**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Influência de diferentes doses de Fósforo e Potássio nos aspectos
morfológicos, fisiológicos e na produtividade de plantas de soja
tratadas com ácido 2,3,5 - triiodobenzóico**

Giovani Rossi

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

**Piracicaba
2010**

Giovani Rossi
Engenheiro Agrônomo

**Influência de diferentes doses de Fósforo e Potássio nos aspectos morfológicos,
fisiológicos e na produtividade de plantas de soja tratadas com ácido 2,3,5 -
triiodobenzóico**

Orientador:
Prof. Dr. PAULO ROBERTO DE CAMARGO E CASTRO

Dissertação apresentada para obtenção do título de
Mestre em Ciências. Área de concentração: Fisiologia e
Bioquímica de Plantas

**Piracicaba
2010**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP**

Rossi, Giovani

Influência de diferentes doses de Fósforo e Potássio nos aspectos morfológicos, fisiológicos e na produtividade de plantas de soja tratadas com ácido 2,3,5 - triiodobenzóico / Giovani Rossi. - Piracicaba, 2010.
106 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2010.
Bibliografia.

1. Fertilização 2. Fisiologia vegetal 3. Produção vegetal 4. Retardadores de crescimento vegetal 5. Soja I. Título

CDD 633.34
R831i

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

Aos meus pais Waldemar e Maria Célia (in memorian)...

Pelo amor, exemplo de vida, garra e determinação com os quais nos educaram. Espero recompensá-los por cada gota de suor e lágrima por nós derramada. Tudo que conquistar em minha vida será a vocês dedicados.

... e ao meu irmão Waldemar Junior (Juninho),...

Meu grande amigo, pelo amor e companheirismo a mim exteriorizado durante toda a minha existência. A você atribuo o primeiro e decisivo passo dessa “caminhada” a qual me faz hoje redigir esta dissertação. Continue sendo sempre esta pessoa amável que é. Espelho-me em ti.

...com todo o amor, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade de São Paulo e ao povo paulista, por manter com verba pública toda estrutura da Universidade, suas bibliotecas, serviço médico e odontológico, parque esportivo e restaurante universitário, entre outros, todos com ótima qualidade.

À todos os professores do Departamento de Agronomia da Universidade Estadual de Maringá que me incentivaram a cursar Pós-Graduação, em especial a Antonio Carlos A. Gonçalves, Cássio A. Tormena, Dauri J. Tessmann e Valdecir Dalpasquale, e ao pesquisador Gessi Ceccon, da Embrapa Agropecuária Oeste, meus amigos e pelos quais tenho profundo respeito e admiração.

À todos os funcionários desta instituição, em especial a Admir A. Campos, Antonio F. C. Amaral, Enio T. de Oliveira, Francisco X. Vitti, João, José A. Zandoval, José F. Rodrigues, Liliane C. L. Stipp, Romeu A. Rocha, Valentina F. de Martin e Vanderlei A. A. de Miranda, pelo apoio na realização de nossas atividades.

Aos professores da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, em especial Carlos T. S. Dias, Daniel S. de Moura, Francisco A. A. Mourão Filho, Helaine Carrer, José L. Favarin, Lázaro E. P. Peres, Luiz A. Gallo, Marcílio de Almeida, Marcos S. Bernardes, Murilo de Melo, Quirino A. C. Carmello, Ricardo A. Kluge e Ricardo F. de Oliveira, meus professores em disciplinas e colaboradores no trabalho realizado, pela contribuição para com a nossa formação pessoal e científica, minha eterna gratidão.

À família Righeto, pelo carinho, recepção e ajuda nas primeiras vindas à Piracicaba.

À Ricardo A. de Olinda, pelo imprescindível auxílio nas análises estatísticas.

À Silvia Blummer, pelo auxílio nas metodologias para as análises enzimáticas.

À todos do DVATCOM, em especial a Paula C. P. Sebastião, por toda colaboração, apoio e amizade.

À todos os funcionários da Biblioteca Central, em especial à Silvia M. Zinsly, pelo imprescindível auxílio na correção desta dissertação.

À Maria Solizete Granziol Silva e Luciane A. Lopes Toledo (secretárias dos Programas de Pós-Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas e em Produção Vegetal, respectivamente), pela amizade, carinho, dedicação e pelo exemplo de profissionalismo.

À todos os amigos do curso de Graduação e Pós-Graduação, em especial a Adilson N. da Silva, Anielca Soares, Eduardo Picelli, Fausto Andreas Ortiz, Francynês Macedo, Frederico A. de Jesus, Gabriel S. Daneluzzi, Geraldo F. F. e Silva, João Marcelo Silva, João Paulo Marques, Leonardo Soriano, Marcos Righeto, Mariana Ferraz, Rafael Bortolotto, Rafaella T. A. Felipe, Roberto de A. Camargo, Rogério Lorençon, Ronaldo Sakai, Rui Kamimura, Simone Tanaka, Tábata Bergonci e Tuane Oliveira, pelos momentos felizes que passei nesta Universidade.

Ao amigo Marcelo Rogalski, pela amizade e incentivo para a realização dos meus planos futuros.

Aos amigos Evandro Tambarussi, Gilvano E. Brondani, Ivan Sestari, Magda Andréia Tessmer, Marcelo Latarullo, Mateus A. Donegá, pela grande amizade, companheirismo, incentivo, apoio, ajuda e conselhos ao longo do mestrado.

Aos amigos e companheiros de laboratório George R. Lambais, Luciane de S. Mendes, Marcelo A. Pereira e Willian Macedo, por todos os momentos de ensinamento, companheirismo, auxílio e de alegria que compartilharam comigo.

Aos demais amigos e familiares, os quais sempre me apoiaram na busca de meus objetivos, em especial ao meu primo Paulo Daniel Burlim, o qual me proporcionou uma agradável companhia nesses últimos meses de mestrado, além de me acolher em sua morada.

Ao professor Dr. Paulo Roberto de Camargo e Castro, pela amizade, companheirismo, atenção, paciência, caráter, pelos conhecimentos transmitidos, bem como por acreditar em mim, aceitando-me como seu orientado no programa de Pós-Graduação. Agradeço-o também por todo o esforço realizado, propiciando a nós usufruirmos de um Departamento com estrutura sólida e de destaque nesta Instituição.

E finalmente a Deus, pelo dom da vida, pelo caminho que me destes, e pelos momentos em que apenas os passos de uma pessoa foram vistos na areia.

BIOGRAFIA

Giovani Rossi nasceu em 29 de maio de 1981, em Assis – SP. Obteve a formação em Técnico Agropecuário pelo Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza – CEETPS (unidade de Cândido Mota – SP), em dezembro de 1999. Graduiu-se Engenheiro Agrônomo pela Universidade Estadual de Maringá - UEM, Maringá – PR, em 17 de fevereiro de 2006. Participou do Programa de Educação Tutorial (PET – Agronomia) de janeiro de 2002 a dezembro de 2005, sendo bolsista Capes/Sesu e participando de vários projetos de extensão universitária. Participou de projetos de iniciação científica (CAPES/PIC) entre os anos de 2003 e 2005, atuando nas áreas de fertilidade de solos e nutrição mineral de plantas. Foi vice – presidente do Centro Acadêmico de Agronomia da UEM, em 2005. Participou do intercâmbio internacional no Minnesota Agriculture Student Training Program - MAST INTERNATIONAL – University of Minnesota, Saint Paul, MN, EUA, entre maio de 2006 e novembro de 2007, trabalhando no setor de pesquisa e desenvolvimento da empresa Betaseed Inc., Shakopee, MN, EUA, além de cursar 4 disciplinas na University of Minnesota. Ingressou no curso de mestrado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas pela Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo (ESALQ/USP) em agosto de 2008, ocupando a posição de vice – representante discente do referido programa no ano de 2009. Co-autor de um livro e responsável pela publicação de 25 trabalhos em Congressos e Reuniões Científicas. Participou de 19 eventos científicos. Tem experiência na área de Agronomia, com ênfase em Fisiologia de Plantas Cultivadas.

*“A vida se contrai e se expande
proporcionalmente à coragem do indivíduo”.
(autor desconhecido).*

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT	15
LISTA DE FIGURAS	17
1 INTRODUÇÃO	23
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	43
3.1 Experimento A.....	43
3.1.1 Avaliações realizadas.....	45
3.1.1.1 Altura e clorofila total	45
3.1.1.2 Número de ramificações.....	46
3.1.1.3 Vagens e grãos	46
3.1.1.4 Massa seca de raiz.....	46
3.2 Experimento B.....	47
3.2.1 Avaliações realizadas.....	48
3.2.1.1 Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX)	48
3.2.1.2 Atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPX)	49
3.2.1.3 Atividade da enzima nitrato redutase (NR)	49
3.2.1.4 Atividade da enzima fenilalanina amonia liase (PAL)	51
3.2.1.5 Concentração de proteína total solúvel (PTS)	52
3.3 Procedimentos estatísticos.....	53
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
4.1 Características morfológicas	55
4.1.1 Altura	55
4.1.2 Ramificações	59
4.1.3 Massa seca de raiz	63
4.2 Parâmetros fisiológicos	66
4.2.1 Valor SPAD (clorofilas).....	66
4.2.2 Enzimas.....	71
4.2.2.1 Ascorbato peroxidase (APX)	72

4.2.2.2 Guaiacol peroxidase (GPX)	74
4.2.2.3 Nitrato redutase (NR)	76
4.2.2.4 Fenilalanina amonia liase (PAL)	77
4.2.3 Proteína total solúvel (PTS)	79
4.3 Parâmetros produtivos	81
4.3.1 Número de vagens	81
4.3.2 Número de grãos	84
4.3.3 Massa de grãos	88
4.3.4 Massa de 100 grãos	91
5 CONCLUSÕES	95
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	97
REFERÊNCIAS	99

RESUMO

Influência de diferentes doses de Fósforo e Potássio nos aspectos morfológicos, fisiológicos e na produtividade de plantas de soja tratadas com ácido 2,3,5 – triiodobenzóico

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência de diferentes relações de fósforo (P) e potássio (K) nos aspectos morfológicos, fisiológicos, e nos parâmetros produtivos de plantas de soja tratadas com o retardador de crescimento TIBA, através da análise das variáveis altura, número de ramificações (primárias, secundárias e total), massa seca de raiz, valor SPAD (clorofilas), atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), nitrato redutase (NR), fenilalanina amoníase (PAL), concentração de proteína total solúvel (PTS), assim como do número de vagens e grãos, massa de grãos e massa média de 100 grãos (referentes a haste, ramificações e total). Foram conduzidos dois experimentos em casa de vegetação, em sistema hidropônico (vasos plásticos contendo areia lavada, com adição de soluções nutritivas modificadas de Hoagland). Utilizou-se o cultivar BRS 255RR, através do delineamento casualizado em blocos, em esquema fatorial 2 x 4, constituído por 2 níveis de TIBA (0 e 30 mg L⁻¹) e 4 relações dos nutrientes P e K (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 vezes o teor desses nutrientes na solução original de Hoagland). Para as variáveis altura, valor SPAD, atividade enzimática e concentração de PTS, considerou-se a adição do fator tempo em nível de sub-parcela. A unidade experimental foi constituída por um vaso de polietileno, com duas plantas de soja. A aplicação do TIBA foi realizada via pulverização foliar, no estágio “V5”, enquanto que o fornecimento das soluções nutritivas teve início a partir do 4º dia após a emergência. O TIBA promoveu a redução da altura final das plantas e da massa seca de raiz, além de promover o incremento do valor SPAD no período de transição entre as fases vegetativa e reprodutiva. Esse retardador não exerce efeito sobre os valores totais das variáveis número de vagens e grãos, massa de grãos e massa média de 100 grãos, porém, apresenta efeito sobre alguns de seus constituintes (aumento no número de ramificações secundárias e diminuição no número de vagens e grãos e massa de grãos das ramificações). A relação de P e K igual a 2,0 afeta negativamente a maior parte das variáveis e alguns de seus constituintes (altura, massa seca de raiz, número de ramificações primárias e total, número total de vagens e grãos, número de grãos da haste, massa de grãos da haste e total), enquanto que a relação de 1,5 afeta o número de vagens das ramificações e a massa média total de 100 grãos, respectivamente.

Palavras-chave: TIBA; *Glycine max*; Fertilização; Morfofisiologia; Produção

ABSTRACT

Influence of different doses of Phosphorus and Potassium on morphological, physiological and yield of soybean plants treated with 2,3,5 – triiodobenzoic acid

This study aimed to evaluate the influence of different ratios of phosphorus (P) and potassium (K) in morphological, physiological and productive performance of soybean plants treated with growth retardant TIBA, through the analysis of height, number of branches (primary, secondary and total), root dry weight, SPAD (chlorophyll) value, enzymatic activity of ascorbate peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), nitrate reductase (NR), phenylalanine ammonia lyase (PAL), concentration of total soluble protein (TSP), as well as the number of pods and grains, weight of grains and average weight of 100 grains (refer to stem, branches and total). Two experiments were conducted under greenhouse conditions in a hydroponic system (plastic pots containing washed sand, with the addition of modified Hoagland nutrient solution). Were used the cultivar BRS 255RR, by randomized block design, in a factorial 2 x 4, consisting of two levels of TIBA (0 and 30 mg L⁻¹) and 4 ratios of P and K (0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 times the content of these nutrients in the original Hoagland solution). For the variables height, SPAD value, activity and concentration of TSP, it was considered the addition of time as a factor for sub-plot. The experimental unit consisted of a polyethylene pot with two soybean plants. The application of TIBA was performed by foliar sprays at the developmental stage "V5", while supplying the nutrient solution started from the 4th day after emergence. TIBA caused a reduction of plant height and dry mass of roots, and promote increased SPAD values during the transition between vegetative and reproductive phases. This retardant did not affect the total values of number of pods and grains, grain weight and average weight of 100 grains, however, it showed effects on some of their constituents (increase in the number of secondary branches and a decrease in the number of pods and grains, and grain weight of the branches). The ratio of P and K equal to 2.0 adversely affects in most of the variables and some of their constituents (height, root dry weight, number of primary branches and total number of pods and grains, grain number from stem, grain weight from stem and total weight), while the ratio of 1.5 affects the number of pods from branches and total average weight of 100 grains, respectively.

Keywords: TIBA; *Glycine max*; Fertilization; Morphophysiology; Production

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Altura média de plantas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA e de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland. A: relação TIBA x tempo; B: relação de P e K x tempo; e C: relação TIBA x relação de P e K57
- Figura 2 - Número de ramificações de plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland. A: número de ramificações primárias; B: número de ramificações secundárias; e C: número total de ramificações.....61
- Figura 3 - Massa seca de raízes de plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland65
- Figura 4 - Valor SPAD de plantas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K.....68
- Figura 5 - Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K73
- Figura 6 - Atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPX) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K75
- Figura 7 - Atividade da enzima nitrato redutase (NR) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K.....76

- Figura 8 - Atividade da enzima fenilalanina amônia liase (PAL) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K 78
- Figura 9 - Concentração de proteína total solúvel (PTS) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K 80
- Figura 10 - Número de vagens nas plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: número de vagens da haste; B: número de vagens das ramificações; e C: número total de vagens 83
- Figura 11 - Número de grãos nas plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: número de grãos da haste; B: número de grãos das ramificações; e C: número total de grãos 87
- Figura 12 - Massa de grãos nas plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: massa de grãos da haste; B: massa de grãos das ramificações; e C: massa total de grãos 90
- Figura 13 - Massa de 100 grãos, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: massa de 100 grãos da haste; B: massa de 100 grãos das ramificações; e C: massa média total de 100 grãos 93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Teores de macronutrientes (mM) e micronutrientes (mg L ⁻¹), adaptado de Hoagland e Arnon (1950) e modificada para testar o efeito nutricional de quatro doses Fósforo (P) e Potássio (K) sobre o desenvolvimento de plantas de soja.....	44
Tabela 2 - Composição química das soluções nutritivas, adaptado de Hoagland e Arnon (1950) e modificada para testar o efeito nutricional de quatro doses Fósforo (P) e potássio (K) sobre o desenvolvimento de plantas de soja.....	44
Tabela 3 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para a da variável altura (ALT)	55
Tabela 4 - Desdobramento da variável altura para os níveis dos fatores TIBA (mg L ⁻¹) e nutriente (relação entre a concentração de P e K utilizada e a concentração padrão de Hoagland), em função do tempo (dias após a emergência – DAE)..	56
Tabela 5 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis número de ramificações primárias (NRP), número de ramificações secundárias (NRS) e número total de ramificações (NTR).....	59
Tabela 6 - Teste de comparação de médias para as variáveis número de ramificações primárias (NRP), número de ramificações secundárias (NRS) e número total de ramificações NTR), para os níveis dos fatores TIBA (mg L ⁻¹) e nutriente (relação da concentração de P e K sobre a concentração padrão de Hoagland).....	60
Tabela 7 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para a variável massa seca de raiz (MSR).....	64
Tabela 8 - Teste de comparação de médias para a variável massa seca de raiz (MSR), para os níveis dos fatores TIBA (mg L ⁻¹) e nutriente (relação da concentração de P e K sobre a concentração padrão de Hoagland).....	64
Tabela 9 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para a variável SPAD.	66

Tabela 10 - Desdobramento da variável SPAD para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (relação entre a concentração de P e K utilizada e a concentração padrão de Hoagland), em função do tempo (dias após a emergência – DAE)	67
Tabela 11 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), nitrato redutase (NR), fenilalanina amônia liase (PAL) e de proteína total solúvel (PTS).....	71
Tabela 12 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis número de vagens da haste (NVH), número de vagens das ramificações (NVR) e número total de vagens (NTV)	81
Tabela 13 - Teste de comparação de médias para as variáveis número de vagens da haste (NVH), número de vagens das ramificações (NVR) e número total de vagens (NTV), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland).....	82
Tabela 14 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis número de grãos da haste (NGH), número de grãos das ramificações (NGR) e número total de grãos (NTG).....	85
Tabela 15 - Desdobramento da variável número de grãos da haste (NGH), e teste de comparação de médias para as variáveis número de grãos das ramificações (NGR) e número total de grãos (NTG), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland)	86
Tabela 16 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis massa de grãos da haste (MGH), massa de grãos das ramificações (MGR) e massa total de grãos (MTG)	88
Tabela 17 - Teste de comparação de médias para a massa de grãos da haste (MGH), massa de grãos das ramificações (MGR) e massa total de grãos (MTG), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland)	89

Tabela 18 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis massa de 100 grãos da haste (MCGH), massa de 100 grãos das ramificações (MCGR) e massa média total de 100 grãos (MMTCG)	91
Tabela 19 - Desdobramento das variáveis massa de 100 grãos da haste (MCGH) e massa de 100 grãos das ramificações (MCGR), e teste de comparação de médias para a massa média total de 100 grãos (MMTCG), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland)	92

1 INTRODUÇÃO

A soja contribui consideravelmente com a economia brasileira, através do alto valor financeiro que movimenta internamente ao longo das cadeias de produção, processamento e industrialização, do valor arrecadado anualmente com sua exportação, bem como pelo número de empregos gerados. Entretanto, o incremento na produtividade da cultura da soja torna-se menos expressivo a cada ano, e em sua maioria, proveniente de pesquisas com custos elevados, acarretando um aumento de lucratividade pouco significativo para os integrantes da base da cadeia produtiva.

A utilização de biorreguladores na cultura da soja pode ser uma prática viável para o incremento da lucratividade, porém, esta prática tem sido pouco explorada no Brasil. Existe atualmente no mercado brasileiro apenas um produto recomendado pela Embrapa (EMBRAPA, 2008), o qual é responsável por efeitos benéficos consideráveis durante todo o ciclo da planta, culminando com o acréscimo no número e massa seca de grãos (CASTRO et al., 2009).

O ácido 2,3,5 – triiodobenzóico (TIBA) é um biorregulador (pertencente ao grupo dos retardadores) o qual foi bastante estudado nos Estados Unidos a partir da década de 1940 (GALSTON, 1947), tendo participado do sistema produtivo da soja (OHKI; MCBRIDE, 1972b). Entre as alterações ocasionadas pela sua utilização, destacou-se a redução da altura das plantas, e conseqüentemente, menores perdas oriundas por acamamento. Além disso, constatou-se aumento no número de vagens e grãos, alterando em alguns casos a produtividade (positivamente ou não). O não aumento de produtividade em plantas apresentando maior número de vagens e grãos pode estar relacionado à ocorrência de problemas de ordem nutricional (BURTON; CURLEY, 1966).

A maior parte das variedades de soja utilizadas nos experimentos com TIBA apresentava características diferentes das atualmente cultivadas nos Estados Unidos (como hábito de crescimento e porte). Além disso, todas as variedades já foram substituídas a décadas pelos programas de melhoramento genético, assim, não há informações sobre os efeitos do TIBA nas variedades de soja atualmente cultivadas no Brasil, bem como nas condições de clima e solo típicas das regiões produtoras.

Todavia, o acamamento por chuva e vento tem se constituído em um dos fatores mais limitantes da produtividade da soja no Brasil. Tampouco existem informações sobre possíveis interações entre nutrientes e o TIBA na atividade enzimática de algumas rotas importantes do metabolismo celular das plantas, além de sua influência em outros fatores morfo – fisiológicos, como no teor de clorofilas e crescimento das raízes.

Uma vez confirmada a correlação entre disponibilidade de nutrientes e TIBA, a quantidade de fertilizantes utilizada para cada unidade de produção poderia ser alterada em função da utilização do TIBA, proporcionando condições para a obtenção de maiores produtividades ou outra característica desejável, como redução da altura.

Tendo em vista a possibilidade de utilização do TIBA em benefício do sistema de produção desta oleaginosa, o presente trabalho foi desenvolvido, buscando-se avaliar a influência de diferentes relações de fósforo (P) e potássio (K) nos aspectos morfológicos, fisiológicos, e nos parâmetros produtivos de plantas de soja tratadas com TIBA, a fim de se obter um amplo número de informações, até então escassas, buscando-se o entendimento de sua ação em diferentes condições de disponibilidade dos referidos nutrientes no solo, subsidiando pesquisas posteriores para o completo domínio desta tecnologia para o aumento produtivo da cultura.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O agronegócio no Brasil representa, de acordo com dados do Ministério da Agricultura, 33% do produto interno bruto (PIB) brasileiro, contribuindo com 42% das exportações e sendo responsável por 37% dos empregos do país. Dentre os diversos produtos agrícolas exportados, a soja apresenta a maior contribuição em termos financeiros, com um montante de US\$ 18 bilhões exportados no ano de 2008.

Segundo estimativas da Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), a área brasileira ocupada pela cultura da soja na safra agrícola 2009/2010 foi de aproximadamente 23,5 milhões de hectares (7,89% da área total atualmente explorada), com produtividade média de 2.927 kg por hectare e produção total de cerca de 68,69 milhões de toneladas (26,43% da produção mundial). De acordo os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o Brasil ocupa atualmente o 2º lugar no ranking da produção mundial, atrás dos Estados Unidos (91,42 milhões de toneladas).

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill), é uma planta autógama, herbácea, anual, com caule ereto, podendo ser muito ou pouco ramificado (SEDIYAMA et al., 1996). Pode apresentar hábito de crescimento determinado, semideterminado ou indeterminado, altura entre 0,3 m e 2,0 m e ciclo variando de 80 a 200 dias, aproximadamente (dependendo da variedade e das condições ambientais).

Segundo o mesmo autor, a soja apresenta três tipos de folhas (cotiledonares, unifolioladas e trifolioladas), inflorescência racemosa (8 a 40 flores por racemo) com flores completas e de coloração branca ou roxa, na maioria das variedades. Seus frutos são do tipo vagem, contendo entre uma e quatro sementes cada (normalmente de duas a três). As sementes apresentam forma variável, sendo geralmente ovaladas. Possui sistema radicular axial fasciculado, com a presença de nódulos nas raízes mais finas (resultado da simbiose com bactérias da espécie *Rhizobium japonicum*, fixadoras de nitrogênio atmosférico em plantas).

A soja é originária da Ásia, mais provavelmente do nordeste da China (antiga Manchúria). Ela foi introduzida inicialmente nos Estados Unidos, onde adquiriu

importância econômica após o ano de 1950. No Brasil, a soja tornou-se cultivada de maneira extensiva após o ano de 1970 (HIROMOTO; VELLO, 1986).

A soja é sensível ao fotoperíodo (planta de dia curto), apresentando melhor adaptação às regiões com temperaturas oscilando entre 20 e 30 °C, sendo que a temperatura ideal para a sua emergência e desenvolvimento está ao redor de 25 e 30 °C, respectivamente (EMBRAPA, 2007).

Com relação a necessidade hídrica, a semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de sua massa em água, para assegurar boa germinação. Durante o ciclo da cultura, a necessidade total de água varia entre 450 mm a 800 mm (dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo), sendo a fase de floração e enchimento de grãos a mais crítica (necessidade de 7 mm a 8 mm dia⁻¹), decrescendo após esse período.

De acordo com Wax e Pendleton (1968), aumentos expressivos na produtividade da soja no futuro não serão possíveis utilizando um único tratamento ou prática cultural, mas uma combinação de fatores, cada qual contribuindo adequadamente para um melhor sistema produtivo. Vários são os fatores envolvidos neste processo, interferindo no funcionamento fisiológico da planta. Alguns destes fatores podem ser controlados pela utilização dos biorreguladores vegetais.

Segundo Castro et al. (2009), biorregulador é um composto orgânico, não nutriente, aplicado na planta, que a baixas concentrações, promove, inibe ou modifica processos morfológicos e fisiológicos do vegetal. Pertencem ao grupo das auxinas, giberelinas, citocininas, retardadores, inibidores e etileno. Além desses grupos clássicos, têm-se aventado os grupos dos brassinosteróides, jasmonatos, salicilatos e poliaminas, com efeitos similares aos dos biorreguladores.

Entre as diversas substâncias de ação biorreguladora atualmente conhecidas, o ácido 2,3,5 – triiodobenzóico (TIBA) apresenta um enorme potencial de utilização na soja, em função da resposta morfo-fisiológica das plantas à sua utilização, podendo proporcionar benefícios diretos e indiretos ao sistema produtivo.

O TIBA é um retardador (inibidor do transporte polar do hormônio auxina), o qual foi desenvolvido nos Estados Unidos para uso agrônômico na cultura da soja (OHKI; MCBRIDE, 1973), sendo um dos componentes do sistema produtivo para aumentar a

produtividade (OHKI; MCBRIDE, 1972b) além de reduzir o acamamento das plantas (HICKS; CARDELL, 1970 apud KROLL; MOORE, 1981).

Estudos envolvendo a ação do TIBA sobre as plantas de soja são relatados há pelo menos 7 décadas. Em 1947, o periódico “American Journal of Botany” publicou um trabalho do pesquisador A. W. Galston, o qual buscava obter informações mais detalhadas sobre os mecanismos responsáveis pela transformação de gemas vegetativas em florais e a identificação da substância responsável pelo desencadeamento deste processo. Em seu trabalho, Galston desenvolveu alguns experimentos com TIBA em soja, baseados em resultados previamente obtidos por Zimmerman e Hitchcock (1942 apud GALSTON, 1947) em plantas de tomateiro.

Os resultados demonstraram que TIBA não apresentava propriedades “florígenas”, pela não indução floral em plantas durante o estágio vegetativo, entretanto, TIBA acentuou a floração em plantas previamente induzidas pelo fotoperíodo (GALSTON, 1947). O autor também observou mudanças morfológicas acentuadas (encurtamento de entrenós, perda de dominância apical, epinastia de folhas jovens e abscisão prematura de folhas e gemas apicais), o que o levou a sugerir que o TIBA interagiu de forma antagônica com a auxina, diminuindo e até neutralizando seus efeitos nas plantas. Estas alterações parecem ser o principal resultado de sua ação, variando em intensidade em função da idade da planta e entre cultivares de uma mesma espécie (SANTANNA et al., 1970), além da concentração utilizada.

Kroll e Moore (1981), ao analisarem cortes transversais do caule de soja tratada com TIBA, constataram a ausência de elementos de vaso em um pequeno segmento anelar do córtex, formado logo após a aplicação do produto, relacionando esta alteração anatômica à redução da colonização da planta por *Macrophomina phaseolina*. Folhas de soja desenvolvidas após a aplicação do TIBA apresentaram considerável proliferação de feixes vasculares, atividade contínua do procâmbio, desorganização dos tecidos do mesófilo, redução do tamanho das células e freqüente presença de folhas tetrafolioladas, com pecíolos mais longos, retorcidos, e em alguns casos, com tecidos mostrando anormalidades (GHORASHY; COLVILLE; ASHWORTH, 1969).

Observações realizadas em plantas de soja pulverizadas com TIBA em condições de campo, mostraram a presença de folhas menores e coloração verde mais

acentuada, quando desenvolvidas após a aplicação (início do florescimento), além de pecíolos menores (GREER; ANDERSON, 1965). As folhas da parte superior apresentaram orientação mais vertical, além da planta iniciar uma mudança em sua arquitetura vegetativa duas semanas após a aplicação, tornando-se mais cônica, com um incremento no número de ramificações laterais, comparativamente ao controle (GREER; ANDERSON, 1965; BURTON; CURLEY, 1966; GHORASHY; COLVILLE; ASHWORTH, 1969; OHKI; MCBRIDE, 1972a).

Adicionalmente aos outros trabalhos, Hicks, Pendleton e Scott (1967) verificaram a influência do TIBA na área foliar e no número de entrenós por planta. A área foliar foi reduzida em 20%, enquanto que o número de entrenós não foi afetado significativamente. Assim, os autores constataram que a redução da altura das plantas em 33% ocorreu devido ao encurtamento dos entrenós, o mesmo proposto por Johnson e Anderson (1974). O caule de plantas tratadas com TIBA também apresentou maior diâmetro.

Segundo Hatley (1967 apud CLAPP JUNIOR, 1973), decréscimos na produtividade podem ocorrer quando a altura das plantas é reduzida a taxas superiores a 10% – 15%. Este mesmo autor obteve aumento de massa de grãos na ordem de 7,0% a 9,8% e redução da altura final entre 7,7% e 8,7%, quando o retardador foi aplicado entre os estádios vegetativos V5 e V7 (em variedade com hábito de crescimento determinado). Em espaçamento entre linhas reduzido, ocorreu aumento da massa de grãos em 6,5%, com redução de 18,0% na altura das plantas (WAX; PENDLETON, 1968).

Aplicações do retardador no estágio “V5” foram também realizadas por Burton e Curley (1966), com aumento no número de vagens (4% a 15%) e redução da altura da planta em 16%, além de não ter sido constatado diferenças na nodulação das raízes e sobre a fixação biológica de nitrogênio. Entretanto, as plantas tratadas com TIBA apresentaram aumento na produtividade com um aporte de nitrogênio cerca de 75 dias após a semeadura. Cato e Castro (2006), avaliando diferentes dosagens de TIBA aplicados no mesmo estágio de desenvolvimento, não encontraram diferenças significativas entre as variáveis número e massa de grãos e vagens, e massa de 100 grãos.

Rezende et al. (1981), utilizando uma combinação de TIBA + Ethrel, citam ter obtido maior produção de grãos, ao passo que TIBA + 2,4-D não apresentou características desejáveis para utilização, em função da expressiva interação entre estes com o ambiente e diferentes cultivares (JOHNSON; ANDERSON, 1974).

Apenas parte dos trabalhos revisados faz menção à avaliação do efeito do retardador sobre o acamamento, um importante problema em nosso sistema de produção, podendo acarretar prejuízos de até 76%. Burton e Curley (1966) e Hicks, Pendleton e Scott (1967), observaram reduções significativas no acamamento de plantas de soja, quando da aplicação do TIBA. O segundo trabalho considera também que o maior diâmetro do caule atua em conjunto com o menor porte das plantas, na redução do acamamento. Clapp Junior (1973) não encontrou diferenças significativas entre a aplicação do TIBA e redução do acamamento (utilizando variedade com hábito de crescimento determinado). Entretanto, ramificações primárias de plantas pulverizadas com TIBA entre os estádios fenológicos V2 e V7 apresentaram crescimento expressivo, a ponto de ocorrer acamamento (GREER; ANDERSON, 1965). Os demais trabalhos mencionam a possibilidade de que a diminuição da altura das plantas pode agir positivamente na redução da taxa de acamamento da soja.

Greer e Anderson (1965) observaram que as plantas de soja apresentaram aumento da matéria seca total, para todas as doses de TIBA utilizadas (0, 10, 20 e 40 mg L⁻¹, em cada uma das três aplicações), onde parte deste aumento refere-se às estruturas reprodutivas das plantas. Estes autores sugerem que a orientação mais vertical das folhas proporciona uma melhor eficiência na utilização da energia solar para a fotossíntese, em função da menor taxa de sombreamento das folhas localizadas nas partes inferiores da planta, e aliado a isto, a arquitetura cônica, fato que pode estar relacionado com a maior longevidade das folhas, mantendo a coloração verde.

Baseados nas observações de Greer e Anderson (1965) sobre a mudança prematura do estágio vegetativo para o reprodutivo em plantas tratadas com TIBA, Tanner e Ahmed (1974) propuseram a teoria de que o TIBA altera a distribuição de fotoassimilados, reduzindo a velocidade do desenvolvimento vegetativo, e promovendo o crescimento reprodutivo, explicando assim a maior retenção de vagens.

Existem várias informações acerca dos mecanismos da atividade regulatória do TIBA em plantas. Skoog e Malan (1942 apud SANTANNA et al. 1970), postularam a ocorrência de ação competitiva entre o ácido indolilacético (uma auxina) e TIBA pela mesma proteína carreadora. Ghorashy, Colville e Ashworth (1969) citaram o efeito da interferência na distribuição auxínica pelo mecanismo de transporte polar, enquanto Ohki e McBride (1972a) se referiram à interferência no transporte basípeto da auxina.

A translocação do TIBA na planta é realizada rapidamente, encontrando-se traços em raízes logo após a aplicação (SANTANNA et al., 1970), e em atividade nos meristemas laterais, folhas novas e locais de alta atividade de crescimento (OHKI; MCBRIDE, 1973). Segundo Santanna et al. (1970), folhas velhas apresentam uma pronunciada e exponencial perda de atividade resultante do TIBA, quando comparadas às outras partes da planta, em função da translocação para folhas novas em desenvolvimento. As raízes parecem exercer apenas a função de excreção do produto, não o acumulando em altos níveis.

Quanto a influência do TIBA sobre os aspectos bioquímicos, Wax e Pendleton (1968) não detectaram alterações significativas para os teores de óleo e proteína das sementes, enquanto Hicks, Pendleton e Scott (1967), observaram um decréscimo no teor de proteína da semente.

São poucos os trabalhos que relacionam os efeitos do TIBA em soja com os nutrientes. Hicks, Pendleton e Scott (1967), utilizando diferentes níveis de adubação em solos de alta fertilidade, em Urbana, Illinois, não encontraram qualquer interação das diferentes doses sobre a produtividade, e destas com o TIBA. Ohki e McBride (1972a), avaliando a absorção de TIBA e sua relação com os nutrientes em solução nutritiva, constataram um aumento de 25% na absorção de fósforo (P), enquanto nitrato (NO^{-3}), nitrogênio (N), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), manganês (Mn) e ferro (Fe) não foram influenciados.

Outros trabalhos relatam a relação entre aplicação de TIBA em macieiras e a influência no nutriente Ca. Stahly e Benson (1982) observaram redução no teor de Ca e aumento no teor de boro (B) em frutas de macieiras tratadas, sendo que Oberly (1973) constatou variações significativas apenas do Ca. Stahly e Benson (1976), também obtiveram decréscimo no teor de Ca em frutos e sementes, porém, sem alterações

consistentes dos teores de K e B. Os teores de Mg aumentaram em sementes, enquanto que os teores de Ca e N nas folhas se mantiveram inalterados. Os níveis dos nutrientes N, Ca, Mg, K, B e P não diferiram em plantas com e sem a aplicação de TIBA, entretanto, houve uma tendência de maior teor de N em frutos tratados, o que pode explicar o aumento da matéria seca, possivelmente por um maior nível de proteínas (STAHLY; BENSON, 1982).

Burton e Curley (1966) consideram a possibilidade de ocorrência de problemas de ordem nutricional como sendo a causa dos tratamentos com TIBA apresentarem sementes menores, em magnitude suficiente para reduzir a produtividade das plantas. Estes autores concluem o trabalho referindo-se a necessidade de adequação da quantidade de nutrientes a ser fornecida e melhores práticas culturais em plantas de soja, quando da aplicação de TIBA.

No sistema brasileiro de produção desta oleaginosa, a aplicação de fertilizantes é prática obrigatória na quase totalidade da área cultivada. A necessidade de realização de tal prática baseia-se nos baixos níveis de alguns nutrientes encontrados nos solos.

Via de regra, os fertilizantes aplicados concomitantemente à semeadura da soja são formulações compostas por sais contendo os nutrientes P e K, enquanto outros produtos contendo os demais nutrientes são distribuídos em operações específicas, adicionando-se quantidades suficientes para o cultivo por várias safras e por diferentes culturas (exceção feita ao N, o qual não é aplicado na cultura da soja, em função da alta eficiência de sua fixação biológica pelas bactérias simbióticas). De acordo com EMBRAPA (2008), cada tonelada de grãos de soja contém 4,36 kg de P e 16,00 kg de K, entre outros nutrientes.

Os fertilizantes disponibilizam os nutrientes para a solução do solo, os quais podem ser prontamente absorvidos pelas plantas, ou serem seqüestrados por alguns dos constituintes do solo (microrganismos, colóides orgânicos e/ou inorgânicos), podendo ser posteriormente disponibilizados às plantas. Desta forma, os nutrientes aplicados no solo, via fertilizante, podem ser utilizados diretamente para suprir a necessidade das plantas, ou para reposição do montante previamente presente no solo.

Segundo Rains (1976, apud PORTER; LAWLOR, 1991), os elementos minerais essenciais às plantas são classificados como macronutrientes ou micronutrientes, em

função de suas concentrações nos tecidos vegetais (o enxofre é o macronutriente menos abundante nas plantas, porém, cerca de 10 vezes mais concentrado que o cloro, o micronutriente mais abundante), e pela forma de atuação fisiológica (os macronutrientes fazem parte de moléculas abundantes, como o N e enxofre (S) nas proteínas, e estão presentes em altas concentrações no citosol e/ou vacúolo, enquanto os micronutrientes formam grupos prostéticos em enzimas) (MARSCHNER, 1995).

Os nutrientes inorgânicos correspondem, em média, a menos de 10,0% da massa seca vegetal. Ao se considerar a massa fresca, esse valor se reduz para cerca de 1,5%, em média (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Os nutrientes absorvidos pelas plantas são acumulados em compartimentos celulares específicos, regulando o metabolismo ou armazenados antes de serem utilizados no processo metabólico, sendo incorporados em cerca de 100 mil tipos diferentes de moléculas orgânicas (LEHNINGER, 1975, apud PORTER; LAWLOR, 1991).

No caso do suprimento de nutrientes estar abaixo da demanda necessária, as taxas de várias reações metabólicas podem ser reduzidas, ocasionando perdas ao sistema (iniciando-se geralmente pela redução da taxa fotossintética), enquanto que nos casos de suprimento excessivo, mecanismos fisiológicos e bioquímicos podem ser danificados (PORTER; LAWLOR, 1991).

De acordo com Epstein e Bloom (2006), o crescimento de plantas em condições de deficiência de fósforo é abaixo do normal, e sob condições severas, as plantas podem tornar-se subdesenvolvidas. A deficiência confere às folhas de muitas espécies uma coloração verde escura ou azul esverdeada, além do desenvolvimento de pigmentos vermelhos, purpúreos ou marrons nas folhas (principalmente ao longo das nervuras). Em alguns casos, a maturação das plantas pode ser retardada (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Segundo POTAFÓS (1994), em função da alta mobilidade do P nas plantas, sob condições de deficiência, há a translocação do nutriente das folhas mais velhas para as mais novas, esgotando sua reserva nas folhas mais velhas, onde o sintoma de deficiência aparece primeiro. Além disso, o limitado fornecimento de fósforo reduz o

número e a eficiência dos nódulos presentes nas raízes da soja, e conseqüentemente, a fixação simbiótica do nitrogênio.

Com relação ao potássio, um dos primeiros sintomas de deficiência é a mudança da cor das folhas verdes para um tom mais escuro ou azul esverdeado (como no fósforo), com freqüente desenvolvimento de pigmentos vermelhos, purpúreos e marrons nas folhas (principalmente ao longo das nervuras), além do desenvolvimento de pequenas áreas (manchas) necróticas na lâmina foliar e ou no limbo foliar, podendo evoluir para toda a folha (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Nas plantas de soja, a baixa disponibilidade de potássio, antecedendo o aparecimento visual da deficiência deste nutriente causa a “fome oculta” (redução na taxa de crescimento da planta, com diminuição na produção de grãos). Quando a deficiência torna-se mais severa, o aparecimento dos sintomas visuais se inicia com um mosqueado amarelado nas bordas dos folíolos das folhas da parte inferior da planta. Estas áreas cloróticas avançam para o centro dos folíolos, dando-se então o início da necrose das áreas mais amareladas nas bordas dos folíolos, com o aumento progressivo do sintoma. Com o passar dos dias, a necrose avança para o centro dos folíolos e há, finalmente, a quebra das áreas necrosadas. As plantas com deficiência de potássio produzem grãos pequenos, enrugados e deformados, e a maturidade da soja é atrasada, podendo causar também o fenômeno conhecido por “haste verde”, além de retenção foliar e vagens chochas (POTAFÓS, 1994).

O fósforo (P) é um dos 17 elementos essenciais necessários para o crescimento vegetal (RAGHOTHAMA, 1999), com concentração na massa seca variando de 0,05% a 0,50%.

É freqüentemente o elemento mais crítico para as culturas, limitando os seus rendimentos em cerca de 30% a 40% das terras agricultáveis do mundo (RUNGE-METZGER, 1995 apud VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003). Grande parte do fósforo encontra-se indisponível às plantas, pois ele forma rapidamente complexos insolúveis com cátions, especialmente de alumínio e ferro. Os solos ácidos e intemperizados dos trópicos e subtrópicos são particularmente propensos a deficiência de P (SANCHEZ; UEHARA, 1980 apud VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003). A aplicação de

fertilizantes contendo esse nutriente é atualmente a prática mais recomendada para aumentar sua disponibilidade no solo, a fim de estimular o rendimento das culturas.

De acordo com Raghothama (1999), o P é absorvido pelas plantas nas formas H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} (preferencialmente H_2PO_4^-), as quais ocorrem na solução dos solos em baixíssimas concentrações (0,1 μmol a 10 μmol) (HINSINGER, 2001).

Este elemento desempenha funções importantes em diversos processos metabólicos, incluindo o armazenamento e transporte de energia (NADPH e ATP), síntese de ácidos nucleicos (DNA e RNA), fotossíntese, glicólise, respiração, síntese e estabilidade de membranas, enzimas de ativação e inativação, reações redox, sinalização celular, metabolismo de carboidratos e fixação de nitrogênio (EPSTEIN; BLOOM, 2006; VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003).

Diferentemente de outros ânions, o fósforo do fosfato não sofre troca de valências durante as diversas atividades bioquímicas por ele realizadas, permanecendo pentavalente, seja como fosfato (PO_4^{3-}) ou como pirofosfato ($\text{P}_2\text{O}_7^{4-}$) (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

As plantas desenvolveram duas estratégias gerais para aquisição e utilização de P em ambientes com baixa disponibilidade deste nutriente. A primeira se refere a redução programada do uso de P, através da diminuição da taxa de crescimento, aumento do crescimento por unidade de P absorvido, remobilização de Pi interno, modificações no metabolismo de carbono (utilizando rotas alternativas que não utilizam P) e vias respiratórias alternativas (RAGHOTHAMA, 1999). A segunda estratégia envolve a utilização de processos para aumentar a sua absorção pelas raízes, através do aumento da produção e secreção de fosfatases, exsudação de ácidos orgânicos, maior crescimento radicular (com modificação da arquitetura), expansão da área superficial radicular (através do desenvolvimento prolífico de radículas), e aumento da expressão de transportadores Pi (MARSCHNER et al., 1986 apud VANCE; UHDE-STONE; ALLAN, 2003). A utilização de tais mecanismos pode levar a um consumo de mais de 20% do produto líquido da fotossíntese (MARSCHNER, 1995).

De acordo com Epstein e Bloom (2006), o transporte de fosfato através da membrana ocorre contra os gradientes eletroquímico e de concentração, exigindo assim

alto gasto energético. Segundo Smith (2002 apud EPSTEIN; BLOOM, 2006) o provável modo de transporte é o co-transporte H^+/P_i .

Al-Ghazi et al. (2003), sugeriram a ocorrência de uma redistribuição da auxina em plantas de *Arabidopsis* em condições de deficiência de P, e conseqüentemente, uma diminuição do número de raízes laterais. Por outro lado, López-Bucio et al. (2002) relataram que as plantas de *Arabidopsis* sob condições de deficiência deste nutriente, foram mais sensíveis à indução de raízes laterais pela auxina, em relação às plantas controle. Estes resultados sugerem que alterações na distribuição de auxina e na sensibilidade a este hormônio, podem desempenhar um papel importante no efeito da restrição de nutrientes no desenvolvimento das raízes laterais (WANG; INUKAI; YAMAUCHI, 2006).

O potássio (K), por sua vez, é o quarto mineral mais abundante do planeta, constituindo cerca de 2,50% da litosfera. No entanto, sua concentração nos solos é muito variável, com valores entre 0,04% a 3,00% (SPARKS; HUANG, 1985 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006). No solo, o K é encontrado dissolvido na solução ou nas formas trocável, fixa e ou estrutural (SYERS, 1998 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006). Como as plantas podem adquirir o íon potássio (K^+) apenas da solução, sua disponibilidade é dependente da dinâmica dos nutrientes e do conteúdo de K total do solo. A troca de K entre suas formas, e dessas para solução do solo, é fortemente dependente da concentração de outros macronutrientes na solução, como o nitrato (YANAI et al., 1996), sendo geralmente muitas vezes mais lenta do que a taxa de aquisição de K^+ pelas plantas (SPARKS; HUANG, 1985 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006). Conseqüentemente, a concentração de K^+ disponível para absorção, em alguns solos, é muito baixa (JOHNSTON, 2005 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006).

O K é um dos principais nutrientes das plantas, sendo essencial para o desenvolvimento e produção vegetal. As concentrações do íon potássio (K^+) na solução do solo estão, em sua maioria, no intervalo entre 0,1 mM e 6,0 mM (ADAMS, 1971 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006), entretanto, as plantas acumulam grandes quantidades deste elemento, o qual constitui entre 2% e 10% da massa seca da planta (TISDALE et al., 1993 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006; EPSTEIN; BLOOM,

2006). A concentração de K^+ no citosol é mantida em torno de 100 mM (considerada ótima para o funcionamento de enzimas citosólicas), enquanto a sua concentração no vacúolo é mais variável (dependendo de sua disponibilidade e do tipo de tecido), sendo comumente presente na faixa de 20 mM a 200 mM (LEIGH; JONES, 1984; WALKER; LEIGH, MILLER, 1996).

Segundo Winkler e Zotz (2010), diferentemente da maioria dos outros nutrientes das plantas, o K não é um componente de biomoléculas, apresentando alta mobilidade nas plantas e estando presente livremente no citosol e no vacúolo sob altas concentrações (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

Plantas com genótipos adaptados a ambientes salinos com alta concentração de sódio (Na^+) podem ter grande parte dos íons K^+ substituídos por este elemento, sem apresentar redução no crescimento. Isto se deve ao fato de que o Na^+ desempenha a mesma função do K^+ no controle osmótico celular, além do fato de que as funções específicas atribuídas ao K^+ requerem apenas uma pequena fração da quantidade total deste nutriente encontrada em plantas, sob condições normais de cultivo.

Segundo Evans e Wildes (1971 apud EPSTEIN; BLOOM, 2006), mais de 60 enzimas requerem um cátion univalente para a sua ativação, sendo que a maior parte dessas exigem única e exclusivamente o K^+ . No citoplasma, o potássio atua como um contra-íon para o grande excesso de proteínas (carregadas negativamente) e ácidos nucléicos. A maior parte do potássio celular está localizado em vacúolos, funcionando como o principal agente osmótico vacuolar (WINKLER; ZOTZ, 2010).

A absorção de potássio pela planta pode ser prejudicada pela presença de altos níveis de outros cátions monovalentes, como Na^+ e NH_4^+ (RUS et al., 2004). Além disso, as raízes das plantas podem sofrer escassez do nutriente em função da heterogeneidade espacial e variação temporal na disponibilidade deste nutriente. As principais fontes de heterogeneidade do solo são, na maioria das vezes, as próprias raízes das plantas, em função da atividade de transporte de K^+ , criando regiões com reduzido teor deste nutriente.

Segundo Barber (1985 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006) e Rosolem et al. (2003), a interceptação radicular contribui com menos de 1% a 2% do total de K^+

absorvido, enquanto o processo de difusão apresenta a maior eficiência, sendo responsável por até 96% do total (OLIVEIRA et al., 2004).

O sistema de transporte de potássio através das membranas das células vegetais consiste no funcionamento de mecanismos de baixa e de alta afinidade (EPSTEIN; RAINS; ELZAM, 1961 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006), realizados por proteínas transportadoras do tipo canal e carregadoras, respectivamente (MAATHUIS; SANDERS, 1997). Estas proteínas são responsáveis pelos três tipos de transporte de K^+ identificados em plantas terrestres: transporte ativo secundário pelas vias simporte e antiporte, e difusão através de canais de K.

Segundo Ashley, Grant e Grabov (2006), sob condições de deficiência de K, inicia-se nas células das raízes o desencadeamento de sinalizações bioquímicas sucessivas (“cascatas de sinalização”), culminando no início da expressão de genes codificadores de proteínas transportadoras de K^+ , de maneira a potencializar a aquisição deste nutriente. A expressão ocorre em diferentes tecidos e áreas das raízes (córtex, epiderme, endoderme, meristemas, coifa, entre outros), originando diferentes proteínas com atividades específicas diversas (aquisição, transporte, carregamento e descarregamento de K no xilema). Dentre as moléculas sinalizadoras, encontram-se as espécies reativas de oxigênio, ácido jasmônico, e hormônios como o etileno e auxina.

A auxina é responsável por controlar a expressão do gene *ZMK1*, o qual codifica uma proteína canal em plantas de milho (PHILIPPAR et al., 1999). Outras evidências sobre o papel dos processos dependentes de auxina na aquisição de K^+ , em ambientes com deficiência, foram fornecidas pela demonstração de que os genes *CYP79B2* e *CYP79B3* (envolvidos na biossíntese de auxina Trp-dependentes) foram reprimidos após o fornecimento de K^+ às raízes anteriormente, sob condições de deficiência do nutriente (ARMENGAUD; BREITLING; AMTMANN, 2004 apud ASHLEY; GRANT; GRABOV, 2006). Vicente-Agullo et al. (2004), constataram acumulação de auxina no cilindro central das raízes das plantas deficientes em K^+ , utilizando-se do gene *DR5-GUS*.

A auxina foi o primeiro hormônio descoberto em plantas, sendo o ácido indolilacético (IAA) a auxina mais abundante e de maior relevância fisiológica. O IAA

pode ser sintetizado a partir de rotas dependentes do triptofano ou por uma rota alternativa, a partir do indol-3-glicerol fosfato (TAIZ; ZEIGER, 2009).

Embora quase todos os tecidos vegetais sejam capazes de sintetizar níveis muito baixos de IAA, a sua biossíntese está associada a tecidos com rápida divisão celular e crescimento, especialmente aqueles presentes na parte aérea (principalmente os meristemas apicais do caule e folhas jovens). Os meristemas apicais das raízes também são locais importantes de síntese de auxina, embora ainda dependentes da parte aérea para a obtenção da maior parte deste hormônio por eles utilizados.

O IAA é transportado principalmente de maneira unidirecional, do ápice para a base do caule, sendo este processo denominado “transporte polar”, enquanto uma pequena parte é transportada através do floema (basicamente a auxina sintetizada nas folhas jovens).

O transporte polar pode ser dividido em dois processos principais: influxo (ou absorção) e efluxo de IAA. O influxo é realizado através de difusão passiva da forma protonada (IAAH), de qualquer direção e através da bicamada lipídica, ou pelo transporte secundário ativo da forma dissociada (IAA⁻), por um transportador do tipo simporte ($2H^{+} + IAA^{-}$). Por outro lado, o efluxo de auxina ocorre principalmente nas extremidades basais das células de transporte, através das proteínas PIN (complexos transportadores de efluxos de ânions), as quais são responsáveis pelo efluxo celular de IAA durante o transporte polar deste hormônio, sendo dirigido pelo potencial de membrana gerado pela H^{+} -ATPase da membrana plasmática.

O TIBA atua em nível de proteína PIN, competindo com o IAA pelo sítio de ligação desta proteína de membrana. Assim, uma vez que as moléculas de TIBA estejam ligadas as proteínas PIN, o fluxo descendente da maior parte do IAA produzido na região meristemática do ápice caulinar (a principal região de síntese) para as demais partes da planta é interrompido, acarretando em distúrbios fisiológicos associados a falta ou diminuição nos níveis deste hormônio.

Não foram encontradas informações sobre uma possível influência do TIBA na atividade enzimática, mesmo naquelas mais comumente estudadas, como a ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), nitrato redutase (NR), fenilalanina amônia liase (PAL), bem como na concentração de proteínas totais solúveis.

As enzimas são proteínas que atuam como catalisadores biológicos, aumentando inúmeras vezes as taxas de reações bioquímicas, tornando a vida possível. Uma célula normal tem vários milhares de enzimas diferentes, as quais realizam uma grande variedade de ações. Suas características mais importantes são a sua especificidade (permitindo distinguir moléculas muito semelhantes), e a sua eficiência catalítica (muito maior do que os catalisadores comuns). Diferentemente da maioria dos outros catalisadores, as enzimas funcionam em temperatura e pressão atmosférica ambiente, e pH próximo da neutralidade (há exceções, como as proteases vacuolares e ribonucleases, as quais são mais ativas em pH entre 4 e 5), conforme Taiz e Zeiger (2009).

Plantas superiores são conhecidas por possuir um grande conjunto de peroxidases, as quais são geralmente expressas em várias isoformas. As isoperoxidases são reconhecidas por participar de um vasto número de processos fisiológicos, incluindo desintoxicação de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), alongamento celular, construção de paredes celulares e diferenciação, bem como pela resposta das plantas ao estresse (GHAMSARI; KEYHANI; GOLKHOO, 2007). As peroxidases estão entre as enzimas mais estudadas em plantas.

As peroxidases são proteínas com cadeia polipeptídica única, com massa molecular entre 28 kDa e 60 kDa (HIRAGA, 2001 apud GHAMSARI; KEYHANI; GOLKHOO, 2007). Com base na sua função e localização subcelular, as peroxidases são classificadas em dois grupos (ASADA, 1992 apud GHAMSARI; KEYHANI; GOLKHOO, 2007).

As peroxidases que oxidam ascorbato como substrato são referidas como ascorbato peroxidases (APX). Estas enzimas estão localizadas no cloroplasto, em outros microcorpos e no citosol. Sua principal função é proteger as células vegetais contra o estresse oxidativo, atuando na degradação do H_2O_2 (SHIGEOKA et al., 2002).

Espécies reativas de oxigênio ("Reactive Oxygen Species" - ROS) como o superóxido ($\bullet O_2^-$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) e o radical hidroxila ($\bullet OH$), são substâncias extremamente prejudiciais às células, ocasionando danos por oxidação em enzimas e lipídios, sendo essencial a rápida eliminação destas moléculas (HELDT, 2005).

De acordo com Taiz e Zeiger (2009), o fotossistema I (PSI) é particularmente vulnerável aos danos causados pelas ROS. Segundo Heldt (2005), seu receptor ferredoxina é um redutor muito forte, e caso esteja altamente reduzido, é possível que os elétrons sejam transferidos do PSI diretamente para moléculas de oxigênio, formando $\bullet\text{O}_2^-$, os quais reduzem íons metálicos presentes nas células, como Fe^{3+} e Cu^{2+} . A enzima superóxido desmutase pode catalizar a reação que transforma duas moléculas de $\bullet\text{O}_2^-$ + duas moléculas de H^+ em uma molécula de O_2 e H_2O_2 . Caso haja a presença de íons metálicos anteriormente reduzidos pelos $\bullet\text{O}_2^-$, esses podem reagir com o H_2O_2 , originando $\bullet\text{OH}$.

O $\bullet\text{OH}$ é uma substância muito agressiva às células vegetais, baseado no fato de que ele ocasiona danos por oxidação em enzimas e lipídios, além das células vegetais não possuírem enzimas protetoras contra o mesmo. Portanto, é essencial que a redução dos íons metálicos seja prevenida pela rápida eliminação de $\bullet\text{O}_2^-$ pela superóxido dismutase. O H_2O_2 também ocasiona danos sobre várias enzimas. Para evitar tais danos, o H_2O_2 é eliminado pela enzima ascorbato peroxidase, localizada na membrana do tilacóide. Segundo Heldt (2005), a principal função do ciclo da ascorbato peroxidase é dissipar energia de excitação excessiva do fotossistema I na forma de calor.

De acordo com Ross, Kramer e Dalton (1999), o ascorbato e a ascorbato peroxidase são antioxidantes importantes, encontrados abundantemente nos nódulos fixadores de nitrogênio atmosférico, em raízes de leguminosas. Os antioxidantes são indispensáveis nesses nódulos porque a leghemoglobina (que está presente em altas concentrações nessas estruturas), é propensa a autooxidação e a produção de ROS. Assim, utiliza-se dos antioxidantes para manter as estruturas celulares protegidas das ROS.

A enzima guaiacol peroxidase (GPX) pertence ao outro grupo de peroxidases de plantas, a qual mostra preferência pelo guaiacol (o-metoxifenol) como substrato para oxidação. Elas estão localizadas no citoplasma, vacúolos, parede celular, apoplasto e meio extracelular, porém, ausentes em organelas. Pressupõe-se que esta enzima esteja envolvida em uma série de processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas.

Segundo Lee e Lin (1995), a enzima GPX é uma glicoproteína, sendo responsável pela montagem de lignina e proteínas da parede celular. Os mesmos autores relataram que alguns estudos mostraram que a elevada atividade da GPX está correlacionada com a redução do crescimento de hipocótilos e a interrupção do alongamento foliar.

Em eucariotos, incluindo a maioria dos fungos, algas e plantas superiores, o NO_3^- é a principal fonte de N para o crescimento e metabolismo. Uma vez que o NO_3^- é transportado para a célula, ocorre a sua redução à nitrito (NO_2^-), sendo catalisada pela nitrato redutase (NR). Esta enzima é codificada por genes nucleares, e localiza-se no citoplasma (WU et al., 1995).

A regulação da assimilação de nitrato em plantas é complexa. O sinal de regulação da expressão primária ambiental é a presença de nitratos. A regulamentação das enzimas NR envolve também a luz, estresses ambientais e bioreguladores.

A enzima NR, presente em plantas superiores, é constituída de duas subunidades idênticas, com massa molecular de cada subunidade variando de 99 kDa a 104 kDa (dependendo da espécie vegetal). Cada subunidade contém uma cadeia de transporte de elétrons composta por uma molécula de flavina adenina dinucleotídeo (FAD), um citocromo b (cit-b557), e um co-fator contendo molibdênio (HELDT, 2005).

A síntese da enzima ao nível da expressão gênica é estimulada pela presença de nitrato, luz, glicose e outros carboidratos, e inibida por NH_4 , glutamina e outros aminoácidos. Beevers e Hageman (1980 apud WU et al., 1995) citam ainda a ação de estresses ambientais e reguladores vegetais no controle da expressão gênica. A taxa de síntese parece ser controlada por sensores específicos, os quais identificam as concentrações dos agentes de estímulo e inibição, de maneira a manter o equilíbrio entre o substrato (nitrato) e o produto direto da reação (nitrito). A nitrato redutase é uma proteína extremamente curta, com meia-vida de apenas algumas horas e taxa de síntese *de novo* da enzima muito elevada. Assim, através da regulação da síntese, a atividade da NR pode ser facilmente alterada em algumas horas.

A assimilação de nitrato pode progredir somente quando a assimilação de CO_2 fornece os esqueletos de carbono necessários para a síntese dos aminoácidos. Assim, durante a fotossíntese, a assimilação de CO_2 e nitrato deve ocorrer em proporção específica e apropriada. Além disso, a assimilação de nitrato deve ser regulamentada

de forma que a produção de aminoácidos não exceda a demanda, e que a sua redução não ocorra em taxas mais rápidas do que a redução de nitrito (evitando o acúmulo dessa substância, que é tóxica à célula).

A fenilalanina amônia liase (PAL) é uma das enzimas mais intensamente estudadas do metabolismo secundário de plantas. É composta por um tetrâmero de subunidades de massa entre 77 kDa e 83 kDa, sendo inibida pelo produto de sua própria reação (ácido transcinâmico). Ela catalisa a desaminação da fenilalanina, formando uma dupla ligação carbono-carbono através da liberação de uma molécula de amônio (NH_3), produzindo o ácido transcinâmico, do qual terão origem os compostos fenólicos.

Segundo Heldt (2005), as plantas contêm uma grande variedade de derivados fenólicos, como os flavonóides, taninos e lignina. Juntamente com ácidos graxos de cadeia carboxílica longa, os compostos fenólicos são componentes da suberina e cutina. Estas substâncias têm funções importantes como antibióticos, pesticidas, substâncias sinalizadoras naturais para o estabelecimento da simbiose entre raízes e rizóbios, atrativos para polinizadores, agentes de proteção contra a radiação ultravioleta (UV), impermeabilizadoras das paredes celulares ao gás e água, e estruturais, proporcionando estabilidade às plantas. Todas essas substâncias são derivadas da fenilalanina, e em algumas plantas também de tirosina, as quais são formadas pela via do chiquimato.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram desenvolvidos dois experimentos em casa de vegetação, entre dezembro de 2009 e maio de 2010, nas dependências do Horto Experimental do Departamento de Ciências Biológicas da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, situada em Piracicaba – SP (22°43'31" S, 47°38'57" O e altitude de 547 metros).

Segundo a classificação de Köppen, a região apresenta clima subtropical com inverno seco (Cwa), com temperatura média do mês mais frio inferior a 18 °C (17 °C em julho), e temperatura média do mês mais quente superior a 22 °C (25 °C em janeiro e fevereiro, segundo informações do CEPAGRI/UNICAMP).

3.1 Experimento A

O primeiro experimento (A) foi desenvolvido utilizando o delineamento casualizado em blocos, em esquema fatorial 2 x 4, com 7 repetições, totalizando 8 tratamentos e 56 unidades experimentais (parcelas). O primeiro fator foi constituído por 2 níveis de TIBA (ácido 2,3,5 – triiodobenzóico), nas concentrações de 0 e 30 mg L⁻¹. O segundo fator foi constituído por 4 níveis dos nutrientes fósforo (P) e potássio (K), sendo 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 os valores correspondentes às relações entre as concentrações de P e K utilizadas na soluções nutritivas e a concentração padrão de Hoagland e Arnon (1950 apud OLIVEIRA, 2007), conforme a Tabela 1 (os sais utilizados nas soluções encontram-se descritos na Tabela 2).

Para a análise das variáveis altura e valor SPAD, com coletas de dados realizadas ao longo do desenvolvimento do experimento, considerou-se, para a realização das análises estatísticas, o delineamento em parcelas sub-divididas, sendo o tempo o fator a nível de sub-parcela, com 4 níveis (14, 28, 42 e 56 DAE). Assim, para essas variáveis, o esquema fatorial utilizado foi 2 x 4 x 4, com as mesmas 7 repetições, totalizando 32 tratamentos e 224 unidades experimentais.

A unidade experimental foi constituída por vasos de polietileno de 15 litros (L), contendo 12 L de areia de granulometria média (previamente lavada com água da estação de tratamento da ESALQ, para remoção de partículas e substâncias

indesejáveis, recebendo posteriormente 5 L de água deionizada para a lixiviação de resíduos deixados pela água utilizada na lavagem da areia).

Tabela 1 - Teores de macronutrientes e micronutrientes, adaptado de Hoagland e Arnon (1950) e modificada para testar o efeito nutricional de quatro doses Fósforo (P) e Potássio (K) sobre o desenvolvimento de plantas de soja

Nutriente	mM	mg L ⁻¹	Nutriente	mM	mg L ⁻¹
P (0,5)	0,50	15,49	Ca	5,00	200,00
K (0,5)	3,00	117,30	Mg	2,00	48,60
P (1,0*)	1,00	30,97	S	2,00	64,20
K (1,0*)	6,00	234,60	B	4,60E ⁻⁰²	0,50
P (1,5)	1,50	46,46	Cu	3,00E ⁻⁰⁴	0,02
K (1,5)	9,00	351,90	Mn	1,30E ⁻⁰²	0,50
P (2,0)	2,00	61,94	Mo	1,00E ⁻⁰⁴	0,01
K (2,0)	12,00	469,20	Zn	7,64E ⁻⁰⁴	0,05
N	15,00	210,00	Fe	9,00E ⁻⁰²	5,03

* O tratamento 1,0 corresponde à concentração original de Hoagland e Arnon (1950).

Dez sementes de soja 'BRS 255 RR' foram semeadas em cada vaso, ocorrendo a emergência das plântulas após 5 dias (28/12/2009). Desbastes foram realizados até o 10º dia após a emergência (DAE), restando as duas plantas mais vigorosas por parcela.

Tabela 2 - Composição química das soluções nutritivas, adaptado de Hoagland e Arnon (1950) e modificada para testar o efeito nutricional de quatro doses Fósforo (P) e potássio (K) sobre o desenvolvimento de plantas de soja

Nome químico	Fórmula química	Unidade	Relações de P e K			
			0,5	1,0	1,5	2,0
Nitrato de cálcio	Ca(NO ₃) ₂	mg L ⁻¹	820,44	820,44	820,44	820,44
Nitrato de Potássio	KNO ₃	mg L ⁻¹	252,76	505,52	101,10	101,10
Dihidrogenofosfato de potássio	KH ₂ PO ₄	mg L ⁻¹	68,04	136,09	204,13	272,17
Sulfato de Magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	mg L ⁻¹	492,95	492,95	-	-
Nitrato de Magnésio	Mg(NO ₃) ₂ .6H ₂ O	mg L ⁻¹	-	-	512,81	512,81
Sulfato de Potássio	K ₂ SO ₄	mg L ⁻¹	-	-	348,52	348,52
Nitrato de amônio	NH ₄ NO ₃	mg L ⁻¹	100,05	-	-	-
Cloreto de Potássio	KCl	mg L ⁻¹	-	-	186,60	373,21
YaraVita™ Rexolin® Q48	..	mg L ⁻¹	83,77	83,77	83,77	83,77
Micronutrientes (- Fe)	..	mL L ⁻¹	1,00	1,00	1,00	1,00

* Solução de micronutrientes contendo a seguinte composição (g L⁻¹): H₃BO₃ = 2,86; MnCl₂.4H₂O = 1,81; ZnCl₂ = 0,10; CuCl₂. 2H₂O = 0,05; H₂MoO₄. H₂O = 0,02.

..Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

- Sinal convencional utilizado: dado numérico igual a zero não resultante de arredondamento.

O substrato foi irrigado com água deionizada logo após a semeadura, iniciando o fornecimento das soluções nutritivas a partir do 4º DAE, com o auxílio de uma proveta, irrigando as parcelas com o mesmo volume para todas as parcelas, procurando-se evitar a perda de solução por percolação.

No 28º DAE, as plantas atingiram o estágio de desenvolvimento “V5”, caracterizado pelo desenvolvimento completo da 4ª folha trifoliada. Neste estágio, procedeu-se a aplicação do ácido TIBA nas parcelas correspondentes ao tratamento com o biorregulador. Após o preparo da solução (30 mg L⁻¹, dissolvidos em água deionizada, com o auxílio de algumas gotas de álcool e NaOH), procedeu-se a pulverização de toda a parte aérea das plantas, até o início de escoamento superficial da solução nas folhas.

As plantas foram constantemente avaliadas quanto a presença de insetos prejudiciais e sintomas de doenças. Foram necessárias algumas aplicações de inseticidas a base de diafentiurom para controle de ácaros (espécie(s) não identificada(s)), e mosca branca (*Bemisia tabaci*), bem como uma aplicação de fungicida a base de azoxistrobina + ciproconazole para controle do fungo causador da ferrugem da soja (*Phakopsora pachyrhizi*) e carbendazin, preventivamente ao aparecimento de doenças de final de ciclo (mancha parda e crestamento foliar de cercospora, causados por *Septoria glycines* e *Cercospora kikuchii*, respectivamente), de acordo com EMBRAPA (2008).

A interrupção do fornecimento das soluções nutritivas ocorreu aos 121 DAE (28/04/2010), quando as plantas atingiram o estágio de desenvolvimento “R8”, caracterizado pela maturação plena, com 95% das vagens com coloração “de madura” (EMBRAPA, 2008).

3.1.1 Avaliações realizadas

3.1.1.1 Altura e clorofila total

Obteve-se o valor da altura das plantas (cm) medindo-se a distância entre a superfície do solo e o nó (local de intersecção da haste principal com o pecíolo) correspondente à folha mais nova completamente desenvolvida. Para cada avaliação,

obteve-se um valor de altura por parcela, resultante da média obtida na leitura das duas plantas presentes na parcela.

Para a quantificação da concentração de clorofila total presente nas folhas, utilizou-se o aparelho portátil de medição “Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter”, o qual apresentou os resultados em unidade SPAD (utilizada na análise desta variável sob a denominação “valor SPAD”). Após a identificação da terceira folha completamente desenvolvida (do ápice para a base), foram realizadas 3 leituras no trifólio central, obtendo-se o valor médio para a planta. Para cada avaliação, obteve-se um valor SPAD por parcela, resultante da média obtida na leitura das duas plantas presentes na parcela.

3.1.1.2 Número de ramificações

Ao fim do experimento, foram destacadas da haste principal das plantas, todas as hastes secundárias (ramificações primárias), e destas, retirou-se as hastes terciárias (ramificações secundárias) com vagens. Para cada parcela, foram quantificadas o número de ramificações primárias e secundárias, além do número total de ramificações.

3.1.1.3 Vagens e grãos

As vagens e grãos de soja foram quantificadas, para cada parcela, quanto ao local de origem, ou seja, haste, ramificações (primárias + secundárias), além do número total (haste + ramificações).

Após a contagem do número de vagens e grãos, estes foram levados para uma estufa de circulação forçada de ar, a temperatura de 65 °C, permanecendo até atingirem massa constante. Após serem retirados desse local, quantificou-se a massa (g) total e de 100 grãos de cada amostra, em balança digital.

3.1.1.4 Massa seca de raiz

As raízes das plantas de cada parcela foram separadas da areia com auxílio de uma peneira de malha fina, sendo em seguida lavadas e expostas ao sol, para pré-secagem. Posteriormente, as raízes foram levadas para uma estufa de circulação

forçada de ar sob temperatura de 65 °C, permanecendo até atingirem massa constante. Após serem retiradas desse local, quantificou-se a sua massa (g) em balança digital.

3.2 Experimento B

O segundo experimento (B) foi planejado com o intuito de fornecer material vegetal para as análises bioquímicas, através de coletas realizadas ao longo do desenvolvimento do experimento. Desta maneira, utilizou-se delineamento em parcelas subdivididas, em esquema fatorial 2 x 4 x 3, com 3 repetições, totalizando 24 tratamentos e 96 unidades experimentais (parcelas). O primeiro fator foi constituído por 2 níveis de TIBA (ácido 2,3,5 – triiodobenzóico), nas concentrações de 0 e 30 mg L⁻¹, enquanto que o segundo fator foi constituído por 4 níveis dos nutrientes P e K (0,5, 1,0, 1,5 e 2,0). O terceiro fator corresponde ao tempo, sendo constituído por 3 níveis (28, 42 e 56 DAE), estando a nível de sub-parcela.

A condução deste experimento foi semelhante ao experimento “A”, porém, com pequenas alterações, como na utilização de vasos de menor volume (8 L de areia), e condução de 3 plantas por parcela (utilização de uma planta por amostragem), até os 56 DAE. A emergência das plântulas ocorreu no dia 28/01/2010, cinco dias após a semeadura.

As amostragens para as análises foram realizadas entre 9:00 e 10:00 horas da manhã, coletando-se a segunda e terceira folhas completamente desenvolvidas (do ápice para a base da planta). As folhas foram colocadas dentro de tubos “Falcon” (25 mL), acondicionadas imediatamente em gelo e levadas para o laboratório do Centro de Biotecnologia Agrícola da ESALQ/USP (CEBTEC).

Parte das folhas foram utilizadas imediatamente, para a análise da enzima nitrato redutase – NR (metodologia descrita a seguir, no item 2.2.1.3), enquanto que o material restante foi acondicionado em temperatura de - 80 °C, para posterior processamento.

Para a obtenção do extrato protéico, as folhas acondicionadas a - 80 °C foram maceradas em almofariz de porcelana, com auxílio de nitrogênio líquido. Em seguida, foram transferidos 750 mg do material macerado para um tubo de ependorff, juntamente com 1,5 mL de tampão Tris-HCl, 50 mM, pH 7,5. Após agitação vigorosa em vortex, as amostras foram centrifugadas a 10.000 rpm, por 10 minutos a 4 °C. O sobrenadante foi

transferido para outro tubo de eppendorf e novamente acondicionado a temperatura de - 80 °C.

Todas as análises bioquímicas foram realizadas através do método colorimétrico, utilizando o espectrofotômetro ULTROSPEC 2100pro (Amersham Biosciences).

3.2.1 Avaliações realizadas

3.2.1.1 Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX)

A determinação da atividade da ascorbato peroxidase (APX) foi feita de acordo com Nakano e Asada (1981).

Em uma cubeta de quartzo (1 cm), foram adicionados 1.300 µL da solução tampão fosfato de potássio 80 mM (pH 7), 200 µL da solução de ácido ascórbico 5 mM, 200 µL da solução EDTA 1 mM, 200 µL da solução de peróxido de hidrogênio 1 mM e 100 µL do extrato protéico. Após a adição do extrato, a cubeta foi rapidamente agitada e inserida no espectrofotômetro para o início da leitura. A taxa de oxidação do ascorbato foi estimada pelo monitoramento do decréscimo da absorbância a 290 nm, em intervalos de 6 segundos por um período de 1 minuto. A atividade da APX foi expressa em µmol de H₂O₂ min.⁻¹ g⁻¹ MF, através da fórmula:

$$\{[(|\Delta_{abs.}| / CE) \times C_1] / [(V_1 \times MF) / V_2]\} \times C_2 \quad (1)$$

onde:

$|\Delta_{abs.}|$ = diferença entre a primeira e a última leitura de absorbância, em módulo.

CE = coeficiente de extinção molar do ascorbato (2,8 mM⁻¹ cm⁻¹).

C₁ = conversor de unidades para expressão da atividade em g⁻¹ MF (1000).

C₂ = conversor de unidades da enzima (mmol para µmol, utilizando valor 1000).

MF = massa fresca utilizada para obtenção do extrato protéico (mg).

V₁ = volume do extrato protéico utilizado na reação (mL).

V₂ = volume da solução tampão utilizada na extração protéica (mL).

Para a amostra controle (“branco”), repetiu-se o mesmo procedimento realizado com a amostra, porém, substituindo os 50 µL do extrato protéico por 50 µL da solução tampão fosfato de potássio 80 mM (pH 7).

3.2.1.2 Atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPX)

Em um cubeta de vidro (1 cm), foram adicionados 2.900 µL da solução formada por 100 mL de tampão fosfato de potássio 0,01 M (pH 6,0), 250 µL de guaiacol e 306 µL de peróxido de hidrogênio. Em seguida, foi adicionado 100 µL do extrato protéico, agitando-se rapidamente a cubeta e inserido-a no espectrofotômetro para o início da leitura. A leitura foi realizada com a absorbância a 400 nm, em intervalos de 6 segundos por um período de 1 minuto. A atividade da guaiacol peroxidase foi expressa em µmol de H₂O₂ min.⁻¹ g⁻¹ MF, através da fórmula:

$$\{[(|\Delta_{abs.}| / CE) \times C_1] / [(V_1 \times MF) / V_2]\} \times C_2 \quad (2)$$

onde:

$|\Delta_{abs.}|$ = diferença entre a primeira e a última leitura de absorbância, em módulo.

CE = coeficiente de extinção molar do guaiacol (26,6 mM⁻¹ cm⁻¹).

C₁ = conversor de unidades para expressão da atividade em g⁻¹ MF (1000).

C₂ = conversor de unidades da enzima (mmol para µmol, utilizando valor 1000).

MF = massa fresca utilizada para obtenção do extrato protéico (mg).

V₁ = volume do extrato protéico utilizado na reação (mL).

V₂ = volume da solução tampão utilizada na extração protéica (mL).

Para a amostra controle (“branco”), repetiu-se o mesmo procedimento realizado com a amostra, porém, substituindo os 100 µL do extrato protéico por 100 µL da solução tampão fosfato de potássio 0,01 M (pH 6,0), sem a presença das outras substâncias.

3.2.1.3 Atividade da enzima nitrato redutase (NR)

A determinação da atividade da nitrato redutase (NR) foi feita de acordo com o ensaio *in vivo* modificado por Radin (1974).

Em tubos de ensaio envolvidos por papel alumínio, foram adicionadas 50 mg de massa fresca de folhas de soja, obtidas sob a forma de discos foliares (através da utilização de um furador de rolhas). Em seguida, adicionou-se 5,0 mL da solução tampão fosfato de sódio 0,05 M (pH 7,4) + KNO₃ 0,02 M. Os tubos de ensaios foram incubados em banho-maria por 1 hora a 37 °C, para ocorrência da reação de conversão de nitrato a nitrito, realizada pela enzima.

Ao término do período de incubação, a reação foi paralisada pela adição de 1,0 mL da solução de sulfanilamida (1% em HCl 2 N), com posterior agitação do tubo de ensaio em vortex para homogeneização da solução. Em seguida, adicionou-se 1 mL de N- α -naftiletilenodiamina 0,00193 M (substância responsável pela reação com o nitrito, conferindo coloração a solução), repetindo-se o processo de agitação. Dois mililitros da solução final foram transferidos para uma cubeta de vidro (1 cm), sendo inserida no espectrofotômetro para estimativa da taxa de conversão de nitrato a nitrito através da leitura da absorbância a 540 nm. A atividade da NR foi expressa em $\mu\text{mol de NO}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, através da fórmula:

$$\{[(\text{abs.} - b) / a] \times C_1\} / \text{MF} \times C_2 \quad (3)$$

onde:

abs. = valor da absorbância obtida na leitura.

a = coeficiente “a” da equação da reta padrão de nitrito.

b = coeficiente “b” da equação da reta padrão de nitrito.

C₁ = conversor de unidades para expressão da atividade em $\text{g}^{-1} \text{ MF}$ (1000).

MF = massa fresca utilizada para a reação (mg).

Obs.: os valores do eixo “x”, referentes a reta padrão de nitrito, foram expressos em $\mu\text{mol de NO}^{-2}$, assim, não se utilizou nesta fórmula o fator C₂ (conversor de unidades da enzima).

Para a amostra controle (“branco”), repetiu-se o mesmo procedimento realizado com a amostra, porém, sem a presença de material vegetal.

3.2.1.4 Atividade da enzima fenilalanina amônia liase (PAL)

A determinação da atividade da fenilalanina amônia liase (PAL) foi feita de acordo com Umesha (2006).

Em tubos de ensaio, foram adicionados 800 µL da solução tampão TRIS HCl 25 mM (pH 8,8) (Trizma Base – Tris(hidroximetil) amino-metano) (T-10), e 1.000 µL da solução Fenilalanina 50 mM. Os tubos foram incubados em banho-maria por 5 minutos a 40 °C. Em seguida, adicionou-se 200 µL do extrato protéico, levando-os novamente para banho-maria por 2 horas a 40 °C.

Ao término do período de incubação, a reação foi paralisada pela adição de 100 µL da solução HCl 5 M, com posterior agitação dos tubos de ensaio em vortex para homogeneização da solução. A solução final foi transferida para uma cubeta de quartzo (1 cm), sendo inserida no espectrofotômetro para a quantificação do ácido transcinâmico (formado pela conversão do substrato L-Fenilalanina pela enzima PAL), através da leitura da absorbância a 290 nm. A atividade da PAL foi expressa em µmol de ácido transcinâmico h⁻¹ g⁻¹ MF, através da fórmula:

$$\{[(abs. - b) / a] \times C_1\} / [(V_1 \times M) / V_2] / T \quad (4)$$

onde:

abs. = valor da absorbância obtida na leitura.

a = coeficiente “a” da equação da reta padrão do ácido transcinâmico.

b = coeficiente “b” da equação da reta padrão do ácido transcinâmico.

C₁ = conversor de unidades para expressão da atividade em g⁻¹ MF (1000).

M = massa fresca utilizada para obtenção do extrato protéico (mg).

T = tempo (horas).

V₁ = volume do extrato protéico utilizado na reação (mL).

V₂ = volume da solução tampão utilizada na extração protéica (mL).

Obs.: os valores do eixo “x”, referentes a reta padrão de ácido transcinâmico, foram expressos em µmol, assim, não se utilizou nesta fórmula o fator C₂ (conversor de unidades da enzima).

Para a amostra controle (“branco”), repetiu-se o mesmo procedimento realizado com a amostra, porém, substituindo os 200 µL do extrato protéico por 200 µL da solução tampão TRIS HCl 25 mM (pH 8,8).

3.2.1.5 Concentração de proteína total solúvel (PTS)

A determinação da concentração de proteína total solúvel (PTS) foi feita de acordo com metodologia descrita por Bradford (1976).

Em tubos de ensaio, foram adicionados 2.000 µL do reagente Bradford e 40 µL do extrato protéico. A solução final foi transferida para uma cubeta de vidro (1 cm), sendo inserida no espectrofotômetro para a quantificação da concentração de PTS, através da leitura da absorbância a 595 nm. A concentração de PTS foi expressa em mg de proteína g⁻¹ MF, através da fórmula:

$$\{[(\text{abs.} - b) / a] \times C_1\} / [(V_1 \times M) / V_2] \quad (5)$$

onde:

abs. = valor da absorbância obtida na leitura.

a = coeficiente “a” da equação da reta padrão da PTS.

b = coeficiente “b” da equação da reta padrão da PTS.

C₁ = conversor de unidades para expressão da atividade em g⁻¹ MF (1000).

C₂ = conversor de unidades da proteína (ex. mg para g).

M = massa fresca utilizada para obtenção do extrato protéico (mg).

V₁ = volume do extrato protéico utilizado na reação (mL).

V₂ = volume da solução tampão utilizada na extração protéica (mL).

Obs.: os valores do eixo “x”, referentes a reta padrão de proteína, foram expressos em mg, assim, não se utilizou nesta fórmula o fator C₂ (conversor de unidades da proteína).

Para a amostra controle (“branco”), repetiu-se o mesmo procedimento realizado com a amostra, porém, substituindo os 40 µL do extrato protéico por 40 µL de água deionizada.

3.3 Procedimentos estatísticos

Foram verificados os pressupostos da ANOVA por meio da família de transformação ótima de Box-Cox (BOX; COX, 1964), enquanto o teste de Hartley (HARTLEY, 1950) foi aplicado para verificar a homogeneidade de variâncias.

Uma vez verificados os pressupostos da ANOVA, aplicou-se o teste F ($p < 0,05$) para verificar possíveis diferenças entre os fatores (aqui você pode especificar os seus fatores). Aplicou-se o teste de Tukey ($p < 0,05$) para verificar possíveis diferenças entre os níveis e as interações desses fatores. Por se tratar de fatores quantitativos, os mesmos foram submetidos à análise de regressão ($p < 0,05$).

Foram utilizados os pacotes estatísticos SAS/STAT 9.2 para a realização dos procedimentos estatísticos, além do software Excel, para construção dos gráficos e tabelas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características morfológicas

4.1.1 Altura

Os fatores TIBA, nutriente e tempo apresentaram efeito significativo para a altura das plantas, ocorrendo ainda interação entre os fatores TIBA x tempo, e nutriente x tempo. A significância encontrada no bloco para essa variável demonstra a validade do delineamento utilizado para assegurar maior controle local, anulando o efeito de fatores externos aos tratamentos (Tabela 3).

Tabela 3 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para a da variável altura (ALT)

Causas de Variação	GL	F calculado
		ALT
Bloco	6	2,64*
TIBA	1	6,11*
Nutriente (PK)	3	12,24*
Resíduo a	42	2,15
Tempo	3	655,86*
TIBA x PK	3	0,18
TIBA x tempo	3	5,51*
PK x tempo	9	2,46*
TIBA x PK x tempo	9	0,39
Resíduo b	143	..
Média	..	30,05
CV _{exp} (%)	..	21,96

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: graus de liberdade; CV_{exp}(%): coeficiente de variação experimental.

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado para os dados da altura, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento de crescimento ao longo do tempo. Porém, ocorreu redução do crescimento das plantas tratadas, logo após a aplicação do TIBA, resultando em uma diferença de 12,87% após 28 dias (56 dias após a emergência – DAE), quando os valores das médias diferiram significativamente (Tabela 4).

Tabela 4 - Desdobramento da variável altura para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (relação entre a concentração de P e K utilizada e a concentração padrão de Hoagland), em função do tempo (dias após a emergência – DAE)

	DAE			
	14	28	42	56
TIBA (mg L^{-1})				
0	9,10 a	19,24 a	32,41 a	65,80 a
30	9,37 a	19,67 a	27,99 a	57,33 b
[P e K] / [padrão de Hoagland]				
0,5	8,64 a	18,37 a	29,97 a	63,43 a
1,0	9,92 a	21,31 a	34,07 a	64,66 a
1,5	10,69 a	22,46 a	35,54 a	66,68 a
2,0	7,68 a	15,68 a	21,22 b	51,50 b
médias	9,23	19,45	30,20	61,89

Nas colunas, médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem ($p < 0,05$).

[]: Concentração.

Diferenças significativas para os nutrientes foram evidenciadas a partir dos 42 DAE, quando as plantas do tratamento com relação de P e K correspondente a 2,0 apresentaram menor valor médio para a altura (Tabela 4).

Ao analisar as curvas de resposta das relações de P e K em função do tempo, nota-se que as plantas de todos os níveis deste fator apresentaram o mesmo comportamento de crescimento. Entretanto, as plantas correspondentes a relação de P e K igual a 2,0 apresentaram crescimento menos expressivo desde o início da fase vegetativa (Figura 1.B). Baseado nas equações das curvas de resposta, na última avaliação (56 DAE), a altura média das plantas de cada tratamento, em ordem crescente de relação, foi de 62,53 cm, 63,87 cm, 65,83 cm e 50,08 cm.

Analizando-se as curvas de resposta dos níveis do TIBA em relação aos níveis de nutrientes, nota-se que ocorreu a redução da altura média de plantas pulverizadas com TIBA em todos as relações de P e K, diferindo significativamente daquelas sem a aplicação do produto (média de 28,45 cm e 31,64 cm, respectivamente).

As relações de P e K correspondentes a 1,08 e 1,13 apresentaram os pontos de máxima altura para os tratamentos com e sem TIBA, respectivamente (Figura 1.C).

Clapp Junior (1973), avaliando o efeito do TIBA em um cultivar com hábito de crescimento determinado, observou redução similar (13,33%), enquanto Greer e Anderson (1965) encontraram reduções variando entre 13,64% e 45,45%, em testes

realizados em dois anos consecutivos, utilizando cultivar com hábito de crescimento indeterminado.

$$\circ S/ \text{TIBA: } y = 0,0297x^2 - 0,7668x + 14,883. R^2 = 0,99$$

$$\bullet C/ \text{TIBA: } y = 0,0243x^2 - 0,6129x + 14,340. R^2 = 0,98$$

$$\circ 0,5: y = 0,0303x^2 - 0,8618x + 15,773. R^2 = 0,99$$

$$\bullet 1,0: y = 0,0245x^2 - 0,4501x + 12,245. R^2 = 0,99$$

$$\Delta 1,5: y = 0,0247x^2 - 0,4362x + 12,793. R^2 = 0,99$$

$$\blacktriangle 2,0: y = 0,0284x^2 - 1,0107x + 17,620. R^2 = 0,97$$

$$\circ S/ \text{TIBA: } y = -13,290x^2 + 30,131x + 18,893. R^2 = 0,96$$

$$\bullet C/ \text{TIBA: } y = -11,140x^2 + 24,190x + 19,240. R^2 = 0,84$$

Figura 1 - Altura média de plantas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA e de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland. A: relação TIBA x tempo; B: relação de P e K x tempo; e C: relação TIBA x relação de P e K

Hicks, Pendleton e Scott (1967), e Ghorashy, Colville e Ashworth (1969) observaram reduções de 24,91% e 19,11% (respectivamente), valores esses intermediários ao encontrados por Burton e Curley (1966), os quais constataram reduções variando de 15,63% a 30,30%. Por sua vez, Wax e Pendleton (1968) relataram diminuição da altura das plantas de soja entre 16,04% e 18,10% (nesses trabalhos não foi especificado o hábito de crescimento dos cultivares utilizados).

Na última avaliação, a altura média dos tratamentos com e sem TIBA, de acordo com as equações das curvas de resposta, foram de 56,22 cm e 65,08 cm, respectivamente (Figura 1.A). Brollo e Guarido (2009), analisaram o crescimento do mesmo cultivar utilizado neste trabalho, em diferentes densidades de semeadura, tendo encontrado valor médio de altura final igual a 98,40 cm. De acordo com informações da Embrapa, a altura média desse cultivar é de 75,00 cm.

Os cultivares de soja utilizadas nos trabalhos citados apresentaram altura média por planta (plantas sem a aplicação do TIBA, expressando o seu comportamento padrão), variando de 68,58 a 130,30 cm (média de 101,40 cm), valores na sua maioria muito superiores ao obtido pelo cultivar utilizado neste trabalho (65,80 cm).

Baseado no mecanismo de ação do TIBA nas células vegetais, principalmente naquelas mais especializadas no transporte polar de IAA, conclui-se que a redução na taxa de crescimento, iniciada logo após a aplicação do retardador (Figura 1.A), ocorreu em função do decréscimo dos níveis de IAA nas células com produção menos expressiva dessa auxina, e que ainda não haviam atingido seu crescimento completo.

O IAA aumenta a atividade das H^+ -ATPases presentes na membrana plasmática, além de atuar como sinalizador no desencadeamento do processo de síntese desses transportadores. Consequentemente, ocorre aumento do transporte de H^+ para fora do protoplasto, ativando as expansinas, proteínas responsáveis pelo enfraquecimento das pontes de hidrogênio entre os polissacarídeos da parede celular. Este processo acarreta o afrouxamento da parede celular, permitindo a expansão celular em resposta a pressão de turgescência da célula.

A turgescência celular ocorre pela absorção osmótica de água, em função de um gradiente de potencial hídrico. Tendo em vista a importante contribuição do potencial osmótico na constituição do potencial hídrico celular, a tendência do aumento do crescimento das plantas, correlacionando-se positivamente ao aumento das relações de P e K (excessão feita a relação 2,0) (Figura 1.B), é atribuída a diminuição do potencial osmótico, em função principalmente do provável aumento da concentração do K no protoplasma.

Através da Figura 1.C, podemos atestar os mecanismos anteriormente descritos, estando evidente de que a provável diminuição da extensibilidade da parede celular, em

função da menor concentração de IAA celular ocasionada pela aplicação do TIBA, inibiu o crescimento das plantas, quando comparado com as mesmas relações de P e K.

4.1.2 Ramificações

O fator TIBA apresentou efeito significativo para o número de ramificações secundárias emitidas, enquanto que o fator nutriente exerceu efeito para o número de ramificações primárias e total, não ocorrendo interação entre os mesmos (Tabela 5).

Tabela 5 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis número de ramificações primárias (NRP), número de ramificações secundárias (NRS) e número total de ramificações (NTR)

Causas de Variação	GL	F calculado		
		NRP	NRS ⁽¹⁾	NTR
Bloco	6	1,07	0,61	0,27
TIBA	1	0,24	6,30*	0,75
Nutriente (PK)	3	14,98*	0,89	9,62*
TIBA x PK	3	1,23	0,06	0,89
Resíduo	42	..	..	..
Média	..	15,46	0,97	17,21
CV _{exp} (%)	..	24,93	36,71	30,42

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Dados transformados por $(x + 0,5)^{-0,4}$.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: graus de liberdade; CV_{exp}(%): coeficiente de variação experimental.

As plantas dos tratamentos com a aplicação do TIBA apresentaram maior número de ramificações secundárias, com diferença significativa de 1,73 ramificações por parcela (2,93 vezes superior). Com relação aos nutrientes, a relação de P e K igual a 1,5 foi significativamente superior as relações 0,5 e 2,0 para o número de ramificações primárias emitidas pelas plantas (19,14 ramos por parcela), enquanto que para o número total de ramificações, a relação 2,0 apresentou média de 11,36 ramos por parcela, significativamente inferior as demais (Tabela 6).

Plantas pulverizadas com TIBA apresentam maior número de ramificações primárias, secundárias e total em relações de P e K abaixo daquelas verificadas para as plantas sem TIBA.

Tabela 6 - Teste de comparação de médias para as variáveis número de ramificações primárias (NRP), número de ramificações secundárias (NRS) e número total de ramificações NTR), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (relação da concentração de P e K sobre a concentração padrão de Hoagland)

Variável	TIBA (mg L^{-1})	[P e K] / [padrão de Hoagland]				médias
		0,5	1,0	1,5	2,0	
NRP	0	13,71	17,57	20,71	10,86	15,71 a
	30	15,86	18,00	17,57	9,43	15,21 a
	médias	14,79 B	17,79 AB	19,14 A	10,14 C	CV 24,93%
NRS	0	0,86	0,57	1,43	0,71	0,89 b
	30	3,29	2,14	3,29	1,71	2,61 a
	médias	2,07 A	1,36 A	2,36 A	1,21 A	CV 36,71%
NTR	0	14,57	18,14	22,14	11,57	16,61 a
	30	19,14	20,14	20,86	11,14	17,82 a
	médias	16,86 A	19,14 A	21,50 A	11,36 B	CV 30,42%

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($p < 0,05$).

[]: Concentração.

As relações de P e K correspondentes a 1,05 e 1,21 apresentaram os pontos de máxima emissão de ramificações primárias para os tratamentos com e sem TIBA, respectivamente (Figura 2.A), enquanto que as relações de 1,03 e 1,21 apresentaram os pontos de máxima emissão para o total de ramificações (Figura 2.C). O ponto de máxima emissão de ramificações secundárias para as plantas tratadas com o TIBA correspondeu a relação 1,35, enquanto o ponto de máxima emissão para as plantas não tratadas correspondeu a uma relação inferior ao intervalo de relações de P e K utilizado (Figura 2.B).

Ao rigor estatístico, o baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) correspondente as curvas de resposta para o número de ramificações secundárias, mostra a inadequacidade do modelo de regressão proposto (polinomial quadrático).

Entretanto, optou-se por sua utilização em função da maior coerência na interpretação do comportamento dos tratamentos, diferentemente de outros modelos, os quais ajustariam as curvas aos dados, porém, não permitindo a obtenção de conclusões objetivas.

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -13,71x^2 + 33,193x - 0,0725. R^2 = 0,87$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -10,28x^2 + 21,756x + 7,295. R^2 = 0,97$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -0,43x^2 + 1,157x + 0,2525. R^2 = 0,13$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -0,43x^2 + 0,357x + 2,9675. R^2 = 0,35$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -14,14x^2 + 34,350x + 0,18. R^2 = 0,82$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -10,72x^2 + 22,144x + 10,24. R^2 = 0,92$$

Figura 2 - Número de ramificações de plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland. A: número de ramificações primárias; B: número de ramificações secundárias; e C: número total de ramificações

Greer e Anderson (1965) observaram aumento no número total de ramificações em plantas tratadas com TIBA (2,38 a 4,13 vezes o total de ramificações das plantas sem a aplicação do retardador), enquanto Ghorashy, Colville e Ashworth (1969) obtiveram aumento de 3,2 vezes (ambos os resultados sem análise estatística). Hicks, Pendleton e Scott (1967) observaram aumento significativo no número total de ramificações por planta (1,87 vezes), enquanto Burton e Curley (1966) apenas citaram a ocorrência de maior ramificação nas plantas tratadas com TIBA. No presente trabalho, o

TIBA não ocasionou alteração significativa para o número total de ramificações por parcela, mesmo apresentando aumento de 1,07 vezes (7,28%), em média.

Os cultivares de soja utilizados pelos autores citados apresentaram números totais de ramificações por planta (plantas sem a aplicação do TIBA, expressando o seu comportamento padrão), variando de 0,8 a 1,5 (média de 1,27), valores muito inferiores ao obtido pelo cultivar utilizado neste trabalho (8,31).

Em trabalhos com cultivares de soja mais recentemente utilizados, Rodrigues, Ono e Foloni (1998) encontraram 24,00 ramificações por planta, enquanto Marchiori et al. (1999) e Abdelhamid e El-Metwally (2008) obtiveram 3,00 e 3,11 ramos por planta, em média, respectivamente.

Por um longo período de tempo, acreditou-se que a auxina, transportada do caule para as gemas axilares, atuava diretamente no controle do crescimento dessas estruturas, inibindo-o ou estimulando-o em função da sua concentração. Mais recentemente, Booker, Chatfield e Leyser (2003, apud CRAWFORD et al., 2010) propuseram que a auxina atuaria de maneira indireta, não sendo transportada para as gemas axilares, mas atuando sobre um mensageiro secundário durante o seu processo de sinalização hormonal. Através de estudos utilizando mutantes de diferentes espécies, identificou-se a strigolactona como sendo o agente sinalizador da auxina neste processo de inibição do desenvolvimento das ramificações.

Segundo esta teoria, a auxina transportada de forma basípeta promove a expressão dos genes responsáveis pela biossíntese de strigolactonas (HAYWARD et al., 2009). Uma vez sintetizado, este hormônio seria translocado para as gemas, promovendo a ação das proteínas F-box, diretamente responsáveis pela inibição do crescimento das gemas (DUN; BREWER; BEVERIDGE, 2009).

Alguns anos mais tarde, Bennett et al. (2006) propuseram um novo modelo para a supressão do crescimento das gemas axilares, sendo apoiado pelos resultados obtidos recentemente por Crawford et al. (2010). De acordo com o modelo de canalização do transporte de auxina, a strigolactona atua dificultando o fluxo desse hormônio, a partir das gemas, para o sistema de transporte polar do caule. Por outro lado, a auxina transportada pela via polar nos tecidos parenquimáticos vasculares do caule, em condições normais de concentração, atua reduzindo a força de dreno dessa região,

dificultando também a saída de auxina das gemas. Uma vez que as gemas precisam ter sua concentração de auxina diminuída para iniciar o crescimento, esse processo não ocorre.

De acordo com a atuação do TIBA na planta, a redução dos níveis de auxina transportada via transporte polar diminui a síntese das strigolactonas, além de aumentar a força do dreno para a auxina, permitindo a redução da concentração desse hormônio nas gemas, e posteriormente, o seu crescimento.

As gemas axilares podem ser responsivas à diminuição nos níveis de auxina e strigolactonas apenas em estágios específicos de desenvolvimento (FERGUSON; BEVERIDGE, 2009 apud DUN; BREWER; BEVERIDGE, 2009), o que pode explicar o fato do TIBA ter aumentado apenas o número de ramificações secundárias (Tabela 6).

De acordo com Cline (1991 apud DUN; BREWER; BEVERIDGE, 2009), nutrientes como o P, quando absorvidos pelo sistema radicular, estimula o crescimento de gemas axilares, possivelmente pela alteração da sensibilidade hormonal. Plantas presentes em ambientes com déficit de P aumentaram a sensibilidade a auxina pelo aumento da expressão de receptores desse hormônio (PEREZ-TORRES et al., 2008).

Segundo Lopez-Raez et al. (2008), as strigolactonas são sintetizadas nas raízes, a partir da clivagem de carotenóides, através da ação da enzima carotenóide clivagem díoxigenase (CCD). Segundo esses mesmos autores, em condições de deficiência de P, ocorre uma maior síntese de strigolactonas, possivelmente relacionada ao fato de que este hormônio, uma vez exsudado pelas raízes, favorece o crescimento micorrízico associado as raízes, aumentando a captação de P para as plantas. Esse aumento no nível de strigolactonas, relacionado a deficiência de P, explicaria a inibição do crescimento das gemas.

4.1.3 Massa seca de raiz

Os fatores TIBA e nutriente apresentaram efeito significativo para a produção de massa seca de raiz, porém, não ocorrendo interação entre os mesmos (Tabela 7).

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado para a massa seca de raiz, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento na produção da massa seca. Entretanto, ocorreu redução

significativa nas raízes das plantas pulverizadas com TIBA (diferença média de 2,34 g por parcela). A relação de nutrientes 2,0 também diminuiu a massa seca de raízes (redução de 2,75 g a 3,15 g), conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 7 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para a variável massa seca de raiz (MSR)

Causas de Variação	GL	F calculado
		MSR ⁽¹⁾
Bloco	6	1,53
TIBA	1	5,49*
Nutriente (PK)	3	4,17*
TIBA x PK	3	0,23
Resíduo	42	..
Média	..	2,60
CV _{exp} (%)	..	24,76

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Dados transformados por $\sqrt{x}$.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: graus de liberdade; CV_{exp}(%): coeficiente de variação experimental.

Nenhum dos trabalhos relacionados com TIBA avaliaram qualquer parâmetro relacionado às raízes de soja, assim como em nenhuma outra espécie. Entretanto, em trabalhos paralelos, com utilização de cultivares distintos, Queiroz-Voltan, Nogueira e Miranda (2000), obtiveram valor médio de massa seca de raiz igual a 2,16 g por planta, sendo inferior às 3,20 g e 4,60 g encontradas por Silva, Almeida e Arias (2003) e Abdelhamid e El-Metwally (2008), respectivamente (considerando os tratamentos sem TIBA, expressando o comportamento padrão das plantas). Neste trabalho, a massa seca de raízes das plantas do tratamento sem a aplicação do TIBA foi de 4,24 g por planta.

Tabela 8 - Teste de comparação de médias para a variável massa seca de raiz (MSR), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (relação da concentração de P e K sobre a concentração padrão de Hoagland)

Variável	TIBA (mg L^{-1})	[P e K] / [padrão de Hoagland]				médias
		0,5	1,0	1,5	2,0	
	0	9,01	8,93	9,80	6,14	8,47 a
MSR	30	7,44	6,73	6,32	4,02	6,13 b
	médias	8,23 A	7,83 A	8,06 A	5,08 B	CV 24,76%

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($p < 0,05$).

[]: Concentração.

As relações de P e K correspondentes a 0,58 e 1,03 apresentaram os pontos de máxima produção de massa seca de raízes para os tratamentos com e sem TIBA, respectivamente (Figura 3).

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -3,58x^2 + 7,402x + 5,9300. R^2 = 0,81$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -1,59x^2 + 1,841x + 6,8075. R^2 = 0,96$$

Figura 3 - Massa seca de raízes de plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland

Segundo Tanimoto (2005), a auxina apresenta um papel central na regulação do crescimento de raízes, atuando como supressor nesse processo, quando presente em concentrações acima daquelas consideradas ótimas para o metabolismo das células da estrutura em questão. Conforme o mesmo autor, as concentrações endógenas de IAA nas células das raízes são inversamente proporcionais às suas taxas de crescimento.

Uma das propostas sugeridas para explicar o mecanismo de inibição do crescimento radicular pela auxina refere-se a sua atuação na síntese de etileno, o qual atuaria ocasionando parte da redução do crescimento de raízes. Esta proposta é passível de aceitação, tendo em vista a diminuição parcial da inibição do crescimento radicular por auxina, após as raízes terem sido tratadas com um inibidor da síntese de etileno (TANIMOTO, 2005).

O fato do TIBA ter ocasionado redução significativa da massa seca de raiz deve estar relacionado a sua atuação sobre as proteínas PIN, impedindo o efluxo de auxina, o que provavelmente aumentou a sua concentração intracelular para níveis acima do adequado, principalmente nas células com maiores níveis de síntese desse hormônio. Além do TIBA, resultados obtidos por Koltai et al. (2010) sugerem que as strigolactonas contribuem para a perda de eficiência no efluxo da auxina pelas células de raízes, intensificando os processos responsáveis pela inibição do crescimento radicular, a pouco propostos.

Não se encontrou na literatura informações referentes a efeitos adversos de altas concentrações de fósforo e potássio sobre as raízes de plantas. A redução da massa seca das raízes ocorrida na maior concentração de nutrientes também não deve estar relacionada às características físico-químicas da solução nutritiva, tendo em vista que os valores de pH e condutividade elétrica da referida solução encontram-se dentro daqueles considerados adequados para a maioria das culturas (PRADO et al., 2010).

4.2 Parâmetros fisiológicos

4.2.1 Valor SPAD (clorofilas)

Apenas o fator tempo apresentou efeito significativo para o valor SPAD, porém, ocorrendo interação entre os fatores TIBA x tempo, e nutriente x tempo (Tabela 9).

Tabela 9 – Resumo da análise de variância por meio do teste F para a variável SPAD

Causas de Variação	GL	F _{calculado}
		Valor SPAD
Bloco	6	1,40
TIBA	1	0,11
Nutriente (PK)	3	2,81
Resíduo a	42	1,24
Tempo	3	147,08*
TIBA x PK	3	1,34
TIBA x Tempo	3	6,83*
PK x Tempo	9	7,53*
TIBA x PK x Tempo	9	1,34
Resíduo b	143	..
Média	..	40,08
CV _{exp} (%)	..	5,65

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: graus de liberdade; CV_{exp}(%): coeficiente de variação experimental.

Ocorreu diferença significativa entre as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apenas aos 56 dias após a emergência – DAE (28 dias após a aplicação do TIBA), com maior média para as plantas tratadas, apresentando uma diferença de 2,18 unidades SPAD (Tabela 10). Na última avaliação, os valores dos tratamentos com e sem TIBA,

de acordo com as equações das curvas de resposta, foi de 44,71 e 42,80 unidades SPAD (Figura 4.A).

Tabela 10 - Desdobramento da variável SPAD para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (relação entre a concentração de P e K utilizada e a concentração padrão de Hoagland), em função do tempo (dias após a emergência – DAE)

	DAE			
	14	28	42	56
TIBA (mg L^{-1})				
0	35,33 a	39,40 a	42,56 a	42,82 b
30	35,29 a	39,46 a	40,79 a	45,00 a
[P e K] / [padrão de Hoagland]				
0,5	33,49 b	37,45 b	42,70 a	44,06 ab
1,0	34,56 ab	38,56 b	41,53 a	45,24 a
1,5	35,78 ab	39,83 ab	40,51 a	44,51 ab
2,0	37,41 a	41,89 a	41,96 a	41,84 b
médias	35,31	39,43	41,68	43,98

Na coluna, médias seguidas da mesma letra minúscula não diferem ($p < 0,05$).

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

[]: Concentração.

Diferenças significativas para os nutrientes foram evidenciadas ainda na primeira avaliação (14 DAE), quando o valor SPAD do tratamento com relação de P e K correspondente a 2,0 foi superior ao valor da relação 0,5. Aos 28 DAE, a relação 1,0 também diferiu negativamente da relação 2,0 (Tabela 10).

Aos 42 DAE, os tratamentos apresentaram uma aparente convergência (Figura 4.B), não diferindo significativamente entre si. Entretanto, aos 56 DAE, a relação de P e K correspondente a 1,0 apresentou valor SPAD significativamente superior ao obtido na relação de P e K igual a 2,0 (Tabela 10).

Os valores SPAD médios relativos aos tratamentos com e sem TIBA foram de 40,13 e 40,03, respectivamente, enquanto que para as relações de P e K, em ordem crescente de relação, foram de 39,41, 39,97, 40,16 e 40,77.

Para a avaliação do comportamento do valor SPAD nas plantas ao longo do tempo, através dos valores médios dos tratamentos com e sem TIBA, ajustou-se os modelos linear e polinomial quadrático, respectivamente, em função dos comportamentos distintos ocorridos no incremento da variável (Figura 4.A).

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado para os dados dos níveis de nutrientes, verificou-se que as plantas das relações de P e K correspondentes a 0,5, 1,0 e 1,5 apresentaram o mesmo comportamento quanto ao incremento do valor SPAD, com ponto de máximo correspondente aos 56 DAE, porém, com tendência de aumento no decorrer do tempo. O valor SPAD correspondente a relação de P e K igual a 2,0 aumentou até os 42 DAE, diminuindo em seguida (Figura 4.B).

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -0,0049x^2 + 0,5233x + 28,858. R^2 = 0,99$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = 0,2176x + 32,52. R^2 = 0,97$$

$$\circ 0,5: y = -0,0033x^2 + 0,4961x + 26,935. R^2 = 0,98$$

$$\bullet 1,0: y = -0,0004x^2 + 0,2760x + 30,858. R^2 = 1,00$$

$$\triangle 1,5: y = -6E-05x^2 + 0,1964x + 33,378. R^2 = 0,94$$

$$\blacktriangle 2,0: y = -0,0059x^2 + 0,5061x + 31,685. R^2 = 0,94$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = 1,01x^2 - 1,323x + 39,788. R^2 = 1,00$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -0,86x^2 + 2,642x + 38,445. R^2 = 0,71$$

Figura 4 - Valor SPAD de plantas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K

Ao analisar as curvas de resposta dos níveis do TIBA em relação aos níveis de nutrientes, nota-se que o modelo polinomial quadrático foi bem ajustado para os

referidos tratamentos, os quais apresentaram comportamentos distintos de incremento de unidades SPAD, porém, não ocorrendo diferenças significativas entre os níveis de TIBA e entre os níveis de nutrientes.

Para o intervalo de relações de P e K estudado, o tratamento sem TIBA apresentou crescimento não linear, a partir da relação correspondente a 0,65 (ponto de mínimo valor SPAD), enquanto que no tratamento com a aplicação do TIBA, ocorreu aumento do valor SPAD até a relação intermediária 1,53, decrescendo em seguida (Figura 4.C).

Teoricamente o valor SPAD aumenta com o ciclo da planta em função do aumento de folhas maduras. TIBA e K, além do P, deveriam tender a aumentar as clorofilas pela ação retardante do primeiro e pelo efeito do K e P na síntese de clorofilas.

O ponto de máximo valor SPAD para o tratamento sem TIBA correspondeu aos 53 DAE, enquanto que os valores SPAD do tratamento com TIBA apresentou um aumento contínuo durante o intervalo de tempo avaliado, com o maior valor SPAD obtido aos 56 DAE (Figuras 4.A e 4.B).

Nenhum dos trabalhos relacionados com TIBA avaliaram qualquer parâmetro relacionado ao teor de clorofila das folhas de soja, assim como em nenhuma outra espécie. Entretanto, em trabalhos paralelos, com utilização de cultivares distintos, Araújo, Monteiro e Cardoso (2005), obtiveram valor médio de valor SPAD igual a 36,7, enquanto Asmus e Ferraz (2002) encontraram valores SPAD variando de 30,0 a 40,0. Neste trabalho, o valor SPAD das plantas do tratamento sem a aplicação do TIBA foi de 42,82 (média).

A auxina parece não atuar, mesmo indiretamente, em processos relacionados a síntese de clorofilas. Entretanto, há controvérsias quanto a ação desse hormônio no retardamento da senescência foliar (LIM; NAM, 2005 apud CASTILLO; LEON, 2008), e consequentemente, na diminuição dos níveis de clorofila.

Segundo Vandenbussche, Smalle e Le (2003 apud CASTILLO; LEON, 2008), mutantes para a síntese e/ou ação de auxina tem apresentado atraso na senescência foliar. Entretanto, resultados obtidos por Lim et al. (2010) mostram que a repressão da sinalização auxínica pelo fator de transcrição AFR2 pode regular positivamente o início e o avanço da senescência foliar.

Como já mencionado anteriormente neste trabalho, folhas jovens sintetizam auxina em níveis suficientemente altos para caracterizá-las como fonte desse hormônio para as demais partes da planta, sendo transportados até os mesmos via floema. O transporte da auxina, a partir das células de síntese até os elementos de vaso do floema ocorre por meio das proteínas PIN. Uma vez que o TIBA atua nessas proteínas, o transporte é interrompido, ocorrendo possivelmente um aumento da concentração auxínica nas células de síntese, presentes nas bordas das folhas (processo passível de aceitação, baseado na ocorrência de epinastia foliar em folhas jovens, algumas horas após a aplicação do retardador, fenômeno esse típico de tratamentos com alta concentração de auxina).

Os folíolos não apresentaram alterações quanto ao seu tamanho, espessura e/ou textura (passíveis de despertar a atenção das pessoas envolvidas na coleta dos dados), sugerindo que algum tempo depois da aplicação, ocorreu o restabelecimento dos níveis de auxina por toda a folha, permitindo a expansão celular em níveis normais. Esse processo de redução dos níveis de auxina pode ocorrer quando a sua concentração excede o nível ótimo, ou a resposta a sua atuação esteja completa (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O aumento da concentração de auxina no período inicial após o tratamento com o TIBA provavelmente desencadeou processos bioquímicos responsáveis por permitir às células retardar o início do processo de redução do nível de clorofila, após algumas semanas (Tabela 10 e Figura 4.A), concordando com o proposto por Lim et al. (2010).

Uma segunda hipótese para a ocorrência de maior valor SPAD nas folhas sob a ação do TIBA, poderia se referir a um maior espessamento foliar (conforme verificado por outros autores). Entretanto, essa característica não foi analisada, e conforme anteriormente mencionado, não se observou qualquer alteração quanto ao tamanho, espessura e/ou textura das mesmas, quando da coleta dos dados.

Com relação aos nutrientes, também não foram encontradas evidências sobre qualquer ação direta dos nutrientes P e K no processo de síntese e/ou manutenção dos teores de clorofila das folhas. Entretanto, níveis adequados dos elementos essenciais, entre eles o P e K, colaboram para a manutenção de reações metabólicas em níveis desejáveis, permitindo as células manterem seu metabolismo e funcionamento sob

taxas adequadas, refletindo, entre outros, sobre as moléculas de clorofila (conforme a Tabela 10 e Figura 4.B).

4.2.2 Enzimas

Entre os fatores estudados, apenas o tempo apresentou efeito significativo para as enzimas ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX) e fenilalanina amônia liase (PAL), assim como para a concentração de proteína total solúvel (PTS), não ocorrendo interação significativa entre os fatores. Não houve qualquer efeito significativo dos fatores para a enzima nitrato redutase (NR), conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), nitrato redutase (NR), fenilalanina amônia liase (PAL) e de proteína total solúvel (PTS)

Causas de Variação	GL	F calculado				
		APX ⁽¹⁾	GPX	NR ⁽²⁾	PAL	PTS
Bloco	3	4,18*	0,30	4,52*	0,61	3,07*
TIBA	1	0,20	0,33	0,06	0,13	0,42
Nutriente (PK)	3	0,74	0,77	1,07	0,26	0,78
Resíduo a	21	3,14*	2,86*	8,99*	3,67*	3,97*
Tempo	2	5,73*	104,58*	0,02	24,73*	4,31*
TIBA x PK	3	1,84	0,31	0,45	1,78	0,60
TIBA x Tempo	2	3,21	0,00	0,66	0,01	0,07
PK x Tempo	6	2,01	0,20	1,42	0,62	1,50
TIBA x PK x Tempo	6	0,59	0,44	1,13	0,69	2,30
Resíduo b ⁽³⁾	44	..	..	..	..	..
Média	..	166,32	416,36	2,81	17,04	53,94
CV _{exp} (%)	..	21,70	17,28	8,34	17,46	4,84

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Dados transformados por $(x)^{0,8}$.

⁽²⁾ Dados transformados por $\text{Log}_{10}(x)$.

⁽³⁾ Resíduo da variável NR: 41.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: graus de liberdade; CV_{exp}(%): coeficiente de variação experimental.

A significância encontrada no bloco para as variáveis APX, NR e PTS demonstra a validade do delineamento utilizado para assegurar maior controle local, anulando o efeito de fatores externos aos tratamentos.

São poucas as informações atualmente disponíveis sobre a ação e os efeitos do TIBA nos aspectos bioquímicos e fisiológicos celulares, as quais se restringem aos seus

efeitos sobre o transporte polar da auxina. Entretanto, ao se considerar as milhares de reações bioquímicas que ocorrem em nível celular, é possível propor que este retardador possa vir a atuar em ao menos algumas dessas reações.

O retardador não apresentou qualquer efeito na atividade de algumas enzimas com importância metabólica amplamente conhecida, assim como na concentração de proteína total solúvel. Esse resultado é interessante, tendo em vista a importância da manutenção da atividade celular em condições normais. Além disso, grandes alterações na atividade de uma ou mais enzimas poderia comprometer o desenvolvimento e/ou crescimento da planta, acarretando até mesmo em prejuízos na produção de biomassa e/ou produção de grãos.

Com relação aos nutrientes, as diferentes relações de P e K não interferiram na atividade metabólica das enzimas. Baseado nos resultados, infere-se que o K provavelmente não participa como ativador dessas enzimas.

A seguir, está descrito o comportamento da atividade das enzimas analisadas, através da relação entre cada fator e o tempo, bem como a relação entre os fatores.

4.2.2.1 Ascorbato peroxidase (APX)

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado aos dados, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram comportamentos distintos quanto a atividade enzimática da ascorbato peroxidase (APX) em função do tempo (Figura 5.A), assim como as plantas dos tratamentos com diferentes relações de P e K (Figura 5.B).

A mínima atividade da APX ocorreu as 34 DAE para o tratamento sem a aplicação de TIBA, enquanto que para o tratamento com TIBA, a mínima atividade correspondeu, de acordo com o modelo, a um período anterior ao avaliado. Aos 56 DAE, os valores médios da atividade enzimática, para os tratamentos com e sem TIBA, foram de 638,49 e 740,38 $\mu\text{mols de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente.

Com relação aos nutrientes, a mínima atividade enzimática ocorreu aos 34 DAE, para as relações de P e K correspondentes a 1,0 e 2,0, enquanto que as relações de P e K correspondentes a 0,5 e 1,5 apresentaram pontos de máxima atividade aos 40 DAE. Aos 56 DAE, os valores médios da atividade da APX foram de 592,59, 884,59,

588,58 e 691,93 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$, respectivamente para as relações de P e K igual a 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0.

○S/ TIBA: $y = 0,5062x^2 - 34,728x + 1097,70$. $R^2 = 1,00$

●C/ TIBA: $y = 0,0378x^2 - 1,9271x + 627,87$. $R^2 = 1,00$

○0,5: $y = -0,06x^2 + 4,8782x + 507,57$. $R^2 = 1,00$

●1,0: $y = 0,743x^2 - 51,31x + 1427,90$. $R^2 = 1,00$

△1,5: $y = -0,067x^2 + 5,4118x + 495,63$. $R^2 = 1,00$

▲2,0: $y = 0,472x^2 - 32,294x + 1020,20$. $R^2 = 1,00$

○S/ TIBA: $y = -86,73x^2 + 129,08x + 599,44$. $R^2 = 0,24$

●C/ TIBA: $y = -152,81x^2 + 387,07x + 421,14$. $R^2 = 0,38$

Figura 5 - Atividade da enzima ascorbato peroxidase (APX) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K

As relações de P e K correspondentes a 1,27 e 0,74 apresentaram a máxima atividade enzimática para os tratamentos com e sem TIBA, respectivamente (Figura 5.C). Os valores médios da atividade da APX relativos aos tratamentos com e sem TIBA foram de 618,46 e 598,17 $\mu\text{mol min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$, respectivamente, enquanto que

para as relações de P e K foram de 598,73, 680,56, 595,95 e 558,02 $\mu\text{mols de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (respectivamente para as relações 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0).

Ao rigor estatístico, o baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) correspondente as curvas de resposta para PTS, mostra a inadequacidade do modelo de regressão proposto (polinomial quadrático). Entretanto, optou-se por sua utilização em função da maior coerência na interpretação do comportamento dos tratamentos, diferentemente de outros modelos, os quais ajustariam as curvas aos dados, porém, não permitindo a obtenção de conclusões objetivas.

4.2.2.2 Guaiacol peroxidase (GPX)

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado aos dados, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento quanto a atividade enzimática da guaiacol peroxidase (GPX) em função do tempo (Figura 6.A), assim como as plantas dos tratamentos com diferentes relações de P e K (Figura 6.B).

A mínima atividade da GPX para os tratamentos com e sem a aplicação de TIBA ocorreu aos 34 dias após a emergência (DAE). Aos 56 DAE, os valores médios da atividade enzimática, para os tratamentos com e sem TIBA, foram de 585,71 e 570,55 $\mu\text{mols de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente, com tendência de aumento no decorrer do tempo.

Com relação aos nutrientes, a mínima atividade enzimática ocorreu aos 34 DAE, para as relações de P e K correspondentes a 0,5, 1,0 e 1,5, e aos 33 DAE para a relação de P e K igual a 2,0. Aos 56 DAE, os valores médios da atividade da GPX foram de 583,07, 597,25, 604,92 e 527,37 $\mu\text{mols de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente para as relações de P e K igual a 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0, também apresentando tendência de aumento no decorrer do tempo.

Ao analisar as curvas de resposta dos níveis do TIBA em relação aos níveis de nutrientes, nota-se que o modelo polinomial quadrático foi bem ajustado para os referidos tratamentos, os quais apresentaram o mesmo comportamento quanto a atividade da GPX (Figura 6.C).

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = 0,5504x^2 - 37,433x + 940,74. R^2 = 1,00$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = 0,5492x^2 - 37,340x + 954,46. R^2 = 1,00$$

$$\circ 0,5: y = 0,5813x^2 - 39,601x + 977,77. R^2 = 1,00$$

$$\bullet 1,0: y = 0,5800x^2 - 39,504x + 990,59. R^2 = 1,00$$

$$\Delta 1,5: y = 0,5655x^2 - 38,482x + 986,51. R^2 = 1,00$$

$$\blacktriangle 2,0: y = 0,4725x^2 - 31,965x + 835,65. R^2 = 1,00$$

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = -70,42x^2 + 140,33x + 368,06. R^2 = 0,97$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = -65,15x^2 + 170,12x + 336,18. R^2 = 0,76$$

Figura 6 - Atividade da enzima guaiacol peroxidase (GPX) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K

As relações de P e K correspondentes a 1,31 e 1,00 apresentaram a máxima atividade enzimática para os tratamentos com e sem TIBA, respectivamente (Figura 6.C). Os valores médios da atividade da GPX relativos aos tratamentos com e sem TIBA foram de 424,59 e 407,77 $\mu\text{mols de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$, respectivamente, enquanto que para as relações de P e K foram de 415,86, 415,62, 448,21 e 388,35 $\mu\text{mols de H}_2\text{O}_2 \text{ min}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$ (respectivamente para as relações 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0).

4.2.2.3 Nitrato redutase (NR)

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado para os dados de atividade da enzima nitrato redutase (NR), verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento em função do tempo (Figura 7.A). Por outro lado, as plantas dos tratamentos com diferentes relações de P e K apresentaram comportamentos distintos quanto a atividade da NR (Figura 7.B).

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = -0,4657x^2 + 33,088x + 455,33. R^2 = 1,00$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = -0,8440x^2 + 59,577x - 40,48. R^2 = 1,00$$

$$\circ 0,5: y = -1,7683x^2 + 124,270x - 553,75. R^2 = 1,00$$

$$\bullet 1,0: y = -0,0530x^2 + 4,200x + 691,38. R^2 = 1,00$$

$$\Delta 1,5: y = -1,1278x^2 + 79,442x - 416,03. R^2 = 1,00$$

$$\blacktriangle 2,0: y = 0,3298x^2 - 22,581x + 1108,20. R^2 = 1,00$$

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = 1108,0x^2 - 3122,4x + 2788,2. R^2 = 0,97$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = -10,96x^2 - 250,0x + 1195,70. R^2 = 0,85$$

Figura 7 - Atividade da enzima nitrato redutase (NR) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K

A máxima atividade da NR para os tratamentos com e sem a aplicação de TIBA ocorreu aos 35 dias após a emergência (DAE). Aos 56 DAE, os valores médios da atividade enzimática, para os tratamentos com e sem TIBA, foram de 847,82 e 649,05 $\mu\text{mols NO}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente, com tendência de diminuição no decorrer do tempo.

Com relação aos nutrientes, a máxima atividade enzimática ocorreu aos 35 DAE, para as relações de P e K correspondentes a 0,5 e 1,5, e aos 39 DAE para a relação de 1,0. A relação 2,0 apresentou um ponto de mínima atividade enzimática, o qual ocorreu aos 34 DAE. Aos 56 DAE, os valores médios da atividade da NR foram de 859,98, 760,37, 495,94 e 877,91 $\mu\text{mols NO}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente para as relações de P e K igual a 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0, com tendência de aumento para a relação 2,0, estabilização para a relação 1,0 e de decréscimo para as demais relações.

Ao analisar as curvas de resposta dos níveis do TIBA em relação aos níveis de nutrientes, nota-se que o modelo polinomial quadrático foi bem ajustado para os referidos tratamentos, porém, apresentando comportamentos distintos quanto a atividade da NR (Figura 7.C).

O tratamento sem TIBA apresentou o ponto de mínima atividade da NR na relação de P e K correspondente a 1,41, enquanto o tratamento com o TIBA apresentou sua máxima atividade na relação de P e K correspondente a 0,5 (Figura 7.C). Os valores médios da atividade da NR relativos aos tratamentos com e sem TIBA foram de 923,43 e 913,28 $\mu\text{mols NO}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente, enquanto que para as relações de P e K, as médias foram de 1265,46, 813,24, 861,05 e 735,58 $\mu\text{mols NO}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (respectivamente para as relações 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0).

4.2.2.4 Fenilalanina amonia liase (PAL)

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado para os dados de atividade da enzima fenilalanina amonia liase (PAL), verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento em função do tempo, assim como as plantas dos tratamentos com diferentes relações de P e K.

A interação dos diferentes níveis de TIBA ou nutrientes ao longo do tempo não apresentaram pontos de máxima ou de mínima na atividade da enzima PAL, ocorrendo

um aumento contínuo de atividade durante o intervalo de tempo avaliado (Figuras 8.A e 8.B). Aos 56 DAE, os valores médios dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram atividade enzimática de 18,85 e 20,15 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$, respectivamente, enquanto que os valores de atividade enzimática correspondentes as relações de P e K de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 foram de 20,78, 20,93, 20,02 e 18,89 $\mu\text{mol h}^{-1} \text{g}^{-1} \text{MF}$.

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = 0,0046x^2 - 0,1854x + 16,51. R^2 = 1,00$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = 0,0041x^2 - 0,1546x + 15,64. R^2 = 1,00$$

$$\circ 0,5: y = 0,0082x^2 - 0,4368x + 19,56. R^2 = 1,00$$

$$\bullet 1,0: y = 0,0068x^2 - 0,3389x + 18,71. R^2 = 1,00$$

$$\Delta 1,5: y = 0,0006x^2 + 0,0918x + 13,04. R^2 = 1,00$$

$$\blacktriangle 2,0: y = 0,0018x^2 + 0,0057x + 12,97. R^2 = 1,00$$

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = -1,30x^2 + 1,054x + 18,495. R^2 = 0,92$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = -2,64x^2 + 8,920x + 10,730. R^2 = 0,73$$

Figura 8 - Atividade da enzima fenilalanina amonia liase (PAL) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K

Ao analisar as curvas de resposta dos níveis do TIBA em relação aos níveis de nutrientes, nota-se que o modelo polinomial quadrático foi bem ajustado para os dados, porém, apresentando comportamentos distintos quanto a atividade da PAL (Figura 8.C).

O tratamento com TIBA apresentou o ponto de máxima atividade de PAL na relação de P e K correspondente a 1,69, enquanto que o tratamento sem a aplicação do TIBA não apresentou pontos de máxima ou mínima atividade, para o intervalo de tempo avaliado (Figuras 8.C). Os valores médios da atividade da PAL, relativos aos tratamentos com e sem TIBA, foram de 16,96 e 17,13 $\mu\text{mols de TIBA transcinâmico min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente, enquanto que para as relações de P e K, as médias foram de 16,73, 17,02, 17,91 e 16,59 $\mu\text{mols de TIBA transcinâmico min}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$ (respectivamente para as relações 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0).

4.2.3 Proteína total solúvel (PTS)

De acordo com o modelo polinomial quadrático, ajustado para os dados de concentração de proteína total solúvel (PTS), verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento em função do tempo, assim como as plantas dos tratamentos com diferentes relações de P e K.

A máxima concentração de PTS para os tratamentos com e sem a aplicação de TIBA ocorreu aos 40 dias após a emergência (DAE). Aos 56 DAE, os valores médios da concentração de PTS, para os tratamentos com e sem TIBA, foram de 52,95 e 53,61 $\text{mg g}^{-1} \text{ MF}$ (Figura 9.A).

Com relação aos nutrientes, a máxima concentração de PTS ocorreu aos 46, 41, 38 e 42 DAE, para as relações de P e K correspondentes a 0,5, 1,0 e 1,5 e 2,0. Aos 56 DAE, os valores médios da concentração de PTS foram de 53,71, 52,76, 52,93 e 53,91 $\text{mg g}^{-1} \text{ MF}$, respectivamente para as relações de P e K igual a 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 (Figura 9.B).

As relações de P e K correspondentes a 1,66 e 1,44 apresentaram a máxima concentração de PTS para os tratamentos com e sem TIBA, respectivamente (Figura 9.C). Os valores médios da concentração de PTS relativos aos tratamentos com e sem TIBA foram de 53,90 e 53,98, respectivamente, enquanto que para as relações de P e K

foram de 53,50, 53,46, 54,56 e 54,25 (respectivamente para as relações 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0).

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = -0,0088x^2 + 0,7086x + 41,53. R^2 = 1,00$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = -0,0078x^2 + 0,6343x + 41,89. R^2 = 1,00$$

$$\circ 0,5: y = -0,0037x^2 + 0,3464x + 45,91. R^2 = 1,00$$

$$\bullet 1,0: y = -0,0073x^2 + 0,6014x + 41,97. R^2 = 1,00$$

$$\Delta 1,5: y = -0,0159x^2 + 1,2082x + 35,13. R^2 = 1,00$$

$$\blacktriangle 2,0: y = -0,0063x^2 + 0,5346x + 43,73. R^2 = 1,00$$

$$\circ \text{S/ TIBA: } y = -0,84x^2 + 2,420x + 53,120. R^2 = 0,04$$

$$\bullet \text{C/ TIBA: } y = -1,81x^2 + 6,003x + 49,727. R^2 = 1,00$$

Figura 9 - Concentração de proteína total solúvel (PTS) em folhas de soja, em função da presença ou ausência de TIBA, de diferentes relações de P e K na solução de Hoagland e do tempo. A: relação TIBA x tempo; B: relação concentração de P e K x tempo; e C: relação TIBA x concentração de P e K

Ao rigor estatístico, o baixo valor do coeficiente de determinação (R^2) correspondente a curva de resposta para o tratamento sem a aplicação do TIBA, mostra a inadequacidade do modelo de regressão proposto (polinomial quadrático) (Figura 9.C). Entretanto, optou-se por sua utilização em função da maior coerência na interpretação do comportamento dos tratamentos, diferentemente de outros modelos,

os quais ajustariam as curvas aos dados, porém, não permitindo a obtenção de conclusões objetivas.

4.3 Parâmetros produtivos

4.3.1 Número de vagens

O fator TIBA apresentou efeito significativo para a produção de vagens da haste, enquanto que o fator nutriente exerceu efeito para as demais variáveis (número de vagens das ramificações e número total de ramificações). Não houve interação entre os fatores (Tabela 12).

Tabela 12 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis número de vagens da haste (NVH), número de vagens das ramificações (NVR) e número total de vagens (NTV)

Causas de Variação	GL	F calculado		
		NVH ⁽¹⁾	NVR	NTV
Bloco	6	1,24	0,69	1,32
TIBA	1	17,13*	0,43	2,10
Nutriente (PK)	3	0,59	6,91*	6,14*
TIBA x PK	3	2,38	1,52	1,56
Resíduo	22	..	..	..
Média	..	7,30	125,98	182,80
CV _{exp} (%)	..	22,24	32,85	26,46

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Dados transformados por $\sqrt{x}$.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: Graus de liberdade; CV_{exp} (%): coeficiente de variação experimental.

As plantas do tratamento com a aplicação do TIBA apresentaram menor número de vagens nas hastes, com diferença significativa de 26,00 vagens por parcela (37,24%), enquanto que a concentração de P e K igual a 1,5 diferiu positivamente da menor e maior concentração no número de vagens das ramificações e total produzido (164,36 e 226,07 vagens por parcela, respectivamente), conforme expresso na Tabela 13.

Através do modelo polinomial quadrático, ajustado para todas as variáveis, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento na produção de vagens, com excessão ao tratamento sem a aplicação

de TIBA na variável número de vagens da haste, no qual a curva de resposta conferiu a este tratamento a presença de um ponto de mínima produção de vagens.

Tabela 13 - Teste de comparação de médias para as variáveis número de vagens da haste (NVH), número de vagens das ramificações (NVR) e número total de vagens (NTV), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland)

Variável	TIBA (mg L^{-1})	[P e K] / [padrão de Hoagland]				médias
		0,5	1,0	1,5	2,0	
NVH	0	74,57	62,71	64,86	77,14	69,82 a
	30	34,57	48,86	58,57	33,29	43,82 b
	médias	54,57 A	55,79 A	61,72 A	55,22 A	CV 22,24%
NVR	0	99,14	116,00	169,43	104,86	122,36 a
	30	136,57	138,57	159,29	84,00	129,61 a
	médias	117,86 B	127,29 AB	164,36 A	94,43 B	CV 32,85%
NTV	0	173,71	178,71	234,29	182,00	192,18 a
	30	171,14	187,43	217,86	117,29	173,43 a
	médias	172,43 B	183,07 AB	226,07 A	149,64 B	CV 26,46%

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($p < 0,05$).

[]: Concentração.

As concentrações de P e K de máxima emissão de vagens nas ramificações foram de 1,07 e 1,34, e de 1,14 e 1,39 para o número total de vagens (respectivamente tratamentos com e sem TIBA) (Figuras 10.B e 10.C). Com relação ao número de vagens da haste, as concentrações de máxima e mínima emissão foram de 1,26 e 1,21, respectivamente para os tratamentos com e sem aplicação do TIBA (Figura 10.A).

Avaliando os efeitos do TIBA em diferentes cultivares de soja e em condições de campo, Tanner e Ahmed (1974) observaram o aumento do número total de vagens entre 16,67% e 39,99%, enquanto Wax e Pendleton (1968), e Burton e Curley (1966) obtiveram aumentos variando entre 7,03% e 11,06%, e 4,00% e 15,00%, respectivamente (ambos os resultados sem análise estatística). Hicks, Pendleton e Scott (1967), avaliando um único cultivar de soja, encontraram aumento significativo no número de vagens por planta tratada com TIBA (34,17%). No presente trabalho, o TIBA não ocasionou alteração significativa no número total de vagens por parcela, mesmo apresentando redução média de 9,76%.

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = 24,14x^2 - 58,378x + 97,53. R^2 = 1,00$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -39,57x^2 + 100,1x - 7,1075. R^2 = 0,89$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -81,43x^2 + 217,69x + 2,9225. R^2 = 0,61$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -77,29x^2 + 165,83x + 67,242. R^2 = 0,79$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -57,29x^2 + 159,32x + 100,45. R^2 = 0,48$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -116,86x^2 + 265,93x + 60,135. R^2 = 0,80$$

Figura 10 - Número de vagens nas plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: número de vagens da haste; B: número de vagens das ramificações; e C: número total de vagens

Os cultivares de soja utilizados nos trabalhos citados apresentaram quantidades totais de vagens por planta (plantas sem a aplicação do TIBA, expressando o seu comportamento padrão), variando de 8,40 a 47,70 (média de 26,73), valores muito inferiores ao obtido pelo cultivar utilizado neste trabalho (96,09). Em trabalhos com cultivares de soja mais recentemente utilizados, Ávila et al. (2008) encontraram 100,10 vagens por planta, enquanto Camozzato et al. (2009) e Queiroz-Voltan, Nogueira e Miranda (2000) obtiveram 86,95 e 77,79 vagens por planta, respectivamente.

O TIBA não alterou o número de vagens das ramificações, devido provavelmente ao fato de que o número total de ramificações também não foi afetado.

Considerando que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA não apresentaram diferenças quanto ao número de ramificações primárias (originadas a partir das gemas axilares da haste), o número de vagens da haste das plantas de ambos os tratamentos também não deveriam apresentar diferenças significativas. Entretanto, as plantas com TIBA produziram menor número de vagens nessas estruturas.

Uma possibilidade para a ocorrência de tal característica seria a redução do número de entrenós. Entretanto, isto certamente promoveria a redução do número de ramificações primárias, fato este que não ocorreu. Além disso, Hicks, Pendleton e Scott (1967) demonstraram que o TIBA não alterou o número de entrenós em plantas de soja.

Considerando o mesmo número de ramificações e entrenós por haste, conclui-se que o TIBA provavelmente tenha ocasionado a diminuição do desenvolvimento e/ou a fixação de vagens por entrenó.

Os nutrientes não influenciaram o número de vagens da haste, possivelmente pelo fato de que esta estrutura tenha tido um maior aporte dos elementos essenciais, em função da haste ser o local de fluxo dos sais minerais para as demais estruturas da planta.

4.3.2 Número de grãos

O fator TIBA apresentou efeito significativo para o número de grãos das ramificações, enquanto que o fator nutriente mostrou efeito para as demais variáveis (número de grãos da haste e total). Houve interação entre os fatores para número de grãos da haste (Tabela 14).

Quando da aplicação de TIBA nas plantas, houve redução significativa do número de grãos das hastes apenas na relação de P e K igual a 2,0 (129,19 grãos por parcela), enquanto que na ausência do TIBA, a relação de 1,5 diferiu positivamente das relações dos nutrientes 0,5 e 2,0 (327,57 grãos por parcela). As plantas do tratamento com a aplicação do TIBA apresentaram menor número de grãos nas ramificações, com diferença significativa de 60,61 grãos por parcela, enquanto que as relações de P e K igual a 1,0 e 1,5 diferiram positivamente da relação 2,0 na produção total de grãos, (392,79 e 443,64 grãos por parcela, respectivamente), conforme a Tabela 15.

Tabela 14 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis número de grãos da haste (NGH), número de grãos das ramificações (NGR) e número total de grãos (NTG)

Causas de Variação	GL	F calculado		
		NGH	NGR	NTG
Bloco	6	1,05	1,59	1,37
TIBA	1	0,08	19,01*	3,09
Nutriente (PK)	3	11,88*	0,51	6,25*
TIBA x PK	3	3,45*	1,30	0,85
Resíduo ⁽¹⁾	42	..	..	..
Média	..	250,91	117,55	371,46
CV _{exp} (%)	..	26,97	44,25	25,30

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Resíduo da variável NGH: 41.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: Graus de liberdade; CV_{exp}. (%): coeficiente de variação experimental.

Greer e Anderson (1965) observaram grande variação no número total de grãos de soja produzido pelas plantas tratadas com TIBA, em função das diferentes dosagens utilizadas (-22,03% a +15,25%, respectivamente para concentrações de 10 e 50 mg L⁻¹), enquanto Cato e Castro (2006), obtiveram redução de 13,39%, bem como aumento de 27,98% (avaliando plantas de soja com hábito de crescimento determinado). Hicks, Pendleton e Scott (1967) constataram aumento significativo de 21,59%. No presente trabalho, TIBA não ocasionou alteração significativa para o número total de grãos por parcela, mesmo tendo apresentado menor valor (11,22%), em média.

Os cultivares de soja utilizados nos trabalhos citados apresentaram quantidades totais de grãos por planta (plantas sem a aplicação do TIBA, expressando o seu comportamento padrão), variando de 120,40 a 168,0 (média de 144,20), valores inferiores ao obtido pelo cultivar utilizado neste trabalho (196,77).

Em trabalhos com cultivares de soja mais recentemente utilizados, Scheeren et al. (2010) encontraram 92,7 grãos por planta, enquanto Ávila et al. (2008) e Silva, Almeida e Arias (2003), obtiveram 212,0 e 61,15 grãos por planta, respectivamente.

Através do modelo polinomial quadrático, ajustado para essas variáveis, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento quanto ao número de grãos produzidos, com excessão do tratamento sem a aplicação de TIBA, na variável número de grãos das ramificações, no qual a

curva de resposta conferiu a este tratamento a presença de um ponto de mínima produção (Figura 11.B).

Tabela 15 - Desdobramento da variável número de grãos da haste (NGH), e teste de comparação de médias para as variáveis número de grãos das ramificações (NGR) e número total de grãos (NTG), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland)

Variável	TIBA (mg L^{-1})	[P e K] / [padrão de Hoagland]				médias
		0,5	1,0	1,5	2,0	
NGH	0	194,14 Ba	253,57 ABa	327,57 Aa	207,43 Ba	..
	30	280,29 Aa	278,00 Aa	316,00 Aa	129,19 Ba	..
	médias	..	..	..	..	CV 26,97%
NGR	0	164,71	149,71	134,00	143,00	147,86 a
	30	70,29	104,29	109,71	64,71	87,25 b
	médias	117,50 A	127,00 A	121,86 A	103,86 A	CV 44,25%
NTG	0	358,86	403,29	461,57	350,43	393,54 a
	30	350,57	382,29	425,71	239,00	349,39 a
	médias	354,71 AB	392,79 A	443,64 A	294,71 B	CV 25,30%

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($p < 0,05$).

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

[]: Concentração.

As relações de P e K de máxima produção (número) de grãos na haste foram de 1,02 e 1,31, e de 1,12 e 1,27 para o número total de grãos, por parcela, respectivamente para os tratamentos com e sem TIBA (Figuras 11.A e 11.C). Com relação ao número de grãos das ramificações, a relação de máxima e mínima emissão foram de 1,24 e 1,58, por parcela, respectivamente para os tratamentos com e sem aplicação do TIBA.

A diminuição do número de grãos das ramificações de plantas tratadas com TIBA, mesmo não tendo ocorrido variação no número de vagens, deu-se em função do grande número de vagens apresentando ausência parcial ou total de grãos (o que chamou a atenção durante a coleta e contagem das mesmas), e até mesmo vagens não completamente desenvolvidas.

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -179,57x^2 + 471,7x - 7,2525. R^2 = 0,80$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -184,52x^2 + 378,24x + 124,05. R^2 = 0,83$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = 24x^2 - 76,168x + 198,07. R^2 = 0,94$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -79x^2 + 195,24x - 8,67. R^2 = 0,99$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -155,57x^2 + 395,52x + 190,83. R^2 = 0,78$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = -218,43x^2 + 487,82x + 149,18. R^2 = 0,85$$

Figura 11 - Número de grãos nas plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: número de grãos da haste; B: número de grãos das ramificações; e C: número total de grãos

O TIBA não alterou o número total de grãos da haste, e como o número de grãos desta estrutura, para ambos os tratamentos com e sem TIBA, foram muito superiores ao número de grãos das ramificações (Tabela 15), não ocorreu diferença significativa para o número total de grãos, entre os tratamentos com e sem o retardador.

Os nutrientes P e K, em dosagens adequadas, proporcionaram maior número de grãos nas hastes e total, mostrando a formação dos grãos ser mais sensível as concentrações de P e K, quando comparado as vagens.

4.3.3 Massa de grãos

O fator TIBA apresentou efeito significativo para a massa de grãos das ramificações, enquanto que o fator nutriente apresentou efeito para as demais variáveis (massa de grãos da haste e total). Não ocorreu interação entre os fatores (Tabela 16).

Tabela 16 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis massa de grãos da haste (MGH), massa de grãos das ramificações (MGR) e massa total de grãos (MTG)

Causas de Variação	GL	F _{calculado}		
		MGH	MGR	MTG
Bloco	6	0,88	0,92	0,88
TIBA	1	1,08	26,83*	3,92
Nutriente (PK)	3	7,21*	1,68	8,13*
TIBA x PK	3	2,77	1,76	0,96
Resíduo	42	..	..	..
Média	..	38,66	18,74	57,39
CV _{exp} (%)	..	33,29	43,97	25,79

*Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: Graus de liberdade; CV_{exp} (%): coeficiente de variação experimental.

As plantas do tratamento com a aplicação do TIBA apresentaram menor massa de grãos nas ramificações, com diferença significativa de 11,40 g por parcela, enquanto que a relação de P e K igual a 2,0 diferiu negativamente das demais relações na massa de grãos da haste e total (25,59 g e 41,02 g por parcela, respectivamente), conforme a Tabela 17.

Através do modelo polinomial quadrático, ajustado para essas variáveis, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA apresentaram o mesmo comportamento quanto a massa de grãos produzida, com excessão ao tratamento sem a aplicação de TIBA, na variável massa de grãos das ramificações, no qual a curva de resposta conferiu a este tratamento a presença de um ponto de mínima produção (Figura 12.B).

As relações de máxima produção (massa) de grãos das haste foram 0,73 e 1,23, e 0,91 e 1,13 para a massa total de grãos, respectivamente para os tratamentos com e sem TIBA (Figuras 12.A e 12.C). Com relação ao massa de grãos das ramificações, a concentração de máxima e mínima massa foram de 1,18 e 1,98, respectivamente para os tratamentos com e sem aplicação do TIBA.

Tabela 17 - Teste de comparação de médias para a massa de grãos da haste (MGH), massa de grãos das ramificações (MGR) e massa total de grãos (MTG), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland)

Variável	TIBA (mg L^{-1})	[P e K] / [padrão de Hoagland]				médias
		0,5	1,0	1,5	2,0	
MGH	0	28,32	46,88	46,16	26,16	36,87 a
	30	49,00	43,51	44,19	25,07	40,44 a
	médias	38,66 A	45,20 A	45,18 A	25,59 B	CV 33,29%
MGR	0	30,10	27,19	19,32	21,14	24,44 a
	30	11,73	15,44	15,25	9,71	13,04 b
	médias	20,92 A	21,32 A	17,29 A	15,42 A	CV 43,97%
MTG	0	58,42	74,08	65,49	47,25	61,31 a
	30	60,74	58,95	59,45	34,78	53,48 a
	médias	59,58 A	66,51 A	62,47 A	41,02 B	CV 25,79%

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($p < 0,05$).

[]: Concentração.

Parte dos trabalhos conduzidos com TIBA apresentaram variação considerável para a massa total de grãos, em função da utilização de diferentes doses do retardador ou pela análise conjunta com outros fatores (como inoculação e cultivares). Greer e Anderson (1965) observaram variação de -20,81% a +12,67%, enquanto Burton e Curley (1966) obtiveram valores entre -9,09% e +40,62%. Variações de -9,13% a +24,21% (significativa), e entre -35,38 e -18,85% (não significativa) também foram relatadas por Tanner e Ahmed (1974), e Cato e Castro (2006), respectivamente. Aumento da massa de grãos em 7,39% foi também descrito por Clapp Junior (1973). No presente trabalho, o TIBA não ocasionou alteração significativa na massa total de grãos por parcela, mesmo apresentando valor 12,77% menor do que aquele obtido pelas plantas sem TIBA.

Apenas Cato e Castro (2006) apresentaram o valor de massa total de grãos das plantas sem a aplicação do TIBA expresso em gramas por planta. O valor encontrado foi de 26 g, sendo semelhante ao obtido pelo cultivar utilizado neste trabalho (30,66 g).

Em trabalhos com cultivares de soja mais recentemente utilizados, Silva, Almeida e Arias (2003) encontraram média de 10,0 g por planta, enquanto Correia e Durigan (2007), e Abdelhamid e El-Metwally (2008) obtiveram 11,92 g e 24,60 g por planta, respectivamente.

$$\circ S/ \text{TIBA: } y = -38,56x^2 + 94,96x - 9,52. R^2 = 1,00$$

$$\bullet C/ \text{TIBA: } y = -13,63x^2 + 19,853x + 41,182. R^2 = 0,90$$

$$\circ S/ \text{TIBA: } y = 4,73x^2 - 18,775x + 39,038. R^2 = 0,86$$

$$\bullet C/ \text{TIBA: } y = -9,25x^2 + 21,875x + 3,0325. R^2 = 1,00$$

$$\circ S/ \text{TIBA: } y = -33,9x^2 + 76,33x + 29,46. R^2 = 0,97$$

$$\bullet C/ \text{TIBA: } y = -22,88x^2 + 41,724x + 44,225. R^2 = 0,92$$

Figura 12 - Massa de grãos nas plantas de soja, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: massa de grãos da haste; B: massa de grãos das ramificações; e C: massa total de grãos

A massa de grãos das diferentes partes da planta seguiram a mesma tendência apresentada para o número de grãos, com redução da massa de grãos das ramificações de plantas tratadas com TIBA, não ocorrendo diferenças na massa de grãos das hastes, e por sua vez, na massa total.

A redução do número e massa de grãos das ramificações, observadas nas plantas sob a ação do TIBA pode ser reflexo de um menor aporte de fotoassimilados oriundos da planta. Entretanto, como não foram quantificadas características como área foliar e massa seca de parte aérea, torna-se difícil assegurar a ocorrência de tal evento.

4.3.4 Massa de 100 grãos

O fator TIBA apresentou efeito significativo para a massa de 100 grãos das ramificações, enquanto que o fator nutriente exerceu efeito significativo para todas as variáveis (massa de 100 grãos da haste, das ramificações e média total). Houve interação entre os fatores para a massa de 100 grãos da haste e das ramificações (Tabela 18).

Tabela 18 - Resumo da análise de variância por meio do teste F para as variáveis massa de 100 grãos da haste (MCGH), massa de 100 grãos das ramificações (MCGR) e massa média total de 100 grãos (MMTCG)

Causas de Variação	GL	F calculado		
		MCGH	MCGR	MMTCG
Bloco	6	2,18	1,57	1,40
TIBA	1	0,27	7,37*	0,55
Nutriente (PK)	3	10,30*	7,14*	5,37*
TIBA x PK	3	2,45*	3,66*	1,82
Resíduo ⁽¹⁾	41	..	..	..
Média	..	15,57	15,51	15,64
CV _{exp} (%)	..	13,96	12,91	15,33

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

⁽¹⁾ Resíduo da variável MCGT: 42.

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

GL: Graus de liberdade; CV_{exp}. (%): coeficiente de variação experimental.

As plantas dos tratamentos com relações de P e K correspondentes a 0,5 e 0,1 diferiram positivamente da relação de 1,5, no que se refere a massa média total de 100 grãos (16,90 g e 16,92 g, respectivamente). Na ausência de TIBA, houve redução da massa de 100 grãos da haste nas relações de P e K igual a 1,5 e 2,0 (14,02 g e 13,10 g, respectivamente), enquanto que na presença do TIBA, não se constatou diferenças significativas. Com relação a massa de 100 grãos das ramificações, na ausência de TIBA, as relações de P e K igual 1,5 e 2,0 também diferiram negativamente das demais relações, com valores de massa igual a 14,50 g e 13,85 g, respectivamente, não ocorrendo diferenças para os tratamentos com TIBA. Na relação de P e K igual a 1,0, a o TIBA promoveu redução da massa de 100 grãos das ramificações (Tabela 19).

Parte dos trabalhos conduzidos com TIBA apresentaram variação considerável para esta variável, em função da utilização de diferentes doses do retardador ou pela análise conjunta com outros fatores (como inoculação e cultivares). Greer e Anderson

(1965) observaram variação de -2,37% a +3,55%, enquanto Wax e Pendleton (1968) obtiveram valores entre -4,00% e -2,42%. Variações de -9,94% a +16,28% (significativa), e entre -20,13% e -7,14% (não significativa) também foram relatadas por Tanner e Ahmed (1974), e Cato e Castro (2006), respectivamente. Redução da massa de 100 grãos em 12,31% foi também descrita por Clapp Junior (1973). No presente trabalho, TIBA não ocasionou alteração significativa na massa média total de 100 grãos por parcela, mesmo apresentando valor 3,02% menor do que aquele obtido pelas plantas sem TIBA.

Tabela 19 - Desdobramento das variáveis massa de 100 grãos da haste (MCGH) e massa de 100 grãos das ramificações (MCGR), e teste de comparação de médias para a massa média total de 100 grãos (MMTCG), para os níveis dos fatores TIBA (mg L^{-1}) e nutriente (concentração de P e K, relativa a concentração padrão de Hoagland)

Variável	TIBA (mg L^{-1})	[P e K] / [padrão de Hoagland]				médias
		0,5	1,0	1,5	2,0	
MCGH	0	17,46 Aa	18,45 Aa	14,02 Ba	13,10 Ba	..
	30	17,39 Aa	15,65 Aa	14,12 Aa	14,66 Aa	..
	médias	..	..	..	..	CV 13,96%
MCGR	0	18,13 Aa	18,40 Aa	14,50 Ba	13,85 Ba	..
	30	15,63 Aa	14,73 Ab	13,63 Aa	15,02 Aa	..
	médias	..	..	..	..	CV 12,91%
MMTCG	0	16,56	18,42	14,20	14,33	15,88 a
	30	17,24	15,43	13,97	14,97	15,40 a
	médias	16,90 A	16,92 A	14,09 B	14,65 AB	CV 15,33%

Médias seguidas da mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem ($p < 0,05$).

.. Sinal convencional utilizado: não se aplica dado numérico.

[]: Concentração.

Os cultivares de soja utilizados nos trabalhos citados apresentaram valor de massa média total de 100 grãos (proveniente de plantas sem a aplicação do TIBA, expressando o seu comportamento padrão), variando de 15,40 g a 19,50 g (média de 17,25 g), valores na sua maioria superiores ao obtido pelo cultivar utilizado neste trabalho (15,88 g).

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -1,91x^2 + 1,273x + 17,748. R^2 = 0,80$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = 2,28x^2 - 7,644x + 20,735. R^2 = 0,97$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -0,92x^2 - 1,048x + 19,255. R^2 = 0,84$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = 2,29x^2 - 6,311x + 18,347. R^2 = 0,83$$

$$\circ S/ \text{ TIBA: } y = -1,73x^2 + 2,143x + 16,443. R^2 = 0,55$$

$$\bullet C/ \text{ TIBA: } y = 2,81x^2 - 8,679x + 20,983. R^2 = 0,96$$

Figura 13 - Massa de 100 grãos, por parcela, em função da presença ou ausência de TIBA, e de diferentes concentrações de P e K na solução de Hoagland. A: massa de 100 grãos da haste; B: massa de 100 grãos das ramificações; e C: massa média total de 100 grãos

Em trabalhos com cultivares de soja mais recentemente utilizados, Correia e Durigan (2007) encontraram massa média de 14,39 g por 100 grãos, enquanto que Abdelhamid e El-Metwally (2008), e Camozzato et al. (2009) obtiveram 19,50 g e 13,09 g, respectivamente.

Através do modelo polinomial quadrático, ajustado para essas variáveis, verificou-se que as plantas dos tratamentos com e sem TIBA divergiram entre si com relação ao comportamento da massa de 100 grãos (Figura 13).

As curvas de resposta do tratamento com o TIBA apresentaram um ponto de mínima massa produzida, enquanto que as curvas de resposta dos tratamentos sem o

TIBA (exceção para a curva da massa total de 100 grãos), não apresentaram ponto de máxima massa produzida para o intervalo de relações de P e K estudado, o qual de acordo com as curvas, corresponderiam a uma relação inferior a menor utilizada.

Nos tratamentos com TIBA, os pontos de mínima massa de 100 grãos da haste, ramificações e total foram 1,67, 1,38 e 1,54, respectivamente (Figuras 13.A, 13.B e 13.C). O tratamento sem a aplicação do TIBA, referente a massa média total de 100 grãos apresentou o ponto de máxima massa correspondente a relação de P e K igual a 0,62 (Figura 13.C).

Uma vez que ocorreu o ajuste entre o número e a massa de grãos, a massa de 100 grãos apresentou-se constante, não diferindo entre os tratamentos com e sem TIBA, para as hastes, ramificações e para a massa média total de 100 grãos.

5 CONCLUSÕES

Glycine max cv. BRS 255RR tratada com TIBA e cultivada sob diferentes teores de fósforo e potássio apresenta altura final e massa seca de raízes significativamente inferiores às plantas sem TIBA. O número de ramificações secundárias e o teor de clorofila são aumentados nas plantas tratadas com o TIBA. O retardador de crescimento não afeta a atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), nitrato redutase (NR) e fenilalanina amônia liase (PAL), bem como no teor de proteína total solúvel (PTS). Plantas tratadas com TIBA mostram menor número de vagens na haste, número e massa de grãos nas ramificações, sem interferir no número total de vagens e grãos, bem como na massa total de grãos e na massa média de 100 grãos.

A altura final e a massa seca das raízes é reduzida sob teor de nutrientes duas vezes acima do adequado. Maiores valores de SPAD durante o período vegetativo são observados sob teores de fósforo e potássio 50% superior àquele adequado. A atividade das enzimas APX, GPX, NR e PAL, bem como o teor de PTS não são afetados pela quantidade dos nutrientes aplicados. O número total de vagens e grãos, assim como a massa total de grãos são reduzidos sob teor de fósforo e potássio duas vezes superior ao adequado.

No número de grãos da haste e na massa de 100 grãos da haste e das ramificações, TIBA interage com os nutrientes.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Baseado nos resultados dos trabalhos conduzidos a algumas décadas nos Estados Unidos, nos quais, em sua maioria, o TIBA promoveu alterações importantes na morfologia (plantas mais compactas, resistentes ao acamamento) e em parâmetros de produtividade da soja (aumentando a produção de grãos), considerou-se que o mesmo poderia vir a apresentar efeito(s) similar(es) nos cultivares atualmente utilizados, o que permitiria incluí-lo no sistema brasileiro de produção dessa oleaginosa. Para tal, avaliamos os resultados de seu emprego em um cultivar atualmente utilizado e recomendado para as regiões do entorno do local onde o experimento foi conduzido (assegurando assim sua adaptabilidade às condições climáticas).

Para as plantas de soja ‘BRS 255RR’, pulverizadas com TIBA no estágio “V5” e cultivadas sob diferentes teores de fósforo e potássio disponíveis para absorção radicular, observou-se que apresentaram menor altura final e massa seca de raízes, independentemente dos teores de fósforo e potássio. Teor desses nutrientes duas vezes acima do adequado também diminuiu a altura final e a massa seca de raízes. Notou-se que também mostraram maior número de ramificações secundárias, porém, não acarretando aumento significativo no número total de ramificações. Teor de fósforo e potássio duas vezes acima do adequado reduziu o número de ramificações primárias, e conseqüentemente, o número total de ramificações.

Observou-se ao término do período vegetativo, que mostraram folhas com maior valor SPAD (clorofilas). Teor de fósforo e potássio 50% superior àquele adequado apresentou os maiores valores SPAD durante todo o período vegetativo. Notou-se que TIBA e nutrientes não exerceram qualquer influência na atividade das enzimas ascorbato peroxidase (APX), guaiacol peroxidase (GPX), nitrato redutase (NR), fenilalanina amônia liase (PAL), bem como no teor de proteína total solúvel (PTS) da soja.

Na colheita, as plantas apresentaram menor número de vagens na haste, e número e massa de grãos nas ramificações, não inteferindo, entretanto, no número total de vagens e grãos, bem como na massa total de grãos e na massa média de 100 grãos. O teor de fósforo e potássio duas vezes superior ao adequado reduziu o número

total de vagens e grãos, assim como a massa total de grãos. A utilização de teor dos nutrientes 50% menor que àquele adequado também diminuiu o número total de vagens. Para as variáveis avaliadas, os nutrientes interagiram com o TIBA apenas no número de grãos da haste, e na massa de 100 grãos da haste e das ramificações.

Sugere-se para o futuro, a avaliação desse retardador de crescimento em cultivares com hábito de crescimento indeterminado e/ou duas aplicações do biorregulador, bem como a utilização de outras substâncias com efeito similar ao TIBA, buscando assim esgotar as alternativas potenciais para a obtenção das características desejadas à esta cultura, como redução do acamamento e aumento de produção.

REFERÊNCIAS

- ABDELHAMID, M.T.; EL-METWALLY, I.M. Growth, nodulation, and yield of soybean and associated weeds as affected by weed management. **Planta daninha**, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 855-863, 2008.
- AL-GHAZI, Y.; MULLER, B.; PINLOCHE, S.; TRANBARGER, T.J.; NACRY, P.; ROSSIGNOL, M.; TARDIEU, F.; DOUMAS, P. Temporal responses of Arabidopsis root architecture to phosphate starvation: evidence for the involvement of auxin signalling. **Plant Cell and Environment**, Oxford, v. 26, n. 7, p. 1053-1066, Jul 2003.
- ARAUJO, A.S.F.; MONTEIRO, R.T.R.; CARDOSO, P.F. Composto de lodo têxtil em plântulas de soja e trigo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 6, p. 549-554, jun. 2005.
- ASHLEY, M.K.; GRANT, M.; GRABOV, A. Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 57, n. 2, p. 425-436, Jan 2006.
- ASMUS, G.L.; FERRAZ, L.C.C.B. Effect of population densities of *Heterodera glycines* race 3 on leaf area, photosynthesis and yield of soybean. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 27, n. 3, p. 273-278, jun. 2002.
- ÁVILA, M.R.; BRACCINI, A.L.; SCAPIM, C.A.; ALBRECHT, L.P.; TONIN, T.A.; STÜLP, M. Bioregulator application, agronomic efficiency, and quality of soybean seeds. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 65, n. 6, p. 604-612, dez. 2008.
- BENNETT, T.; SIEBERER, T.; WILLETT, B.; BOOKER, J.; LUSCHNIG, C.; LEYSER, O. The Arabidopsis MAX pathway controls shoot branching by regulating auxin transport. **Current Biology**, London, v. 16, n. 6, p. 553-563, Mar 2006.
- BORKERT, C.M.; YORINORI, J.T.; CORRÊA-FERREIRA, B.S.; ALMEIDA, Á.M.R.; FERREIRA, L.P.; SFREDO, G.J. **Seja o doutor da sua soja**. Piracicaba: Potafós, 1994. 17p. (Informações Agrônomicas, 66).
- BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society**, Paris, Séries B, v. 26, p. 211-252, 1964.
- BRADFORD, M.M. Rapid and sensitive method for quantitation of microgram quantities of protein utilizing principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 72, n. 1/2, p. 248-254, 1976.
- BROLLO, J.; GUARIDO, R.C. Características agronômicas e rendimento de grãos de quatro cultivares de soja em seis densidades de semeadura. In: _____. **Fundação Pró-Sementes**. Passo Fundo, 2009.

BURTON, J.C.; CURLEY, R.L. Influence of triiodobenzoic acid on growth nodulation and yields of inoculated soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, n. 4, p. 406-408, 1966.

CAMOZZATO, V.A.; PESKE, S.T.; POSSENTI, J.C.; MENDES, A.S. Desempenho de cultivares de soja em função do tamanho das sementes. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 288-292, 2009.

CASTILLO, M.C.; LEON, J. Expression of the beta-oxidation gene 3-ketoacyl-CoA thiolase 2(KAT2) is required for the timely onset of natural and dark-induced leaf senescence in Arabidopsis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 59, n. 8, p. 2171-2179, May 2008.

CASTRO, P.R. de C.; SERCILOTO, C.M.; PEREIRA, M.A.; RODRIGUES, J.L.M.; ROSSI, G. Agroquímicos de controle hormonal, fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical. **Série Produtor Rural**, Piracicaba, n. esp., 2009. 96 p.

CATO, S.C.; CASTRO, P.R.C. Redução da altura de plantas de soja causada pelo ácido 2,3,5 triiodobenzóico. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 36, n. 3, p. 981-984, 2006.

CEPAGRI/UNICAMP. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_436.html>. Acesso em: 11 out. 2010.

CLAPP, J.G. Response of bragg soybean to tiba (2,3,5-triiodobenzoic acid). **Agronomy Journal**, Madison, v. 65, n. 1, p. 41-43, 1973.

CONAB. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2#A_objcmsconteudos>. Acesso em: 21 out. 2010.

CORREIA, N.M.; DURIGAN, J.C. Seletividade de diferentes herbicidas à base de glyphosate a soja RR. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 2, p. 375-379, 2007.

CRAWFORD, S.; SHINOHARA, N.; SIEBERER, T.; WILLIAMSON, L.; GEORGE, G.; HEPWORTH, J.; MULLER, D.; DOMAGALSKA, M. A.; LEYSER, O. Strigolactones enhance competition between shoot branches by dampening auxin transport. **Development**, Cambridge, v. 137, n. 17, p. 2905-2913, Sep 2010.

DUN, E.A.; BREWER, P.B.; BEVERIDGE, C.A. Strigolactones: discovery of the elusive shoot branching hormone. **Trends in Plant Science**, Oxford, v. 14, n. 7, p. 364-372, Jul 2009.

EMBRAPA. **Ecofisiologia da soja**. Londrina, 2007. 9 p. (EMBRAPA. Circular técnica, 48).

EMBRAPA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil – 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja: Embrapa Cerrados: Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 262 p.

EMBRAPA. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/culturas/soja/cultivares/brs_255rr.pdf>. Acesso em: 15 out.2010.

EPSTEIN, E.; BLOMM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2. ed. Londrina: Ed. Planta, 2006. 85 p.

GALSTON, A.W. The effect of 2,3,5-triiodobenzoic acid on the growth and flowering of soybeans. **American Journal of Botany**, Columbus, v. 34, n. 7, p. 356-360, 1947.

GHAMSARI, L.; KEYHANI, E.; GOLKHO, S. Kinetics properties of guaiacol peroxidase activity in *Crocus sativus* L. corm during rooting. **Iranian Biomedical Journal**, Tehran, v. 11, n. 3, p. 137-146, 2007.

GHORASHY, S.R.; COLVILLE, W.L.; ASHWORTH, D.L. Effects of 2,3,5-triiodobenzoic acid on morphology and anatomy of *Glycine max* (L) Merrill. **Crop Science**, Madison, v. 9, n. 4, p. 399-403, 1969.

GREER, H. A. L.; ANDERSON, I. C. Response of soybeans to triiodobenzoic acid under field conditions. **Crop Science**, Madison, v. 5, p. 229-232, 1965.

HARTLEY, H. O. The use of range in analysis of variance. **Biometrika**, London, v. 37, p. 271–280, 1950.

HAYWARD, A.; STIRNBERG, P.; BEVERIDGE, C.; LEYSER, O. Interactions between Auxin and Strigolactone in Shoot Branching Control. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 151, n. 1, p. 400-412, Sept. 2009.

HELDT, H. W.; HELDT, F. **Plant biochemistry**. 3 ed. Amsterdam: Ed. Elsevier Academic Press, 2005. 630 p.

HICKS, D. R.; PENDLETON, Jw.; SCOTT, W. O. Response of soybeans to tibia (2,3,5-triiodobenzoic acid) and high fertility levels. **Crop Science**, Madison, v. 7, n. 4, p. 397-398, 1967.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, n. 2, p. 173-195, Dec 2001.

HIROMOTO, D.M.; VELLO, N.A. The genetic base of brazilian soybean (*Glycine max* (L) Merrill) cultivars. **Revista Brasileira De Genetica**, Ribeirao Preto, v. 9, n. 2, p. 295-306, Jun 1986.

JOHNSON, R.R.; ANDERSON, I.C. Interaction of 2,3,5-triiodobenzoic acid and 2,4-dichlorophenoxyacetic acid on growth and yield of soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 14, n. 3, p. 381-384, 1974.

KOLTAI, H.; DOR, E.; HERSHENHORN, J.; JOEL, D.M.; WEININGER, S.; LEKALLA, S.; SHEALTIEL, H.; BHATTACHARYA, C.; ELIAHU, E.; RESNICK, N.; BARG, R.; KAPULNIK, Y. Strigolactones' Effect on Root Growth and Root-Hair Elongation May Be Mediated by Auxin-Efflux Carriers. **Journal of Plant Growth Regulation**, New York, v. 29, n. 2, p. 129-136, Jun 2010.

KROLL, T.K.; MOORE, L.D. Effect of 2,3,5-triiodobenzoic acid on the susceptibility of soybeans to *Macrophomina phaseolina*. **Plant Disease**, Saint Paul, v. 65, n. 6, p. 483-485, 1981.

LEE, T.M.; LIN, Y.H. Changes in soluble and cell wall bound peroxidase activities with growth in anoxia treated rice (*Oryza sativa* L.) coleoptiles and roots. **Plant Science**, Limerick, v. 106, n. 1, p. 1-7, Mar 1995.

LEIGH, R.A.; JONES, R.G.W. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. **New Phytologist**, Cambridge, v. 97, n. 1, p. 1-13, 1984.

LIM, P.O.; LEE, I.C.; KIM, J.; KIM, H.J.; RYU, J.S.; WOO, H.R.; NAM, H.G. Auxin response factor 2 (ARF2) plays a major role in regulating auxin-mediated leaf longevity. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 5, p. 1419-1430, Mar 2010.

LOPEZ-BUCIO, J.; HERNANDEZ-ABREU, E.; SANCHEZ-CALDERON, L.; NIETO-JACOBO, M.F.; SIMPSON, J.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate availability alters architecture and causes changes in hormone sensitivity in the Arabidopsis root system. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 129, n. 1, p. 244-256, May 2002.

LOPEZ-RAEZ, J.A.; CHARNIKHOVA, T.; GOMEZ-ROLDAN, V.; MATUSOVA, R.; KOHLEN, W.; DE VOS, R.; VERSTAPPEN, F.; PUECH-PAGES, V.; BECARD, G.; MULDER, P.; BOUWMEESTER, H. Tomato strigolactones are derived from carotenoids and their biosynthesis is promoted by phosphate starvation. **New Phytologist**, Cambridge, v. 178, n. 4, p. 863-874, 2008.

MAATHUIS, F.J.M.; SANDERS, D. Regulation of K⁺ absorption in plant root cells by external K⁺: Interplay of different plasma membrane K⁺ transporters. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 48, p. 451-458, Mar 1997.

MARCHIORI, L.F.S.; CAMARA, G.M.S.; PEIXOTO, C.P.; MARTINS, M.C. Desempenho vegetativo de cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] em épocas normal e safrinha. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 56, n. 2, p. 383-390, 1999.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2nd ed. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acesso em: 21 out. 2010.

NAKANO, Y.; ASADA, K. Hydrogen-peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach-chloroplasts. **Plant and Cell Physiology**, Kyoto, v. 22, n. 5, p. 867-880, 1981.

OBERLY, G.H. Effect of 2,3,5-triiodobenzoic acid on bitter pit and calcium accumulation in northern spy apples. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 98, n. 3, p. 269-271, 1973.

OHKI, K.; MCBRIDE, L.J. Effect of root-absorbed 2,3,5-triiodobenzoic acid on nutrient absorption and growth by soybeans. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 2, p. 234-238, 1972a.

_____. Interaction of 2,3,5-triiodobenzoic acid, temperature, and moisture on soybean development. **Agronomy Journal**, Madison, v. 64, n. 4, p. 493-498, 1972b.

_____. Deposition, retention, and translocation of 2,3,5-triiodobenzoic acid applied to soybeans. **Crop Science**, Madison, v. 13, n. 1, p. 23-26, 1973.

OLIVEIRA, E.T. **Micropropagação e acompanhamento bioquímico, fisiológico e nutricional da babosa (*Aloe vera* (L.) Burm. f.) cultivada *ex vitro* em doses de nitrogênio**. 2007. 93 p. Tese (Doutorado em Fisiologia e Bioquímica de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

OLIVEIRA, R.H.; ROSOLEM, C.A.; TRIGUEIRO, R.M. Importance of mass flow and diffusion on the potassium supply to cotton plants as affected by soil water and potassium. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 439-445, May-Jun 2004.

PEREZ-TORRES, C. A.; LOPEZ-BUCIO, J.; CRUZ-RAMIREZ, A.; IBARRA-LACLETTE, E.; DHARMASIRI, S.; ESTELLE, M.; HERRERA-ESTRELLA, L. Phosphate Availability Alters Lateral Root Development in Arabidopsis by Modulating Auxin Sensitivity via a Mechanism Involving the TIR1 Auxin Receptor. **Plant Cell**, Rockville, v. 20, n. 12, p. 3258-3272, Dec 2008.

PHILIPPAR, K.; FUCHS, I.; LUTHEN, H.; HOTH, S.; BAUER, C. S.; HAGA, K.; THIEL, G.; LJUNG, K.; SANDBERG, G.; BOTTGER, M.; BECKER, D.; HEDRICH, R. Auxin-induced K⁺ channel expression represents an essential step in coleoptile growth and gravitropism. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 96, n. 21, p. 12186-12191, Oct 1999.

PORTER, J.R.; LAWLOR, D.W. **Plant growth: interactions with nutrition and environment**. Cambridge New York: Ed. Cambridge University Press, 1991. 284 p. Seminar series / Society for Experimental Biology.

PRADO, R. de M.; CECÍLIO FILHO, A.B.; CORREIA, M.A.R.; PUGA, A.P. **Nutrição de plantas**: diagnose foliar em hortaliças. Jaboticabal: UNESP, 2010. 376 p.

QUEIROZ-VOLTAN, R.B.; NOGUEIRA, S.S.S.; MIRANDA, M.A.C. Aspectos da estrutura da raiz e do desenvolvimento de plantas de soja em solos compactados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 5, p. 929-938, maio 2000.

RADIN, J.W. Distribution and development of nitrate reductase activity in germinating cotton seedlings. **Annual Review of Plant Physiology**, Stanford, v. 53, p. 458-463, 1974.

RAGHOTHAMA, K.G. Phosphate acquisition. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 50, p. 665-693, 1999.

RESENDE, P.M. Efeitos de TIBA e ethrel aplicados em diferentes épocas e doses sobre produção e características da semente de soja (*Glycine max* (L.) Merrill). In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 2., 1981. Brasília. **Anais...** Brasília: Centro Nacional de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados – Embrapa, 1981. v.1, p.193-201.

RODRIGUES, J.D.; ONO, E.O.; FOLONI, L.L. Efeito da aplicação de uniconazole na cultura de soja [(*Glycine max* (L.) Merrill cv iac-17)]. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 55, n. 2, p. 313-319, maio 1998.

ROSOLEM, C.A.; MATEUS, G.P.; GODOY, L.J.G.; FELTRAN, J.C.; BRANCALIAO, S. R. Root morphology and potassium supply to pearl millet roots as affected by soil water and potassium contents. **Revista Brasileira de Ciencia do Solo**, Campinas, v. 27, n. 5, p. 875-884, Sep-Oct 2003.

ROSS, E.J.H.; KRAMER, S.B.; DALTON, D.A. Effectiveness of ascorbate and ascorbate peroxidase in promoting nitrogen fixation in model systems. **Phytochemistry**, New York, v. 52, n. 7, p. 1203-1210, Dec 1999.

RUS, A.; LEE, B. H.; MUNOZ-MAYOR, A.; SHARKHUU, A.; MIURA, K.; ZHU, J. K.; BRESSAN, R. A.; HASEGAWA, P. M. AtHKT1 facilitates Na⁺ homeostasis and K⁺ nutrition in planta. **Plant Physiology**, Minneapolis, v. 136, n. 1, p. 2500-2511, Sept. 2004.

SANTANNA, R.; OHLROGGE, A.J.; CHRISTIAN.J.E.; BRECKINRIDGE JR., C.E. Foliar absorption and distribution of 2,3,5-triiodobenzoic acid (tiba) in soybeans (*Glycine max*). **Agronomy Journal**, Madison, v. 62, n. 6, p. 731-738, 1970.

SCHEEREN, B.R.; PESKE, S.T.; SCHUCH, L.O.B.; BARROS, A.C.A. Qualidade fisiológica e produtividade de sementes de soja. **Revista Brasileira de Sementes**, Londrina, v. 32, n. 3, p. 35-41, set. 2010.

SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M. G.; SEDIYAMA, C. S.; GOMES, J. L. L. **Cultura da soja pt .1.** . Viçosa: Imprensa Universitária/UFV, 1996.96 p.

SHIGEOKA, S.; ISHIKAWA, T.; TAMOI, M.; MIYAGAWA, Y.; TAKEDA, T.; YABUTA, Y.; YOSHIMURA, K. Regulation and function of ascorbate peroxidase isoenzymes. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 53, n. 372, p. 1305-1319, May 2002.

SILVA, M.F.; ALMEIDA, Á.M.R.; ARIAS, C.A.A. Avaliação de danos causados por duas estirpes do Soybean mosaic virus em duas cultivares de soja. **Fitopatologia Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 6, p. 597-601, dez. 2003.

STAHLY, E.A.; BENSON, N.R. Calcium levels of golden delicious apples as influenced by calcium sprays, 2,3,5-triiodobenzoic acid, and other plant-growth regulator sprays. **Journal of the American Society for Horticultural Science**, Alexandria, v. 101, n. 2, p. 120-122, 1976.

_____. Seasonal accumulation of calcium and potassium in the cortex of golden delicious apple fruit sprayed with 2,3,5-triiodobenzoic acid. **Hortscience**, Alexandria, v. 17, n. 5, p. 781-783, 1982.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 848 p.

TANIMOTO, E. Regulation of root growth by plant hormones - Roles for auxin and gibberellin. **Critical Reviews in Plant Sciences** [S.I.], v. 24, n. 4, p. 249-265, 2005.

TANNER, J.W.; AHMED, S. Growth analysis of soybeans treated with TIBA. **Crop Science**, Madison, v. 14, n. 3, p. 371-374, 1974.

UMESHA, S. Phenylalanine ammonia lyase activity in tomato seedlings and its relationship to bacterial canker disease resistance. **Phytoparasitica**, Bet Dagan, v. 34, n. 1, p. 68-71, Jan 2006.

USDA. Disponível em: <<http://www.fas.usda.gov/psdonline/psdHome.aspx>>. Acesso em: 21 out. 2010.

VANCE, C.P.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D.L. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. **New Phytologist**, Cambridge, v. 157, n. 3, p. 423-447, Mar 2003.

VICENTE-AGULLO, F.; RIGAS, S.; DESBROSSES, G.; DOLAN, L.; HATZOPOULOS, P.; GRABOV, A. Potassium carrier TRH1 is required for auxin transport in Arabidopsis roots. **Plant Journal**, Oxford, v. 40, n. 4, p. 523-535, Nov 2004.

WALKER, D.J.; LEIGH, R.A.; MILLER, A.J. Potassium homeostasis in vacuolate plant cells. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 93, n. 19, p. 10510-10514, Sept. 1996.

WANG, H.; INUKAI, Y.; YAMAUCHI, A. Root development and nutrient uptake. **Critical Reviews in Plant Sciences** [S.l.], v. 25, n. 3, p. 279-301, May-Jun 2006.

WAX, L. M.; PENDLETON, J. W. Influence of 2,3,5-triiodobenzoic acid (TIBA) on soybeans planted in different cultural systems. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, n. 4, p. 425-4, 1968.

WINKLER, U.; ZOTZ, G. 'And then there were three': highly efficient uptake of potassium by foliar trichomes of epiphytic bromeliads. **Annals of Botany**, London, v. 106, n. 3, p. 421-427, Sept. 2010.

WU, S.C.; LU, Q.; KRIZ, A.L.; HARPER, J.E. Identification of cDNA clones corresponding to two inducible nitrate reductase genes in soybean: Analysis in wild-type and nr(1) mutant. **Plant Molecular Biology**, Dordrecht, v. 29, n. 3, p. 491-506, Nov 1995.

YANAI, J.; LINEHAN, D.J.; ROBINSON, D.; YOUNG, I.M.; HACKETT, C.A.; KYUMA, K.; KOSAKI, T. Effects of inorganic nitrogen application on the dynamics of the soil solution composition in the root zone of maize. **Plant and Soil**, The Hague, v. 180, n. 1, p. 1-9, Mar 1996.