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

**Aminoácidos como coadjuvantes da adubação foliar e do uso do
glifosato na cultura de soja**

George Rodrigues Lambais

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

**Piracicaba
2011**

George Rodrigues Lambais
Licenciado em Ciências

**Aminoácidos como coadjuvantes da adubação foliar e do uso do glifosato
na cultura de soja**

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
2011

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

Lambais, George Rodrigues

Aminoácidos como coadjuvantes da adubação foliar e do uso do glifosato na cultura de soja /
George Rodrigues Lambais. - - Piracicaba, 2011.
97 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2011.
Bibliografia.

1. Adubação 2. Aminoácidos 3. Fertilizantes organominerais 4. Herbicidas 5. Metabolismo
6. Reguladores vegetais 7. Soja I. Título

CDD 633.34
L219a

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

DEDICATÓRIA

À toda minha família, alicerce de tudo o que hoje sou.

À *minha mãe Marcia e avó Vilma* por todos os ensinamentos sobre amor, carinho, fé, honestidade e perseverança. Tenho muito orgulho de vocês!

Aos meus tios Marcio (exemplo de profissionalismo e luta)...

...e *Antonio* (apoio, incentivo, auxílio e ensinamentos de como encarar a vida sempre com bom humor e garra).

Aos meus irmãos Hebert e Iago, grandes amigos e parceiros.

Ao vô Paulino e bisá Augusta (in memoriam).

OFEREÇO

Em especial ao meu grande amor *Érica* (pessoa a qual escolhi para viver durante toda a vida e estabelecer uma família), pelo companheirismo, exemplo de superação, integridade, alegria, sinceridade, dentre inúmeras qualidades.

Todas as minhas vitórias são destinadas a vocês!!!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus pelo dom da vida e por todos seus ensinamentos.

Ao prof. Dr. Paulo Roberto de Camargo e Castro, por aceitar-me como orientado no Programa de Pós-Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas desta instituição. Além de seu companheirismo, atenção, caráter, paciência e todos os ensinamentos de profissionalismo, dedicação e amor pela ciência.

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

Ao Departamento de Ciências de Biológicas, pela infra-estrutura que possibilitou o desenvolvimento deste trabalho.

Em especial ao prof. Dr. Luiz Antonio Gallo, Dr. Enio T. de Oliveira e Dr^a. Gislei C. Gonçalves, por incentivarem e apoiarem a minha busca pela pós-graduação.

À todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas, em especial ao Ricardo A. Kluge, Ricardo F. de Oliveira, Lázaro E. P. Peres, Daniel S. de Sousa, Helaine Carrer, Murilo de Melo e Beatriz A. da Glória.

Ao prof. Dr. Carlos T. S. Dias e seu orientado Ricardo A. de Olinda, pelo imprescindível auxílio nas análises estatísticas.

Aos técnicos de laboratório Amaral e Fátima (CEBTEC), pelos auxílios no desenvolvimento das análises metabólicas.

Aos funcionários Romeu, João (Zunga) e Pequeno, pela ajuda e convívio durante a condução do experimento.

À funcionária da biblioteca (Eliana) pela correção dessa dissertação.

À todos os colegas do curso de pós-graduação: Francynês Macedo, Frederico A. de Jesus, Gabriel S. Daneluzzi, Mariana Ferraz, Marcia E.A. de Carvalho, Marcos Righeto, Ronaldo Sakai, Geraldo F. F. Silva, Tuane Oliveira, Rafaela T. A. Felipe, Evandro Tambarussi, Eduardo Picelli, Fausto Andreas Ortiz, Magda A. Tessmer, Simone Tanaka, João Paulo Marques, Ivan Sestari, em especial ao Cecílio Fróis, Tábata Bergonci, João Marcelo Silva, Leonardo Soriano, Roberto de A. Camargo e Marcelo Rogalski, pelo convívio, aprendizado e momentos felizes durante essa etapa.

Aos amigos e equipe de pesquisa Giovani Rossi, Luciane de S. Mendes e Willian Macedo, por todos os momentos compartilhados de trabalhos, aprendizados, auxílios e alegrias.

À Solizete (secretária do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia e Bioquímica de Plantas), pela amizade e atenção dedicada durante o curso de mestrado.

À todos os professores do curso de Graduação, em especial Luiz A. Rochelle (inspiração em Botânica) e Carlos Alberto da Silva (inspiração em Fisiologia).

Aos amigos: Luiz (Chegadão), Fernandes, Rufinus, Du, Rafa, Maurício e principalmente: ao Daniel pelas dicas imprescindíveis de computação e Uwe Herpin pelo auxílio no abstract.

À turma de SBO / Americana: Marcelo (Sorvetero), Fábio, Ricardo, Dê, Morcego, Alan, Nenê, Beto, Pezão, Simone e Fernanda.

À toda família Olandini, em especial: Gracia, Valter, Patrícia Mathilde e Léo.

À todos do Futiba de Quinta e Cloroplasto F.C., pelas atividades físicas, convívio e descontração, em especial ao Dan, Roger, Fran, Jony, Pilico, Cabelo e André.

EPÍGRAFE

"Sonhar
Mais um sonho impossível
Lutar
Quando é fácil ceder
Vencer
O inimigo invisível
Voar
Num limite improvável
Tocar
O inacessível chão
É minha lei, é minha questão
Virar esse mundo
Cravar esse chão
Não me importa saber
Se é terrível demais
Quantas guerras terei que vencer
Por um pouco de paz
E amanhã, se esse chão que beijei
For meu leito e perdão
Vou saber que valeu delirar
E morrer de paixão
E assim, seja lá como for
Vai ter fim a minha aflição
E o mundo vai ter uma flor
Brotar do impossível chão."

(Sonho impossível)
Chico Buarque de Hollanda

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13
LISTA DE FIGURAS.....	15
LISTA DE TABELAS.....	19
1 INTRODUÇÃO.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
2 1 Soja.....	23
2.2 Absorção e metabolismo do nitrogênio.....	25
2.2.1 Nitrato redutase (NR).....	26
2.2.2 Glutamina sintetase (GS).....	28
2.3 Soja transgênica “Roundup Ready” (RR) e glifosato na agricultura.....	30
2.4 Adubação do solo.....	34
2.5 Adubação foliar.....	37
2.6 Fertilizantes foliares a base de aminoácidos livres.....	38
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1 Experimento A.....	45
3.2 Experimento B.....	46
3.3 Caracterização e preparo do substrato.....	46
3.4 Cultivar.....	47
3.5 Semeadura e germinação.....	47
3.6 Acompanhamento das fases de desenvolvimento e tratos culturais.....	48
3.7 Aplicação foliar.....	49
3.8 Parâmetros avaliados.....	50
3.8.1 Parâmetros biométricos.....	50
3.8.1.1 Altura e conteúdo de clorofila.....	50
3.8.1.2 Área foliar (AF), biomassa fresca e seca	51
3.8.2 Parâmetros nutricionais.....	52
3.8.2.1 Macronutrientes e micronutrientes.....	52
3.8.3 Parâmetros metabólicos.....	53
3.8.3.1 Determinação da atividade da redutase de nitrato (NR).....	53

3.8.3.2 Preparo do extrato protéico	54
3.8.3.3 Determinação das concentrações de proteínas totais solúveis (PTS).....	54
3.8.3.4 Determinação da atividade da glutamina sintetase (GS).....	55
3.8.4 Parâmetros de produção.....	56
3.8.4.1 Quantitativos.....	56
3.8.4.2 Qualitativos.....	56
3.8.4.2.1 Extração e quantificação de lipídeos em grãos.....	56
3.8.4.2.2 Extração e quantificação de proteínas em grãos.....	57
3.9 Estatística experimental.....	58
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	61
4.1 Experimento A.....	61
4.1.1 Altura e conteúdo de clorofila.....	61
4.1.2 Área foliar, biomassa fresca e seca.....	64
4.1.3 Nutrição mineral.....	65
4.1.3.1 Macronutrientes.....	65
4.1.3.2 Micronutrientes.....	67
4.1.4 Metabolismo.....	68
4.1.5 Produção.....	71
4.2 Experimento B.....	75
4.2.1 Altura e conteúdo de clorofila.....	75
4.2.2 Área foliar, biomassa fresca e seca.....	77
4.2.3 Nutrição mineral.....	78
4.2.3.1 Macronutrientes.....	78
4.2.3.2 Micronutrientes.....	80
4.2.4 Metabolismo.....	81
4.2.5 Produção.....	83
5 CONCLUSÕES.....	89
REFERÊNCIAS.....	91

RESUMO

Aminoácidos como coadjuvantes da adubação foliar e do uso do glifosato na cultura de soja

Este trabalho teve como objetivo avaliar a influência dos fertilizantes foliares a base de aminoácidos livres na utilização conjunta de práticas agrícolas como a aplicação de glifosato e a adubação no solo com P e K em soja 'BRS 255 RR'. As avaliações foram realizadas nos parâmetros biométricos, nutricionais, metabólicos e produtivos através das variáveis: altura, valor SPAD (clorofilas), área foliar, biomassa aérea (massa fresca e seca de folhas e caules), macronutrientes e micronutrientes nas folhas, atividade da nitrato redutase (NR), glutamina sintetase (GS), concentração de proteínas totais solúveis (PTS), número de vagens, massa fresca e seca de vagens, massa média de 100 grãos, massa total de grãos, teores de lipídeos e proteínas acumulados nos grãos. Foram conduzidos dois experimentos em paralelo, com os produtos Ajifol e Flororgan, em ambiente natural utilizando vasos de polietileno com capacidade para 20 litros. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados, onde cada unidade experimental foi constituída de três plantas de soja por vaso preenchido com 20 kg de substrato (Latosolo vermelho distrófico argiloso). A adubação no solo com P e K (1,00 e 0,24 g kg⁻¹, respectivamente) foi realizada 30 dias antes da semeadura. As aplicações do Ajifol (1,0 L ha⁻¹), Flororgan (2,5 L ha⁻¹) e glifosato (0,3 L ha⁻¹) foram realizadas via pulverização foliar no estágio fenológico "V5", referente aos 35 dias após a germinação. As amostragens de altura e SPAD foram realizadas em três épocas diferentes durante o ciclo vegetativo da planta (7, 15 e 30 dias após a pulverização foliar). No estágio fenológico R1 (início do florescimento) coletou-se uma planta inteira de cada parcela para as análises morfológicas, nutricionais e metabólicas. As duas plantas restantes em cada parcela serviram para analisar os parâmetros de produção. Os principais resultados obtidos para os aminoácidos presentes nas formulações dos produtos, foram o aumento na altura das plantas aos 7 e 15 dias após suas aplicações, quando associados a adubação no solo. Além de atuarem como anti-estressantes impedindo a diminuição nos teores de clorofilas através da aplicação de glifosato. Os resultados das análises nutricionais comprovaram a ação quelatizante desses aminoácidos, principalmente para o K, B, Fe e Cu. As melhores respostas através da aplicação dos aminoácidos foram para a atividade da NR, GS e concentração de PTS nas folhas. Tivemos uma redução de lipídeos acumulados nos grãos em função das aplicações com aminoácidos isolados ou em conjunto com adubação. Por outro lado, constatamos um aumento de lipídeos através da aplicação em conjunto com glifosato e adubação. Além dos aminoácidos influenciarem positivamente o armazenamento de proteínas nas sementes quando associados ao glifosato.

Palavras-chave: *Glycine max*; Fertilização; Ajifol; Flororgan; Glifosato; Metabolismo

ABSTRACT

Amino acids addition to foliar fertilization and use of glyphosate in soybean

The objective of this work was to verify the influence of foliar fertilizer on basis of free amino acids combined with the application of glyphosate and fertilization of soil with P and K on soybean (BRS 255 RR). The evaluations were performed on biometric, nutritional, metabolic and productive parameters using the following variables: Height, SPAD values (chlorophylls), leaf area, biomass (fresh and dry weight of leaves and stems), macronutrients and micronutrients in leaves, activity of nitrate reductase (NR), glutamine synthetase (GS), concentration of total soluble protein (TSP), number of pods, fresh and dry weight of pods, 100 grains average weight, total weight of grains, concentration of lipids and proteins accumulated in the grains. Two experiments were conducted in parallel with the products Ajifol and Flororgan in natural environment using polyethylene pots (20 L). A randomized blocks design was used, where each experimental unit was cultivated with three soybean plants per pot filled with 20 kg of substrate (dystrophic clayey Red Latosol). The soil fertilization with P and K (1,00 and 0,24 g kg⁻¹, respectively) was carried out 30 days before sowing. The applications of Ajifol (1,0 L ha⁻¹), Flororgan (2,5 L ha⁻¹) and glyphosate (0,3 L ha⁻¹) were performed by foliar sprays at the V5 developmental stage, corresponding to 35 days after germination. Samples for height and SPAD were taken at three different times during the vegetative stage of plant (7, 15 and 30 days after foliar spraying). At the phenological stage R1 (early flowering) one entire plant of each plot was collected for morphological, nutritional and metabolic analysis. The remaining two plants were used for analyses of production parameters. The application of amino acids increased plant height after 7 and 15 days after foliar spraying, when associated with soil fertilization. They acted moreover as anti-stress substances preventing a decrease in the levels of chlorophyll caused by application of glyphosate. Nutritional analysis indicated the formation of chelates of these amino acids mainly with K, B, Fe and Cu. The main effects of amino acids applications were higher for NR, GS and TSP concentrations in leaves. A reduction in lipids accumulated in the seeds through sole application of amino acids, as well as in conjunction with fertilization was identified. On the other hand increasing values were found when the amino acids were associated with both glyphosate and fertilization. The amino acids increased the protein storage in seeds when applied in conjunction with glyphosate.

Keywords: *Glycine max*; Fertilization; Ajifol; Flororgan; Glyphosate; Metabolism

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Modelo de dímero da NR indicando os três domínios de ligação, dos quais a seqüências de polipeptídeos são similares nos eucariontes: complexo molibdênio (MoCo), grupo heme e FAD. Tanto o NADH como o NADPH são utilizados como substrato para a reação, ligando-se ao domínio FAD de cada subunidade, onde inicia-se a transferência de dois elétrons a partir do grupo carboxila terminal (C) até o grupo amino terminal (N). Dessa forma, o nitrato é reduzido no complexo molibdênio próximo a região amino terminal. As seqüências dos polipeptídeos nas regiões *hinge* são altamente variáveis entre as espécies (Adaptado de TAIZ; ZEIGER, 2004).....27
- Figura 2 - Esquema da assimilação do N nas folhas (Adaptado de TAIZ; ZEIGER, 2004).....28
- Figura 3 - Estrutura química da molécula de glifosato.....32
- Figura 4 - Esquema estrutural da molécula de aminoácido.....40
- Figura 5 – Visão geral da instalação do experimento localizado no Horto Experimental do Departamento de Ciências Biológicas da ESALQ-USP (A); Detalhe da distribuição das unidades experimentais (parcelas) em blocos (B).....46
- Figura 6 - Condições climáticas durante a condução do experimento segundo a base de dados da estação meteorológica da ESALQ/USP, Piracicaba, SP.....48
- Figura 7 - Estádios fenológicos das plantas de soja: (A) estágio VE (emergência); (B) estágio VC (cotiledonar); (C) estágio V3 (desenvolvimento); (D) estágio R1 (florescimento); (E) estágio R5 (desenvolvimento do grão) e (F) estágio R9 (maturação plena).....49
- Figura 8 - Aplicação foliar dos tratamentos através de um pulverizador manual realizada no estágio fenológico V5, aos 35 DAE (A); Distribuição das gotas nas folhas das plantas de soja (B).....51
- Figura 9 - Separação de folhas e caules para obtenção da biomassa (A); Equipamento utilizado para medir a área foliar das amostras (B).....52

- Figura 10 - Vagens após secagem na estufa para obtenção da massa seca (A); Grãos obtidos através da separação das vagens para as análises quantitativas e qualitativas de produção (B).....57
- Figura 11 - Extração de lipídeos em sementes de soja através da metodologia de Soxhlet. (A) Visão geral do extrator das amostras; (B) Balões contendo os cartuchos com as amostras e (C) Detalhe dos lipídeos (coloração amarelada) no fundo do balão.....58
- Figura 12 - Influência dos tratamentos na atividade da nitrato redutase (NR) ao início do florescimento das plantas. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Dados transformados em $\log_{10}$69
- Figura 13 - Influência dos tratamentos na atividade da glutamina sintetase (GS) ao início do florescimento das plantas. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$).....70
- Figura 14 - Efeito dos tratamentos na concentração de proteínas totais solúveis (PTS) acumuladas nas folhas ao início do florescimento das plantas. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$).....71
- Figura 15 - Efeito dos tratamentos nas concentrações de lipídeos armazenados nas sementes de soja. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras

de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$).....73

Figura 16 - Efeito dos tratamentos nas concentrações de proteínas totais solúveis (PTS) acumuladas nas sementes de soja. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+ Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$).....74

Figura 17 - Influência dos tratamentos na atividade da nitrato redutase (NR) ao início do florescimento das plantas. Controle (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Dados transformados em $\log_{10}$82

Figura 18 - Influência dos tratamentos na atividade da glutamina sintetase (GS) ao início do florescimento das plantas. Controle (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$).....83

Figura 19 - Efeito dos tratamentos na concentração de proteínas totais solúveis (PTS) acumuladas nas folhas ao início do florescimento das plantas. (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$).....84

Figura 20 - Efeito dos tratamentos nas concentrações de lipídeos armazenados nas sementes de soja. (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G);

Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G).
 Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem
 significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$).....86

Figura 21 - Efeito dos tratamentos nas concentrações de proteínas totais solúveis (PTS)
 acumuladas nas sementes de soja. (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS);
 Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G);
 Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G).
 Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem
 significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$).....87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição físico-química do solo Latossolo vermelho distrófico argiloso utilizado como substrato.....	47
Tabela 2 - Condições climáticas durante a aplicação foliar dos produtos nas plantas de soja em 04 de Janeiro de 2010. Piracicaba, SP.....	50
Tabela 3 - Valores médios da altura (cm) de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010.....	62
Tabela 4 - Valores médios do teor de clorofilas (SPAD) em plantas de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010.....	63
Tabela 5 - Valores médios da área foliar (AF), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca de caules (MFC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de caules (MSC) no início do florescimento das plantas de soja em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	65
Tabela 6 - Valores médios de macronutrientes acumulados no tecido foliar de soja no início do florescimento das plantas em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	66
Tabela 7 - Valores médios de micronutrientes acumulados no tecido foliar de soja no início do florescimento das plantas em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	67
Tabela 8 - Valores médios de número de vagens (NV), massa fresca de vagens (MFV), massa seca de vagens (MSV), massa média de 100 grãos (MMG) e massa total de grãos (MTG) nas plantas de soja em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	72
Tabela 9 - Valores médios da altura (cm) de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010.....	75

Tabela 10 - Valores médios do teor de clorofilas (SPAD) em plantas de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010.....	77
Tabela 11 - Valores médios da área foliar (AF), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca de caules (MFC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de caules (MSC) no início do florescimento das plantas de soja em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	78
Tabela 12 - Valores médios de macronutrientes acumulados no tecido foliar de soja no início do florescimento das plantas em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	79
Tabela 13 - Valores médios de micronutrientes acumulados no tecido foliar de soja no início do florescimento das plantas em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	80
Tabela 14 - Valores médios de número de vagens (NV), massa fresca de vagens (MFV), massa seca de vagens (MSV), massa média de 100 grãos (MMG) e massa total de grãos (MTG) nas plantas de soja em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010.....	85

1 INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) é a mais importante oleaginosa em produção sob cultivo extensivo, produzindo mais proteína por hectare do que qualquer outra planta cultivada. As qualidades desta leguminosa como fonte de calorias a fazem o alimento básico potencial na luta contra a fome no Brasil e no mundo. O consumo desta oleaginosa cresce em ritmo superior ao da produção, resultando assim em redução de estoques e valorização do custo desta *commodity*. Segundo dados do Ministério da Agricultura, atualmente o Brasil ocupa o 2º lugar no ranking da produção mundial de soja, com área cultivada de 23,5 milhões de hectares e produção estimada de 91,42 milhões de toneladas por ano. A busca por novas alternativas que visem o aumento da produtividade da soja tem sido alvo constante de pesquisadores e produtores. Dentre as técnicas para aumentar a produtividade da soja, a adubação foliar vem sendo muito difundida por empresas de fertilizantes.

Estudos fisiológicos sobre a absorção de nutrientes via foliar têm sido realizados, principalmente, no que se refere às barreiras à penetração, espaços de caminhamento, mecanismos e fatores que afetam a absorção (BOARETTO; ROSOLEM, 1989). Embora não se tenham muitos dados sobre a absorção de aminoácidos via foliar, Castro (2009) relata a importância destes na absorção e transporte dos nutrientes minerais através da membrana celular, visto que, as formulações organominerais, nas quais os nutrientes estão ligados a compostos orgânicos, tais como aminoácidos e proteínas de origem vegetal, representam a última geração de fertilizantes foliares no mercado.

Várias funções têm sido atribuídas aos aminoácidos, tais como: componentes das proteínas, precursores de hormônios vegetais endógenos, quelante de nutrientes e agroquímicos, maior resistência ao estresse hídrico e de alta temperatura, maior resistência ao ataque de patógenos e pragas. Além disso, os aminoácidos favorecem a nutrição da planta, através de uma redução do gasto de energia para a síntese de proteína. Os efeitos dos aminoácidos na planta têm sido investigados (KIKUTI; TANAKA, 2005; CASTRO et al., 2006; MOUCO; LIMA FILHO, 2006), porém ainda existem questões básicas a serem respondidas quanto à absorção

de aminoácidos pelas plantas, capacidade de utilização dos aminoácidos exógenos, locais de aproveitamento no metabolismo vegetal, dentre outras (LUZ et al., 2010; ALBURQUERQUE; DANTAS, 2002). Apesar da relevância da adubação foliar de aminoácidos, poucos trabalhos existem na literatura mundial sobre o uso da de aminoácidos na adubação foliar de soja. Segundo Castro et al. (2008), em função dos efeitos dos aminoácidos e das dificuldades em se determinar seus modos de ação sobre as plantas, deve-se aumentar as pesquisas com esses compostos para melhor estabelecer a eficiência dos mesmos na produção agrícola.

O objetivo geral deste estudo foi investigar como esses aminoácidos influenciam o metabolismo da soja, verificando-se especificamente a ação desses fertilizantes foliares aplicados em conjunto com o glifosato em plantas de soja 'BRS 255 RR', bem como observar a interação dos mesmos com a fertilização de fósforo e potássio no solo. Assim, os resultados obtidos neste projeto poderão servir de subsídios para o estabelecimento de critérios sobre a utilização dos aminoácidos, juntamente com fertilizantes e herbicidas, na cultura da soja.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Soja

A soja (*Glycine max* (L.) Merrill) pertence à classe *Magnoliopsida*, ordem *Fabales*, família *Fabaceae* (*Leguminosae*). O primeiro registro sobre a soja, se encontra obra médica de Sheng-Nung escrita em 2.838 a.C., a qual descreve as plantas da China. Através de evidências históricas e geográficas, estima-se que a soja foi pela primeira vez domesticada na metade leste do norte da China, ao redor do século XI a.C. (MIYASAKA; MEDINA, 1981; SEDIYAMA, 2009).

A introdução de variedades e linhagens oriundas da China, Japão, e outros países orientais, constituiu-se a base inicial para o desenvolvimento da soja nos países produtores do Ocidente. Em 1740, a soja foi introduzida na Europa e, os primeiros relatos de cultivo nos Estados Unidos são de 1804. A primeira referência sobre soja no Brasil data de 1882 (MIYASAKA; MEDINA, 1981). Já em 1891 foram introduzidos na região de Campinas (SP), os primeiros cultivares com boa adaptação a latitude em torno de 22°54' Sul. O cultivo de soja para produção comercial de grãos teve início no Rio Grande do Sul, em torno de 1935, com a finalidade principal de alimentação de suínos. A primeira exportação de soja brasileira ocorreu em 1938, para a Alemanha, e no ano de 1941 a área cultivada de 702 hectares constava das estatísticas do Rio Grande do Sul. No ano de 1951 surgiu a primeira indústria para extração de óleo comestível no Brasil (MIYASAKA; MEDINA, 1981; SEDIYAMA, 2009).

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 com os dados do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o Brasil ocupa atualmente o 2º lugar no ranking da produção mundial de soja, atrás somente dos Estados Unidos (91,42 milhões de toneladas). Além de ser utilizada para a produção de grãos, a soja pode ser utilizada como adubo verde, forragem, silagem e pastagem. O grão pode fornecer o óleo para alimentação humana, produção de biodiesel,

desinfetantes, lubrificantes, sabões, dentre outros. O farelo é utilizado na alimentação humana e animal e, também, na manufatura de muitos produtos processados ou semiprocessados (SEDIYAMA, 2009). Rica em proteínas, ácidos graxos poliinsaturados e monoinsaturados, boa fonte de minerais como ferro, potássio, fósforo, cálcio e vitaminas do complexo B, a soja posiciona-se como importante alimento funcional capaz de fornecer nutrientes ao organismo e, ainda, trazer benefícios para a saúde humana (EMBRAPA, 2008).

Com base nas características fisiológicas e bioquímicas, a soja é classificada como espécie de ciclo C_3 , isto é, pertence ao grupo das espécies de plantas que fixam CO_2 através do ciclo de Calvin, uma vez que os primeiros produtos estáveis da sua fotossíntese são as trioses ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) e glicerato. Além do 3-PGA, outros produtos primários da fotossíntese são: alanina, serina, glicina e glicolato. Em seguida, como produtos secundários da fotossíntese, observa-se: glucose, frutose, sacarose, rafinose, manose, ácido aspártico e ácido málico (TAIZ; ZEIGER, 2004). A variação genotípica na fotossíntese líquida parece estar relacionada tanto com a condutividade estomatal e fatores foliares internos, como a resistência do mesófilo e carboxilação (DORNHOFF; SHIBES, 1970). As folhas mais novas sintetizam mais aminoácidos essenciais do que as folhas mais velhas. Na sua anatomia, as folhas apresentam-se anfiestomáticas, ou seja, com estômatos em ambas as faces, além de possuírem tricomas tectores e glandulares pluricelulares. Os estômatos são do tipo paracíticos, com maior frequência na face abaxial. O mesófilo é dorsiventral, com duas camadas de parênquima paliádico e duas camadas de parênquima lacunoso. Entre os dois encontra-se o parênquima paranerval com uma camada de células (LEAL-COSTA et al., 2008).

Segundo Sedyama et al. (2009), a soja é uma planta anual, herbácea, ereta, com 60 a 90 cm de altura, apresentando 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. Além de ser caracterizada como planta de dia curto, apresenta sensibilidade ao fotoperíodo e melhor adaptação às regiões com temperaturas oscilando entre 20 e 30 °C (EMBRAPA, 2008). Seus frutos são do tipo vagem, contendo entre uma a quatro sementes cada

(normalmente de duas a três). As sementes apresentam forma variável, sendo geralmente ovaladas. A semente da soja germina quando atinge 50% de umidade, e a água do solo apresenta potencial superior a $-6,6$ atm, desde que exposta a temperaturas favoráveis, com a superfície do solo sem impedimento mecânico e livre de patógenos (CÂMARA, 1991). A necessidade total de água para a cultura varia entre 450 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 a 8 mm dia⁻¹), decrescendo após esse período. O sistema radicular é do tipo pivotante, com a raiz principal bem desenvolvida e bastante ramificada, tendo como característica marcante do sistema radicular a formação de nódulos contendo bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico.

2.2 Absorção e metabolismo do nitrogênio

No solo, o nitrogênio encontra-se em formas orgânicas (restos culturais e matéria orgânica do solo) ou mineral (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , principalmente). Da quantidade total de N presente no solo, apenas 2% encontra-se disponível para a planta. Nas plantas, o N representa de 1 a 6% da sua matéria seca, e pode ser absorvido sob diferentes formas, incluindo N-amoniacal, N-nítrico, e N-orgânico (MARSCHNER, 1995; EPSTEIN; BLOOM, 2006; MALAVOLTA, 2006).

O nitrogênio é o principal macronutriente vegetal, o qual é exigido em grandes quantidades pela maioria das culturas. Ainda que presente em altos níveis nos solos, as quantidades de N mineral nos solos é geralmente baixa, exigindo a adubação da culturas com fertilizante nitrogenado. Nos ecossistemas naturais e agrícolas ocorre perda continua de N, não só devido à absorção deste pelas plantas, mas também por lixiviação, volatilização e desnitrificação (PEOPLES et al., 1995).

A assimilação do nitrogênio é um processo vital que controla o crescimento e o desenvolvimento das plantas, exercendo efeitos marcantes sobre a biomassa e a produtividade final das culturas. O nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+) são as principais formas de N-inorgânico absorvido pelas raízes das plantas superiores. Entretanto, para desenvolver sua função nutricional o NO_3^- precisa ser reduzido a NH_4^+

para sua assimilação em compostos orgânicos nitrogenados. A redução do nitrato a amônio é mediada por duas enzimas: (i) a nitrato redutase (NR), que transforma nitrato em nitrito no citosol das células; e (ii) a redutase do nitrito (NiR), que converte nitrito a amônio nos plastídeos das células vegetais. Assim, com a formação do amônio, o N é incorporado em aminoácidos (MARSCHNER, 1995), de acordo com a seguinte reação:

$$\Delta G = -34,2 \text{ kcal/mol } (-143 \text{ kJ/mol}); \Delta E = 0,74 \text{ V}$$

Na soja, uma das principais formas de obtenção de N é através da fixação biológica de nitrogênio, a qual é realizada por bactérias do gênero *Bradyrhizobium* (*Rhizobiaceae*). Os rizóbios induzem a formação de nódulos nas raízes e reduzem o N₂ atmosférico a NH₃. Em condições de cultivo apropriadas, a soja obtém 100% do N necessário para o seu crescimento através da fixação biológica (MIYASAKA; MEDINA, 1981; SEDIYAMA, 2009).

2.2.1 Nitrato redutase (NR)

As duas formas da enzima são constituídas de três subunidades idênticas, com três grupos prostéticos cada: a flavina adenina dinucleotídeo (FAD), o grupo heme e o complexo molibdênio, onde o nitrato sofre redução (Figura 1)

O nitrito é um íon altamente reativo e potencialmente tóxico (TAIZ; ZEIGER, 2004). Dessa forma, as células vegetais transportam rapidamente o nitrito que foi originado pela redução do nitrato localizado no citosol para o interior dos cloroplastos das folhas e dos plastídeos nas raízes. Nestas organelas, a NiR reduz o nitrito a amônio. Esse amônio gerado através da redução do nitrato proveniente do solo, fertilizante ou da fotorrespiração é convertido rapidamente em aminoácidos, num processo que envolve a ação sequencial da glutamina sintetase e da glutamato sintase,

localizadas no citosol e nos plastídeos das raízes, e nos cloroplastos (LEA; IRELAND, 1999), conforme mostra a Figura 2. Uma vez assimilado em glutamina ou glutamato, o nitrogênio pode ser transferido para vários outros compostos orgânicos por meio de diversas reações, como as transaminações.

Figura 1 – Modelo de dímero da NR indicando os três domínios de ligação, dos quais as seqüências de polipeptídeos são similares nos eucariontes: complexo molibdênio (MoCo), grupo heme e FAD. Tanto o NADH como o NADPH são utilizados como substrato para a reação, ligando-se ao domínio FAD de cada subunidade, onde inicia-se a transferência de dois elétrons a partir do grupo carboxila terminal (C) até o grupo amino terminal (N). Dessa forma, o nitrato é reduzido no complexo molibdênio próximo a região amino terminal. As seqüências dos polipeptídeos nas regiões *hinge* são altamente variáveis entre as espécies (Adaptado de TAIZ; ZEIGER, 2004)

A ação da nitrato redutase é o passo limitante da assimilação do nitrato e, conseqüentemente, afeta o desenvolvimento e a produção das proteínas vegetais, podendo ser utilizado para estimar a capacidade de assimilação de N pelas plantas (BEEVERS; HAGEMAN, 1980).

A atividade da NR é regulada positivamente por inúmeros fatores, como concentração de nitrato, luz, teor de água na planta, temperatura atmosférica e umidade do solo. A atividade dessa enzima pode ser induzida em poucas horas após a aplicação de N, conforme a fonte utilizada, assim como ser suprimida por alguns aminoácidos (BRETELIER; SMITH, 1974). O nitrato, a luz e a concentração de carboidrato atuam na transcrição e tradução da NR. A luz e o nível de carboidratos, além de outros fatores ambientais, estimulam uma proteína fosfatase, que desfosforila diversos resíduos de serina da NR, promovendo sua ativação (TAIZ; ZEIGER, 2004).

2.2.2 Glutamina sintetase (GS)

A GS foi primeiramente purificada e caracterizada em plantas no ano de 1956. Em particular, sua característica é a alta afinidade por NH_3 , o que favorece a síntese de glutamina. Originalmente, a glutamina foi considerada doadora de N-amida somente para uma limitada quantidade de compostos. Porém, com a descoberta da NAD(P)H glutamato sintase em bactérias e posteriormente em plantas, a glutamato sintase dependente de ferredoxina, estabeleceu uma rota conhecida como ciclo da glutamato sintase, na qual o amônio é convertido em compostos orgânicos através da assimilação via sintetase da glutamina (LEA; IRELAND, 1999).

O amônio gerado a partir da assimilação do nitrato, da fotorrespiração, ou oriundo do solo e de fertilizantes é rapidamente convertido em aminoácidos a fim de evitar a toxidez. Altos níveis de NH_4^+ na planta podem dissipar os gradientes de prótons trans-membrânicos, requeridos tanto para o transporte de elétrons na fotossíntese quanto na respiração, bem como para o sequestro de metabólitos nos vacúolos (TAIZ; ZEIGER, 2004). A formação de aminoácidos, amidas e outros compostos é a principal via de detoxificação de amônio absorvido pela raiz ou derivado da redução do nitrato. Essa conversão se dá pela ação sequencial de duas enzimas que podem ser encontradas em raízes, cloroplastos e em organismos fixadores de N_2 : (i) glutamina sintetase (GS) e (ii) glutamato sintase (GOGAT).

Figura 2 – Esquema da assimilação do N nas folhas (Adaptado de TAIZ; ZEIGER, 2004)

De acordo com as reações abaixo, a GS utiliza glutamato, ATP e NH_4^+ com conseqüente produção de glutamina, ADP e Pi (Reação 1). Além da atividade sintetase, a GS também funciona biossinteticamente produzindo γ -glutamilhdroxamato a partir do glutamato, ATP e hidroxilamina (Reação 2). Segundo Farden e Robertson (1980), a GS funciona também como transferase produzindo γ -glutamilhdroxamato a partir da glutamina e hidroxilamina (Reação 3).

Reação 1

Reação 2

Reação 3

Estruturalmente a GS é constituída de oito subunidades, resultando num arrajamento octamérico. Cada subunidade apresenta massa molecular em torno de 47 kDa, totalizando uma massa molecular total da enzima de 380 kDa. Essa enzima é encontrada sob múltiplas isoenzimas no citosol (GS1) e no cloroplasto ou plastídeo (GS2), onde desempenha papéis distintos (LEA; IRELAND, 1999; LANCIEN et al., 2000). A enzima GS é ativada através de pH elevado e alta concentração de Mg e ATP, fatores esses que aumentam na presença de luz, onde ocorre intensa redução do nitrito e produção de NH_4^+ . A intensa redução do nitrato requer a elevação simultânea da atividade da GS, responsável por regular a assimilação do amônio nos cloroplastos (MARSCHNER, 1995). Além disso, a GS também é regulada pela luz para coordenar a assimilação de N-inorgânico e a quantidade de carbono produzido pela fotossíntese, bem como para eliminar a toxidez do amônio produzido pela fotorrespiração. A luz pode modular a expressão gênica diretamente, através da ativação do fitocromo e criptocromo e, indiretamente, pela ativação da fotossíntese, seguido pelo aumento dos

metabólitos de carbono e outras alterações nos cloroplastos (OLIVEIRA; CORUZZI, 1999). Woolfolk e Stadtman (1964) concluíram, a partir das análises de extratos de folhas, que a atividade da GS poderia ser quantificada por meio da formação do γ -glutamilhdroxamato, a qual pode ser inibida pela ação do AMP, GTP, CTP, alanina, glicina e triptofano, em concentrações de 0,002 a 0,0005 M.

2.3 Soja transgênica “Roundup Ready” (RR) e glifosato na agricultura

A soja transgênica “Roundup Ready” (RR) foi desenvolvida pela inserção, por meio de técnica biotecnológica, onde através de um gene de outro organismo capaz de torná-la tolerante ao uso de um tipo de herbicida, o glifosato. O gene inserido (AroA), proveniente do genoma de *Agrobacterium* sp., estirpe CP4, codifica uma variante da enzima EPSPS (CP4 EPSPS), especialmente tolerante à inibição pelo glifosato (PADGETTE, 1995); sendo estruturalmente, muito parecido com os genes componentes do genoma de uma planta. Sob tratamento com esse herbicida, as plantas de soja não são afetadas, devido à ação continuada e sistemática dessa enzima alternativa, insensível ao produto, caracterizando a tolerância a esse herbicida que é amplamente utilizado no controle de plantas invasoras.

No Brasil, com a aprovação da Lei da Biossegurança, em março de 2005 e a liberação do cultivo comercial de soja tolerante ao glifosato, a soja RR tem sido amplamente cultivada no Brasil, contabilizando 64 cultivares registrados no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A utilização dessa nova tecnologia vem sendo bastante discutida pelos setores envolvidos na produção. De um lado, contrários à utilização, setores ambientalistas, alegam problemas como fluxo gênico via pólen, danos à saúde humana e ao ambiente, bem como a dependência da empresa detentora da patente. Por outro lado, os setores produtivos e a empresa que detêm a patente, e desenvolveu a tecnologia da soja RR na década de 1980, propõem a facilitação nos tratos culturais da lavoura, a ampliação do rendimento dos produtores, através da redução do custo decorrente do menor número de pulverizações para controlar as plantas invasoras; além de estudos mostrarem a eliminação eficiente da

mato-competição e a redução do teor de impureza e grau de umidade nos grãos colhidos.

Um fator importante que diminui o rendimento da lavoura de soja são as plantas invasoras, as quais competem por luz e recursos hídricos e nutricionais, causando redução na produção de grãos. Algumas plantas invasoras podem ter efeito alelopático, reduzindo a produtividade e aumentando o custo de produção. Espécies como *Desmodium tortuosum* (carrapicho-beiço-de-boi), *Cardiospermum halicacabum* (balãozinho), *Digitaria insularis* (capim-amargoso), *Pennisetum setosum* (capim-oferecido), *Senecio brasiliensis* (maria-mole), *Conyza banariensis* (buva), entre outras, podem ser citadas como exemplos de disseminação facilitada pelo desconhecimento, por subestimação ou pelo desinteresse no problema e falta de planejamento de longo prazo (GAZZIERO, 2003). Dos métodos de controle de plantas invasoras utilizados na cultura de soja, o químico tem sido a alternativa mais utilizada pelo produtor. A aplicação de herbicidas na cultura de soja pode ser realizada em três etapas: em pré-semeadura (herbicidas usados como dessecantes ou incorporados ao solo); em pré-emergência e em pós-emergência. Quanto ao mecanismo de ação, os herbicidas registrados no Brasil para a cultura de soja podem ser classificados em: mimetizadores de auxinas (auxínicos), inibidores do fotossistema II, inibidores da PROTOX, inibidores do arranjo dos microtúbulos, inibidores do fotossistema I, inibidores da ALS, inibidores da EPSPs, inibidores da GS, inibidores da ACCase, inibidores de carotenóides, dentre outros (GAZZIERO, 2003; SEDIYAMA, 2009).

O glifosato é um herbicida pós-emergente, pertencente ao grupo químico das glicinas substituídas (Figura 3), classificado como não-seletivo e de ação sistêmica. Apresenta largo espectro de ação, possibilitando um controle de invasoras anuais ou perenes, tanto de folhas largas como estreitas (GALLI; MONTEZUMA, 2005). Devido sua limitada solubilidade em água (1,2% a 25°C), os sais mais solúveis do ácido são preferencialmente escolhidos para sua formulação. Dessa forma, o termo glifosato é geralmente utilizado para indicar tanto o ácido como seus sais (YAMADA; CASTRO, 2007).

Uma das mais importantes características do glifosato é sua rápida translocação das folhas da planta tratada para as raízes, rizomas e meristemas apicais

(FRANZ, 1985; GRUYS; SIKORSKI, 1999). Seu mecanismo de ação é bastante singular, pois é o único herbicida capaz de inibir especificamente a enzima 5-enolpiruvil-chiquimato-3-fosfato-sintase (EPSPs), responsável por catalizar a condensação do ácido chiquímico e do fosfato piruvato, evitando, assim, a síntese de três aminoácidos essenciais: triptofano, fenilalanina e tirosina (JAWORSKI, 1972; ZABLOTOWICZ; REDDY, 2004). Segundo Rodrigues e Almeida (2005) a variação na dose comercial deverá situar-se em 0,5 a 2,5 L ha⁻¹ e com maior frequência entre 1,5 a 2 L ha⁻¹.

Figura 3 – Estrutura química da molécula de glifosato

Com a legalização da utilização e comercialização de variedades geneticamente modificadas, tolerantes ao glifosato, ocorreu um aumento no uso deste herbicida nos sistemas de produção, aumentando também a discussão sobre seus efeitos no ambiente e nos custos de produção das lavouras de soja.

A presença de microrganismos no solo pode ser facilmente influenciada por diversos fatores, como propriedades físico-químicas, matéria orgânica, umidade, temperatura, pH, sistemas de manejo, dentre outros (BUCKLEY; SCHMIDT, 2001). Portanto, variações em populações específicas de microrganismos podem ocorrer através da introdução de alguma prática agrícola que altere significativamente os fatores citados. O efeito tóxico sobre as comunidades microbianas do solo pode ocorrer em virtude da paralisação da síntese dos aminoácidos aromáticos nos microrganismos que possuem a mesma enzima sensível que a planta. Entretanto, ao contrário dos resultados obtidos em laboratório, a aplicação do glifosato, na maioria dos experimentos de campo não mostra o efeito ou apresenta um baixo estímulo aos microrganismos do solo (ROSLYCKY, 1982).

Os impactos do glifosato na microbiota e os processos biológicos do solo têm sido bastante estudados (BUSSE et al., 2001). Para bactérias fixadoras de

nitrogênio em vida livre, os efeitos do glifosato variam muito em função das espécies estudadas (HAAHTELA et al., 1988; SANTOS; FLORES, 1995). Trabalhos conduzidos em laboratório indicaram que o glifosato pode afetar as bactérias fixadoras de N, porém, apenas quando se aplicam concentrações muito acima daquelas passíveis de ocorrer na solução do solo, em condições reais de campo (MOORMAN et al., 1992)

Estudando o efeito de mobilidade da aplicação de glifosato sobre a nodulação de 20 cultivares de soja RR, Dvoranen et al. (2007) relatam que a formação de nódulos nas raízes da soja pode ser afetada por aplicações deste herbicida. Santos et al. (2007) estudaram o efeito da aplicação de três marcas comerciais de glifosato – Roundup Ready®, Roundup Transorb® e Zapp Qi – sobre a soja transgênica CD 219 RR, na dose de 2 kg ha⁻¹, quando as plantas estavam com o segundo trifólio completamente expandido. Estes autores observaram que havia relação entre a maior translocação de glifosato para os nódulos e a redução na produtividade de soja, com o menor rendimento, maior intoxicação e menor número de nódulos radiculares na soja pulverizada com Roundup Transorb®, o oposto ocorrendo com o Roundup Ready®. A análise química das folhas coletadas na época do florescimento mostrou o efeito negativo das formulações do glifosato nos teores de nitrogênio, cálcio, ferro e cobre. Os autores creditam a diminuição no teor foliar de nitrogênio ao efeito das formulações de glifosato, principalmente a Transorb, na fixação biológica de nitrogênio. Já a redução no teor foliar de cálcio foi explicada pela menor translocação deste nutriente do hipocótilo para as folhas da soja. A significativa diminuição no teor foliar de ferro corrobora os dados de Cakmak (2007), o qual mostrou que o glifosato inibe a ação da enzima redutase férrica. Significativa foi também a diminuição no teor de cobre foliar para quase metade do teor observado no controle, não sendo observado efeito algum sobre o Mn. Gordon (2007) comenta que, apesar da aceitação generalizada da soja RR (9 x 1, sobre a convencional) nos Estados Unidos, os agricultores estão percebendo que os cultivares RR não estão produzindo tanto quanto esperavam, mesmo nas melhores condições de solo e clima. Além de existirem evidências apontando para interferências do glifosato no metabolismo da planta, bem como na população de microrganismos do solo responsáveis pela redução do Mn na forma disponível às plantas como Mn²⁺ (YAMADA; CASTRO, 2007).

Apesar da incorporação de genes de tolerância a herbicidas não afetar a simbiose, a regulação de outros genes pode ser alterada pela introdução do gene transgênico, e o herbicida específico pode afetar a bactéria (ZABLOTOWICZ; REDDY, 2004). Existe a preocupação com os possíveis efeitos da transgenia na microbiota do solo, que podem ocorrer através da liberação de novas proteínas na rizosfera, pela persistência de DNA transgênico em material senescente no solo que interage com os microrganismos, bem como pela transferência de genes para microrganismos selvagens (O'DONNELL; GORRES, 1999).

2.4 Adubação do solo

A adubação é uma prática comumente utilizada no sistema de produção da soja, devido aos baixos níveis de alguns nutrientes nos solos. Via de regra, os fertilizantes utilizados na cultura de soja são de formulações compostas por sais de P e K. De acordo com EMBRAPA (2008), cada tonelada de grãos de soja contém 4,6 kg de P e 16,0 kg de K.

O fósforo (P) é um dos 17 elementos essenciais necessários para o crescimento vegetal, com concentração na massa seca variando de 0,05% a 0,50%, sendo absorvido pelas plantas nas formas de H_2PO_4^- e HPO_4^{2-} , as quais ocorrem na solução dos solos em concentrações de 0,1 a 10 μmol (RAGHOTHAMA, 1999; HINSINGER, 2001). É frequentemente o elemento mais crítico para as culturas, limitando a produção em cerca de 30% a 40% das terras agricultáveis do mundo (EPSTEIN; BLOOM, 2006). A aplicação de fertilizantes contendo esse nutriente é a prática mais recomendada para aumentar sua disponibilidade no solo, a fim de estimular o rendimento das culturas.

O transporte de fosfato através da membrana ocorre contra os gradientes eletroquímicos e de concentração, exigindo dessa forma, alto gasto energético, além do modo de transporte ser através do tipo co-transporte H^+/P_i (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Os mesmos autores ainda citam que diferentemente dos outros ânions, o P do fosfato não sofre trocas de valências durante as diversas atividades bioquímicas por ele

realizadas, permanecendo pentavalente, seja como fosfato (PO_4^{-3}) ou como pirofosfato ($\text{P}_2\text{O}_7^{-4}$).

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 intracelular, metabolismo de carboidratos e fixação de nitrogênio (VANCE et al., 2003; EPSTEIN; BLOOM, 2006). O crescimento de plantas em condições de deficiência de P é abaixo do normal, e sob condições severas, as plantas podem tornar-se subdesenvolvidas. Em função da mobilidade do P nas plantas, sob condições de deficiência, ocorre a translocação do nutriente das folhas mais velhas para as mais novas, esgotando sua reserva nas folhas mais velhas, onde os sintomas de deficiência apresentam-se primeiro. Além disso, o limitado fornecimento de P reduz o número e a eficiência dos nódulos presentes nas raízes da soja, e conseqüentemente, a fixação simbiótica do nitrogênio (POTAFÓS, 1994).

O potássio (K), por sua vez, é considerado o quarto mineral mais abundante no mundo, constituindo aproximadamente 2,50% da litosfera terrestre. No entanto, sua concentração nos solos é muito variável, com valores entre 0,04% a 3,00% (SPARKS; HUANG, 1985). O K é encontrado na solução do solo ou na forma trocável, fixa ou estrutural (SYERS, 1998). Como as plantas podem adquirir o K^+ apenas da solução do solo, sua disponibilidade depende da dinâmica dos nutrientes e do conteúdo de K total no solo. Portanto, a troca de K entre suas formas, e dessas para a solução do solo, é fortemente dependente da concentração de outros macronutrientes na solução, como o nitrato, sendo muitas vezes mais lenta do que a taxa de aquisição de K^+ pelas plantas. Conseqüentemente, a concentração de K^+ disponível para absorção, em alguns solos, é muito baixa (ASHLEY et al., 2006). A absorção de K^+ pelas plantas pode ser prejudicada pela presença de altos níveis de outros cátions monovalentes, como Na^+ e NH_4^+ (RUS et al., 2004). 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 K^+ absorvido (ROSOLEM et al., 2003). O transporte de K^+ através das membranas celulares vegetais depende de mecanismos de

baixa e alta afinidade, envolvendo proteínas transportadoras do tipo canal e carregadoras, respectivamente (TAIZ; ZEIGER, 2004; ASHLEY et al., 2006). De acordo com Taiz e Zeiger (2004), essas 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 dos canais de K.

Segundo Epstein e Bloom (2006), o K apresenta-se como um dos principais nutrientes das plantas, sendo essencial para o desenvolvimento e produção vegetal. Suas concentrações na solução do solo encontram-se, na sua maioria, entre 0,1 mM e 6,0 mM. Entretanto, as plantas acumulam grandes quantidades deste elemento, constituindo cerca de 2% a 10% da massa seca da planta (ASHLEY et al., 2006; EPSTEIN; BLOOM, 2006). A concentração de K^+ no citosol, ótima para o funcionamento de enzimas citosólicas, é em torno de 100 mM, enquanto a concentração no vacúolo é bem variável, sendo comumente na faixa de 20 mM a 200 mM, dependendo de sua disponibilidade e do tipo do tecido (LEIGH; JONES, 1984; WALKER et al., 1996).

Diferentemente da maioria dos outros nutrientes das plantas, o K não é um constituinte de biomoléculas e atua principalmente como cofator enzimático (EPSTEIN; BLOOM, 2006; WINKLER; ZOTZ, 2010). Mais de 60 enzimas requerem um cátion univalente para a sua ativação, sendo que a maior parte dessas exigem obrigatoriamente o K^+ . No citoplasma, o K^+ atua como um contra-íon para o excesso de proteínas, carregadas negativamente, e ácidos nucleicos. Dessa forma, a maior parte do potássio celular está localizada em vacúolos, funcionando como o principal agente osmótico vacuolar (WINKLER; ZOTZ, 2010). Sob condições de deficiência do K, inicia-se nas células das raízes um processo de sinalização em cascata, culminando com a indução 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, dentre outros), originando diferentes proteínas com atividades específicas diversas (aquisição, transporte, carregamento e descarregamento de K no xilema), além de encontrarem-se as espécies reativas de oxigênio, ácido jasmônico, e hormônios como a auxina e o etileno (TAIZ; ZEIGER, 2004; ASHLEY et al., 2006).

2.5 Adubação foliar

A capacidade da parte aérea absorver água e o que nela estiver dissolvido, é a base para a aplicação foliar de fertilizantes, bem como para a eficiência de outras práticas agrícolas que implicam a aplicação de aspersões (BOARETTO; ROSOLEM, 1989). Para que uma substância aplicada nas folhas entre realmente no metabolismo vegetal, ela tem de penetrar nas células, e não só recobrir a planta como um todo. Segundo Camargo e Silva (1990), o vegetal é dividido em duas partes distintas, visando à absorção foliar: o apoplasto, constituído por cutículas, paredes celulósicas, vasos lenhosos, tecidos suberificados e lignificados, colênquima e esclerênquima, e o simplasto, formado pelas partes consideradas vivas (plasmalemas, tonoplastos, citoplasmas, plasmodesmos, ectodesmos, membranas nucleares e organelas), sendo que ao simplasto que os minerais devem chegar para que sejam metabolizados. Assim, os íons e as moléculas, para serem absorvidos, devem ultrapassar duas barreiras: a cuticular, para entrarem no apoplasto, e o plasmalema, para passarem do apoplasto para o simplasto, completando o fenômeno de absorção.

De acordo com Castro (2009), a estrutura da cutícula apresenta uma matriz de cutina, contendo plaquetas de cera e lamelas de celulose. Sua estrutura e a quantidade de cera presentes na superfície foliar são de extrema importância quando se consideram as pulverizações de substâncias, pois influem na molhabilidade da referida superfície. Wittwer et al. (1963), estudando a permeabilidade da cutícula, demonstraram que a penetração dos íons foi linear com o tempo, independentemente da presença de estômatos. Wittwer e Teubner (1959) afirmaram que a barreira cuticular evidencia o fato de que as folhas jovens, levemente cutinizadas, absorvem nutrientes mais rápido em relação as folhas velhas excessivamente cutinizadas, e ainda que a face abaxial é freqüentemente mais eficiente que a face adaxial. Tal fato foi comprovado por Gustafson (1957), que nos seus ensaios com diferentes plantas na absorção e translocação de Co^{60} , observou diferenças entre a face adaxial e abaxial, não se devendo tal diferença a quantidade de estômatos, mas às variações de espessura da cutícula.

O simplasto tem continuidade por toda a planta devido à existência de plasmodesmos, que são cordões citoplasmáticos extremamente finos, responsáveis por conectarem o protoplasma de uma célula a outra. As células epidérmicas apresentam estruturas semelhantes denominadas ectodesmos, que se projetam na cutícula, chegando algumas até próximo à superfície foliar (CASTRO, 2009). Os ectodesmos são de estrutura plasmática e desempenham importante papel na absorção cuticular, sendo que estudos morfológicos em folhas de diversas plantas sugerem que os ectodesmos, à semelhança dos plasmodesmos, atuam como via de transporte (FRANKE, 1967). O mesmo autor em experiências com água tritiada, para estudos de transpiração cuticular, demonstrou que a posição dos ectodesmos coincide com os locais onde se encontrava a água tritiada, sugerindo que a posição dos ectodesmos coincide com os locais de penetração. Camargo e Silva (1990) afirmaram que a população de ectodesmos é variável, sendo maior em células de função específica como: pêlos glandulares, nectários e células estomáticas; assim como sua forma, que depende dos agentes externos como: desidratação, monóxido e dióxido de carbono, herbicidas, dentre outros.

Segundo Ben (1983), as pesquisas de adubação foliar em soja foram intensificadas nos EUA a partir da divulgação do trabalho de Garcia e Hanway (1976), no qual foram observados resultados positivos à aplicação de macronutrientes durante a fase de granação. A Embrapa Agropecuária Oeste testou, na safra 2004/05 e 2005/06 vários adubos aplicados via foliar, tanto na forma de fórmulas completas com vários elementos e/ou aminoácidos, como produtos contendo um único nutriente. Os resultados mostraram equivalência em rendimento de grãos com o controle, onde não se aplicou os produtos.

2.6 Fertilizantes foliares a base de aminoácidos livres

O princípio básico que utiliza esta tecnologia de fertilizantes foliares é a formação de proteínas hidrolisadas que incorporam nutrientes catiônicos como Ca, Mg, K, Fe, Cu, Zn e Mn. Estes minerais são suspensos entre os dois aminoácidos que compõem os grupos de doadores e um deles, geralmente um grupo amino (NH_2) forma um complexo covalente, enquanto o outro grupo carboxílico (COOH) forma uma ligação

iônica. Assim, os íons metálicos são complexados dentro da estrutura formando um quelato orgânico. Segundo Castro (2008), a utilização de aminoácidos na agricultura tem sido praticada por várias décadas, no Brasil e no mundo, em diversas culturas. O número de empresas, ofertando no comércio uma ampla gama de produtos, a base de aminoácidos, vem aumentando consideravelmente. O mesmo autor ainda alerta a respeito das controvérsias sobre a utilização de aminoácidos na agricultura, uma vez que a aplicação isolada dos mesmos raramente tem mostrado efeitos significativos na produtividade vegetal.

De acordo com Castro (2008), os aminoácidos são moléculas de características estruturais em comum, constituídos de um carbono central, geralmente assimétrico, ligado a um grupamento carboxila (COOH), um grupamento amino (NH_2) e um átomo de hidrogênio. Além destas três estruturas, os aminoácidos apresentam um radical conhecido genericamente por “R”, que diferencia os mesmos (Figura 4). Diversas hipóteses são atribuídas aos aminoácidos, tendo como principais funções, (i) a síntese de proteínas, (ii) compostos intermediários dos hormônios vegetais endógenos, (iii) efeito quelatizante em nutrientes e outros agroquímicos, (iv) maior resistência ao estresse hídrico e de alta temperatura e (v) maior resistência ao ataque de doenças e pragas. Segundo o mesmo autor, os aminoácidos podem vir a ser enquadrados no grupo de antiestressantes, compostos capazes de agir em processos morfofisiológicos do vegetal como precursores de hormônios endógenos ou como ativadores de enzimas e da disponibilização de compostos capazes de promover tolerância a estresses. Esses compostos são descritos como produtos que podem reduzir o uso de fertilizantes e aumentar a produção e resistência ao estresse causado por temperatura e déficit hídrico (RUSSO; BERLYN, 1990).

Figura 4 – Esquema estrutural da molécula de aminoácido

Os aminoácidos têm grande permeabilidade na cutícula via pulverização foliar, e dessa forma aumentam a eficiência da absorção foliar. Segundo Ashmead et al. (1986), quando o mineral é anexado a aminoácidos através do processo de quelatização, há uma maior penetração na membrana cuticular e uma velocidade maior do que o previsto por difusão simples, sugerindo que aminoácidos ligantes têm propriedades promotoras de permeabilidade, existindo grandes vantagens de utilizar um aminoácido que apresenta efeito quelatizante com o nutriente mineral, em vez de cátions livres. A sua absorção no tecido vegetal é mais rápida do que os montantes equivalentes de cátions não complexados em água devido ao efeito de aumento da permeabilidade dos aminoácidos sobre a cutícula em uma aplicação foliar, onde a carga iônica do metal é neutralizada pelos aminoácidos de uma maneira semelhante aos quelatos sintéticos. Isso evita que o metal seja submetido às forças de atração e repulsão presentes na cutícula da folha (HSU, 1986). Taiz e Zeiger (2004) relatam que os aminoácidos podem ser transportados através da membrana plasmática da célula por meio de transportadores tipo simporte, penetrando na célula paralelamente à entrada de H^+ .

Nyman et al. (1987) verificaram através de estudos histoautoradiográficos, utilizando aminoácidos marcados, que células vivas dos tricomas de *Tillandsia paucifolia* podem ser capazes de absorver aminoácidos livres de soluções

extrafoliares. Resultados similares foram obtidos com outras espécies de *Tillandsia* (BENZING et al., 1976). Nelson e Gorham (1959) observaram que as taxas de absorção de aminoácidos marcados através do pecíolo da folha primária de soja variaram de 1,0 a 1,5 μL por minuto.

Hsu (1986) discutiu as reações para o uso foliar, acima das aplicações de fertilizantes em solo, além de apresentar a estrutura geral e propriedade de quelatos, incluindo principalmente Metalosatos (nutrientes quelatizados por aminoácidos). O mesmo autor ainda relata que plantas de milho tratadas com FeSO_4 e Metalosato marcado radioativamente contendo ferro, aplicados em folhas, tiveram translocação para a base da folha, mas não em direção a ponta. Sendo a translocação maior com Metalosato contendo ferro do que FeSO_4 . Essa verificação mostra que o nutriente ligado ao aminoácido, formando um quelato, é absorvido mais rapidamente do que quando livre em solução.

Pesquisas realizadas por Brandão (2007), com a cultura de cana-de-açúcar comprovam a eficiência dos aminoácidos, mesmo quando aplicado somente nos toletes o resultado já foi superior ao tratamento controle. Porém a combinação da aplicação do aminoácido nos toletes e via foliar proporcionou os maiores incrementos na produtividade quando comparado com o controle, ocorrendo um aumento de 17,28 t ha^{-1} , ou seja, um acréscimo de 15,5%. Reis e Minguini (2005) concluíram que a produtividade de algodão em caroço foi significativamente influenciada pelos fertilizantes que compõe o Programa Ajinomoto ($p < 0,05$), representando um aumento médio da produtividade de 12,4%.

Kikuti e Tanaka (2005) avaliaram a aplicação de aminoácidos em sementes de feijão e concluíram que na aplicação de aminoácidos não ocorreu efeito positivo no vigor de sementes, porém ocasionou melhor qualidade das sementes avaliadas em teste de germinação. Os resultados obtidos por Albuquerque e Dantas (2002), com aplicação de aminoácidos sobre uvas do cultivar Benitaka, promoveram uma coloração mais intensa, além de ter diminuído o teor de ácidos, conseqüentemente, resultando em uvas com o sabor mais adocicado com relação de sólidos solúveis e acidez mais equilibrada. Já Mouco e Lima Filho (2004), em estudos com a utilização de aminoácidos na cultura da mangueira 'Tommy Atkins', constataram

que a aplicação dos produtos, 30 dias antes da colheita, promoveu alongamento das panículas, e maior tendência de número de frutos fixados pela planta em relação ao controle não aplicado.

Foltran et al. (1990), com o objetivo de avaliar a adição de aminoácidos via foliar, na produção hortaliças, realizaram experimento utilizando misturas em diferentes concentrações de Ajifol, onde verificaram diferenças significativas em relação ao controle somente para a alface. Cantos Neto et al. (2001), por sua vez, realizaram experimento com a finalidade de avaliar os efeitos da aplicação de aminoácidos, macronutrientes e micronutrientes, via foliar, na cultura de feijoeiro cultivado em campo, e observaram diferença significativa apenas na avaliação da produção de grãos, provavelmente devido à ação conjunta do Mo, Co, associados com outros nutrientes e aminoácidos. Barros Júnior et al. (2001), em experimento para avaliação da eficiência de aplicações foliares de zinco, manganês e aminoácidos na cultura de milho em plantio direto, não obtiveram nenhuma diferença significativa para os parâmetros de produtividade e massa média da espiga. Teixeira et al. (2001) também não tiveram nenhuma resposta significativa para o parâmetro de produtividade através da aplicação de aminoácidos e de duas fontes de cobre na cultura de soja 'Monsoy 8001'.

Malavolta (1980) referiu-se a trabalhos próprios, demonstrando que a exigência de S no tomateiro poderia ser suprida através do fornecimento de metionina e cisteína, dois aminoácidos que contém o elemento. Entretanto, Mello et al. (1983) aplicaram um produto a base de cisteína no milho e não obtiveram resultados significativos para a produção de grãos, massa de sementes e teor de N, P e S em folhas e grãos.

Considera-se, a partir de algumas evidências que alguns aminoácidos podem agir como protetores das plantas da ação de sais minerais e outros agroquímicos ou, ao contrário, incrementar a absorção e o efeito desses produtos (CASTRO et al., 2006). Serciloto e Castro (2005) verificaram que Codamin – 150 e Codamin – BR incrementaram significativamente a massa seca de plantas de feijoeiro, além de aumentarem o número de grãos e a massa de grãos colhidos, bem como o produto Codamin – BR também exerceu efeito protetor em plantas de feijoeiro atingidas pelo herbicida glifosato. Não há nenhum relato de trabalhos com avaliações enzimáticas

relacionadas com aplicações de fertilizantes foliares a base de aminoácidos livres. Igarashi et al. (2010) demonstraram a eficácia da aplicação foliar de Ajifol (produto proveniente da fermentação do glutamato), onde o tratamento com o produto aumentou a resistência das folhas de *Arabidopsis* à infecção por patógenos bacterianos em relação ao controle. Os mesmo autores relatam também aumento na produção de peróxido de hidrogênio através de Ajifol para as culturas de morango e uva. Recentemente, Castro et al. (2011), em experimento com aplicação de Flororgan em feijão, constataram que as plantas que tinham sofrido um estresse de alta temperatura durante 4 dias seguidos em casa-de-vegetação, tiveram um aumento na altura 10 dias após a aplicação do produto na dosagem de $2,5 \text{ L ha}^{-1}$. Além de obterem aumento no número de vagens, número de grãos e massa dos grãos através das dosagens de 1,5, 2,0 e $2,5 \text{ L ha}^{-1}$; comprovando dessa forma, o efeito anti-estresse do produto.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido durante 165 dias, entre novembro de 2009 e abril de 2010, em ambiente natural no Horto Experimental Botânico “Walter Accorsi” localizado no Departamento de Ciências Biológicas na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), da Universidade de São Paulo (USP), no município de Piracicaba, SP (Figura 5A), situado a 22° 42' 30" latitude Sul e 47° 38' 30" longitude Oeste e altitude de 546 m. Segundo a classificação de Köppen o clima regional é do tipo Cwa, tropical de altitude com inverno seco, temperatura média anual de 22°C, precipitação pluvial média de 1.280 mm e 74% de umidade relativa do ar.

Para o desenvolvimento do experimento foi utilizado o delineamento em blocos ao acaso, com 12 tratamentos e 4 repetições, totalizando 48 unidades experimentais (Figura 5B). Cada parcela foi constituída de 3 plantas de soja em vasos de polietileno preenchidos com 20 kg de substrato. Os tratamentos Controle (C), Adubação no solo (AS), Glifosato (G) e Adubação no solo + Glifosato (AS+G) foram utilizados em comum nos dois experimentos descritos abaixo.

3.1 Experimento A

Nesse experimento foi verificada a ação da aplicação foliar de Ajifol, através dos seguintes tratamentos: C – Controle; A – Ajifol (1,0 L ha⁻¹); AS – Adubação no solo (P e K); G – Glifosato (0,3 g L⁻¹); A+AS; A+G; AS+G; A+AS+G.

Ajifol Fosfito Plus é caracterizado como um fertilizante mineral complexo com sua composição proveniente de processos controlados de biofermentação da produção de glutamato monossódico e adição de 30 % (420,0 g L⁻¹) de potássio, 20% (280,0 g L⁻¹) de fósforo e 3% (42,0 g L⁻¹) de carbono orgânico total, com densidade de 1,40 g/ml em suspensão homogênea. Na sua composição foram identificados 15 aminoácidos, dentre os quais glutamato, alanina, aspartato e valina, apresentaram-se em maiores concentrações.

3.2 Experimento B

No experimento seguinte foi utilizado o fertilizante foliar Flororgan, de acordo com os tratamentos: C – Controle; F – Flororgan ($2,5 \text{ L ha}^{-1}$); AS – Adubação no solo (P e K); G – Glifosato ($0,3 \text{ g L}^{-1}$); F+AS; F+G; AS+G; F+AS+G.

Flororgan é caracterizado como fertilizante mineral misto com adição de micronutrientes (0,2% de boro, 0,1% de cobalto, 3% de zinco, 1% de manganês e 1% de molibdênio) a um complexo de aminoácidos desenvolvido através da fermentação aeróbica e anaeróbica de produtos de origem orgânica e inorgânica, com densidade de $1,19 \text{ g mL}^{-1}$ e suspensão homogênea. Foram identificados 17 aminoácidos na composição, com predominância de ácido aspártico, alanina e treonina.

Figura 5 – Visão geral da instalação do experimento localizado nas dependências do Horto Experimental do Departamento de Ciências Biológicas da ESALQ-USP (A); Detalhe da distribuição das unidades experimentais (parcelas) em blocos (B)

3.3 Caracterização e preparo do substrato

O substrato utilizado nos três experimentos foi retirado de um solo classificado como Latossolo Vermelho distrófico argiloso (Tabela 1) segundo classificação da EMBRAPA (2006). Após análises química e física, o substrato foi peneirado e em seguida seco ao sol. A pesagem do substrato, preenchimento dos vasos e a adubação com fósforo e potássio, $1,00$ e $0,24 \text{ g kg}^{-1}$, respectivamente, foi realizada 30 dias antes da semeadura. Os vasos receberam irrigação periodicamente,

de modo a manter o substrato a 80% da capacidade de campo, de acordo com as condições climáticas (Figura 6).

3.4 Cultivar

O cultivar BRS 255 RR, utilizado nesse experimento, foi desenvolvido pela Embrapa, proveniente da genealogia BRS 137*3 x E96, com adaptação para os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná e São Paulo. Tendo como algumas características gerais, a cor de flor branca, o ciclo precoce, além do hábito de crescimento determinado e altura média de 75 cm. As características técnicas de produção para o estado de São Paulo apresentam-se com produtividade média de grãos de 2.533 kg ha⁻¹, peso de 100 sementes de 16,0 g, teor de óleo de 23,3% e teor de proteína de 39,9%.

Tabela 1 - Composição físico-química do solo Latossolo vermelho distrófico argiloso utilizado como substrato

Análise Física (g kg ⁻¹)																
Argila		Silte		Areia total		Areia grossa		Areia fina								
267		113		620		270		350								
Análise Química e Nutrientes																
M.O.	pH	H + Al	Al	Mg	Ca	S	K	CTC	V	P	Fe	Mn	Cu	Zn	B	
g dm ⁻³	CaCl ₂	-----			mmol dm ⁻³			-----		%	-----			mg dm ⁻³		-----
10	6.1	13	0	13	35	52	2.7	64	80	32	16	25.6	0.9	1.4	0.34	

* Análises realizadas no Laboratório Agrotécnico de Piracicaba (PIRASOLO) entre os dias 21 e 23 de outubro de 2009.

3.5 Semeadura e germinação

As sementes de soja foram inoculadas com *Bradyrhizobium japonicum* de acordo com as recomendações da EMBRAPA (2009). Em seguida, 10 sementes foram semeadas em cada vaso, ocorrendo a emergência das plântulas após 7 dias (01/12/2009). Desbastes foram realizados até o 10º dia após a emergência (DAE), restando as três plantas mais vigorosas por parcela.

Figura 6 - Condições climáticas durante a condução do experimento segundo a base de dados da estação meteorológica da ESALQ/USP, Piracicaba, SP

3.6 Acompanhamento das fases de desenvolvimento e tratos culturais

As plantas foram constantemente monitoradas durante as fases de desenvolvimento (Figura 7) e avaliadas quanto à 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).

Figura 7 – Estádios fenológicos das plantas de soja: (A) estágio VE (emergência); (B) estágio VC (cotiledonar); (C) estágio V3 (desenvolvimento); (D) estágio R1 (florescimento); (E) estágio R5 (desenvolvimento do grão) e (F) estágio R9 (maturação plena)

3.7 Aplicação foliar

A técnica de adubação foliar exige uma combinação de vários fatores como a idade da folha, maneira de aplicação e as condições climáticas, tais como temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento (Tabela 2), dentre os mais importantes para o sucesso na absorção foliar.

Aos 35 DAE, as plantas atingiram o estágio fenológico V5 (FEHR; CAVINESS, 1977), caracterizado pelo desenvolvimento completo da 4ª folha trifoliolada. Neste estágio, ocorreu a aplicação dos produtos nas parcelas correspondentes aos tratamentos descritos acima. A aplicação foi efetuada através da utilização de um pulverizador manual com capacidade para 1,5 litros, além da utilização de todos os equipamentos de segurança exigidos (Figura 8A). Após o preparo das caldas de acordo

com os tratamentos, procedeu-se a pulverização de toda parte aérea das plantas, até o início do escoamento superficial da calda nas folhas (Figura 8B).

Tabela 2 - Condições climáticas durante a aplicação foliar dos produtos nas plantas de soja no mês de janeiro de 2010. Piracicaba, SP

	Temperatura	Umidade relativa do ar	Vento	Precipitação
Início (08:00 hrs)	20,7°C	97%	0,2 m s ⁻¹	0 mm
Término (09:00 hrs)	20,9°C	97%	0,5 m s ⁻¹	0 mm

Fonte: INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

3.8 Parâmetros avaliados

As variáveis analisadas foram divididas em 4 parâmetros: biométricos, nutricionais, metabólicos, realizados no estágio fenológico R1 (início do florescimento), e de produção (quantitativos e qualitativos) no estágio R9 (maturação plena).

3.8.1 Parâmetros biométricos

3.8.1.1 Altura e clorofila

Através da utilização de régua graduada obteve-se o valor da altura das plantas (cm) aos 7, 15 e 30 dias após a aplicação (DAA), medindo-se a distância entre a superfície do solo até 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 três plantas presentes na mesma.

Para a quantificação da concentração de clorofila total presente nas folhas, utilizou-se o aparelho portátil de medição “Minolta SPAD-502 Leaf Chlorophyll Meter”, também aos 7, 15 e 30 DAA, 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 três plantas presentes na parcela.

Figura 8 – Aplicação foliar dos tratamentos através de um pulverizador manual realizada no estágio fenológico V5, aos 35 DAE; (A); Distribuição das gotas nas folhas das plantas de soja (B)

3.8.1.2 Área foliar (AF), biomassa fresca e seca

Completando as avaliações biométricas, coletou-se através de método destrutivo, uma planta inteira de cada parcela no estágio fenológico R1, separando-se folhas e caules em sacos de papel devidamente identificados (Figura 9A). Através da utilização do equipamento Area Meter modelo LI-3100 (Li-cor®) foi quantificada a área foliar das plantas (Figura 9B).

Paralelamente a medição da área foliar, as folhas e caules foram pesadas em balança para obtenção da biomassa fresca e em seguida inseridas novamente nos sacos de papel, com peso conhecido, e os mesmos foram colocados em estufa de circulação forçada de ar à 65°C, até peso constante, quando o material foi pesado novamente em balança para obtenção da biomassa seca.

Figura 9 – Separação de folhas e caules para obtenção da biomassa (A); Equipamento utilizado para medir a área foliar das amostras (B)

3.8.2 Parâmetros nutricionais

As análises de nutrientes foram realizadas utilizando-se 4 repetições (2 folhas por planta/tratamento). As folhas amostradas para análise química de nutrientes foram retiradas na terceira e quarta posição, do ápice para a base, totalmente expandidas (MALAVOLTA et al., 1997). Em seguida foram transportadas para o laboratório em sacos de papel, onde esse material foi seco em estufa de circulação forçada de ar a 65°C, durante 48 horas, pesado e moído em moinho tipo Wiley, usando peneira de malha 20 mm.

3.8.2.1 Macronutrientes e micronutrientes

Para a determinação das concentrações foliares de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu), o material vegetal liofilizado foi submetido à digestão nitroperclórica (JOHNSON; ULRICH, 1959). O fósforo foi determinado por métodos analíticos de colorimetria do metavanadato, o potássio por fotometria de emissão de chamas. Já o Ca, Mg, Fe, Mn, Zn e Cu foram quantificados por espectrofotometria de absorção atômica e o enxofre por turbimetria do sulfato de bário (JACKSON, 1958). Por fim, o nutriente boro foi analisado após digestão das amostras por via seca (calcinação

em mufla a 550 °C) e determinado por colorimetria através do método de Azometrina-H (BINGHAM, 1982).

3.8.3 Parâmetros metabólicos

A coleta do material vegetal para as análises metabólicas foi realizada no estágio fenológico R1 (início do florescimento). 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 inseridas em tubos “Falcon” (25 mL), acondicionadas imediatamente em caixa de isopor contendo gelo moído e transportadas 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 3.8.3.1), enquanto que o material restante foi acondicionado em *freezer* com temperatura de - 80 °C, para posterior processamento.

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

3.8.3.1 Determinação da atividade da redutase de nitrato (NR)

Após chegarem ao laboratório as folhas foram devidamente lavadas com água destilada, para retirada de possíveis contaminantes, e secas com papel. Para esta análise utilizou-se 50 mg de massa fresca, obtida através de discos foliares com auxílio de um furador de rolhas (0,5 cm de diâmetro), evitando-se as nervuras principais e secundárias.

A atividade da nitrato redutase *in vivo* foi determinada de acordo com o método descrito por Radin (1974), com algumas modificações. Os discos foliares foram inseridos em tubos de ensaio contendo 5,0 mL de solução tampão fosfato 50 mM, pH 7,4 + KNO₃ 200 mM e protegido da luz com papel de alumínio para padronizar a quantidade de luz recebida pelos tubos. Esse tampão contém NH₄⁺, substrato para a

enzima NR, que converte NH_3^- em NO_2^- . Em seguida, os tubos foram incubados em banho maria a 37°C durante 30 minutos, recebendo agitação de 5 em 5 minutos.

Após a permanência de 30 minutos em banho maria, os tubos foram retirados e após repouso durante 10 minutos, adicionou-se 1 mL de sulfanilamida (58 mM) a 1% em HCl 2N (2 mol L^{-1}) para a paralisação da reação. A seguir, foi adicionado 1 mL de N- α -naftilenodiamina (1,93 mM) para a identificação do nitrito através da coloração. A leitura de absorbância dessa coloração foi realizada em espectrofotômetro a 540 nm, acertando-se o zero com H_2O destilada. A concentração de nitrito foi calculada através da curva padrão de nitrito, utilizando-se concentrações de 0, 5, 10, 15, 20 e $25 \mu\text{g L}^{-1}$ de N na forma de NO_2^- , junto com os reagentes anteriores. A partir das absorbâncias calculadas, ajustou-se o gráfico (concentração x leitura), obtendo-se a equação de regressão linear ($y = ax + b$). Os valores obtidos foram expressos em $\mu\text{mol NO}_2^-$ produzidos por hora por g de matéria fresca ($\mu\text{mol NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$).

3.8.3.1 Preparo do extrato protéico

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, contendo 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 ependorff e novamente acondicionado a temperatura de -80°C para as análises do teor de proteína total solúvel (PTS) e atividade da glutamina sintetase (GS).

3.8.3.2 Determinação das concentrações de proteínas totais solúveis (PTS)

Para a determinação dos teores de PTS presentes nas folhas de soja, utilizou-se o extrato obtido no item 3.8.3.1. Após agitação vigorosa (vortex) para homogeneizar as amostras, as mesmas receberam centrifugação de 10.000 rpm

durante 10 minutos a 5°C, sendo o sobrenadante coletado e transferido a outro eppendorf, devidamente identificado e acondicionado em recipiente com gelo moído.

Após a extração realizou-se a determinação da concentração de proteína empregando-se a metodologia descrita por Bradford (1976). A reação foi feita com 20 µL do extrato preparado (item 3.8.3), adicionando-se 1,0 mL de reagente de Bradford. O reagente de Bradford foi preparado com 100 mg de *comassie brilliant blue G-250* dissolvidos em 50 ml de etanol 95% e 100 ml de ácido ortofosfórico (H₃PO₄) 85%. O volume dessa mistura foi aferido para 1 litro e filtrado duas vezes utilizando filtro de papel qualitativo da marca Reagen.

A leitura colorimétrica da reação foi realizada em espectrofotômetro a 595 nm. A concentração de PTS das amostras foi calculada a partir da curva padrão preparada com albumina de soro bovino (BSA). Os resultados obtidos foram expressos em miligramas de proteínas totais solúveis por grama de matéria fresca (mg PTS g⁻¹ MF).

3.8.3.3 Determinação da atividade da glutamina sintetase (GS)

Para a determinação da atividade da GS utilizou-se o extrato protéico obtido através da trituração das folhas de soja, conforme descrito no item 3.8.3.1. As amostras acondicionadas nos eppendorfs receberam agitação vigorosa (vortex) para homogeneização, seguida de centrifugação a 10.000 rpm durante 10 minutos a 4°C, onde ao final foi coletado o sobrenadante para a reação.

A atividade da enzima glutamina sintetase foi obtida através do método proposto por Elliott (1953), o qual explora a atividade biossintética dessa enzima na formação de λ-glutamil hidroxiamato, através do extrato obtido. Nos tubos de ensaio foram adicionados 0,3 mL de extrato, 0,5 mL de tampão TRIS-HCl 200 mM (pH 7,5); 0,2 mL de ATP 50 mM (pH 7,0); 0,5 mL de glutamato de sódio 500 mM; 0,1 mL de cisteína 100 mM e 0,3 mL de hidroxilamina 100 mM (pH 7,0), totalizando 2 mL, seguidos por incubação em banho maria à 30°C durante 30 minutos para a reação enzimática.

Após o período de incubação os tubos de ensaio foram retirados e, interrompeu-se a reação com a adição de 2,0 mL do tampão de paralisação, composto por cloreto férrico – FeCl₃ (123,2 mM), TCA (500 mM) e HCl (6N), na proporção de

1:1:1. Em seguida, as amostras foram homogeneizadas por agitação vigorosa (vortex) e centrifugadas a 5.000 rpm durante 5 minutos. O sobrenadante foi coletado para leitura realizada no espectrofotômetro a 540 nm. A atividade da enzima foi determinada a partir da comparação da leitura obtida com uma curva padrão, previamente preparada com λ -glutamil hidroxiamato e os resultados expressos em $\mu\text{M } \lambda\text{-GH h}^{-1} \text{ g}^{-1} \text{ MF}$.

3.8.4 Parâmetros de produção

3.8.4.1 Quantitativos

A colheita das vagens foi realizada no estágio fenológico R9 (maturação plena) aos 165 DAS, seguida de pesagem para obtenção da massa fresca e contagem do número de vagens por planta. Para avaliação desse parâmetro foi utilizado a média de duas plantas por parcela, uma vez que uma planta foi coletada para as análises de biomassa e nutricionais no estágio R1. Após a contagem, as vagens foram acondicionadas em sacos de papel devidamente identificados e armazenados em estufa de circulação forçada de ar à 65°C, até peso constante, para determinação da massa seca (Figura 10). Em seguida, através dos grãos separados das vagens, foram obtidos os valores da massa total dos grãos (MTG) e massa média de 100 grãos (MMG).

3.8.4.2 Qualitativos

3.8.4.2.1 Extração e quantificação de lipídeos em grãos

Os grãos de soja foram secos e triturados em moinho tipo Wiley, obtendo-se uma farinha com partículas de 0,5 mm de diâmetro. Avaliaram-se duas subamostras de 2 g da farinha para cada repetição. As amostras foram envoltas em papel de filtro de peso conhecido bem dobrado nas extremidades em forma de um cartucho. Após a pesagem, o cartucho foi inserido em balões volumétricos devidamente pesados para a

extração de lipídeos de acordo com a metodologia de Soxhlet (1975). Na extração dos lipídeos (óleo), utilizou-se o destilador de Soxhlet e éter de petróleo como solvente (Figura 11), com refluxo de 6 horas, segundo o procedimento descrito nas Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1985). Após a evaporação total do extrator hexano retiraram-se os cartuchos e os balões volumétricos foram mantidos em estufa a 65°C por 12 horas e logo em seguida pesados em balança analítica. A determinação do teor total de lipídeo presente nas amostras foi realizada através da diferença entre os pesos iniciais e finais dos balões volumétricos, utilizando-se a seguinte equação:

$$[(\text{PFB} - \text{PIB}) / \text{PA}] \times 100 \quad \text{Eq.1}$$

Onde: PFB = peso final do balão; PIB = peso inicial do balão; PA = peso da amostra.

Figura 10 – Vagens após secagem na estufa para obtenção da massa seca (A); Grãos obtidos através da separação das vagens para as análises quantitativas e qualitativas de produção (B)

3.8.4.2.2 Extração e quantificação de proteínas em grãos

Para a extração de PTS em sementes de soja, pesou-se 500 mg da farinha proveniente da trituração dos grãos, sendo em seguida transferidos para tubos eppendorf com capacidade de 2 mL e adicionado 1,5 mL de tampão TRIS-HCl 0,1M (pH

6,8) para a extração, sendo que os procedimentos para a análise foram os mesmos utilizados para as folhas (item 3.8.3.2). Os resultados obtidos foram expressos em mg PTS g⁻¹ de semente.

Figura 11 – Extração de lipídeos em sementes de soja através da metodologia de Soxhlet. (A) Visão geral do extrator das amostras; (B) Balões contendo os cartuchos com as amostras e (C) Detalhe dos lipídeos (coloração amarelada) no fundo do balão

3.9 Estatística experimental

Foram verificados os pressupostos da ANOVA por meio da família de transformação ótima de Box-Cox (1964), e o teste de Hartley (1950) foi aplicado para

verificar a homogeneidade de variâncias. O delineamento utilizado foi em blocos ao acaso, com 12 tratamentos e 4 repetições, totalizando 48 parcelas experimentais.

Uma vez verificados os pressupostos da ANOVA, aplicou-se o teste F ($p < 0,05$) para caracterizar possíveis diferenças entre os tratamentos. Para análise estatística, cada produto foi investigado isoladamente, divididos em 2 experimentos, aplicando-se o teste de Duncan ($p < 0,05$) para as variáveis que apresentaram essa diferença. Os dados foram analisados utilizando-se o programa computacional (SAS/STAT, 2003).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Experimento A

4.1.1 Altura e conteúdo de clorofila

A Tabela 3 mostra o efeito significativo para maior altura das plantas de soja aos 7 dias após a aplicação (DAA) através do tratamento A+AS em relação aos tratamentos C, A e AS. Notamos, portanto que a adubação do solo foi melhor aproveitada em presença do Ajifol no crescimento das plantas de soja. Rezende et al. (2005) em estudo com aplicação foliar de fósforo em diversos estádios de desenvolvimento da soja não obtiveram nenhuma variação estatística em relação a altura. Nessa amostragem, porém, notamos, que no crescimento das plantas de soja a adubação do solo foi melhor aproveitada em presença do Ajifol. Possivelmente, os aminoácidos exerceram uma ação quelatizante nos nutrientes P e K presentes na formulação do produto, possibilitando assim suas absorções pelas plantas de soja. Esses dois elementos são de extrema importância para o crescimento e desenvolvimento vegetal, atuando na armazenagem de energia, integridade estrutural, cofator de enzimas, dentre outros (TAIZ; ZEIGER, 2004; EPSTEIN; BLOOM, 2006). Na mesma época, o tratamento AS+G também aumentou a altura das plantas de soja quando comparado aos tratamentos C e A. Através desses resultados, evidenciamos que o glifosato também aumentou a altura das plantas de soja quando acompanhado da adubação.

Ao analisarmos essa mesma Tabela 3, constatamos que o tratamento A+AS apresentou aumento significativo na altura das plantas em comparação aos tratamentos C e A. Observamos que os fatos anteriores se repetiram aos 15 DAA. Na última amostragem (30 DAA), os tratamentos A+AS, A+AS+G e AS+G apresentaram aumentos significativos em relação ao tratamento A. Verificamos que a adubação do solo sempre melhorou o efeito de Ajifol e de glifosato no crescimento em altura da soja em relação ao controle, indicando a necessidade da presença dos nutrientes para a eficiência dos mesmos. Albuquerque et al. (2008) verificaram o crescimento significativo de mudas de videira em relação ao controle através de diversas pulverizações foliares

de produtos contendo aminoácidos livres na sua formulação. Por sua vez, Luz et al. (2010) através de aplicações semanais de aminoácidos na cultura de alface, obtiveram aumento significativo na altura das mudas em relação ao controle.

Tabela 3 - Valores médios da altura (cm) de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	7 DAA	15 DAA	30 DAA
Controle (C)	39,78bc	50,75bc	76,25abc
Ajifol (A)	38,78bc	49,54bc	69,75bc
Adubação solo (AS)	40,97bc	54,25abc	80,66ab
Ajifol + Adubação solo (A+AS)	48,60a	60,66a	83,45a
Glifosato (G)	38,65bc	48,20c	67,54c
Ajifol + Glifosato (A+G)	37,38c	47,91c	74,66abc
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	47,85a	58,41a	85,20a
Ajifol + Adubação solo + Glifosato (A+AS+G)	44,00ab	55,50ab	83,45a
F (trat.)	4,68**	3,34**	2,37**
C.V. exp. (%)	8,39	8,37	9,75

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%).

² C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

Na Tabela 4, verificamos que aos 15 DAA os conteúdos de clorofilas foram incrementados significativamente através do tratamento A+AS em relação aos tratamentos C e A, bem como quando se comparou o tratamento AS ao tratamento C. A adubação do solo aumentou o teor de clorofilas quando associada ao Ajifol, sendo que a adubação incrementou o nível de clorofilas em relação ao controle. Avaliando os resultados comprovamos a importância da adubação no solo com P e K, bem como a ação dos aminoácidos na produção de clorofilas no tecido foliar de soja. Fica evidente que os tratamentos onde tiveram a adubação com P e K, bem como associado com o Ajifol ou glifosato, tiveram a melhores respostas na produção de clorofilas. De acordo com POTAFÓS (1994), esses elementos aumentam a eficiência e o número de nódulos presentes nas raízes de soja, e conseqüentemente, a fixação simbiótica de nitrogênio pelas plantas de soja. Visto que o nitrogênio constitui a estrutura de anel tipo porfirina que circunda o átomo de magnésio no centro da molécula de clorofila (TAIZ; ZEIGER, 2004). Na mesma medição, os tratamentos A+AS+G e AS+G apresentaram aumentos significativos em relação ao tratamento C. Dessa forma, verificamos também que a

adubação associada ao glifosato e ao glifosato e Ajifol aumentou o conteúdo de clorofilas em relação ao controle.

Observando a mesma Tabela 4, aos 30 DAA, o tratamento A+AS mostrou-se significativamente superior quando comparado aos tratamentos C e A. O tratamento AS também apresentou o mesmo efeito quando comparado aos mesmos tratamentos. Além de ocorrer também um acréscimo significativo ao comparar-se o tratamento AS+G aos tratamentos C e A. O produto Ajifol com adubação e somente a adubação do solo aumentaram o teor de clorofilas aos 30 DAA, sendo que a adubação também incrementou os níveis de clorofilas quando associada ao glifosato. Esse fato pode estar relacionado com o aminoácido ácido glutâmico, presente em maior concentração na formulação do produto Ajifol, que desempenha papel fundamental na síntese de clorofila e outros aminoácidos (TAIZ; ZEIGER, 2004; HELDT, 2005). Também nessa amostragem fica evidente o decréscimo na concentração de clorofilas em função dos tratamentos com glifosato. Segundo Dick e Quinn (1995), o produto principal da degradação do glifosato, ácido aminometilfosfônico (AMPA), está diretamente relacionado com decréscimo na produção de clorofilas.

Tabela 4 - Valores médios do teor de clorofilas (SPAD) em plantas de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	7 DAA	15 DAA	30 DAA
Controle (C)	33,99	35,73d	36,02bc
Ajifol (A)	35,55	38,05bcd	36,57bc
Adubação solo (AS)	33,08	40,17ab	41,18a
Ajifol + Adubação solo (A+AS)	35,31	40,73a	40,47a
Glifosato (G)	31,70	35,98d	35,38c
Ajifol + Glifosato (A+G)	35,01	37,48cd	35,79c
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	33,40	39,19abc	41,00a
Ajifol + Adubação solo + Glifosato (A+AS+G)	35,55	39,88abc	38,70ab
F (trat.)	1,83 ^{ns}	4,33 ^{**}	5,58 ^{**}
C.V. exp. (%)	8,31	4,06	4,88

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (** significativo ao nível de 1%, ns = não significativo).

² C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

Nenhum dos trabalhos relacionados com a aplicação foliar de aminoácidos avaliaram qualquer parâmetro relacionado ao teor de clorofila nas folhas de soja, bem como em nenhuma outra espécie. Entretanto, em trabalhos paralelos, com a utilização

de cultivares distintos, Araújo et al. (2005), obtiveram médias de valores SPAD da ordem de 36,70. Resultados esses inferiores aos encontrados nesse experimento, que se apresentaram em torno de 40,47 a 41,18.

4.1.2 Área foliar, biomassa fresca e seca

Na variável área foliar, o tratamento AS foi significativamente superior aos tratamentos C, A e A+AS, aumentando a área foliar das plantas de soja. Além do tratamento AS+G também apresentar um aumento quando comparado aos tratamentos C e A (Tabela 5). Através desses resultados observamos que a adubação no solo mostrou-se mais eficiente para incrementar a área foliar da soja, assim como associada ao glifosato. Analisando-se a mesma tabela, verificamos que o tratamento AS incrementou a massa fresca e seca das folhas em comparação aos tratamentos C, A e A+AS+G. Por sua vez, o tratamento AS+G revelou-se significativamente superior em relação aos tratamentos C, A e A+AS+G para a massa fresca de folhas, bem como quando comparado aos tratamentos C e A para a massa seca de folhas. Novamente, a adubação mostrou-se relevante ao aumentar a biomassa foliar, sendo que foi eficiente também quando associada ao glifosato. Essas respostas significativas nos incrementos foliares possivelmente estão associadas com as funções dos componentes fosfatados no fornecimento de energia, bem como com o envolvimento no equilíbrio iônico para o crescimento foliar, através dos nutrientes presentes na adubação (TAIZ; ZEIGER, 2004).

O valor da massa fresca e seca dos caules receberam um incremento significativo através do tratamento AS em relação aos tratamentos C e A. Já o tratamento AS+G aumentou significativamente quando comparado aos tratamentos C, A e A+AS+G a massa fresca dos caules. Na massa seca dos caules, o mesmo tratamento apresentou aumento significativo em relação aos tratamentos C e A. Através desses resultados observamos que a adubação aumentou a biomassa dos caules, assim como quando associada ao glifosato. Assim, através desses resultados analisados na Tabela 5 evidenciamos a importância dos nutrientes aplicados na

adubação para a alocação de fotoassimilados na parte aérea das plantas de soja, conforme discutido anteriormente.

Tabela 5 - Valores médios da área foliar (AF), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca de caules (MFC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de caules (MSC) no início do florescimento das plantas de soja em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	AF	MFF	MSF	MFC	MSC
	cm ²	g planta ⁻¹			
Controle (C)	4.120bcd	51,83bcd	10,40cd	89,07c	18,15bc
Ajifol (A)	3.752cd	51,63cd	9,57cd	84,04c	16,25c
Adubação solo (AS)	8.576a	115,09a	22,12a	183,36ab	33,85a
Ajifol + Adubação solo (A+AS)	5.064bc	72,87bc	14,28cd	134,20bc	27,58ab
Glifosato (G)	3.970bcd	54,35bcd	12,54cd	98,07c	20,17bc
Ajifol + Glifosato (A+G)	3.149c	46,73d	8,87d	74,28c	14,66c
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	8.138a	111,40a	21,57ab	211,73a	40,75a
Ajifol + Adubação solo + Glifosato (A+AS+G)	5.620ab	76,57b	15,76bc	137,77bc	27,72ab
F (trat.)	5,38**	7,18**	5,66**	5,13**	4,98**
C.V. exp. (%)	3,30	5,75	28,64	32,36	9,18

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%).

² Os dados das variáveis AF, MFF, MSC foram transformados em log₁₀

³ C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

4.1.3 Nutrição mineral

4.1.3.1 Macronutrientes

Analisando a Tabela 6, verificamos que ocorreu um acréscimo significativo nas concentrações foliares de nitrogênio (N) quando comparamos o tratamento AS aos tratamentos C, A e A+AS. Já o tratamento AS+G também aumentou significativamente em relação ao tratamento C. Através desses resultados, constatamos que a adubação no solo incrementou o nível de nitrogênio nas folhas, assim como quando associada ao glifosato. Esse fato está relacionado com o aumento no teor de clorofilas nas folhas, observado anteriormente. Os aminoácidos contidos na formulação do produto podem ter exercido influência nessa absorção, uma vez que o ácido glutâmico, presente em maior concentração na formulação do produto, está diretamente envolvido na absorção e metabolismo do nitrogênio pelas plantas (TAIZ; ZEIGER, 2004; HELDT, 2005).

Na mesma Tabela 6, observamos que os teores foliares de fósforo (P) mostraram um aumento significativo através dos tratamentos AS+G e A+AS+G em relação aos demais tratamentos. Assim, a adubação e glifosato, além da adubação, glifosato e Ajifol associados, incrementaram os níveis foliares de fósforo. Portanto, glifosato e Ajifol promoveram a absorção do nutriente.

Tabela 6 - Valores médios de macronutrientes acumulados no tecido foliar de soja no início do florescimento das plantas em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Controle (C)	38,3c	3,9b	17,6d	18,8	5,3	2,9
Ajifol (A)	40,0bc	3,8b	23,7a	18,2	5,2	2,8
Adubação solo (AS)	44,3a	4,3b	19,8bcd	17,3	4,8	2,9
Ajifol + Adubação solo (A+AS)	38,2c	4,5b	21,6ab	18,4	4,9	2,6
Glifosato (G)	41,0abc	4,6b	20,8bc	19,0	5,2	2,8
Ajifol + Glifosato (A+G)	40,2bc	4,5b	21,0bc	19,3	5,2	2,6
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	43,8ab	6,0a	21,5ab	18,6	5,1	3,0
Ajifol + Adubação solo + Glifosato (A+AS+G)	41,6abc	5,8a	18,8cd	18,3	5,1	3,1
F (trat.)	2,90**	3,85**	4,41**	1,03 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,12 ^{ns}
C.V. exp. (%)	5,89	15,80	7,52	11,09	10,35	11,89

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%, ns = não significativo).

² C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental.

O nutriente potássio (K) teve seus níveis foliares incrementados significativamente através dos tratamentos A, A+AS, G, A+G e AS+G em relação ao tratamento C. Quando comparamos o tratamento A com os tratamentos AS, G, A+G e A+AS+G verificamos também um aumento significativo nas concentrações de fósforo. Dessa forma, o Ajifol, Ajifol e adubação, glifosato, Ajifol e glifosato, além de adubação e glifosato, aumentaram os teores de potássio nas folhas de soja em relação ao controle. Sendo que a adubação, glifosato, Ajifol e glifosato, bem como Ajifol, adubação e glifosato associados reduziram os níveis de potássio foliar em relação a Ajifol. Através desses resultados, evidenciamos que os aminoácidos presentes na formulação do produto Ajifol exerceram uma ação quelatizante para a absorção do K nas folhas, visto que esse nutriente está presente na formulação do produto. Para os demais macronutrientes analisados não ocorreram diferenças significativas em relação ao controle. Kikuti e Tanaka (2005), em experimento com aplicação foliar de aminoácidos

na cultura de feijão, não obtiveram nenhuma diferença estatística em relação ao controle para o acúmulo de macronutrientes nas folhas.

4.1.3.2 Micronutrientes

Na Tabela 7 verificamos um acréscimo significativo nas concentrações de boro (B) presente nas folhas através do tratamento A+G em relação aos tratamentos C, A, G, A+AS, AS e A+AS+G. Já o tratamento AS+G aumentou significativamente o teor de boro quando comparado ao tratamento A+AS. Assim, o Ajifol associado ao glifosato incrementou B foliar sendo que a adubação e glifosato incrementaram o teor de boro com relação à Ajifol e adubação. Segundo POTAFÓS (1994), esse alto teor de B encontrado nas folhas é proveniente da liberação de matéria orgânica através da ação de microrganismos no solo, sendo que o alto acúmulo desse nutriente nas folhas é exigido para o crescimento do tubo polínico nesse estágio de florescimento da planta.

Tabela 7 - Valores médios de micronutrientes acumulados no tecido foliar de soja ao início do florescimento das plantas em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Controle (C)	114,5bc	13,7ab	272,2	190,7	106,5ab
Ajifol (A)	115,7bc	11,5b	287,5	190,0	118,2a
Adubação solo (AS)	106,7bc	12,7b	263,0	167,5	75,5c
Ajifol + Adubação solo (A+AS)	99,5c	13,7ab	281,5	185,5	94,5abc
Glifosato (G)	110,2bc	17,7a	273,2	167,2	103,7abc
Ajifol + Glifosato (A+G)	137,5a	16,0ab	301,5	214,2	107,0ab
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	123,5ab	15,0ab	287,2	169,5	76,7c
Ajifol + Adubação solo + Glifosato (A+AS+G)	104,5bc	14,2ab	270,0	218,5	85,5bc
F (trat.)	2,85**	1,93*	0,53 ^{ns}	0,79 ^{ns}	3,14**
C.V. exp. (%)	10,59	19,91	2,89	24,99	18,78

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (*significativo ao nível de 5%, ** significativo ao nível de 1%, ns = não significativo).

² Os dados da variável Fe foram transformados em log₁₀

³ C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

Analisando a mesma Tabela 7, observamos que o cobre (Cu) acumulado nas folhas apresentou um aumento significativo através do tratamento G em relação ao tratamento A. Assim, o glifosato mostrou aumento no teor de Cu foliar em relação ao Ajifol. Já para o nutriente zinco (Zn), os tratamentos AS e AS+G apresentaram uma

diminuição significativa em relação aos tratamentos C, A e A+G. Constatamos através desses resultados que a adubação no solo e adubação associada ao glifosato reduziram os níveis de Zn foliar nas plantas de soja. Para os demais micronutrientes analisados (Fe e Mg) não ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos, corroborando os resultados obtidos por Kikuti e Tanaka (2005) em experimento com adubação foliar de aminoácidos, onde não obtiveram nenhuma resposta significativa para esses micronutrientes na cultura de feijão.

4.1.4 Metabolismo

Evidenciamos através da Figura 12 uma influência significativa no aumento da atividade da nitrato redutase (NR) ao início do florescimento das plantas de soja através dos tratamentos A, AS e A+AS+G em relação ao tratamento C. Dessa forma, a adubação no solo, Ajifol com adubação e glifosato, além de Ajifol, incrementaram a atividade da NR em relação ao controle, com médias de 5,33, 5,90, 6,16 e 2,55 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g MF}$, respectivamente. Provavelmente esses resultados estão relacionados com a maior disponibilidade de aminoácidos acumulados nas folhas através da aplicação do produto. Segundo Imsande e Touraine (1994), durante a fase reprodutiva ocorre uma alta demanda por aminoácidos em função da remobilização do N foliar para o desenvolvimento das inflorescências, aumentando, desta forma, a exportação de aminoácidos das folhas. Consequentemente, o floema fica enriquecido com aminoácidos, inibindo assim a absorção e redução do nitrato nas raízes. Com isso o tratamento com Ajifol, o qual possui aminoácidos na sua formulação, possibilitou o fornecimento necessário de N para as folhas de soja no início do florescimento das plantas, aumentando a atividade da NR em relação ao controle.

Figura 12 – Influência dos tratamentos na atividade da nitrato redutase (NR) ao início do florescimento das plantas. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$). Dados transformados em $\log_{10}$

Analisando a Figura 13 verificamos que o tratamento A+AS, AS, AS+ e A apresentaram um incremento na atividade da glutamina sintetase (GS) em relação ao tratamento C. Através desses resultados evidenciamos que a adubação no solo, Ajifol e adubação, adubação e glifosato, bem como Ajifol, incrementaram a atividade da GS comparativamente ao controle, com médias de 38,12, 36,59, 37,54, 36,81 e 25,46 $\mu\text{mol de } \lambda\text{-GH h}^{-1} \text{ g MF}$, respectivamente. Nascimento e Mosquim (2004) em experimento com aplicação glutamina e asparagina em plântulas de soja cultivadas *in vitro*, obtiveram resultados da atividade da GS na faixa de 156 e 108 $\mu\text{mol de } \lambda\text{-GH h}^{-1} \text{ g MF}$, sem obterem diferenças significativas. Dessa maneira, constatamos a eficiência na absorção dos aminoácidos presentes na formulação do produto, realizada pelas folhas das plantas onde ocorreu a aplicação de Ajifol. A constatação no aumento da NR, nesse mesmo tratamento, possivelmente teve influência na atividade da GS. Pois, segundo Farnden e Robertson (1980), a atividade da GS ocorre através da utilização do glutamato, ATP e amônia (produzido através da atividade da NR) para produção de glutamina, ADP e Pi.

Figura 13 – Influência dos tratamentos na atividade da glutamina sintetase (GS) ao início do florescimento das plantas. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$)

A concentração de proteínas totais solúveis (PTS) presente nas folhas de soja ao início do florescimento das plantas mostrou um aumento significativo através de todos os tratamentos em comparação ao controle, com exceção do tratamento com A+G (Figura 14). Esses resultados reforçam a hipótese sobre a ação dos aminoácidos, presentes no produto Ajifol, no metabolismo das plantas, onde a produção de proteínas está diretamente ligada às concentrações de aminoácidos disponíveis no tecido foliar (TAIZ: ZEIGER, 2004).

Figura 14 – Efeito dos tratamentos na concentração de proteínas totais solúveis (PTS) presentes nas folhas ao início do florescimento. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$)

4.1.5 Produção

Analisando os resultados quantitativos de produção na Tabela 8, verificamos que o tratamento AS apresentou aumento significativo para o número de vagens em relação aos tratamentos A e A+G. Assim, evidenciamos que a adubação aumentou o número de vagens de soja com relação à Ajifol e Ajifol com glifosato. Já para a variável massa fresca das vagens o tratamento AS aumentou significativamente quando comparado ao tratamento A. Notamos, portanto, que a adubação no solo incrementou a massa fresca de vagens quando comparado ao tratamento com Ajifol. Por sua vez, esse aumento ocorreu para a massa seca de vagens em relação aos tratamentos A e A+G. Através dos resultados obtidos observamos que a adubação no solo aumentou a massa seca de vagens de soja com relação à Ajifol, além de Ajifol com glifosato. Teixeira et al. (2001) também não tiveram nenhuma resposta significativa para

o parâmetro de produtividade através da aplicação de aminoácidos na cultura de soja 'Monsoy 8001'.

Tabela 8 - Valores médios de número de vagens (NV), massa fresca de vagens (MFV), massa seca de vagens (MSV), massa média de 100 grãos (MMG) e massa total de grãos (MTG) nas plantas de soja em função do uso de Ajifol, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	NV	MFV	MSV	MMG	MTG
				g	
Controle (C)	207,2ab	125,2ab	76,4ab	13,3bc	117,4ab
Ajifol (A)	166,5b	88,5b	63,3b	13,9abc	95,0b
Adubação solo (AS)	279,5a	155,5a	108,8a	15,7a	173,2a
Ajifol + Adubação solo (A+AS)	210,6ab	106,0ab	77,6ab	13,6bc	116,9ab
Glifosato (G)	218,7ab	111,3ab	82,7ab	14,8ab	125,0ab
Ajifol + Glifosato (A+G)	167,0b	111,4ab	59,7b	13,6bc	89,6b
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	255,8ab	134,2ab	82,4ab	12,3c	138,7ab
Ajifol + Adubação solo + Glifosato (A+AS+G)	245,6ab	131,6ab	85,4ab	13,9abc	140,7ab
F (trat.)	1,75*	2,01*	1,24*	3,32**	1,80*
C.V. exp. (%)	27,62	7,59	31,97	3,05	30,91

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%, *significativo ao nível de 5%)

² Os dados das variáveis MFV e MMG foram transformados em $\log_{10}$

³ C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

A massa média de 100 grãos apresentou um aumento significativo através do tratamento AS em relação aos tratamentos C, A+AS, A+G e AS+G. Além do tratamento AS também apresentar aumento significativo sobre a massa total de grãos quando comparado aos tratamentos A e A+G. Através desses resultados verificamos que a massa média de 100 grãos mostrou um aumento através da adubação em relação ao controle; sendo que a adubação no solo aumentou a massa total de grãos quando comparada ao Ajifol. Esses valores mostraram-se abaixo da média para esse cultivar, onde a melhor média entre os tratamentos foi de 15,7 g. Segundo a EMBRAPA, o valor médio da massa de 100 grãos para o cultivar situa-se na faixa de 16,0 g. Entretanto, em trabalhos recentes com diversos cultivares transgênicos de soja, Correia e Durigan (2007) encontraram valores de 14,39 g por 100 grãos, enquanto que Camozzato et al. (2009) obtiveram resultados de 13,09 g por 100 grãos.

Ao avaliar os parâmetros qualitativos de produção através da Figura 15, constatamos que os teores de lipídeos armazenados nas sementes de soja sofreram um decréscimo significativo através dos tratamentos A, A+AS, G e A+G em relação aos

tratamentos C e A+AS+G. Os resultados obtidos constataam que Ajifol, Ajifol e adubação, glifosato, bem como Ajifol associado ao glifosato reduziram os teores de lipídeos nas sementes de soja quando comparados ao controle e Ajifol com adubação e glifosato associados. Essa tendência significativa na diminuição é evidenciada quando comparamos os tratamentos A, A+AS e A+G aos tratamentos AS e AS+G. Além de verificarmos também essa redução através do tratamento A+AS em relação ao tratamento G. Dessa forma, observamos que Ajifol, Ajifol com adubação, bem como Ajifol e glifosato associados também diminuiram os níveis de lipídeos com relação a adubação no solo e adubação no solo associada ao glifosato; sendo que Ajifol com adubação reduziu os lipídeos acumulados nas sementes comparativamente ao glifosato. Os resultados obtidos nesse experimento encontram-se abaixo da média estipulada pela EMBRAPA (2008), que apontam média na concentração de lipídeos nos grãos de soja em torno de 23,3% para esse cultivar. Entretanto, os teores de proteínas e lipídeos nas sementes de soja podem variar de acordo com as condições climáticas, localização geográfica, tipos de solos e práticas agronômicas (PÍPOLO, 2002).

Figura 15 – Efeito dos tratamentos nas concentrações de lipídeos armazenados nas sementes de soja. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$)

Ao analisarmos a Figura 16, notamos que as concentrações de proteínas totais solúveis (PTS) presentes nas sementes de soja sofreram uma diminuição significativa em função do tratamento AS+G em relação aos tratamentos AS, A+AS e G. Deste modo, a adubação no solo, Ajifol com adubação e glifosato associados reduziram os teores de PTS nas sementes quando comparados a adubação e glifosato em conjunto. Já o tratamento A+G ainda aumentou significativamente as concentrações de PTS em relação aos tratamentos A+AS e G. Através desses resultados observamos que a utilização de Ajifol com glifosato incrementou os níveis de PTS quando comparados a Ajifol e adubação associados, como também em relação ao glifosato, com valores de 47,43, 36,56 e 34,20 % de PTS g⁻¹ de sementes, respectivamente. Assim, constatamos que a utilização do Ajifol em conjunto com o glifosato influenciou positivamente no aumento das concentrações de proteínas nas sementes, visto que a média para esse cultivar segundo a EMBRAPA, está em torno de 40%. Souza et al. (2009), em experimento com adubação foliar obteve uma média de 35,59% nos teores de proteínas para o cultivar BRS 206.

Figura 16 – Efeito dos tratamentos nas concentrações de proteínas totais solúveis (PTS) presentes nas sementes de soja. Controle (C); Ajifol (A); Adubação solo (AS); Ajifol+ Adubação solo (A+AS); Glifosato (G); Ajifol+Glifosato (A+G); Adubação solo (AS+G) e Ajifol+Adubação solo+Glifosato (A+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$)

4.2 Experimento B

4.2.1 Altura e conteúdo de clorofila

Analisando a Tabela 9, observamos um incremento significativo na altura das plantas aos 7 DAA através dos tratamentos F+AS+G e AS+G em relação aos tratamentos G, F e C; além do tratamento F+AS promover aumento da altura quando comparado ao tratamento G. Dessa forma, evidenciamos que o Flororgan com adubação e glifosato associados, bem como a adubação e o glifosato em conjunto apresentaram aumento na altura das plantas de soja quando comparados ao glifosato, Flororgan e o controle; bem como o Flororgan com adubação teve respostas positivas no aumento da altura em relação ao glifosato.

Tabela 9 - Valores médios da altura (cm) de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	7 DAA	15 DAA	30 DAA
Controle (C)	39,78bc	50,75bc	76,25abc
Flororgan (F)	40,29bc	47,75c	68,37bc
Adubação solo (AS)	40,97abc	54,25abc	80,66ab
Flororgan + Adubação solo (F+AS)	46,67ab	56,50abc	74,66abc
Glifosato (G)	38,65c	48,20c	67,54c
Flororgan + Glifosato (F+G)	41,14abc	51,08bc	74,83abc
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	47,85a	58,41ab	85,20a
Flororgan + Adubação solo + Glifosato (F+AS+G)	48,23a	60,79a	82,41a
F (trat.)	3,33**	2,90**	2,49**
C.V. exp. (%)	10,46	10,35	10,15

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%).

² C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

Na mesma Tabela 9, aos 15 DAA, o tratamento F+AS+G apresentou um acréscimo significativo na altura das plantas em relação aos tratamentos C, F, G e F+G. Na mesma amostragem, o tratamento AS+G mostrou também aumento a altura, quando comparado aos tratamentos F e G. Através desses resultados, constatamos que o Flororgan com adubação e glifosato associados promoveram melhores respostas no crescimento das plantas de soja em relação ao Flororgan, glifosato, Flororgan e glifosato, bem como ao controle.

Na última amostragem (30 DAA), os tratamentos F+AS+G e AS+G apresentaram um aumento significativo em relação aos tratamentos F e G. Por sua vez, o tratamento AS aumentou a altura das plantas quando comparado ao tratamento G (Tabela 9). Em função dos resultados obtidos verificamos que Flororgan em conjunto com adubação e glifosato promoveu as melhores respostas para um aumento de altura nas plantas de soja durante as três amostragens realizadas. Já Albuquerque et al. (2008), verificaram o crescimento significativo de mudas de videira em relação ao controle através de diversas pulverizações foliares com produtos contendo aminoácidos livres na sua formulação. Por sua vez, Luz et al. (2010) através de aplicações semanais de aminoácidos na cultura de alface obtiveram aumento significativo na altura das mudas em relação ao controle.

Para a variável do conteúdo de clorofilas presentes nas folhas de soja aos 15 DAA, os tratamentos F+AS+G e AS promoveram incrementos significativos nas concentrações de clorofilas em relação aos tratamentos C, F e G. Além do tratamento AS+G também apresentar acréscimo significativo quando comparado aos tratamentos C e G na mesma amostragem (Tabela 10). Assim, constatamos que o Flororgan com adubação e glifosato associados e também a adubação no solo causaram aumentos no conteúdo de clorofilas quando comparados ao controle, Flororgan e ao glifosato. Essa diminuição na produção de clorofilas em função do glifosato é confirmada por Dick e Quinn (1995), que constataram que o produto principal da degradação do glifosato, ácido aminometilfosfônico (AMPA) era o agente direto deste decréscimo. Porém, notamos que através da aplicação conjunta com o Flororgan, através do tratamento F+G, não ocorreu esse decréscimo significativo em relação aos demais tratamentos. Possivelmente, o produto Flororgan apresentou um efeito anti-estressante nesse caso, através da ação dos aminoácidos no metabolismo das plantas. Castro et al. (2006) evidenciaram o mesmo comportamento anti-estresse de aminoácidos aplicados via foliar em feijoeiro que receberam pulverização com glifosato.

Na última amostragem (30 DAA), próxima ao florescimento das plantas, verificamos que os tratamentos F+AS+G, AS+G, AS e F+AS apresentaram um acréscimo significativo no conteúdo de clorofilas em relação aos tratamentos C, F, G e F+G (Tabela 10). Dessa forma, notamos que Flororgan com adubação e glifosato

associados, adubação em conjunto com glifosato, adubação no solo, bem como Flororgan com adubação, causaram aumentos no conteúdo de clorofilas quando comparados aos tratamentos Flororgan, glifosato, adubação associada ao glifosato e controle.

Tabela 10 - Valores médios do teor de clorofilas (SPAD) em plantas de soja 'BRS 255 RR' em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida, em três amostragens no tempo. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	7 DAA	15 DAA	30 DAA
Controle (C)	33,99	35,73c	36,02b
Flororgan (F)	34,35	36,87bc	36,01b
Adubação solo (AS)	33,08	40,17a	41,18a
Flororgan + Adubação solo (F+AS)	34,93	38,12abc	40,35a
Glifosato (G)	31,70	35,98c	35,38b
Flororgan + Glifosato (F+G)	35,40	38,13abc	36,90b
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	33,40	39,19ab	41,00a
Flororgan + Adubação solo + Glifosato (F+AS+G)	35,38	40,26a	40,94a
F (trat.)	1,77 ^{ns}	3,93 ^{**}	7,27 ^{**}
C.V. exp. (%)	9,27	3,97	4,30

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%, ns = não significativo).

² C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

4.2.2 Área foliar, biomassa fresca e seca

Analizando a Tabela 11, constatamos que os tratamentos AS e AS+G foram significativamente eficazes no aumento da área foliar de soja em relação aos demais tratamentos, exceto ao tratamento F+AS+G. Com esses resultados evidenciamos que a adubação, bem como sua associação com o glifosato promoveram melhores respostas no incremento da área foliar das plantas de soja. Já para a variável massa fresca e seca das folhas a mesma tendência no aumento se repetiu; além do tratamento F+AS+G apresentar um acréscimo significativo para a massa fresca e seca de folhas quando comparado ao tratamento F. Através desses resultados podemos concluir que o Flororgan em conjunto com a adubação e ao glifosato apresentou melhores respostas no crescimento e desenvolvimento da parte aérea de soja quando comparado somente a aplicação de Flororgan. Possivelmente, a associação dos aminoácidos com os nutrientes disponibilizados com a adubação tiveram uma forte influência no crescimento e produção de biomassa foliar através de suas ações diretas no metabolismo vegetal (TAIZ; ZEIGER, 2004).

Na mesma Tabela 10, observamos que para a variável de massa fresca e seca dos caules têm-se a mesma tendência no aumento significativo dos resultados obtidos anteriormente, através dos tratamentos AS, AS+G e F+AS+G apresentando-se com as melhores médias. Com base nesses resultados sugerimos que a alocação de fotoassimilados na parte aérea das plantas de soja receberam uma grande influência através da adubação, adubação e glifosato, bem como Flororgan em conjunto com adubação e glifosato, conforme discutido anteriormente.

Tabela 11 - Valores médios da área foliar (AF), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca de caules (MFC), massa seca de folhas (MSF) e massa seca de caules (MSC) no início do florescimento das plantas de soja em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	AF	MFF	MSF	MFC	MSC
	cm ²	g planta ⁻¹			
Controle (C)	4.120b	51,83bc	10,40bc	89,07b	18,15bcd
Flororgan (F)	3.476b	33,69c	6,33c	55,09c	12,12d
Adubação solo (AS)	8.576a	115,09a	22,12a	183,36a	33,85ab
Flororgan + Adubação solo (F+AS)	4.060b	55,55b	9,56bc	89,82b	16,21cd
Glifosato (G)	3.970b	54,35b	12,54ab	98,07b	20,17bcd
Flororgan + Glifosato (F+G)	4.281b	58,41b	10,80bc	99,74b	19,60bcd
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	8.138a	111,40a	21,57a	211,73a	40,75a
Flororgan + Adubação solo + Glifosato (F+AS+G)	6.074ab	80,15ab	14,96ab	146,91ab	26,53abc
F (trat.)	2,69**	4,87**	3,33**	5,01**	2,92**
C.V. exp. (%)	4,26	7,45	15,57	6,84	12,65

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%).

² Os dados de todas as variáveis foram transformados em log₁₀

³ C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

4.2.3 Nutrição mineral

4.2.3.1 Macronutrientes

Constatamos através da Tabela 12 que os tratamentos AS e AS+G apresentaram um acréscimo significativo nos teores de nitrogênio (N) acumulado nas folhas em relação aos tratamentos F+G, F+AS, F e C. Além do tratamento F+AS+G também aumentar significativamente a concentração de N foliar quando comparado ao tratamento F+AS. Dessa forma, evidenciamos que o Flororgan em conjunto com

adubação e glifosato mostrou-se mais eficiente para o acúmulo de N foliar nas plantas de soja quando comparado ao Flororgan com adubação.

Ao analisarmos a mesma Tabela 12, verificamos que para o nutriente fósforo (P) esse aumento significativo nas concentrações foliares ocorreu através do tratamento AS+G em relação aos demais tratamentos, exceto ao tratamento F+AS. Já o tratamento F apresentou uma diminuição significativa nos níveis de P foliar quando comparado aos tratamentos AS, F+AS, G e F+AS+G. Esses resultados comprovam que a aplicação de Flororgan com a adubação atingiu os melhores resultados entre os tratamentos com o produto para a absorção de fósforo.

Tabela 12 - Valores médios de macronutrientes acumulados no tecido foliar de soja no início do florescimento das plantas em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Controle (C)	38,3bc	3,9cd	17,6c	18,8	5,3	2,9a
Flororgan (F)	38,6bc	2,9d	22,7ab	16,8	4,7	2,2b
Adubação solo (AS)	44,3a	4,3bc	19,8bc	17,3	4,8	2,9a
Flororgan + Adubação solo (F+AS)	37,8c	5,2ab	25,5a	19,2	5,2	2,9a
Glifosato (G)	41,0abc	4,6bc	20,8b	19,0	5,2	2,8a
Flororgan + Glifosato (F+G)	38,6bc	3,6cd	24,8a	16,9	4,9	2,6ab
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	43,8a	6,0a	21,5b	18,5	5,1	3,0a
Flororgan + Adubação solo + Glifosato (F+AS+G)	41,6ab	4,7bc	22,6ab	18,1	4,7	2,9a
F (trat.)	5,09**	5,64**	4,90**	0,56 ^{ns}	1,11 ^{ns}	2,10*
C.V. exp. (%)	5,34	16,68	9,25	13,28	8,98	11,76

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%, *significativo ao nível de 5%, ns = não significativo).

² C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

Para os níveis de potássio (K) presente nas folhas, os tratamentos F, F+AS, G, F+G, AS+G e F+AS+G apresentaram aumento em relação ao tratamento C. Além dos tratamentos F+AS e F+G incrementarem significativamente os níveis de K foliar quando comparados aos tratamentos AS, G e AS+G. Através desses resultados, evidenciamos que o Flororgan em conjunto com adubação ou glifosato, tiveram respostas positivas na absorção e acúmulo do K nas folhas de soja em relação ao glifosato, adubação e adubação associada ao glifosato. Por sua vez, as concentrações foliares de enxofre (S) sofreram uma diminuição significativa através do tratamento F em relação aos demais tratamentos, exceto com relação ao tratamento F+G. Assim, verificamos que o Flororgan influenciou negativamente a absorção e acúmulo de S foliar

nas plantas de soja. Para os demais macronutrientes analisados (Ca e Mg) não ocorreram diferenças significativas em função dos tratamentos, corroborando os resultados encontrados por Kikuti e Tanaka (2005) para a cultura de feijão.

4.2.3.2 Micronutrientes

Os teores do micronutriente boro (B) presentes nas folhas de soja mostraram um acréscimo significativo através do tratamento F+AS em relação ao tratamento F+AS+G (Tabela 13). Assim, comprovamos que a aplicação do produto Flororgan em associação com a adubação apresentou melhores respostas no acúmulo de B nas folhas ao início do florescimento das plantas de soja quando comparado ao Flororgan associado a adubação e ao glifosato. Fato esse de extrema importância para essa cultura, visto que esse micronutriente é fundamental para crescimento do tubo polínico no estágio fenológico em que se encontravam as plantas (POTAFÓS, 1994).

Tabela 13 - Valores médios de micronutrientes acumulados no tecido foliar de soja no início do florescimento das plantas em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	mg kg ⁻¹				
Controle (C)	114,5ab	13,7b	272,2b	190,7	106,5a
Flororgan (F)	110,0ab	15,7ab	288,5b	200,0	91,5ab
Adubação solo (AS)	106,7ab	12,7bc	263,0b	167,5	75,5bc
Flororgan + Adubação solo (F+AS)	127,5a	15,2ab	412,2a	183,7	80,2bc
Glifosato (G)	110,2ab	17,7a	273,2b	167,2	103,7a
Flororgan + Glifosato (F+G)	118,5ab	12,5bc	311,7b	168,0	103,2a
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	123,5ab	15,0ab	287,2b	169,5	76,7bc
Flororgan + Adubação solo + Glifosato (F+AS+G)	101,2b	9,2c	299,2b	174,7	71,2c
F (trat.)	1,92*	4,39**	2,62**	0,72 ^{ns}	4,54**
C.V. exp. (%)	11,74	16,25	3,03	22,82	13,79

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (**significativo ao nível de 1%, *significativo ao nível de 5%, ns = não significativo).

² Os dados da variável Fe foram transformados em log₁₀

³ C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

Na mesma Tabela 13, observamos uma diminuição significativa nos teores de cobre (Cu) foliar em função do tratamento F+AS+G quando comparado aos tratamentos C, F, F+AS, G e AS+G; além do tratamento G aumentar significativamente

os níveis de Cu foliar em relação aos tratamentos C, AS e F+G. Observamos assim, que o produto Flororgan teve melhor aproveitamento para os níveis de Cu foliar quando utilizado em conjunto com a adubação. Já para o nutriente ferro (Fe) acumulado nas folhas de soja, o tratamento F+AS exerceu um aumento significativo em relação aos demais tratamentos. Dessa forma, constatamos que o Flororgan em conjunto com a adubação apresenta uma influência positiva no acúmulo de ferro pelas folhas de soja.

Analisando a mesma tabela ainda evidenciamos o incremento significativo nas concentrações de zinco (Zn) no tecido foliar das plantas de soja através dos tratamentos G e F+G em comparação aos tratamentos AS, F+AS, AS+G e F+AS+G; além do tratamento F+AS+G apresentar uma diminuição significativa para o Zn foliar quando comparado ao tratamento F. A aplicação de Flororgan em conjunto com adubação e glifosato mostrou-se mais eficiente no acúmulo de zinco pelas folhas de soja em relação aos demais tratamentos com o produto. O micronutriente manganês (Mn) não sofreu diferenças significativas através dos tratamentos, de acordo com a Tabela 13.

4.2.4 Metabolismo

A atividade da enzima nitrato redutase (NR) sofreu influência através da aplicação do produto Flororgan em relação ao controle, com valores de 7,84 e 2,55 $\mu\text{mol de NO}_2^- \text{ h}^{-1} \text{ g MF}$, respectivamente (Figura 17). Também verificamos um aumento na atividade da NR quando comparamos o tratamento F+G e F+AS aos tratamentos G, AS+G e F+AS+G. Através dos resultados obtidos, constatamos que possivelmente as concentrações de molibdênio (Mo) e cobalto (Co) presentes na formulação do produto, foram absorvidas pelas folhas das plantas de soja através da ação quelatizante dos aminoácidos. Esses elementos apresentam-se como constituintes da estrutura dessa enzima, conhecido como complexo molibdênio, local onde o nitrato sofre redução (HELDT, 2005).

Figura 17 – Efeito dos tratamentos na atividade da nitrato redutase (NR) no início do florescimento das plantas de soja. Controle (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$). Dados transformados em $\log_{10}$

De acordo com a Figura 18, a atividade da enzima glutamina sintetase (GS) no início do florescimento das plantas de soja não sofreu influência significativa em função dos tratamentos aplicados. Possivelmente, os aminoácidos presentes na formulação do produto Flororgan não tiveram nenhuma interação com essa enzima. Por sua vez, os níveis de proteínas totais solúveis (PTS), presentes no tecido foliar das plantas de soja, receberam um incremento significativo através da utilização de todos os tratamentos com a presença de Flororgan, AS e AS+G em relação ao controle (Figura 19). Esses resultados parecem demonstrar a absorção dos aminoácidos através das folhas de soja, pois a maior concentração dos mesmos no metabolismo da planta influencia diretamente a produção de proteínas nas células vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2004; HELDT, 2005).

Figura 18 – Efeito dos tratamentos na atividade da glutamina sintetase (GS) no início do florescimento das plantas de soja. Controle (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,05$)

4.2.5 Produção

Nos parâmetros quantitativos de produção analisados através da Tabela 14, verificamos que os tratamentos F e F+G apresentaram uma diminuição significativa no número de vagens em relação aos tratamentos AS, G, AS+G e F+AS+G. Com esses resultados observamos que o Flororgan em conjunto com adubação e glifosato apresentou os melhores resultados dentre os tratamentos com a utilização do produto para essa variável. Na massa fresca de vagens o tratamento F+G manteve a mesma tendência de diminuição em relação aos tratamentos C, AS, G, AS+G e F+AS+G; além de o tratamento AS apresentar um acréscimo significativo para essa variável quando comparado ao tratamento F.

Os tratamentos F e F+AS apresentaram médias significativamente menores para a massa seca de vagens em relação ao tratamento AS. Porém o tratamento F+G diminuiu significativamente a massa seca de vagens quando comparado aos tratamentos F+AS+G, AS+G, AS e G (Tabela 14). Através desses

resultados corroboramos a hipótese anterior, onde o tratamento com o Flororgan associado à adubação e ao glifosato apresentou os melhores resultados dentre os tratamentos com a utilização do produto para a massa seca de vagens.

Figura 19 – Efeito dos tratamentos na concentração de proteínas totais solúveis (PTS) presentes nas folhas ao início do florescimento. Controle (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$)

Para a variável de massa média de 100 grãos tivemos um decréscimo significativo em função do tratamento AS+G quando comparado aos tratamentos AS, G e F+AS+G. Por sua vez, o tratamento AS também apresentou acréscimo significativo para a mesma variável em relação aos tratamentos F+AS e F+G (Tabela 14). Constatamos portanto, que o produto Flororgan teve uma eficácia maior para o incremento da massa média de 100 grãos através da sua utilização em conjunto com adubação e glifosato na cultura de soja, com média de 14,5 g. Segundo a EMBRAPA, o valor médio da massa de 100 grãos para o cultivar situa-se na faixa de 16,0 g. Entretanto, em experimentos com diversos cultivares transgênicos de soja, Correia e Durigan (2007) encontraram valores de 14,3 g por 100 grãos, Camozzato et al. (2009), por sua vez, obtiveram resultados de 13,0 g por 100 grãos.

Verificamos que os tratamentos AS, G, AS+G e F+AS+G tiveram aumento significativo em relação ao tratamento F+G para a massa total de grãos; além do tratamento AS apresentar um acréscimo significativo quando comparado ao tratamento F+AS para a mesma variável. Novamente, observamos que o tratamento onde o Flororgan foi utilizado em conjunto à adubação e ao glifosato tivemos os melhores resultados dentre os tratamentos com a utilização do produto para essa variável. Dessa forma, consideramos que essa tendência apresentou-se em todas as variáveis quantitativas de produção analisadas (Tabela 14).

Tabela 14 - Valores médios de número de vagens (NV), massa fresca de vagens (MFV), massa seca de vagens (MSV), massa média de 100 grãos (MMG) e massa total de grãos (MTG) nas plantas de soja em função do uso de Flororgan, adubação e herbicida. Piracicaba, SP. 2010

Tratamentos	NV	MFV	MSV	MMG	MTG
	----- g -----				
Controle (C)	207,2ab	125,2a	76,4abc	13,3bc	117,4abc
Flororgan (F)	124,6b	78,7bc	49,1bc	13,1bc	66,6c
Adubação solo (AS)	279,5a	155,5a	108,8a	15,7a	173,1a
Flororgan + Adubação solo (F+AS)	198,3ab	95,3abc	66,1bc	13,2bc	109,2bc
Glifosato (G)	218,7a	111,3ab	82,7ab	14,8ab	124,9ab
Flororgan + Glifosato (F+G)	124,7b	57,7c	39,9c	13,5bc	68,6c
Adubação solo + Glifosato (AS+G)	255,8a	134,2ab	82,4ab	12,3c	138,7ab
Flororgan + Adubação solo + Glifosato (F+AS+G)	216,6a	119,4ab	86,5ab	14,5ab	128,0ab
F (trat.)	2,90**	3,34**	2,57**	2,08*	3,23**
C.V. exp. (%)	26,96	7,32	31,59	3,58	29,86

¹ Médias seguidas pelas mesmas letras nas colunas não diferem significativamente pelo teste de Duncan (*significativo ao nível de 5%, ** significativo ao nível de 1%).

² Os dados das variáveis MFV e MMG foram transformados em $\log_{10}$

³ C.V. exp. (%): coeficiente de variação experimental

Na Figura 20 observamos um decréscimo significativo nas concentrações de lipídeos armazenados nas sementes de soja em função do tratamento com Flororgan em relação aos demais tratamentos, exceto para o tratamento F+AS, que apresentou a menor média dentre todos os tratamentos, com 13,11 % de lipídeos g^{-1} de sementes. Entretanto, a utilização do produto Flororgan teve melhor influência nas concentrações de lipídeos contidos nos grãos de soja quando associado ao glifosato, através do tratamento F+G, com média de 16,98 % de lipídeos g^{-1} de sementes, apresentando um aumento significativo quando comparado aos tratamentos F e F+AS.

Todos os resultados obtidos nessa variável situaram-se abaixo da média estipulada para esse cultivar, que segundo a EMBRAPA encontra-se em torno de 23% para o teor de óleo por grama de sementes. Por outro lado, Pípelo (2002), em estudos que avaliaram o efeito da temperatura nas concentrações de proteína e óleo de cinco cultivares de soja, em dez ambientes, durante dois anos, concluiu que a distribuição de chuvas durante o período de enchimento de grãos e a disponibilidade de nitrogênio para as sementes durante o mesmo período, são peças-chaves para o melhor entendimento das variações dos teores de proteína e óleo nas sementes de soja.

Figura 20 – Efeito dos tratamentos nas concentrações de lipídeos armazenados nas sementes de soja. Controle (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$)

A Figura 21 mostra efeito significativo no acúmulo de proteínas totais solúveis (PTS) em grãos de soja através do tratamento AS+G em relação aos demais tratamentos, exceto para o tratamento controle. Assim, a adubação em conjunto com o glifosato teve grande influência no acúmulo de proteínas nas sementes de soja, atingindo uma média de 50,30 % de PTS g⁻¹ de sementes, resultado esse bem acima

da média estimada para esse cultivar, que segundo a EMBRAPA situa-se na faixa de 39,90 %. Os resultados obtidos com a aplicação do Flororgan mostraram-se abaixo da média estimada para o cultivar. Possivelmente os aminoácidos absorvidos com a aplicação do Flororgan tiveram outros destinos no metabolismo da planta. Pois de acordo com Figura 19, os níveis de proteínas presentes no tecido foliar no início do florescimento da planta encontravam-se elevados em função dos tratamentos com a aplicação de Flororgan.

Figura 21 – Efeito dos tratamentos nas concentrações de proteínas totais solúveis (PTS) presentes nas sementes de soja. Controle (C); Flororgan (F); Adubação solo (AS); Flororgan+ Adubação solo (F+AS); Glifosato (G); Flororgan+Glifosato (F+G); Adubação solo (AS+G) e Flororgan+Adubação solo+Glifosato (F+AS+G). Barras de erro padrão $\pm$. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem significativamente pelo teste de Duncan ($p < 0,01$)

5 CONCLUSÕES

- A utilização da adubação foliar com produtos a base de aminoácidos livres mostrou-se eficaz nos aspectos metabólicos para a cultura de soja, através da influência na atividade da nitrato redutase (NR) e glutamina sintetase (GS), bem como no aumento da concentração de proteínas totais solúveis (PTS) no tecido foliar.
- Os aminoácidos presentes nas formulações desses fertilizantes foliares exerceram uma ação quelatizante na absorção de macro e micronutrientes.
- Os produtos a base de aminoácidos livres na formulação comprovaram uma ação anti-estressante nas plantas de soja em função da aplicação de glifosato.
- Os parâmetros qualitativos de produção foram influenciados através da aplicação foliar de aminoácidos, tanto negativamente para o acúmulo de lipídeos como positivamente para o armazenamento de proteínas nas sementes de soja.

REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, T.C.S.; DANTAS, B.F. Efeito da aplicação foliar de aminoácidos na qualidade de uvas Benitaka. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 9.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 7.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 4., 2002, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: SBCS; SBM, 2002. p. 44-46.
- 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, 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, 2006.
- ASHMEAD, H.D.; ASHMEAD, H.H.; MILLER, G.W.; HSU, H.H. **Foliar feeding of plants with amino acid chelates**. New Jersey: Noyes Publications, 1986. 369 p.
- BARROS, H.B.; SILVA, A.A.; SEDIYAMA, T. Manejo de plantas daninhas. In: SEDIYAMA, T. (Ed.). **Tecnologias de produção e usos de soja**. Londrina: Editora Mecenas, 2009. p. 101-117.
- BARROS JÚNIOR, M.C.; TEIXEIRA, L.H.B.; LUZ, P.H.C.; VITTI, G.C. Aplicação de manganês, zinco e aminoácidos via foliar na cultura de milho. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 9., 2001, São Paulo. **Agropecuária, Ciências Biológicas: resumos...** São Paulo: USP, 2001. 1 CD-ROM.
- BEEVERS, L.; HAGEMAN, R.H. Nitrate and nitrite reduction. In: STUMPF, P.K.; CONN, E.E. (Ed.). **The biochemistry of plants**. New York: Academic Press, 1980. p. 115-168.
- BEN, R.J. **Adubação foliar na cultura da soja**. Passo Fundo: EMBRAPA, CNPT, 1983. 13 p.
- BENZING, D.H.; HENDERSON, K.; KESSEL, B.; SULAK, J. The absorptive capacities of bromeliad trichomes. **American Journal of Botany**, New York, v. 63, p. 1009-1014, 1976.
- BINGHAM, F.T. Boron. In: PAGE, A.L. (Ed.). **Methods of soil analysis: chemical and microbiological properties**. Madison: American Society of Agronomy, 1982. p. 431-447. (Series Agronomy, 9).
- BOARETTO, A.E.; ROSOLEM, C.A. (Coord.). **Adubação foliar**. Campinas: Fundação Cargill, 1989. v. 2, 669 p.

BOX, G.E.P.; COX, D.R. An analysis of transformations (with discussion). **Journal of the Royal Statistical Society**, Paris, 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. 12, p. 248-254, 1976.

BRANDÃO, R.P. Importância dos aminoácidos na agricultura sustentável. **Informativo Bio Soja**, São Joaquim da Barra, n. 5, p. 6-8, 2007.

BRETELER, H.; SMITH, A.L. Effect of ammonium nutrition on uptake and metabolism of nitrate in wheat. **Netherlands Journal of Agricultural Science**, Wageningen, v. 22, p. 73-78, 1974.

BUSSE, M.D.; RATCLIFF, A.W.; SHESTAK, C.J.; POWERS, R.F. Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 33, p. 1777-1789, 2001.

CÂMARA, G.M.S. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja [Glycine max (L.) Merrill]**. 1991. 266 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1991.

CAMARGO, P.N.; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1990. 256 p.

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.

CANTOS NETO, B.L.; LUZ, P.H.; VITTI, G.C.; MARCHIORI, L.F.S. Aplicação de macronutrientes e aminoácidos na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 9., 2001, São Paulo. **Agropecuária, Ciências Biológicas**: resumos... São Paulo: USP, 2001. 1 CD-ROM.

CASTRO, P.R.C. **Princípios da adubação foliar**. Jaboticabal: FUNEP, 2009. 42 p.

CASTRO, P.R.C.; GONÇALVES, M.R.; CATO, S.C. Efeitos da aplicação foliar de Codamin e de Brassinolide em feijoeiro. **Revista da Agricultura**, Piracicaba. v. 81, n. 1, p. 24-30, 2006.

CASTRO, P.R.C.; SERCILOTO, C.M.; PEREIRA, M.A.; RODRIGUES, J.L.M. **Utilização de fosfitos e potencial de aplicação dos aminoácidos na agricultura tropical**. Piracicaba: ESALQ, DIBD, 2008. 71 p. (Série Produtor Rural, 38).

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.

DICK, R.E.; QUINN, J.P. Glyphosate-degrading isolates from environmental samples: occurrence and pathways of degradation. **Applied Microbiology Biotechnology**, Amsterdam, v. 43, n. 3, p. 545-550, 1995.

DORNHOFF, G.M.; SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. **Crop Science**, Madison, v. 10, p. 42-45, 1970.

ELLIOTT, W.H. Isolation of glutamine synthetase and glutamotransferase from green peas. **Journal of Biological Chemistry**, Bethesda, v. 201, p. 661-672, 1953.

EMBRAPA SOJA. **Tecnologias de produção de soja – região central do Brasil - 2009 e 2010**. Londrina: Embrapa Soja; Embrapa Cerrados; Embrapa Agropecuária Oeste, 2008. 206 p.

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

FARNDEN, K.J.F.; ROBERTSON, J.G. Methods for studying enzymes involved in metabolism related to nitrogenase. In: BERGENSEN, F.J. (Ed.). **Methods for evaluating biological nitrogen fixation**. New York: John Wiley, 1980. p. 265-314.

FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stage of soybean development**. Ames: Iowa Agricultural Experimental Station, 1977. 81 p.

FOLTRAN, A.M.T.; OKAJIMA, M.S.U., TABUCHI, C.S.; LIMA, J.F.; MIYAMOTO, M.N.; GLORIA, R.M.; MINAMI, K. Efeito da aplicação foliar de aminoácidos sobre a produção de alface, batata, cenoura e berinjela. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA ESALQ, 5., 1990, Piracicaba. **Resumos...** Piracicaba: ESALQ, 1990. 1 CD-ROM.

FRANKE, W. Mechanisms of foliar penetration of solutions. **Annual Review of Plant Physiology**. Boca Raton, v. 18, p. 281-300, 1967.

FRANZ, J.E. Discovery, development and chemistry of glyphosate. In: GROSSBARD, E.; ATKINSON, D. (Ed.). **The herbicide glyphosate**. London: Betterworths, 1985. p. 3-17.

GARCIA, R.L.; HANWAY, J.S. **Foliar fertilization of soybeans during the seed-filling period**. Madison: American Society of Agronomy, 1976. 653 p.

GAZZIERO, D.L.P. **Manejo de plantas daninhas em áreas cultivadas com soja geneticamente modificada para resistência ao glyphosate**. 2003. 143 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2003.

GRUYS, K.J.; SIKORSKI, J.A. Inhibitors of tryptophan, phenylalanine and tyrosine biosynthesis as herbicides. In: SINGH, B.K (Ed.). **Plant amino acids: biochemistry and biotechnology**. New York: Marcel Dekker, 1999. p. 357-384.

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

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

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, 2001.

HSU, H.H. The absorption and distribution of Metalosates from foliar fertilization. In: ASHMEAD, H.D.; ASHMEAD, H.H.; MILLER, G.W.; HSU, .H.H. (Ed.). **Foliar feeding of plants with amino acid chelates**. Park Ridge: Noyes Publications, 1986. p. 45-61.

IMSANDE, J.; TOURAINE, B.N. Demand and regulation of nitrate uptake. **Plant Physiology**, Lancaster, v. 105, p. 3-7, 1994.

JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New Jersey: Prentice Hall, 1958. 498 p.

JOHNSON, C.M.; ULRICH, A. Analytical methods for use in plants analyses. **Analytical Chemistry**, Los Angeles, v. 766, p. 32-33, 1959.

KIKUTI, H.; TANAKA, R.T. Produtividade e qualidade de sementes de feijão em função da aplicação de aminoácidos e nutrientes. In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 8., 2005, Goiânia. **Anais...** Santo Antonio de Goiás: EMBRAPA, 2005. v. 2, p. 1062-1065.

LANCIEN, M.; GADAL, P.; HODGES, M. Enzyme redundancy and the importance of 2-oxoglutarate in higher plant ammonium assimilation. **Plant Physiology**, Rockville, v. 123, p. 817-824, 2000.

LEA, P.J.; IRELAND, R.J. Nitrogen metabolism in higher plants. In: SINGH, B.K. (Ed.). **Plant amino acids: biochemistry and biotechnology**. New York: Marcel Dekker, 1999. p. 1-47.

LEAL-COSTA, M.V.; ARAGÃO, F.J.L.; REINERT, F.; TAVARES, E.S. Anatomia foliar de plantas transgênicas e não transgênicas de *Glycine max* (L.) Merrill (Fabaceae). **Revista Biociências**, Taubaté, v. 14, n. 1, p. 23-31, 2008.

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.

LUZ, J.M.Q.; OLIVEIRA, G.; QUEIROZ, A.A.; CARREON, R. Aplicação foliar de fertilizantes organominerais em cultura de alface. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 373-377, 2010.

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.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 8 p.

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

MIYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. 1062 p.

MOUCO, M.A.C.; LIMA FILHO, J.M.P. Efeito da aplicação de aminoácidos na mangueira (*Mangifera indica* L.) na região semi-árida brasileira. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO INTEGRADA DE FRUTAS, 7., 2004, Petrolina. **Anais...** Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2004. p. 75-77.

NELSON, C.D.; GORHAM, P.R. Translocation of ¹⁴C-labeled amino acids and amides in the stems of young soybean plants. **Canadian Journal of Botany**, Ottawa, v. 37, p. 431-438, 1959.

NYMAN, L.P.; DAVIES, J.P.; O'DELL, S.L.; ARDITTI, J.; STEPHENS, G.C.; BENZIG, D.H. Active uptake of amino acids by leaves of an epiphytic vascular plant, *Tillandsia paucifolia* (Bromeliaceae). **Plant Physiology**, Bethesda, v. 83, n. 3, p. 681-684, 1987.

OLIVEIRA, I.C.; CORUZZI, G.M. Carbon and amino acids reciprocally modulate the expression of glutamine synthetase in Arabidopsis. **Plant Physiology**, Rockville, v. 121, n. 1, p. 301-309, 1999.

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 Ciência do Solo**, Campinas, v. 28, n. 3, p. 439-445, 2004.

PEOPLES, M.B.; HERRIDGE, D.F.; LADHA, J.K. Biological nitrogen fixation: an efficient source of nitrogen for sustainable agricultural production? **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 174, p. 3-28, 1995.

PÍPOLO, A.E. **Influência da temperatura sobre as concentrações de proteína e óleo em sementes de soja (*Glycine max* (L.) Merrill)**. 2002. 128 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

PORTER, J.R.; LAWLOR, D.W. **Plant growth**: interactions with nutrition and environment. Cambridge; New York: Ed. Cambridge University Press, 1991. 284 p.

POTAFÓS. **Seja o doutor da sua soja**. Piracicaba, 1994. 6 p. (Informações Agronômicas, 66).

QUINN, J.P. Interactions of the herbicides glyphosate and glufosinate (phosphinothricin) with the soil microflora. In: ALTMAN, J. (Ed.). **Pesticides interactions in crop production**: beneficial and deleterious effects. Boca Raton: CRC Press, 1993. p. 245-265.

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.

REIS, R.A.; MINGUINI, R. Produtividade da cultura de algodão em função da pulverização foliar com aminoácidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 5., 2005, Salvador. Disponível em: <[http:// www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodão/](http://www.cnpa.embrapa.br/produtos/algodão/)>. Acesso em: 17 ago. 2009.

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 Ciência do Solo**, Campinas, v. 27, n. 5, p. 875-884, 2003.

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, 2004.

SANTOS, A.; FLORES, M. Effects of glyphosate on nitrogen fixation of free-living heterotrophic bacteria. **Letters in Applied Microbiology**, Oxford, v. 20, p. 349-352, 1995.

SEDIYAMA, T. **Tecnologia de produção e usos da soja**. Londrina: Ed. Mecnas, 2009. 319 p.

SERCILOTO, C.M.; CASTRO, P.R.C. **Interações entre diferentes substâncias aplicadas às plantas de feijoeiro e o glifosato**. Piracicaba: ESALQ, CODA, 2005. 40 p. (Relatório Técnico)

SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR, 2., 1987, Botucatu. **Anais...** Botucatu: FEPAF, 1987. 576 p.

SOLOMONSON, L.P.; BRAKER, M.J. Assimilatory nitrate reductase: functional properties and regulation. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 41, p. 225-253, 1990.

SOUZA, L.C.F.; ZANON, G.D.; PEDROSO, F.F. ANDRADE, L.H.L. Teor de proteína e de óleo nos grãos de soja em função do tratamento de sementes e aplicação de micronutrientes. **Ciência Agrotecnológica**, Lavras, v. 33, n. 6, p. 1586-1593, 2009.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TEIXEIRA, L.H.B.; BARROS, J.R.; VITTI, G.C.; LUZ, P.H.C. Efeito da aplicação de produtos enriquecidos com aminoácidos e de fontes de cobre na cultura de soja. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA USP, 9., 2001, São Paulo. **Agropecuária, Ciências Biológicas: resumos...** São Paulo: USP, 2001. 1 CD-ROM.

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, 2003.

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, 1996.

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, 2010.

ZABLOTOWICZ, R.M.; REDDY, K.N. Impact of glyphosate and *Bradyrhizobium japonicum* symbiosis; with glyphosate-resistant transgenic soybean: a minireview. **Journal of Environmental Quality**, London, v. 33, p. 825-831, 2004.