

PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA, CONCENTRAÇÃO E TRANSLOCAÇÃO DE BORO EM PLANTAS JOVENS DE CUPUAÇUZEIRO, INOCULADAS E NÃO-INOCULADAS COM *Crinipellis perniciosa* (STAHEL) (SINGER), SOB DIFERENTES DOSES DE BORO¹

José Benito GUERRERO MARADIAGA²
Olinto Gomes da ROCHA NETO³
Ismael de Jesus Matos VIÉGAS³

RESUMO: O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) é uma das fruteiras de maior importância econômica para a Região Amazônica. A vassoura-de-bruxa, causada pelo fungo *Crinipellis perniciosa*, é a doença mais prejudicial à cultura, ameaçando a sua expansão. A importância do boro na planta está relacionada com a sua ativa participação na divisão celular, formação da parede celular, metabolismo e transporte de carboidratos e síntese de fitohormônios, processos que podem ser afetados pela doença. Objetivando-se estudar os efeitos das diferentes doses de boro no desenvolvimento, concentração e translocação deste nutriente em plantas jovens de cupuaçuzeiro sadias e infectadas com *C. perniciosa*, conduziu-se um experimento em casa de vegetação, utilizando-se um delineamento experimental de blocos ao acaso, em arranjo fatorial de 2x6 (dois grupos de plantas: inoculadas e não-inoculadas e seis doses de boro: 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e 3,2 mg.dm⁻³) em quatro repetições. Aplicou-se a solução nutritiva de Bolle-Jones (1957), modificada quanto aos níveis de boro. Avaliaram-se a produção de matéria seca e os teores de boro nas raízes, caule e folhas de plantas sadias e infectadas. A interrupção no fornecimento de boro três meses depois do transplante provocou sintomas de deficiência, reduziu a produção de matéria seca total e a translocação de boro na planta, independente da inoculação.

¹ Aprovado em 03.06.98.

Extraído da Dissertação de Mestrado apresentada pelo primeiro autor para a obtenção do grau de Mestre na FCAP em 1997.

² Engenheiro Agrônomo, Aluno do Curso de Pós-graduação em Agronomia da FCAP.

³ Engenheiro Agrônomo, Dr., Professor Visitante da FCAP, Pesquisador da Embrapa Amazônia Oriental.

As doses de boro superiores a $0,8\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, causaram sintomas característicos de toxidez nas plantas sadias e nas infectadas, resultando no desenvolvimento anormal das mesmas. A inoculação do fungo na planta afetou a produção de matéria seca, concentração e translocação de boro na planta. Contudo, a influência positiva das doses de boro entre $0,2$ e $0,8\text{mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, atenuaram os efeitos negativos da infecção. Todas as plantas inoculadas apresentaram sintomas da doença, independente da dose de boro aplicada.

TERMOS PARA INDEXAÇÃO: *Theobroma grandiflorum*, Vassoura-de-bruxa, Nutrição de Plantas.

DRY MATTER PRODUCTION, CONCENTRATION AND TRANSLOCATION OF BORON IN YOUNG CUPUAÇU PLANTS INOCULATED AND NON-INOCULATED WITH *Crinipellis pernicioso* (STAHLE) (SINGER).

ABSTRACT: Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) is economically one of the most important fruit trees in the Amazon region. The witches' broom caused by the fungus *Crinipellis pernicioso* is the principal disease of cupuaçu and threatens the establishment of new plantations in the region. The role of boron in plant nutrition is related to important physiological process, like cell division, cellular wall formation, metabolism and transport of carbohydrates and phytohormones synthesis, which can be affected by the infection. An experiment was carried out in a greenhouse with the objective to evaluate the effects of boron levels on the development, concentrations and translocation of boron in both healthy and infected cupuaçu plants. The experimental design was a randomized block with a 2×6 factorial arrangement (two group of plants: inoculated and non-inoculated and six boron doses 0.0 ; 0.2 ; 0.4 ; 0.8 ; 1.6 and $3.2 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$) with four replications. The nutritive solution of Bolle-Jones (1957) with modified boron levels was used. The dry matter production and boron concentrations in roots, stems and leaves of healthy and infected plants were measured. The interruption in boron supplying three months after transplanting caused visual deficiency symptoms, reducing the dry matter production and boron translocation, in both inoculated and non-inoculated plants. The boron doses higher than $0.8 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, showed characteristic toxicity symptoms, resulting in abnormal development of healthy and infected plants. The pathogen inoculation affected dry matter production, boron concentration and translocation. However the positive influence of the boron doses between 0.2 and $0.8 \text{ mg}\cdot\text{dm}^{-3}$, reduced the negative effect of the infection. All inoculated plants showed disease's symptoms, despite the boron dose.

INDEXS TERMS: *Theobroma grandiflorum*, Witches' Broom, Disease, Plant Nutrition.

1 - INTRODUÇÃO

O cupuaçuzeiro *Theobroma grandiflorum* (Will ex-Spreng) (Schum) é uma das culturas perenes de maior expressão econômica na Região Amazônica, representando atualmente uma das melhores alternativas agrícolas para o desenvolvimento socioeconômico (Mota, 1990).

Embora na literatura não seja conhecido nenhum levantamento completo das doenças do cupuaçuzeiro, a vassoura-de-bruxa causada pelo fungo *Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer) é frequentemente citada como sendo a mais prejudicial (Calzavara et al, 1984). Esta doença tem sido bastante estudada na cultura do cacauzeiro (Bastos, 1990). No cupuaçuzeiro os danos causados pela infecção são mais severos, pelo fato da planta frutificar nas extremidades dos ramos, justamente a parte mais afetada pelo patógeno (Vieira, 1942).

A falta de melhoramento genético, o reduzido número de informações acerca da fisiologia e nutrição mineral do cupuaçuzeiro, bem como o baixo índice de controle do patógeno mostrado pelos fungicidas “in vivo” são fatores que dificultam a implementação de programas integrados de manejo, como uma alternativa viável e duradoura no controle da vassoura-de-bruxa, que seja economicamente mais rentável e de mais fácil implementação (Medeiros, 1974).

Segundo Thiagalingam (1977), tanto as doenças consideradas parasitárias como os distúrbios metabólicos nas plantas são em grande parte influenciados pela nutrição mineral inadequada das mesmas. Assim, a resistência da planta às doenças pode ser afetada pela falta ou excesso de nutrientes essenciais para os processos fisiológicos e bioquímicos na mesma.

Estudos de Bastos & Pereira (1994) para determinar os teores de nutrientes em tecidos de cacauzeiro sadios e infectados com *C. pernicioso* revelaram que a concentração de macro e micronutrientes nas partes da planta são influenciadas pela infecção do fungo. Entretanto, para Nakayama (1995) as deficiências nutricionais nas plantas de cacauzeiro provocaram variação na hiperplasia e alterações na patogenicidade do fungo, em função do tipo de nutriente e do material genético. Segundo a mesma autora, as plantas com nutrição balanceada tiveram a severidade reduzida ou não apresentaram sintomas da doença.

Entre as principais funções atribuídas ao boro na nutrição mineral estão a de participar no desenvolvimento dos tecidos meristemáticos, síntese e transporte de açúcares e síntese de ácido indolacético (Gupta, 1979; Malavolta, 1980; Mengel & Kirkby, 1987; Dechen et al., 1991); é provável que o desenvolvimento da vassoura-de-bruxa desde à penetração do patógeno até a manifestação dos sintomas esteja relacionado com a intensidade dos processos fisiológicos, bioquímicos e nutricionais que ocorrem na planta, os quais podem ser influenciados pela concentração de boro nas diferentes partes da mesma.

Na Região Norte, o aparecimento da vassoura-de-bruxa em plantações adultas de cupuaçuzeiro é imprevisível e inevitável, devido ao fato da doença ocorrer de forma endêmica. Portanto, uma rigorosa seleção de mudas descendentes de plantas saudáveis, que apresentem bom vigor e desenvolvimento normal, é uma das mais importantes medidas agronômicas para o estabelecimento de plantações comerciais (Venturieri et al., 1993).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos que as diferentes doses de boro podem exercer sobre o desenvolvimento, concentração e translocação de boro em plantas jovens de cupuaçuzeiro inoculadas e não-inoculadas com *C. perniciosa*, cultivadas em solução nutritiva, em condições de casa de vegetação.

2 - MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação do Departamento de Solos da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará – FCAP, no período de maio de 1995 a maio de 1996. O local do experimento está situado na área metropolitana do município de Belém, PA (1°28'S;48°30'W) a uma altitude de 10,5m sobre o nível do mar, sendo o relevo plano e de acordo com a classificação de Köppen, o clima é do tipo Af (Bastos et al, 1995).

Sementes de cupuaçuzeiro, oriundas de matrizes do campo de fruteiras tropicais da Embrapa Amazônia Oriental, consideradas susceptíveis à vassoura-de-bruxa, foram postas para germinar em bandejas contendo a mistura de terra preta e serragem (1:1) como substrato.

Aos trinta dias após a emergência, as plântulas foram transplantadas para vasos plásticos contendo 3,5 kg de sílica grossa lavada (tipo 4) como substrato. Para fins de drenagem, os vasos foram perfurados próximo à base, e ligados através de um segmento de mangueira plástica flexível de 10 mm de diâmetro, à boca de garrafas de vidro com capacidade para um litro, colocadas em nível inferior ao vaso. A parte externa dos vasos e garrafas foi pintada com tinta aluminizada para reduzir a passagem de luz e impedir a proliferação de algas.

O delineamento experimental utilizado foi de blocos ao acaso, em arranjo fatorial 2x6, composto pela combinação de dois grupos de plantas: inoculadas e não-inoculadas com *C. pernicioso*, e seis doses de boro: 0,0; 0,2; 0,4; 0,8; 1,6 e 3,2 mg.dm⁻³ com quatro repetições. Os tratamentos foram representados por parcelas constituídas por um vaso contendo no início duas e, após 30 dias quando foi realizado o desbaste, uma única planta.

As soluções estoque utilizadas no preparo das soluções nutritivas de trabalho (tratamentos) foram preparadas tendo-se como referência a solução nutritiva de Bolle-Jones (1957), modificada quanto aos níveis de boro, sendo este último fornecido na forma de ácido bórico. Durante os primeiros 120 dias, as plantas foram irrigadas diariamente com um litro de diferentes diluições da solução nutritiva completa (1/5 e 1/3 da força), visando aclimatá-las e garantir crescimento homogêneo. A partir do sexto mês, na mesma frequência e quantidade, foram aplicadas as soluções nutritivas contendo as diferentes doses de boro que representaram os tratamentos. As soluções nutritivas foram colocadas nas plantas no início do dia e recolhidas nas garrafas ao final da tarde, completando-se o volume para um litro, com água destilada. Todas as soluções nutritivas foram renovadas quinzenalmente.

Aos noventa dias após o início da aplicação das doses de boro, com o aparecimento dos sintomas iniciais de toxidez e deficiência, nos tratamentos de plantas inoculadas foram feitas inoculações com suspensões de *C. pernicioso* em uma concentração aproximada de 5×10^6 basidiósporos. A metodologia de inoculação utilizada resultou da combinação das metodologias de Frias (1987) e Andebrhan (1986), desenvolvidas para a inoculação de cacauzeiros.

O experimento foi colhido 370 dias após o transplante. As plantas foram divididas em raízes, caules e folhas, lavadas com água destilada e colocadas em sacos de papel. Posteriormente, foram secas em estufa de ventilação forçada a 65°C até atingirem peso constante. Em seguida, determinou-se o peso da matéria seca e o material moído em moinho tipo Willey, destinado para as análises de macro e micronutrientes.

As análises químicas de N, P, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Fe, Mn e Zn foram realizadas no Laboratório de Análise Nutricional de Plantas da Universidade Federal de Lavras e a determinação de nutrientes foi feita seguindo a metodologia de Malavolta et al. (1989). Os extratos da matéria seca das partes da planta para análises de boro foram obtidos mediante digestão por via seca. A concentração de boro foi determinada por colorimetria.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 - DEFICIÊNCIA DE BORO

Até o momento da coleta não foram observados sintomas graves da deficiência de boro, como a paralisação no crescimento apical ou encurtamento dos entrenós. Isto pode ter resultado da aplicação de diferentes diluições da solução completa, nos primeiros 120 dias que antecederam os tratamentos, que podem ter fornecido quantidade suficiente de boro para o desenvolvimento normal das plantas. Embora não tenham sido constatados sintomas severos da deficiência, observações feitas no decorrer do experimento podem estar relacionadas com a falta de boro às plantas. Algumas plantas com a dose 0,0 mg.dm⁻³ de boro apresentaram a superbrotação das gemas laterais próximo ao ponto de crescimento, sendo as folhas desenvolvidas a partir dessas gemas de tamanho menor, ásperas ao tato e ligeiramente curvadas. Verificou-se, também, que as plantas deste tratamento tiveram a produção de matéria seca reduzida, sugerindo que o desenvolvimento foi afetado pela falta de boro na solução, independentemente da inoculação.

Diversos trabalhos referem-se aos sintomas causados pela deficiência de boro em plantas cultivadas (Gupta, 1979; Malavolta & Boaretto, 1989; Bennet, 1994). Com relação à cultura do cupuaçuzeiro, os sintomas de deficiência desse nutriente foram descritos por Salvador et al (1994) e Bueno (1997).

Sintomas similares aos observados no cupuaçuzeiro, provocados pela deficiência de boro foram também constatados por vários autores em diversas culturas: Monnerat et al (1995) em rami; Lanza et al (1996) em paricá; Viégas et al (1996) em juta; Fasabi (1996) em malva e Matos et al. (1996) em plantas de mogno da mesma idade.

3.2 - TOXIDEZ DE BORO

Os primeiros sintomas provocados pela toxidez de boro manifestaram-se aos 25 dias após a aplicação dos tratamentos, inicialmente nas plantas com a dose de $3,2 \text{ mg.dm}^{-3}$ e 15 dias depois nas plantas do tratamento com $1,6 \text{ mg.dm}^{-3}$ de boro, embora com menor intensidade. No início, os sintomas de toxidez foram constatados nas folhas novas, caracterizando-se pelo aparecimento de manchas verdes claras na borda do limbo, contrastando com a cor verdes escura das folhas mais velhas. Posteriormente, nessas manchas surgiram pontos necróticos de diferentes diâmetros, e com a evolução dos sintomas esses pontos uniram-se, formando áreas inteiramente necrosadas da folha, avançando das bordas em direção ao centro do limbo. As plantas mais afetadas tiveram o diâmetro do caule e a altura reduzidos pelo excesso de boro, sem chegar a causar a paralisação total do crescimento.

Sintomas de toxidez de boro similares aos observados no cupuaçuzeiro foram descritos por Gupta (1979), em diversas culturas anuais, tais como: cereais, hortaliças, forrageiras, fumo e beterraba. Contudo, poucas são as referências na literatura que relatam os sintomas do excesso de boro em culturas perenes tropicais. Gallo & Franco (1976) descreveram os sintomas causados pela toxidez de boro em folhas de mudas de cafeeiro adubadas com diferentes doses de bórax, assemelhando-se aos sintomas observados no cupuaçuzeiro. Por outro lado Haag et al. (1986) relataram a ocorrência de distúrbios nutricionais provocados pelo excesso de boro em mudas de seringueira, os quais se assemelharam com a sintomatologia apresentada pelas plantas de cupuaçuzeiro com sintomas de toxidez do micronutriente no início do seu desenvolvimento.

Não foram encontrados trabalhos relatando os sintomas de toxidez de boro em cacauzeiro ou cupuaçuzeiro jovens. Com relação ao cacauzeiro, poucas

são as informações encontradas na literatura referindo-se à nutrição mineral com micronutrientes. Isto pode ser atribuído ao sombreamento das espécies mais altas e a grande quantidade de serrapilheira que se forma, a qual favorece à reciclagem de nutrientes (Haag et al, 1991). Em condições de campo as deficiências mais comuns de micronutrientes observadas na cultura do cacaueteiro são as de zinco e boro.

3.3 - SINTOMATOLOGIA DA DOENÇA

O aparecimento dos sintomas da vassoura-de-bruxa nas plantas inoculadas ocorreu 40 dias após a inoculação, primeiramente nas plantas com a dose de 3,2 mg.dm⁻³, seguidas das plantas com as doses de 1,6 e 0,0 mg.dm⁻³ de boro. Os primeiros sintomas foram caracterizados por leves inchaços nos ramos e pecíolos, e com o avanço da doença observou-se também torção dos pecíolos e enrolamento das folhas próximas ao ponto de inoculação. Algumas das plantas com sintomas severos da infecção apresentaram superbrotação de gemas laterais próximas ao ponto de inoculação, resultando no aparecimento de um conjunto de folhas pequenas e disformes, assemelhando-se a uma vassoura.

De modo geral, os sintomas provocados pela doença no cupuaçueteiro coincidiram com os descritos por Nakayama (1995) em cacaueteiros jovens. Todas as plantas infectadas mostraram algum tipo de sintoma associado à doença, embora a intensidade destes variasse de acordo com a planta e em menor grau em função das doses de boro na solução. Os sintomas permaneceram na planta até o final do experimento.

Com relação ao tempo necessário para a manifestação de sintomas após a inoculação do *C. pernicioso*, de acordo com as observações de Wheeler & Suarez (1993) no cacaueteiro e conforme o tempo transcorrido desde a inoculação até o aparecimento dos primeiros sintomas, pode-se dizer que as plantas jovens de cupuaçueteiro mostraram-se susceptíveis à inoculação do patógeno, independente das doses de boro aplicadas, porém estes sintomas foram mais severos nas plantas com sintomas de toxidez e deficiência de boro (3,2; 1,6 e 0,0 mg.dm⁻³).

Os resultados obtidos indicam que a falta e o excesso de boro podem contribuir para o enfraquecimento da planta do cupuaçuzeiro, tornando-a susceptível à infecção do fungo. Observações semelhantes feitas por Lakder et al. (1991) no cacauzeiro sugerem que o estado nutricional da planta influencia na penetração do fungo e no desenvolvimento dos sintomas da doença. Verificou-se que tanto os ramos como as gemas apicais que não foram inoculadas apresentaram aspecto normal, fato que é atribuído ao caráter local da infecção.

3.4 - PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA

Dados da produção de matéria seca total e nas diferentes partes da planta em função dos tratamentos são mostrados na Tabela 1. Constatou-se que, de modo geral, as plantas sadias acumularam maiores quantidades de matéria seca que as infectadas, sendo que as doses de 0,2 a 0,8 mg.dm⁻³ de boro proporcionaram as maiores diferenças, evidenciando que a produção de matéria seca pode ser influenciada tanto pelos níveis de boro como pela inoculação do fungo.

Tabela 1- Produção de matéria seca (MS) em plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), inoculadas (IN) e não-inoculadas (NI) com *C. pernicioso* em função das doses de boro em casa de vegetação. (Os valores representam as médias \pm o erro padrão n = 4).

Doses de Boro (mg.dm ⁻³)	Raiz		Cauce		Folhas		M. S. Total	
	NI	IN	NI	IN	NI	IN	NI	IN
0,0	9,10	10,9	23,4	22,0	26,0	27,1	58,5 \pm 0,54	59,9 \pm 1,09
0,2	11,7	11,9	23,5	22,2	32,1	28,8	67,4 \pm 2,89	62,9 \pm 1,81
0,4	13,3	12,1	25,7	23,2	33,4	30,2	72,4 \pm 0,30	65,5 \pm 2,27
0,8	11,9	8,33	23,2	21,1	33,9	30,8	69,0 \pm 3,75	60,2 \pm 0,49
1,6	10,4	7,20	22,7	20,9	29,8	26,6	63,0 \pm 2,70	54,7 \pm 0,67
3,2	7,74	5,92	14,9	15,1	22,1	22,3	44,7 \pm 1,13	43,2 \pm 3,05

Através da análise de variância foi detectada diferença estatisticamente significativa entre tratamentos, tanto para o efeito da inoculação (P=0,028) como para as doses de boro (P<0,001) sobre a produção de matéria seca total (MS). Com relação ao efeito da interação entre a inoculação e as doses de boro avaliadas, não foi possível detectar diferença significativa (P=0,072).

Estes resultados diferem dos obtidos por Nakayama (1995) em cacauzeiros jovens com e sem inoculação de *C. pernicioso*, sob deficiências de macronutrientes, que obteve maior produção de matéria seca nas plantas infectadas que nas sadias. Fato que a referida autora atribui à hiperplasia e hipertrofia causadas pelo fungo nas partes infectadas, que provocaram o engrossamento do caule, pecíolo e nervuras das folhas, bem como superbrotção das gemas laterais, resultando no aumento significativo da matéria seca de plantas inoculadas.

Verificou-se que nas plantas sadias, o acúmulo de Matéria Seca em função do incremento da dose de boro apresentou comportamento quadrático. Com base na equação de regressão de 2º grau foi determinado o ponto de máxima produção de Matéria Seca (68,2g) que correspondeu à dose de 1,08 mg.dm⁻³ de boro. Por outro lado, nas plantas infectadas o efeito das doses de boro mostrou uma tendência linear decrescente, sugerindo que a aplicação de boro em doses excessivas afetou a produção de matéria seca (Figura 1). O efeito negativo que a presença do fungo parece ter exercido sobre as funções fisiológicas ligadas ao crescimento da planta pode ter sido acentuado pelos distúrbios nutricionais provocados tanto pela deficiência como pela toxidez de boro.

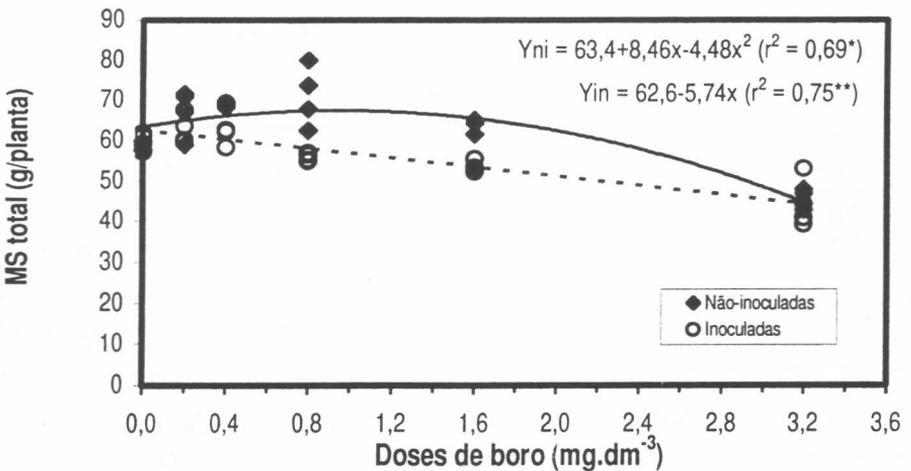


Figura 1 - Produção de matéria seca total (MS) em plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), inoculadas (IN) e não-inoculadas (NI) com *C. pernicioso*, em função das doses de boro em casa de vegetação. (* = P<0,05; ** = P<0,01).

Quando analisadas separadamente as diferentes partes da planta, em relação à produção de matéria seca, foi constatado que a influência tanto da inoculação como das doses de boro não ocorreu de forma homogênea. Através da análise de variância verificou-se que o efeito da inoculação foi significativo somente para raízes ($P=0,051$), não o sendo para caule e folhas ($P=0,234$; $P=0,076$). Resultados semelhantes foram obtidos no referente ao efeito da interação entre inoculação e doses de boro, sendo significativo somente para raízes ($P=0,032$). No que diz respeito ao efeito isolado das doses de boro na produção de matéria seca, foi detectada diferença significativa ($P=0,001$) para todas as partes da planta, independente da infecção.

Com relação ao acúmulo de matéria seca em função da parte da planta, foi verificada a seguinte ordem: raízes<caule<folhas. De modo geral, as partes infectadas apresentaram menores pesos de matéria seca que as sadias, principalmente nas plantas com as doses superiores a $0,8 \text{ mg.dm}^{-3}$ de boro e sintomas claros de toxidez. Esses resultados sugerem que a susceptibilidade da planta à infecção do *C. pernicioso* pode estar relacionado com o incremento do nível de boro na solução e, conseqüentemente, com a concentração desse nutriente nas diferentes partes da planta.

3.5 – CONCENTRAÇÃO DE BORO

No presente estudo, independente da planta ter sido ou não inoculada, as concentrações de boro nas raízes e folhas, em função do aumento da dose desse nutriente, mostraram tendência linear crescente, enquanto que no caule foi observado comportamento quadrático. Verificou-se que o teor médio de boro na matéria seca de folhas foi quase seis vezes maior ($139,6 \text{ mg.kg}^{-1}$) que em raízes e caule, que apresentaram valores estatisticamente iguais, $23,1$ e $22,3 \text{ mg.kg}^{-1}$, respectivamente. Os teores de boro encontrados nas folhas foram superiores aos considerados adequados por Malavolta et al (1989) para o cacauzeiro, e também aos encontrados em folhas velhas e novas de cupuaçuzeiro por Salvador et al (1994).

Através da análise de variância constatou-se que o efeito da inoculação nos teores de boro das raízes foi estatisticamente significativo ($P<0,001$). Entretanto, não foi possível detectar diferença significativa entre tratamentos,

para caule ($P=0,07$) e folhas ($P=0,31$). As maiores concentrações de boro nas raízes foram apresentadas pela plantas sadias ($24,7 \text{ mg.kg}^{-1}$), sendo que nas infectadas a média foi de $21,4 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca. Quanto ao efeito isolado das doses de boro, verificou-se diferença significativa ($P<0,001$) para todas as partes da planta, entretanto, a influência da interação entre doses de boro e inoculação foi significativo somente para raízes ($P<0,001$), não sendo detectadas diferenças para caule ($P=0,261$) e folhas ($P=0,369$).

Estes resultados concordam com os obtidos por Nakayama (1995), em tecidos de três progênies de cacauero, sadias e infectadas por *C. pernicioso*, que encontrou teores de boro estatisticamente superiores ($P<0,01$) nas partes aérea e basal de plantas sadias em comparação com as infectadas. Tendência semelhante foi constatada por Bastos & Pereira (1994), que encontraram maiores concentrações de micronutrientes em lançamentos sadios, que em vassouras verdes e secas de plantas adultas de cacauero infectadas com o fungo, em condições de campo.

A resposta dos teores de boro na matéria seca de raízes, caule e folhas, em função das doses de boro, é ilustrada na Figura 2. Constatou-se que a tendência da regressão para folhas e raízes foi linear crescente, enquanto que para caule foi quadrática. Verificou-se que, independente da inoculação, o teor de boro no cupuaçuzeiro aumentou conforme o nível de boro na solução.

A análise de regressão dos dados revelou que, tanto nas plantas sadias como nas infectadas, a equação de primeiro grau foi a que melhor explicou o efeito do aumento da dose de boro nas concentrações do micronutriente na matéria seca de raízes e folhas. Em contrapartida, a equação quadrática foi a que melhor se ajustou aos resultados dos teores de boro na matéria seca do caule, independente da inoculação. Com base na equação de 2º grau foi determinado o ponto de máxima concentração de boro no caule, sendo que para plantas sadias o teor máximo foi de $29,6 \text{ mg.kg}^{-1}$ que correspondeu à dose de $2,33 \text{ mg.dm}^{-3}$; entretanto nas plantas infectadas esses valores foram de $30,5 \text{ mg.kg}^{-1}$ de matéria seca e de $2,28 \text{ mg.dm}^{-3}$ de boro, respectivamente.

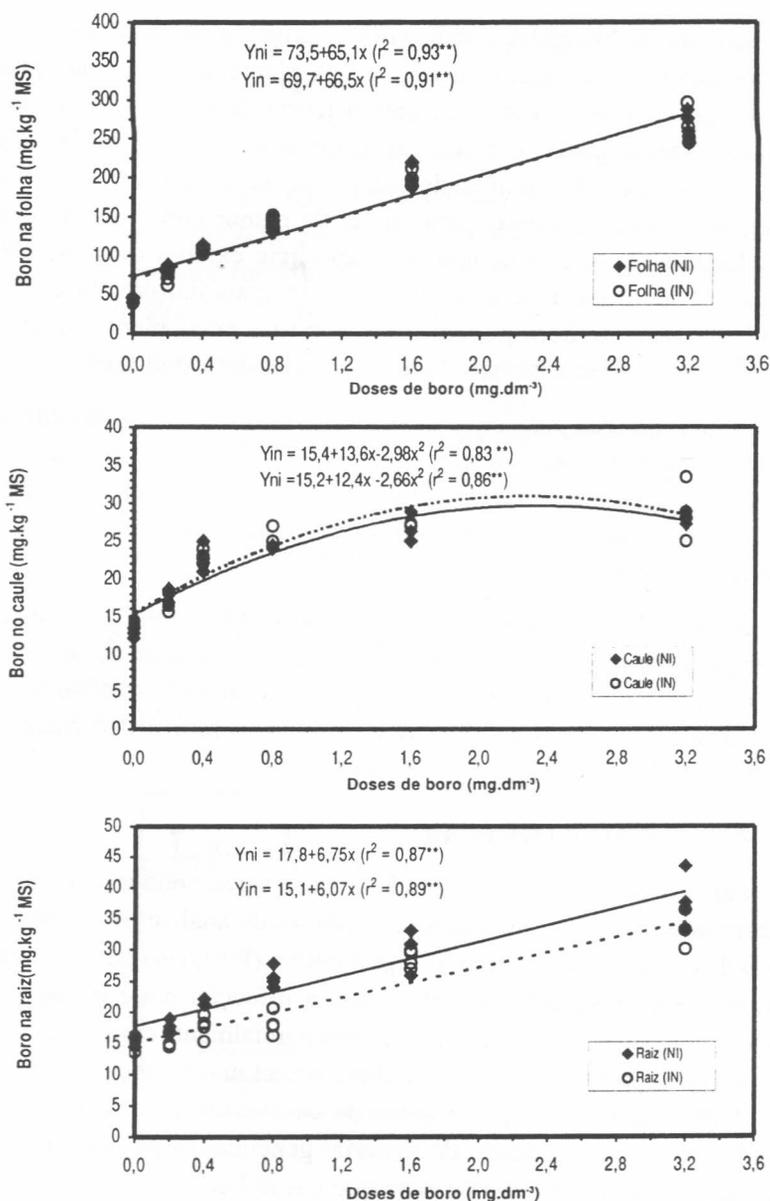


Figura 2 - Teores de boro na matéria seca da raízes, caule e folhas de plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), inoculadas (IN) e não-inoculadas (NI) com *C. perniciosa*, em função de doses de boro em casa de vegetação. (** = $P < 0,01$).

De acordo com Mengel & Kirkby (1987), existe ainda muita controvérsia acerca do mecanismo de absorção do boro na planta, se de forma ativa ou passiva. Os resultados obtidos reforçam a teoria de que o boro pode ser absorvido de forma passiva, principalmente através de fluxo de massa, processo no qual os nutrientes deslocam-se de uma região de maior concentração (solução externa) para outras de menor concentração como: parede celular, espaços intercelulares e superfície externa do plasmalema (Malavolta, 1980). Esse fato seria um dos principais motivos pelos quais quantidades tóxicas de boro podem ser absorvidas pelas plantas quando a concentração desse elemento na solução é alta (Dechen et al, 1991).

Resultados obtidos por Viégas et al. (1996) em plantas de juta cultivadas sob condições controladas indicaram que as quantidades de nutrientes nas plantas podem ser influenciadas significativamente pelo aumento do nível de boro na solução, observando-se um efeito quadrático das doses de boro no acúmulo total de macronutrientes.

Efeito semelhante foi constatado por Matos et al, (1996), em plantas de mogno irrigadas com doses crescentes de boro, que verificaram que o acúmulo total de macronutrientes pode ser modificado pelo aumento na dose de boro, e que as doses superiores a $0,25 \text{ mg.dm}^{-3}$ provocaram o decréscimo no conteúdo de N, P, K, Ca, Mg e S na planta.

3.6 – TRANSLOCAÇÃO DE BORO

A translocação do boro em direção à parte aérea pode ter sido afetada pela presença do fungo na planta, já que através da análise de variância foi detectada diferença estatisticamente significativa ($P=0,034$) para o efeito da inoculação. Estes resultados sugerem que a infecção pode influenciar a absorção de nutrientes na planta, concordando parcialmente com os resultados obtidos por Nakayama (1995), que também detectou diferença significativa entre os teores de boro da parte aérea de cacauzeiros jovens, com e sem inoculação, porém, dependendo do material genético, as plantas infectadas tiveram maiores concentrações de boro que nas sadias.

Também foi detectada diferença significativa ($P<0,01$) para a interação entre níveis de boro e inoculação, sugerindo que a absorção deste nutriente

no cupuaçuzeiro depende do estado fitossanitário e da nutrição mineral adequada da planta, que favoreça o desenvolvimento normal da mesma. Conforme Agrios (1997), muitos patógenos interferem na absorção e translocação de água e nutrientes minerais na planta de diversas formas: afetando a integridade e a funcionalidade das raízes; bloqueando os tecidos condutores; interferindo na translocação de água através do caule; exercendo influência no balanço hídrico da planta, resultado da transpiração excessiva que provocam através dos efeitos que causam nas folhas e estômatos.

A análise de variância também revelou efeito significativo das doses de boro ($P < 0,001$) na taxa de translocação do nutriente na planta, independente de ter sido ou não inoculada. Isto foi corroborado pelos resultados da análise de variância da regressão, que indicaram que a influência das doses de boro ocorreu de forma linear e crescente, sendo as equações de regressão de 1ª grau as que melhor se ajustaram aos dados (Figura 3).

Respostas semelhantes foram observadas por Lima et al (1996), em plantas de paricá irrigadas com doses crescentes de boro em casa de vegetação, constatando efeito linear positivo das doses na concentração de boro na parte aérea, e comportamento quadrático nas raízes.

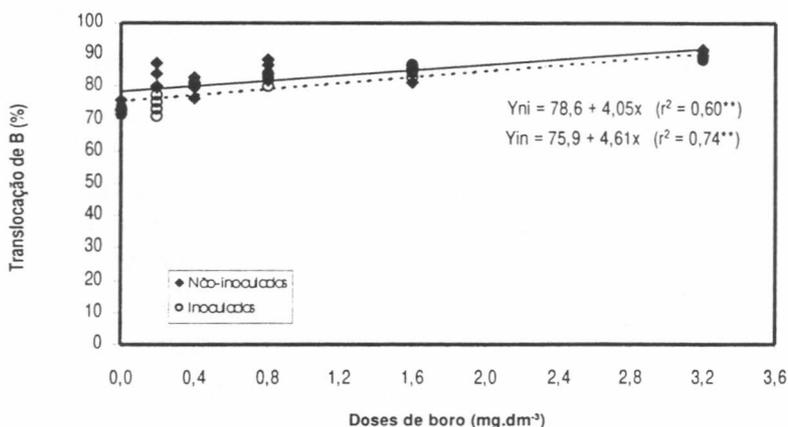


Figura 3 - Taxa de translocação de boro em plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*), inoculadas (IN) e não-inoculadas (NI) com *C. pernicioso* em função de doses de boro, em casa de vegetação. (* = $P < 0,05$; ** = $P < 0,01$).

Os resultados evidenciaram que a mobilidade do boro na planta foi favorecida pelo fornecimento contínuo desse elemento através da solução nutritiva, coincidindo com as observações de Malavolta et al (1989), que afirma que uma das conseqüências da imobilidade do boro na planta é a necessidade de um suprimento constante pelo meio e para prevenir ou corrigir carências esse elemento deve ser fornecido preferencialmente via radicular, e que o conteúdo do nutriente segue a taxa de transpiração dos órgãos da parte aérea: folhas > frutos > sementes.

4 - CONCLUSÃO

- a) A interrupção no fornecimento de boro 120 dias depois do transplante provocou sintomas característicos de deficiência em todas as plantas de cupuaçuzeiro, causando a redução na produção de matéria seca total, principalmente nas plantas infectadas com o patógeno;
- b) as doses de boro superiores a $0,8 \text{ mg.dm}^{-3}$, provocaram sintomas bem definidos de toxidez na planta, independente de ter sido ou não inoculada. Constatou-se, também, desenvolvimento anormal, decorrente dos baixos valores de matéria seca total e nas diversas partes da planta;
- c) a produção de matéria seca total foi influenciada tanto pela dose de boro como pela infecção do fungo, embora tenha sido constatado que acúmulo de matéria seca nas plantas sadias foi relativamente maior que nas infectadas;
- d) a produção de matéria seca total nas plantas sadias em função das doses de boro mostrou tendência quadrática, sendo máximo (68,2g) obtido com a dose $1,08 \text{ mg.dm}^{-3}$. Nas plantas inoculadas verificou-se que as doses de boro exerceram efeito depressivo no acúmulo de matéria seca;
- e) independente da planta ter sido ou não inoculada, o incremento na dose de boro promoveu acréscimos lineares nos teores desse elemento em raízes e folhas, enquanto que no caule foi observado comportamento quadrático;
- f) a translocação do boro foi influenciada pela presença do fungo na planta e pelas doses de boro aplicadas, que exerceram efeito linear crescente na taxa de absorção do micronutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRIOS, G.N. Effects of pathogens on plant physiological functions. In: _____. *Plant pathology* 4: ed. San Diego: Academic Press, 1997. p.81-91
- ANDEBRHAN, T. *Biologia do Crinipellis pernicioso*: uma metodologia simples e eficaz para padronização do inóculo. Belém: CEPLAC/DEPEA, 1986. p.43-44.(Informe Técnico).
- BASTOS, C.N. *Epifitologia, hospedeiros e controle da vassoura-de-bruxa (Crinipellis pernicioso) (Stahel) Singer*. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC, 168. 1990. 21p. (Boletim Técnico, n.168).
- BASTOS, C.N., PEREIRA, G.C. Teores de nutrientes em tecidos de cacauzeiros sadios e infectados por *Crinipellis pernicioso*. *Fitopatologia Brasileira*, Brasília, v.19, n.2, p.245-247, 1994.
- BASTOS, T.X., COSTA, M.X., SÁ, T.D.A. *Climatic conditions and its influence on the agricultural process at northeast Pará-study case of Igarapé-Açú, State of Pará*. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1995.6p.
- BENNET, W.F. (Ed.). *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. St. Paul: The American Phytopathological Society Press, 1994. 202p.
- BOLLE-JONES, E.W. Cooper, its effects on the growth and composition of rubber plant (*Hevea brasiliensis*). *Plant and Soil*. v. 10, n. 2; p.160-178,1957.
- BUENO, N. Alguns aspectos recentes da nutrição do cupuaçuzeiro. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE PIMENTA-DO-REINO E CUPUAÇU, 1., 1996, Belém, *Anais*. Belém: EMBRAPA-CPATU/JICA, 1997.
- CALZAVARA, B.B.G., MÜLLER, C.H., KAHWAGE, O.N.C. *Fruticultura Tropical: cupuaçuzeiro. cultivo, beneficiamento e utilização do fruto*. Belém: EMBRAPA.CPATU, 1984. 101p. (Documentos, 32).
- DECHEN, A.R. HAAG, H.P., CARMELLO, Q.A.C. Funções, mecanismos de absorção e Translocação de micronutrientes nas Plantas. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. *Anais...* Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.65-97.
- FASABI, J.A.V. *Carências de macro e micronutrientes em plantas de malva (Urena lobata), variedade BR-01*. Belém: Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1996. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - FCAP, 1996.
- FRIAS, G.A. *An inoculation method to evaluate resistance to witches' broom disease of cocoa*. Gainesville: University of Florida, 1987. 111p.(Ph.D)-Univ. of Florida, 1987.
- GALLO, J.R., FRANCO, C.M. Toxicidade de boro ao cafeeiro. Campinas: Instituto Brasileiro do Café, 1976. 10p.

- GUPTA, C.U., Boron nutrition of crops. *Advances in Agronomy*, San Diego, v.31, p.273-307, 1979.
- HAAG, H.P., CARMELLO, Q.A de C., DECHEN, A. R. Culturas perenes: cacau. In: SIMPÓSIO SOBRE MICRONUTRIENTES NA AGRICULTURA, 1., 1988, Jaboticabal. *Anais...* Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991. p.533-535.
- _____, BUENO, N., VIÉGAS, I.J.M., PEREIRA, -J.P. Nutrição Mineral de Seringueira IV. Toxicidade de Boro em *Hevea brasiliensis*. *Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"*, v.43, n.1, p.219-229, 1986.
- LAKER, H.A., SREENIVASAN,T.N., RAJKUMAR, D.R. Investigations on the histopathology of cocoa seedlings infected with *Crinipellis pernicioso* in Trinidad. *Agrotropica*, Ilhéus, v.3, n.3, p.129-137, 1991.
- LANZA, L.T.C., LACERDA, C.M.P., MOTTA, F.P.E., CARVALHO, J.G. de. Sintomas de deficiências nutricionais em paricá, (*Schizolobium amazonicum*), cultivado em solução nutritiva. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS 22, 1996, Manaus, *Resumos expandidos*. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p. 367-368.
- LIMA, S.F., CUNHA, R.L. da., CARVALHO, J.G. de., CORRÊA, F.L.O. de., SOUZA, C.A. S. Efeitos de doses de boro no crescimento e absorção de boro em paricá (*Schizolobium amazonicum*). In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22, 1996, Manaus, AM. *Resumos expandidos*. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p.409-410.
- MALAVOLTA, E. *Elementos de nutrição mineral de plantas*. São Paulo, Agronômica Ceres, 1980. 251p.
- _____, BOARETTO, A.E. *Micronutrientes na agricultura brasileira*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989.
- _____, VITTI, G.C., OLIVEIRA S.A. de. *Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações*. Piracicaba, Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1989. 201p.
- MATOS, A. de O., VIÉGAS, I. de J.M., OLIVEIRA, R.P., FERNANDEZ, G.L.C. da. Efeito das doses de boro na nutrição mineral de plantas de mogno (*Swietenia macrophylla*) I - macronutrientes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22, 1996, Manaus, *Resumos expandidos*. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p.138-139.
- MEDEIROS, A.G. Conceitos básicos sobre a vassoura-de-bruxa do cacau. In: CURSO INTERNACIONAL DO CACAU, 3., 1974, Ilhéus. Ilhéus: CEPLAC/CEPEC. 1974. 25p. (Apostila de aula)
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A. *Principles of plant nutrition*, 4. ed. Worblaufen-Bern: International Potash Institute, 1987. 687p.

- MONNERAT, H.P., PEREIRA, G. P.R., GUIMARÃES, G.T. Sintomas de deficiências minerais em rami, (*Bochemnia nivea* Gaud.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25. 1995, Viçosa, MG. *Resumos expandidos*. Viçosa: SBCS/UFV, 1995. v.2. p.573-575.
- MOTA, P.P.C. da. *Cultura do cupuaçuzeiro, informações básicas*. Belém: CEPLAC/CORAM/COREX, 1990. 18p. (Cadernos de Extensão Rural da Amazônia, n.6)
- NAKAYAMA, L.H.I. *Influência da nutrição mineral na manifestação dos sintomas da vassoura-de-bruxa (*Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer) em cacauzeiro*. Piracicaba: ESALQ. 1995. 76p. Tese (Doutorado em Agronomia) - ESALQ,1995.
- SALVADOR, J.O., MURAOKA, T., ROSSETTO, R., RIBEIRO, G.A. de. Sintomas de deficiências nutricionais em cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum*) cultivado em solução nutritiva. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.51, n.3, p.407-414, set./dez.1994.
- THIAGALINGAM, K. Mineral nutrition in relation to disease in some malaysian crop *Potash Review*, Bern, n.4, p.1-4. 1977.
- VENTURIERI, G.A., TELES, B.R., FERRAZ, K.D.I, LOURDE, M., HAMADA, N. *Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e processamento*. Belém: Clube do Cupu. 1993. 108p.
- VIÉGAS, I. de J.M., SILVA, J.F. da., FERNANDEZ, G.L. da C. Efeitos das doses de boro na nutrição de plantas de juta, (*Corchorus capsularis* L.) variedade roxa. I- macronutrientes. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 22, 1996, Manaus. *Resumos expandidos*. Manaus: Ed. da Universidade do Amazonas, 1996. p.140-141.
- VIEIRA, J.T., Lagartão ou Vassoura-de-bruxa. *Boletim de Agricultura*, Rio de Janeiro, v.31, n.11, p.31-45, 1942.
- WHEELER, B.E.J., SUÁREZ, C. The Pathosystem. In: RUTGARD, A.C., MADDISON, A.C., (Ed.), ANDEBRHAN, T., (Eds.). *Disease management in Cocoa: comparative epidemiology of witches' broom*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993. p.9-23.