES	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 18 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes na raiz nos diversos níveis de Zn na solução	93
Tabela 19 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes na raiz nos diversos níveis de B na solução	93
Tabela 20 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes no caule nos diversos níveis de B na solução	94
Tabela 21 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes no caule nos diversos níveis de Zn na solução ...	94
Tabela 27 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes na raiz nos diversos níveis de Zn na solução	122
Tabela 28 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes na raiz nos diversos níveis de B na solução	122
Tabela 29 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes no caule nos diversos níveis de Zn na solução ...	123
Tabela 30 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes no caule nos diversos níveis de B na solução	123
Tabela 31 - Médias obtidas para a relação foliar do Zn com outros elementos nos diversos níveis de Zn	124
Tabela 32 - Médias obtidas para a relação foliar do Zn com outros elementos nos diversos níveis de B	124

Tabela 33 - Médias obtidas para a relação foliar do B com outros elementos nos diversos níveis de Zn ...	125
Tabela 34 - Médias obtidas para a relação foliar do B com outros elementos nos diversos níveis de B	125

EFEITOS METABÓLICOS DA INTERAÇÃO ZINCO x BORO SOBRE O DESENVOLVIMENTO DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca)

Autora: VERA LÚCIA MARTINS DE CARVALHO

Orientador: PROF. DR. EURÍPEDES MALAVOLTA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca) frente a interação de vários níveis de Zn e B em solução nutritiva.

Através de um experimento fatorial fez-se a avaliação da produção de matéria seca, do crescimento em altura e de alguns parâmetros de crescimento (área foliar, área foliar específica e razão de área foliar). Após a secagem e moagem do material realizou-se a análise de minerais para a determinação de seus teores, bem como da relação foliar do Zn e B com alguns nutrientes. Procedeu-se então, a análise estatística dos dados obtidos. Além disto, efetuaram-se análises anátomo-histológica e ultraestrutural de folhas coletadas 45 dias após a semeadura.

Pode-se verificar que o B promoveu aumento na produção de matéria seca e nos parâmetros de crescimento, sendo a resposta dependente do nível de Zn. Os níveis de B in-

fluenciaram a produção de matéria seca e parâmetros de crescimento em resposta a aplicação de Zn. Ambos, Zn e B, afetaram a estrutura foliar a nível histológico e ultraestrutural. Dependendo do nível de B, o Zn determinou redução dos teores foliares de P, Ca, Mg, Fe e Mn, elevando o teor de K. Houve redução no teor de P e Fe na raiz em deficiência de Zn, assim como de K e S em carência de B. Os teores de Cu e Fe reduziram-se na folha em deficiência de B. O teor foliar de B foi influenciado pelo Zn e vice-versa, em função do fornecimento de cada um à planta.

Concluiu-se que o comportamento do feijoeiro é dependente da interação Zn x B.

METABOLICS EFFECTS OF THE INTERACTION ZINC x BORON ON GROWTH
IN THE BEAN PLANT (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca).

Author: VERA LÚCIA MARTINS DE CARVALHO

Adviser: PROF.DR. EURÍPEDES MALAVOLTA

SUMMARY

This work was carried out with goal of evaluating the effect of levels of Zn and B in the nutrient solution on growth and mineral composition of the bean plant.

By using a factorial design the effect of treatments on dry matter, height, leaf area, specific leaf area, and ratio of leaf area was determined. The several plant parts were analysed for mineral content. Changes in the structure and ultrastructure of the leaves were also studied.

B increased total dry matter yield and other growth parameters, the response being dependent upon the Zn level in the substrate. Alterations both in the structure and in the ultrastructure were induced by B and Zn. Zinc supply decreased the concentration of P, Ca, Mg, Fe and Mn in the leaves, and raised that of K, the effect being dependent upon the level of B supply. Zn deficiency caused

a reduction in root P and Fe, whereas B deficiency led to a decrease in the concentration of K and S. Leaf B as influenced by Zn supply, whereas leaf Zn is affected by the level of B in the nutrient solution.

It is therefore concluded that the growth behavior of the bean plant is influenced by the Zn x B interaction.

1. INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros, principalmente os Latossolos ácidos do cerrado e as areias quartzosas, são pobres em boro, zinco e cobre, sendo que sintomas de deficiência e redução de colheitas têm ocorrido em culturas temporárias ou perenes em todo o País (MALAVOLTA et alii, 1989).

O Zn age como ativador de várias enzimas e componente estrutural de outras enzimas, assim como de estruturas celulares (MARSCHNER, 1986). Quanto ao B, o conhecimento de seu papel ainda é obscuro, embora já se tenha ve rificado redução na atividade de enzimas como a desidrogenase do gluconato e outras interferências metabólicas (MENGEL & KIRKBY 1987).

Os dois micronutrientes estudados no presente trabalho, Zn e B, atuam a nível de crescimento, além de afe tarem a produção vegetal segundo o observado em numerosos trabalhos.

Posto que a produção vegetal depende não apenas dos teores dos nutrientes na planta, mas também da rela ção entre estes, a averiguação destas relações é de importância não só para cada espécie, mas para cada cultivar das

espécies produtoras. O conhecimento da interferência de um sobre o outro, bem como do nível a que se dá esta influência, faz-se necessário.

Praticamente não existem trabalhos visando avaliar a possível interação entre estes dois micronutrientes na planta; contudo sabe-se que na absorção foliar há inibição não competitiva entre ambos, enquanto que a absorção de Zn nas raízes parece ser estimulada pelo B (MALAVOLTA, 1980).

A proposta deste trabalho foi estudar a relação entre o Zn e o B, assim como, uma vez constatada sua ocorrência, tentar elucidar como ocorre.

Esta possível interação foi avaliada através da determinação dos elementos, inclusive Zn e B, pelas relações de alguns nutrientes com estes e destes entre si, determinação de alguns parâmetros da análise de crescimento e observações anátomo-histológicas e ultraestruturais do tecido foliar.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. No solo

O Zn ocorre em minerais ferromagnesianos principalmente, assim como nos sítios de troca de minerais de argila e matéria orgânica nas formas de Zn^{2+} , $Zn\ OH$ ou $Zn\ Cl^+$ (MENGEL & KIRKBY, 1987) Conforme citação destes autores, o nível de Zn na solução do solo é bastante baixo, o que tam**ém** ocorre com sua solubilidade em solos com valores altos de pH.

A turmalina é o mineral mais importante no que tange à presença de B. Entretanto, a matéria orgânica é considerada como a principal fonte deste micronutriente para as plantas no solo (MALAVOLTA, 1980). O B solúvel no solo encontra-se principalmente na forma de ácido bórico não dissociado, o que o contrasta com os demais nutrientes, os quais ocorrem na forma de íons, segundo MENGEL & KIRKBY (1987).

2.2. Absorção e Transporte

O Zn é absorvido pela planta predominantemente como Zn^{2+} , enquanto que o B o é como H_3BO_3 não dissociado,

Embora estes processos não estejam bem esclarecidos, a absorção do Zn parece ser ativa, enquanto que a do B é passível de discussão, conforme MARSCHNER (1986).

Schmid et alii citados por MARSCHNER (1986) consideraram a absorção do Zn como um processo ativo, posto que foi consideravelmente reduzida por baixa temperatura e inibidores metabólicos em raiz de cevada. O mesmo foi observado em folha de cana-de-açúcar por BOWEN (1969) e GIORDANO et alii (1974), em arroz. Todavia, há na literatura menção de ser este um processo passivo (RATHORE et alii (1970).

Quanto à absorção de B, há dados experimentais mostrando que a absorção radicular independe da temperatura e é insensível aos venenos respiratórios, conforme se observa em TANAKA (1967), o qual verificou a adsorção de B através da formação do complexo borato-polissacarídeo no espaço livre. BOWEN & NISSEN (1976) mencionam que há um componente ativo na absorção de B, detectável apenas quando o B existente no espaço livre é removido, mas de atuação proporcionalmente menor que o componente passivo.

O transporte do Zn no xilema deve ocorrer predominantemente na forma de cátion divalente, uma vez que, de acordo com MALAVOLTA (1980), é baixa a estabilidade do complexo Zn-quelante orgânico. De acordo com MENGEL & KIRKBY (1987) em folhas mais velhas o Zn torna-se muito imóvel e o transporte para tecidos mais jovens é particularmente reduzido em plantas deficientes. Em plantas com suprimento adequado de

Zn, o movimento deste não é tão limitado no floema, conforme o observado por LONERAGAN et alii. (1987).

O transporte de B à longa distância da raiz até a parte aérea, via xilema, está relacionado ao fluxo de massa (MARSCHNER, 1986). No floema, o B é suficientemente móvel para satisfazer a demanda dos frutos em crescimento, mas o transporte à longa distância é devido à grande permeabilidade da membrana plasmática dos tubos crivados com extrusão de B para fora destas células, segundo o autor citado anteriormente.

2.3. Interações

Vários estudos têm demonstrado a influência de vários elementos, direta ou indiretamente, sobre as funções metabólicas do Zn na planta; assim como o mesmo interfere na absorção, e conseqüentemente na ação de outros elementos.

A respeito da interação do B com outros elementos também será feita a abordagem de algumas constatações.

Para a interação em enfoque, entre Zn e B, a literatura é bastante escassa, como se verá a seguir.

2.3.1. Interação Zn x Outros nutrientes

A interação Zn x P tem sido alvo de atenção, pois sabe-se que aplicações maciças de fertilizantes

fosforados em solos com baixos teores de Zn podem induzir sua deficiência (LONERAGAN et alii, 1979), conforme verificado por vários estudiosos como Marschner e Schropp em solos calcários, segundo MARSCHNER (1986). Estes autores também verificaram que, em soluções nutritiva, o aumento no suprimento de P não condicionou o aparecimento dos sintomas de deficiência de Zn, embora as plantas apresentassem menor teor deste que aquelas com sintomas de deficiência. Fato semelhante foi observado por LONERAGAN et alii (1982), segundo os quais a absorção de Zn não foi afetada por aumentos na concentração externa de P.

CARMAK & MARSCHNER (1987) mencionam que o teor de Zn na planta parece não ser afetado por acréscimos de P na solução nutritiva, quando o suprimento do primeiro é adequado. Todavia, quando a concentração de Zn na solução é baixa o aumento de P induz ou acentua os sintomas de deficiência diminuindo também o nível de Zn solúvel em água.

SINGH et alii (1988) atribuem a deficiência de Zn induzida pelo P, pelo menos em parte, aos efeitos de diluição e redução de translocação de Zn das raízes para a parte aérea do feijoeiro.

Convém ressaltar que não apenas o P pode influenciar o Zn, mas a ação é recíproca. AMBLER & BROWN (1969) verificaram o decréscimo no teor de P na parte aérea do feijoeiro com o acréscimo de Zn tanto em cultivo hidropônico como

no solo. DANTAS et alii (1979) obtiveram dados, que mostraram aumento acentuado de P em plantas cultivadas em solução nutritiva com omissão de Zn. Em corroboração, CARVALHO (1985) constatou diminuição no teor de P em feijoeiro com o aumento gradativo de Zn na solução, a nível foliar. MENSER & SIDLE (1985) relatam que pequenas adições de Zn promoveram aumento nos níveis de P no caule e na raiz de soja, mas concentrações maiores do micronutriente tiveram efeito antagônico sobre a absorção do P. LONERAGAN et alii (1987) também mencionam que em omissão de Zn aumenta-se o efluxo de fosfato e reduz-se a absorção do mesmo.

AMBLER & BKOWN (1969), em experimento com feijoeiro encontraram menores teores de Fe na parte aérea com o aumento no suprimento de Zn na solução nutritiva.

Em trabalho realizado com dois cultivares de soja, MALAVOLTA et alii (1980) obtiveram aumento no teor de Fe em plantas do cultivar Santa Rosa que não receberam Zn. Todavia, para o cultivar UFV-1 o resultado foi inverso, o que indica diferença de comportamento entre cultivares da mesma espécie.

De acordo com DANTAS et alii (1979) a falta de Zn na solução nutritiva determinou redução no teor de Fe em plantas de *Vigna sinensis* L. (ENDL.). Portanto, observa-se que a resposta quanto ao teor de Fe em relação ao suprimen-

to de Zn parece ser variável.

WARNOCK (1970), em trabalho realizado com milho, verificou que em deficiência de Zn a concentração do Mn elevou-se nos tecidos, assim como sua mobilidade na planta.

Segundo GRAHAM et alii (1987), em plantas de cevada deficientes em Zn, observou-se o acúmulo de vários nutrientes como Ca, Mg, Cu, mas não de Fe.

A influência do Zn sobre a concentração de Cu na planta foi constatada por MILLIKAN (1953) em trevo subterrâneo, o qual sob deficiência de Zn apresentou maior concentração de Cu.

2.3.2. Interação B x Outros Nutrientes

Stoyanov (1971), citado por GUPTA (1979) constatou que altos níveis de P aumentou a severidade da deficiência de B em fumo. Entretanto, TANAKA (1967) observou, aumento na absorção de B com aumento no fornecimento de P à planta.

O efeito do B sobre a absorção do P foi constatado por POLLARD et alii (1977), os quais relatam diminuição na absorção de P e da atividade da ATPase em deficiência de B. Além disso, mencionam que a atividade da enzima foi restaurada com a adição de ácido bórico. Este resul-

tado veio confirmar o obtido por ROBERTSON & LOUGHMAN (1974), também em experimento com *Vicia faba* L. Contudo, os autores supuseram improvável que o B tivesse um papel específico na absorção do fosfato, apontando o desbalanço hormonal como causa provavelmente responsável por este fato em deficiência de B.

A interação P x B é enfatizada por GRAHAM et alii (1987) em estudo com cevada. Os autores observaram aumento na absorção de B em presença de P, especialmente em ausência de Zn.

Segundo GUPTA (1973), o N afeta substancialmente a absorção de B pelas plantas de tal forma que a aplicação de N reduz o nível foliar de B, inclusive minimizando a severidade do sintoma de toxicidade, porventura provocados pelo micronutriente. O mesmo foi observado por SALINAS et alii (1987) em folhas de ervilha.

SHELP (1990) constatou, em couve-flor, que ambas, deficiência e toxicidade de B, aumentaram a porcentagem de N solúvel, particularmente como nitrato, o que seria decorrente da redução na disponibilidade de carbono em carência de B.

CUTCLIFE & GUPTA (1980) mostraram que, em couve-flor, o teor de B não foi afetado pelo K e P, conquanto tenha sido pelo N.

As espécies vegetais respondem diferentemente

à aplicação de S quanto à absorção de B, posto que de acordo com GUPTA (1979), o S não afetou a concentração de B em trevo subterrâneo e trigo, mas a reduziu em alfafa.

O antagonismo entre o B e o Ca foi relatado por SALINAS et alii (1981), em ervilha.

Segundo OLIVEIRA (1980), com o aumento no fornecimento de B ao feijoeiro, em cultivo hidropônico, verificou-se aumento nos teores de Mg e Fe. Aumento na absorção de Fe em tomateiro por ação do B também já foi relatado por ALVAREZ-TINAUT et alii (1980).

2.3.3. Interação Zn x B

Há na literatura relatos de observações que sugerem possível interação entre Zn e B.

LEECE (1976) relata que plantas de milho, cultivadas em solo adubado com fertilizante fosfatado, apresentavam sintomas de deficiência de Zn, embora o teor deste em seus tecidos fosse considerado normal. Entretanto, estas plantas respondiam à adubação com Zn. Segundo o autor, esta deficiência não estava associada a desequilíbrios entre o Zn e os elementos P, Fe e Cu ou Mn, mas relacionada com o B, cujos níveis estavam próximos do nível crítico. Esta carença seria decorrente da inativação fisiológica do Zn frente a baixos níveis de B, embora não suficientemente para que as plantas exibissem sintomas de deficiência de B.

Posteriormente, LEECE (1978) em experimentos também com milho, constatou que a adubação com B impediu o aparecimento dos sintomas resultantes da carência de Zn, quando as plantas foram submetidas à baixa intensidade luminosa (outono). Contudo quando se fez a condução do experimento em condição de intensidade luminosa semelhante àquela encontrada no campo (primavera), verificou-se que os níveis de B não eram baixos nas plantas as quais mostravam deficiência de Zn. Mais ainda, não houve resposta destas à adubação com B. Portanto, segundo o autor, neste caso o B não conseguiu impedir a "inativação do Zn".

Em trabalho realizado por DANTAS et alii (1979) em *Vigna sinensis* L. (Endl.) observa-se que a omissão de B na solução nutritiva determinou redução no teor de Zn nas folhas, assim como em omissão do último houve decréscimo no teor do primeiro.

MALAVOLTA (1980), faz menção ao fato de que o B parece estimular a absorção de Zn pela raiz, contudo a falta diminuir a nível de folha.

OLIVEIRA (1980), em trabalho com nove cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), verificou que o aumento do nível de Zn na solução nutritiva determinou aumento não só no teor de Zn, mas também no teor de B na planta.

JIMENEZ et alii (1986), em experimento com girassol, concluíram que o B não influenciou a absorção e o

transporte de Zn. GOMEZ - RODRIGUEZ et alii (1987), em experimento também com girassol, mencionam variação no teor de Zn nas folhas em função do suprimento de B. Verificaram, redução no teor de Zn tanto em plantas deficientes (0,05ppm) como com excesso (5,00 ppm) de B na solução, aos 28 dias após o plantio, embora não significante estatisticamente.

Em trabalho com ervilha, SALINAS et alii (1987) mencionam que o aumento de B até certo nível, na solução nutritiva, promoveu aumento na concentração foliar de Zn, a qual reduziu-se com maiores adições de B à solução.

A interação Zn x B é complexa, posto que de acordo com GRAHAM et alii (1987), a absorção de B em plântulas de cevada com omissão no suprimento de Zn foi duas vezes maior que aquelas que receberam o nutriente sete dias antes da coleta; enfatizam que o teor de Zn em todas as plantas estava acima do nível crítico. Em concentrações excessivas de B na solução (200-3000 mM) a toxicidade do B apareceu primeiramente em tecidos deficientes em Zn. Isto de acordo com os autores, é decorrente do papel protetor do Zn a nível de membrana.

2.4. Deficiência e Toxicidade

A observação dos sintomas de deficiência ou toxicidade apresentados por uma planta, bem como sua interpretação

tação, requer bastante acuidade. Isto porque a deficiência de um mesmo elemento pode resultar em diferentes sintomas dependendo da espécie vegetal, assim como sintomas semelhantes podem ser decorrentes de deficiências de diferentes elementos. Somando-se a estes argumentos têm-se situações nas quais os sintomas atribuídos à deficiência de um elemento são devidos à toxicidade causada por outro elemento e vice-versa. Exemplificando o mencionado, tem-se que o sintoma "encurtamento dos entrenós" designado como característico da deficiência de Zn, do qual resulta a formação em "roseta" nas dicotiledôneas e plantas anãs em monocotiledôneas, não é exclusivo da deficiência deste elemento. Conforme citado por MALAVOLTA (1980) e MARSCHNER (1986), este sintoma faz-se presente também em plantas deficientes em B, embora neste caso ocorram também o amarelecimento e a morte de folhas novas e gemas apicais.

2.4.1. Zinco

Além dos sintomas já mencionados, a carência de Zn resulta em redução da lâmina foliar de folhas jovens, estreitamento e alongamento dos mesmos, assim como diminuição na produção de sementes (MALAVOLTA, 1980).

VIETS et alii (1953) e CARVALHO (1985) relataram redução na produção de vagens em *Phaseolus vulgaris* L.

deficiente em Zn, como decorrência inclusive do papel do elemento na germinação do grão de pólen, conforme observado por POLAR (1975).

A carência deste micronutriente também promove um aumento no período de maturidade do feijoeiro, o que segundo BOAWN et alii (1969) é devido a atraso na diferenciação dos tecidos.

A nível anátomo-histológico tem-se no trabalho de REED (1938) que na doença "little leaf", o parênquima paliçádico apresenta-se hiperatrofiado e há atrofia do mesófilo. O mesmo é descrito por MILLIKAN (1953) para trevo subterrâneo.

CARLTON (1954) relata que a deficiência de Zn em tomateiro é caracterizada por cessação da atividade meristemática no ápice e câmbio, necrose do tecido foliar, além de maturação precoce do xilema e endoderme do ápice radicular.

CAKMAK & MARSCHNER (1987) observaram redução no teor de clorofila em plantas com baixo teor de Zn solúvel em água.

Os sintomas de excesso de Zn em feijoeiro foram descritos por ROBB et alii (1980), os quais verificaram o aparecimento de manchas castanho-avermelhadas ao longo das nervuras foliares. As observações ultra-estruturais das zonas atingidas mostraram alterações nas paredes dos va

so xilemáticos e estudos histoquímicos revelaram a presença de compostos fenólicos.

2.4.2. Boro

Na maioria das plantas, segundo GUPTA (1979) a deficiência de B resulta na redução dos entrenós e parada do crescimento apical. As gemas terminais morrem e as laterais produzem ramos laterais do que resulta a formação de "roseta".

Ainda, de acordo com MARKSCHNER (1986) pode ocorrer clorose internerval e deformação da lâmina foliar de folhas mais velhas, aumento no diâmetro do caule e pecíolo, queda de flores, redução na produção e desenvolvimento dos frutos, além de outros sintomas dependendo da espécie vegetal.

MAEVSKAIA et alii (1976) descrevem que *Vicia faba* L. carente em B apresentou drástica redução no crescimento da raiz, as quais mostraram-se pequenas, engrossadas, e de coloração parda; na parte aérea, morte de gemas apicais.

No feijoeiro, de acordo com WILCOX & FAGERIA (1976), a deficiência de B caracteriza-se por cloroses internervais, do pecíolo para o ápice.

MALAVOLTA et alii (1980) constataram em *Phaseolus vulgaris* L. c.v. Carioca, que em omissão de B na so-

lução nutritiva houve menor desenvolvimento do sistema radicular, encarquilhamento mais pontuações amarelas nos folíolos mais novos, além de morte da gema apical. Quanto à produção de matéria seca, KIRK & LONERAGAN (1988) relatam que a carência de B em soja promoveu diminuição deste parâmetro nas raízes e folhas jovens, mas aumento em folhas mais velhas, que resultou em atraso na resposta, relativa à matéria seca total da parte aérea, à deficiência de B. Por este fato, os autores sugerem que a taxa de alongação de folhas jovens em expansão seja um melhor parâmetro para se fazer a diagnose da deficiência de B, do que a produção de matéria seca da parte aérea nesta cultura.

O ciclo de vida da planta não se completa conforme o observado para dois cultivares de soja (Santa Rosa e UFV-1) por MALAVOLTA et alii (1980). A produção de sementes e grãos apresenta uma maior exigência de B que o crescimento vegetativo, porque o B tem um papel bastante importante no desenvolvimento do tubo polínico assim como na produção de açúcares (MENGEL & KIRKBY, 1987). Segundo LEWIS (1980), o desenvolvimento do tubo polínico é inibido por fitoalexinas que são produzidas quando há carência de B.

KOUCHI & KUMAZAWA (1976) observaram em tomateiro deficiente em B, modificação na forma e arranjo das células corticais, com um desenvolvimento anormal do aparelho de Golgi.

Em deficiência de B comprovou-se a presença de compostos fenólicos (PERKINS & ARONOFF, 1956), precursores da lignina.

Redução da atividade mitótica em ápice radicular foi constatado por KOUCHI (1977) em *Vicia faba* carente de B.

Relato de modificação na estrutura do núcleo, que se torna maior e irregular e com atraso na diferenciação foi observado por BUSSLER (1981), em girassol com deficiência deste micronutriente.

Os sintomas de toxicidade de B consistem em clorose marginal e apical, seguida pela necrose, conforme GUPTA (1979). O autor ainda menciona que em feijoeiro o excesso de B causa o mosqueamento e necrose, especialmente ao longo da margem foliar.

2.5. Papel na planta

O Zn desempenha tanto função estrutural como metabólica nos vegetais, algumas das quais já esclarecidas. Todavia, o papel do B é menos conhecido.

2.5.1. Zinco

Um dos trabalhos que pode ser considerado pioneiro na elucidação da função metabólica deste micronutriente, foi realizado por SKOOG (1940). O enfoque do autor foi

a verificação de alguma relação fisiológica entre o Zn e a auxina, através do cultivo de plantas de tomate e girassol em solução nutritiva. Verificou-se então que o Zn é importante para a manutenção do nível normal de auxina na planta, o que segundo o autor, seria devido à oxidação da auxina em deficiência de Zn. TSUI (1948) o atribui ao papel do elemento na síntese do triptofano, aminoácido precursor deste regulador; este aminoácido também apresentou-se em menor concentração sob deficiência de Zn. Fato também verificado por CARVALHO (1985) em feijoeiro, em plantas coletadas 30 dias após a semeadura.

Embora TAKAKI & KUSHIZAKI (1970) tenham encontrado resultado inverso ao dos autores anteriormente citados, a resposta obtida pode ter sido decorrente do estágio de desenvolvimento da planta, uma vez que quando CARVALHO (1985) fez análise de plantas com 45 dias após a semeadura, aquelas sujeitas ao maior nível de Zn apresentaram menor nível de triptofano.

O Zn atua como ativador de várias enzimas, as quais também podem ser ativadas por outros íons como Mg^{2+} e Mn^{2+} , como a enolase (MENGEL & KIRKBY, 1987). A aldolase e a hexoquinase são enzimas cujas atividades são reduzidas em deficiência de Zn (STEWART, 1963).

Além das enzimas citadas, tem-se a frutose-1,6-difosfatase que é também uma enzima participante do metabolismo dos carboidratos, a qual tem sua atividade re-

duzida em deficiência de Zn. SHARMA et alii (1981) relatam aumento de açúcares redutores sob deficiência deste micronutriente. Feijoeiro carente de Zn apresenta redução no teor de amido, na atividade da sintetase de amido, assim como tamanho e número de grãos de amido nas folhas também menores (JYUNG et alii, 1975). Convém ressaltar que segundo MARSCHNER (1986), estas alterações provocadas no metabolismo dos carboidratos não são as responsáveis pelos sintomas visíveis de deficiência de Zn.

A síntese protéica também é influenciada pelo Zn a diversos níveis. Este micronutriente parece ter um papel estabilizador dos ribossomos (PRASKE & PLOCKE, 1971), de forma que em sua deficiência ocorre redução daqueles em *Euglena gracilis*. Isto devido ao fato de que o Zn impediria a destruição destes ribossomos pelas ribonucleases, que têm sua atividade elevada em plantas sob deficiência de Zn.

O metabolismo protéico também é afetado pelo Zn, por este ter papel estrutural na RNA polimerase (FALCHUK et alii, 1971). SHARMA et alii (1981), relatam redução no teor dos ácidos nucleicos, tanto RNA quanto DNA, em carência de Zn, além do acúmulo de N não proteico em decréscimo do N proteico.

EDWARDS & MOHAMED (1973) constataram que, em carência de Zn, o feijoeiro apresentou redução dos níveis de ribulose 1,5-difosfato e carboxilase, desidrogenase málica e anidrase carbônica, embora nas duas primeiras o efei

to tenha sido menor.

Atuaria o Zn sobre o processo fotossintético? É provável que sim, direta ou indiretamente, uma vez que corroborando o já mencionado, JYUNG & CAMP (1976) obtiveram aumento da síntese de ribulose difosfato carboxilase com o aumento do suprimento de Zn à planta. Aliado a este fato, tem-se o relato de ZHANG & WU (1989) de que tomateiro carente de Zn, sob alta intensidade luminosa, mostra alteração no metabolismo da clorofila.

O Zn exerce um efeito marcante sobre a membrana celular, uma vez que é componente estrutural da dismutase do superóxido (SOD), conforme VAUGHAN et alii (1982), enzima que juntamente com a catalase impede a peroxidação da camada lipídica da membrana pelo O_2^- e H_2O_2 (LASTRA et alii 1982). CAKMAK & MARSCHNER (1988) observaram que plantas sob carência de Zn mostravam aumento na produção de O_2^- , além de elevação na taxa de oxidação de NADPH com decréscimo das atividades da SOD e catalase. Portanto, a integridade e consequentemente a atividade da membrana são dependentes do nível de Zn presente na planta.

LONERAGAN et alii (1987), confirmando o referido acima, encontraram evidências de que planta deficientes em Zn apresentam aumento do efluxo de fosfato e sua absorção diminuída.

2.5.2. Boro

O papel do B é bastante desconhecido, apesar de sua essencialidade para as plantas vasculares ter sido demonstrada no início do século (WARINGTON, 1923).

Vários processos metabólicos são influenciados, direta ou indiretamente, pelo B tais como o metabolismo dos ácidos nucleicos, a biossíntese dos carboidratos, metabolismo proteico e outros (MENGEL, 1987). Em decorrência de alterações metabólicas a vários níveis surgem divergências sobre qual seria o papel primário do elemento: biossíntese de lignina e diferenciação do xilema (LEWIS, 1980), estabilização da membrana (PILBEAM & KIRKBY, 1983) e alterações nas reações enzimáticas (DUGGER, 1983).

Segundo DUGGER (1983), as considerações relativas às funções fisiológicas do B devem ser embasadas no fato de que o ácido bórico é capaz de formar complexos diol-borato, reversíveis ou irreversíveis, de diferentes estabilidades com compostos que contêm a configuração cis-diol, os quais incluem os açúcares e seus derivados. O autor sugere que, com a complexação do B a estes compostos, os processos metabólicos podem ser estimulados ou inibidos.

Em corroboração a este argumento tem-se o trabalho de LEE & ARONOFF (1967), onde se verificou que o borato pode combinar-se com o fosfogluconato, restringindo assim o fluxo do substrato para a via pentose fosfato e

consequentemente limita a síntese de compostos fenólicos. To davia, GOMEZ - RODRIGUEZ et alii (1987) observaram, em girassol deficiente em B, aumento da atividade da desidrogenase do 6-fosfogluconato e da desidrogenase da glucose-6-fosfato, enzima cuja ação antecede à da primeira. Portanto segundo os autores, o controle da via pentose fosfato far-se-ia através da inibição da desidrogenase da glucose-6-P. Ainda, os autores mencionaram ausência de evidências que dêem suporte a hipótese de que o borato complexa-se com os substratos das enzimas. Entre as possibilidades explicativas da redução da atividade destas duas enzimas, sugere-se que a ação do B a nível de membrana explicaria o fato, se estas enzimas estiverem ligadas às membranas da célula. Os autores então citam BEN BASSAT & ANDERSON (1981), que relatam que a desidrogenase da glucose-6-P está reversivelmente ligada a membrana dos tilacóides no cloroplasto. Encontrou-se ainda correlação positiva entre o teor de Zn nas folhas e a atividade da desidrogenase do 6-P-gluconato.

MAEVSKAYA et alii (1976) citam que leguminosas carentes de B apresentaram aumento significativo da atividade da β -glucosidase, que é responsável pela manutenção da razão ótima aglicona-fenólica-glucosídeo; para gramíneas não se observou tal fato.

O envolvimento do B no metabolismo dos carboidratos foi sugerido por DUGGER & HUMPHREYS (1960), em reações enzimáticas relativas à síntese de sacarose e amido.

BIRNBAUM et alii (1977) observaram que o B atua estimulando a UDPG (uridina difosfato glicose), que é uma coenzima essencial para a síntese de sacarose.

A síntese de bases nitrogenadas é dependente deste micronutriente, embora não se saiba seu modo de ação. Desta forma, pode-se inferir que, se há menor síntese de sacarose, em deficiência de B, menor também é a translocação.

O fato do B agir na síntese da uridina também implica que sua deficiência afeta a composição da parede celular, posto que a UDPG é o composto precursor da hemicelulose. Mais ainda, isto refletir-se-á na produção de compostos fenólicos, uma vez que em diminuição da UDPG, a atuação da via pentose fosfato aumentará. Isto pode resultar em alteração na síntese de lignina, conforme detectado por HIRSCH & TORREY (1980).

DUGGER & PALMER (1985) verificaram menor síntese de celulose em carência de B em fibras de algodão.

Um fato que poderia limitar a translocação de açúcares, em plantas deficientes em B, seria a deposição de calose nas placas crivadas dos elementos do floema, registrada por VAN DE VENTER & CURRIER (1977), em feijoeiro. Todavia, os mesmos autores não observaram acúmulo de calose em algodoeiro, embora tenham constatado decréscimo na translocação de ^{14}C , tanto no feijoeiro como no algodoeiro.

Assim, em primeira instância, o acúmulo de calose não parece ser responsável pelo menor transporte de açúcares no floema.

A atuação do B na formação das bases nitrogenadas talvez possa ser considerada como uma ação primária, posto que é de ampla repercussão a nível metabólico. A redução na síntese de ácidos nucleicos (SHKOLNIK, 1974), da atividade meristemática ou divisão celular (KOUCHI, 1977) podem ser resultantes da diminuição de bases nitrogenadas em carência de B. É de importância mencionar que as citocininas reguladores que atuam na divisão celular, tem sua síntese reduzida em deficiência de B, conforme citado por MENGEL & KIRKBY (1987).

A redução da síntese proteica tem provavelmente no fato acima, como uma das causas. A atividade da RNase (ribonuclease), eleva-se em deficiência de B (MARSCHNER, 1986), o que também deve afetar a síntese proteica. Fato similar também ocorre em deficiência de Zn, como já referido.

MOORE & HIRSCH (1983) consideram que a perda da integridade da membrana é o efeito inicial da deficiência de B, uma vez que esta foi observada 6 horas após a suspensão do fornecimento do elemento à planta e antes de ocorrerem alterações na síntese de DNA. POLLARD et alii (1977) atribuem esta alteração na permeabilidade da membrana à in-

teração do B com componentes hidroxílicos da membrana e aumento do nível auxínico. PILBEAM & KIRKBY (1983) também conferem à manutenção do gradiente de potencial elétrico da membrana como papel primário do B, para a ação das ATPases.

Qual seria o envolvimento do B com o metabolismo dos reguladores vegetais?

SHKOLNIK (1976), propõe que o acúmulo de auxinas e fenóis é a primeira causa da necrose que ocorre em plantas deficientes em B.

FACKLER et alii (1985) observaram que a tendência nos primeiros estágios de desenvolvimento, é diminuir o nível de auxina quando em deficiência deste micronutriente. Fato também constatado por SMIRNOV et alii (1977), para plântulas de girassol e feijão, considerando o fenômeno como resultante de distúrbios na biossíntese do IAA (ácido indolilacético) sob a ação tóxica de compostos fenólicos. HIRSCH & TORREY (1980) relatam que as mudanças ultraestruturais observáveis sob deficiência de B são diferentes daquelas decorrentes de níveis excessivos de IAA. Verificaram que, embora a membrana celular apresentasse alterações, o nível de IAA endógeno seria semelhante entre plantas deficiente e controle, alterando-se apenas 24 horas após o início do tratamento.

TANG & FUENTE (1986) constataram que houve

declínio, na taxa de transporte basípeto de auxina no hipocótilo de plântulas submetidas à solução deficiente em B ou em Ca.

De acordo com LOVATT (1985), a hipótese de que o B é essencial para a manutenção de concentrações adequadas dos nucleotídeos de pirimidina explica a aparente discrepância de papéis desempenhados pelo B na planta: divisão e alongamento celular, biossíntese de ácidos nucleicos, metabolismo dos carboidratos e permeabilidade da membrana, visto que estes nucleotídeos são necessários para estes processos metabólicos. A divisão celular implica em síntese prévia de ácidos nucleicos, para a qual são requisitados nucleotídeos. Por outro lado, tem-se redução de UDP-glicose em deficiência de B, com aumento no acúmulo de amido e interferência na formação normal da parede celular. Os nucleotídeos de citidina são importantes para a síntese dos fosfoglicerídeos componentes da membrana celular.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Obtenção das plantas e tratamentos

Sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Carioca), após terem sido desinfectadas em hipoclorito de sódio a 1% e lavadas várias vezes, foram colocadas para germinar em vermiculita. Uma semana após a semeadura, as plantas tiveram suas raízes lavadas em água desmineralizada, sendo então transplantadas para bandejas de polietileno, onde foram colocadas na solução nutritiva (solução nº 2 de HOAGLAND & ARNON, 1950), diluída a 1/4, com omissão de Zn e B.

Após decorrida mais uma semana, as plântulas foram colocadas em vasos de polietileno, contendo a solução nº 2 modificada para se ter os seguintes tratamentos:

Tratamentos	Níveis de Zn ppm	Níveis de B
T ₁	0,00	0,00
T ₂	0,00	0,05
T ₃	0,00	0,30
T ₄	0,00	0,60
T ₅	0,07	0,00

T ₆	0,07	0,05
T ₇	0,07	0,30
T ₈	0,07	0,60
T ₉	0,15	0,00
T ₁₀	0,15	0,05
T ₁₁	0,15	0,30
T ₁₂	0,15	0,60
T ₁₃	0,37	0,00
T ₁₄	0,37	0,05
T ₁₅	0,37	0,30
T ₁₆	0,37	0,60

3.2. Condução do experimento

O experimento foi visitado diariamente quando então se completava o volume da solução nutritiva e fazia-se o controle do funcionamento do arejador.

Efetuuou-se medida do pH do experimento em sua instalação e nas trocas das soluções, as quais se faziam cada 15 dias aproximadamente.

Observações detalhadas das plantas dos diversos tratamentos foram realizados 10 dias e 36 dias após o transplante para os vasos definitivos.

Realizaram-se duas coletas para a determinação dos teores dos nutrientes e medidas do peso da matéria seca da planta. Na primeira coleta, que se fez 40 dias

após a semeadura, mediu-se a altura das plantas, assim como tomaram-se discos foliares das mesmas, de cada tratamento para posterior determinação da área foliar. No final do ciclo fez-se a segunda coleta.

Coletou-se material de folhas jovens, para análise anátomo-histológica, 45 dias após a semeadura.

3.3. Análise e determinação analítica dos nutrientes:

A análise dos teores dos diversos elementos, foi realizada para as diferentes partes da planta, as quais foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 60 - 70°C. A seguir foram moídas em moinho Wiley, peneira 20 e colocadas em saquinhos de polietileno.

Fez-se um extrato nítrico-perclórico para a determinação dos nutrientes, com exceção do N e do B; para os últimos as digestões foram, respectivamente, digestão sulfúrica e digestão por via seca.

As determinações analíticas foram realizadas de acordo com MALAVOLTA et alii (1989) conforme segue:

N: Semi-micro Kjeldahl;

P: Colorimetria do metavanadato;

K: Fotometria de chama de emissão

Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu: Espectrofotometria
de absorção atômica

S: Turbidimetria do sulfato de bário;

B: Colorimetria da azometina-H

3.4. Cálculo dos Parâmetros da Análise de Crescimento

Apenas alguns parâmetros da análise de crescimento foram avaliados, visto que, os demais envolvem medidas efetuadas em intervalos regulares, durante o desenvolvimento vegetal, o que não se realizou no presente experimento.

- Altura: medida a partir do colo da planta até o ápice da folha superior;

- Área Foliar: determinada através da técnica do disco foliar, que relaciona o peso da matéria seca do disco foliar com o peso da matéria seca das folhas;

- Área Foliar Específica: corresponde à relação entre área foliar e o peso da matéria seca total da planta.

- Razão de Área Foliar: refere-se ao quociente entre a área foliar e o peso da matéria seca total da planta.

3.5. Estudo Anátomo-histológico e ultraestrutural

3.5.1. Obtenção do material

Foram tomadas amostras apenas dos tratamentos T_1 (omissão em Zn e B), T_2 (0,00 ppm Zn e 0,05 ppm B), T_6 (0,75 ppm Zn e 0,05 ppm B), T_{11} (0,15 ppm Zn e 0,30 ppm B) e T_{16} (0,37 ppm Zn e 0,60 ppm B).

3.5.2. Preparação do material para exames Óptico e eletrônico

- Fixação: pequenas porções de tecido foliar foram fixadas em glutaraldeído 5% em tampão fosfato 0,2M, pH 7,2, durante 1 hora a 4°C.

- Pós-fixação: após lavagem, durante 2 horas e 45 minutos em tampão fosfato 0,15M, o material foi pós-fixados em Óxido Ósmico 2% em tampão fosfato 0,2M, num período de 1 hora a 4°C.

- Pré-coloração: fez-se a pré-coloração com acetato de uranila 2,5% em água a 4°C.

- Desidratação: a desidratação realizou-se com acetona e Óxido propileno, nas seguintes concentrações em água:

acetona 25% - 5 minutos

acetona 50% - 5 minutos

acetona 75% - 5 minutos

acetona 90% - 20 minutos (2 vezes/10 min.)

acetona 100% - 60 min. (3 vezes/20 min.)

Óxido de propileno (2 vezes/15 minutos)

- Inclusão: foi realizada gradualmente com a resina Epon 812 e Óxido de propileno, como segue:

Epon - Óxido propileno (1:1) - durante 1 hora e 30 minutos a 37°C.

Epon - Óxido de propileno (2:1) - durante 2 horas a 37°C

Epon puro - durante 24 horas a 4°C.

Transferiu-se o material para moldes de borracha, os quais foram preenchidos com Epon 812 e levados à estufa a 37°C, 45°C e 60°C por 8, 16 e 24 horas, respectivamente para a polimerização e obtenção de blocos.

3.5.3. Microtomia e coloração

Os blocos foram preparados para obtenção de cortes semi-finos e ultra-finos os quais foram realizados no Ultramicrotomo Porter Blum.

Os cortes semi-finos (0,5 µ) foram transferidos para lâminas de vidro e corados com azul de toluidina 2,5%.

Os cortes ultra-finos (60-90 nm) foram colocados em grades de cobre e corados com acetato de uranila 2,5% em água e citrato de chumbo.

3.5.4. Exames Microscópicos e obtenção de fotografias

No microscópio óptico as fotografias foram obtidas com aumento de 400 vezes e então ampliadas a 1660 vezes.

O aumento utilizado para a análise, ultra-estrutural foi de 8200 vezes, exceto para o tratamento em que houve omissão de Zn e B (T_1), cujo aumento foi de 7830 vezes.

3.6. Delineamento experimental e métodos estatísticos

O experimento fatorial inteiramente casualizado, constituiu-se de duas repetições, cada qual correspondente a duas plantas por vaso.

Os resultados obtidos para peso da matéria seca, parâmetros de crescimento, teor dos nutrientes e relações foliares, foram submetidos a análise de variância, teste F e determinada a diferença mínima significativa entre as médias (DMS).

Realizou-se análise de regressão entre níveis de Zn e peso da matéria seca, assim como entre níveis de B e peso da matéria seca para raiz, caule, folha e matéria seca total. Verificou-se também correlação entre nível de Zn dentro de cada nível de B e peso da matéria seca; fez-se o mesmo em relação aos níveis de B dentro de cada nível de Zn.

Com o intuito de melhor avaliar o efeito de Zn e B isoladamente sobre o teor dos nutrientes efetuou-se análise de regressão entre os níveis destes e o teor de cada nutriente.

Para o peso da matéria seca da raiz e do caule apresentaram-se as tabelas de médias relativas aos níveis de ambos separadamente, para as duas coletas em conjunto.

O peso da matéria seca foliar foi apresentado através de tabela de médias, obtidas da interação $Zn \times B \times$ coleta.

A apresentação dos dados médios obtidos para teor dos nutrientes foi similar ao do peso da matéria seca.

Os gráficos elaborados para explicarem o efeito conjunto de Zn e B representam a média dos valores obtidos nas duas coletas para peso da matéria seca.

Para as relações foliares optou-se por apresentar, em gráfico, apenas os valores médios obtidos na 1.^a coleta, posto que no final do ciclo a variação na folha pode ser decorrente da translocação para o fruto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Produção de Matéria seca

(Tabelas 1 e 2; Quadros 1 e 2)

O Zn mostrou tendência a reduzir a produção da matéria seca da raiz e do caule, conforme se observa através das equações de regressão entre este parâmetro e os níveis de micronutriente na solução, o que resultou na obtenção de correlação negativa, a nível de matéria seca total, entre as duas variáveis.

Observou-se, na raiz, diferença significativa entre as médias de omissão e 0,07 ppm de Zn, bem como destas com aquelas dos dois maiores níveis de Zn, as quais não mostraram diferença significativa entre si. No caule, verificou-se que em omissão de Zn, a produção de matéria seca foi menor, significativamente, que em sua presença. A produção de matéria seca foliar não diferiu significativamente nos vários níveis de Zn e, portanto, não se obteve correlação entre estes e peso da matéria seca neste órgão. O peso da matéria seca reduziu-se apenas nos dois maiores níveis de Zn.

Constatou-se aumento na biomassa vegetal com

Tabela 1 - Médias obtidas para peso da matéria seca nos diversos níveis de Zn na solução

Níveis de Zn (ppm)	Raiz	Caule	Folha	MST
			g	
0,00	1,57A	3,30A	5,45A	11,03A
0,07	1,28B	2,32B	4,89A	11,90A
0,15	0,85C	1,98B	5,07A	9,37B
0,37	0,96C	1,99B	5,14A	9,07B
F _{3,31}	36,63**	24,51**	1,56NS	25,23**
C.V.	18,40%	20,99%	14,67%	10,41%
DMS _{1%}	0,26	0,60	0,90	1,29

Tabela 2 - Médias obtidas para peso da matéria seca nos diversos níveis de B na solução

Níveis de B (ppm)	Raiz	Caule	Folha	MST
			g	
0,00	0,25A	0,26A	1,69A	2,20A
0,05	0,85B	2,27B	6,42BC	9,55B
0,30	1,41C	2,51B	5,64B	11,57C
0,60	2,15D	4,54C	6,80C	18,06D
F _{3,31}	229,04**	143,48**	155,38**	588,60**
C.V.	18,40%	20,99%	14,67%	10,41%
DMS _{1%}	0,26	0,60	0,90	1,29

** = nível de significância de 1%

NS = não significativo a 1%

As letras comparam médias das linhas

Quadro 1 - Regressão entre níveis de Zn e peso da matéria seca

	Regressão	significância
Raiz	$y = 1,60 - 6,69x + 13,36 x^2$	**
Caule	$y = 3,24 - 12,88 x + 25,74 x^2$	**
Folha	-	N.S.
Mat.seca total	$= 11,32 - 6,58 x$	**

Quadro 2 - Regressão entre níveis de B e peso da matéria seca

	Regressão	significância
Raiz	$y = 0,49 + 2,87 x$	**
Caule	$y = 1,02 + 5,80 x$	**
Folha	-	N.S.
Mat.seca total	$y = 5,16 + 21,84 x$	**

o acréscimo de B na solução de forma que observaram-se correlações positivas, segundo equações lineares, entre níveis de B e peso da matéria seca radicular, caulinar e total; não se verificou o mesmo para tecido foliar.

Na raiz, as médias relativas às várias concentrações de B diferiram significativamente entre si. Não se notou diferença entre os dois níveis intermediários de B, no caule. A média obtida, para peso da matéria seca foliar, apresentou-se significativamente menor em omissão de B. A produção de matéria seca total aumentou significativamente com a adição de B na solução, conforme já mencionado.

Uma vez feita esta abordagem sobre o efeito isolado do Zn e do B sobre a produção de matéria seca no feijoeiro, partir-se-á para uma discussão envolvendo a ação conjunta de ambos, através da interação entre estes nas duas coletas realizadas.

4.1.1. Raiz

(Tabela 3; Figuras 1 e 2)

A produção de matéria seca da raiz foi influenciada pelos diversos níveis de Zn e B, bem como pela interação destes nas duas coletas efetuadas.

O Zn em omissão de B parece ter atuado no sentido de promover o aumento na produção da matéria seca radi-

cular, embora as diferenças não tenham sido significativas e não se tenha obtido correlação entre níveis de Zn e matéria seca; nos demais níveis de B não se observou tal tendência na 1.^a coleta. Na 2.^a coleta, houve redução do peso da matéria seca, com o aumento dos níveis de Zn na solução tanto a 0,05 como a 0,30 ppm de B. A 0,60 ppm de B constatou-se diferença significativamente apenas entre a média relativa à ausência de Zn e as demais que foram menores, na 2.^a coleta. Convém salientar que na 1.^a coleta, a 0,60 ppm de B não se verificou diferença significativa entre as médias dos diversos níveis de Zn. Através da figura 1, pode-se constatar redução da matéria seca radicular com a adição de Zn na solução, exceto em omissão de B.

A atuação do B promovendo aumento na produção de matéria seca foi evidenciada em todos os níveis de Zn, de forma a se obter correlação entre os mesmos. (Fig. 2), expressa por funções quadráticas. Para os dois menores níveis de Zn observou-se uma rápida ascensão da curva, o que já não ocorreu para os dois maiores, com o acréscimo de B na solução, fato devido provavelmente à interação do Zn com outros nutrientes, inclusive B.

As médias obtidas a 0,60 ppm de B foram significativamente maiores que aquelas dos outros níveis de B para os dois menores níveis de Zn. Embora houvesse aumento dos mesmos para os dois maiores níveis de Zn, não o foi significativamente na 1.^a coleta, enquanto que na 2.^a a diferença fez-se significativa.

Tabela 3 - Médias obtidas para peso da matéria seca da raiz em gramas

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1ª coleta	0,00	0,21Aa	0,67Aab	0,92Ab	0,94Ab
	0,07	0,17Aa	0,52Aab	0,97Ab	1,07Ab
	0,15	0,21Aa	0,79Aab	0,57Aab	0,85Ab
	0,37	0,36Aa	0,67Aab	0,49Aab	0,95Ab
2ª coleta	0,00	0,19Aa	1,34Ab	3,79Ac	4,49Ad
	0,07	0,22Aa	1,11ABb	3,18Bc	3,01BCc
	0,15	0,24Aa	0,74Ba	0,78Ca	2,60Cb
	0,37	0,38Aa	0,95ABa	0,60Ca	3,31Bb

DMS_{5%} = 0.584

F_{0;31} = 10,29**

C.V. = 15,40%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

Esta redução de peso de matéria seca em altos níveis de Zn pode ter sido causada pela diminuição dos teores de outros nutrientes como B e Ca (Tabelas 15 e 22), mas também como decorrência de alterações do nível auxínico. A concentração ótima para a promoção do crescimento da raiz é da ordem de 10^{-11} M (GALSTON & DAVIES, 1972). Acima desta concentração este regulador passa a inibir o crescimento deste órgão. Assim, se alto nível de Zn conduziu a concentração supra-ótima o crescimento radicular reduziu-se em função desta alteração metabólica.

Figura 1 - Produção de matéria seca da raiz em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Figura 2 - Produção de matéria seca da raiz em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

É bastante complexo e obscuro o modo de ação do B sobre o crescimento, mas pode-se especular sobre seu efeito na síntese de bases nitrogenadas, bem como em seu estímulo sobre a UDPG (uridina difosfato glicose), de acordo com BIRNBAUM et alii (1977). A redução de bases nitrogenadas implica em diminuição na síntese de ácidos nucleicos e atividade meristemática, enquanto menor atividade da UDPG resulta em menor síntese de sacarose e portanto menor potencial energético para a divisão celular. Isto tudo sem considerar seu envolvimento com nível auxínico na planta, direta ou indiretamente, além de se ter observado redução na síntese das citocininas em deficiência de B, segundo menção de MENGEL & KIRKBY (1987).

De fato deve ocorrer alteração do nível auxínico, pois as raízes, em deficiência de B apresentaram-se curtas e grossas, indício de descontrole da divisão celular a nível de câmbio, o qual se faz sob controle deste regulador vegetal, de acordo com GALSTON & DAVIES (1972).

Os resultados obtidos tanto para o Zn quanto para o B acordam com aqueles encontrados na literatura. EDWARDS & MOHAMED (1973) relatam aumento do peso da matéria seca radicular em feijoeiro com aumento na concentração de Zn na solução de 0,005 ppm para 0,05 ppm, na variedade Savilac, a 0,50 ppm de B. No presente trabalho observou-se apenas a tendência de aumento do peso da raiz da omissão de 0,00 a 0,07 ppm de Zn a 0,30 e 0,60 ppm de B na 1ª coleta.

OLIVEIRA & MALAVOLTA (1981) constataram aumento do peso da matéria seca radicular com acréscimo de 0,5 ppm de B à solução em nove cultivares de feijoeiro.

4.1.2. Caule

(Tabela 4; Figuras 3 e 4)

De forma semelhante que a raiz, o caule teve sua produção de matéria seca aumentada com o aumento do fornecimento de Zn à planta, em omissão de B, conquanto não o tenha sido significativamente. A 0,05 ppm de B não se verificou diferença para os diversos níveis de Zn; a 0,30 ppm de B houve tendência à redução de matéria seca com elevação de Zn na solução. No maior nível de B não se constatou diferença entre as médias referentes aos níveis de Zn na 1.^a coleta, enquanto que na 2.^a coleta a maior média foi conferida para o tratamento omissor em Zn com 0,60 ppm de B, concordemente com a raiz. A Fig. 3 descreve o comportamento da planta quanto à matéria seca caulinar frente aos diversos níveis de Zn dentro dos de B.

A resposta do caule, quanto à produção de matéria seca, aos diversos níveis de B foi similar a da raiz, o que se verificou através das curvas de regressão. Desta forma, a abordagem feita para elucidar os papéis do Zn e do B na produção da biomassa radicular foi considerada válida para o caule.

Tabela 4 - Médias obtidas para peso da matéria seca do caule em gramas

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	0,04Aa	1,01Aa	1,30Aa	1,16Aa
	0,07	0,20Aa	1,01Aab	1,73Ab	1,63Ab
	0,15	0,24Aa	1,38Aa	0,71Aa	1,44Aa
	0,37	0,32Aa	1,02Aab	0,64Aab	1,93Ab
2. ^a coleta	0,00	0,22Aa	3,73Ab	7,43Ac	11,30Ad
	0,07	0,23Aa	4,11Ab	4,73Bb	4,96Bb
	0,15	0,26Aa	3,03Ab	2,01Cb	6,72Cc
	0,37	0,37Aa	2,91Ab	1,52Ca	7,19Cc

DMS_{5%} = 1,37

F_{9;31} = 10,22**

C.V. = 20,99%

** = nível de significância a 1%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas comparam médias das colunas

Figura 3 - Produção de matéria seca do caule em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Figura 4 - Produção de matéria seca do caule em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

4.1.3. Folha

(Tabela 5; Figuras 5 e 6)

Conforme se observa na tabela das médias não houve diferença significativa entre as médias referentes aos diversos níveis de Zn, mas observou-se tendência ao aumento destas, com o aumento de Zn na solução em omissão de B e a 0,60 ppm deste. Esta tendência se inverteu acima de 0,07 ppm de Zn na concentração de 0,30 ppm de B, na 1.^a coleta. Na 2.^a coleta verificou-se diminuição significativa das médias, aumentando-se o nível de Zn na solução, exceto em omissão de B. O comportamento do feijoeiro, quanto à produção de matéria seca foliar, encontra-se representado na Figura 5, mostrando a dependência do nível de B para atuação do Zn.

O B é necessário para a atividade meristemática (GUPTA, 1979), provavelmente pela promoção da síntese de uracila (BIRNBAUM et alii, 1977), base necessária para a síntese de RNA e de proteínas, além de ser precursora da UDPG, que é essencial para a síntese de sacarose. Desta forma, em ausência de B era esperado obter-se diminuição do peso da matéria seca foliar. Segundo KIRK & LONERAGAN (1988) as folhas mais velhas não apresentam redução na matéria seca como as jovens, porque muito pouco B é mobilizado das folhas mais velhas, as quais permanecem com um teor adequado, mesmo estando a planta sob deficiência deste elemento.

Tabela 5 - Médias obtidas para peso da matéria seca foliar em gramas

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	1,42Aa	3,29Aab	4,07ABb	3,43Aab
	0,07	1,05Aa	3,20Ab	5,50Ac	4,72Abc
	0,15	1,41Aa	4,44Ab	3,38Aab	4,27Ab
	0,37	2,37Aa	3,87Aab	3,55ABab	5,47Ab
2. ^a coleta	0,00	1,52Aa	10,12Abc	8,76Ab	10,99Ac
	0,07	1,40Aa	9,63ABc	6,36Bb	7,22Cb
	0,15	1,70Aa	8,76ABb	7,67ABb	8,87BCb
	0,37	2,64Aa	8,04Bb	5,80Bc	9,39ABb

DMS_{5%} = 2,05

F_{9;31} = 3,15**

C.V. = 14,67%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as da colunas

Figura 5 - Produção de matéria seca da folha em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Figura 6 - Produção de matéria seca da folha em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn.

Constatou-se que o suprimento de B à planta promoveu acréscimo na produção de matéria seca foliar, de forma que as médias referentes à ausência de B foram significativamente menores que as dos demais níveis deste micronutriente. Cumpre ressaltar que a 0,07 ppm de Zn, na 1.^a coleta verificou-se elevação da média acima de 0,30 ppm de B, mas diminuição no final do ciclo. KIRK & LONERAGAN (1988), constataram que a deficiência de B na soja determinou diminuição da matéria seca de folhas jovens, mas aumento da matéria seca das folhas mais velhas, com diminuição da resposta, da matéria seca foliar como um todo, à deficiência de B. Isto talvez explique porque na folha houve diferença significativa entre os tratamentos omissos em B e aqueles dos demais níveis deste, mas não entre estes.

As curvas obtidas através da regressão entre níveis de B e peso da matéria seca foliar, que através das equações quadráticas obtidas nos três menores níveis de Zn, como da linear registrada para o maior nível deste, mostram que o acréscimo de B na solução resultou em maior produção de matéria seca.

4.1.4. Vagens

(Tabela 6)

A maior produção de vagens ocorreu nas plantas que receberam 0,07 ppm de Zn e 0,60 ppm de B, indicando que estas concentrações foram adequadas para a produção de

frutos.

À concentração de 0,07 ppm de Zn houve produção de vagens tanto a 0,30 como a 0,60 ppm de B. Contudo, a cima desta concentração de Zn isto ocorreu apenas a 0,60ppm de B, o que mostra a importância da relação Zn/B na planta.

Em ausência de Zn na solução as plantas produziram fruto nos dois maiores níveis de B, sendo todavia, extremamente pequena a produção de vagens, além destas serem pequenas e chochas.

Ambos, Zn e B, interferem sobre a produção de frutos, sendo que sob deficiência destes teve-se redução de produção de vagem. O Zn parece afetar a germinação do grão de pólen (POLAR, 1975), o que explica que em sua ausência a produção de vagens tenha sido mínima. Mais ainda, o crescimento do fruto é dependente da auxina de acordo com GALS-TON & DAVIES (1972), de forma que a deficiência de Zn, determina menor nível auxínico e portanto má formação do fruto.

O B é essencial para o crescimento do tubo polínico (GARG et alii, 1979), diminuindo a concentração de fitoalexinas, as quais inibem este crescimento (LEWIS, 1980). Isto explica porque as plantas não completaram o ciclo de vida, em ausência e baixo nível de B na solução nutritiva.

Tabela 6 - Médias obtidas para peso da matéria seca das vagens em gramas

Tratamentos					
T ₃	T ₄	T ₇	T ₈	T ₁₂	T ₁₆
3,80a	1,90a	12,24cd	15,00d	11,71c	7,78b

DMS_{5%} = 2,82 F_{5;5} = 121,38** C.V. = 7,56%

** - nível de significância de 1%

Tabela 7 - Médias obtidas para peso da matéria seca total, em gramas

Níveis de Zn		Níveis de B			
(ppm)		(ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	1,87A	4,98A	6,29AB	5,53A
	0,07	1,43A	4,74A	8,21A	7,43A
	0,15	1,86A	6,61A	4,67B	6,57A
	0,37	3,05A	5,56A	4,69B	8,35A
2. ^a coleta	0,00	1,93A	15,20A	23,78A	28,68A
	0,07	1,85A	14,85A	26,52A	30,20A
	0,15	2,20A	12,54AB	10,47B	30,01A
	0,37	3,39A	11,90B	7,93B	27,68A

DMS_{5%} = 3,65 F_{9;31} = 14,67** C.V. = 10,41%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

Se houve produção de vagens a 0,30 ppm de B e 0,07 ppm de Zn, por que o mesmo não ocorreu no mesmo nível de B associado a maiores níveis de Zn, na solução? Talvez se explique tal fato observando-se o teor de Cu nestes tratamentos (Tabela 23) que se apresenta abaixo do considerado adequado, refletindo-se sobre a produção de vagens. Este micronutriente é exigido para a formação do grão de pólen (GRAHAM, 1975) e portanto sua carência afeta a produção do fruto. Segundo MARSCHNER (1986) a deficiência de Cu afeta mais a formação do fruto que o crescimento vegetativo.

Observando-se as tabelas 22, 15 e 24, constatou-se que ocorreu redução dos teores foliares de B, Ca e Fe na 2.^a coleta nos tratamentos citados (T_{11} e T_{15}), em relação àqueles nos quais houve produção de vagens. Destes, o B e o Ca afetam diretamente o desenvolvimento do tubo polínico e portanto a formação do fruto. Desta forma, a ausência de produção de vagens nestes tratamentos foi resultante das interações Zn x Cu, Zn x B e Zn x Ca, possivelmente.

4.1.5. Matéria seca total

(Tabela 7; Figuras 7, 8, 9 e 10)

Na 1.^a coleta, o Zn promoveu aumento na produção de matéria seca total, embora não tenha sido significativa; a 0,30 ppm de B a tendência foi inversa. Na 2.^a coleta, em omissão de B, a maior média foi obtida para o trata-

mento correspondente ao maior nível de Zn, mas não significativamente. Todavia, nos demais níveis de B, as maiores médias corresponderam aos níveis de 0,07 e 0,15 ppm de Zn, mas não significativamente. Abaixo de 0,60 ppm de B, exceto em sua omissão, o Zn determinou redução na produção da matéria seca total, acima de 0,07 ppm de Zn, na 2.^a coleta. A Figura 7 mostra que o Zn aumentou a matéria seca apenas em omissão de B; nos dois níveis intermediários de B houve tendência para reduzir e no maior nível não alterou o peso de matéria seca total.

Através da Figura 9 constata-se que a influência do teor foliar de Zn foi dependente do nível de B na solução, ficando fácil de se visualizar que a 0,30 ppm de B (B_3) houve tendência à elevação e posterior redução na produção de matéria seca com o aumento no teor foliar de Zn. No nível de B considerado adequado à planta (0,60 ppm) observa-se a tendência a elevar-se o peso da matéria seca total, à medida que elevou-se o teor de Zn no tecido foliar. Em omissão de boro não se observa tendência alguma, talvez devido ao fato do teor foliar de Zn não mostrar praticamente alteração, como decorrência de um efeito de concentração. A 0,05 ppm de B (B_2), o aumento de Zn mostra tendência a elevar a produção de matéria seca até certo nível e a reduzir a 75 ppm na folha.

O B atuou aumentando a produção de matéria seca com o aumento de seu fornecimento à planta, segundo o observado no quadro de médias e na análise de regressão, a qual mostrou correlação entre níveis de B e o parâmetro em pauta. Este efeito foi menos pronunciado nos dois maiores níveis de Zn, em concentrações menores que 0,60 ppm de B, de forma semelhante à raiz.

A Figura 10 confirma o papel desempenhado pelo B no sentido de promover a produção de matéria seca, pois fica nítida a tendência de aumento deste parâmetro com o aumento no teor foliar deste micronutriente em todos os níveis de Zn. Não se observou correlação entre teor foliar de B e peso da matéria seca total, possivelmente devido ao fato de se ter avaliado o teor foliar tanto para folhas jovens como velhas conjuntamente.

A redução da produção de matéria seca observada neste trabalho e no de OLIVEIRA et alii (1982) para o feijoeiro deficiente em B, talvez possa ser atribuída principalmente ao papel deste nutriente na manutenção de concentrações adequadas dos nucleotídeos de pirimidina. Isto porque a UDPG (uridina difosfato glicose) é uma coenzima que atua na síntese de sacarose e, segundo LOVATT (1985) não só o metabolismo dos carboidratos como a divisão celular, síntese de ácidos nucleicos e outros processos metabólicos são

Figura 7 - Produção de matéria seca total da planta em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B.

Figura 8 - Produção de matéria seca total de planta em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

Figura 9 - Produção de matéria seca total em função do teor foliar de Zn dentro dos níveis de B.

Figura 10 - Produção de matéria seca em função do teor foliar de B dentro dos níveis de Zn

dependentes, em última instância deste nucleotídeos.

Cumprе ressaltar, entretanto, que a alteração da permeabilidade da membrana em carência de B repercutiu sobre a absorção de vários elementos, os quais podem estar envolvidos no metabolismo dos carboidratos também.

4.2. Parâmetros da análise de crescimento

4.2.1. Altura

(Tabela 8)

O valor médio obtido para altura da planta a 0,07 ppm de Zn foi maior que aqueles encontrados para os demais níveis de Zn, exceto em ausência de B, de forma que nos dois maiores níveis deste significativamente.

CARVALHO (1985) também observou aumento da altura do feijoeiro até a concentração de 0,10 ppm de Zn em cultivo hidropônico.

À medida que se elevou o nível de B na solução obteve-se aumento deste parâmetro, embora não se tivesse verificado diferença significativa entre 0,05 e 0,30 ppm de B, o que se constatou através do quadro de médias.

Esta redução de crescimento caulinar, quer em ausência de Zn como de B, deve-se ao papel desempenhado por ambos sobre o crescimento dos entrenós.

O encurtamento dos entrenós em carência de Zn

é decorrente da redução da concentração da auxina na planta controlada pelo Zn via triptofano, de acordo com SALAMI & KENEFICK (1970).

Em deficiência de B pode ser devido também à diminuição da concentração da auxina ao longo do caule, a qual foi observada por SMIRNOV et alii (1977) em plântulas de feijão deficientes em B e atribuída à ação de compostos fenólicos. Além disso, TANG & FUENTE (1986), relatam redução no transporte basípeto da auxina em plântula deficiente em B ou em Ca, o que afetaria o crescimento dos entrenós. O que ocorre é alteração da divisão celular, das células cambiais, do sentido longitudinal para o radial com redução da altura da planta em deficiência de B (LOVATT, 1985).

Tabela 8 - Médias obtidas para altura das plantas na interação Zn x B (cm)

Níveis de Zn (ppm)	Níveis de B (ppm)			
	0,00	0,05	0,30	0,60
0,00	39,50Aa	92,50Ab	117,25Ab	110,00Ab
0,07	36,75Aa	107,25Ab	171,50Bc	149,75ABc
0,15	35,50Aa	100,00Ab	41,25Ca	115,00BCb
0,37	38,85Aa	98,75Ab	45,50Ca	158,00Cc

DMS_{5%} = 35,22 F_{9;15} = 14,24** C.V. = 13,40%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

4.2.2. Área foliar

(Tabela 9)

Observou-se um efeito positivo e nítido do Zn sobre o crescimento foliar a 0,60 ppm de B, quando o aumento gradativo de Zn na solução promoveu também aumento gradativo da área foliar, conforme CARVALHO (1985).

Embora não significativamente, em ausência de B na solução, notou-se tendência a aumentar a área foliar com o acréscimo de Zn. A 0,05 ppm de B não se observou diferença significativa entre as médias dos diversos níveis de Zn. A 0,30 ppm de B, a maior média foi observada para 0,07 ppm de Zn na solução.

O B promoveu também aumento da área foliar, cujas maiores médias foram registradas para 0,07 ppm de Zn na concentração de 0,30 ppm de B (T_7) e para 0,37 ppm de Zn a 0,60 ppm de B (T_{16}).

A redução da área foliar em deficiência de B em feijoeiro também foi constatada em trabalho de OLIVEIRA et alii (1982).

As maiores médias para este parâmetro foram obtidos nos tratamentos nos quais se deu a produção de vagens. Por que então no tratamento correspondente a 0,15 ppm de Zn e 0,05 ppm de B (T_{10}) que apresentam grande área foliar, não se obteve produção de vagem? Há que se mencionar, que este parâmetro foi avaliado aos 40 dias aproximadamente

após a semeadura e que neste estágio o teor de Cu na folha apresentou-se baixo. Segundo já explicitado, em matéria seca das vagens, isto afetaria a produção do fruto, sem mencionar que o teor foliar de B para a 2.^a coleta mostrou-se reduzido neste tratamento.

O envolvimento de ambos, Zn e B, no nível auxínico foi provavelmente o responsável pela redução da expansão da lâmina foliar em suas deficiências. Além disso, MARSCHNER (1986) menciona que em deficiência de B tem-se menor síntese de citocininas no ápice radicular e portanto menor transporte para as folhas, o que afetaria a estrutura foliar.

Tabela 9 - Médias obtidas para área foliar na interação Zn x B (cm²)

Níveis de Zn (ppm)	Níveis de B (ppm)			
	0,00	0,05	0,30	0,60
0,00	367,00Aa	1533,50Ab	1874,50Ab	1433,50Ab
0,07	281,50Aa	1644,00Ab	3101,00Bc	1953,50ABb
0,15	456,00Aa	2006,50Abc	1168,50Aab	2509,00BCc
0,37	695,50Aa	1676,50Ab	1323,50Aab	3050,50Cc

DMS_{5%} = 930,29 F_{9,15} = 7,52** C.V. = 20,58%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

A área foliar foi um parâmetro que refletiu bem tanto a deficiência de Zn quanto de B, sendo que de acordo com KIRK & LONERAGAN (1988), a taxa de alongação da lâmina foliar foi um melhor parâmetro para a diagnose da deficiência de B, que a produção de matéria seca em soja.

4.2.3. Área foliar específica (AFE)

(Tabela 10)

A AFE é um parâmetro que indica possível variação do mesófilo e aumento da espessura da lâmina foliar.

Não houve diferença significativa entre as médias relativas aos níveis de Zn nos vários níveis de B, exceto a 0,30 ppm deste, quando verificou-se que a maior média correspondeu a 0,07 ppm de Zn na solução. As plantas submetidas a esta concentração de Zn exibiram a maior área foliar, em relação as demais neste nível de B. A 0,60 ppm de B, o Zn mostrou tendência a aumentar a AFE, embora não significativamente, o que é um indício de que, com sua adição na solução nutritiva, a espessura da folha reduziu-se.

Em relação aos níveis de B, constatou-se que as menores médias foram obtidas nos tratamentos omissos deste elemento, apesar de nem sempre significativamente, o que sugere espessamento da folha.

É interessante notar que as plantas que exibiam menor média para AFE foram as que não receberam Zn e

B concomitantemente.

Tabela 10 - Médias obtidas para área foliar específica na interação Zn x B (cm^2/g)

Níveis de Zn (ppm)	Níveis de B (ppm)			
	0,00	0,05	0,30	0,60
0,00	258,40Aa	473,13Ab	462,13Ab	419,66Aab
0,07	266,94Aa	513,90Ab	574,38Bb	418,30Aab
0,15	320,87Aa	452,11Aab	345,34Aa	579,86Ab
0,37	293,44Aa	432,52Aab	374,79Aab	559,86Ab

$\text{DMS}_{5\%} = 189,81$

$F_{9,15} = 2,94^*$

C.V. = 15,60%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas comparam médias das colunas.

4.2.4. Razão de área foliar (RAF)

(Tabela 11)

Dependendo do nível de B na solução, o Zn promoveu aumento ou diminuição deste parâmetro. A 0,00 ppm de B verificou-se tendência a aumentar a média com o acréscimo de Zn na solução, todavia não significativamente. A 0,05 ppm de B as médias foram semelhantes. A 0,030 ppm de B, a maior média foi verificada a 0,07 ppm de Zn (T_7) e as demais não mostraram diferença significativa. A 0,60 ppm de B, as duas maiores médias correspondem aos maiores níveis de Zn (T_{12} e T_{16}) conforme CARVALHO (1985).

Em ausência de Zn, não se observou diferença significativa entre as médias concernentes aos três maiores níveis de B; o mesmo ocorreu a 0,37 ppm de Zn. A 0,07 ppm de Zn, as médias de 0,05 e 0,30 ppm de B não diferiram entre si, enquanto que a 0,15 ppm de Zn, os valores médios de RAF dos níveis de 0,05 e 0,60 ppm de B não diferiram significativamente entre si, o mesmo ocorrendo para as outras duas médias. Convém ressaltar que as menores médias de RAF foram elevadas em ausência de B na solução, embora nem sempre significativamente.

Tabela 11 - Médias obtidas para razão de área foliar na interação Zn x B (cm^2/g)

Níveis de Zn (ppm)	Níveis de B (ppm)			
	0,00	0,05	0,30	0,60
0,00	196,01Aa	307,67Ab	299,62ABb	260,71Aab
0,07	196,85Aa	347,33Abc	379,87Bc	266,79ABab
0,15	240,45Aa	303,60Aab	249,96ABa	377,22Bb
0,37	226,98Aa	300,94Aab	282,81Aab	366,12Bb

DMS 5% = 102,31

$F_{9;15}$

C.V. = 12,33%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

É importante observar que a dimensão do aparelho fotossintético, visualizado através da RAF, não se refletiu na produção de vagens.

4.3. Observações anátomo-histológicas e ultraestruturais

4.3.1. Anátomo-histológicas

(Prancha 1)

As plantas submetidas a omissão de Zn e B apresentaram aumento da espessura da lâmina foliar em relação às plantas dos demais tratamentos avaliados anátomo-histologicamente. Além disso observou-se desarranjo do mesófilo, o qual se apresentou com menor volume de espaço intercelular, o que implica em menor troca gasosa.

No tratamento T₂ (0,00 ppm Zn e 0,05 ppm B) houve redução da espessura da folha, compactação do mesófilo e as células do parênquima paliçádico tinham forma romboidal. Observaram-se também projeções a partir das células epidérmicas, o mesmo descrito por MILLIKAN (1953) para deficiência de Zn em trevo.

Segundo REED (1938), a compactação do mesófilo sugere prolongamento do estágio juvenil, fato verificado pelo autor em várias espécies vegetais sob carência de Zn.

A Figura C mostra que a presença de Zn em nível adequado resultou em aumento dos espaços intercelulares, mas as células do parênquima lacunoso mostraram escassez de cloroplasto.

Prancha 1 - Cortes semi-finos de folha. A: omissão de Zn e B; B: omissão de Zn e 0,05 ppm de B; C: 0,07 ppm de Zn e 0,05 ppm de B; D: 0,15 ppm de Zn e 0,30 ppm de B; E: 0,37 ppm de Zn e 0,60 ppm de B. Aumento de 1660X.

Nos dois tratamentos com maiores níveis de Zn e B o mesófilo apresentou-se com certa descontinuidade, a qual foi descrita por CARLTON (1954) em tomateiro com 0,05 ppm de Zn na solução nutritiva. As células foram abundantes em cloroplasto, com visíveis grãos de amidos.

A espessura da lâmina foliar parece ter sido influenciada por ambos, Zn e B, posto que no tratamento com maior nível destes (Figura E) a espessura da lâmina foi a menor observada. Por outro lado, a compactação do mesófilo, parece ter sido consequência da deficiência de Zn, uma vez que elevando-se seu fornecimento, apesar do baixo nível de B, não mais se observou este fato. (figura C).

4.3.2. Ultraestruturais

(Prancha 2)

Em ausência de Zn e B (Figura A), o número de grãos de amido reduziu-se e os cloroplastos apresentaram glóbulos de lipídio em grande número, conforme relatado por JYUNG et alii (1975), em feijoeiro sob deficiência de Zn, por redução na atividade da sintetase de amido.

É interessante observar-se que os cloroplastos das plantas submetidas a nível adequado de Zn e baixo de B (figura C) mostraram-se semelhantes àqueles das plantas que não receberam Zn (figura B). Pode-se especular sobre duas hipóteses na tentativa de esclarecer o fato. De acordo com

Prancha 2 - Cortes ultrafinos de folha. A: omissão de Zn e B; B: omissão de Zn e 0,05 ppm de B; C: 0,07 ppm de Zn e 0,05 ppm de B; D: 0,15 ppm de Zn e 0,30 ppm de B; E: 0,37 ppm de Zn e 0,60 ppm de B. Aumento de 8211X, exceto A (7830X). Abreviaturas: Cl - clo-
roplasto, GA - grão de amido; Gl - glóbulo de li-
pídio e N-núcleo.

LEECE (1978), o Zn pode tornar-se fisiologicamente inativo em deficiência de B, o que poderia determinar a redução da sintetase de amido, como já referido (JYUNG et alii, 1975). Por outro lado, o B está envolvido no metabolismo dos carboidratos, aumentando o nível de UDPG, como observado por TEARE (1974) na raiz de feijoeiro, composto utilizado na síntese de sacarose, segundo DUGGER & HUMPHREYS (1960). Além disso, AGARWALA et alii (1981) relatam que em deficiência de B há aumento da atividade da amilase e portanto hidrólise do amido. Em níveis supra-ótimos o B parece inibir a síntese de amido (SCOTT, 1960).

Mais ainda, uma vez que o sistema de tilacóide é membranoso e que o B é importante para a integridade das membranas celulares, a atividade das enzimas, ligadas às membranas dos tilacóides, como a desidrogenase da glicose-6-P (BEN-BASSAT & ANDERSON, 1981) e a ribulose 1,5 difosfatocarboxilase (LEHNINGER, 1976), é afetada em carência de B. Desta forma, direta ou indiretamente o B deve influir sobre a síntese de amido.

Em níveis ótimos de ambos (Figs. D e E) constatou-se que os cloroplastos apresentaram maior número de grãos de amido, os quais eram de maior dimensão que aqueles observados em deficiência destes elementos.

4.4. Macronutrientes na planta

4.4.1. Nitrogênio

(Tabelas 12, 18, 19, 20, 21, 33 e 34; Figura 11 e Quadros 3 e 4)

O Zn não exerceu influência sobre o teor de N na raiz, posto que não se observou diferença significativa entre as médias correspondentes aos níveis de Zn na solução nutritiva. Por outro lado, com o acréscimo de B na solução obteve-se redução significativa de N neste órgão, que pode ser explicado por efeito de diluição visto que ocorreu aumento acentuado na produção de matéria seca radicular (Tabela 1).

Os resultados médios obtidos para o teor de N no caule apresentaram a mesma tendência que na raiz, tanto em relação ao efeito do Zn quanto ao do B.

O teor foliar do N sofreu variação devido ao efeito de Zn apenas a 0,30 ppm de B na 2ª coleta, quando se verificou que para os dois maiores níveis de Zn as médias foram significativamente maiores que as relativas aos outros níveis de Zn.

Observou-se influência do B sobre o N foliar apenas na 2ª coleta, onde se constatou tendência à redução do teor, a 0,00 e a 0,07 ppm de Zn, gradualmente do menor para o maior teor de B. É interessante observar que as menores médias para teor de N na folha foram registradas, ape

Tabela 12 - Médias obtidas para teor foliar de nitrogênio, em %

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	3,95Aa	3,85Aa	3,95Aa	4,10Aa
	0,07	4,15Aa	4,05Aa	4,20Aa	3,90Aa
	0,15	3,95Aab	3,90Aab	3,60Aa	4,50Ab
	0,37	3,85Aa	4,25Aa	3,60Aa	3,75Aa
2. ^a coleta	0,00	4,30Aa	3,20ABb	2,50Abc	2,00Ac
	0,07	4,05Aa	3,70Aa	1,65Ab	1,55Ab
	0,15	4,15Aa	2,75Bb	3,85Ba	1,90Ab
	0,37	4,25Aa	3,05ABb	3,95Ba	1,65Ac

DMS_{5%} = 0,89F_{;31} = 5,88**

C.V. = 9,35%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as da coluna

Figura 11 - Relação foliar N/B em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

nas na 2.^a coleta, para os tratamentos nos quais houve produção de vagens.

Efetivamente a análise de regressão mostrou, que não houve correlação significativa entre os níveis de Zn e o teor foliar de N.

Segundo a curva de regressão obtida entre o nível de B na solução e o teor foliar de N, a alteração do último em função do primeiro foi relativamente pequena.

Observa-se no quadro de médias das relações foliares (Tabela 33), que a razão N/B decresceu com o acréscimo de B na solução, embora as médias dos tres menores níveis de B não tenham diferido significativamente entre si; não se verificou também diferença entre as médias dos dois maiores níveis de B. No nível de 0,37 ppm de Zn na 1.^a coleta, verificou-se maior razão N/B para omissão de B devido ao menor teor deste neste tratamento (Fig.11); a 0,15 ppm de Zn o valor de N/B foi o mesmo em todos níveis de B. Com base no referido, pode-se considerar que o Zn não influenciou o teor de N na folha, o mesmo ocorrendo para o B no início do desenvolvimento. No estágio final do ciclo registrou-se diminuição da concentração foliar de N nas plantas, que produziram vagens, provavelmente devido à translocação do elemento para a formação de aminoácidos e proteínas das vagens.

O acúmulo de N nas folhas das plantas que não receberam B foi resultante provavelmente de um efeito de concentração por extrema redução da matéria seca foliar. DANTAS et alii (1979), também obtiveram maior teor de N em folha de soja em omissão de B na solução. SHELPS (1990) observou acúmulo de N em brócoli deficiente em B, sendo que a porcentagem do N inorgânico aumentou como evidência da redução na disponibilidade de carbono, segundo o autor.

4.4.2. Fósforo

(Tabelas 13, 18, 19, 20, 21, 31, 32, 33 e 34; Figuras 12 e 13; Quadros 3 e 4).

A concentração de P na raiz do feijoeiro elevou-se com o acréscimo do Zn na solução, conforme o observado por CARVALHO (1985) e SINGH et alii (1988). Segundo LONERAGAN et alii (1982), a deficiência de Zn pode aumentar a absorção e o transporte de P para a parte aérea com acúmulo nesta região e redução a nível de raiz, mecanismo este ainda não esclarecido. O que se sabe é que a ausência de Zn pode, modificar o pH da rizosfera (LONERAGAN et alii, 1987), o que pode resultar em efluxo de fosfato, conforme o observado pelos autores citados em plântulas de trigo, assim como pela perda da integridade da membrana (MARSCHNER, 1986).

No caule, o teor de P mostrou-se significativamente menor a 0,07 ppm de Zn que nos demais níveis deste

Tabela 13 - Médias obtidas para teor foliar de fósforo em %

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1ª coleta	0,00	0,58	0,53	0,30	0,60
	0,07	0,44	0,41	0,43	0,41
	0,15	0,44	0,38	0,39	0,50
	0,37	0,39	0,46	0,43	0,41
2ª coleta	0,00	0,47	0,36	0,41	0,30
	0,07	0,40	0,30	0,17	0,15
	0,15	0,45	0,28	0,36	0,19
	0,37	0,43	0,34	0,38	0,20

 $F_{9,31} = 1,52NS$

C.V. = 16,04%

micronutriente.

O teor foliar de P sofreu redução com a presença de Zn na solução nutritiva, observando-se que nas plantas que não receberam Zn a média foi, embora não significativamente, maior que as obtidas para os outros níveis. Esta redução do teor de P na folha em função dos níveis de Zn foi explicada por uma curva quadrática. Mais ainda corroborando estes dados notou-se que a relação P/B na folha, em omissão de Zn, foi consideravelmente maior que nos outros níveis de Zn.

Concordemente com estes resultados DANTAS et alii (1979) e CARVALHO (1985) relatam aumento do P foliar em omissão de Zn. De acordo com LOPEZ & MALAVOLTA (1974), ocorre inibição não competitiva entre P e Zn a nível de absorção, o que explica o aumento do teor foliar de P em omissão de Zn.

Segundo CAKMAK E MARSCHNER (1987), o aumento na concentração foliar de P reduz a disponibilidade fisiológica do Zn, em folhas deficientes deste, acentuando a deficiência. Isto, de acordo com os autores, seria decorrente da formação de fosfatos de Zn pouco solúveis na planta.

O B parece não ter interferido nos teores de P na raiz e no caule, apesar de se ter observado diminuição, deste elemento com o aumento no fornecimento de B à planta. Este fato foi devido a um efeito de diluição por aumento da matéria seca da raiz e do caule (Tabelas 1 e 2).

Figura 12 - Relação foliar P/B em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Figura 13 - Relação foliar P/Zn em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

Não se verificaram diferenças significativas entre as médias dos diversos níveis de B dentro dos tres maiores níveis de Zn. Contudo, quando em ausência de Zn constatou-se aumento do teor foliar de P acrescentando-se B na solução, na 1.^a coleta, embora também não tinha sido significativo. No final do ciclo, houve tendência a produziram vagens, indicando translocação do elemento para a formação do fruto.

Em trabalho também com feijoeiro, OLIVEIRA & MALAVOLTA (1981), mencionam que o aumento no suprimento de B promoveu elevação no teor de P. Da mesma forma, GRAHAM et alii (1987) relatam que a presença de B aumentou a absorção de P, especialmente em ausência de Zn. Este efeito sinérgico do B em aumentar o teor de P já foi elucidado por POLLARD et alii (1977), os quais observaram redução da atividade da ATPase em deficiência de B e restauração com sua adição.

Pelo fato da interferência do B sobre o teor de P na folha ter se restringido aos tratamentos omissos em Zn e apenas na 1.^a coleta, não se obteve nenhuma correlação P/Zn não indicando a influência de B sobre o teor deste macronutriente, excetuando-se em omissão do Zn na solução.

4.4.3. Potássio

(Tabelas 14, 18, 19, 20, 21, 33 e 34; Figura 14; Quadros 3 e 4)

A adição de Zn não alterou o teor de K na raiz não havendo diferença significativa entre as médias dos níveis deste micronutriente.

No caule já se observou elevação das médias com acréscimo de Zn na solução, de forma que a média correspondente à omissão de Zn diferiu significativamente daquela obtida no maior nível do elemento. Este aumento na concentração de K no caule parece ser devido a um efeito de concentração, pelo menos em parte, pois a elevação do Zn na solução promoveu redução do peso da matéria seca no caule.

Na 1.^a coleta, em omissão de B, as menores médias de K na folha foram observadas em ausência e no maior nível de Zn na solução, contudo não significativamente. No final do ciclo, a média do maior nível de Zn apresentou-se significativamente maior que as dos outros níveis, as quais não diferiram entre si.

A 0,05 ppm de B, o teor de K na folha subiu a 0,07 ppm de Zn, caindo a seguir para os maiores níveis; apenas a 0,15 ppm de Zn houve redução significativa da média na 1.^a coleta. No final do ciclo, observou-se novamente a maior média para 0,37 ppm de Zn.

Quando adicionou-se 0,30 ppm de B, verificou-

Tabela 14 - Médias obtidas para teor foliar de potássio em %

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. coleta	0,00	5,16Aa	5,38ABa	4,67Aa	4,83ABa
	0,07	5,99Aa	6,72Aa	5,66Aa	5,82ABa
	0,15	5,86Aab	4,23Bb	4,77Ab	6,51Aa
	0,37	4,78Aa	5,22ABa	4,89Aa	5,40Ba
2. coleta	0,00	5,11Aa	3,95Aab	4,48ABab	2,80Ab
	0,07	4,67Aa	3,84Aab	2,80Ab	3,35Aab
	0,15	3,78Aa	3,29Aab	5,16BCbc	5,60Bc
	0,37	8,90Ba	5,77Bb	6,21Cb	4,50ABb

DMS_{5%} = 1,71 $F_{9;31} = 3,32^{**}$

C.V. = 12,64%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

Figura 14 - Relação foliar K/B em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

se a maior média a 0,07 ppm de Zn, não significativamente na 1.^a coleta, enquanto que na 2.^a coube novamente a 0,37 ppm de Zn na solução.

No nível de B, em que houve maior produção de fruto, a adição de Zn na solução promoveu aumento no teor foliar de K até 0,15 ppm, vindo a diminuir a 0,37 ppm, tanto na 1.^a como na 2.^a coleta.

A análise de regressão mostra que houve correlação linear positiva entre a concentração de Zn na solução e o teor foliar de K, fato confirmado pela relação K/B, a qual elevou-se com a adição de Zn na solução, embora não significativamente.

De acordo com CAKMAK & MARSCHNER, (1988) ocorre perda de K através da membrana em deficiência de Zn, atribuída à baixa atividade da dismutase do superóxido (SOD) e consequente alteração da permeabilidade da membrana.

O B também atuou de forma a elevar a concentração de K, mas o fez na raiz bem evidentemente, posto que este aumento foi significativo, apesar da elevação na produção de matéria seca com seu acréscimo na solução.

No caule, o que se notou foi decréscimo no maior nível de B, o que pode ser explicado por efeito de diluição.

O teor foliar de K só se mostrou alterado a 0,15 ppm de Zn na solução, na 1.^a coleta, onde as médias dos

níveis intermediários de B apresentavam-se menores que as da omissão e do maior nível. A média correspondente à omissão foi maior por efeito de concentração. No final do ciclo, nos dois menores níveis de Zn, não se observaram diferenças significativas entre as médias dos três maiores níveis de B; em ausência a média foi maior por efeito de concentração. A 0,15 ppm de Zn houve tendência a subir o teor de K na folha, significativamente, enquanto que a 0,37 ppm de Zn a resposta foi similar àquela dos dois menores níveis de Zn.

Não se encontrou correlação entre nível de B na solução e teor foliar de K, e com o aumento do suprimento de B à planta a relação K/B diminuiu, nos maiores níveis de B.

Uma vez que ficou constatado um efeito positivo do B sobre o teor de K, na raiz, e não nos demais órgãos talvez possa inferir-se que isto tenha ocorrido devido a interrelação entre o K, a ATPase e o B, a nível de absorção. A atividade da ATPase é dependente de B (POLLARD et alii, 1977) e de acordo com estes autores, a adição de B ao meio fez com que houvesse maior absorção tanto de P quanto de K pela planta. Segundo PILBEAM & KIRKBY, (1983), isto se constitui em evidência de que o B tem seu sítio primário de ação a nível de membrana.

4.4.4. Cálcio

(Tabelas 15, 18, 19, 20, 21, 31, 32, 33 e 34;
Figuras 15 e 16; Quadros 3 e 4)

Na raiz e no caule registraram-se as maiores médias para as plantas submetidas a 0,15 ppm de Zn, enquanto que as médias dos demais níveis não diferiram entre si. Entretanto, também se observou menor produção de matéria seca nesta concentração de Zn na solução (Tabela 1).

O teor foliar de Ca mostrou-se maior, embora não significativamente, para os tratamentos cujas plantas não receberam Zn, em todos os níveis de B. Verificou-se assim existir correlação entre nível de Zn e teor foliar de Ca, com a obtenção de uma equação linear a descrever o decréscimo de Ca na folha com a adição de Zn na solução. A relação Ca/Zn decresceu significativamente à medida que se elevou o suprimento de Zn à planta, comprovando a influência do micronutriente em questão sobre o teor de Ca na folha.

GRAHAM et alii (1987), constataram acúmulo de Ca em plantas de cevada deficientes em Zn também.

O cálcio (Ca^{+2}) é deslocado dos sítios de troca por outros cátions como o Zn^{+2} e uma vez que seu movimento ascendente se dá através de reações de troca, conforme citado por MALAVOLTA (1980), o aumento de Zn na solução re-

Tabela 15 - Médias obtidas para teor foliar de cálcio, em %

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	2,27	2,46	2,27	2,52
	0,07	1,84	1,89	1,91	2,11
	0,15	1,83	1,84	1,79	2,33
	0,37	1,82	1,72	1,69	1,74
2. ^a coleta	0,00	1,95	1,82	2,05	2,03
	0,07	1,86	1,74	2,34	2,33
	0,15	1,78	1,41	1,86	2,02
	0,37	1,83	1,57	1,80	2,03

 $F_{9;31} = 0,42$ NS

C.V. = 10,52%

Figura 15 - Relação foliar Ca/B em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Figura 16 - Relação foliar Ca/Zn em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

sultou em menor teor de Ca na folha do feijoeiro.

As plantas apresentaram redução dos teores de Ca tanto na raiz como no caule com o acréscimo de B na solução, os quais parecem ter sido resultantes de um efeito de diluição.

O B influenciou o Ca foliar de maneira inversa do Zn, de forma que, excetuando-se as médias obtidas em omissão de Zn, na 1.^a coleta, observou-se que com a adição de B houve aumento do teor de Ca, no tecido foliar, embora não significativamente. Obteve-se pois, uma correlação linear positiva entre nível de B na solução e teor de Ca na folha. A relação Ca/B reduziu-se significativamente apenas no maior nível de B, o que é um indício de que o aumento no teor dos dois elementos seguiu relativamente "pari passu".

DANTAS et alii (1979) relatam que plantas deficientes em B apresentaram diminuição do teor foliar de Ca.

Não se observou o antagonismo entre o B e o Ca, como verificado por SALINAS et alii (1981) em ervilha, possivelmente pelo fato da concentração de B na solução não ter ultrapassado o considerado adequado. Portanto, pode-se dizer que, até 0,60 ppm, o B promoveu aumento no teor de Ca, provavelmente através da regulação da síntese e estabilização dos constituintes da parede celular, como o Ca o faz,

incluindo a membrana plasmática.

Segundo abordagem feita por MENGEL & KIRKBY (1987), uma bomba de efluxo de prótons, estimulada pelo ácido indolil-acético (IAA), aumenta a formação de novos sítios de troca de cátions em regiões de crescimento, que se tornam centros de acúmulo de Ca, de forma que o transporte basípeto de IAA determinaria o transporte acrópeto de Ca^{2+} . Uma vez que o transporte basípeto de auxina parece ser reduzido em deficiência de B (TANG & FUENTE, 1986), talvez seja esta a razão de se ter menor teor foliar de Ca em plantas deficientes de B, como no caso.

4.4.5. Magnésio

(Tabelas 16, 18, 19, 20, 21, 31 e 32; Figuras 17; Quadros 3 e 4)

Na raiz, o Zn parece não ter influenciado o teor de Mg substancialmente, não se observando diferenças significativas entre as médias dos níveis omissos e a 0,07ppm e 0,37ppm de Zn, mas para os dois maiores níveis de Zn as médias diminuíram, contudo não significativamente.

A concentração de Mg no caule apresentou-se significativamente menor em ausência e a 0,37 ppm de Zn. A 0,00 ppm obteve-se a maior produção de matéria seca de caule (Tabela 1), podendo haver um efeito de diluição. Entretanto, no maior nível de Zn tal fato não ocorreu e portanto o Zn promoveu redução do teor de Mg.

Tabela 16 - Médias obtidas para teor foliar de magnésio, em %

		Níveis de B			
Níveis de Zn		(ppm)			
(ppm)		0,00	0,05	0,30	0,60
1ª coleta	0,00	0,81Aa	0,80Aa	0,86Aa	0,95Aa
	0,07	0,82Aa	0,83Aa	0,72Aa	0,93Aa
	0,15	0,67Aa	0,67Aa	0,77Aab	0,98Ab
	0,37	0,64Aa	0,80Aa	0,73Aa	0,77Aa
2ª coleta	0,00	0,90Aa	0,87Aa	0,62Aa	0,65Ba
	0,07	0,81ABa	0,83ABa	0,50Ab	0,52Ab
	0,15	0,68ABa	0,56Ba	0,76Aa	1,25Cb
	0,37	0,58Ba	0,56Ba	0,68Aab	0,92Bb

DMS_{5%} = 0,27 $F_{9;31} = 3,85^{**}$

C.V. = 13,22%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

Figura 17 - Relação foliar Mg/Zn em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

Houve tendência a decrescer a concentração de Mg no tecido foliar com o acréscimo de Zn, embora as diferenças não tenham sido significativas, exceto na 2.^a coleta a 0,30 e 0,60 ppm de B. A 0,60 ppm de B, os dois maiores valores médios referem-se aos dois maiores níveis de Zn na solução. A regressão entre os níveis de Zn, e o teor de Mg na folha revela um decréscimo linear deste com a adição de Zn. Assim, a redução significativa da relação Mg/Zn com o fornecimento do micronutriente foi devido também à diminuição na concentração de Mg na folha.

É interessante observar que a ação do Zn reduzindo o teor de Mg na folha parece ter sido mais efetiva em ausência de B, talvez como decorrência de menor atividade da ATPase, a qual é dependente de ambos, B e Mg. Desta forma o Mg atuando através da ligação das bases nitrogenadas e os grupos fosfóricos do ATP (MARSCHNER, 1986) pode determinar um gradiente eletroquímico através da membrana, cuja integridade parece ser dependente do B, de acordo com PILBEAM & KIRKBY (1983).

Como o transporte do Mg através da membrana é passivo, e a competição com cátions pode levar à deficiência de Mg nas plantas, (MENGEL & KIRKBY (1987), o Zn pode afetar a absorção deste macronutriente.

Quanto ao B, não se observaram diferenças significativas entre as médias de seus diversos níveis na

raiz, o que não exclui uma ação do B sobre o Mg, pois pode ter sido este teor consequência de aumento de matéria seca com o aumento de B (Tabela 2).

No caule, verificou-se diminuição significativa da concentração de Mg, mas também houve aumento significativo do peso da matéria seca deste órgão (Tabela 3).

O B parece ter promovido aumento do Mg na folha, apesar de nem sempre significativamente. Diferenças significativas ocorreram apenas a 0,15 e a 0,37 ppm de Zn, na 2.^a coleta, em função de B, sendo os maiores valores obtidos a 0,60 ppm deste. O aumento do Mg no tecido foliar em decorrência do acréscimo de B na solução pode ser explicada por uma equação linear. No gráfico da relação Mg/Zn em função dos níveis de B na solução, na 1.^a coleta, constatou-se tal tendência, principalmente em omissão de Zn (Fig. 17).

OLIVEIRA (1980) também observou que houve aumento no teor de Mg, em feijoeiro, com o aumento do fornecimento de B à planta.

4.4.6. Enxofre

(Tabelas 17, 18, 19, 20, 21, 33 e 34; Figura 18; Quadros 3 e 4)

Na raiz, a concentração deste elemento não mostrou variação significativa nos vários níveis de Zn, ape

sar da redução do peso da matéria seca radicular com o aumento de Zn na solução. A concentração de S no caule parece não ter sido influenciada pelo Zn, posto que o aumento significativo das médias com o acréscimo de Zn na solução ocorreu por diminuição da produção de matéria seca (Tabela 2).

A nível de folha, o Zn também não afetou o teor de S, o mesmo ocorrendo para a relação S/B significativamente (Tabela 33 e Fig. 18). Não se observou correlação entre níveis de Zn e teor de S no tecido foliar.

Observou-se aumento significativo do teor de S na raiz, à medida que se adicionou B na solução nutritiva enquanto que no caule decresceu por efeito de diluição (Tabela 2).

As plantas, que foram submetidas a 0,60 ppm de B, apresentaram maior teor foliar de S, o qual não diferiu significativamente do valor obtido em omissão de B possivelmente devido a um efeito de concentração no último caso. Todavia, verificou-se que com o aumento da concentração de B na solução de 0,05 a 0,60 ppm, cresceu o teor do macronutriente. Constatou-se correlação positiva entre níveis de B e teor de S na folha (Quadro 4). A relação S/B mostrou decréscimo significativo apenas no maior nível de B, em função do aumento do teor deste micronutriente (Tabela 34).

Desta forma, embora não significativamente, o B mostrou tendência a elevar o teor foliar de S.

A absorção de S faz-se contra um gradiente eletroquímico, que exige a ação da ATPase, de forma que a carência de B, afetará sua atividade e portanto o processo de absorção.

Tabela 17 - Médias obtidas para teor foliar de enxofre, em %

		Níveis de B (ppm)			
Níveis de Zn (ppm)		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	0,22	0,18	0,18	0,23
	0,07	0,21	0,17	0,20	0,21
	0,15	0,16	0,21	0,17	0,24
	0,37	0,21	0,21	0,20	0,25
2. ^a coleta	0,00	0,33	0,22	0,26	0,33
	0,07	0,26	0,20	0,30	0,29
	0,15	0,23	0,21	0,24	0,26
	0,37	0,26	0,22	0,23	0,20

$F_{9;31} = 0,66$ NS

C.V. = 14,63%

Figura 18 - Relação foliar S/B em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Quadro 3 - Análise de regressão entre nível de Zn na solução
e teor foliar dos nutrientes

CORRELAÇÃO	REGRESSÃO	SIGNIFICÂNCIA
N	-	NS
P	$y = 0,49 - 1,53x + 3,36x^2$	**
K	$y = 4,57 + 2,72x$	**
Ca	$y = 2,10 - 0,98x$	**
Mg	$y = 0,80 - 0,21x$	*
S	-	NS
B	$y = 60,25 + 57,10x - 231,73x^2$	*
Cu	$y = 9,83 - 19,13x + 31,42x^2$	**
Fe	$y = 266,81 - 373,80x + 793,78x^2$	*
Mn	$y = 119,40 - 245,19x + 541,58x^2$	**
Zn	$y = 39,60 + 58,97x$	**

** - nível de 1%

* - nível de 5%

NS - não significativa

Quadro 4 - Análise de regressão entre nível de B na solução
e teor foliar dos nutrientes

CORRELAÇÃO	REGRESSÃO	SIGNIFICÂNCIA
N	$y = 3,89 - 1,64x$	**
P	-	NS
K	-	NS
Ca	$y = 1,84 + 0,48 x$	**
Mg	$y = 0,72 + 0,20x$	**
S	$y = 0,219 + 0,047x$	**
B	$y = 40,52 + 78,48x$	**
Cu	$y = 8,85 - 5,58x + 6,82x^2$	*
Fe	$y = 203,58 + 171,37x$	**
Mn	-	NS
Zn	$y = 52,92 - 58,06x + 81,00 x^2$	**

** - nível de 1%

* - nível de 5%

NS - não significativo

Tabela 18 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes na raiz nos diversos níveis de Zn na solução

Níveis de Zn (ppm)	N	P	K %	Ca	Mg	S
0,00	3,30A	0,66A	4,34A	1,36A	0,47A	0,50A
0,07	3,32A	0,73AB	4,37A	1,40A	0,46A	0,52A
0,15	3,49A	0,79BC	4,88A	1,63B	0,39B	0,49A
0,37	3,42A	0,86C	4,88A	1,44A	0,43AB	0,54A
F _{3,31}	1,60NS	7,29**	2,40NS	10,57**	5,42**	1,48NS
C.V.	8,33%	16,94%	16,77%	10,09%	14,14%	13,60%
DMS _{5%}	0,27	0,12	0,74	0,14	0,06	0,07

Tabela 19 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes na raiz nos diversos níveis de B na solução

Níveis de B (ppm)	N	P	K %	Ca	Mg	S
0,00	3,53A	1,07A	4,04A	2,20A	0,41A	0,42A
0,05	3,54A	0,77B	4,78AB	1,19B	0,43A	0,46A
0,30	3,36AB	0,68B	4,77AB	1,35C	0,46A	0,53B
0,60	3,11B	0,52C	4,88B	1,08B	0,43A	0,64C
F _{3,31}	8,39**	51,53**	4,05*	194,00**	2,03NS	29,00**
C.V.	8,33%	16,94%	16,77%	10,09%	14,14%	13,60%
DMS _{5%}	0,27	0,12	0,74	0,14	0,06	0,07

Tabela 20 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes no caule nos diversos níveis de B na solução

Níveis de B (ppm)	N	P	K %	Ca	Mg	S
0,00	3,54A	0,91A	4,87A	2,52A	0,67A	0,67A
0,05	2,46B	0,47B	4,99A	1,14AB	0,37B	0,30C
0,30	2,54B	0,50B	4,59AB	1,29B	0,44C	0,35B
0,60	1,73C	0,31C	4,04B	0,98C	0,30D	0,27C
$F_{3,31}$	91,72**	190,38**	4,08*	283,99**	177,67**	216,02**
C.V.	12,06%	13,53%	18,28%	11,26%	10,69%	12,68%
DMS _{5%}	0,30	0,07	0,81	0,16	0,05	0,05

Tabela 21 - Médias obtidas para teor dos macronutrientes no caule nos diversos níveis de Zn na solução

Níveis de Zn (ppm)	N	P	K %	Ca	Mg	S
0,00	2,62A	0,56A	4,02A	1,47A	0,42A	0,38AB
0,07	2,38A	0,46B	4,69AB	1,35A	0,48B	0,37B
0,15	2,61A	0,57A	4,83AB	1,65B	0,49B	0,40AB
0,37	2,66A	0,59A	4,96B	1,46A	0,41A	0,43A
$F_{3,31}$	2,68NS	9,49**	3,89*	8,91**	11,10**	3,39*
C.V.	12,01%	13,53%	18,26%	11,26%	10,69%	12,68%
DMS	0,30	0,07	0,81	0,16	0,05	0,05

4.5. Micronutrientes na planta

4.5.1. Boro

(Tabelas 22, 27, 28, 29, 30, 33 e 34; Figuras 19, 20, 21 e 22; Quadros 3 e 4).

Na raiz, o teor de B mostrou-se significativamente maior a 0,15 ppm de Zn, mas também apresentou neste nível de Zn a menor produção de matéria seca (Tabela 1). Através da Fig. 19, observou-se pequena tendência a elevar-se o teor de B com a adição de Zn na solução, para os dois maiores níveis de B, que, pode ter sido resultante de um efeito de concentração. Em omissão de B, verificou-se diminuição do teor de B a 0,07, aumento a 0,15 e novamente diminuição a 0,37 ppm de Zn. A 0,05 ppm de B notou-se tendência do Zn, a 0,07 ppm, em aumentar o valor médio do teor de B na raiz.

A nível caulinar, a Fig. 20 mostra que o teor de B mostrou tendência a elevar-se com o fornecimento de Zn até uma determinada concentração, mas a cair a 0,37 ppm deste nutriente, exceto a 0,60 ppm de B, que não apresentou diminuição em função do nível de Zn. Observando-se a tabela 29 notaram-se menores valores significativamente em omissão e no maior nível de Zn. Todavia, em omissão de Zn, este menor valor médio pode ser devido a um efeito de diluição, enquanto que a 0,037 ppm de Zn este parece ter efetivamente promovido redução no teor de B no caule.

Figura 19 - Teor de B na raiz em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Figura 20 - Teor de B no caule em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Através da Fig. 21 observa-se que o teor de B no caule, aumentou com seu acréscimo na solução, de forma que apenas para o tratamento omissso em B houve discrepância de comportamento, devido à baixa produção de matéria seca. Na raiz já se observou o efeito do B sobre sua concentração devido à grande variação do peso da matéria seca neste órgão (Tabela 1).

A tabela 22 mostra que em omissão de B, seu teor na folha aumentou à medida que se elevou o nível de Zn na solução, de forma que seu decréscimo a 0,37 ppm de Zn parece ter sido decorrente da maior produção de matéria seca neste nível de Zn, na 1.^a coleta. Na 2.^a coleta, este tratamento apresentou maior teor de B na folha, apesar do maior peso da matéria seca, embora não significativamente.

A 0,05 ppm de B, obteve-se o maior teor a 0,15 ppm de Zn na 1.^a coleta, não havendo diferença no final do ciclo. A 0,30 ppm de B não se observou diferença significativa na 1.^a coleta, embora o maior valor tenha se registrado a 0,37 ppm de Zn. No final do ciclo, verificou-se aumento no teor com acréscimo de Zn a 0,07 ppm de Zn e redução em níveis mais elevados.

No maior nível de B (0,60 ppm) encontrou-se maior valor médio significativo, para teor foliar de B, em ausência de Zn. Contudo isto pode ter sido causado por um efeito de concentração, posto que neste tratamento também se observou o menor peso de matéria seca foliar. No final do

ciclo, não se constatou diferença significativa entre as médias relativas aos diversos níveis de Zn.

O aumento no fornecimento de B à planta elevou a concentração foliar deste, embora nem sempre significativamente, conforme se observa na tabela citada.

A fig. 21 mostra que, nos dois menores níveis de B, o Zn determinou aumento no teor de B na folha até 0,15 ppm. A 0,30 ppm de B, o mesmo ocorreu até 0,15 ppm. A 0,30 ppm de B, o mesmo ocorreu até 0,07 ppm de Zn, enquanto que a 0,60 ppm de B houve pequena redução de B foliar, com o acréscimo de Zn.

A análise da fig. 22 revela que, nos dois menores níveis de B, houve tendência a diminuir a relação Zn/B com o aumento de Zn na solução até 0,15 ppm, evidenciando um efeito positivo do Zn sobre o teor foliar de B até esta concentração. A 0,37 ppm de Zn esta razão elevou-se bruscamente, refletindo diminuição do teor de B simultaneamente à elevação do teor de Zn na folha. A 0,30 ppm de B, esta razão subiu bem pouco até 0,15 ppm de Zn, apesar do teor de Zn ter se elevado; a 0,37 ppm de Zn novamente se constatou, o aumento da razão Zn/B. No maior nível de B (0,60 ppm), fato similar ocorreu.

A curva de regressão entre níveis de Zn na solução e teor foliar de B obtida para ambas as coletas conjuntamente, é uma função quadrática que expressa exatamen

Tabela 22 - Médias obtidas para teor foliar de boro, em ppm

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	36Ac	48ABbc	80Ab	128Aa
	0,07	51ABb	45Ab	90Aa	75Bab
	0,15	71Ba	79Ba	72Aa	84Ba
	0,37	32Aa	40Aa	58Aa	59Ba
2. ^a coleta	0,00	32Ab	28Ab	59ABab	72Aa
	0,07	32Ab	19Ab	88Aa	101Aa
	0,15	28Ab	39Ab	43BCb	93Aa
	0,37	59Aa	36Abc	24Cc	89Aa

DMS_{5%} = 32F_{9;31} = 4,70**

C.V. = 19,94%

As letras maiúsculas comparam médias da linha e as minúsculas as das colunas

Figura 24 - Teor de B na folha em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

Figura 25 - Relação foliar Zn/B em função dos níveis de Zn dentro dos níveis de B

te tal tendência (Quadro 3).

OLIVEIRA (1980) em trabalho com *Phaseolus vulgaris* constatou que o aumento de Zn na solução nutritiva resultou em maior teor foliar de B, assim como DANTAS et alii (1979) também mencionam decréscimo de B nas folhas de plantas de *Vigna sinensis* (L.) ENDL. submetidas à ausência de Zn.

O Zn deve afetar o transporte a nível de membrana indiretamente, impedindo a peroxidação da camada lipídica da membrana celular, por ser componente estrutural da dismutase do superóxido (CAKMAK & MARSCHNER, 1988), além de estabilizar biomembranas pela reação com grupos sulfidrilas das proteínas da membrana (CHVAPIL, 1973). A absorção de B faz-se predominantemente por fluxo de massa (MENGEL & KIRKBY, 1987) e seu transporte a nível de membrana é passivo, ou seja, por difusão através da fase lipídica da membrana. Este transporte pode ser mantido por redução na atividade iônica no citoplasma, por adsorção a grupos tais como $R-COO^-$ ou $R-NH_3^+$, ou ainda, por incorporação em estruturas orgânicas (MARSCHNER, 1986). Assim, a peroxidação de lipídeos da membrana deve interferir na absorção e transporte do B. Mais ainda, se ambos tiverem ações subsequentes em determinado processo metabólico, a deficiência de um pode aumentar a disponibilidade do outro a nível citoplasmático e reduzir a demanda do outro, de forma a reduzir uma absorção passiva. Percebe-se, pois, que atribuir ao Zn apenas uma ação a nível de membrana, aumentando o teor de B na planta, não é

aconselhável devido à complexidade da dinâmica metabólica.

Ao lado deste efeito sinérgico do Zn sobre a absorção ou teores de B na planta até determinado nível na solução, registrou-se também ação inibidora do Zn, quando em alto nível, sobre o B.

É conveniente salientar que isto também ocorreu com outros elementos como Fe, Cu e Ca, embora nem sempre significativamente. O Cu e o Fe também atuam como componentes estruturais, da dismutase do superóxido e suas carências conduzem à alteração da permeabilidade celular, que também é afetada pelo Ca. Toma-se pois complexa a elucidação do fato do Zn ter promovido a redução de B, acima de determinado nível, devido à sua interação com outros elementos.

Portanto, a redução no teor de B em alto nível de Zn pode ser um efeito indireto deste, por competição ou outro tipo de inibição sobre outros nutrientes, cuja carência fisiológica reduziria a absorção do B.

GRAHAM et alii (1987) relatam que suprimento inadequado de Zn pode promover aumento na absorção de B pela planta. O que se comprovou no presente trabalho é que o teor de B é influenciado pelo nível de Zn na solução nutritiva.

4.5.2. Cobre

(Tabelas 23, 27, 28, 29, 30, 31 e 32; Figura 23; Quadros 3 e 4)

Observou-se que os menores teores de Cu na raiz foram para os tratamentos omissos e maior nível de Zn na solução. A média para omissão de Zn pode ser explicada, por efeito de diluição (Tab. 1), e excluindo-se esta média notou-se um decréscimo contínuo com o aumento de Zn. Não se verificaram diferenças significativas entre as médias correspondentes aos tratamentos com Zn no caule.

Em ausência de B no meio nutritivo, tanto na 1.^a como na 2.^a coleta, os valores médios correspondentes, a 0,07 ppm de Zn foram maiores que as médias dos outros níveis na folha. Nos demais níveis de B, o Zn parece ter promovido redução no teor de Cu, de tal forma que nos três menores níveis de B as médias dos dois maiores níveis de Zn apresentaram-se significativamente menor que as dos dois menores, na 1.^a coleta. No nível de B considerado adequado (0,60 ppm), o teor obtido em ausência de Zn foi significativamente maior que os teores obtidos em presença de Zn, os quais não diferiram entre si. Portanto, com um suprimento adequado de B, o Zn não mostrou seu efeito competitivo sobre o Cu tão intensamente como nos demais níveis. O primeiro a observar que a deficiência de Zn é coincidente com maior concentração de Cu, foi MILLIKAN (1953), em trevo subterrâneo.

Tabela 23 - Médias obtidas para teor foliar de cobre, em ppm

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1ª coleta	0,00	8Aa	15Ab	13Ab	15Ab
	0,07	16Ba	13Aab	11Abc	10Bc
	0,15	7Aab	6Bb	8Bab	10Ba
	0,37	6Aa	8Bab	7Bab	10Bb
2ª coleta	0,00	7Aa	5Aa	5Aa	5Aa
	0,07	12Ba	6Ab	4Ab	3Ab
	0,15	6Aa	5Aa	7Aa	5Aa
	0,37	7Aa	6Aab	6Aab	4Ab

DMS_{5%} = 3F_{9;31} = 2,84**

C.V. = 13,94%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas as das colunas

Figura 23 - Relação foliar Cu/Zn em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

Uma função quadrática explicou a redução de Cu no tecido foliar em função do nível de Zn na solução e a relação Cu/Zn diminuiu significativamente acrescentando-se Zn na solução.

A redução no teor de Cu sob a ação do Zn deve-se à inibição que um exerce sobre o outro a nível de absorção, conforme BOWEN (1969).

Tanto na raiz como no caule, houve redução no teor de Cu com aumento no suprimento de B, provavelmente devido ao aumento no peso da matéria seca (Tabela 2).

A resposta aos níveis de B, quanto ao teor foliar de Cu, mostrou variação em função dos níveis de Zn. Na 1.^a coleta, em omissão de Zn na solução, observou-se diminuição na concentração de Cu na folha apenas em ausência de B; as médias concernentes aos demais níveis não diferiram significativamente entre si. No final do ciclo, não se verificaram diferenças significativas entre as médias quanto ao fornecimento de B à planta.

A 0,07 ppm de Zn observaram-se valores decrescentes com o acréscimo de B na solução, nas duas coletas. Observando-se os resultados obtidos para peso da matéria seca foliar (Tab. 5), notou-se que as maiores médias para Cu correspondiam às menores de matéria seca, na 1.^a coleta. Portanto, pode ter ocorrido um efeito de concentração em omissão e a 0,05 ppm de B na solução.

Nos dois maiores níveis de Zn, o B parece ter promovido aumento no teor foliar de Cu na 1.^a coleta, sendo as maiores médias registradas para 0,60 ppm de B. Na 2.^a coleta, não se constatou diferença significativa entre as médias dos diversos níveis de B, a 0,15 ppm de Zn; a 0,37 ppm de Zn, o menor valor médio foi obtido a 0,60 ppm de B. Convém ressaltar que o Cu é exigido para a formação do fruto e portanto, nos tratamentos em que tal fato ocorreu, o teor foliar de Cu apresentou-se menor.

A curva de regressão mostrou pequena redução no teor de Cu com o aumento de B na solução. Todavia, se observar-se a relação foliar Cu/Zn ver-se-á que houve aumento desta relação, embora não significativo, com pequena redução a 0,60 ppm de B. Isto constituiu-se em indício de que a presença de B contribuiu para o aumento do Cu foliar, que foi menor visualizado na 1.^a coleta, conforme Fig. 23.

O Cu parece ser necessário para a lignificação da parede celular da antera, via fenolase e lacase, de tal forma que sua deficiência afeta a produção do fruto segundo citação feita por MARSCHNER (1986). O B está envolvido na síntese de lignina e sua ausência conduz à formação de compostos intermediários da síntese de lignina e outros compostos fenólicos, os quais afetam a absorção de íons conforme relato de PILBEAM & KIRKBY (1983). De acordo com estes autores, em deficiência de B, os grupos hidroxílicos dos compostos fenólicos estão livres para reagir com

componentes da membrana, afetando sua permeabilidade. Desta forma, o Cu, mesmo sendo transportado sob a forma de quelado, teria seu transporte reduzido a nível de membrana, em ausência de B.

4.5.3. Ferro

(Tabelas 24, 27, 28, 29, 30, 31 e 32); Figura 24; Quadros 3 e 4)

À medida que se aumentou o suprimento de Zn à planta houve acréscimo significativo do teor de Fe na raiz enquanto que no caule não se constatou diferença significativa entre as médias.

O teor foliar de Fe variou segundo os níveis de Zn dentro dos níveis de B e vice-versa, assim como o comportamento da planta mostrou variar em função do estágio de desenvolvimento. Na 1.^a coleta, em omissão de B as diferenças entre as médias dos níveis de Zn não se mostraram significativas, enquanto que na 2.^a coleta o teor de Fe e na folha apresentou-se significativamente menor em ausência de Zn. Em baixo nível de B na solução (0,05 ppm), obteve-se menor teor de Fe a 0,07 ppm de Zn na 1.^a coleta e no final do ciclo, a maior média coube ao tratamento omissor em Zn. A 0,30 ppm de B, observou-se redução significativa do Fe e na folha a 0,15 ppm de B no início do ciclo e maior média para o tratamento ausente de Zn no final do ciclo. No maior nível de B, as médias para omissão e maior nível de Zn, mos-

Tabela 24 - Médias obtidas para teor foliar de ferro, em ppm

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	229Aa	264ABa	202ABa	256Ba
	0,07	158Aa	196Bab	269Ab	397Ac
	0,15	243Aab	303Aa	161Bb	329ABa
	0,37	192Aa	260ABa	262Aab	297Bb
2. ^a coleta	0,00	104Aa	370Ab	317Ab	393Ab
	0,07	223Bab	154Bb	249ABab	302ABb
	0,15	238Ba	129Bb	168Bab	260Ba
	0,37	200ABa	187Ba	181Ba	316ABb

DMS_{5%} = 99 $F_{9;31} = 6,77^{**}$

C.V. = 14,96%

As letras maiúsculas comparam médias das linhas e as minúsculas comparam médias das colunas

Figura 24 - Relação foliar Fe/Zn em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

traram-se menores que as concernentes aos níveis intermediários, na 1.^a coleta, o que já não se observou na 2.^a coleta.

Um fato a ser enfatizado para o teor foliar de Fe é que a interferência de Zn sobre o Fe foi dependente da concentração de B na solução e do estágio de desenvolvimento do feijoeiro.

GRAHAM et alii (1987) mencionam efeito positivo do Zn sobre a absorção de Fe, assim como DANTAS et alii (1979) já haviam observado diminuição no teor de Fe em ausência de Zn. Resultados similares foram obtidos neste trabalho para os tratamentos que corresponderam aos níveis normais dos nutrientes exceto Zn; na 1.^a coleta e nos tratamentos relativos à omissão de B, na 2.^a coleta. Este efeito do Zn sobre o teor foliar de Fe deve ser decorrente de seu papel estrutural na dismutase do superóxido (SOD), que protege a membrana celular contra a peroxidação, segundo CARMAN & MARSCHNER (1988).

Uma vez que a equação de regressão entre níveis de Zn e teor foliar de Fe mostra tendência a redução do último com o aumento de Zn, e que na raiz parece ter ocorrido o inverso, talvez, possa inferir-se que o Zn em alta concentração determine redução no transporte de Fe da raiz para a parte aérea. A redução significativa da relação Fe/Zn, com a adição de Zn na solução nutritiva, parece corroborar o mencionado. De acordo com MENGEL & KIRKBY (1987), o Cu e Zn podem substituir o Fe nos complexos quelados, formas a-

través das quais este elemento pode ser transportado dentro da planta.

O teor médio de Fe na raiz mostrou redução significativa, possivelmente por efeito de diluição, em função do aumento no fornecimento de B à planta. No caule, a média de omissão de B foi significativamente maior que as dos demais níveis de B por efeito de concentração.

Em todos os níveis de Zn, a maior média para teor de Fe no tecido foliar, correspondeu ao maior nível de B na solução nas duas coletas, embora nem sempre significativamente. Em omissão de Zn, não se verificaram diferenças significativas entre as médias dos vários níveis de B, na 1.^a coleta. No final do ciclo, registrou-se diminuição significativas do teor de Fe em ausência de B. A 0,07 ppm de Zn também se constatou aumento de Fe na folha com acréscimo de B na solução. O mesmo ocorreu nos dois maiores níveis de Zn como resposta aos tratamentos com B, embora não tão definida^{mente} como nos dois menores níveis.

A equação de regressão também mostrou um aumento linear do teor foliar de Fe com o fornecimento de B à planta. Concordemente notou-se aumento significativo da relação Zn/Fe em resposta ao aumento de B na solução, principalmente nas duas menores concentrações de Zn.

OLIVEIRA (1980) obteve resposta similar do feijoeiro em cultivo hidropônico, assim como ALVAREZ-TINAUT et alii (1980) relatam maior absorção de Fe com elevação da con

centração de B na solução, em tomateiro. O acúmulo de compostos fenólicos, como o ácido cafeico, em deficiência de B afetam a permeabilidade da membrana e enzimas a ela ligadas (HIRSCH et alii, 1982). A redução do Fe(III) a Fe(II), ocorre principalmente na membrana plasmática das células do rizoderma e é drasticamente reduzida quando a integridade da membrana é afetada, conforme citado por MARSCHNER (1986).

4.5.4. Manganês

(Tabelas 25, 27, 28, 29, 30, 31 e 32; Figura 25; Quadros 3 e 4).

Na raiz, o valor médio obtido para concentração de Mn mostrou-se significativamente menor a 0,07 ppm de Zn na solução, que nos demais níveis. Esta redução foi observada mesmo apesar da redução na produção de matéria seca (Tab. 1), em relação ao tratamento omissso em Zn. Nos dois níveis de Zn foram obtidos maiores médias por efeito de concentração. As diferenças entre as médias relativas aos níveis de Zn não foram significativas a nível de caule.

O teor de Mn, na 1.^a coleta, apresentou-se maior quando em ausência de Zn, nos níveis omissso e 0,60ppm de B, embora não significativamente. Nos níveis intermediários de B, observou-se redução com o fornecimento de Zn a 0,07 ppm, mas aumento com maior suprimento deste provavelmente por efeito de concentração (Tab. 1).

Tabela 25 - Médias obtidas para teor foliar de manganês, em ppm

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1ª coleta	0,00	136	130	107	147
	0,07	102	97	92	89
	0,15	105	93	106	111
	0,37	104	131	107	103
2ª coleta	0,00	129	110	106	111
	0,07	113	92	98	102
	0,15	113	59	99	103
	0,37	118	72	96	86

 $F_{9,31} = 0,90 \text{ NS}$

C.V. = 14,24%

Figura 25 - Relação foliar Mn/Zn em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

No final do ciclo verificou-se redução do teor de Mn no tecido foliar, em todos os níveis de B, com o acréscimo de Zn na solução, embora não significativamente. Desta forma, obteve-se uma função quadrática para expressar a redução do Mn na folha em função dos níveis de Zn na solução, além de redução significativa da relação Mn/Zn

WARNOCK (1970) já havia detectado aumento na concentração de Mn nos tecidos de milho deficiente em Zn. Segundo MALAVOLTA (1976) a quantidade de Mn absorvida na unidade de tempo é diminuída por altas concentrações de outros câtions como Zn^{+2} , o que ocorre devido às semelhanças nas propriedades químicas, levando-os à competição nos sítios de troca da parede celular, quer a nível de raiz como de caule. Esta similaridade de comportamento químico tem implicação inclusive a nível estrutural, daí porque terem-se isoenzimas da dismutase do superóxido (SOD), como Mn-SOD e Cu - Zn - SOD, detectadas por LASTRA et alii (1982) em ervilha.

A redução no teor de Mn na raiz e caule com a adição de B na solução pode ser atribuída ao aumento concomitante do peso da matéria seca (Tab. 2), resultando em diluição do elemento.

Não se verificaram diferenças significativas para o teor foliar de Mn entre as médias dos diversos níveis de B, embora no final do ciclo, tivesse sido observado aumento deste elemento de 0,05 a 0,60 ppm de B, nas plantas submetidas aos dois maiores níveis de Zn. Além disso, a relação

Mn/Zn elevou-se significativamente com o suprimento de B à planta; não se observou correlação entre nível de B na solução e teor de Mn na folha.

Do exposto pode-se deduzir que a atuação do B, sobre o teor de Mn na planta não foi tão efetivo quanto a ação do Zn, mas sua presença parece ter interferido no transporte de Mn, conforme sugerem os dados médios para a relação foliar Mn/Zn, dentro dos três menores níveis de Zn na 1.^a coleta (Fig. 23).

4.5.5. Zinco

(Tabelas 26, 27, 28, 29, 30, 33 e 34; Figuras 26, 27, 28 e 29; Quadros 3 e 4).

O teor de Zn na raiz não mostrou diferir significativamente em ausência e a 0,07 ppm de Zn na solução, mas as médias destes tratamentos diferiram dos valores médios obtidos nos dois maiores níveis de Zn, os quais também mostraram diferença significativa entre si. Em função dos níveis de B, observou-se maior média, para a concentração de Zn na raiz, em omissão de B, fato atribuído a um efeito de concentração devido à baixa produção de matéria seca no caso citado (Tabela 3), pelo menos em parte. Obteve-se a menor média, significativamente, para Zn radicular, no maior nível de B. Contudo também observou-se que o valor médio para peso da matéria seca foi maior nas plantas submetidas à

Figura 26 - Teor de Zn na raiz em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

Figura 27 - Teor de Zn no caule em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

0,60 ppm de B, e, portanto, pode ter ocorrido um efeito de diluição. Através da Fig. 26, constatou-se que o acréscimo, de B na solução não promoveu decréscimo abrupto, no teor de Zn na raiz, nos dois menores níveis de Zn, conforme ocorreu nos dois maiores níveis de Zn, como decorrência mais provável do aumento da matéria seca com a adição de B. A resposta da planta em relação ao teor de Zn no caule foi similar a da raiz, tanto à aplicação do Zn como do B, de acordo com o que se observa nas Tabelas 29, 30 e Figs. 26 e 27.

A nível foliar constatou-se que a interação Zn x B coletas não se mostrou significativa. Os dados obtidos mostraram que, em ausência de B, os teores de Zn para os diversos níveis deste na solução foram bastante semelhantes na 1.^a coleta, principalmente. Na 2.^a coleta, o teor foliar de Zn em omissão apresentou-se maior que os demais, mas não significativamente. Dentro dos três maiores níveis de B, verificou-se aumento gradativo da concentração de Zn na folha com aumento de seu fornecimento à planta, diferentemente do que se tinha observado quando em omissão de B. Isto constituiu-se em indício de que a presença de B influenciou a absorção ou transporte de Zn na planta.

A relação foliar Zn/B não mostrou diferença significativa para os diversos níveis de Zn na solução, contudo o maior valor médio obtido fosse registrado para o maior nível deste micronutriente (Tabela 33).

Tabela 26 - Médias obtidas para teor foliar de zinco, em ppm

Níveis de Zn (ppm)		Níveis de B (ppm)			
		0,00	0,05	0,30	0,60
1. ^a coleta	0,00	57	37	24	37
	0,07	46	44	44	37
	0,15	55	49	37	56
	0,37	50	75	70	66
2. ^a coleta	0,00	72	42	29	33
	0,07	55	31	33	42
	0,15	50	42	46	46
	0,37	59	51	66	58

 $F_{9;31} = 1,40$ NS

C.V. = 15,26%

Figura 28 - Teor de Zn na folha em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

Figura 29 - Relação foliar Zn/B em função dos níveis de B dentro dos níveis de Zn

Na 1.^a coleta, em ausência de Zn, seu teor na folha mostrou tendência à constância de 0,05 a 0,60 ppm de B, de forma que o maior valor não significativo encontrado em ausência de B foi causado por efeito de concentração. No final do ciclo ficou evidente um direcionamento à redução no teor com aumento no suprimento de B à planta, que se visualiza na Tabela 26.

A 0,07 ppm de Zn, os diferentes níveis de B não interferiram no teor de Zn na 1.^a coleta, mostrando tendência a elevá-lo na 2.^a coleta. Notou-se pequena redução da média a 0,15 ppm de Zn e 0,30 ppm de B, mas elevação a 0,60 ppm de B, no início do ciclo, com tendência a se manter constante no estágio final do ciclo. No maior nível de Zn na solução, verificou-se que a presença de B, em qualquer concentração, promoveu aumento no teor foliar de Zn, posto que, as médias dos três maiores níveis de B apresentaram-se maiores que aquelas dos tratamentos relativos à omissão de B, apesar de se ter observado que o peso da matéria seca foi maior, não significativamente, para os três maiores níveis de B.

A Figura 28 nos permitiu inferir que a influência do B sobre o teor foliar de Zn mostrou-se dependente do fornecimento deste à planta. Assim, com aumento na concentração de Zn, na solução, a adição de B exerceu efeito positivo sobre o teor de Zn no tecido foliar, embora não significativo estatisticamente, como se observou nos maio-

res níveis de Zn. Os valores médios registrados para a relação foliar Zn/B não mostraram diferença significativa entre os três menores níveis de B. É interessante observar na Fig. 27 que o acréscimo de B a 0,05 ppm promoveu pequeno aumento na razão Zn/B da folha na 1.^a coleta a 0,07 e 0,37 ppm de Zn, assim como se observou, que em ausência de Zn, o aumento de B na solução resultou em redução desta relação, o que se explica pela ausência de Zn e aumento no teor foliar de B, com seu suprimento à planta. A 0,15 ppm de Zn, com o fornecimento de B ao feijoeiro a relação Zn/B não mostrou declínio na 1.^a coleta, revelando que os teores de B e Zn mantiveram-se equiparados apesar do B elevar-se na solução.

De acordo com a abordagem dos resultados obtidos para teor de Zn, em função dos níveis de B, pode-se inferir que a redução do teor de Zn na raiz e caule, com aumento do nível de B na solução, foi decorrente do aumento da matéria seca promovido por este último. A ação do B sobre o Zn foi portanto, melhor avaliado a nível foliar, uma vez que foi menor a variação de peso da matéria seca neste órgão, muito embora o valor médio obtido para peso da matéria seca em ausência de B, ficasse bem aquém daquele obtido na maior concentração de B na solução (Fig. 6). Este fato explica a obtenção da curva quadrática, obtida na correlação entre nível de B na solução e teor foliar de Zn, onde constatou-se pequeno decréscimo, até 0,30 ppm de B e posterior elevação do Zn no tecido foliar. Desta forma, esta ação ini

bidora do B sobre o Zn é aparente se levar-se em consideração o evidente efeito de diluição com o acréscimo de B na solução.

A tendência do B a elevar o teor foliar de Zn, com alto suprimento deste talvez possa ser esclarecido pelo papel exercido pelo B a nível de membrana de forma a afetar a atividade da ATPase. Em carência de B ter-se-ia a atividade desta enzima, reduzida e consequentemente o transporte de Zn através da membrana também o seria. Isto talvez explique a ausência de resposta na planta ao fornecimento de Zn, em omissão de B, quanto ao teor foliar de Zn.

A nível de absorção há fortes indícios de que este transporte seja ativo, segundo MENGEL & KIRKBY (1987), e portanto afetado por qualquer fator que implique em alteração da integridade da membrana e atividade da ATPase.

GOMEZ-RODRIGUEZ et alii (1987), obtiveram correlação positiva entre os teores de B e Zn no tecido foliar de girassol, assim como as plantas com suprimento normal, apresentaram, após 28 dias de submissão aos tratamentos, menor teor de Zn que as plantas deficientes. Porém, o último fato não foi observado em tempo menor (14 e 21 dias) de tratamento. Verificaram que o Zn na folha correlacionou-se também com a desidrogenase do 6-P gluconato, assim como o B o fez com a desidrogenase da glicose 6-P. Esta ação imbricada de ambos neste processo metabólico poderia afetar os teores destes micronutrientes na folha? Permanece em aberto a questão.

Tabela 27 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes na raiz nos diversos níveis de Zn na solução

Níveis de Zn (ppm)	B	Cu	Fe ppm	Mn	Zn
0,00	75AB	19B	2404A	272A	44A
0,07	71B	24A	2852A	206B	50A
0,15	83A	22AB	3854B	392C	94B
0,37	75AB	19B	4385C	319A	186C
F _{3,31}	2,81*	5,23**	56,18**	29,09**	243,25**
C.V.	16,6%	19,06%	14,34%	19,52%	17,93%
DMS _{5%}	12	4	465	56	16

Tabela 28 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes na raiz nos diversos níveis de B na solução

Níveis de B (ppm)	B	Cu	Fe ppm	Mn	Zn
0,00	111A	26A	5325A	410A	141A
0,05	68B	23AB	3539B	372A	85B
0,30	63B	21B	2653C	259B	86B
0,60	61B	15C	1977D	148C	62C
F _{3,31}	58,48**	20,97**	143,62**	66,25**	63,8***
C.V.	16,48%	19,06%	14,34%	19,52%	17,93%
DMS _{5%}	12	4	465	56	16

Tabela 29 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes no caule nos diversos níveis de Zn da solução

Níveis de Zn (ppm)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		ppm			
0,00	38A	42A	232A	52A	43A
0,07	48B	12A	194A	47A	45A
0,15	47B	11A	219A	48A	60B
0,37	34A	11A	188A	48A	88C
F _{3,31}	10,41**	2,41NS	2,45NS	0,74NS	50,95**
C.V.	20,40%	15,88%	25,48%	20,19%	19,83%
DMS _{5%}	8	2	51	9	11

Tabela 30 - Médias obtidas para teor dos micronutrientes no caule nos diversos níveis de B na solução

Níveis de B (ppm)	B	Cu	Fe	Mn	Zn
		ppm			
0,00	44A	19A	422A	67A	115A
0,05	35B	9B	141B	51B	41B
0,30	41AB	11B	143B	43BC	50B
0,60	46A	6C	125B	34C	28C
F _{3,31}	4,86**	167,67**	116,66**	32,18**	178,30**
C.V.	20,40%	15,88%	25,48%	20,19%	19,83%
DMS _{5%}	8	2	51	9	11

Tabela 31 - Médias obtidas para a relação foliar do Zn com outros elementos nos diversos níveis de Zn

Níveis de Zn (ppm)	P/Zn	Fe/Zn	Mn/Zn	Mg/Zn	Ca/Zn	Cu/Zn
0,00	0,014A	7,45A	3,20A	0,021A	0,059A	0,252A
0,07	0,008B	6,06AB	2,35B	0,018A	0,050AB	0,220AB
0,15	0,008B	4,74BC	2,09BC	0,017AB	0,039BC	0,144AB
0,37	0,006B	3,85C	1,65C	0,012B	0,029C	0,110B
DMS _{5%}	0,004	2,17	0,57	0,006	0,013	0,115
C.V.	35%	27,28%	16,95%	26,68%	20,63%	44,14%

Tabela 32 - Médias obtidas para a relação foliar do Zn com outros elementos nos diversos níveis de B

Níveis de B (ppm)	P/Zn	Fe/Zn	Mn/Zn	Mg/Zn	Ca/Zn	Cu/Zn
0,00	0,008A	3,67A	1,97A	0,013A	0,034A	0,162A
0,05	0,008A	5,22AB	2,20AB	0,017A	0,041AB	0,184A
0,30	0,010A	5,94B	2,64B	0,018A	0,052B	0,205A
0,60	0,008A	7,28B	2,46AB	0,019A	0,048B	0,175A
DMS _{5%}	0,004	2,17	0,57	0,006	0,013	0,115
C.V.	35%	27,28%	16,95%	26,68%	20,63%	44,14%

As letras maiúsculas comparam médias nas colunas.

Tabela 33 - Médias obtidas para a relação foliar do B com outros elementos nos diversos níveis de Zn

Níveis de Zn (ppm)	N/B	P/B	Ca/B	K/B	S/B	Zn/B
0,00	0,072A	0,008A	0,042A	0,10A	0,005A	0,96A
0,07	0,076A	0,005B	0,041A	0,10A	0,005A	0,87A
0,15	0,066A	0,005B	0,031A	0,08A	0,005A	0,87A
0,37	0,084A	0,004B	0,040A	0,13A	0,004	1,45A
DMS _{5%}	0,052	0,002	0,022	0,05	0,003	0,61
C.V.	48,6%	24,34%	38,85%	36,07%	41,35%	40,62%

Tabela 34 - Médias obtidas para a relação foliar do B com outros elementos nos diversos níveis de B

Níveis de B (ppm)	N/B	P/B	Ca/B	K/B	S/B	Zn/B
0,00	0,104A	0,0041A	0,049A	0,134A	0,0060A	1,44A
0,05	0,096A	0,0056AB	0,047A	0,127A	0,0056AB	1,23A
0,30	0,065AB	0,0062B	0,034AB	0,094AB	0,0044AB	0,90AB
0,60	0,034B	0,0060AB	0,025B	0,057B	0,0030B	0,57B
DMS _{5%}	0,052	0,0019	0,022	0,054	0,0028	0,61
C.V.	48,6%	24,34%	38,85%	36,07%	41,35%	40,62%

5. CONCLUSÕES

Este trabalho, nas condições em que foi conduzido, permitiu concluir para o cultivar em estudo que:

- . o acréscimo de B na solução nutritiva, até 0,60 ppm, promove aumento na produção de matéria seca;

- . a adição de Zn, a partir de 0,07 ppm, determina redução na produção de matéria seca caulinar e radicular, que se reflete sobre a matéria seca total;

- . a produção da biomassa vegetativa é influenciada pela interação do Zn com o B e outros nutrientes, bem como a produção de vagens;

- . ambos, Zn e B, influenciam positivamente os parâmetros de crescimento;

- . a deficiência dos dois micronutrientes e sua interação afetam a estrutura foliar;

- . a presença de grãos de amido no cloroplasto é afetada pela deficiência de Zn e B;

- . há variação nos teores foliares de P, Ca, Mg, K, Cu, Fe e Mn com o acréscimo de Zn na solução, em função do suprimento de B;

. em deficiência de Zn tem-se redução dos teores de P e Fe na raiz, assim como em deficiência de B a concentração de K e S na raiz também diminui;

. o Cu e o Fe tem seus teores reduzidos na folha em deficiência de B;

. o teor foliar de B é afetado pelo suprimento de Zn, da mesma forma que o teor deste é influenciado pela presença de B na solução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGARWALA, J.C.; SHARMA, P.N.; CHATERJEE, C.; SHAARMA, C.P.
Development and enzymatic changes during pollen development
in boron deficient plants. Journal of Plant Nutrition, New
York, 3 (1/4): 329-36, 1981.
- ALVAREZ-TINAUT, M.C.; LEAL, A.; MARTINEZ, L.R. Iron-manganese
interaction and its relation to boron levels in tomato
plants. Plant and Soil, Dordrecht, 55:377-88, 1980.
- AMBLER, J. E. & BROWN, J.C. Cause of differential susceptibility
to zinc deficiency in two varieties of navy beans (*Phaseo-lus
lus vulgaris* L.). Agronomy Journal, Madison, 61: 41-3,
1969.
- BEN-BASSAT, D. & ANDERSON, L.E. Light induced release of
bound glucose-6-phosphate-dehydrogenase to the stroma in
pea chloroplasts. Plant Physiology, Rockville, 68:279-83.
1981.

- BIRNBAUM, E.H.; DUGGER, W.M.; BEASLEY, C.A. Interaction of boron with components of nucleic acid metabolism in cotton ovules cultures in vitro. Plant Physiology, Rockville, 59: 1034-8, 1977.
- BOAWN, L.C.; RASMUSSEN, P.E.; BROWN, J.W. Relationship between tissue zinc levels and maturity period of field beans. Agroonomy Journal, Madison, 61:49-51, 1969.
- BOWEN, J.E. Adsorption of copper, zinc and manganese by sugar cane tissue. Plant Physiology, Rockville, 44:255-61, 1969.
- BOWEN, J.E. & NISSEN, P. Boron uptake by excised barley roots I. Uptake into the free space. Plant Physiology, Rockville 57: 353-7, 1979.
- BUSSLER, W. Microscopical possibilities for the diagnosis of trace element stress in plants. Journal of Plant Nutrition. New York, 3 (1-4):115-28, 1981.
- CAKMAK, I. & MARSCHNER, H. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. III. Changes in physiological availability of zinc in plants. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 70:13-20, 1987.

- CAKMAK, I. & MARSCHNER, H. Enhanced superoxide radical production in roots of zinc - deficient plants. Journal of Experimental Botany, Ottawa, 30:1441-60, 1988.
- CARLTON, W.M. Some effects of zinc deficiency on the anatomy of the tomato. Botanical Gazette, Chicago, September: 52-65. 1954.
- CARVALHO, V.L.M. de. Efeitos de diferentes níveis de Zn sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* cv. Carioca). Botucatu. 139p. (Mestrado - IBBMA/UNESP). 1985.
- CHVAPIL, M. New aspects in the biological role of zinc: a stabilizer of macromolecules and biological membranes. Life Science, Chicago, 13:1041, 1973.
- CUTCLIFFE, J.A. & GUPTA, U.C. Effects of added nitrogen, phosphorus and potassium on leaf tissue boron concentration of three vegetable crops. Canadian Journal of Plant Science, Ottawa, 60: 571-6. 1980.
- DANTAS, J.P.; BERGAMIN FILHO, H.; MALAVOLTA, E. Estudos sobre a nutrição mineral do feijão macassar (*Vigna sinensis* (L.) ENDL.) III. Efeitos das carências de micronutrientes no crescimento, produção e composição mineral das folhas. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 36: 259-67, 1979.

- DUGGER, W.M. Boron in plant metabolism. In Inorganic Plant Nutrition, Encyclopedia of Plant Physiology. vol. 15, Heidelberg, Springer-Verlag, 1983, p. 626-50.
- DUGGER, JR. W.M. & HUMPHREYS, T.E. Influence of boron on enzymatic reactions associated with biosynthesis of sucrose. Plant Physiology, Rockville, 35: 523-30, 1960.
- DUGGER, W.M. & PALMER, R.L. Effect of boron on the incorporation of glucose by cotton fibers grown in vitro. Journal of Plant Nutrition, New York, 8(4): 311-25, 1985.
- EDWARDS, G.E. & MOHAMED, A.K. Reduction in carbonic anhydrase activity in zinc deficient leaves of *Phaseolus vulgaris* L. Crop Science, Madison, 13:351-4, 1973.
- FACKLER, V.; GOLBACH, H.; WEILER, E.W.; AMBERGER, A. Influence of boron deficiency on indol-3-yl-acetic acid and abscisic acid levels in root and shoot tips. Journal of Plant Physiology, Stuttgart, 119:295-9, 1985.
- FALCHUK, J.H.; ULPINO, L.; MAZUS, B.; VALEE, B.L. *E. gracilis* RNA polimerase. I. A zinc metalloenzyme. Biochemistry Biophysics Research Communication, New York, 74: 1206-12, 1977.

GALSTON, A.W. & DAVIES, P.J. Mecanismos de controle no desenvolvimento vegetal. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 171 p. 1972.

GARG, D. K.; SHARMA, A.N.; KONA, G. R.S.S. Effect of boron on the pollen vitality and yield of rice plant (*Oryza sativa* L. var. Jaya). Plant and Soil, Dordrecht, 52:591-4, 1979.

GIORDANO, P. M.; NOGGLE, J.C.; MORTVEDT, J.J. Zinc uptake by rice as affected by metabolic inhibitors and competing cations. Plant and Soil, Dordrecht, 41:637-46, 1974.

GÓMEZ-RODRIGUEZ, M.V.; CASTILLO, J.D.L.; ALVAREZ-TINAUT, M.C. Polyphenol oxidase activity and ortho-diphenolic content in sunflower leaves in relation to boron nutrition. Journal of Plant Nutrition, New York, 10(17): 2195-209, 1987.

GRAHAM, R.D. Male sterility in wheat plants deficient in copper. Nature, London, 254:514-15, 1975.

GRAHAM, R.D.; WELCH, R.N.; GRUNES, D.L.; CARY, E.E.; NORVELL, W.A. Effect of zinc deficiency on the accumulation of boron and other mineral nutrients in barley. Soil Sciency Society of American Journal, Madison, 51: 652-7, 1987.

- GUPTA, V.C. Boron nutrition of crops. Advances in Agronomy, San Diego, 31: 273-307. 1979.
- GUPTA, V.C.; STERLING, J.D.E.; NASS, H. G. Influenced of various rates of compost and nitrogen on the boron toxicity symptoms in barley and wheat, Canadian Journal Plant Science, Ottawa, 53: 451-6, 1973.
- HIRSCH, A.M. & TORREY, J.G. Ultrastructural changes in sunflower root cells in relation to boron deficiency and added auxin. Canadian Journal Botany, Ottawa, 58:856-66, 1980.
- HIRSCH, A.M.; PENGELLY, W.L.; TORREY, J.G. Endogenous IAA levels in boron-deficient and control root tips of sunflower. Botanical Gazette, Chicago, 143(1):15-19, 1982.
- HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water culture method for growing plants without soil. Berkeley, University of California. The College of Agriculture, 1950. 32 p. (Circular, 347).
- JIMENEZ, R.; HARA, B. de la; AGUERA, E.; JIMENEZ, F. Influence of boron and *Azotobacter vinelandii* on the growth and nutrition of sunflowers (*Helianthus annuus* L.) micronutrients. Agrochimica. Pisa, 30(6): 473-9, 1986.

- JYUNG, W.H. & CAMP, M.E. The effect of zinc on the formation of ribulose diphosphate carboxylase in *Phaseolus vulgaris* Physiologia Plantarum, Copenhagen, 36: 150-5, 1976.
- JYUNG, W.H.; EHMANN, A.; SCHLENDER, K.; SCALLA, J. Zinc nutrition and starch metabolism in *Phaseolus vulgaris* L. Plant Physiology, Rocjville, 55: 414-20, 1975.
- KIRK, G.J. & LONERAGAN, J.F. Functional boron requirements of leaf expansion and its use as a critical value for diagnosis of boron deficiency in soybean. Agronomy Journal, Madison, 80: 758-63, 1988.
- KOUCHI, H. Rapid cessation of mitosis and elongation of root tip cells of *Vicia faba* as affected by boron deficiency. Soil Science of Plant Nutrition, Tokio, 23(1): 113-6, 1977.
- KOUCHI, H. & KUMAZAWA, K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency. I. Effect of boron deficiency elongation of root tips and their morphological characteristics. Soil Science Plant Nutrition. Tokio, 21:21-8, 1975.
- KOUCHI, H & KUMAZAWA, K. Anatomical responses of root tips to boron deficiency. III. Effect of boron deficiency on sub-cellular structure of root tips particularly on morphology of cell wall and its related organelles. Soil Science

and Plant Nutrition, Tokio, 22:53-71, 1976.

LASTRA, O.; GÓMEZ, M.; LÓPEZ-GORGÉ, L.; RIO, L.A. del. Catalase activity and isozyme pattern of the metalloenzyme system, superoxide dismutase, as a function of leaf development during growth of *Pisum sativum* L. plants.Physiologia Plantarum, 55:209-13, 1982.

LEE, S.G. & ARONOFF, S. Boron in plants. A biochemical role. Science, Washington, 158: 798-99, 1967.

LEECE, D.R., Occurrence of physiologically inactive zinc in maize on a black earth soil. Plant and Soil, Dordrecht, 44: 481-6, 1976.

LEECE, D.R., Effects of boron on the physiological activity of zinc in maize. Australian Journal Agricultural Research Melbourne, 29: 739-47, 1978.

LEHNINGER, A.L. Bioquímica - biossíntese e utilização da energia das ligações de fosfato. São Paulo, Edgard Bhu-cher, 1976. 596 p.

LEWIS, D.H. Are there interrelations between the metabolic role of boron, synthesis of phenolic phytoalexins and the germination of pollen?, New Phytologist, Oxford, 84: 261-1170, 1980.

LONERAGAN, J.F.; KIRK, G.J.; WEBB, M.J. Translocation and function of zinc in roots. Journal of Plant Nutrition, New York, 19(9-16): 1247-54, 1987.

LONERAGAN, J. F.; GROVE, T.S.; ROBSON, A.D.; SNOWBALL, K. Phosphorus toxicity as a factor in zinc-phosphorus interactions in plants. Soil Science Society of American Journal, Madison 43: 966-72, 1979.

LONERAGAN, J.F.; GRUNES, D.L.; WELCH, R.N.; ADUAYI, E.A.; TENGAH, A.; LAZAR, V.A.; CARY, E.E. Phosphorus accumulation and toxicity in leaves in relation to zinc supply. Soil Science Society of American Journal, Madison, 46: 345-52. 1982.

LOPEZ, G.O.E. & MALAVOLTA, E. Estudo sobre as relações entre zinco e fósforo na nutrição da planta. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 31: 467-85, 1974.

LOVATT, C.J. Evolution of xilem resulted in a requirement for boron in the apical meristems of vascular plants. New Phytologist. Oxford, 99: 509-522, 1985.

- MAEVSKAIA, A.N.; TROITSKAYA, E.A.; YAKOULEVA, N.S. Effect of boron starvation on activity of B-glucosidase in plants of the families leguminosae and gramineae. Soviet plant Physiology. New York, 23: 1073-1076, 1976.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Agronômica Ceres, 251 p. 1980.
- MALAVOLTA, E.; ULLOA, A.M.C.; MORALES, L., E.M.; ORTIZ, O. G.B. CABALLERO, S.V.; ARAUJO, J.A.C.; MORAES, S.O.; SIMABUCO, S. M.; FREITAS, S.S.; FAQUIM, V.; NASCIMENTO, V. M.; RUY, V.M.; GALBIATTI, J.A.; LIMA, S.L.; ANGULO FILHO, R. Efeitos das deficiências de alguns micronutrientes em dois cultivares. (Santa Rosa e UFV-1) de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 37: 365-72, 1980.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. Avaliação do estado nutricional das plantas; Princípios e Aplicações. Piracicaba, Potafos. 1989. 201 p.
- MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, Academic Press, 1986. 671 p.

- McILRATH, W.J. & SKOK, J. Boron Nutrition and lignification in sunflower and tobacco stems. Botanical Gazette, Chicago, 125: 268-71. 1964.
- MENGEL, K. & KIRKBY, A. Principles of plant nutrition, Bern, International Potash Institute. 1987, 687 p.
- MENSER, H.A. & SIDLE, R.C. Effect of zinc levels on phosphorus and zinc content in sand-cultured soybeans. Journal of Plant Nutrition, New York, 8(1): 89-97, 1985.
- MILLIKAN, C.R. Relative effects of zinc and copper deficiencies on lucerne and subterranean clover. Australian Journal of Biological Science, Melbourne, 6: 164-77, 1953.
- MOORE, H.M. & HIRSCH, A.M. Effects of boron deficiency on mitosis and incorporation of tritiated thymidine into nuclei of sunflower root tips. American Journal of Botany, Columbus, 70: 165-72, 1983.
- OLIVEIRA, I.P. Efeitos do alumínio e de micronutrientes no feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) Piracicaba, 1980, p. 196 (Doutorado - ESALQ/USP).

OLIVEIRA, I.P. & MALAVOLTA, E. Influência do boro no desenvolvimento e composição mineral do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 38:309-18, 1981.

OLIVEIRA, S.A.; ALCALDE BLANCO, S.; ENGLEMAN, E.M. Influência do boro nos parâmetros morfológicos e fisiológicos de crescimento do feijoeiro. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 17(5): 683-8, 1982.

PERKINS, H. J. & ARONOFF, S. Identification of the blue fluorescent compounds in boron deficient plants. Archives Biochemistry Biophysics. San Diego, 64: 506-7, 1956.

PILBEAM, D.J. & KIRKBY, E.A. The physiological role of boron in plants. Journal of Plant Nutrition, New York, 6(7): 563-182, 1983.

POLLAR, E. Zinc in pollen and its incorporation into seeds. Planta, Heidelberg, 123: 97-103, 1975.

POLLARD, A.S.; PARR, A.J. & LOUGHMAN, B.C. Boron in relation to membrane function in higher plants. Journal of Experimental Botany, Oxford, 28: 831-841, 1977.

- PRASKE, J.A. & PLOCKE, D.J.A. Role for zinc in the structural integrity of the cytoplasmic ribosomes of *Euglena gracilis* Plant Physiology, Rockville, 48: 150-5, 1971.
- RATHORE, V.S.; WITTEWER, S.H.; JYUNG, W.H.; BAJAJ, Y.P.S.; ADAMS, M.W. Mechanism of zinc uptake in bean (*Phaseolus vulgaris*) tissues Physiologia Plantarum, Copenhagen, 23:908-919, 1970.
- REED, H.S. Cytology of leaves affected with little-leaf. American Journal of Botany, Columbus, 25:174-86, 1938.
- ROBB, J.; BUSCH, L.; RAUSER, W.E. Zinc toxicity and xilem vessel wall alterations in white beans. Annals of Botany, Oxford, 46:43-50, 1980.
- ROBERTSON, G.A. & LOUGHMAN, B.C. Modification of phosphate transport in *Vicia faba* by boron deficiency, growth regulators and metabolic inhibitors. In: ZIMMERMANN, V. & DAINITY J., ed. Membrane Transport in plants. Berlin, Springer Verlag, 1974, p. 444-49.
- SALAMI, A.V. & KENEFICK, D.G. Stimulation of growth in zinc-deficient corn seedlings by the addition of thryptophan. Crop Science, Madison, 10:291-5, 1970.

SALINAS, M.R.; CERDA, A.; ROMERO, A.; CARO, M. Boron tolerance of pea (*Pisum sativum*). Journal of Plant Nutrition, New York, 4: 205-10, 1981.

SCOTT, E.G. Effect of supra-optinical boron levels on respiration and carbohydrate metabolism of *Helianthus annuus*. Plant Physiology, Rockville, 35: 653-61, 1960.

SHARMA, C.P.; GUPTA, J.P.; AGARWALA, S.C. Metabolic changes in *Citrullus* subjected to zinc stress. Journal of Plant Nutrition, New York, 3(1-4): 337-44, 1981,

SHELP, B.J. The influence of boron nutrition on nitrogen partitioning in broccoli plants. Cummunications in Soil Science and Plant Analysis, New York, 21 (1-2): 49-60, 1990.

SHKOL'NIK, M. General conception of the physiological role of boron in plants, Soviet Plant Physiology, New York, 21:140-150. 1974.

SINGH, J.P.; KARAMANOS, R.E.; STEWART, J. W. B. The mecanism of phosphorus - - induced zinc deficiency in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Canadian Journal of Soil Science, Ottawa, 68: 345-58, 1988.

- SKOOG, F. Relationships between zinc and zuxin in the growth of hogher plants. American Journal of Botany, Cobumbus, 27:939-51, 1940.
- SMIRNOV, Yu. S.; KRUPNIKOVA, T.A.; SHKOL'NIK, M. Ya. Content of IAA in plants with defferent sensitibity to boron deficits Soviet Plant Physiology, New York, 24: 270-6, 1977.
- STEWART, F.C. Plant Physiology. Inorganic nutrition of plants New York. Academic Press, 1963, 360 p.
- TAKAKI, H. & KUSHIZAKI, M. Accumulation of free tryptophan and tryptamine in zinc deficient maize seed-lings. Plant and Cell Physiology, Kyoto, 11: 793-804, 1970.
- TANAKA, H. Boron adsorption by plant roots. Plant and Soil, Dordrecht, 27: 300-2, 1967.
- TANG, P.M. & FUENTE, R.K. dela. The transport of indole-3-acetic acid in boron and calcium - deficient sunflower hypocotyl segments. Plant Physiology. Rockville, 81:646-50, 1986.

TEARE, I.D. Boron nutrition and acid soluble phosphorus compounds in bean roots. Hort Science, Alexandria, 9:236-8, 1974.

TSUI, C. The role of zinc in durin synthesis in the tomato plant. American Journal of Botany, Madison, 35:172-9, 1948

VAUGHAN, D.; DeKOCK, P.C.; ORD, B.C. The nature and localization of superoxide dismutase in fronds of *Lemna gibba* L. and the effect of copper and zinc deficiency on its activity. Physiologia Plantarum, Copenhagen, 54:253-7, 1982.

VENTER, H.A. van de; CURRIER, H.B. The effect of boron deficiency on callose formation and ^{14}C translocation in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and cotton (*Gossypium hirsutum* L.) American Journal of Botany, Madison, 64(7): 861-5, 1977.

VIETS, F.G.; BOAWAN, L.C.; NELSON, C.E.; CRAWFORD, C.L. Soil Application of zinc for control of zinc deficiency in beans. Washington Agricultural Experimental Station, 1953 10 p. (Circular 215).

WARINGTON, K. The effect of boric acid and borax on the broad bean and certain other plants. Annals of Botany, Oxford, 37:629-72, 1923.

WARNOCK, R.E. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus induced zinc deficiency Proceeding of the Soil Science Society of American, Madison, 34:765-9, 1970.

WILCOX, G.E. & FAGERIA, N.K. Deficiências nutricionais do feijão, sua identificação e correção. Goiânia, EMBRAPA/CNPAP, 1976, 22p. (EMBRAPA/CNPAP, Circular Técnica 5).

ZHANG, G. & WU, Z. Relationship between hight intensity and requirement for zinc in tomato plants. Journal of Plant Nutrition, New York, 12(5): 633-46, 1989.