

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM AGRONOMIA**

RICARDO ROBSON TRAUTMANN

**DISPONIBILIDADE DE BORO PARA A CULTURA DA SOJA EM RESPOSTA A
DOSES E FONTES DO NUTRIENTE E POTENCIAIS DE ÁGUA DO SOLO**

**MARECHAL CÂNDIDO RONDON
AGOSTO/2009**

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ
CAMPUS DE MARECHAL CÂNDIDO RONDON
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM AGRONOMIA

RICARDO ROBSON TRAUTMANN

**DISPONIBILIDADE DE BORO PARA A CULTURA DA SOJA EM RESPOSTA A
DOSES E FONTES DO NUTRIENTE E POTENCIAIS DE ÁGUA DO SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Nível Mestrado, para a obtenção do título de Mestre em Agronomia.

ORIENTADORA: Profa. Dra. Maria do Carmo Lana.
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Vandeir Francisco Guimarães.
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Affonso Celso Gonçalves Junior.

MARECHAL CÂNDIDO RONDON

AGOSTO/2009

AGRADECIMENTOS

A Deus por me dar a oportunidade de viver mais esta experiência e me amparar nos momentos difíceis, dar força interior e sabedoria para superar as dificuldades, mostrando os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.

À minha orientadora Profa. Dra. Maria do Carmo Lana por acreditar em mim, me mostrar o caminho da ciência, e por ter paciência e entender a minha decisão em aproveitar a oportunidade de trabalho que surgiu no decorrer do mestrado.

A minha esposa por sempre estar ao meu lado me incentivando e acreditando no meu potencial, além de me auxiliar nas avaliações finais.

À minha mãe e minha irmã, a qual amo muito, pelo carinho, paciência e incentivo.

Ao co-orientador Prof. Dr. Affonso Gonçalves Junior por sua ajuda e autorização nos momentos mais inoportunos da utilização dos equipamentos do Laboratório de Química Agrícola e Ambiental.

Ao co-orientador Prof. Dr. Vandeir Guimarães pelo auxílio nas análises estatísticas e por acreditar no futuro deste projeto e contribuir para o meu crescimento profissional e por ser também um exemplo a ser seguido.

Aos amigos que fizeram parte desses momentos sempre me ajudando e incentivando.

Aos meus colegas de trabalho da Agrofertil por compreender minha ausência quando estava realizando as avaliações do experimento.

Ao meu gerente comercial Jacir Boaretto pelas autorizações de afastamento para realizar o trabalho.

Ao meu amigo de laboratório Silvano Fontaniva e Fábio Steiner pelo auxílio na implantação, condução e avaliações do experimento e por acreditar na efetivação do trabalho.

Ao colega Mestre Jucenei Fernando Frandoloso por me auxiliar e direcionar com as análises de tecido e solo.

A Nutriplanta pelo fornecimento das fontes de boro.

A todos os colegas e professores da Pós-Graduação em Agronomia.

A Capes pelo auxílio financeiro concedido pela bolsa de estudo que foi fornecida até o início das atividades laborais na Agrofertil.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	5
LISTA DE FIGURAS	8
RESUMO.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO LITERATURA	15
2.1 CULTURA DA SOJA	15
2.2 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA CULTURA DA SOJA	16
2.3 DÉFICIT HÍDRICO E O DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS.....	17
2.3.1 <i>Efeito do déficit hídrico na morfologia das plantas</i>	18
2.3.2 <i>Efeito do déficit hídrico no sistema radicular das plantas</i>	19
2.4 BORO	20
2.5 FUNÇÕES DO BORO NA PLANTA.....	21
2.6 DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE BORO NA PLANTA	23
2.7 BORO NO SOLO	25
2.7.1 <i>Fatores que afetam a atividade do boro no solo</i>	25
2.7.1.1 pH	25
2.7.1.2 Textura do solo	26
2.7.1.3 Tipo de argila	27
2.7.1.4 Umidade do solo.....	27
2.7.1.5 Interação do boro com outros nutrientes	27
2.7.1.6 Compostos de ferro e alumínio.....	28
2.7.1.7 Matéria Orgânica	29
2.8 FONTES DE BORO E ADUBAÇÃO	29
2.8.1.1 Ácido Bórico.....	30
2.8.1.2 Colemanita.....	30

2.8.1.3 Termofosfato com boro.....	30
2.8.1.4 Ulexita.....	31
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	32
3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	32
3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	33
3.4 AVALIAÇÕES.....	37
3.4.1 <i>Avaliações durante o período de experimento</i>	37
3.4.1.1 Conteúdo relativo de água na folha (CRA).....	38
3.4.1.2 Umidade gravimétrica do solo.....	38
3.4.2 <i>Avaliações ao final do experimento</i>	39
3.4.2.1 Variáveis biométricas.....	39
3.4.7 <i>Determinação do B no solo</i>	39
3.4.8 <i>Determinação do B na planta</i>	40
3.5 DADOS COLETADOS.....	41
3.6 TABULAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	42
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
4.1 UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO.....	44
4.2 CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA NA FOLHA.....	46
4.3 DESENVOLVIMENTO DA PARTE AÉREA DA SOJA.....	51
4.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DA SOJA.....	55
4.5 TEOR DE B NO SOLO E NO TECIDO FOLIAR.....	58
CONCLUSÕES.....	64
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	65
ANEXOS.....	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Quantidade de nutrientes absorvida e exportada nos grãos pela cultura da soja, em cada tonelada produzida	16
TABELA 2. Características químicas* do horizonte A do latossolo vermelho eutroférico coletado para a instalação do experimento	34
TABELA 3. Granulometria* do horizonte A do latossolo vermelho eutroférico coletado para a instalação do experimento	34
TABELA 4. Umidade gravimétrica do solo no final do experimento em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Pondon, PR. 2008.....	45
TABELA 5. Conteúdo relativo de água nas folhas de soja aos 41,42 e 43 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Pondon, PR. 2008.....	47
TABELA 6. Altura de planta, diâmetro de coleto e número de folhas de soja em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Pondon, PR. 2008	51
TABELA 7. Massa seca de folhas, de caule e total da parte aérea das plantas de soja em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Pondon, PR. 2008	53

TABELA 8. Massa seca de raiz e volume radicular de plantas de soja em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Pondon, PR. 2008. 2008....	56
TABELA 9. Teor de B no solo e no tecido foliar soja em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Pondon, PR. 2008.....	59
TABELA 10a. Análise de variância para umidade gravimétrica do solo, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas	77
TABELA 11a. Análise de variância para conteúdo relativo de água na folha de soja aos 41 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas.....	77
TABELA 12a. Análise de variância para conteúdo relativo de água na folha de soja aos 42 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas.....	78
TABELA 13a. Análise de variância para conteúdo relativo de água na folha de soja aos 43 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas.....	78
TABELA 14a. Análise de variância para altura de planta, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas.....	78
TABELA 15a. Análise de variância para diâmetro de coleto, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas	79
TABELA 16a. Análise de variância para número de folhas de soja, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas	79
TABELA 17a. Análise de variância para massa seca de folhas, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas...	79

- TABELA 18a. Análise de variância para massa seca de hastes, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas...80
- TABELA 19a. Análise de variância para massa seca total da parte aérea, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas.....80
- TABELA 20a. Análise de variância para volume radicular, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas.....80
- TABELA 21a. Análise de variância para massa seca de raiz, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas...81
- TABELA 22a. Análise de variância para B no solo, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas.....81
- TABELA 23a. Análise de variância para B no tecido foliar de soja, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas...81

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1. Esquema da distribuição dos vasos na bancada dentro da casa de vegetação conforme as tensões de água no solo32
- FIGURA 2. Curva de retenção de água no solo utilizado para a implantação do experimento. Análise realizada no Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFSM, RS33
- FIGURA 3. (a) – detalhes da cápsula de cerâmica porosa conectada aos microtubos flexíveis transparentes de 1/8” x 1,5 mm, e, (b) – detalhe das garrafas ‘pet’ protegidas com papel laminado, durante a condução do experimento.....36
- FIGURA 4. Representação do sistema de irrigação subsuperficial por tensão controlada com cápsula de cerâmica porosa37
- FIGURA 5. Dados de temperatura máxima e mínima coletados durante a condução do experimento em casa de vegetação41
- FIGURA 6. Média do consumo de água de cinco reservatório avaliado durante o período de 17 dias.....42
- FIGURA 7. Umidade gravimétrica do solo durante a condução do experimento, em função dos níveis de tensão de água no solo. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 200845
- FIGURA 8. Conteúdo relativo de água nas folhas de soja aos 41 dias após a semeadura em função da interação significativa entre tensão de água

no solo, doses de b para a aplicação de ácido bórico – (a) e colemanita – (b). UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 200848

- FIGURA 9. Ajuste obtido entre os valores de conteúdo relativo de água nas folhas e umidade gravimétrica do Latossolo Vermelho eutroférico de textura média, no último dia de avaliação. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008.....50
- FIGURA 10. Massa seca de raiz de plantas de soja em função das doses de B aplicadas na forma de ácido bórico e colemanita. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 200857
- FIGURA 11. Volume radicular das plantas de soja em função das doses de B aplicadas na forma de ácido bórico e colemanita. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 200858
- FIGURA 12. Teor de B no solo em função das doses do nutriente aplicadas ao solo. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 200860
- FIGURA 13. Teor de b no tecido foliar da soja em função das doses de B aplicadas ao solo. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008.61
- FIGURA 14. Sintomas de toxidez de b em plantas de soja cultivada em latossolo vermelho eutroférico de textura arenosa com a aplicação de 2 mg kg^{-1} de b – (a) e detalhes do sintoma de toxidez de B na soja – (b). UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008.....62
- FIGURA15. Ajustes obtidos entre o teor de b no solo e o teor de B absorvido pela planta de soja. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008.63

RESUMO

TRAUTMANN, Ricardo Robson. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, agosto de 2008. **DISPONIBILIDADE DE BORO PARA A CULTURA DA SOJA EM RESPOSTA A DOSES E FONTES DO NUTRIENTE E POTENCIAIS DE ÁGUA DO SOLO**

Professora Orientadora: Dra. Maria do Carmo Lana

A soja é uma das culturas anuais mais exigentes em boro (B). Entretanto, o manejo da adubação boratada deve ser realizado com muita cautela, principalmente no que diz respeito às doses a serem aplicadas, devido à estreita faixa entre o nível adequado e o tóxico para este nutriente no solo. Outro aspecto importante relacionado diretamente com a disponibilidade de B para as plantas refere-se às condições hídricas do solo, já que o B é preferencialmente transportado no solo até a superfície das raízes pelo fluxo de massa. Neste contexto, este trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação de fontes e doses de B no crescimento da soja (*Glycine max*) em um Latossolo Vermelho eutroférico de textura média, submetido a diferentes tensões de água. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na Estação de Horticultura e Cultivo Protegido da Universidade Estadual do Oeste do Paraná, em Marechal Cândido Rondon, PR, em vasos com 5 dm³ de solo. Utilizou-se o delineamento experimental em parcelas subdivididas, em esquema fatorial 5 x 2 x 3, sendo cinco doses de B (0,0; 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 mg dm⁻³); duas fontes (ácido bórico e colemanita) e três tensões de água no solo (-0,01, -0,03 e -0,10 MPa), com quatro repetições. Os resultados obtidos indicaram que o desenvolvimento da cultura de soja, de maneira geral, não é influenciado quando se mantêm o nível de tensão de água no solo até -0,1 MPa (umidade do solo de 65% da capacidade de campo). O crescimento da parte aérea da soja não foi influenciado pela adubação boratada, independentemente se a fonte aplicada é mais ou menos solúvel. Por sua vez, o desenvolvimento do sistema radicular foi negativamente afetado com a aplicação de até 2 mg dm⁻³ de B, em solo com teor inicial de 0,4 mg dm⁻³. Sob tensão de água no solo de -0,1 MPa a adubação com doses de B de 0,25 a 2,0 mg dm⁻³ como colemanita implicou em menor perda de água pelas folhas de soja. Os teores de B no solo e no tecido foliar da soja aumentam linearmente com o aumento das doses do nutriente aplicado no solo, sendo observado na dose máxima, 2 mg dm⁻³ de B, sintomas típicos de toxidez de B nas folhas de soja.

Palavras-Chave: *Glycine max*, micronutriente, água no solo.

ABSTRACT

TRAUTMANN, Ricardo Robson. State University of West of Paraná, August 2008.
AVAILABILITY OF BORON FOR THE SOYBEAN CROP IN RESPONSE TO DOSES AND THE POTENTIALS SOURCES OF WATER NUTRIENT SOIL

Teacher Advisor: Dr. Maria do Carmo Lana

Soybeans are an annual crop demanding boron (B). However, the boron fertilizer management should be done cautiously, especially with regard to doses to be applied because of the narrow range between adequate and toxic for this nutrient in the soil. Another important aspect directly related to the availability of B to plants refers to soil moisture conditions, since B is preferentially transported into the soil to the surface of the roots by mass flow. In this context, this study aimed to evaluate the effect of sources and application rates of boron in the growth of soybean (*Glycine max*) in an Oxisol of medium texture, under different water tensions. The experiment was conducted in a greenhouse at Horticulture Station Protected Cultivation and the State University of West of Paraná, Marechal Cândido Rondon, PR, using pots with 5 dm³ of soil. We used a randomized split-plot in a factorial 5 x 2 x 3, with five doses of B (0.0, 0.25, 0.5, 1.0 and 2.0 mg dm⁻³); two sources (boric acid and colemanite) and three strains of soil water (-0.01, -0.03 and -0.10 MPa), with four replications. The results indicated that the development of soybean, in general, is not influenced when keeping the voltage level of water in the ground to -0.1 MPa (soil moisture of 65% of field capacity). The shoot growth of soybean was not influenced by boron fertilization, regardless of whether the withholding is more or less soluble. In turn, the root growth was negatively affected by the application of up to 2 mg dm⁻³ of B in soil with initial 0.4 mg dm⁻³. Under water tension of -0.1 MPa soil fertilization with B rates from 0.25 to 2.0 mg dm⁻³ as colemanite resulted in less loss of water by the soybean leaves. The amount of B in soil and soybean leaves increases linearly with increasing doses of the nutrient into the soil, was observed at the maximum dose, 2 mg dm⁻³ of B, typical symptoms of B toxicity in soybean leaves.

Key words: *Glycine max*, micronutrient, soil water content.

INTRODUÇÃO

Atualmente o Brasil se destaca no cenário mundial como um dos maiores produtores e exportadores de grãos de soja, estando atrás apenas dos Estados Unidos. Nos últimos anos a soja também se destacou como a cultura agrícola com maior extensão de área semeada e principal responsável pela expansão da fronteira agrícola, principalmente para a região Centro-Oeste e Norte do país. Isto só foi possível devido ao desenvolvimento de cultivares adaptados a diferentes condições, viabilizando o cultivo em qualquer região do território nacional e transformando milhões de hectares improdutivos em área de grande potencial de cultivo.

Segundo levantamento da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) a produção de soja brasileira na safra 2006/2007 alcançou patamares de 58 milhões de toneladas, ficando na segunda posição no âmbito mundial, perdendo apenas para os Estados Unidos da América com 86 milhões de toneladas. Entre os estados brasileiros o Paraná, nesta mesma safra produziu 11,8 milhões de toneladas, apresentando a maior produtividade (2990 kg ha^{-1}) e o estado do Mato Grosso ocupa a primeira posição, com 15 milhões de toneladas (CONAB, 2007).

Apesar dos números mostrarem que houve boa produção no Paraná, levantamentos e análises concluídos pelos técnicos do Departamento de Economia Rural da Secretaria da Agricultura (DERAL) apontam que as perdas de grãos devido a estiagem no Paraná na safra 2004/05 chegaram a 19%. Nesta avaliação, ficou em torno de 22,22 milhões de toneladas, ou seja, 5,95 milhões a menos que a previsão inicial que era de 28,17 milhões (RETROSPECTIVA, 2005).

A essencialidade da água para as plantas vem da sua contribuição na manutenção e preservação das funções vitais. As relações água-planta de qualquer cultura agrícola é bastante complexa, envolvendo aspectos de fisiologia vegetal, física de solo, agrometeorologia e agronomia em geral. Porém, os dois fatores mais

importantes para o bom desenvolvimento vegetal são: a existência de água disponível no solo para as plantas e a distribuição radicular da cultura ao longo do perfil do solo.

A quantidade de água disponível no solo para as plantas está intimamente ligada à quantidade e distribuição das chuvas e das propriedades do solo, no que se refere à retenção de água. Segundo dados da estação meteorológica da Embrapa Agropecuária Oeste situada em Dourados, Mato Grosso do Sul, nos últimos três anos a média de precipitação foi de 1.300 mm/ano, quantidade suficiente para o desenvolvimento das culturas durante o ano. No entanto, a distribuição das chuvas tornou-se ultimamente um sério problema, pela ocorrência de veranicos ou de estiagem.

Como exemplo, tem-se que em janeiro/fevereiro de 2004; fevereiro/março de 2005 e janeiro de 2006, nas regiões Oeste, Sudoeste e Noroeste do estado do Paraná e além das regiões Sul e Sudeste do Mato Grosso do Sul, foram registrados de 35, 31 e 16 dias sem chuva, respectivamente. A produtividade das culturas em geral e principalmente da soja, que nesta época se encontrava na fase de formação/enchimento de grãos, foi afetada de forma irreversível.

Por sua vez, a quantidade de água retida no solo é tanto maior quanto mais profunda a camada considerada. Assim, uma forma de aumentar a disponibilidade de água para as plantas é procurar conduzir o sistema radicular para estas camadas. Para um bom desenvolvimento e aprofundamento das raízes, é preciso que o solo não tenha impedimentos físicos e ou químicos que dificultem o crescimento em profundidade.

Para solucionar tais problemas pode-se lançar mão de diferentes procedimentos ou práticas. Um deles é a utilização de fertilizantes contendo boro, o qual tem efeito positivo para o aprofundamento do sistema radicular da cultura. A ocorrência de períodos de seca, que de uma maneira ou de outra causa impactos diferenciados na produtividade da soja, evidencia cada vez mais a necessidade de um sistema radicular mais profundo na tentativa de diminuir os riscos da produção agrícola. Portanto, a adoção das práticas agrícolas mencionadas anteriormente poderá ter como resultado sistemas radiculares mais desenvolvidos e mais eficientes em buscar água e nutrientes em profundidade no solo.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o efeito de diferentes doses e fontes de boro em três tensões de água no solo e suas interações sobre o crescimento da soja e absorção de boro em solo de textura média.

2 REVISÃO LITERATURA

2.1 CULTURA DA SOJA

A soja (*Glycyne max* (L.) Merrill) é uma leguminosa domesticada pelos chineses há cerca de cinco mil anos. Sua espécie mais antiga, a soja selvagem, crescia principalmente nas terras baixas e úmidas, junto aos juncos nas proximidades dos lagos e rios da China Central. Há três mil anos a soja se espalhou pela Ásia, onde começou a ser utilizada como alimento. Foi no início do século XX que passou a ser cultivada comercialmente nos Estados Unidos. A partir de então, houve um rápido crescimento na produção, com o desenvolvimento das primeiras cultivares comerciais.

No Brasil, o grão chegou com os primeiros imigrantes japoneses em 1908, mas foi introduzida oficialmente no Rio Grande do Sul em 1914. Porém, a expansão da soja no Brasil aconteceu nos anos 70, com o interesse crescente da indústria e demanda do mercado internacional (FUNDAÇÃO..., 2007).

A relação entre o consumo de soja e a saúde humana tem sido amplamente investigada pelas características nutricionais deste alimento, quer seja elevados teores de proteína de qualidade nutricional apropriada, o conteúdo significativo de minerais e fibras ou, ainda, a quantidade reduzida de gordura saturada (GRIESHOP e FAHEY JR., 2001; YANG et. al., 1991).

Com a implantação do plano Nacional de Agroenergia, a soja também tem se destacado como uma matéria-prima que apresenta grande potencial para a produção do biodiesel. Ao comparar com outras oleaginosas como a mamona, a soja juntamente com o algodão apresentam baixos teores de óleo, por outro lado torna-se o seu uso economicamente vantajoso devido à estrutura de produção, distribuição e de esmagamento existente no Brasil (ESALQ, 2007).

Em termos econômicos a soja apresenta grande importância para o Brasil, respondendo por uma receita cambial direta de mais de 7 bilhões de dólares anuais, valor este que representa cerca de 11% do total das receitas cambiais brasileiras, e este valor pode ser 5 vezes maior se considerado os benefícios que gera ao longo da sua extensa cadeia produtiva (EMBRAPA, 2007).

2.2 EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DA CULTURA DA SOJA

As plantas vivas são constituídas principalmente de água, que pode atingir até 95% de seu peso, dependendo da espécie, idade e disponibilidade de água no meio. Segundo Malavolta (1985), aproximadamente 90% da matéria seca da planta é constituída dos seguintes elementos químicos: carbono (C), hidrogênio (H) e oxigênio (O). A fonte inesgotável de carbono e oxigênio é o ar atmosférico. O hidrogênio tem como fonte a água, presente na litosfera, e que é absorvida via sistema radicular. Ao contrário do ar, a disponibilidade de água é limitante, podendo ocorrer déficit que restringe o crescimento das plantas.

Qualquer elemento químico na natureza que esteja presente na solução do solo pode ser absorvido pelas plantas segundo Tanaka et. al (1993), sendo que somente 14 elementos minerais são considerados essenciais a sua plena atividade, quais sejam: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), boro (B), cloro (Cl), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), molibdênio (Mo) e níquel (Ni).

Dados médios de experimentos realizados pela Embrapa Soja de Londrina - PR, com doses moderadas a altas de fertilizantes, dão uma idéia da exigência e extração de nutrientes pela cultura da soja (Tabela 1). Observa-se que a maior exigência da cultura refere-se o potássio, seguido de enxofre, fósforo, nitrogênio, cálcio e magnésio.

Tabela 1. Quantidade de nutrientes absorvida e exportada nos grãos pela cultura da soja, em cada tonelada produzida

	N	P	K	S	Ca	Mg	B	Cl	Mo	Cu	Fe	Mn	Zn	Al
	----- kg em cada tonelada -----						----- g em cada tonelada -----							
Restos culturais ¹	30	2,5	7,5	10	9,2	4,7	-	23	2	-	-	-	-	172
Grãos	50	5,0	17	5,4	3,0	2,0	2,0	237	5	10	70	30	40	15

¹ Folhas, pecíolos e caules que são restituídos ao solo.

Fonte: Embrapa (1993).

2.3 DÉFICIT HÍDRICO E O DESENVOLVIMENTO DAS PLANTAS

A ocorrência de déficit hídrico em plantas cultivadas afeta o crescimento e o desenvolvimento das culturas em todo o mundo. Desde os antigos povos sumérios, o homem tem procurado uma alternativa mais efetiva do aproveitamento da água para superar os efeitos do déficit hídrico às plantas.

Os mecanismos de tolerância à seca podem ser de três tipos: "evitar", "tolerar" e "escapar" como foi descrito por LEVITT (1980). "Evitar" a seca ocorre quando o "status" de água é mantido em potenciais elevados, mesmo em presença de ambientes secos. As plantas evitam a seca através do fechamento dos estômatos, aprofundamento das raízes para extração de água, redução do tamanho das células, espessamento das paredes celulares, aumento da cerosidade da cutícula, etc., para a manutenção de suas funções fisiológicas; "tolerar" a seca acontece quando as funções das plantas são mantidas em equilíbrio durante um déficit hídrico interno elevado, com baixos potenciais de água, como o ajustamento osmótico e a tolerância protoplasmática à desidratação; e "escapar" à seca ocorre quando a planta completa seu ciclo antes do advento da seca, ou seja, o seu ciclo ocorre nos períodos hídricos favoráveis do ano, como ocorre com as plantas do cerrado brasileiro.

Segundo Taiz e Zeiger (2004) existem três linhas de defesa contra a seca. A redução da área foliar pode ser considerada a primeira. A inibição da expansão foliar provoca uma lentidão da expansão foliar no início do desenvolvimento do déficit hídrico, então se a área foliar for menor, a planta transpira menos, conservando, efetivamente, um suprimento de água limitado no solo por um período mais longo. Com o avanço do déficit hídrico, as camadas superiores do solo são, em geral, as primeiras a secar. Logo o crescimento de raízes mais profundas em direção ao solo úmido pode ser considerado uma segunda linha de defesa contra a seca. Em condições onde o começo do estresse é mais rápido ou a planta alcançou sua área foliar plena antes de iniciar o estresse, o estômato fechado reduz a transpiração. Assim o fechamento estomático pode ser considerado uma terceira linha de defesa contra a seca.

O déficit hídrico é uma situação comum à produção de muitas culturas, podendo apresentar um impacto negativo substancial no crescimento e desenvolvimento das plantas (LECOEUR e SINCLAIR, 1996); assim, existe um

conflito entre a conservação da água pela planta e a taxa de assimilação de CO₂ para produção de carboidratos (TAIZ e ZEIGER, 1991).

A frequência e a intensidade do déficit hídrico constituem os fatores mais importantes à limitação da produção agrícola mundial. De acordo com Ortolani e Camargo (1987) sem se considerar os efeitos extremos, esta limitação é responsável por 60 a 70% da variabilidade final da produção, razão por que, no planejamento da agricultura irrigada, é de fundamental importância o conhecimento das condições meteorológicas durante o período de desenvolvimento das plantas, principalmente quanto aos períodos de baixa precipitação e elevada demanda na evapotranspiração. Na agricultura de sequeiro, entretanto, a prioridade é associar a época de plantio ao período mais adequado de disponibilidade de água às plantas, principalmente em regiões de baixas latitudes.

2.3.1 Efeito do déficit hídrico na morfologia das plantas

A diminuição do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis. Segundo Kelling (1995) o efeito do déficit hídrico sobre a produção das culturas está vinculado ao período de ocorrência durante o desenvolvimento das plantas. Para Chaves (1991) a extensão dos efeitos do déficit hídrico nas espécies vegetais depende da sua intensidade e da duração da capacidade genética das plantas em responder às mudanças do ambiente. Grant (1992) afirma que o desenvolvimento de mecanismos de adaptação das plantas é influenciado pelo nível de CO₂, pela radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar.

A resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, segundo McCree e Fernández (1989) e Taiz e Zeiger (1991), consiste no decréscimo da produção da área foliar, do fechamento dos estômatos, da aceleração da senescência e da abscisão das folhas. Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, freqüentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores.

A água, além de ser necessária ao crescimento das células, é um elemento essencial para a manutenção da turgescência. Dale (1988), trabalhando com

beterraba açucareira, relata que uma pequena redução no potencial de água no solo afeta a divisão celular, porém não a expansão celular.

Para Petry (1991) a importância da manutenção do turgor nas células é permitir a continuidade dos processos de crescimento vegetal, expansão, divisão celular e fotossíntese; outro fator é a possibilidade de adiar a desidratação dos tecidos, podendo essas reservas serem usadas em períodos posteriores do ciclo. Uma vez iniciado o primórdio foliar, o tamanho final atingido é determinado pelo índice de duração da divisão e expansão celular. Experimentos de Páez et al. (1995) demonstraram que a expansão da célula foi o processo da planta mais sensível ao déficit hídrico. Outros efeitos do déficit hídrico incluem a redução no desenvolvimento das células, na expansão das folhas, transpiração e redução na translocação de assimilados (HSIAO, 1973).

2.3.2 Efeito do déficit hídrico no sistema radicular das plantas

O volume de solo explorado e o contato íntimo entre a superfície das raízes e o solo são essenciais para a absorção efetiva da água pelas raízes. O contato é maximizado pela emissão dos pelos radiculares, com conseqüente aumento na área superficial e na capacidade de absorção de água. Além disso, o déficit hídrico estimula a expansão do sistema radicular para zonas mais profundas e úmidas do perfil do solo. De acordo com Hoogenbomm et al. (1987) em condições de déficit hídrico há maior expansão das raízes, devido ao secamento da superfície do solo. Durante o desenvolvimento das plantas, a densidade e o comprimento de raízes aumentam até o início da floração das plantas, decrescendo posteriormente, com diminuição na eficiência de absorção de água (Huber et al. apud PIMENTEL e ROSSIELO, 1995).

O estudo de Ball et al. (1994) demonstram que o maior desenvolvimento das raízes ocorre nas camadas de solo, cuja disponibilidade de água foi maior. A expansão das raízes no campo foi mais afetada pelo déficit hídrico que a expansão das folhas e as raízes pequenas foram mais sensíveis ao déficit hídrico que as raízes médias e grandes. O desenvolvimento do sistema radicular nas camadas mais profundas do perfil possibilita, às plantas, explorar melhor a umidade e a

fertilidade do solo, dependendo das características morfológicas e genotípicas da planta (GOLDMANN et al., 1989).

Assim, como um dos papéis do B nas plantas está relacionado com o desenvolvimento do sistema radicular, é de fundamental importância que as raízes se desenvolvam para alcançar profundidades mais efetivas no perfil do solo, para que facilite no suprimento de água às plantas e assim estas possam resistir por maior tempo a verânicos que possam ocorrer durante o desenvolvimento da cultura e alcançar com maior facilidade todo seu potencial produtivo.

2.4 BORO COMO ELEMENTO QUÍMICO

O elemento boro é representado pela letra B, possui número atômico 5 e massa atômica de 10,811 u.m.a. Segundo Bievre e Barnes (1985), possui dois isótopos estáveis de massa 10 e 11, apresentando abundância natural média de $^{10}\text{B} = 80,1\%$ e $^{11}\text{B} = 19\%$. Na tabela periódica, o B é o único não metal pertencente à família do grupo IIIA e possui número de valência +3.

Ao contrário de outros elementos com um número reduzido de elétrons e grande número de orbitais disponíveis para ligação química, aliado ao seu alto potencial de ionização, o B elementar não é encontrado na natureza, porque está sempre combinado com o oxigênio para a formação de compostos covalentes. Espécies B_2O_3 normalmente reagem com água para formar o ácido bórico $[\text{B}(\text{OH})_3]$, que atua como ácido fraco, tendendo a formar íons $\text{B}(\text{OH})_4^-$ pela incorporação de uma hidroxila à sua molécula (KEREN e BINGHAM, 1985). A reação de formação do hidroxiborato é espontânea, mas em solução aquosa, o boro existe quase que exclusivamente sob a forma não dissociada de ácido bórico, devido à sua pequena constante de dissociação ($\text{pK}_a = 9,2$) (BLOESCH et al. 1987).

Apesar de ser baixa a ocorrência natural na crosta terrestre, o B ocorre de forma uniforme e está distribuído tanto na litosfera quanto na hidrosfera. A quantidade de boro aumenta com a acidificação das rochas magmáticas, enquanto nas rochas sedimentares o elemento está ligado a fração argila. As maiores quantidades de B concentram-se em regiões que já foram oceanos e em sedimentos marinhos argiláceos, portanto a quantidade de B pode servir como indicador de paleossalinidade (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1984).

O B é extremamente reativo para ocorrer no seu estado livre. Contudo, pode ser encontrado combinado em diversos minerais, como exemplos, o ácido bórico (H_3BO_3), a colemanita ($\text{Ca}_2\text{B}_6\text{O}_{11}\cdot 5\text{H}_2\text{O}$), a ulexita ($\text{CaNaB}_5\text{O}_9\cdot 8\text{H}_2\text{O}$), o bórax ($\text{N}_2\text{B}_4\text{O}_7\cdot 4\text{H}_2\text{O}$), boracita ($\text{Mg}_3\text{B}_7\text{O}_{13}\text{Cl}$), entre outros.

Sabe-se que o uso de compostos de B, conhecidos como bórax (tetra borato de sódio), ocorre desde a época dos antigos egípcios, sendo usados na fusão de metais, e ainda nos processos de mumificação.

O B tem grande aplicabilidade na indústria e também é um elemento essencial para o desenvolvimento de plantas vasculares (monocotiledôneas, dicotiledôneas e coníferas), diatomáceas, algumas espécies de algas verdes e na fixação de nitrogênio de algumas espécies de cianobactérias (MARSCHNER, 1995).

2.5 FUNÇÕES DO BORO NA PLANTA

O boro (B) é um micronutriente que difere dos demais pela não identificação de sua participação na composição de qualquer composto ou enzima específica, sendo sua essencialidade determinada pelo critério indireto (DECHEN et al., 1991).

O B está relacionado a muitos processos fisiológicos da planta que são afetados pela sua deficiência, como transporte de açúcares, síntese da parede celular, lignificação, estrutura da parede celular, metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, respiração, metabolismo de AIA, metabolismo fenólico, metabolismo de ascorbato e integridade da membrana plasmática. Entre as diversas funções, duas estão muito bem definidas, síntese de parede celular e integridade da membrana plasmática (CAKMAK e RÖMHELD, 1998).

Em algumas pesquisas realizadas é possível observar as principais funções do B na planta.

Cakmak et al.(1995) trabalhando com girassol demonstraram o papel do B na integridade da membrana. Ao comparar folhas que apresentavam deficiência de B com normais estes autores observaram que o efluxo ou vazamento era 35 vezes maior para o K, 45 vezes maior para a sacarose e sete vezes maior para os fenólicos e aminoácidos nas folhas deficientes em B que nas folhas com nível suficiente em B. A deficiência de B, além de diminuir a eficiência da adubação potássica, libera sacarose e aminoácidos que são nutrientes para pragas e doenças.

Pode-se encontrar ainda relações do boro na translocação de açúcares, amidos e carboidratos, pois este elemento facilita a translocação destes compostos devido a habilidade de ligar-se aos mesmos, formando complexos que atravessam mais facilmente as membranas celulares do que as moléculas originais, as quais apresentam alto peso molecular (SHELP, 1993).

O crescimento radicular é resultante dos processos de divisão e alongação celular. De acordo com Shelp (1993), o B é necessário em ambos os processos, e a ocorrência de deficiência inibe o desenvolvimento radicular. Esta inibição podem ser observada em trabalhos realizados por Grassi Filho (1991; 1995).

Grassi Filho (1991) estudando os efeitos de doses de B (0,065, 0,125, 0,25 e 0,5 mg dm⁻³) e de Ca (50, 100, 200, e 400 mg dm⁻³) e a interação desses dois nutrientes no crescimento radicular do limoeiro Cravo, observou que a dose máxima de B proporcionou maior comprimento das raízes, não sendo observada interação positiva entre os níveis de Ca e B na variável avaliada. Grassi Filho (1995) trabalhando com 3 níveis de B (0,5, 1,5 e 4,5 mg dm⁻³) aplicados em cova de plantio do limoeiro Siciliano, o qual havia sido enxertado sobre limão cravo, observou diminuição no peso e no comprimento radicular na menor dose de B testada, sendo que a dose máxima mostrou-se prejudicial ao desenvolvimento da cultura com a ocorrência de queima nas folhas, brotos terminais e pontas dos ramos.

Outra evidência da importância do B no desenvolvimento radicular foi observada nos trabalhos realizados por Lenoble et al. (1993). Estes autores observaram que os sintomas de toxidez por alumínio e deficiência por B se apresentam primeiramente como inibição do crescimento radicular. Tendo em vista estes sintomas similares, os autores desenvolveram vários experimentos para determinar se altos ou adequados níveis de boro poderiam minimizar os sintomas de toxidez por alumínio, especialmente por meio do incremento no crescimento radicular. Estes experimentos realizados com a cultura da alfafa mostraram que a aplicação de 2,24 kg ha⁻¹ de boro na forma de ácido bórico “protegeram” as raízes em situações de elevados teores de alumínio, os quais seriam prejudiciais ao seu desenvolvimento. Esta observação é de grande relevância para o Brasil onde ocorrem solos que comumente apresenta teores tóxicos de alumínio em profundidade, prejudicando assim o desenvolvimento radicular.

Outra importante função do B está relacionada ao metabolismo ou incorporação do Ca na parede celular (YAMAUCHI et al., 1986). Ou seja, este

elemento atua na biossíntese da parede celular auxiliando o cálcio na deposição e formação de pectatos envolvidos na construção destas estruturas.

Além disso, uma das conseqüências da deficiência de boro é o aumento na concentração do ácido indol acético (IAA), pois a atividade da IAA oxidase é inibida, resultando em acúmulo de composto fenólicos nas regiões de crescimento das plantas, mais notadamente raízes e gemas terminais (GRAHAM e WEBB, 1991).

Efeitos diretos do elemento na produção das culturas são atribuídos ao fato do boro desempenhar função no crescimento do tubo polínico e na germinação do grão de pólen, explicando a maior demanda deste nutriente na fase de formação das sementes em relação à fase de crescimento vegetativo (MARSCHNER, 1995). Mengel e Kirkby (1982) citam que plantas inadequadamente supridas por B apresentam distúrbios na germinação do tubo polínico prejudicando a formação dos frutos.

Agarwala et al. (1981) testaram vários níveis de boro na cultura do milho e observaram que plantas cultivadas em baixos níveis de B ($0,066 \text{ mg dm}^{-3}$) desenvolveram pouca germinação do grão de pólen, mesmo não sendo observado sintomas foliares da deficiência deste nutriente. Os mesmos autores concluíram que o baixo desenvolvimento de pólen em plantas deficientes em B demonstra a relação do nutriente no desenvolvimento reprodutivo, afetando a formação de gametas funcionais, ou seja, prejudicando a viabilidade do grão de pólen.

2.6 DEFICIÊNCIA E TOXICIDADE DE BORO NA PLANTA

O sintoma de deficiência da maioria dos micronutrientes aparece nas folhas mais novas das plantas, isto se deve porque a maioria dos micronutrientes não é facilmente translocado no meristema da planta. Temos como exceção o molibdênio, pois este é facilmente translocado, os sintomas de deficiência deste aparecem na planta inteira, segundo Gupta (1997). Sintomas de toxidade aparecem, para a maioria das culturas, nas folhas mais velhas das plantas, o que é muito marcante para o boro (GUPTA, 1993).

A mobilidade do boro nas plantas tem sido tradicionalmente admitida como dependente da corrente transpiratória, sendo o nutriente considerado como relativamente, imóvel no floema (GUPTA et al., 1985). Entretanto, recentemente foi

demonstrado que planta que contém quantidades apresentáveis de polióis (com cis-hidroxiilas) que se ligam ao boro, apresentam mobilidade do nutriente no floema, principalmente em seguida às aplicações foliares (BROWN e HU, 1996). A soja contém grandes quantidades da molécula cis-diol pinitol (PHILLIPS e SMITH, 1974), o que pode resultar em mobilidade do boro no floema. Assim, uma eventual deficiência poderia ser perfeitamente corrigida pela pulverização foliar.

A deficiência de boro em milho é observada nas folhas mais novas como manchas brancas irregulares espalhadas entre as nervuras. Ela pode reduzir o desenvolvimento da espiga (MOZAFAR, 1987). Em amendoim, resulta em grãos chochos (RERKASEM et. al., 1988). Em soja, ocorre necrose dos pontos de crescimento apical e outras áreas de crescimento mais novas (AGARWALA e SHARMA, 1979). No caso de algodão, o broto terminal freqüentemente morre (DONALD, 1964). A deficiência de boro em cana-de-açúcar provoca o aparecimento de folhas retorcidas, pontas de folhas severamente atingidas, tornando-se quebradiças e necróticas (GASCHO et al., 1993). Em citros, resulta em internódios curtos, espessamento das folhas e nervação corticenta (WUTSCHER e SMITH, 1993).

Os sintomas de toxicidade de B, na maioria das culturas, são caracterizados por partes terminais das folhas velhas “queimadas” (GUPTA, 1993). No amendoim, a toxicidade de boro causa clorose marginal dos folíolos, que logo evolui a necrose marginal dos folíolos (FRANCOIS, 1989). A toxicidade de boro em citros resulta em amarelecimento das pontas das folhas e mosqueado, seguido de queda prematura (WUTSCHER e SMITH, 1993). Na cana-de-açúcar, a clorose nas pontas e margens espalha-se em folhas novas, estendendo-se às mais velhas e cloróticas, que logo se tornam necróticas.

Ohlrogge e Kamprath (1968) citam como teores adequados de 21 a 55 mg kg⁻¹ de B nas folhas recém-maduras, na época do florescimento da soja. Mais recentemente, dados apresentados por Rosolem (2007) demonstram que os valores considerados adequados de B para se obter altas produtividades de grãos de soja são de 25 a 55 mg kg⁻¹. A faixa entre deficiência e toxicidade é relativamente estreita, aparecendo sintomas de toxicidade se um pequeno excesso de B estiver presente. Buzetti et al. (1990) conduziram um experimento em vaso com diferentes doses de B nos quais relataram que, quando o solo apresentava menos do que 0,24 mg dm⁻³ de B, extraído pelo método da água quente havia prejuízo na produtividade,

já quando os teores do nutriente no solo estavam acima de aproximadamente $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de B a produção também foi prejudicada. Há que considerar a condução do experimento em vaso, o que impõem certas restrições. Em condições de campo o limiar do nível considerado tóxico, no solo, é de 5 mg kg^{-1} (MARSCHNER, 1986).

2.7 BORO NO SOLO

A absorção de boro pelas plantas depende somente da sua atividade (concentração) na solução do solo. Esta, por sua vez, depende das reações de adsorção entre o boro e seus adsorventes existentes no solo, tais como os óxidos de ferro e alumínio, os minerais de argila, a matéria orgânica, o hidróxido de magnésio e o carbonato de cálcio. A adsorção aumenta com o aumento do pH, da temperatura, do teor de materiais adsorventes e com a diminuição da umidade do solo (GOLDBERG, 1993).

2.7.1 Fatores que afetam a atividade do boro no solo

2.7.1.1 pH do solo

A forma de boro predominante na solução do solo entre pH 5 a 9 é a molécula não ionizada H_3BO_3^0 . Sua natureza não iônica faz com que este elemento torne-se altamente móvel no solo e conseqüentemente, muito lixiviado nestas condições de pH. A valores de pH maiores que 9,2 ocorre a hidrolização do boro que passa de H_3BO_3 a H_2BO_4^- (TISDALE et al., 1985). Moraghan e Mascagni (1991) também menciona que o boro está presente no solo na forma de H_3BO_3^0 a pH abaixo de 7, sendo esta forma não adsorvida pela fração coloidal do solo; aumentos de pH acima deste valor incrementam a concentração da forma H_4BO_4^- proporcionando queda na atividade do elemento na solução do solo devido a adsorção desta forma de boro às superfícies dos minerais de argila e hidróxidos de alumínio.

Pavan e Correa (1988), avaliando a adsorção do B em solos do Paraná, observaram que a maior taxa de adsorção foi encontrada no intervalo de pH entre

6,5 e 8,0 resultado explicado pelo aumento do número de sítios ativos de adsorção e pela maior proporção do íon de borato (H_4BO_4^-) em relação ao ácido bórico molecular (H_3BO_3^0). Estes autores citam ainda que a reacidificação do solo provocou aumento nos teores de boro solúvel, indicando que a adsorção do boro por solos altamente intemperizados, submetidos a calagem para elevação do pH a valores entre 6,0- 6,5, é caracterizado por uma reação química rápida e reversível entre o boro adsorvido e o boro solúvel, sugerindo que a calagem causa deficiência de boro apenas em solos com teores iniciais próximos do limite de deficiência.

2.7.1.2 Textura do solo

Um fator que afeta a disponibilidade de boro no solo é a textura, principalmente pelo fato de que parte do boro encontra-se adsorvido por partículas de argila com maior ou menor energia de adsorção.

Gupta (1968) trabalhando com dois tipos de solos, arenoso e argiloso, demonstrou que os teores de B total e solúvel em água quente foram maiores em solos de textura mais fina como argiloso.

Para Mortvedt (1994) a maioria dos solos apresentam, até certa forma, limitação na mobilidade do B, porém em solos arenosos sob condições de elevada precipitação ou irrigação este elemento pode ser altamente lixiviado.

Biggar e Fireman (1960) e Singh (1964) também observaram maior capacidade de retenção de B em solos de textura mais fina quando foram comparados aos de textura arenosa.

Correa et al. (1985), estudaram a resposta de mudas de café à aplicação de B em dois tipos de solo, um Latossolo Roxo distrófico com 75% de argila e um Latossolo Vermelho Escuro distrófico com 11% de argila e observaram que o Latossolo com maior porcentagem de argila adsorveu $4,25 \text{ mg kg}^{-1}$ de B, sendo correspondente a $8,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de boro para a profundidade de 20 cm. Já no Latossolo Vermelho Escuro distrófico adsorveu $2,05 \text{ mg kg}^{-1}$ de boro que equivale a $4,1 \text{ kg ha}^{-1}$ de B com produção de $21,5 \text{ g planta}^{-1}$, porém com maiores níveis foliares de B.

2.7.1.3 Tipo de argila presente no solo

Segundo Sims e Bingham (1967), as argilas vermiculita, caulinita, montmorilonita e hidrobiotita, adsorvem B. Segundo estes autores, essa adsorção é afetada pelo pH, com a máxima ocorrendo na faixa alcalina e a adsorção em questão não se devendo as argilas em si mas a compostos de alumínio e de ferro que ocorrem como impurezas nas amostras.

2.7.1.4 Umidade do solo

Outro fator a ser considerado é que o B movimenta-se no solo através dos processos de difusão e fluxo de massa e a falta de água no solo dificulta o processo de movimentação do elemento até a superfície radicular. Dantas (1991) explica que outras hipóteses são levantadas para explicar o fato da diminuição no teor de água do solo afetar a disponibilidade de B no solo, tais como diminuição na taxa de mineralização da matéria orgânica; diminuição no teor de B prontamente disponível às plantas; e, redução no crescimento radicular, gerando menor exploração de solo pelas raízes e conseqüentemente, menor absorção de B pelas plantas.

2.7.1.5 Interação do boro com outros nutrientes

Em relação à presença de outros nutrientes no solo afetando a disponibilidade do B, Tisdale et. al. (1985) observaram que quando há elevada disponibilidade do cálcio no solo é maior a exigência de B pelas culturas. Desta forma, quando havia deficiência de Ca no solo, as plantas apresentaram menor tolerância e, como conseqüência, toxidez por B.

Segundo Camargo e Silva (1975), altas concentrações de N na forma nítrica ou amoniacal aplicadas ao solo reduzem os teores de B nas folhas comprovando um provável antagonismo N/B no solo.

Hadas e Hagin (1972) relataram que existem indicativos de que altas concentrações de potássio no solo proporcionam aumento significativo na adsorção

de B. Os autores constataram que com baixa concentração de boro no solo houve menor adsorção, porém com maior energia.

Ainda Tanaka¹ citado por Gupta (1993) em experimentos com rabanete, observou que a absorção de boro pela cultura aumentou com o fornecimento de fósforo. A interação positiva entre estes dois nutrientes foi observada por Wojeik (1999) em trabalho realizado com a cultura da maçã, onde a aplicação de B no solo aumentou a absorção de fósforo, o que pode ser comprovado por meio do aumento na concentração de fósforo foliar.

2.7.1.6 Compostos de ferro e alumínio

A mineralogia do adsorvente desempenha uma importante função na intensidade e no mecanismo de adsorção do boro (PEAK et. al. 2003; GOLDBERG, 1993) sendo que constituintes do solo capazes de adsorvê-lo incluem os óxidos metálicos de Fe, Al e Mn, minerais de argila e matéria orgânica.

A caulinita reage mais intensamente com boro que a illita, enquanto a facilidade de formação de complexos orgânicos de ácido bórico com grupos diol dos ácidos carboxílicos explica porque a fração humificada é a principal fonte de B do solo (EVANS, 1987).

Óxidos e hidróxidos de Fe e Al são importantes componentes de solos altamente intemperizados dos trópicos úmidos e adsorvem grandes quantidades de boro (GOLDBERG e GLAUBIG, 1985). O boro pode interagir com estes minerais ou, por processos químicos eletrostáticos, com suas superfícies ionizáveis, em função do caráter anfótero dos grupos de superfície, ou por complexação de superfície, a qual é considerada um ligante (KEREN e BINGHAM, 1985). A adsorção específica é determinada tanto pela natureza dos ânions quanto pelo tipo de grupo funcional da superfície dos colóides, e é mais pronunciada em solos que contêm grandes quantidades de óxidos de Fe e Al.

O boro é especificamente adsorvido por complexos de esfera interna (“inner-sphere”) de alta energia, pelo mecanismo de troca de ligantes entre o elemento e os

¹ TANAKA, H. Boron absorption by crop plants as affected by other nutrients of the medium. Soil Science and Plant Nutrition, V.13, n.41,p233-241,1967.

grupos hidroxilados (Al-OH, Fe-OH, Al-O e Fe-O) que estão coordenadamente ligados às superfícies das partículas (GOLDBERG, 1993).

2.7.1.7 *Matéria Orgânica*

O B disponível segundo Berger e Truog (1940), se encontra principalmente associado à matéria orgânica, o que explica os seus maiores teores nos horizontes superficiais.

Ruy (1986) obteve dados que mostram uma estreita relação entre teores de matéria orgânica e B solúvel no solo. Em cinco séries de solos do município de Piracicaba (SP), encontrou teores de matéria orgânica iguais a 2,59, 2,43, 0,78, 0,98, 1,11% e, respectivamente os seguintes teores de B no solo solúvel em água quente: 0,29, 0,26, 0,19, 0,11 e 0,18 mg dm⁻³.

Segundo Parks e White (1952), a matéria orgânica do solo concorre para a fixação do boro, pela formação de compostos organoborados, e estes ainda postularam que um estímulo na atividade microbiana pode aumentar a formação do grupo diol e tornar o B não disponível às plantas, por um período de tempo.

2.8 FONTES DE BORO E ABUBAÇÃO

A escolha da melhor fonte para aplicação no solo depende do tipo de solo, da cultura e do regime hídrico. A maioria dos adubos boratados apresentam alta solubilidade, e grande mobilidade no solo e, conseqüentemente, maior grau de lixiviação no perfil do solo, principalmente em solo arenoso. Desta forma, se tem dado preferência a fontes com solubilidade lenta, portanto, menos suscetíveis a perdas por lixiviação (MORTVEDT, 1994).

Segundo Hortenstine et al. (1958), o uso de fontes de B de alta solubilidade apresenta algumas desvantagens, como exemplo a alta disponibilidade inicial, podendo gerar sintomas de toxidez em plantas mais sensíveis ao elemento; alto potencial de lixiviação, principalmente em solos de textura arenosa e irregular disponibilização do elemento durante o crescimento da cultura.

Desta forma, existem várias fontes de boro usadas em aplicações no solo e algumas delas estão descritas a seguir.

2.8.1.1 Ácido Bórico

Ocorre na forma de cristais de ácido bórico H_3BO_3 com teores de boro na faixa de 17-18%. Devido sua alta solubilidade em água e baixa reatividade com o solo, esta fonte é extremamente suscetível a lixiviação, principalmente em solos arenosos e em locais sujeitos a elevada precipitação (BYERS et al., 2001). A alta disponibilidade inicial pode provocar sintomas de toxidez.

2.8.1.2 Colemanita

Caracteriza-se por ser um borato de cálcio ($Ca_2B_6O_{11}$) de ocorrência na natureza muitas vezes associada à ulexita, podendo até mesmo ser resultante de sua alteração. Seu teor de boro é variável de 10-16%, de acordo com o seu grau de hidratação. Serve como matéria-prima para fabricação de outros fertilizantes boratados mais solúveis como o bórax. Ainda possui 15-20% de cálcio.

Apresenta moderada solubilidade, que pode ser aumentada dependendo de sua granulometria. Foi uma das primeiras fontes de boro avaliada como sendo de lenta liberação. Esta fonte é normalmente usada com maior frequência em solos arenosos, pois é considerada fonte de boro menos solúvel e, portanto, menos sujeita a lixiviação neste tipo de solo (MURPHY e WALSH, 1972).

2.8.1.3 Termofosfato com boro

Os termofosfatos são definidos como fertilizantes resultantes do tratamento térmico de rochas fosfatadas com ou sem adição de outros materiais. O tratamento térmico visa converter o fósforo em formas mais disponíveis, ou seja, mais solúveis. O fosfato natural, enriquecido com silicato de magnésio é derretido em fornos elétricos à temperatura de 1500 °C, tornando-se um produto incandescente que é

submetido a choque térmico com jato de água, sendo posteriormente seco e moído (SOUZA e YASUDA,1995). Possui a característica de não ser higroscópico e ser insolúvel em água, porém totalmente solúvel em ácido cítrico. A fonte de B comumente adicionada neste processo de fabricação é a colemanita, sendo que o tratamento térmico proporciona aumento em sua solubilidade natural. Sua composição obedece às seguintes garantias: 17% de P_2O_5 total, 20% de Ca, 7% de Mg, 0,4% de B e 23% de SiO_2 .

2.8.1.4 Ulexita

É um borato de sódio e cálcio ($NaCaB_5O_{10} \cdot 8H_2O$). Dentre os boratos de cálcio é o mais solúvel, liberando boro mais lentamente de acordo com sua granulometria. Sua solubilidade depende diretamente da harmonia de Na e Ca presentes no mineral (BYERS et al., 2001). O teor de B varia de 10-15% e o de Ca está em torno de 12-14%.

A ulexita é encontrada no mercado na forma granulada obtida por meio do processo de granulação com a utilização de ácido sulfúrico, o qual proporciona aumento na solubilidade, em torno de 90% de solubilidade em água, apresentando ainda um teor residual de enxofre por volta de 4%.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com cobertura plástica, na Estação de Horticultura e Cultivo Protegido Professor Mário César Lopes, pertencente ao Núcleo de Estações Experimentais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Campus de Marechal Cândido Rondon – PR. O município está localizado no extremo Oeste do Estado do Paraná sob as coordenadas geográficas 54° 22' W longitude, latitude 24° 46' S e altitude média de 420 metros.

3.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado foi de parcelas subdivididas, em esquema fatorial (5 x 2 x 3) com quatro repetições. A subdivisão das parcelas foi conforme as tensões de água no solo (Figura 1). O emprego deste delineamento foi para facilitar o manejo da irrigação.

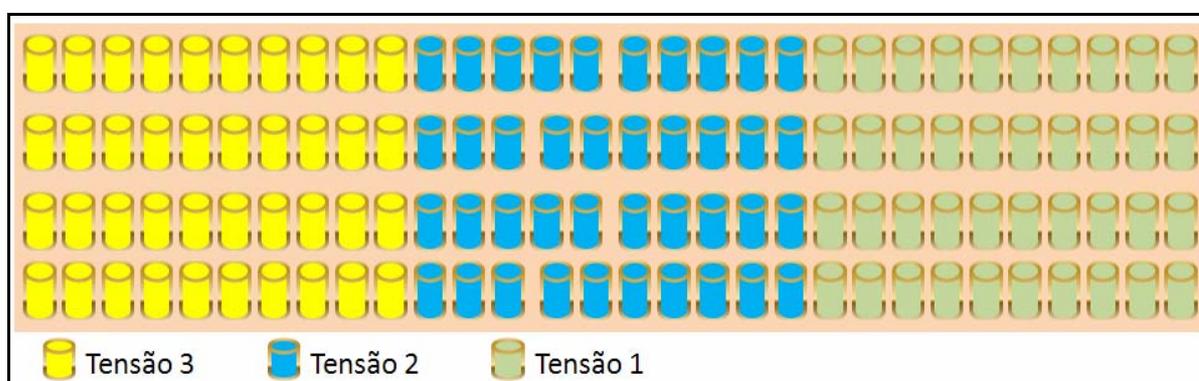


Figura 1. Esquema da distribuição dos vasos na bancada dentro da casa de vegetação conforme as tensões de água no solo.

Os fatores estudados foram cinco doses de B (0; 0,25; 0,5; 1,0 e 2,0 mg dm^{-3}) aplicadas com duas fontes, uma mais solúvel (ácido bórico) a qual apresenta na forma de cristais de ácido bórico H_3BO_3 com teores de B na faixa de 17-18%, e outra fonte menos solúvel (Colemanita) com teor de B na faixa de 10-16%, que por sua vez apresenta moderada solubilidade, que pode ser aumentada dependendo de sua granulometria.

As amostras de B, visando homogeneização, foram moídas manualmente, em gral de porcelana até que passassem por completo em peneira com abertura de malha 0,84 mm (ABNT n°20).

O outro fator foi constituído por três níveis de tensão de água no solo, (potencial de água no solo), definidos pela curva de retenção de água no solo (Figura 2), utilizando o método da câmara de pressão de Richards “painéis de pressão”. A tensão 1 utilizada se aproxima a 100% capacidade de campo do solo (-0,01MPa), a tensão 2 a 80% da capacidade de campo do solo (-0,03 MPa) e a tensão 3 à 65% da capacidade de campo do solo (-0,1 MPa).

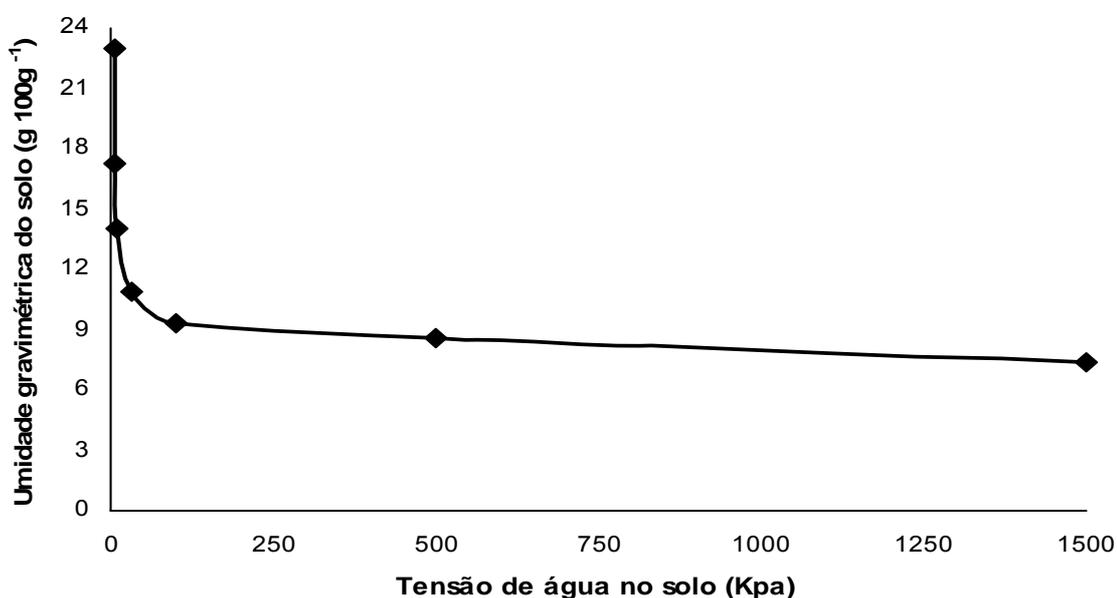


Figura 2. Curva de retenção de água no solo utilizado para a implantação do experimento. Análise realizada no Laboratório de Física dos Solos da Universidade Federal de Santa Maria – UFMS, RS.

3.3 IMPLANTAÇÃO E CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

A semeadura foi realizada no dia 18/03/2008, utilizando-se a cultivar de soja CD 219 de ciclo precoce. Esta cultivar apresenta as seguintes características: crescimento determinado, resistente ao cancro da haste; tolerante à nematóide de galha (*M. incognita*); boa amplitude de época de semeadura em regiões quentes e possui alto potencial de rendimento de grãos em solos de fertilidade média/alta.

Realizou-se o tratamento de sementes com o inseticida StandaK[®] (Fipronil 250 g L⁻¹) na dose de 150 mL 100 kg⁻¹ de semente, e com o fungicida Derosal Plus[®] (Carbendazim 150 g L⁻¹ + Tiram 350 g L⁻¹) na dose de 200 mL 100 kg⁻¹ de semente.

O experimento foi implantado e conduzido em vaso, para facilitar o controle experimental, os quais possuíam capacidade para 5 dm³ de solo. Utilizou-se amostra de um Latossolo Vermelho eutroférico de textura média (Tabela 2 e Tabela 3), coletado na região do Arenito Caiuá, no município de Guaira-PR.

Tabela 2. Características químicas* do horizonte A do Latossolo Vermelho eutroférico coletado para a instalação do experimento

Ca ⁽²⁾	Mg ⁽²⁾	K ⁽¹⁾	Al ⁽²⁾	H+Al ⁽⁴⁾	SB	CTC	MO ⁽⁵⁾	V	m	P ⁽¹⁾	pH
----- cmol _c dm ⁻³ -----							g dm ⁻³	----- % -----	mg dm ⁻³	CaCl ₂	
1,15	0,25	0,07	0,15	3,05	1,47	4,52	3,42	32,5	9,6	2,06	4,70
Micronutrientes											
Fe ⁽¹⁾		Mn ⁽¹⁾		Cu ⁽¹⁾		Zn ⁽¹⁾		B ^{(3)**}			
----- mg dm ⁻³ -----											
23,20		36,00		3,30		1,00		0,40			

⁽¹⁾ Extrator Mehlich-1; ⁽²⁾ Extrator KCl 1 mol IL⁻¹; ⁽³⁾ Água Quente; ⁽⁴⁾ pH SMP (7,5); ⁽⁵⁾ Método Walkey-Black.

*Análise realizada pelo Laboratório de Química Agrícola e Ambiental da UNIOESTE. Campus de Marechal Cândido Rondon, PR.** Análise realizada pelo Laboratório de Solos da Fundação ABC – Castro – PR.

Tabela 3. Granulometria* do horizonte A do Latossolo Vermelho eutroférico coletado para a instalação do experimento

Areia	Silte	Argila
----- g kg ⁻¹ -----		
685,6	48,0	266,4

*Análise realizada pelo Laboratório de Física do Solo da UNIOESTE. Campus de Marechal Cândido Rondon, PR.

Para definir a dose de corretivo empregou-se o método da incubação, com CaCO₃ para atingir pH igual a 6,5, obtendo-se a dose de 0,96 t ha⁻¹. A adubação de base constou da aplicação de 300 mg dm⁻³ de P e 150 mg dm⁻³ de K, na forma de

superfosfato triplo e cloreto de potássio, respectivamente. Estas fontes foram adicionadas ao solo após a correção do pH, com o auxílio de uma betoneira.

Para a implantação do experimento foram semeadas cinco sementes por vaso, e nove dias após a emergência das plantas, realizou-se desbaste deixando duas plantas por vaso.

A fertilização nitrogenada foi realizada em duas etapas, a primeira 12 dias após semeadura e a segunda 30 dias as quais perfizeram um total de 100 mg dm^{-3} de N adicionado como uréia ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$).

A adubação básica com micronutrientes consistiu-se na aplicação de 3,66 mg Mn; 1,33 mg Cu; 1,55 mg Fe; 0,15 mg Mo e 4 mg de Zn por dm^3 , fornecidos na forma de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ e $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (NOVAIS et al., 1991). Esta adubação foi realizada apenas 10 dias após a semeadura da cultura, diretamente em cada vaso. Para facilitar e uniformizar a aplicação foi realizada na forma líquida.

Realizou-se a aplicação das fontes e doses de B também 10 dias após a semeadura nas doses estudadas. Para evitar concentração de B apenas na superfície do solo, este fertilizante foi aplicado na forma líquida com uma seringa graduada que possuía uma agulha com 10 cm de comprimento. Esta era introduzida no solo em toda a circunferência do vaso que já continha as duas plantas.

Durante o desenvolvimento vegetativo da cultura foram realizadas duas aplicações de inseticida Karate[®] (Lambdacyhalothina 50 g L^{-1}) na dose de 100 mL ha^{-1} (a primeira 24 dias após a semeadura e a segunda 12 dias após a primeira) e uma aplicação de fungicida Opera[®] (Trifloxistrobin + Epoxiconazole) na dose de 500 mL ha^{-1} , 36 dias após semeadura.

O controle da umidade do solo foi efetuado por um sistema auto-irrigante subsuperficial, o qual permitia a reposição automática de água conforme a evapotranspiração do vaso. Esse sistema operava com uma cápsula de cerâmica porosa (vela de filtro da marca Stefani[®] com dimensões de 10,5 cm e altura e de 5,5 cm diâmetro), conforme ilustrado na figura 3a. O vaso de PVC possuía um orifício central na base onde era rosqueada a cápsula porosa, ficando uma saliência da cápsula para fora do vaso na parte inferior. O solo devidamente corrigido e fertilizado com P e K foi depositado dentro do vaso em cima da cápsula porosa. Um microtubo flexível transparente nas demissões $1/8'' \times 1,5 \text{ mm}$ com comprimento variável (conforme nível de tensão de água no solo exigido pelo tratamento) conectava a

cápsula de cerâmica ao reservatório de nível constante (garrafa 'pet' com capacidade para 2 L) suspensas com arame galvanizado abaixo do vaso. As garrafas 'pet' receberam uma cobertura de cor preta (para evitar a penetração de luz e crescimento de algas) e uma segunda camada de proteção obtido através do envolvimento em papel laminado (para diminuir a variação de temperatura da água pela reflexão dos raios solares) (Figura 3b).

Para que o sistema iniciasse o funcionamento foi necessário deixar a cápsula de porcelana submersa em água até que a mesma saturasse com água.

Uma vez a porcelana saturada com água, esta foi imediatamente conectada ao vaso, e o microtubo já conectado na cápsula de porcelana foi inserido no reservatório com água. Na seqüência foi acomodado o solo seco e peneirado (peneira de malha de 2 mm) dentro do vaso. À medida que a porcelana começou a perder umidade para o solo seco, iniciou-se a sucção automática da água do reservatório, devido a variação de potencial água gerado.

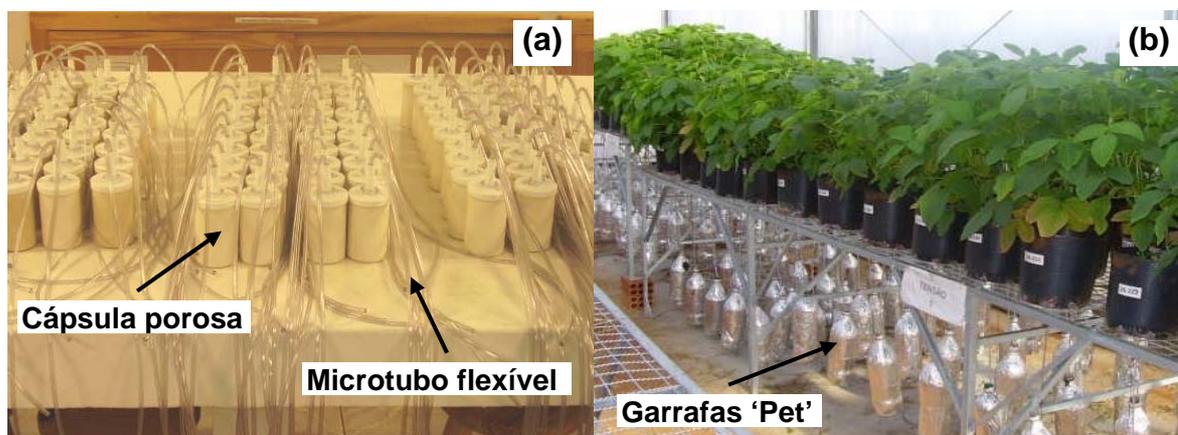


Figura 3. (a) – Detalhes da cápsula de cerâmica porosa conectada aos microtubos flexíveis transparentes de 1/8” x 1,5 mm, e, (b) – detalhe das garrafas 'Pet' protegidas com papel laminado, durante a condução do experimento.

Durante 16 dias após sementeira todos os tratamentos estiveram sob o mesmo potencial de água no solo 0,01 MPa (aproximadamente 100 % da capacidade de campo CC) correspondente à umidade gravimétrica do solo de aproximadamente 16,4%, o que correspondia ao potencial do tratamento 1.

Os outros dois potenciais de água no solo foram estabelecidos aos 17 dias após a sementeira pela alteração da altura da coluna de água que foi estabelecida pela distância entre o vaso e o reservatório, que variou conforme os tratamentos. No

tratamento 1 ou 0,01 MPa (100% da CC) se manteve a altura de 35 cm; no tratamento 2 ou 0,03 MPa (aproximadamente 80% da CC) a 50 cm; e, no tratamento 3 ou 0,1 MPa (aproximadamente 65% da CC) a 60 cm do vaso (Figura 4). Esse sistema de irrigação é um aprimoramento do modelo proposto por Montanheiro et al. (1979), o qual foi utilizado por Bataglia (1989) em experimento envolvendo fertilidade do solo e adaptado por Bonfim-Silva (2002).

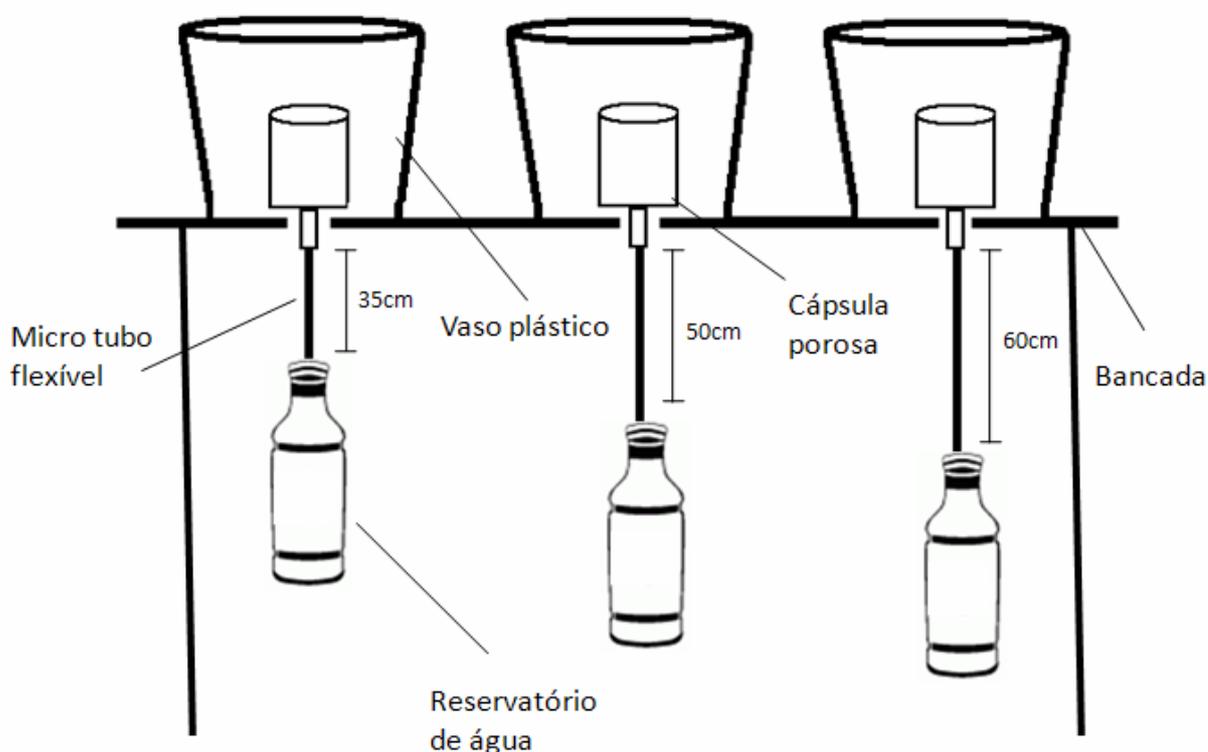


Figura 4. Representação do sistema de irrigação subsuperficial por tensão controlada com cápsula de cerâmica porosa.

3.4 AVALIAÇÕES

3.4.1 Avaliações durante o período de experimento

Durante a condução do experimento foram determinadas as variáveis descritas a seguir:

3.4.1.1 Conteúdo relativo de água na folha (CRA)

O conteúdo relativo de água nas folhas (CRA) foi determinado seguindo-se a metodologia proposta por BARRS (1968). Foram retirados, nos três últimos dias de implantação do experimento, dez discos de 10 mm de diâmetro, de folhas totalmente expandidas, sempre antes do nascer do sol (pre-dawn), para que a umidade relativa (condições de déficit de pressão de vapor) estejam uniformes para todas as medidas em todos os dias de avaliação. Os discos foram imediatamente pesados em balança de precisão de 0,0001 g para obtenção da massa fresca (MF). Em seguida, os discos foliares foram acondicionados em placas de petry com água e mantidos em incubadora BOD à temperatura de 25 °C. Após 5 horas, os discos foram novamente pesados, após a retirada do excesso de água superficial com papel toalha, obtendo-se a massa túrgida ou saturada (MT). Por fim, os discos foliares foram colocados em estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 65 °C, até atingirem massa constante (\cong 24 h). Em seguida, os discos foram pesados para obtenção da massa seca (MS).

O CRA foi definido como a relação entre o conteúdo de água de uma amostra de folha imediatamente após a sua coleta (MF) e o conteúdo de água da mesma amostra após a recuperação total da turgescência (MT), comparativamente a massa seca (MS), sendo determinado pela seguinte equação:

$$\text{CRA} = [(MF - MS) / (MT - MS)] \times 100$$

3.4.1.2 Umidade gravimétrica do solo

Durante a condução do experimento foram coletadas amostras de solo dos vasos, com 4 repetições para cada tratamento escolhidas aleatoriamente, referente as tensões, para a determinação da umidade gravimétrica do solo (Ug). As coletas foram realizadas, em diferentes épocas. A primeira foi aos 12 dias após semeadura; a segunda coleta ocorreu após o estabelecimento das alturas das colunas da água, a terceira coleta ocorreu dois dias antes da suspensão do fornecimento de água da tensão 3 (este manejo foi adotado para forçar um maior déficit hídrico neste tratamento) e as demais coletas ocorreram nos últimos três dias da condução do experimento. As amostras de solo foram acondicionadas em latas de alumínio e

levadas ao laboratório para pesagem. Em seguida as latas foram colocadas em estufa de circulação forçada de ar à temperatura de 105 °C até atingirem massa constante, para a determinação da umidade gravimétrica.

3.4.2 Avaliações ao final do experimento

3.4.2.1 Variáveis biométricas

O experimento foi conduzido até o pleno florescimento da cultivar de soja até os 43 dias após sementeira. Após este período foram avaliados as seguintes variáveis: altura de planta, número de folhas, diâmetro de coleto, volume radicular e massa seca de folhas, caule e raiz.

O volume radicular foi medido pelo deslocamento de água em uma proveta. Após a lavagem das raízes em água corrente, com auxílio de uma peneira de malha fina, estas foram secas ao ar e em seguida imersas em água, em uma proveta de 1000 mL, contendo 500 mL de água. O volume radicular, expresso em cm^3 , foi obtido pelo volume deslocado do líquido.

Para a determinação da massa seca dos diferentes órgãos, as plantas foram seccionadas e colocadas em sacos de papel, etiquetadas e levadas à estufa de circulação forçada de ar a 65°C até atingirem massa constante. Em seguida, foi determinada a massa utilizando-se uma balança de precisão. Foram determinadas as massa seca de folha, raiz e caule.

3.4.7 Determinação do B no solo

O método mais empregado para avaliar a disponibilidade de B no solo é com utilização do extrator com água quente proposto por Berger e Truog (1939). Mas ao longo do tempo este método vem sofrendo modificações, principalmente por ser bastante moroso e com grande dificuldade de ser empregado nas análises de rotina.

Desta forma, Abreu et al. (1994) sugeriram substituir a água quente por uma solução de cloreto de bário $1,25 \text{ g L}^{-1}$ com aquecimento assistido em microondas. Este método ainda utiliza o reagente colorimétrico mais utilizado para a

determinação de B em solo, a Azometina-H, e o aspecto mais favorável está no meio reacional aquoso, que é mais simples quando comparado a outros métodos.

As amostras de solo de cada vaso foram acondicionadas em caixas individuais para secagem e posterior moagem. O método descrito por Abreu (1994) foi adaptado substituindo os saquinhos suspensos de polietilenos selados por frascos de polietileno com tampa e capacidade de 100 mL, conforme modificação feita pelo laboratório da Coodetec Cascavel PR.

3.4.8 Determinação do Boro na planta

Para análise do teor de B no tecido foliar foram coletadas as primeiras folhas maduras localizadas abaixo do ponto de crescimento da planta (SRIVASTAVA E GUPTA, 1996).

Após a coleta das folhas estas foram encaminhadas para o laboratório e preparadas da seguinte forma:

Lavagem: as folhas utilizadas para determinar a massa fresca, foram lavadas agitando-as por alguns segundos em água destilada contendo um pouco de detergente neutro, em seguida enxaguadas em água destilada, e colocadas a seguir sobre papel absorvente.

Secagem: as amostras foram colocadas em sacos de papel perfurados e acondicionadas em estufas com circulação forçada de ar, para secar com temperatura de $65\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 h.

Moagem: foi utilizado moinho de aço inoxidável, para evitar a contaminação da amostra principalmente por ferro, zinco e cobre, sendo as amostras passadas em peneiras de 1 mm de malha.

Após preparadas, às amostras foram incineradas em mufla à temperatura de $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 3 horas até a obtenção de cinzas, e estas foram solubilizadas em 10 mL HCl $0,1\text{ ml L}^{-1}$, (WIKNER, 1986; BATAGLIA, 1991). Para determinação do teor de boro foi utilizado o método da Azometina-H e leitura em espectroscopia UV-VIS com comprimento de onda de 420 nm (MALAVOLTA ET AL., 1997).

3.5 DADOS COLETADOS

As temperaturas mínimas e máximas diárias do ar foram medidas durante todo o período do experimento, com um termômetro de mínima de álcool e de um termômetro de máxima de mercúrio, respectivamente, instalados dentro de um miniabrigo meteorológico de madeira, pintado de branco e instalado na altura e ao lado da bancada onde estavam as plantas.

Houve grande variação nas condições meteorológicas durante a condução do experimento (Figura 5). A temperatura mínima e a máxima absoluta do ar durante o experimento foi de 13 e 37 °C, respectivamente. A média da temperatura mínima do ar foi de 18,3 °C, a média da temperatura média do ar (calculada pela média aritmética entre a temperatura mínima e máxima) foi de 25,3 °C e a média da temperatura máxima do ar foi de 32,4 °C.

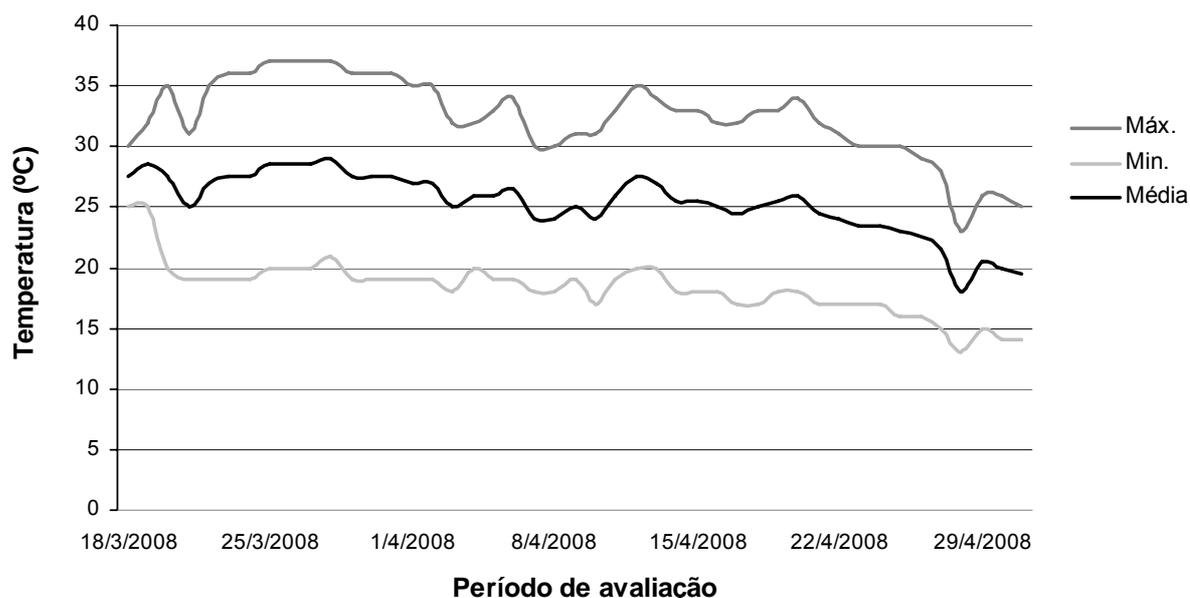


Figura 5. Dados de temperatura máxima e mínima coletados durante a condução do experimento em casa de vegetação.

A cada dois dias determinou-se a quantidade de água consumida em cinco dos reservatórios, os quais foram previamente marcados para sempre efetuar as leituras nas mesmas garrafas. Após o sistema estar completamente em equilíbrio sem que pudesse ocorrer quebras da coluna de água. O consumo de água nas três

semanas finais da condução do experimento em função dos níveis de tensão de água no solo é apresentado na Figura 6.

O consumo de água pelas plantas foi aumentando à medida que estas se desenvolveram. Fato este esperado, pois o consumo de água pela soja é crescente até a fase de florescimento e enchimento de grãos. Esta primeira fase coincidiu com o período de avaliação final do experimento. O consumo total de água pela soja nas últimas três semanas de condução do experimento foi de 3,12 L no nível de tensão de água no solo de -0,01 MPa, de 3,08 L na tensão -0,03 MPa e de 1,84 L no nível de tensão de -0,1 MPa.

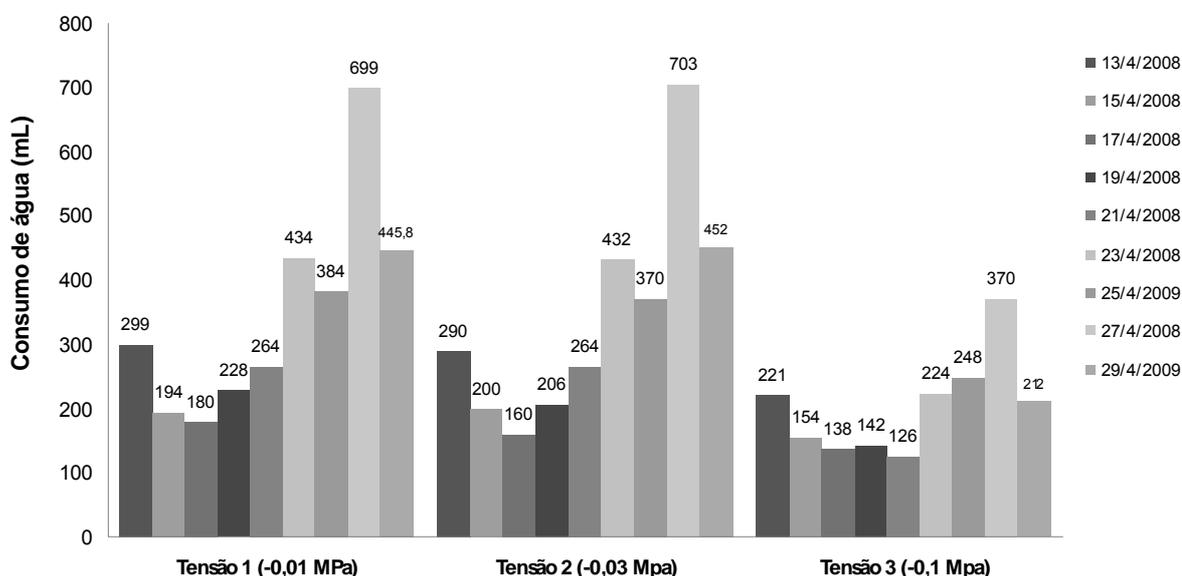


Figura 6. Média do consumo de água de cinco reservatório avaliado durante o período de 17 dias.

3.6 TABULAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Os dados obtidos foram tabulados e submetidos à análise de variância e de regressão. Quando detectada diferença significativa, as médias dos níveis de tensão de água no solo e das fontes de B aplicadas foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para as médias das doses de B foram escolhidos os modelos de regressão que melhor se ajustaram aos dados, com base na significância pelo teste F, considerando os níveis de 5 e 1% de probabilidade e no

maior valor do coeficiente de determinação (R^2). Utilizou-se o programa estatístico SAEG versão 8.0 (UFV, 1999) para o processamento dos dados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 UMIDADE GRAVIMÉTRICA DO SOLO

Os dados referentes à umidade gravimétrica do solo durante a condução do experimento, em função dos diferentes níveis de tensão de água no solo, são apresentados na figura 7. A umidade gravimétrica do solo antes da instalação do experimento (01/04/2008) se manteve constante, apresentando valores variando de 15,8 a 16,6 g 100 g⁻¹. Valores estes que se mantiveram constantes durante todo o experimento quando se manteve a tensão de água no solo em -0,01 MPa (100% da capacidade de campo), variando de 16,3 a 16,6 g 100 g⁻¹ (Figura 7). Por sua vez, nos tratamentos em que se manteve a tensão de água no solo de -0,03 MPa (80% da capacidade de campo) houve uma maior variação na umidade gravimétrica do solo, apresentando uma elevação no teor de umidade com o decorrer do tempo, passando de 11,0 g 100 g⁻¹ no dia 17/04 para 14,6 g 100 g⁻¹ no dia 01/05 (Figura 7).

Quando a tensão de água no solo foi mantida em -0,1 MPa (65% da capacidade de campo) a umidade gravimétrica se manteve com valores médios variando de 10,6 a 10,9 g 100 g⁻¹ durante o transcorrer do experimento. Entretanto, nos três últimos dias de condução do experimento (29 e 30/4 e 01/05) houve uma redução significativa no teor de água do solo passando para valores na ordem de 7,9, 7,3 e 6,2 g 100 g⁻¹ de umidade, respectivamente. Resultados estes que podem ser explicados em virtude de que o fornecimento de água foi interrompido neste tratamento.

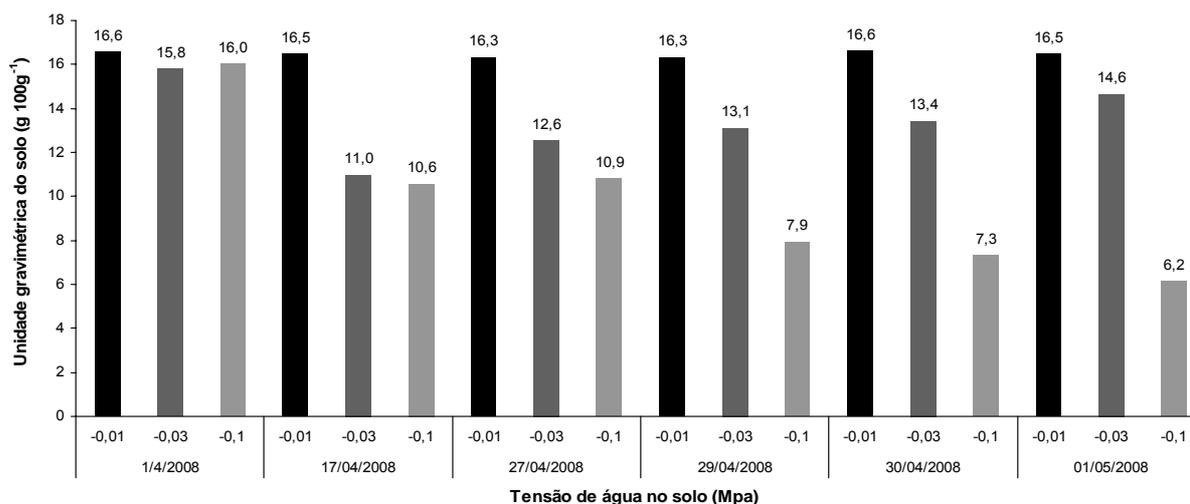


Figura 7. Umidade gravimétrica do solo durante a condução do experimento, em função dos níveis de tensão de água no solo. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008.

Na tabela 4 são apresentados os dados referentes à umidade gravimétrica do solo obtidos ao final do experimento em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas. Houve diferença significativa ($p < 0,05$) apenas para os níveis de tensão de água no solo. Resultados estes já esperados, visto que foram mantidos diferentes teores de umidade no solo. A umidade gravimétrica ao final do experimento variou de 16,13; 13,87 e 7,70 g 100 g⁻¹ de umidade com os níveis de tensão de -0,01; -0,03 e -0,1 MPa, respectivamente (Tabela 4).

Tabela 4. Umidade gravimétrica do solo no final do experimento em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008

Doses B mg dm ⁻³	Tensão MPa								
	- 0,01			- 0,03			- 0,1		
	Ac. Bórico	Colemanita	Média	Ac. Bórico	Colemanita	Média	Ac. Bórico	Colemanita	Média
	%								
0	15,80 ⁽¹⁾	13,65	14,73 ^{ns}	12,50	15,49	13,99 ^{ns}	11,26	8,60	9,93 ^{ns}
0,25	17,71	14,67	16,19	13,13	14,97	14,05	6,63	6,62	6,62
0,5	16,86	17,21	17,04	13,53	14,53	14,03	7,92	6,05	6,98
1,0	16,28	15,11	15,70	15,08	14,70	14,89	8,51	6,45	7,48
2,0	17,11	16,92	17,02	12,11	12,67	12,39	7,94	7,05	7,49
Média (F)	16,75 A	15,51 A	13,27 A	14,47 A			8,45 A	6,95 A	
Média (T)	16,13 A			13,87 B			7,70 C		
CV (%)	22,98								

^{ns} não significativo para as doses de B. Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha comparando o efeito de fontes dentro de cada tensão de água no solo e comparando o efeito geral de tensão de água no solo, não difere entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

⁽¹⁾ Umidade gravimétrica do solo após 27 dias do estabelecimento dos diferentes níveis de tensão de água no solo ou 43 dias após a semeadura.

Tomando-se como base os valores médios da umidade gravimétrica nos diferentes níveis de tensão de água no solo obtidos no último dia de avaliação (Tabela 4), e sabendo que a umidade do solo na capacidade de campo estava em torno de $16,4 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Figura 7), observa-se que a umidade volumétrica do solo encontrava-se com 98% da capacidade de campo na tensão 1 (-0,01 MPa), com 84% da capacidade de campo na tensão 2 (-0,03 MPa) e com 47% da capacidade de campo na tensão 3 (-0,1 MPa). Entretanto, cabe ressaltar, que este menor teor de umidade (47%) obtido na tensão 3, foi apenas nos últimos três dias de experimento, em decorrência da suspensão no fornecimento de água neste tratamento, conforme comentado anteriormente. Considerando-se a média sem estes três últimos dias, a umidade gravimétrica foi de $10,7 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$, ou seja, 65% da capacidade de campo (Figura 7).

4.2 CONTEÚDO RELATIVO DE ÁGUA NA FOLHA

Os dados referentes ao conteúdo relativo de água nas folhas de soja aos 41, 42 e 43 dias após a semeadura (três últimos dias de avaliação), em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B são apresentados na tabela 5. Os resultados evidenciaram efeitos significativos ($p < 0,05$) apenas para os níveis de tensão de água do solo, não sendo observada diferença significativa para as fontes e doses de B aplicadas. Entretanto, os dados também demonstraram que houve interação entre os níveis de tensão de água no solo e doses de B, assim como interação tripla entre níveis de tensão de água, doses e fontes de B aplicadas para o conteúdo relativo de água nas folhas de soja, na avaliação realizada aos 41 dias após a semeadura (Anexo 11A).

Quando os níveis de umidade do solo foram mantidos na capacidade de campo (-0,01 MPa) e a 80% da capacidade de campo (-0,03 MPa), o conteúdo relativo de água nas folhas de soja não foi influenciado significativamente, em todas as avaliações. De modo que os valores médios foram de 93,97 e 92,18% aos 41 dias após a semeadura (DAS), de 94,29 e 92,51% aos 42 DAS e de 88,48 e 91,55% aos 43 DAS, respectivamente (Tabela 5). Resultados estes que podem ser explicados devido a menor disponibilidade de água presente no solo, conforme apresentado na Figura 7 e Tabela 4. Este menor conteúdo de água na folha é em

decorrência do processo de perda de água pela transpiração das plantas e como a disponibilidade de água no solo foi baixa, a planta apresentou dificuldade de absorver água para repor as perdas, caracterizando o déficit hídrico nestas plantas.

Resultados semelhantes foram evidenciados por Fioreze (2007), o qual ao avaliar o efeito do déficit hídrico em três cultivares de soja, verificou que o conteúdo relativo de água nas folhas nos tratamentos sob manejo normal de irrigação (100% da capacidade de campo) se manteve constante (>90%) durante todo o período de avaliação. Por sua vez, quando se manteve a umidade do solo em 65% da capacidade de campo (-0,1 MPa), o conteúdo relativo de água nas folhas de soja mostrou-se estatisticamente inferior, em todas as avaliações (Tabela 5).

Tabela 5. Conteúdo relativo de água nas folhas de soja aos 41,42 e 43 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008

Doses B mg dm ⁻³	Tensão MPa								
	- 0,01			- 0,03			- 0,1		
	Ac. Bórico	Colemanita	Média	Ac. Bórico	Colemanita	Média	Ac. Bórico	Colemanita	Média
Conteúdo relativo de água na planta (%) – 41 dias após a semeadura									
0	93,14	96,14	94,64A ^{ns}	93,47	90,21	91,84A ^{ns}	88,58	81,44	85,01 B ^{ns}
0,25	93,84	93,67	93,75A	92,63	93,04	92,83A	88,84	84,76	86,80 B
0,5	96,22	93,71	94,96A	92,99	91,85	92,42A	86,33	83,68	85,00 B
1,0	92,55	93,49	93,00A	92,51	93,77	93,14A	90,65	85,00	87,82 A
2,0	96,18	90,74	93,46A	92,24	89,10	90,67A	90,13	97,39	93,76 A
Média (F)	94,39 A	93,55 A		92,77 A	91,59 A		88,91 A	86,45 A	
Média (T)	93,97 A			92,18 A			87,68 B		
CV (%)	5,12								
Conteúdo relativo de água na planta (%)– 42 dias após a semeadura									
0	95,37	92,92	94,14 ^{ns}	89,86	94,05	91,96 ^{ns}	86,24	75,02	80,63 ^{ns}
0,25	92,56	90,27	91,42	93,81	92,84	93,32	84,41	91,62	88,02
0,5	94,06	92,48	93,27	90,67	91,89	91,28	80,46	81,35	80,90
1,0	93,80	92,72	93,26	93,27	92,52	92,89	84,59	80,48	82,54
2,0	93,59	95,09	94,34	93,88	92,32	93,10	83,49	90,56	87,02
Média (F)	93,87 A	92,70 A		92,30 A	92,72 A		83,84 A	83,81 A	
Média (T)	94,29 A			92,51 A			83,82 B		
CV (%)	7,57								
Conteúdo relativo de água na planta (%)– 43 dias após a semeadura									
0	87,84	85,43	86,63 ^{ns}	89,26	90,15	89,70 ^{ns}	56,83	51,59	54,21 ^{ns}
0,25	90,10	87,22	88,66	91,65	93,27	92,46	54,52	68,19	61,35
0,5	92,05	91,03	91,54	89,86	92,35	91,10	62,77	54,59	58,68
1,0	89,58	87,14	88,36	93,70	94,42	94,06	72,83	86,73	79,78
2,0	86,46	87,91	87,18	94,00	86,82	90,41	58,74	64,78	61,76
Média (F)	89,21 A	87,75 A		91,69 A	91,40 A		61,14 A	65,18 A	
Média (T)	88,48 A			91,55 A			63,15 B		
CV (%)	16,21								

^{ns} não significativo para as doses de B. Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha comparando o efeito de tensão em cada doses de B, comparando o efeito de fontes dentro de cada tensão de água no solo e comparando o efeito geral de tensão de água no solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Analisando-se a interação entre os níveis de tensão de água no solo e das doses de B, observa-se que houve redução do conteúdo relativo de água quando as

plantas foram submetidas ao déficit hídrico de $-0,1$ MPa, entretanto, com o aumento das doses de B para 1 e 2 mg dm^{-3} o conteúdo relativo de água, aos 41 dias após a semeadura, se manteve igual as demais tensões de água demonstrando que a aplicação de B proporcionou menores perdas de água pelas folhas de soja (Tabela 5).

Lawlor e Uprety (1993) e Taiz e Zeiger (1998), relatam que a redução do conteúdo de água nas células afeta diretamente os processos de fotossíntese e expansão foliar. Com a manutenção do turgor das células em condições de déficit hídrico o processo de recuperação “pós-déficit” é mais rápido, podendo a planta reiniciar os processos afetados em um curto espaço de tempo (TURNER e BEGG, 1981).

Os dados desdobrados referentes a interação tripla entre os níveis de tensão de água no solo, doses e fontes de B aplicadas para o conteúdo relativo de água nas folhas de soja, aos 41 dias após a semeadura são apresentados na Figura 8. Quando mantidas sob capacidade de campo ($-0,01$ MPa) e com 80% de umidade ($-0,03$ MPa) o conteúdo relativo de água nas folhas de soja, independentemente da fonte aplicada, não foi influenciado pelas doses de B aplicadas, apresentando valores médios na ordem de 94,39 e 92,77% com a aplicação de ácido bórico (Figura 8a), e de 93,55 e 91,59% com a aplicação de colemanita (Figura 8b), respectivamente.

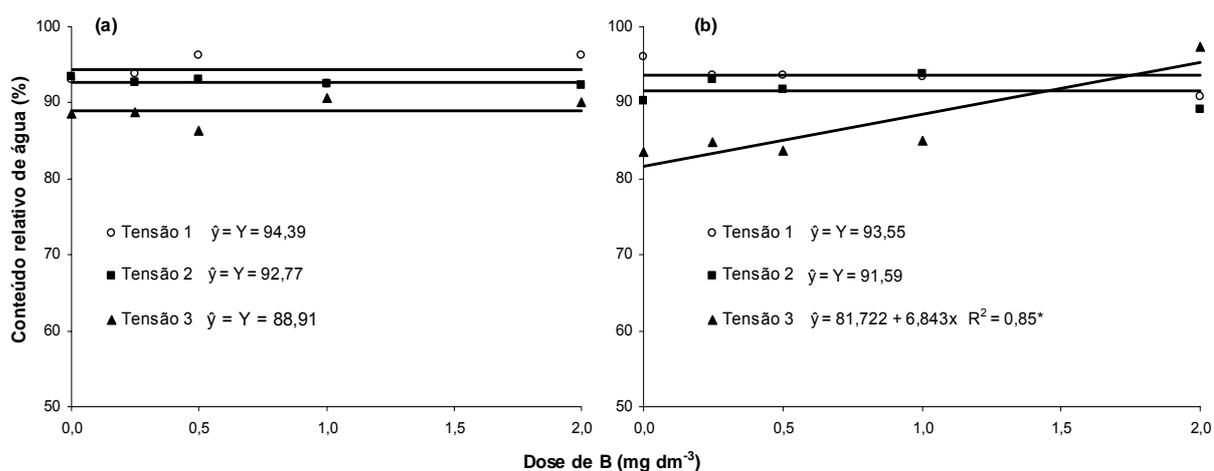


Figura 8. Conteúdo relativo de água nas folhas de soja aos 41 dias após a semeadura em função da interação significativa entre tensão de água no solo, doses de B para a aplicação de ácido bórico – (a) e colemanita – (b). UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008. (* significativo pelo teste F a 5% de probabilidade).

Entretanto, quando se manteve a umidade em 65% da capacidade de campo (-0,1 MPa) as fontes de B tiveram comportamentos distintos. De modo que a aplicação de doses de ácido bórico não influenciou significativamente o conteúdo de água nas folhas de soja, apresentando teor médio de 88,91% (Figura 8a). Já a aplicação de doses de colemanita proporcionaram menores perdas de água nas folhas de soja. De modo que houve uma redução de perda de água de 6,84% para cada mg dm^{-3} de B aplicado ao solo (Figura 8b). Estes resultados demonstram que a aplicação de colemanita, provavelmente por ser uma fonte menos solúvel e sofrer menor efeito da lixiviação, proporcionou menores perdas de água pelas folhas de soja. Fato este que pode ser atribuído em função de que o B está relacionado a síntese de parede celular e a integridade da membrana plasmática, conforme apresentado por Cakmak e Römheld (1998).

Cakmak et al.(1995) trabalhando com girassol demonstraram o papel do B na integridade da membrana. Os referidos autores, ao comparar folhas que apresentavam deficiência de B com folhas normais observaram que o efluxo ou vazamento de eletrólito era 35 vezes maior para o K, 45 vezes maior para a sacarose e sete vezes maior para compostos fenólicos e aminoácidos. Portanto, esta função do B sobre a integridade da membrana, pode ter proporcionado esta menor perda de água nas folhas de soja observada no presente estudo.

Segundo Pimentel et al. (2002) o conteúdo relativo água nas folhas é um importante parâmetro para caracterizar o grau de hidratação das plantas. Hsiao (1990) ressalta que a medição do conteúdo relativo de água apesar de simples, pode ser mais eficiente para indicar a intensidade do estresse por seca que o potencial água das folhas (Ψ_h), principalmente em plantas que não realizam ajuste osmótico, como as leguminosas, excetuando-se o amendoim e o feijão guandu, que realizam ajuste osmótico.

Na figura 9 são apresentados os resultados referentes ao ajuste obtido entre o conteúdo relativo de água nas folhas e umidade gravimétrica do solo, no último dia de avaliação (01/05/2008). Obteve-se um ajuste polinomial quadrático com coeficiente de determinação (R^2) de 0,59. Sendo obtido o máximo conteúdo relativo de água nas folhas de 91,97% quando o solo apresentou $15,47 \text{ g } 100 \text{ g}^{-1}$ de umidade gravimétrica.

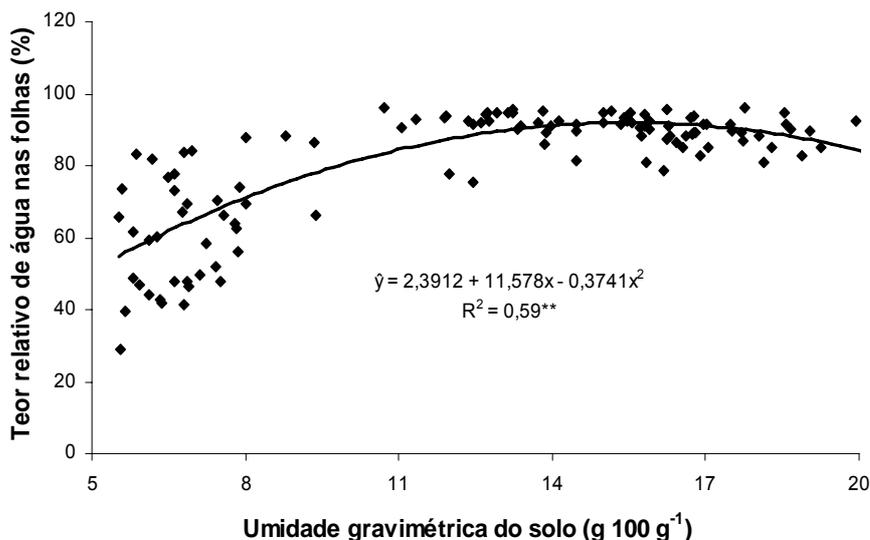


Figura 9. Ajuste obtido entre os valores de conteúdo relativo de água nas folhas e umidade gravimétrica do Latossolo Vermelho eutroférico de textura média, no último dia de avaliação. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008. (** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade).

O conteúdo relativo de água das folhas reduziu com o decréscimo da umidade gravimétrica do solo (Figura 9). Resultados estes já esperados devido a menor disponibilidade de água no solo. Mattos et al. (2005) avaliando a tolerância à seca de quatro espécies de *Brachiaria*, verificaram que o potencial hídrico das lâminas foliares diminuíram com o decréscimo do potencial hídrico do solo. Os autores ainda evidenciaram que o potencial hídrico foliar, sob condição de ponto de murcha (-1,5 MPa), foi reduzido oito vezes para a espécie *B. mutica* e de aproximadamente quatro vezes nas demais espécies, relativamente ao potencial hídrico do solo de -0,01 MPa.

A função dos estômatos na regulação da demanda evapotranspiratória é essencial para a manutenção do “status” hídrico da planta acima de um nível crítico necessário ao metabolismo celular. Este, segundo Turner (1986) é considerado como uma estratégia das plantas em evitar o déficit hídrico. Portanto, a sensibilidade dos estômatos ao abaixamento da umidade gravimétrica do solo torna-se um comportamento desejável no desenvolvimento de novas cultivares tolerantes à desidratação que apresentem uma rápida retomada da atividade fotossintética após a reidratação, podendo esta ser uma das estratégias utilizadas pelas plantas de soja, neste estudo para reduzirem os efeitos da desidratação.

4.3 DESENVOLVIMENTO DA PARTE AÉREA DA SOJA

Os valores obtidos para a altura de planta, diâmetro de coleto e número de folhas em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B são apresentados na tabela 6. Os resultados não evidenciaram efeitos significativos da interação entre níveis de umidade do solo, fontes e doses de B para todas as variáveis mencionadas. Verificou-se apenas efeito para os níveis de tensão de água do solo, para a variável altura de planta.

Tabela 6. Altura de planta, diâmetro de coleto e número de folhas de soja em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008

Doses B mg dm ⁻³	Tensão MPa					
	- 0,01		- 0,03		- 0,1	
	Ac. Bórico	Colemanita	Ac. Bórico	Colemanita	Ac. Bórico	Colemanita
Altura de planta (cm)						
0	50,63 ^{ns}	45,38 ^{ns}	51,69 ^{ns}	54,25 ^{ns}	47,81 ^{ns}	45,94 ^{ns}
0,25	48,44	53,38	50,50	54,81	50,69	51,13
0,5	49,00	46,31	53,69	53,69	48,06	50,81
1,0	49,69	45,81	50,50	50,94	50,38	49,25
2,0	45,13	50,75	59,13	51,13	53,19	53,75
Média (F)	48,58 A	48,33 A	53,10 A	52,96A	50,03A	50,18 A
Média (T)	47,45 B		52,03 A		50,10 AB	
CV%	14,62					
Diâmetro de coleto (mm)						
0	7,05 ^{ns}	6,59 ⁿ	6,47 ^{ns}	6,39 ^{ns}	6,70 ^{ns}	6,68 ^{ns}
0,25	6,51	6,81	7,66	6,52	7,94	6,06
0,5	5,65	6,09	7,90	6,41	6,06	6,26
1,0	6,49	6,56	5,69	6,67	5,52	6,79
2,0	5,37	7,24	6,54	6,80	5,52	5,79
Média (F)	6,21 A	6,66 A	6,85 A	6,56 A	6,35 A	6,32 A
Média (T)	6,44 A		6,70 A		6,33 A	
CV%	20,14					
Número de folhas por vaso						
0	74,63 ^{ns}	52,50 ^{ns}	56,38 ^{ns}	60,63 ^{ns}	59,75 ^{ns}	56,25 ^{ns}
0,25	61,50	60,13	70,00	62,50	62,63	51,63
0,5	49,25	61,50	72,38	64,38	47,88	49,50
1,0	58,88	62,25	56,75	62,50	41,63	60,88
2,0	43,00	59,38	49,75	55,38	36,63	41,25
Média (F)	57,45 A	59,15 A	61,05A	61,08A	49,70 A	51,90 A
Média (T)	58,60 A		61,06 A		50,80 A	
CV%	31,63					

^{ns} não significativo para as doses de B. Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha comparando o efeito de fontes dentro de cada tensão de água no solo e comparando o efeito geral de tensão de água no solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O aumento dos níveis de B aplicados com o teor médio inicial no solo de $0,40 \text{ mg dm}^{-3}$, não influenciou a altura de planta, o diâmetro de coleto e o número de folhas das plantas de soja. Resultados estes que corroboram com os obtidos por outros autores. Andrade (2000) avaliando a aplicação de doses de B (0; 0,75; 1,5 e $2,25 \text{ kg ha}^{-1}$), não verificou variação da produtividade de girassol quando o teor de B no solo era igual ou superior a $0,25 \text{ mg dm}^{-3}$. Resultados semelhantes foram obtidos por Aitken et al. (1987). Estes autores verificaram que, a partir de $0,2 \text{ mg dm}^{-3}$ de B no solo, não houve diferenças na massa seca da parte aérea de plantas de girassol, concordando com as observações do presente trabalho.

Para algodão (SILVA et al., 1991) e girassol (BATAGLIA e RAIJ, 1990), a melhor resposta à adubação com boro ocorre em solos com 0,2 a $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ e com 0,2 a $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ de B, respectivamente, sendo que concentração maior que $0,5 \text{ mg dm}^{-3}$ causou queda expressiva na matéria seca das plantas.

Quando se manteve a umidade do solo na capacidade de campo ($-0,01 \text{ MPa}$), as plantas de soja apresentaram as menores estaturas $47,45 \text{ cm}$, entretanto, não diferenciando estatisticamente do tratamento em que se manteve a umidade do solo em 65% da capacidade do campo ($-0,1 \text{ MPa}$), que apresentou $50,10 \text{ cm}$ de altura.

A baixa disponibilidade de água no solo acarreta desidratação, redução do crescimento e aceleração da senescência dos tecidos na planta, comprometendo o crescimento por reduzir as taxas de aparecimento de novas folhas (Ng et al., 1975; Van LOO, 1992) e de senescência (McIVOR, 1984) das folhas, que reduzem o número de folhas por planta. Resultados estes não evidenciados no presente estudo.

A redução do conteúdo de água no solo afeta acentuadamente alguns processos morfofisiológicos, enquanto outros são relativamente insensíveis. Segundo McCree e Fernández (1989) e Taiz e Zeiger (1991), a resposta mais proeminente das plantas ao déficit hídrico, consiste no decréscimo da produção da área foliar, no fechamento dos estômatos, na aceleração da senescência e na abscisão das folhas. Quando as plantas são expostas a situações de déficit hídrico exibem, freqüentemente, respostas fisiológicas que resultam, de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores.

Os valores obtidos para a massa seca de folhas, caule e total de plantas de soja em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B são apresentados na Tabela 7. Os resultados não evidenciaram efeitos significativos da interação entre níveis de umidade do solo, fontes e doses de B para as variáveis mencionadas, e nem efeito isolado para cada um dos fatores.

Tabela 7. Massa seca de folhas, de caule e total da parte aérea das plantas de soja em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de B aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008

Doses B mg dm ⁻³	Tensão MPa					
	- 0,01		- 0,03		- 0,1	
	Ac. Bórico	Colemanita	Ac. Bórico	Colemanita	Ac. Bórico	Colemanita
Massa seca das folhas (g/planta)						
0	4,72 ^{ns}	3,42 ^{ns}	3,48 ^{ns}	3,56 ^{ns}	3,78 ^{ns}	3,50 ^{ns}
0,25	3,84	4,37	4,38	3,89	4,12	3,27
0,5	2,84	3,60	4,84	3,57	3,09	3,29
1,0	3,83	3,98	3,24	3,96	2,63	3,82
2,0	4,16	4,39	3,58	3,94	2,54	2,96
Média (F)	3,58 A	3,95 A	3,90 A	3,79 A	3,23 A	3,36 A
Média (T)	3,76 A		3,85 A		3,30 A	
CV (%)	37,09					
Massa seca do caule (g/planta)						
0	4,24 ^{ns}	3,04 ^{ns}	2,97 ^{ns}	3,00 ^{ns}	3,48 ^{ns}	3,52 ^{ns}
0,25	3,24	3,86	3,84	3,49	4,23	2,96
0,5	2,33	2,97	4,30	2,92	3,00	3,09
1,0	3,17	3,60	2,92	3,40	2,31	3,93
2,0	2,30	4,27	3,35	4,04	2,63	2,96
Média (F)	3,05 A	3,55 A	3,48 A	3,37 A	3,13 A	3,24 A
Média (T)	3,30 A		3,42 A		3,18 A	
CV (%)	41,37					
Massa seca total parte aérea (g/planta)						
0	8,96 ^{ns}	6,45 ^{ns}	6,45 ^{ns}	6,56 ^{ns}	7,26 ^{ns}	7,01 ^{ns}
0,25	7,07	8,24	8,22	7,38	8,38	6,24
0,5	5,16	6,57	9,15	6,49	6,09	6,38
1,0	7,00	7,58	6,16	7,35	4,93	7,75
2,0	4,96	8,66	6,92	7,98	5,17	5,65
Média (F)	6,63 A	7,50 A	7,38 A	7,16 A	6,36 A	6,61 A
Média (T)	7,06 A		7,26 A		6,48 A	
CV (%)	38,71					

^{ns} não significativo para as doses de B. Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha, comparando o efeito de fontes dentro de cada tensão de água no solo e comparando o efeito geral de tensão de água no solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Apesar dos níveis de tensão água no solo não influenciar significamente observa-se que houve uma redução da produção de matéria seca de folha de soja em aproximadamente 12%, comparando-se os valores obtidos sob capacidade de

campo (-0,01 MPa) e a 65% de umidade (-0,1 MPa) (Tabela 7). Para a massa seca de caule e total esta redução foi na ordem de 3,48% e 8,21%, respectivamente. Mattos et al. (2005) verificaram que a produção de matéria seca de lâminas foliares de *Brachiaria* spp. diminuiu linearmente, com o aumento do potencial hídrico do solo. O autores verificaram que houve um decréscimo de 26%, comparando-se os valores obtidos sob capacidade de campo (-0,01 MPa) e ponto de murcha permanente (-1,5 MPa).

Esta falta de resposta as doses de B aplicadas, obtidas no presente estudo, para a produção de matéria seca dos diferentes órgãos da parte aérea pode ser justificada pelo teor inicial deste elemento no solo $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, considerado adequado por varios autores (BATAGLIA e RAIJ, 1990; SILVA et al., 1991; Alvarez V. et al., 1999; ROSOLEM, 2007).

Na literatura brasileira os dados referentes a aplicação de B em algumas culturas anuais são contraditórios, principalmente pela grande variabilidade das condições físicas e químicas dos solos cultivados e das necessidades nutricionais das culturas. Respostas à aplicação de B foram observadas por vários pesquisadores para a cultura da soja com doses que variaram de $0,5$ a 12 kg ha^{-1} (BUZETTI et al., 1990; GALRÃO, 1990; RERKASEM et al., 1997; FERREIRA et al., 2001; GHANATI et al., 2005), porém nem sempre a soja responde a aplicação desse nutriente.

Trabalhando com 10 classes de solos do estado de Pernambuco, Lima et al. (2007), verificaram efeito positivo da aplicação de B, em apenas cinco dos dez solos estudados, para a produção de matéria seca do milho.

Rosolem et al (2008), ao avaliarem a resposta da soja a adubação boratada, associado à calagem, em Latossolo Vermelho-Amarelo do Mato Grosso, obtiveram resposta a aplicação de B (até 1 kg ha^{-1}) apenas no terceiro ano de experimento. Os autores ainda evidenciaram que, nos três anos, mesmo no tratamento sem aplicação de B, os teores do nutriente nas folhas encontravam-se dentro da faixa considerada adequada para altas produtividades, ou seja, de 25 a 55 mg kg^{-1} (ROSOLEM, 2007).

Ao trabalharem em Latossolo Vermelho distrófico, Prado et al. (2006), verificaram o máximo desenvolvimento de mudas de maracujazeiro-amarelo com a dose de $0,6 \text{ mg dm}^{-3}$ de B. Os autores ainda relatam que nas maiores doses de boro, as plantas apresentaram decréscimo no desenvolvimento.

Bologna e Vitti (2006), avaliando o efeito de fontes e doses de B, sobre os atributos físicos de frutos de laranja, observaram que as fontes de B influenciaram o diâmetro, sendo obtido os maiores e menores valores com as fontes de maior e menor solubilidade, respectivamente, ácido bórico e colemanita. Segundo Byers et al. (2001), o ácido bórico é a fonte boratada de maior solubilidade em água e baixa reatividade com o solo, possuindo uma elevada disponibilidade inicial e maior suscetibilidade à lixiviação. Em contrapartida, a colemanita apresenta baixa solubilidade e lenta liberação, estando menos sujeita a lixiviação (MURPHY e WALSH, 1972).

A falta de diferença significativa entre as fontes de B aplicadas, no presente estudo, pode ser justificada pelo teor inicial deste elemento presente no solo considerado adequado ($0,4 \text{ mg dm}^{-3}$), onde mesmo as fontes sendo de diferentes solubilidades, estas não influenciaram sobre o desenvolvimento da parte aérea da soja.

4.4 DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA RADICULAR DA SOJA

Dentre os diferentes mecanismos de adaptação ao déficit hídrico que as plantas desenvolvem, Kano et al., (1999) relatam o aumento na densidade e profundidade de raízes. Resultados estes que podem ser evidenciados no presente estudo. Observa-se que houve um aumento de 49% na produção de matéria seca do sistema radicular da soja, quando a umidade do solo passou da capacidade de campo (-0,01 MPa) e para 65% de umidade (-0,1 MPa). Por sua vez, tal efeito não foi evidenciado para o volume radicular (Tabela 8).

Mattos et al. (2005) avaliando a tolerância à seca de quatro espécies de *Brachiaria*, verificaram que a matéria seca do sistema radicular diminuiu linearmente com o decréscimo do potencial hídrico do solo apenas para a espécie *B. decumbens*. Já as demais espécies mostraram-se insensíveis ao déficit hídrico. Os autores atribuíram esta diminuição na matéria seca do sistema radicular, à maior concentração do sistema radicular da *B. decumbens* nas camadas mais superficiais do solo, tornando esta espécie mais suscetível ao estresse hídrico.

Tabela 8. Massa seca de raiz e volume radicular de plantas de soja em função dos níveis de tensão de água no solo (T) e das fontes (F) e doses de boro aplicadas. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008

Dose B mg dm ⁻³	Tensão MPa						Média	
	-0,01		-0,03		-0,1		Ac. Bórico	Colemanita
	Ac. Bórico	Colemanita	Ac. Bórico	Colemanita	Ac. Bórico	Colemanita		
Massa seca radicular (g/planta)								
0	1,59	1,18	1,10	1,26	1,48	2,65	1,39 A	1,70 A
0,25	1,26	1,22	1,85	1,33	2,74	1,48	1,95 A	1,35 A
0,5	1,30	1,06	1,96	1,22	1,92	1,58	1,56 A	1,28 A
1,0	1,09	1,48	0,96	2,06	1,15	1,96	1,07 B	1,84 A
2,0	0,85	1,26	1,25	1,80	1,34	1,18	1,14 A	1,41 A
Média (T)	1,18 B		1,48 B		1,75 A			
CV (%)	51,01							
Volume radicular (cm ³ /planta)								
0	24,62	21,12	19,38	19,87	21,38	26,25	22,12 A	22,42 A
0,25	21,50	17,62	23,62	21,12	21,25	17,00	21,96 A	18,58 A
0,5	12,50	17,38	29,38	19,25	20,62	17,50	20,83 A	18,04 A
1,0	15,88	21,87	15,38	30,00	13,38	21,25	14,88 B	24,37 A
2,0	13,75	17,75	21,00	22,87	15,00	14,85	16,58 A	18,50 A
Média (T)	18,40 A		22,18 A		19,35 A			
CV (%)	47,61							

Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha comparando as fontes em cada dose de B e entre os níveis de tensão de água no solo, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Quanto às fontes de B, verifica-se que estas diferiram somente na dose de 1 mg dm⁻³. Com a aplicação de colemanita ocorreram maiores valores de massa e volume radicular, que com a aplicação de ácido bórico.

Os resultados obtidos no presente estudo mostraram que houve interação significativa entre fontes e doses de B aplicadas para as variáveis massa seca de raiz e volume radicular e os dados são apresentados nas figuras 10 e 11, respectivamente. As doses de B aplicadas na forma de colemanita não influenciaram o desenvolvimento do sistema radicular, sendo obtido valores médios de massa seca de raiz de 1,47 g por planta (Figura 10). Para a aplicação de ácido bórico a produção de matéria seca de raiz reduziu linearmente, com o aumento das doses de B. De modo que houve uma redução de 0,22 g de massa seca de raiz para cada mg dm⁻³ de B aplicada ao solo (Figura 10). Resultados estes que podem ser explicados, em parte, devido a maior solubilidade desta fonte, ocorrendo redução da massa seca de raízes com incremento das doses de B.

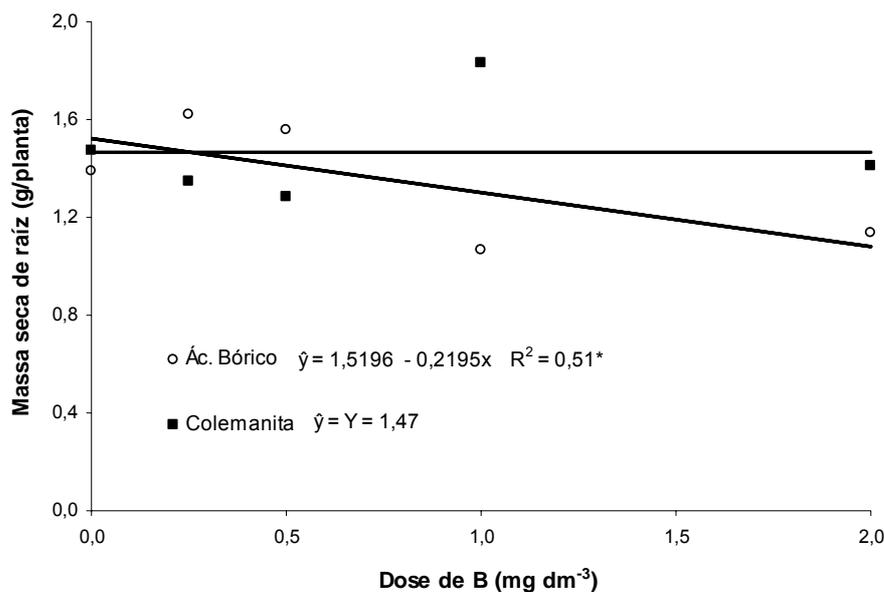


Figura 10. Massa seca de raiz de plantas de soja em função das doses de B aplicadas na forma de ácido bórico e colemanita. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008. (* significativo pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade).

Estes dados discordam, em parte, de Kirk e Loneragan (1988), que verificaram uma resposta maior ao crescimento de raízes do que da parte aérea das plantas de soja em função da aplicação de boro. Dados semelhantes foram verificados por Grassi Filho et al. (2000), que avaliaram, em solução nutritiva, doses de B (0 até 30 mg L⁻¹ de B) no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro e observaram que as mesmas favoreceram positivamente o crescimento radicular e negativamente o crescimento da parte aérea. Por sua vez, os dados obtidos no presente estudo, de modo geral, não evidenciaram efeitos significativos sobre a parte aérea e efeito negativo sobre o desenvolvimento do sistema radicular.

Independentemente das fontes aplicadas, pode-se observar, de modo geral, que as doses de B afetaram negativamente o volume radicular, sendo verificado para as duas fontes um ajuste polinomial quadrático (Figura 11). Para a aplicação de ácido bórico obteve-se valores mínimos de volume radicular, de 15,44 cm³/planta com a aplicação de 1,52 mg dm⁻³ de B. Com a aplicação de colemanita obteve-se valores mínimos de volume radicular, de 17,83 cm³/planta com a aplicação de 1,30 mg dm⁻³ de B.

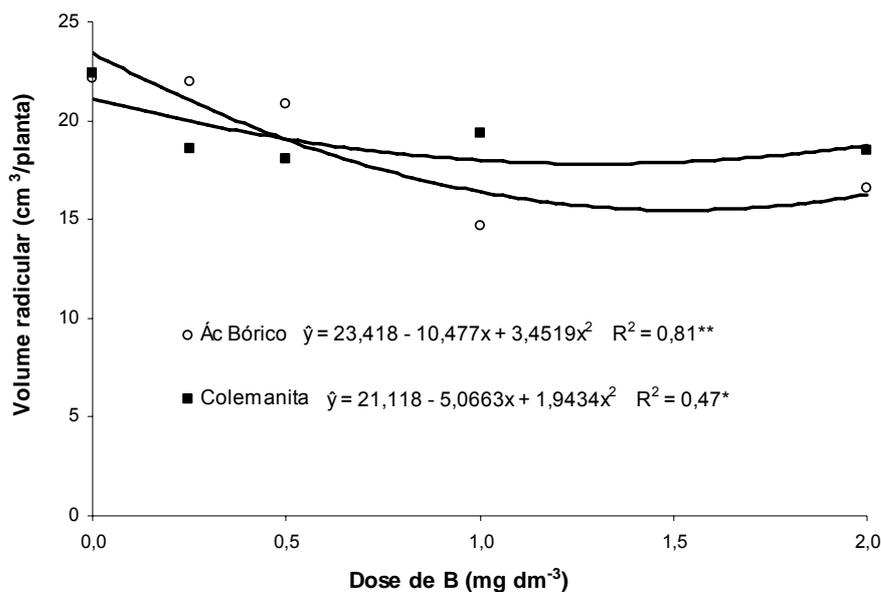


Figura 11. Volume radicular das plantas de soja em função das doses de B aplicadas na forma de ácido bórico e colemanita. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008. (** e * significativo pelo teste F ao nível de 1 e 5% de probabilidade, respectivamente).

4.5 TEOR DE B NO SOLO E NO TECIDO FOLIAR

Os dados obtidos para os teores de boro no solo e no tecido foliar da soja em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas são apresentados na Tabela 9. Os resultados não evidenciaram efeitos significativos da interação entre níveis de umidade do solo, fontes e doses de B para as variáveis mencionadas. Verificou-se apenas efeitos isolados para os níveis de tensão de água do solo e para as doses de B aplicadas. Também verificou-se efeito significativo das fontes de B para teor de B no solo (Anexos 22A e 23A).

Os teores médios de B extraídos com água fervente, variaram de 0,44 a 1,75 mg dm⁻³ (Tabela 9). Independentemente da fonte de aplicação, o aumento das doses de B aumentou linearmente o teor do nutriente extraído pela água fervente (Figura 12), sendo observado um aumento na ordem de 0,44 mg dm⁻³ no teor de B no solo para cada mg dm⁻³ do nutriente aplicado. Resultados estes comumente verificados por diferentes pesquisadores. Prado et al. (2006), ao trabalharem em Latossolo Vermelho distrófico, verificaram incrementos crescentes com o aumento

de dose de B. Pegoraro et al. (2008) ao trabalharem com três solos de diferentes texturas (arenosa, média e argilosa), também verificaram incrementos lineares nos teores de B em todos os solos ao se aplicar doses crescentes deste nutriente.

Tabela 9. Teor de B no solo e no tecido foliar soja em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses do nutriente aplicado no solo. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008

Doses B mg dm ⁻³	Tensão MPa								
	- 0,01			- 0,03			- 0,1		
	Ac. Bórico	Colemanita	Média	Ac. Bórico	Colemanita	Média	Ac. Bórico	Colemanita	Média
Teor de B solo (mg dm ⁻³)									
0	0,54	0,44	0,49**	0,49	0,73	0,61**	0,52	0,63	0,56**
0,25	0,68	0,77	0,72	0,61	0,98	0,80	0,70	0,74	0,75
0,5	0,82	0,93	0,88	0,70	1,11	0,90	0,88	0,86	0,88
1,0	0,84	1,09	0,96	1,00	1,32	1,16	1,15	1,00	1,07
2,0	1,36	1,34	1,35	1,57	1,59	1,58	1,37	1,75	1,50
Média (T)	0,88 B			1,01A			0,96AB		
Média (F)	Acido bórico: 0,88 b Colemanita: 1,02 a								
CV (%)	25,28								
Teor de B no tecido (g kg ⁻¹)									
0	68,15	66,08	67,12**	67,52	69,16	68,34**	75,14	73,90	74,52**
0,25	73,84	70,94	72,39	75,02	76,80	75,91	77,22	77,63	77,43
0,5	81,30	76,68	78,99	77,87	82,84	80,36	79,23	87,52	83,38
1,0	94,22	101,98	98,10	98,66	101,80	100,23	100,26	104,17	102,22
2,0	143,33	141,85	142,59	135,63	168,86	152,25	176,86	167,44	172,15
Média (T)	91,84 B			95,42 AB			101,94 A		
Média (F)	Acido bórico: 94,95 a Colemanita: 97,84 a								
CV (%)	13,58								

** significativo ao nível de 1% de probabilidade para as doses de B. Média seguida da mesma letra, maiúscula na linha e minúscula na comparação entre fontes, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

As fontes de B aplicadas em solo de textura média proporcionaram diferença significativa sobre a disponibilidade de B no solo, sendo a maior disponibilidade de B obtida com a fonte colemanita (1,02 mg dm⁻³) e a menor disponibilidade para ácido bórico (0,88 mg dm⁻³) (Tabela 9). Resultados estes que podem ser explicados devido a diferente solubilidade entre as duas fontes aplicadas. Em condições de campo, a aplicação de ácido bórico (altamente solúvel) pode sofrer maior efeito da lixiviação, principalmente em solo de textura arenosa e média, como é o caso do solo do presente experimento, o que proporciona a menor disponibilidade de B no solo.

Por outro lado, a falta de resposta a adubação boratada conforme já comentado anteriormente, pode ser justificada pelo teor médio de B no solo no início do experimento, uma vez que os teores de B extraídos com água quente fervente (Figura 12), foram superiores ao nível crítico que é, de aproximadamente, 0,6 mg dm⁻³, conforme apresentado por Alvarez V. et al. (1999).

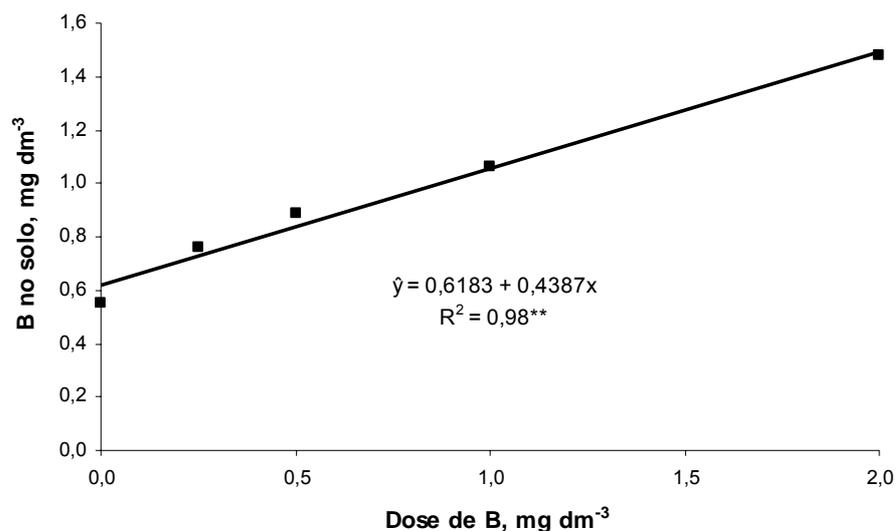


Figura 12. Teor de B no solo em função das doses do nutriente aplicadas ao solo. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008. (** significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade).

Os teores de B no tecido foliar de soja aumentaram linearmente com o aumento da dose deste nutriente (Figura 13). Houve aumento na ordem de 43,7 mg kg⁻¹ no teor de B para cada mg dm⁻³ do nutriente aplicado. Resultados estes também evidenciados por Prado et al. (2006) em soja, e por Ramos et al. (2009) em eucalipto.

É interessante notar que mesmo no tratamento sem B (Figura 13), os teores do nutriente nas folhas encontravam-se acima da faixa considerada adequada para altas produtividades da cultura da soja (25 a 55 mg kg⁻¹), conforme apresentado por Rosolem (2007), como consequência do médio teor no solo.

De acordo com Furlani et al. (2001), as cultivares de soja começam a sofrer problemas de toxidez, quando possuem teores acima de 83 mg kg⁻¹. No entanto, verificou-se na dose máxima utilizada de 2 mg dm⁻³ sintomas típicos de toxidez de B, conforme demonstrado na Figura 14. Cabe ressaltar que neste trabalho, os sintomas de toxidez de B somente ocorreram na dose máxima, onde os teores de B no tecido foliar da soja variaram de 135 a 176 mg kg⁻¹, com média de 155 mg kg⁻¹. Dados este que concordam com Gupta (1979), que observou toxicidade de B nas plantas em teor variando de 98 a 257 mg kg⁻¹.

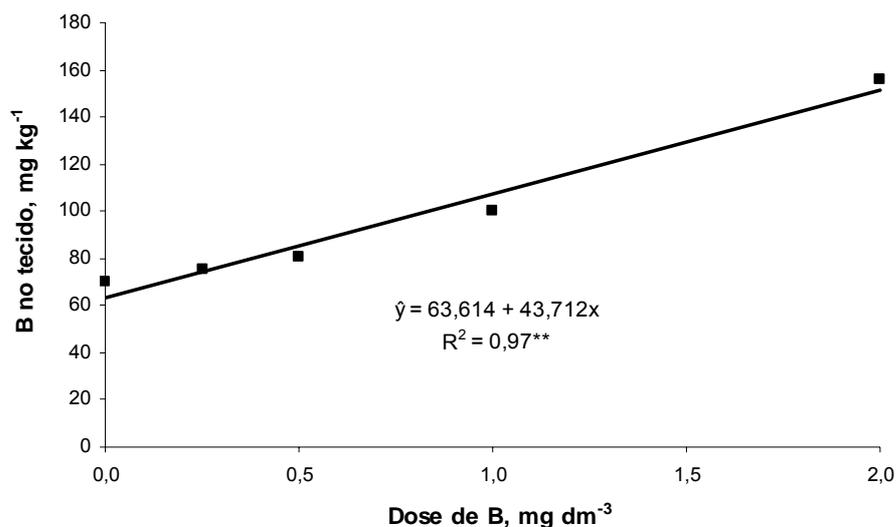


Figura 13. Teor de B no tecido foliar da soja em função das doses de B aplicadas ao solo. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008. (** significativo pelo teste F ao nível de 1% de probabilidade).

De acordo com Mengel e Kirkby (2001), devido à imobilidade do B no floema, sua translocação é quase que inexistente e, portanto, como seu teor é maior nas folhas mais velhas os sintomas típicos de toxidez na soja se manifestam nas folhas mais velhas, conforme observado na Figura 13. O sintoma visual típico de toxidez de B na maioria das espécies é a queima das folhas, ou seja, clorose e necrose, freqüentemente nas bordas e pontas das folhas mais velhas. Isso reflete a distribuição do B na maioria das plantas, que se acumula, seguindo o fluxo transpiratório (NABLE et al., 1997). Deve-se ressaltar, no entanto, que necrose em folhas mais velhas não é o sintoma de toxidez de B em todas as plantas. De forma geral, o B possui baixa mobilidade no floema da maioria das espécies vegetais, com exceção das produtoras de tióis (álcoois de açúcar), que apresentam, diferentemente das demais espécies, sintomas de deficiência em folhas mais velhas e toxidez em tecidos meristemáticos, visto que o B se moveria na planta ligado aos tióis (GUPTA, 1993; RÖMHELD, 2001).

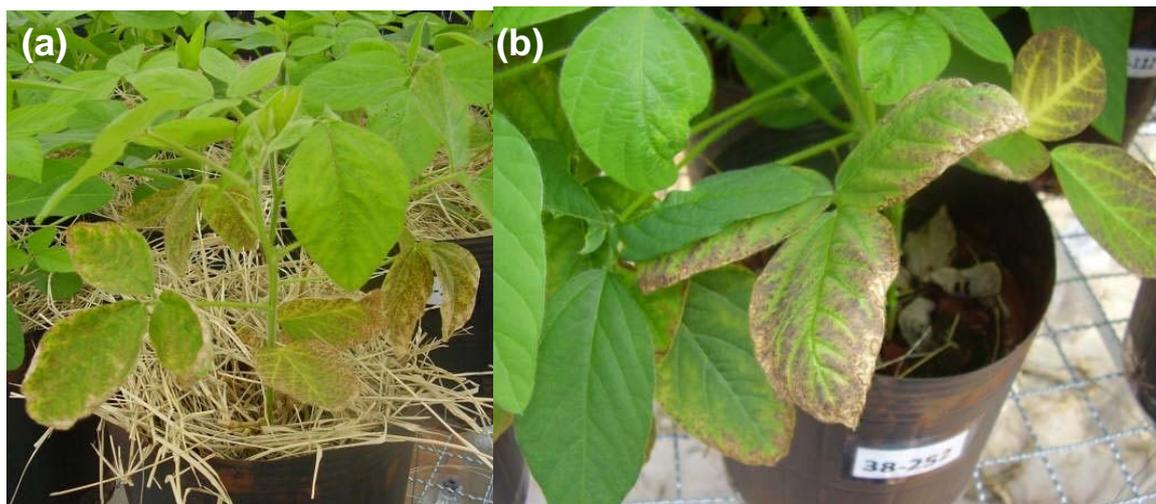


Figura 14. Sintomas de toxidez de B em plantas de soja cultivada em Latossolo Vermelho eutroférico de textura arenosa com a aplicação de 2 mg kg^{-1} de B – (a) e detalhes do sintoma de toxidez de B na soja – (b). UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008.

Prado et al. (2006), verificaram sintomas de toxidez em mudas de maracujazeiro-amarelo com a aplicação de 1 mg dm^{-3} apenas na fase inicial de desenvolvimento (até 20 dias) e, após este período, a sintomatologia diminuiu, desaparecendo após 40 dias da semeadura.

Fageria (2000), trabalhando com cinco espécies vegetais em Latossolo Vermelho-Escuro do cerrado, observou toxidez de B para soja com a aplicação de $5,2 \text{ mg kg}^{-1}$ e para o milho com a aplicação de $5,7 \text{ mg kg}^{-1}$ de B.

Em seu estudo, Rosolem et al. (2008) observaram resposta quadrática dos teores de B nas folhas da soja às doses do nutriente aplicado até a dose de $7,5 \text{ kg ha}^{-1}$. Os autores atribuíram este efeito à lixiviação do elemento adicionado como adubo, que é maior quanto maior a dose aplicada.

A absorção de B pelas plantas de soja esteve associada aos teores de B no solo (Figura 15), ou seja, houve estreita correlação ($r = 0,82$) entre os teores presentes no solo e a quantidade de B absorvida pelas plantas. Resultados semelhantes aos obtidos por Pegoraro et al. (2008), ao trabalharem com solos de textura arenosa, média e argilosa. Os autores verificaram que houve correlação altamente significativa e positiva para os teores de B no solo extraídos com água fervente e a quantidade absorvida pela soja em todos os solos avaliados. Os mesmos autores ainda relataram menor coeficiente de correlação no solo argiloso, o que poderia ser explicado pelo maior teor de matéria orgânica ($7,1 \text{ dag kg}^{-1}$) e pela formação de compostos menos solúveis com os ligantes orgânicos, bem como, por

causa da mineralogia caulínítica e presença de óxidos de ferro e alumínio que proporcionam maior adsorção de B no solo.

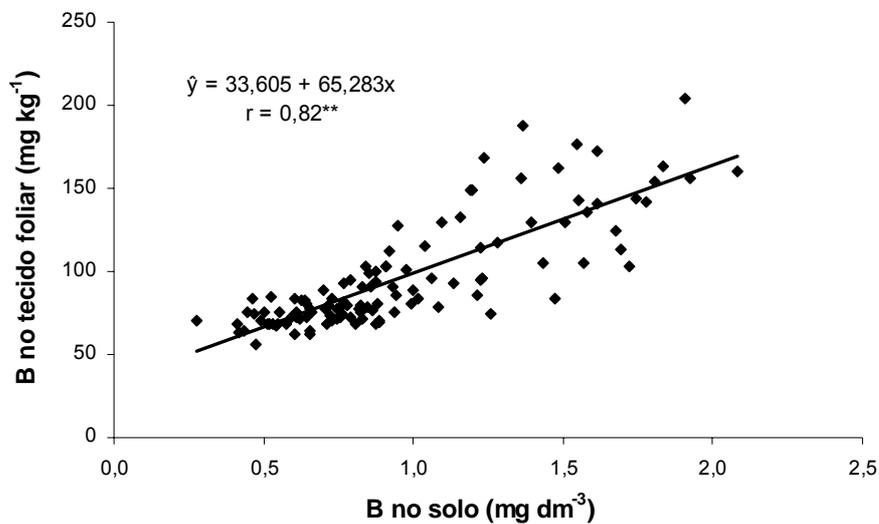


Figura 15. Ajustes obtidos entre o teor de B no solo e o teor de B absorvido pela planta de soja. UNIOESTE. Marechal Cândido Rondon, PR. 2008. (** significativo pelo teste F a 1% de probabilidade).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram concluir que:

- O desenvolvimento da parte aérea da cultura da soja, não é afetada em solo com umidade até a tensão de $-0,1$ MPa (65% da capacidade de campo).

- O conteúdo de água no solo até a tensão de $-0,1$ MPa não é um fator limitante para a absorção de B pela cultura da soja, em solo de textura média com teor inicial de $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$ de B.

- Sob tensão de água no solo de $-0,1$ MPa a adubação com doses de B de $0,25$ a 2 mg dm^{-3} como colemanita proporcionou menor perda água nas folhas de soja.

- Em Latossolo Vermelho eutroférico de textura média e com teor inicial de $0,4 \text{ mg dm}^{-3}$, a aplicação de 2 mg dm^{-3} de B afeta negativamente o desenvolvimento do sistema radicular.

- A dose de 1 mg dm^{-3} de B como colemanita em Latossolo Vermelho eutroférico de textura média implicou em maior massa seca de raízes e de volume radicular.

- O aumento da dose de B aplicada no solo proporcionou aumento no teor foliar desse nutriente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; ABREU, M. F.;RAIJ, B van; BATAGLIA, O.C.; ANGRADE, J.C. Extraction of boron from soil by microwave heating for ICP-AES determination. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, 1994. v.25, p. 3321-3333.

AGARWALA, S. C.; et. al. Development and enzymatic changes during pollen development in boron deficient maize plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 3, 1981. p.329-336.

AGARWALA, S.C.; SHARMA, C. P. **Recognizing micronutrient disorders of crop plants on the basis of visual symptoms and plant analysis**. Lucknow, Prem Printing Press, 1979. 72p.

AITKEN, R. L.; JEFFREY, A.J.; COMPTON, B. L. Evaluation of selected extractants for boron in some Queensland soils. **Aust. J. Soil Res.** v. 25, 1987.

ALVAREZ V., H.; NOVAIS, R.F.; BARROS, N.F.; CANTARUTTI, R.B.; LOPES, A.S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., H. (Eds.). **Recomendação para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa: CFSEMG, 1999. p. 25-32.

ANDRADE, S.G. **Efeito de lâminas de água e doses de boro na cultura do girassol**. Jaboticabal: FCAV/UNESP, 2000. 94p. (Tese Doutorado).

ANUÁRIO BRASILEIRO DE SOJA - 2006, Santa Cruz do Sul, p.136, 2006.

BALL, R.A.; OOSTERHUIS, D.M.; MAUROMOUSTAKOS, A. Growth dynamics of the cotton plant during water-deficit stress. **Agronomy Journal**, Madison, v.86, 1994. p. 788-795.

BARRS, H. D. Effect of cycle variations in gas exchange under constant environmental conditions on the ratio of transpiration to net photosynthesis. **Plant Physiology**. v. 21, p.918-29, 1968.

BATAGLIA, O.C. Análise química de plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Org.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 1991, p. 298-308.

BATAGLIA, O.C. Sistema de irrigação em vasos para experimentos de adubação. **Revista brasileira de ciências do solo**. 1989 v.13, p.81-86.

BATAGLIA, O.C.; RAIJ, B.van. Eficiência de extratores de micronutrientes na análise do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.14, p.25-31, 1990.

BERGER, K. C.; TRUOG, E. Boron deficiencies as revealed by plant and soil test. **Journal of the America Society of Agronomy**, Geneva, 1940. Cap.32, p.297-301.

BERGER, K.C.; TRUOG, E. Boron determination in soils and plants. **Industrial and Engineering Chemistry Analytical Edition**, Washington, 1939. v.11, p. 540-545.

BIÈVRE, P.D.; BARNES, I.L. Table of the isotopic composition of the elements as determined by mass spectrometry. **International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes**, Amsterdam, 1985. v.65, p. 211- 230.

BIGGAR, J.W.; FIREMAN, M. Boron adsorption and release by soils. **Soil Science Society of America Proceeding**, 1960. v.24, p.115-120.

BLOESCH, P.M.; BELL, L.C.; HUGHES, J.D.; **Australian Journal Soil Research** . 1987, p.377.

BOLOGNA, I.R.; VITTI, G.C. Produção e qualidade de frutos de laranjeira 'pêra' em função de Fontes e doses de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 328-330, 2006.

BONFIM-SILVA, E.M. **Níveis críticos de fósforo para Brachiaria brizantha (Hochst ex A. Rich.) Stapf. Cv. Marandu em solos de referência de Pernambuco**. Recife, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2002. 57p. (Tese de Mestrado)

BROWN, P.H.; HU, H. Phloem mobility of boron is species dependent: evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. **Annals. Botany**, 1996. v.77, p. 497-505.

BUZETTI, S.; MURAOKA, T.; SÁ, M.E. Doses de boro na soja, em diferentes condições de acidez do solo: I. Produção de matéria seca e de grãos e nível crítico no solo. **Revista Brasileira Ciências do Solo**, 1990. v.14, p.157-161.

BYERS, D.E.; MIKKELSEN, R.L.; COX, F.R. Greenhouse evaluation of four boron fertilizer material. **Journal of Plant Nutrition**. Monticello, 2001. v.24, n.4/5, p.717-725,.

CAKMAK, I.; KURZ, H; MARCHNER, H. Short-term effects of boron, germanium and high light intensity on membrane permeability in boron deficient leaves of sunflower. **Physiology Plantarum**, 1995. v.95, p.11-18.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. In Dell, B.; ROWN, P.H.; BELL, R.W. (eds.). **Boron in soil and plants: review**. Symposium, Chiang Mai, reprinted plant and soil, 1998. v.193, n.1-2, p.71-83.

CAMARGO, P.N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo, La Libreria/herba, 1975. 258p.

CHAVES, M.M. Effects of water deficits on carbon assimilation. **Journal of Experimental Botany**, 1991. v.42, p.1-16.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira**, Brasília: Conab, 2007.

CORREA, A. E.; PAVAN, M.A.; MIYAZAMA, M. Aplicação de boro na solo e resposta do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 1985. v.20, n.2, p177-181.

DALE, J.E. The Control of Leaf Expansion. **Annual Review in Plant Physiology**, 1988. v.39, 267-95.

DANTAS, J.P. Micronutriente no solo: boro. In: FERREIRA, M. E.; CRUZ, M.C.(Ed.) **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba: Associação **Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato**, 1991. cap 5, p.113-125.

DECHEN, A.R.; HAAG, H.P; CARMELLO, Q.A.C. Função dos micronutrientes nas plantas. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P. (Ed.). **Micronutrientes na agricultura**. Piracicaba : Potafos/CNPq, 1991. p.65-75.

DONALD, L. Nutrient deficiencies in cotton. In: Sprague, H.B., Ed. **Hunger sings in crops**. 3. Ed. New York, David McKay, 1964. p.59-98

EMBRAPA - Embrapa tecnologia de produção de soja região central do Brasil. 2004. Disponível em: <http://garoupa.cnpso.embrapa.br/producaosoja/sojanobrasil.htm./>> Acesso em 21 de Julho de 2007.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja (Londrina, PR). **Recomendações técnicas para cultura da soja no Paraná 1993/94**. Londrina: OCEPAR/EMBRAPA-CNPSO, 1993. 128p. (EMBRAPA-CNPSO. Documentos, 62)

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUIZ DE QUEIROZ. Centro de estudos avançados em economia. **Análise de custos e de tributos nas cinco regiões do Brasil suporte à tomada de decisão e à formulação política**. Parte 1 - Cálculo e análise dos custos de produção do biodiesel até a usina (PVU). Disponível em: <http://cepea,ESALQ.usp.br/biodiesel>. Acesso em: 20 de Julho de 2007

EVANS, L. J.; **Canadian Journal Soil Science**. 1987, p.67, 33.

FAGERIA, N. K. Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado. **R. Bras. Eng. Agr. Amb.**, v. 4, p.57-62, 2000.

FERREIRA, G. B.; FONTES, R. L. F.; FONTES, M. P. F.; ALVAREZ, V. H. Influência de algumas características do solo nos teores de boro disponível. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 91-101, 2001

FIOREZE, S.L. **Resposta da soja [Glycine Max (L.) Merrill] a imposição de déficit no início do florescimento**. Marechal Cândido Rondon, 2007. 55f. Monografia (Graduação Agronomia) –Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

FRANCOIS, L. E. Boron tolerance of snap bean cowpea. **Jounal. Am. Soc. Hortic.Sci.** , 1989. v.114, p.615-619.

FUNDAÇÃO MERIDIONAL, **Histórico, Cinco mil anos de história**. Disponível em: <http://www.fundacaomeridional.com.br/soja/historico.htm> Acessado 17 de julho de 2007.

FURLANI, A. M. C.; TANAKA, R. T.; TARALLO, M.; VERDIAL, M. F.; MASCARENHAS, H. A. A. Exigência a boro em cultivares de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 2001.v. 25, n. 4, p. 929-937.

GALRÃO, E.Z. Effect of micronutrients and liming on the yield of soybeans grown in a lowland meadow soil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, 1990. v. 14, n. 3, p. 381- 384.

GASCHO, G., ANDERSON, D.; BOWEN, J. E. . Sugarcane. In: BENNETT, W, F., ed . Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. Saint Paul, **APS Press/The American Phytopathological Society**, 1993. p.37-42.

GHANATI, F.; MORITA, A.; YOKOTA, H. Deposition of suberin in roots of soybean induced by excess boron. **Plant Science**, Shannon, v. 168, p. 397-405, 2005.

GOLDBERG, S.; FORSTER, H. S.; HEICK, E. L; **Soil Science Society of American Journal**. 1993, 57,704.

GOLDBERG, S.; GLAUBIG, R. A.; **Soil Science Society of American Journal**. 1985, v.49, p.1374

GOLDMANN, I.L.; CARTER, T.E. Jr., PATTERSON, R.P. A detrimental interaction of subsoil aluminum and drought stress on the leaf water status of soybean. **Agronomy Journal**, Madison, 1989. v.81, n.3, p.461-463.

GRAHAM, R.D.; WEBB, M.J. Micronutriets and desease resistance and tolerance in planta. In: MORTVEDTT, J.J.; COX, F.R.; SHUMAN, C.M.; WILCH, R.M. (Ed). Micronutriente in agriculture. Madison: **Soil Science society of America Book Service**, 1991. cap. 10, p. 329-370.

GRANT, R.F. Interaction between carbon dioxide and water deficits affedting canopy photosynthesis: simulation an testing. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1322-1328, 1992.

GRASSI FILHO, H. **Adições de cálcio e boro influenciando características ficológicas e composição foliar do limoeiro Siciliano enxertado sobre dois porta-enxertos**. Piracicaba, 1995. 77p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo.

GRASSI FILHO, H. **Níveis de cálcio e boro e suas interações, afetando o desenvolvimento do sistema radicular, a composição mineral e o vigor do limoeiro Cravo (*Citrus limonia* (L) OSBECK), em condições controladas**. Piracicaba, 1991. 92p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” Universidade de São Paulo.

GRASSI FILHO, H.; AMANO, F.Y.I.; SANTOS, C.H.; CAMPOS, A.J.; MARTINS, N.G.S. Níveis de boro no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro doce (*Passiflora alata*, Dryand), em solução nutritiva. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 24., 2000, Santa Maria. **Resumos...** Viçosa: SBCS, 2000. (CD-ROM).

GRIESHOP, C.M.; FAHEY JR., G.C. Comparison of quality characteristics of soybeans from Brazil, China and the United States. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v.49, n.5, p2669-2673,2001.

GUPTA, U. C. Relationship of total and hot water soluble boron, and fixation of added boron, to properties of podzol soil. **Soil Science Society of America Proceeding**, 1968. v.32, p.45-48.

GUPTA, U.C. Boron nutrition of crops. **Advances in Agronomy**, San Diego, v.31, p.373-377, 1979.

GUPTA, U.C. Deficiency and toxicity symptoms of boron in plants. In: GUPTA, U.C. ed. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton, CRC Press, 1993. 237p.

GUPTA, U.C.; JAME, Y.W.; CAMPBE, C. A. .; EYSON, A.J. & NICHOLAICHUK, W. Boron toxicity and deficiency: A review. **Canadian Journal Soil Science**. 1985. v.65, p.381-409.

GUPTA, U.C.Symptoms of molybdenum deficiency and toxicity in crops.In GUPTA, U.C., ed **Molybdenum in agriculture**. Cambridge, Cambridge University Press, 1997.p.160-170.

HADS, A. 7 HAGIN,J. Boron adsorption by soil as influenced by potassium. **Soil Science**, Baltimore, 1972. v.113, p. 189-193.

HOOGENBOOM, G.; HUCK, M.G.; PETERSON C.M. Root growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, Madison, 1987. v.79, p.697-614.

HORTENSTINE, C.C.; ASHLEY, D.A.; WEAR, J. I. An evaluation of slowly soluble boron materials. **Soil Science Society America Proceedings**, 1958. v.29, p.249-251.

HSIAO, T. C. Measurements of plants water status. In: **Irrigation of Agricultural Crops**. STEWART, B.A., NIELSEN, D.R. Am. Soc., Madison. P 244-279, 1990.

HSIAO, T.C. Plant response to water stress. **Annual Review of Plant Physiology**, 1973. v.24, p.519-570.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. Element of group III. In: _____. **Trace elements in soils and plants**. 1. Ed. Boca Raton: CRC Press, 1984. p.127-134.

KANO, T.; UOZUMI, S.; MACEDO, M.C.M. Avaliação de quatro espécies de Brachiaria submetidas ao estresse hídrico. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., Porto Alegre, 1999. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. p.79.

KELLING, C.R.S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro.** Santa Maria: UFSM, 1995. 91p. Dissertação Mestrado.

KEREN, R.; BINGHAM, F. T.; **Advence Soil Science.** 1985, v.1, p.229.

KIRK, G.J.; LONERAGAN, J.F. Functional boron requirement for leaf expansion and its use as a critical value for diagnosis of boron de efficiency in soybean. **Agronomy Journal**, Madison, v.80,p.758-762,1988.

LAWLOR, D.W.; UPRETY, D.C. **Efeitos do estresse hídrico na fotossíntese de plantas cultivadas e o mecanismo biológico.** Photosyntrhesis: photoreactions to plant productivity, p. 419-449, 1993.

LECOEUR, J.; SINCLAIR, R.T. Field pea transpiration and leaf growth in response to soil water deficits. **Crop Science**, Madison, v.36, p.331-335, 1996.

LENOBLE, M.E.; BLEVINS, DG.; MILES, R.J. Extra maintains roots growth under toxic aluminum conditions. **Better Crops**, Summer, 1993. p.3-5.

LEVITT, J. Responses of plants to environmental stress. **Water, radiation, salt and other stresses.** Academic press, New York, 2ª ed, v. 2, p. 25-92, 1980.

LIMA, J.C.P.S.; NASCIMENTO, C.W.A.; LIMA, J.G.C.; LIRA JUNIOR, M.A.A. Níveis críticos e tóxicos de boro em solos de Pernambuco determinados em casa de vegetação. **R. Bras. Ci. Solo**, v. 31, p. 73-79, 2007

MARSCHNER, H. Functions of mineral nutrients: silicon. In: MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** London: Academic Press, 1995. cap.9, p.313-404.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. London, **Academic Press**, 1986. p.674.

MATTOS, J.L.S.; GOMIDE, J.A.; MARTINEZ, HUAMAN, C.A.M. Crescimento de espécies do gênero Brachiaria, sob déficit hídrico, em casa de vegetação. **R. Bras. Zootec.**, v.34, n.3, p.746-754, 2005

MAVOLTA, E. Absorção e transporte de ions. In: FERRI, M. G. **Fisiologia Vegetal**. 2. ed. São Paulo: EPU, 1985. p 77-114.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997.

McCREE, K.J.; FERNÁNDEZ, C.J. Simulation model for studying physiological water stress responses of whole plants. **Crop Science**, Madison, v.29, p.353-360, 1989.

MENGEL, K.; KIRBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 2001. 687p.

MENGEL, K.; KIRBY, E.A. Boron. In: MENGEL, K.; KIRBY, E.A. **Principal of plant nutrition**. Bern: international Potash Institute, 1982. cap. 18, p.533-541.

McIVOR, J.G. Leaf growth and senescence in *Urochloa mosambicensis* and *U. oligotricha* in a seasonally dry tropical environment. **Australian Journal Agriculture Research**, v.35, p.177-187, 1984.

MONTANHEIRO, M.N.; SAITO, S.N.T.; REICHARDT, K.; LIBARDI, P.L. Controle de tensões de água no solo em vasos com feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 17. Manaus, 1979, **Anais...** Campinas: SBCS, 1979. p.68.

MORAGHAN, J.T.; MASCAGNI, H.J. Environmental and soil factors affecting micronutrient deficiencies and toxicities. In: MORTVEDT, J.J.; COX, F. R.; SHUMAN, C.M.; WILCH, R.M. (Ed.). **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America Book Services, 1991. Cap.11, p.371-425.

MORTVEDT, J.J. Needs for controlled-availability micronutrient fertilizers. **Fertilizer Research**, 1994. n.38, p.213-221.

MOZAFAR, A . Effect of boron on ear formation and yield components of two maize (*Zea mays* L.) hybrids. **Jornal Plant Nutrition**, 1987. v.10: 319-332.

MURPHY, L.S.; WALSH, L.M. Fertilizer applications for correcting micronutrient deficiencies. In: MORTVEDT, J.J.; GIORDANO, P.M.; INDSAY, W.L. **Micronutrients in agriculture**. Madison: Soil Science Society of America. 1972, cap 15, p.347-387.

NABLE, R.O.; BAÑUELOS, G.S.; PAULL, J.G. Boron toxicity. **Plant Soil**, 1997. v.193, p.181-198,.

NG, T.T.; WILSON, J.R.; LUDLOW, M.M. Influence of water stress on water relations and growth of a tropical (C4) grass, *Panicum maximum* var. *trichoglume*. **Australian Journal of Plant Physiology**, 1975. v.2, n.4, p.581-595,.

NOVAIS,R.F.;NEVES,J.C.L.; BARRO, N.F. Ensaio em ambiente controlado. In: OLIVEIRA, A.J.; GARRIDO, W.E.; ARAUJO, J.D.; LOURENÇO, S. **Método de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: EMBRAPA-SEA, 1991. p. 189 – 253.

OHLROGGE, A.J.; KAMPRATH, E.J. Fertilizer use on soybeans. In: NELSON, L.B.,ed. Changing patterns in fertilizer use. Madison, **Soil Science Society of America**, 1968. p.273-293.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. Influência dos fatores climáticos na produção. In: CASTRO, P.R.C.; FERREIRA, S.O.; YAMADA, T. **Ecofisiologia da produção agrícola**. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato, 1987. p.71-100.

PÁEZ, A.; GONZÁLES, M.E.; YRAUSQUÍN, O.X., et al. Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation. **Agronomy Journal**, Madison, 1995. v.87, p.698-706.

PARKS , W.L.; WHITE, J.L. Boron retention by clay humus systems saturated with various cations. **Soil Science Society of America Proceedings**, Madison, 1952. n.16, p.298-300,

PAVAN, M.A.; CORREA, A.E. Relação de equilíbrio solo-boro. **Pesquisa Agropecuária brasileira**, 1988. v.23, n.3, p.261-269.

PEAK, D.; LUTHER, G. W.; SPARKS, D. L.; ATR-FTIR spectroscopic studies of boric acid adsorption on hydrous ferric. **Geochim. Cosmochim. Acta** 2003. v.67, p.2551.

PEGORARO, R.F.; SANTOS NETO, J.A.; SILVA, I.R.; FONTES, R.L.F.; FARIA, A.F.; MOREIRA, F.F. Crescimento de soja em solos em resposta a doses de boro, calagem e textura do solo. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.32, n.4, p.1092-1098, 2008

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo**. Santa Maria, 1991. 106p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria.

PHILIPS, D. W.; SMITH, A.E. Soluble carbohydrates in soybean. **Canadian Journal Botanic**, 1974. n.52, p.2447-2452.

PIMENTEL, C.; ROSSIELO, R.O.P. Entendimento sobre relações hídricas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE ESTRESSE AMBIENTAL: O MILHO EM

PERSPECTIVA, 1995, Belo Horizonte, MG. **Anais...** EMBRAPA/CNPMS, 1995. v.1. p.131-146.

PIMENTEL, C.; SARR, B.; DIOUF, O.; ABOUD A. C. S.; ROY-MACAULEY, H. Tolerância protoplasmática foliar à seca, em dois genótipos de caupi cultivados em campo. **Revista Universidade Rural** - Série Ciências da Vida. 2002. v. 22, n. 1, p. 07-14.

PRADO, R.M.; NATALE, W.; ROZANE, D.E. Níveis críticos de boro no solo e na planta para cultivo de mudas de maracujazeiro-amarelo. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, 2006. v.28, n.2, p.305-309.

PRICE, C.A. et al. Functions of micronutrient in plant. In: MONTVEDT, J.J. et al. (eds). **Micronutrientes in agricultura; Zn, Fe, Mo, Cu, B, Mn**. Madison: Soil Science Society of America, 1972. p. 82-102.

RAMOS, S.J.; FAQUIN, V.; FERREIRA, R.M.A.; ARAÚJO, J.L.; CARVALHO, J.G. Crescimento e teores de boro em plantas de eucalipto (*Eucalyptus citriodora*) cultivadas em dois latossolos sob influência de doses de boro e disponibilidade de água. **Revista Árvore**, Viçosa, 2009. v.33, n.1, p.57-65.

RERKASEM, B., NETSANGTIP, R., BELL, R.W.; LONERAGAN, J.F.; HIRANBURANA, N. Comparative species responses to boron on a Typic Tropoqualf in northern Thailand. **Plant Soil**, 1988. v.106, p.15-21.

RERKASEM, B.; BELL, R.W.; LODKAEW, S.; LONERAGAN, J.F. Relationship of seed boron concentration to germination and growth of soybean (*Glycine max*). **Nutrient Cycling in Agroecosystems**, 1997. v.48, n.3, p.217-223.

RETROSPECTIVA, Estiagem reduz em 18,76% a produção de grãos no Paraná na safra 2004/2005. disponível em: <http://www.suino.com.br/retrospec2005/comunidades.asp?comunidade=graos&mes=maio>> Acesso dia 15/01/2007

RÖMHELD, V. Aspectos fisiológicos dos sintomas de deficiência e toxicidade de micronutrientes e elementos tóxicos em plantas superiores. In: FERREIRA, M.E.; CRUZ, M.C.P.; RAIJ, B. van.; ABREU, C.A. **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal, 2001. p.71-85.

ROSOLEM, C.A. **Produtividade máxima da soja**. Rondonópolis: Fundação MT, 2007. p.237-244. (Boletim de Pesquisa de Soja).

ROSOLEM, C.A.; ZANCANARO, L.; BÍSCARO, T. Boro disponível e resposta da soja em Latossolo Vermelho-Amarelo do Mato Grosso. **R. Bras. Ci. Solo**, v.32, p.2375-2383, 2008.

RUY, V.M. **Contribuição para o estudo do boro disponível em solos**. Piracicaba, 1986. 104p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade Estadual de São Paulo.

SHELP, B.J. Physiology and biochemistry of boron in plant. In: GUPTA, U.C. **Boron and its role in crop production**. Boca Raton: CRC Press, 1993. cap 4, p. 53-85.

SILVA, N.M.; CARVALHO, L.H.; CHIAVEGATO, E.J.; KONDO, J.I.; BATAGLIA, O.C.; HIROCE, R.; BORTOLETTO, N.; SABINO, J.C. Estudo regional da adubação boratada do algodoeiro no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.50, p.341-358,1991.

SIMS, J.R., F.T. BINGHAM. Retention of boron by layer silicates, sesquioxides and soil materials: I. Layer silicates. **Soil Science** . Soc. Am. Proc. 31:p 728-732,1967

SINGH, S. S. Boron Adsorption equilibrium in soils. **Soil Science**, v.98, p. 383-387, 1964.

SOUZA, E.C.A.; YASUDA, M. **Uso agrônômico do termofosfato no Brasil**. São Paoul: fertilizante Mitsui, 1995. 60p.

SRIVASTAVA, P.C.; GUPTA, U.C. **Trace elements in crop production**. Oxford &IBH Publishing Co., New Delhi. 1996.

TAIZ, L. ZEIGER, E. **Plant Physiology**. 2 ed. Sunderland Massachusetts. Sinaver Associates, 1998. 792p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; **Fisiologia Vegetal**. Trad. SANTARÉM, E. R. et. Al.. 3. ed. Porto alegre: Artmed, 2004, 719p.

TAIZ, L.; ZEIGER. **Plant Physiology**. California: The Benjamim/ Cummings Publishing Company, Inc., RedwoodCity, 1991.

TANAKA, R.T; MASCARENHAS, H.A.A.; BORKERT, C.M. Nutrição mineral da soja. In: SOUZA, P.I.M.; ARANTES, N.E. **Cultura da soja nos cerrados**. Piracicaba: Potafós, 1993. p.105-113.

TIDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. Micronutrients and beneficial elements in soil and fertilizers. In: TIDALE, S.L.; NELSON, W.L.; BEATON, J.D. (Ed). **Soil fertility and fertilizers**. New York: Macmillan,1985. cap.9, p.350-413.

TURNER, N.C., BEGG, J.E. Plant-water relations and adaptation to stress. *Plant Soil*, v.58, p.97-131, 1981.

TURNER, N.C. Adpatation to water deficits: A changing perspective. *Aust. J. Plant Physiol.* 13:175-190, 1986.

UFV. UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA. **Sistema para Análises Estatísticas e Genéticas – SAEG**. Versão 8.0. Viçosa: Ufv, 1999.

VAN LOO, E.N. Tillering, leag expansion and growth of plants of two cultivar s of perennial ryegrass grown using hydroponics at two water potential. **Annals of Botany**, v.70, n.6, p.511-518. 1992

WIKNER, B. Pretreatment of plant and soil samples. A problem in boron analysis: Part I. Plants. **Commun Soil Sciece Plant Anal**, 1986. p.1-25.

WOJEIK, P. Effect of boron fertilization on uptake and distribution os selected mineral nutrients in “Elstar” apple. **Journal of Fruit and Ornamental Plant Research**, v. 7, p. 119-131. 1999.

WUTSCHER, H. K.; SMITH, P..F. Citrus. In. BENNETT ,W.F. ed. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plant. Saint Paul, **APS Press/The American Phytopathological Society** , 1993. p.165-170.

YAMAUCHI, T.; HARA, T.; SONODA, Y. Effects of boron deficiencies and calcium supply on the calcium metabolism in tomato plant. **Plant and Soil**, 1986. v.93, p.223-231.

YANG, X.B.; TSCHANZ; A. T., DOWLER, W. M.; WANG, T.C. Development of yield loss models in relation to reductions of components of soybean infected with *Phakopsora pachyrhizi*. **Journal of Phytopathology**, Hamburg, 1991. v.81, n.11, p.420-426.

ANEXOS

Tabela 10A. Análise de variância para umidade gravimétrica do solo, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	2456.605			
TENSÃO (T)	2	1522.942	761.4708	117.83	0.0000**
** ERRO (A) **	9	58.16268	6.462520		
DOSE (D)	4	6.695069	1.673767	0.20	ns
FONTE (F)	1	7.903384	7.903384	0.95	ns
DOSE x FONTE	4	4.338835	1.084709	0.13	ns
DOSE x TENSÃO	8	103.5936	12.94920	1.55	0.1524ns
FONTE x TENSÃO	2	44.38524	22.19262	2.66	0.0760ns
D x F x T	8	32.95842	4.119803	0.49	ns
Resíduo	81	675.6258	8.341059		
Média Geral			12.569		
CV			22.979		

ns: não significativo, ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 11A. Análise de variância para conteúdo relativo de água na folha de soja aos 41 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	3732.963			
TENSÃO (T)	2	840.1005	420.0502	19.08	0.0000**
** ERRO (A) **	9	198.1441	22.01601		
DOSE (D)	4	64.94088	16.23522	0.74	ns
FONTE (F)	1	66.25855	66.25855	3.03	0.0854ns
DOSE x FONTE	4	15.45513	3.863784	0.18	ns
DOSE x TENSÃO	8	403.4611	50.43264	2.31	0.0277*
FONTE x TENSÃO	2	14.57920	7.289600	0.33	ns
D x F x T	8	360.9051	45.11314	2.07	0.0488*
Resíduo	81	1769.118	21.84096		
Média Geral			91.276		
CV			5.1201		

ns: não significativo, * significativo ao nível de 5% de probabilidade, ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 12A. Análise de variância para conteúdo relativo de água na folha de soja aos 42 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	8103.920			
TENSÃO (T)	2	2509.007	1254.504	28.92	0.0000**
** ERRO (A) **	9	390.4530	43.38367	1.01	0.4083
DOSE (D)	4	188.1654	47.04136		
FONTE (F)	1	25.94004	25.94004	0.56	ns
DOSE x FONTE	4	246.9086	61.72715	1.32	0.2685ns
DOSE x TENSÃO	8	421.8178	52.72723	1.13	0.3524ns
FONTE x TENSÃO	2	76.98439	38.49219	0.82	ns
D x F x T	8	464.8664	58.10830	1.25	0.2840ns
Resíduo	81	3779.777	46.66391		
Média Geral			90.207		
CV			7.5727		

ns: não significativo, ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 13A. Análise de variância para conteúdo relativo de água na folha de soja aos 43 dias após a semeadura, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	40349.93			
TENSÃO (T)	2	19422.62	9711.312	35.26	0.0000**
** ERRO (A) **	9	2478.535	275.3928		
DOSE (D)	4	1439.387	359.8467	2.08	0.0906ns
FONTE (F)	1	17.40075	17.40075	0.10	ns
DOSE x FONTE	4	244.6759	61.16898	0.35	ns
DOSE x TENSÃO	8	1824.620	228.0776	1.32	0.2454ns
FONTE x TENSÃO	2	167.8744	83.93722	0.49	ns
D x F x T	8	761.8428	95.23035	0.55	ns
Resíduo	81	13992.97	172.7527		
Média Geral			81.060		
CV			16.215		

ns: não significativo, ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 14A. Análise de variância para altura de planta, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	6670.22			
TENSÃO (T)	2	423.2010	211.6005	3.31	0.0415*
** ERRO (A) **	9	575.2922	63.92135		
DOSE (D)	4	258.2375	64.55938	1.21	0.3111ns
FONTE (F)	1	0.1880208	0.1880208	0.00	ns
DOSE x FONTE	4	415.6583	103.9146	1.96	0.1093ns
DOSE x TENSÃO	8	197.0281	24.62852	0.46	ns
FONTE x TENSÃO	2	76.35104	38.17552	0.72	ns
D x F x T	8	418.8573	52.35716	0.99	ns
Resíduo	81	4305.411	53.15322		
Média Geral			49.860		
CV			14.622		

ns: não significativo, * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 15A. Análise de variância para diâmetro de coleto, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	212.9576			
TENSÃO (T)	2	2.943878	1.471939	0.52	ns
** ERRO (A) **	9	25.34220	2.815800		
DOSE (D)	4	8.051947	2.012987	1.18	0.326ns
FONTE (F)	1	0.043130	0.043130	0.03	ns
DOSE x FONTE	4	13.02534	3.256336	1.91	0.117ns
DOSE x TENSÃO	8	10.64891	1.331114	0.78	ns
FONTE x TENSÃO	2	2.802225	1.401113	0.82	ns
D x F x T	8	11.71383	1.464229	0.86	ns
Resíduo	81	138.3862	1.708471		
Média Geral			6.4905		
CV			20.138		

ns: não significativo pelo teste F.

Tabela 16A. Análise de variância para número de folhas de soja, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	40207.40			
TENSÃO (T)	2	2256.004	1128.002	2.21	0.1164ns
** ERRO (A) **	9	4597.069	510.7854		
DOSE (D)	4	2817.033	704.2583	2.19	0.0776ns
FONTE (F)	1	51.35208	51.35208	0.16	ns
DOSE x FONTE	4	1548.950	387.2375	1.20	0.3160ns
DOSE x TENSÃO	8	1157.079	144.6349	0.45	ns
FONTE x TENSÃO	2	25.95417	12.97708	0.04	ns
D x F x T	8	1677.463	209.6828	0.65	ns
Resíduo	81	26076.49	321.9320		
Média Geral			56.721		
CV			31.633		

ns: não significativo pelo teste F.

Tabela 17A. Análise de variância para massa seca de folhas, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	871.8042			
TENSÃO (T)	2	27.77124	13.88562	1.04	0.3569ns
** ERRO (A) **	9	119.7440	13.30488		
DOSE (D)	4	21.90708	5.476771	0.75	ns
FONTE (F)	1	2.033099	2.033099	0.28	ns
DOSE x FONTE	4	34.25546	8.563865	1.18	0.3273ns
DOSE x TENSÃO	8	28.44963	3.556203	0.49	ns
FONTE x TENSÃO	2	4.953366	2.476683	0.34	ns
D x F x T	8	43.19346	5.399183	0.74	ns
Resíduo	81	589.4970	7.277740		
Média Geral			7.2725		
CV			37.095		

ns: não significativo pelo teste F.

Tabela 18A. Análise de variância para massa seca de hastes, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	892.2188			
TENSÃO (T)	2	4.562728	2.281364	0.16	ns
** ERRO (A) **	9	125.3812	13.93125		
DOSE (D)	4	14.34860	3.587150	0.48	ns
FONTE (F)	1	3.309709	3.309709	0.44	ns
DOSE x FONTE	4	40.81545	10.20386	1.37	0.2527ns
DOSE x TENSÃO	8	36.77868	4.597335	0.62	ns
FONTE x TENSÃO	2	7.394919	3.697459	0.50	ns
D x F x T	8	54.97887	6.872358	0.92	ns
Resíduo	81	604.6487	7.464798		
Média Geral			6.6042		
CV			41.370		

ns: não significativo pelo teste F.

Tabela 19A. Análise de variância para massa seca total da parte aérea, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	3444.398			
TENSÃO (T)	2	53.10721	26.55361	0.49	ns
** ERRO (A) **	9	484.4616	53.82907		
DOSE (D)	4	67.23026	16.80756	0.58	ns
FONTE (F)	1	10.53086	10.53086	0.36	ns
DOSE x FONTE	4	148.7546	37.18865	1.29	0.2814ns
DOSE x TENSÃO	8	127.8618	15.98272	0.55	ns
FONTE x TENSÃO	2	24.27531	12.13766	0.42	ns
D x F x T	8	190.5798	23.82247	0.83	ns
Resíduo	81	2337.597	28.85922		
Média Geral			13.877		
CV			38.713		

ns: não significativo pelo teste F.

Tabela 20A. Análise de variância para volume radicular, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	47206.99			
TENSÃO (T)	2	1582.217	791.1083	1.25	0.2906ns
** ERRO (A) **	9	5674.675	630.5194		
DOSE (D)	4	1508.117	377.0292	1.03	0.3989ns
FONTE (F)	1	31.00833	31.00833	0.08	ns
DOSE x FONTE	4	4219.617	1054.904	2.87	0.0281*
DOSE x TENSÃO	8	1925.283	240.6604	0.66	ns
FONTE x TENSÃO	2	59.11667	29.55833	0.08	ns
D x F x T	8	2446.883	305.8604	0.83	ns
Resíduo	81	29760.08	367.4083		
Média Geral			40.258		
CV			51.01		

ns: não significativo, * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 21A. Análise de variância para massa seca de raiz, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	344.323			
TENSÃO (T)	2	26.02273	13.01137	3.20	0.0459*
** ERRO (A) **	9	36.57646	4.064051		
DOSE (D)	4	7.336329	1.834082	0.73	ns
FONTE (F)	1	1.061825	1.061825	0.42	ns
DOSE x FONTE	4	27.59107	6.897768	2.74	0.0340*
DOSE x TENSÃO	8	17.19473	2.149342	0.85	ns
FONTE x TENSÃO	2	0.1392133	0.069606	0.03	ns
D x F x T	8	24.64135	3.080169	1.22	0.295ns
Resíduo	81	203.7596	2.515550		
Média Geral			40.258		
CV			47.612		

ns: não significativo, * significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 22A. Análise de variância para B no solo, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	19.14311			
TENSÃO (T)	2	0.3312331	0.1656165	5.39	0.0064**
** ERRO (A) **	9	0.2766858	0.0307428		
DOSE (D)	4	12.20546	3.051364	52.79	0.0000**
FONTE (F)	1	0.5495102	0.5495102	9.51	0.0283*
DOSE x FONTE	4	0.0308845	0.0077211	0.13	ns
DOSE x TENSÃO	8	0.1793244	0.0224155	0.39	ns
FONTE x TENSÃO	2	0.2706680	0.1353340	2.34	0.1027ns
D x F x T	8	0.6170819	0.0771352	1.33	0.2386ns
Resíduo	81	4.682264	0.0578057		
Média Geral			0.95088		
CV			25.285		

ns: não significativo, ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.

Tabela 23A. Análise de variância para B no tecido foliar de soja, em função dos níveis de tensão de água no solo e das fontes e doses de B aplicadas

Fontes de Variação	GL	SQ	QM	F	Significância
Total	119	140108.7			
TENSÃO (T)	2	2098.125	1049.063	6.84	0.0018**
** ERRO (A) **	9	1380.569	153.3965		
DOSE (D)	4	117872.1	29468.04	171.96	0.0000**
FONTE (F)	1	251.1925	251.1925	1.47	0.2295ns
DOSE x FONTE	4	279.6707	69.91767	0.41	ns
DOSE x TENSÃO	8	2044.803	255.6004	1.49	0.1732ns
FONTE x TENSÃO	2	556.3718	278.1859	1.62	0.2036ns
D x F x T	8	1744.817	218.1021	1.27	0.2693ns
Resíduo	81	13880.97	171.3701		
Média Geral			96.397		
CV			13.580		

ns: não significativo, ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste F.