

NÁDJA DE MOURA PIRES

**EFEITOS DO GLYPHOSATE E DO SULFOSATE APÓS A SIMULAÇÃO DE
CHUVA EM PLANTAS DE *Brachiaria brizantha* Stapf, SUBMETIDAS AO
ESTRESSE HÍDRICO**

**EFEITOS DO GLYPHOSATE E DO SULFOSATE APÓS A SIMULAÇÃO DE
CHUVA EM PLANTAS DE *Brachiaria brizantha* Stapf,
SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO**

**Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Fitotecnia, para
obtenção do título de "Doctor Scientiae".**

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
AGOSTO DE 1998**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

P667e
1998

Pires, Nádja de Moura, 1964-

Efeitos do glyphosate e sulfosate após a simulação de chuva em plantas de *Brachiaria brizantha* Stapf, submetidas ao estresse hídrico / Nádja de Moura Pires. – Viçosa : UFV, 1998.

100p. : il.

Orientador: Francisco Affonso Ferreira

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa

1. *Brachiaria brizantha* - Estresse hídrico. 2. *Brachiaria brizantha* - Efeito de herbicidas. 3. *Brachiaria brizantha* - Chuva simulada. 4. *Brachiaria brizantha* - Testes biológicos.

I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 633.202

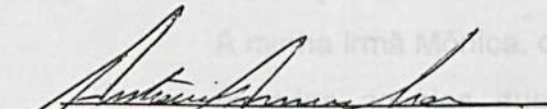
CDD 20.ed. 633.202

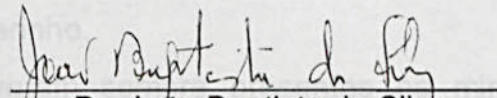
NÁDJA DE MOURA PIRES

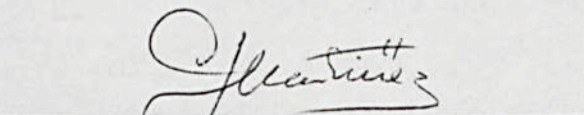
EFEITOS DO GLYPHOSATE E DO SULFOSATE APÓS A SIMULAÇÃO DE
CHUVA EM PLANTAS DE *Brachiaria brizantha* Stapf, SUBMETIDAS AO
ESTRESSE HÍDRICO

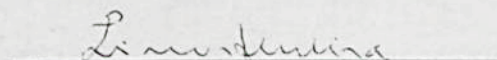
Tese apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do Curso de Fitotecnia, para
obtenção do título de "Doctor Scientiae".

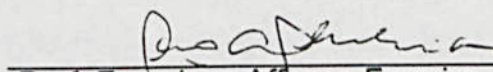
APROVADA: 30 de abril de 1998.


Prof. Antônio Américo Cardoso
(Conselheiro)


Dr. João Baptista da Silva


Prof. Carlos Alberto Martinez y Huaman


Prof. Lino Roberto Ferreira


Prof. Francisco Affonso Ferreira
(Orientador)

AGRADECIMENTO

A Deus, meu maior mestre.

A Valter, meu companheiro de todos os momentos.

A meus queridos pais, Hermes e Edimar, com muito amor e admiração.

A minha irmã Mônica, com carinho.

A todos aqueles que estiveram sempre presentes na minha caminhada.

A meu esposo Valter, por existir em minha vida.

Ao Prof. Francisco Afonso Ferreira, pela orientação, pela amizade e pelos ensinamentos, durante toda a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Antônio Albano da Silva, pelo incentivo e pelo acompanhamento na condução deste trabalho, contribuindo com valiosas críticas e sugestões.

Ao Prof. Antônio Américo Cardoso, que, com sua imensa paciência, guiou-me com segurança pelos caminhos da estatística.

Ao Prof. Lino Roberto Ferreira, pela atenção e pela amizade.

Ao Prof. Carlos Martinez, pela gentil colaboração e pelas sugestões.

Ao Dr. João Baptista da Silva, responsável pelo início de toda esta formação, pelas valiosas sugestões.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia, pelos conhecimentos transmitidos durante a minha formação acadêmica.

Aos colegas do Departamento de Fitotecnia, pelo agradável convívio, em especial a Adailson, José Mauro, Rubem, Wilson, Jure, Carlos, Marcos Bastiani, Mairon, Edalcio, Paulo Marrocos e Ellane.

Agradecimentos especiais a Luis, Mara, Domingos Sávio, Vicente Madaleno, pela dedicada colaboração e pela amizade.

A Mônica e a Shirley, pelo carinho e pelo incentivo.

A Luis Eduardo (Lico), Juliana e Rogério, pela ajuda no decorrer da pesquisa.

AGRADECIMENTO

Nenhum trabalho se faz individualmente; para seu sucesso é necessário colaboração, apoio, incentivo e amizade. Portanto, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

A Deus, por ter-me permitido alcançar mais um objetivo, conduzindo-me à realização de meus ideais profissionais e humano.

À Universidade Federal de Viçosa e ao seu Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade oferecida para a realização do Curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa de estudo.

A meus pais, exemplos de honestidade, otimismo e fé.

A meu esposo Valter, por existir em minha vida.

Ao Prof. Francisco Affonso Ferreira, pela orientação, pela amizade e pelos ensinamentos, durante toda a realização desta pesquisa.

Ao Prof. Antônio Alberto da Silva, pelo incentivo e pelo acompanhamento na condução deste trabalho, contribuindo com valiosas críticas e sugestões.

Ao Prof. Antônio Américo Cardoso, que, com sua imensa paciência, guiou-me com segurança pelos caminhos da estatística.

Ao Prof. Lino Roberto Ferreira, pela atenção e pela amizade.

Ao Prof. Carlos Martinez, pela gentil colaboração e pelas sugetões.

Ao Dr. João Baptista da Silva, responsável pelo início de toda esta formação, pelas valiosas sugestões.

A todos os professores do Departamento de Fitotecnia, pelos conhecimentos transmitidos durante a minha formação acadêmica.

Aos colegas do Departamento de Fitotecnia, pelo agradável convívio, em especial a Adailson, José Mauro, Rubem, Wilson, June, Carlos, Marcos Bastiane, Mairon, Edalício, Paulo Marrocos e Eliane.

Agradecimentos especiais a Luís, Mara, Domigos Sávio, Vicente Madaleno, pela dedicada colaboração e pela amizade.

A Mônica e a Shirley, pelo carinho e pelo incentivo.

A Luís Eduardo (Lico), Juliana e Rogério, pela ajuda no decorrer da pesquisa.

Nenhum trabalho se faz individualmente; para seu sucesso é necessário colaboração, apoio, incentivo e amizade. Portanto, agradeço a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho.

NAOJA DE MOURA PIRES, filha de Hermes Alves Pires e Edmar de Moura Pires, nasceu em Tanhaçu-BA, em 02 de novembro de 1964.

Em julho de 1988, graduou-se no Curso de Agronomia, pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em Vitória da Conquista, BA.

Entre julho de 1988 e junho de 1990, foi bolsista de aperfeiçoamento do CNPq, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas-MG, desenvolvendo pesquisas na área de Controle de Plantas Daninhas.

Em agosto de 1990, iniciou o Curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, defendendo tese em seis de agosto de 1993. Nesse mesmo mês e ano, iniciou o Curso de Doutorado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, realizando a defesa da tese em 30 de abril de 1996.

BIOGRAFIA

EXTRA NÁDJA DE MOURA PIRES, filha de Hermes Alves Pires e Edimar de Moura Pires, nasceu em Tanhaçu-BA, em 02 de novembro de 1964.

1. INF Em julho de 1988, graduou-se no Curso de Agronomia, pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, em Vitória da Conquista, BA.

2.1 Entre julho de 1988 e junho de 1990, foi bolsista de aperfeiçoamento do CNPq, no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo - EMBRAPA/CNPMS, Sete Lagoas-MG, desenvolvendo pesquisas na área de Controle de Plantas Daninhas.

2.2 Em agosto de 1990, iniciou o Curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, defendendo tese em seis de agosto de 1993. Nesses mesmos mês e ano, iniciou o Curso de Doutorado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa, MG, realizando a defesa de tese em 30 de abril de 1998.

CRESCIMENTO EM PLANTAS DE...	15
1. INTRODUÇÃO	16
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1. Descrição das partes e condições de...	17
2.2. Descrição dos procedimentos...	18
2.3. Descrição dos procedimentos...	19
2.4. Descrição dos procedimentos...	20

2.5. Características de crescimento avaliadas	20
2.6. Análise estatística	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4. CONCLUSÃO	26
CAPÍTULO 2	
EFICIÊNCIA DO GLYPHOSATE E DO SULFOSATE, EM PLANTAS DE	
<i>Brachiaria brizantha</i> Stapf, SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO E À	
CHUVA SIMULADA	
1. INTRODUÇÃO	26
2. MATERIAL E MÉTODOS	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.1. Características físicas de <i>B. brizantha</i> submetidas em condições ótimas	
3.1.1. Umidade no solo	38
EXTRATO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Movimento de herbicidas aplicados em pós-emergência	3
2.2. Efeito do estresse hídrico	8
2.3. Efeito da chuva após a aplicação dos herbicidas	10
2.4. Características do glyphosate e sulfosate	11
2.4.1. Glyphosate	11
2.4.2. Sulfosate	13
CAPÍTULO 1	
EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE A FOTOSÍNTESE,	
CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA, CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E DE	
CRESCIMENTO EM PLANTAS DE <i>Brachiaria brizantha</i> Stapf.	
1. INTRODUÇÃO	15
2. MATERIAL E MÉTODOS	17
2.1. Obtenção das plantas e condições de crescimento	17
2.2. Características fisiológicas avaliadas	18
2.3. Características anatômicas avaliadas	19
2.4. Conteúdo relativo de água	20

2.5. Características de crescimento avaliadas.....	20
2.6. Análise estatística	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
4. CONCLUSÕES	28
CAPÍTULO 2	
EFICIÊNCIA DO GLYPHOSATE E DO SULFOSATE, EM PLANTAS DE <i>Brachiaria brizantha</i> Stapf, SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO E À CHUVA SIMULADA	
	29
1. INTRODUÇÃO	29
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
3.1. Controle de plantas de <i>B. brizantha</i> cultivadas em condições ótimas de umidade no solo	36
3.2 Controle de <i>B. brizantha</i> em condições de estresse hídrico	45
4. CONCLUSÕES	54
CAPÍTULO 3	
RESÍDUOS DE GLYPHOSATE E SULFOSATE NA ÁGUA, APÓS A SIMULAÇÃO DE CHUVA.....	
	55
1. INTRODUÇÃO	55
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	58
2.1. Determinação da curva de doses-resposta.....	58
2.2. Determinação do resíduo dos herbicidas na água.....	59
2.3. Análise estatística	60
2.4. Determinação da quantidade biologicamente ativa dos herbicidas	61
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4. CONCLUSÕES	74
RESUMO E CONCLUSÕES	75
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
APÊNDICES	89
APÊNDICE A	90
APÊNDICE B	94
APÊNDICE C	97

EXTRATO

PIRES, Nádja de Moura. D.S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 1998. **Efeitos do glyphosate e do sulfosate após a simulação de chuva em plantas de *Brachiaria brizantha* Stapf, submetidas ao estresse hídrico.** Orientador: Francisco Affonso Ferreira. Conselheiros: Antônio Alberto da Silva e Antônio Américo Cardoso.

Realizaram-se três ensaios, em casa de vegetação, na Universidade Federal de Viçosa, com os objetivos de: a) avaliar o efeito do estresse hídrico sobre as características fisiológicas, anatômicas e de crescimento das plantas de *Brachiaria brizantha*; b) avaliar a influência da chuva sobre o desempenho do glyphosate e sulfosate aplicados em plantas de *B. brizantha* cultivadas sem e sob estresse hídrico; c) verificar, através do bioensaio, a lavagem dos herbicidas pela chuva. No primeiro ensaio, selecionaram-se quatro vasos representativos de cada condição de umidade do solo, para avaliação das características. No segundo ensaio, foram testados sete intervalos de tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuva (15 e 30 mm). O ensaio foi disposto em esquema fatorial $(7 \times 2)+3$, com quatro repetições. Aos 30 dias, avaliaram-se toxicidade dos herbicidas e biomassa seca da parte aérea e, aos 45 dias, após o corte, avaliou-se a rebrota. No terceiro ensaio, empregou-se a técnica dos bioensaios, para avaliar o resíduo dos herbicidas na água coletada após a simulação de chuva (lixiviado), utilizando-se o tomateiro como planta-teste.

Fez-se a determinação da curva-padrão, pelo modelo logístico, empregando-se doses crescentes dos herbicidas, e do lixiviado. Os ensaios foram conduzidos em solução nutritiva, e aos 20 dias foram avaliados a biomassa seca da parte aérea, das raízes e total e o comprimento das raízes. Os resultados mostraram que as plantas de *B. brizantha*, sob estresse hídrico, apresentaram menor crescimento, decréscimo na taxa fotossintética e transpiratória e na condutância estomática. A simulação de chuva, logo após aplicação dos herbicidas, reduziu o controle da *B. brizantha* pelo glyphosate e sulfosate. Em plantas sem estresse hídrico, o comportamento dos herbicidas foram semelhantes, quando o intervalo entre a aplicação e a simulação de chuva de 15 mm foi de seis horas. Em intervalos menores, o sulfosate foi menos lavado que o glyphosate. Plantas sob estresse hídrico sofreram maior lavagem dos herbicidas, observando-se maior rebrota dos tratamentos. Os bioensaios detectaram os herbicidas na água, confirmando que o glyphosate e o sulfosate foram lavados das folhas de *B. brizantha*, mesmo quando a chuva ocorreu seis horas após aplicação. A planta-teste utilizada foi mais sensível ao glyphosate, sendo que a melhor característica para demonstrar o efeito dos herbicidas foi o comprimento das raízes. De maneira geral, os bioensaios demonstraram ser uma técnica viável para o estudo dos resíduos desses herbicidas na água.

ABSTRACT

PIRES, Nádja de Moura. D.S., Universidade Federal de Viçosa, August 1998.

Effects of glyphosate and of sulfosate after rainfall simulation in *Brachiaria Brizantha* Stapf submitted to hydric stress. Adviser: Francisco Affonso Ferreira. Committee members: Antônio Alberto da Silva and Antônio Américo Cardoso.

Three assays were carried out under greenhouse conditions at the Universidade Federal de Viçosa with the following objectives: a) to evaluate the effects of the hydric stress on the physiological, anatomic and growth characteristics of *Brachiaria brizantha* plants; b) to evaluate the rainfall influence on the behavior of glyphosate and sulfosate applied to *B. Brizantha* plants grown under and without hydric stress; c) to verify the herbicides washing by rainfall. In the first assay, four pots which were representative for each soil moisture condition were selected to evaluating the characteristics. In the second assay, seven time intervals between application and rainfall occurrence (15 and 30 mm) were tested. The assay was arranged on a factorial scheme (7 x 2)+3 with four replicates. At the 30th day the herbicide toxicity and the aerial part dry biomass were evaluated, while resprouting was evaluated at 45 days after plant cutting. In the third assay the bioassay technique was used to evaluate the herbicide residues in the water collected after rainfall simulation (leachate), and the tomato was used as test-plant. The pattern curve was

determined by the logistic model, and increasing doses of the herbicides and leachates were used. The assays were conducted in nutritive solution and the evaluation of the dry biomass in the aerial part and roots, the total biomass and the root length were evaluated at the 20th day. The results showed that under hydric stress conditions the *B. brizantha* plants presented less development, a decrease in the photosynthesis and transpiration rates and also in stoma conductance. Just after herbicide application the rainfall simulation diminished the glyphosate and sulfosate controls on *B. Brizantha*. In plants under no-hydric stress conditions the herbicide behavior were similar when the interval between application and rainfall simulation (15mm) was six hours. At shorter intervals the sulfosate was less washed away than glyphosate. When plants were submitted to hydric stress the herbicides were better washed away, and a greater sprouting occurred in the treated plants. In the bioassays the herbicides were detected into solution, so confirming that glyphosate and sulfosate were washed from *B. brizantha* leaves even when the rainfall occurred six hours after application. The test-plant was more sensible to glyphosate, and the root length was the best characteristic showing the herbicide effects. In general, the bioassays showed to be a viable technique for studying these herbicide residues in water.

solubilidade do produto em água, a espécie da planta daninha a ser controlada, a intensidade e a quantidade de chuva. Nesse aspecto, uma rápida absorção do produto é importante para reduzir as perdas por lavagem pela chuva.

Poucos dados de pesquisa têm sido apresentados com detalhes sobre o efeito da chuva na eficiência de herbicidas aplicados na folha. Nas condições brasileiras, principalmente, o que se tem observado é um controle diferenciado de plantas daninhas, em determinados anos, variando com a maior ou menor incidência de chuvas, falhas nas aplicações e ineficiência dos herbicidas aplicados, em determinadas regiões locais. A deficiência no controle é crítica, pois as plantas daninhas continuam competindo com a cultura, aumentando o custo e reduzindo a produção e a qualidade dos produtos.

1. INTRODUÇÃO

O uso de herbicidas no manejo integrado das plantas daninhas tem-se tornado prática cada vez mais importante na agricultura, pois, além de reduzir o custo de produção e solucionar o problema da escassez de mão-de-obra no meio rural, proporciona controle mais rápido e eficiente das plantas daninhas, comparado aos procedimentos de capina manual e mecânica (DEUBER, 1992; ZOSCHKE, 1994).

Os herbicidas podem ser aplicados diretamente sobre o solo, antes da emergência das plantas daninhas (pré-emergência ou pré-plantio incorporado), ou diretamente sobre as mesmas (pós-emergência). O uso dos herbicidas aplicados em pós-emergência vem crescendo no país, em virtude, principalmente, da rápida expansão do plantio direto.

Alguns fatores podem influenciar a deposição, a absorção, a translocação, o metabolismo e, ou, a ação dos herbicidas aplicados em pós-emergência, reduzindo sua eficiência no controle das plantas daninhas. O estresse hídrico, antes, ou a ocorrência de chuvas, após a aplicação, podem ser causas da redução da eficiência dos herbicidas aplicados às folhas.

O estresse hídrico modifica a absorção dos herbicidas pela planta, porque altera anatômica, morfológica, fisiológica e bioquimicamente a planta (TAIZ e ZEIGER, 1991).

O período crítico entre a aplicação do herbicida em pós-emergência e a ocorrência de chuva varia com o tipo de formulação, a dose empregada, a

solubilidade do produto em água, a espécie de planta daninha a ser controlada, a intensidade e a quantidade de chuva. Nesse aspecto, uma rápida absorção do produto é importante para reduzir as perdas por lavagem pela chuva.

Poucos dados de pesquisa têm sido apresentados com detalhes sobre o efeito da chuva na eficiência de herbicidas aplicados na folha. Nas condições brasileiras, principalmente, o que se tem observado é um controle diferenciado de plantas daninhas, em determinados anos, variando com a maior ou menor incidência de chuvas, falhas nas aplicações e ineficiência dos herbicidas aplicados, em decorrência de variações locais. A deficiência no controle é crítica, pois as plantas daninhas continuam competindo com a cultura, aumentando o custo e reduzindo a produção e a qualidade dos produtos. Além disso, os herbicidas lavados das folhas podem contaminar o meio ambiente, constituindo um problema, ainda a ser pesquisado. Faz-se necessário, portanto, o conhecimento do intervalo requerido entre a aplicação do herbicida e a ocorrência de chuva, para efetivo controle da planta daninha, coordenando-se o momento da aplicação com as condições locais (BRYSON, 1988).

Com base no exposto, e face à importância do problema e à carência de informações, a respeito do efeito do estresse hídrico e da chuva após a aplicação foliar de herbicidas, os objetivos do presente trabalho foram: 1) avaliar o efeito do estresse hídrico sobre as características fisiológicas, anatômicas e de crescimento das plantas de *Brachiaria brizantha*; 2) avaliar a influência da chuva simulada sobre o desempenho do glyphosate e sulfosate em plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sem estresse e sob estresse hídrico; e 3) verificar por meio da técnica do bioensaio o resíduo do glyphosate e do sulfosate na água de chuva após aplicação.

Antes de o herbicida alcançar a célula da planta, ele terá que atravessar a camada cuticular. Essa camada serve como interface entre a planta e o ambiente e possui a função primordial de proteger e prevenir a perda de água pelos tecidos da planta, além de constituir eficiente barreira à penetração de compostos estranhos e microrganismos para o interior da planta. (BUKOVAC et al., 1990; DEVINE et al., 1993).

A camada cuticular é a primeira barreira para a absorção dos herbicidas aplicados nas folhas. É uma camada não-celular, lipoidal, que recobre a parte aérea das plantas, incluindo tricomas, células-guarda e cavidade estomática. Diferenças na composição química e quantidade da cutícula são observadas entre espécies de plantas e entre elas (KLINGMAN et al., 1982).

2. REVISÃO DE LITERATURA

A cutina é a principal estrutura da camada cuticular e encontra-se delimitada, na interface cutina-parede celular, pela pectina, em contato com a membrana celular. Ela é formada por uma cadeia longa de unidades de glicose, por uma camada denominada cera epicuticular (BUKOVAC et al., 1990; DEVINE et al., 1993).

2.1. Movimento de herbicidas aplicados em pós-emergência

Atualmente, os herbicidas são parte integral da agricultura moderna, e o uso de aplicações em pós-emergência tem crescido no Brasil, principalmente em virtude do aumento da área com plantio direto e também pela descoberta de produtos altamente seletivos para diversas culturas.

Antes de apresentar sua ação fitotóxica, o herbicida deve ser absorvido via sistema apoplasto ou simplasto e alcançar o seu sítio de ação, geralmente localizado no interior de uma organela (HESS, 1985; HESS e FALK, 1990). Entretanto, ao atingir a superfície foliar, o produto aplicado pode escorrer, ser lavado, volatilizar, secar como um sedimento amorfo, cristalizar após a evaporação do solvente, ou, ainda, penetrar na cutícula e permanecer associado aos componentes lipídicos dessa camada, não sendo translocado. Uma conseqüência imediata é a redução na ação do herbicida no controle das plantas daninhas.

A absorção foliar do herbicida varia entre as espécies de plantas e os efeitos podem ser muito complexos, podendo mudar, dependendo da molécula química usada, influenciando, assim, a concentração final do herbicida no seu sítio de ação.

1876: Antes de o herbicida alcançar a célula da planta, ele terá que atravessar a camada cuticular. Essa camada serve como interface entre a planta e o ambiente e possui a função primordial de proteger e prevenir a perda de água pelos tecidos da planta, além de constituir eficiente barreira à penetração de compostos estranhos e microrganismos para o interior da planta (BUKOVAC et al., 1990; DEVINE et al., 1993).

A camada cuticular é a primeira barreira para a absorção dos herbicidas aplicados nas folhas. É uma camada não-celular, lipoidal, que recobre a parte aérea das plantas, incluindo tricomas, células-guarda e cavidade estomática. Difere na sua estrutura e composição dentre espécies de plantas e entre elas (KLINGMAN et al., 1982).

A cutina é a principal estrutura da camada cuticular e encontra-se delimitada, na interface cutina-parede celular, pela pectina, em contato com a celulose da parede celular, e na interface cutina-ambiente externo, por uma camada denominada cera epicuticular (BUKOVAC et al., 1990; DEVINE et al., 1993). Dependendo da sua composição química e quantidade, a cera epicuticular influencia a molhabilidade da folha pelo herbicida. De modo geral, é mais difícil a superfície da folha ser molhada, quando a cera epicuticular é mais rica em alcanos que em álcool (BUKOVAC, 1976).

Normalmente, a cera epicuticular é mais hidrofóbica (apolar) e a camada cuticular possui um gradiente de polaridade até a celulose, que é hidrofílica (polar), daí compostos polares terem considerável dificuldade de penetrar na cera epicuticular, mas uma vez transposta essa barreira, as fases seguintes são atravessadas mais facilmente. Em contraste, compostos apolares facilmente penetram na cera cuticular, mas têm dificuldades para transpor as camadas seguintes (KLINGMAN et al., 1982). Assim, a natureza polar dos herbicidas pode ter considerável influência na sua taxa de absorção.

Estudos com vários herbicidas mostram que a absorção desses é limitada pela quantidade que atravessa a cutícula da folha que, por sua vez, é influenciada pelas condições ambientais, onde a planta daninha se desenvolve, de modo que fatores que condicionam cutículas mais espessas como alta luminosidade, deficiência hídrica, presença de ventos e temperaturas elevadas promovem menor absorção do herbicida (HULL et al.,

1975; MUZIK, 1976; BUKOVAC, 1976; HESS, 1985; STEVENS e BAKER, 1987; TAIZ e ZEIGER, 1991; DEUBER, 1992).

Após atravessar a cutícula, o herbicida poderá mover-se por entre as células (via apoplasto) ou por dentro delas (via simplasto), logo, um entendimento dessas vias de transporte é essencial para melhor descrição do mecanismo de absorção pelas células das plantas. Características físico-químicas da molécula do herbicida e da membrana celular, além do potencial eletroquímico da membrana plasmática, controlam a absorção pela célula e subsequente acúmulo nesta (STERLING, 1994).

As duas propriedades físico-químicas mais importantes da molécula do herbicida, em termos de absorção pelas células das plantas, são a sua lipofilicidade ou polaridade, que é o balanço entre a solubilidade em lipídio e em água, medida pelo coeficiente de partição octanol/água (K_{ow}); e a constante de dissociação do composto (pK_a), uma medida da acidez, que determina a proporção relativa da molécula dissociada e não-dissociada, presente em determinado pH fisiológico (BROMILOW et al., 1990; STERLING, 1994).

Em geral, os compostos de polaridade intermediária ($\log K_{ow}$ de 1 a 3) são absorvidos mais rapidamente que os compostos mais polares e, ou, mais apolares, enquanto os compostos ácidos são absorvidos mais lentamente que os não ionizáveis, de similar $\log K_{ow}$, provavelmente em decorrência da lenta absorção de ânions (STERLING, 1994).

Quando o herbicida segue pela via simplasto, terá que atravessar a bicamada fosfolipídica da membrana plasmática, por difusão facilitada por meio de canais, sem gasto de energia e a favor de um gradiente de concentração, ou seja, por um transporte passivo, ou então passar pela membrana através de proteínas carreadoras, nesse caso com gasto de energia metabólica para mover a molécula contra um gradiente de potencial eletroquímico, caracterizando um transporte ativo (HAY, 1976; BROMILOW et al., 1990; DENIS e DELROT, 1993; BRISKIN, 1994; STERLING, 1994).

Os herbicidas absorvidos por transporte passivo, geralmente lipofílicos, podem ser separados nas classes moléculas neutras e moléculas

iónicas, de acordo com as características físico-químicas da molécula. As moléculas neutras dos herbicidas lipofílicos atravessam facilmente a bicamada fosfolipídica da membrana celular, alcançando rápido equilíbrio no gradiente de concentração entre o meio externo e o interior da célula. Estão incluídos nesse grupo os herbicidas amitrole, monuron, norflurazon, oryzalin e as triazinas. Embora o amitrole seja um composto anfótero e as triazinas bases fracas, estes estão nesse grupo por se comportarem como lipofílicos, em relação à absorção celular em pH fisiológico (STERLING, 1994).

Estudos realizados com segmentos de raízes de milho mostraram que atrazine, com $\log K_{ow}$ em torno de 2,9, foi rapidamente absorvido pelos segmentos, alcançando equilíbrio de concentração em 10 min, enquanto em hidroxiatrazine uma molécula menos lipofílica e com aproximadamente o mesmo tamanho do atrazine, mas com $\log K_{ow} = 0,8$, observa-se uma lenta absorção (STERLING, 1994). Outros estudos com partes de planta mostraram que a absorção do diclofop-metil foi 8 a 10 vezes maior que a do diclofop, uma molécula menos lipofílica (TRITTER et al., 1987).

Esses resultados sugerem que, embora a membrana plasmática não seja uma barreira para a absorção da atrazine ou diclofop-metil, é uma barreira para moléculas menos lipofílicas como a hidroxiatrazine e diclofop. Estudos têm mostrado que a absorção radicular de químicos não-ionizados é determinada pela lipofilicidade do produto e dependente da espécie de planta (BRIGGS et al., 1982).

Pesquisas adicionais demonstram que a absorção de herbicidas neutros ocorre pela simples difusão e não por um processo dependente de energia, pois a membrana não funciona como barreira ao efluxo desses herbicidas, verificando-se aumento linear na absorção com aumentos da concentração externa do produto, o que indica que a absorção não se satura com altas concentrações (PRICE e BALKE, 1982; 1983a; 1983b). Outra evidência é com relação ao coeficiente de temperatura (Q_{10}), em que estudos com amitrole, atrazine, EPTC, linuron e napropamide mostraram que o Q_{10} variou de 1,1 a 1,85, valores semelhantes aos de Q_{10} para processos físicos ou passivos, enquanto que coeficientes de dois ou mais indicariam que processos

metabólicos estariam envolvidos (SINGER e McDANIEL, 1982; BARRETT e ASHTON, 1983; LICHTNER, 1983; PRICE e BALKE, 1982).

Outros grupos de herbicidas lipofílicos apresentam moléculas iônicas, com grupo funcional sensível ao pH, podendo dissociar-se em um íon menos lipofílico. Pertencem a essa classe ácidos e bases fracas (STERLING, 1994).

O transporte ativo requer gasto de energia metabólica e envolve o movimento de moléculas através da membrana celular contra um gradiente de potencial eletroquímico além de, geralmente, requerer uma proteína carreadora, localizada na membrana celular (TAIZ e ZEIGER, 1991; BRISKIN, 1994). Exemplos de transporte ativo de herbicidas são limitados. Existem evidências para o herbicida catiônico paraquat e para os aniônicos dalapon, 2,4-D e glyphosate, os quais parecem ser transportados por um carreador que reorganiza as moléculas dos herbicidas em estruturas semelhantes a moléculas endógenas transportadas por estes carreadores (STERLING, 1994).

O glyphosate é um herbicida que pode ser transportado, tanto passivamente quanto ativamente pela membrana. Segundo STERLING (1994), a absorção do glyphosate, pelos discos foliares de *Beta vulgaris* e de *Vicia faba*, aumentou linearmente com aumentos na concentração externa, sugerindo que o glyphosate foi absorvido pela difusão passiva. A difusão passiva também foi sustentada pelo efluxo celular, e pelos valores de Q_{10} entre 1,3 e 1,4. Entretanto, vários pesquisadores acreditam que a absorção desse herbicida se dá pelo processo ativo, pois a membrana plasmática apresenta baixa permeabilidade a ânions mono e divalentes, que são as formas predominantes do glyphosate em pH fisiológico (DEVINE e HALL, 1990; BROMILOW et al., 1990).

A absorção do glyphosate por células de cenoura, batata, fumo, feijão e grama seda foi não-linear, apresentando uma fase inicial rápida, seguida por uma fase lenta e contínua (HADERLIE et al., 1977; BURTON e BALKE, 1987; BURTON e BALKE, 1988; DENIS e DELROT, 1993). BURTON e BALKE (1988) observaram que, em cultura de células de batata, a concentração interna de glyphosate era menor que a concentração externa, em pH 5,7, mesmo após 72 h, sugerindo que a bicamada lipídica é uma barreira eficiente para a difusão do glyphosate para dentro da célula. Outras características que

sugerem que a absorção do glyphosate envolve um processo ativo são o efeito de inibidores metabólicos na redução de sua absorção (BURTON e BALKE, 1987) e um valor observado do $Q_{10} = 2$ para a absorção do herbicida a 4 e 12°C (DENIS E DELROT, 1993).

Estudos sugerem que a absorção do glyphosate através da membrana plasmática envolve um carreador de fosfato, o qual reconhece o grupo fosfato da molécula do herbicida. Evidência disso é que o ácido fosfonofórmico, um inibidor do transporte de fosfato em células animais, inibiu a absorção do glyphosate por protoplastos foliares de *Vicia faba* (DENIS e DELROT, 1993). Além disso, o glyphosate inibiu a absorção de fosfato por células isoladas de feijão (BRECKE e DUKE, 1980).

Movimento a longas distâncias na planta requer a utilização dos elementos condutores xilema e floema; logo, a translocação é uma função da entrada e da retenção da molécula do herbicida nesses sistemas. Tal retenção pode ser baseada em fatores que mantêm o herbicida disponível, não estando ligado ou compartimentalizado no tecido (HESS, 1994 a). Evidências sugerem que o movimento de herbicidas via xilema, das raízes para a parte aérea, foi maior para herbicidas com $\log K_{ow} \approx 1,8$ e menor para produtos mais polares e mais lipofílicos (BRIGGS et al., 1982). Por sua vez, produtos retidos no floema são aqueles que atravessam a membrana mais lentamente e, geralmente, apresentam valores de $\log K_{ow} < 2$ (BROMILOW et al., 1990, DEVINE et al., 1993). Em geral, todo composto móvel no floema pode também ser móvel no xilema, sendo o balanço entre os dois sistemas que determina o caminho-padrão (BROMILOW et al., 1990).

2.2. Efeito do estresse hídrico

Condições ambientais, como umidade do solo, podem influenciar o desempenho dos herbicidas aplicados em pós-emergência (ANDERSON et al., 1993; XIE et al., 1996). Nesse aspecto, tem-se verificado redução na eficiência desses herbicidas, quando aplicados em plantas crescidas sob condição de

baixa umidade do solo (KIDDER e BEHRENS, 1988; REYNOLDS et al., 1988; BOYDSTON, 1990).

O efeito do estresse hídrico na planta é inicialmente caracterizado pela redução no conteúdo de água, turgor e potencial total de água, com conseqüente murcha, fechamento parcial ou total dos estômatos e decréscimo na expansão e divisão celular, diminuindo, assim, a área foliar e o crescimento geral da planta. Sob condições severas de estresse, ocorrem, de modo geral, decréscimo ou paralisação da fotossíntese, distúrbios em muitos processos metabólicos, completa paralisação do crescimento e, finalmente, morte da planta (KRAMER, 1983; ACOCK, 1987).

As plantas sob estresse desenvolvem alguns mecanismos de adaptação ou de defesa, como aumento na espessura e densidade da cutícula, aumento na pubescência e, principalmente, em gramíneas, o enrolamento das folhas, por causa da presença das células buliformes, que evitam a perda de água (DAVIS et al., 1968; MUZIK, 1976). Todos esses mecanismos reduzem a absorção do herbicida e, por conseguinte, limitam sua translocação e ação no controle das plantas tratadas.

A atividade do glyphosate em plantas estressadas é diminuída, em decorrência da redução na absorção, resultante da menor hidratação da cutícula, e do decréscimo na translocação do herbicida para as regiões meristemáticas, em razão da redução do transporte de fotoassimilados no floema, conseqüência da redução no crescimento da planta (AHMADI, et al., 1980; McWHORTER et al., 1980; KLEVORN e WYSE, 1984; WALDECKER e WYSE, 1985; DICKSON, et al., 1990). Essa redução na absorção e translocação do herbicida em plantas crescidas sob condições de estresse hídrico pode ser a explicação do ineficiente controle das plantas daninhas em determinados locais.

2.3. Efeito da chuva após a aplicação dos herbicidas

Em alguns sistemas de manejo, a chuva pode interferir na eficiência dos herbicidas. Uma chuva leve pode proporcionar reumedecimento da gota e, ou, uma redistribuição do herbicida na planta, aumentando a eficiência do produto aplicado. Entretanto, de modo geral, chuva logo após aplicação de herbicidas reduz sua toxicidade, por lavar o produto, ainda não absorvido pela superfície foliar (BRYSON, 1987; ANDERSON et al., 1993). Assim, fatores como o intervalo de tempo e a quantidade de chuva após aplicação dos herbicidas interferem na eficiência das aplicações em pós-emergência (BEHRENS e ELAKKAD, 1981; ANDERSON e ARNOLD, 1985).

CARROLL et al. (1993) observaram que a lavagem do dicamba e 3,6-DCSA foi altamente dependente da quantidade de chuva aplicada. Metade do dicamba presente nas folhas foi lavado com uma chuva inicial de 15 mm, sendo a outra metade removida com 50 mm de chuva adicional. Em contraste, 20 mm de chuva foi suficiente para remover quase todo 3,6-DCSA, presente nas folhas.

A atividade herbicida do glyphosate e sulfosate também foi afetada pela chuva. Ambos os herbicidas tiveram sua eficiência reduzida com a ocorrência de chuva após a aplicação, tendo sido o sulfosate menos afetado que o glyphosate, quando a chuva ocorreu imediatamente após a aplicação, duas e quatro horas após. Entretanto, o comportamento desses herbicidas foi semelhante, quando as chuvas ocorreram seis e oito horas após a aplicação (CONSTANTIN, 1996; MAROCHI, 1996a).

Pesquisas mostram que o glyphosate requer um período mínimo de quatro horas livre de chuvas, após a sua aplicação, para controlar eficientemente as plantas daninhas (SPRANKLE et al., 1975; BRYSON, 1987; BRYSON, 1988). Contudo, estudos complementares indicam que esse período é variável com a espécie de planta daninha a ser controlada e com a dose empregada (FIELD e BISHOP, 1988, WICKS e HANSON, 1995).

Uma maneira de se reduzirem as perdas de produtos aplicados em pós-emergência, por ação das chuvas, consiste no emprego de surfactantes

nas formulações dos herbicidas. Esses aditivos favorecem a absorção, pois promovem boa distribuição da calda, diminuem a tensão superficial das gotículas, auxiliam a penetração dos herbicidas nos estômatos e atuam solubilizando a camada de cera existente nas folhas (SPRANKLE et al., 1975; McWHORTER, 1977; RICHARD JR. e SLIFE, 1979; DEUBER, 1992; LAWRIE e CLAY, 1993; KNOCHE e BUKOVAC, 1993; REDDY e LOCKE, 1996).

O procedimento mais adequado para se avaliar o efeito da chuva sobre a eficiência dos herbicidas, aplicados em pós-emergência, consiste no emprego de compostos marcados. Todavia, a lavagem desses produtos marcados da planta podem causar problemas de contaminação da água usada na simulação da chuva (BRYSON, 1987). Daí, a técnica dos bioensaios, sem compostos marcados e com organismos vivos (planta-teste ou bioindicador), ser o procedimento mais freqüentemente utilizado para avaliar os efeitos da chuva na lavagem dos herbicidas (HOROWITZ, 1976; SANTELMANN, 1977; STREIBIG, 1988). Outra maneira de se avaliar o efeito da chuva sobre a eficiência de herbicidas é por meio da observação visual (% de controle), utilizando-se uma escala de notas (BRYSON, 1987).

Essa quantificação da perda de herbicidas foliares, por ação das chuvas, e a determinação do intervalo de tempo necessário entre a aplicação e a ocorrência de chuva, é um aspecto essencial na otimização do manejo das plantas daninhas, como forma de reduzir custos adicionais com novas aplicações e evitar a contaminação ambiental.

2.4. Características do glyphosate e sulfosate

2.4.1. Glyphosate

O glyphosate (N-(fosfonometil)glicina) foi introduzido no mercado em 1971. É sistêmico, não-seletivo, altamente solúvel em água e seu mecanismo de ação baseia-se na interrupção da rota do ácido shikímico, responsável pela

produção dos aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano, que são essenciais para a síntese de proteínas e divisão celular nas regiões meristemáticas da planta (COLE et al., 1983; FOLEY et al., 1983; HESS, 1994b).

É um herbicida extensivamente usado na agricultura e também em áreas industriais, para o controle de várias espécies de plantas daninhas anuais e perenes (GELMINI, 1988; RODRIGUES e ALMEIDA, 1995).

Na maioria das plantas, o glyphosate é rapidamente translocado das folhas tratadas para os drenos metabólicos, especialmente tecidos meristemáticos e de armazenagem (BROMILOW et al., 1990), sendo, por isso, excelente herbicida para o controle de plantas daninhas perenes. Outra vantagem do glyphosate é que ele apresenta baixa toxicidade à vida aquática e aos mamíferos, considerando que esses aminoácidos não são sintetizados por esses organismos, sendo, ainda, um produto rapidamente inativado no solo (SPRANKLE et al., 1975; RODRIGUES e ALMEIDA, 1995).

A atividade do glyphosate é muito reduzida, logo que entra em contato com o solo, em virtude da forte adsorção e, também, da rápida degradação pelos microrganismos. A atividade microbiana é a principal responsável pela decomposição do produto no solo, chegando a metabolizar 90% da molécula original em 90 dias (RODRIGUES e ALMEIDA, 1995).

Com relação à sua absorção pelas plantas, estudos com *Agropyron repens* mostraram que, aproximadamente, 67% do ^{14}C -glyphosate aplicado foi absorvido até 120 h após a aplicação, e que este não aumentou no interior da planta, após três dias da aplicação. Entretanto, sua translocação para os rizomas continuou até sete dias após a aplicação, provavelmente em consequência da lenta penetração pelo tecido foliar e da demora em carregar o floema (DEVINE e BANDEEN, 1983). Estudos complementares mostraram que um período mínimo de oito horas foi necessário para que uma quantidade biologicamente significativa de glyphosate fosse absorvida por *Agropyron repens*, tendo sido a absorção contínua durante um período de exposição de 32 h (TROUTMAN et al., 1981).

Fatores ambientais influenciam a absorção e translocação do glyphosate em várias espécies de plantas daninhas (DEVINE e BANDEEN,

1983; KNOCHE e BUKOVAC, 1993). Estudos mostram que a absorção é maior, sob condições de adequada umidade do solo, alta umidade relativa (70%) e temperatura moderada (LAURIDSON e CLAY, 1983; MARSHALL et al., 1987; DICKSON et al., 1990). Nesse sentido, plantas de *Convolvulus arvensis*, crescidas em ambiente com alta luminosidade e baixa umidade apresentaram reduzida absorção do glyphosate e uma quantidade de cera epicuticular quase três vezes maior que das plantas crescidas sob baixa luminosidade e alta umidade (SHERRICK et al., 1986). Com relação à translocação, tem-se verificado maior movimento do herbicida sob temperaturas mais altas (DEVINE et al., 1993).

A translocação do glyphosate absorvido pelas folhas pode ser tanto pelo simplasto quanto apoplasto, já o movimento nos rizomas ocorre, preferencialmente, via simplasto (DEWEY e APPLEBY, 1983; KLEVORN e WYSE, 1984). Em *Equisetum arvense*, o glyphosate moveu-se, predominantemente, pelo sistema simplasto, tendo sido a translocação descendente predominante, com o movimento ascendente muito limitado (MARSHALL et al., 1987).

2.4.2. Sulfosate

O sulfosate (N-(fosfonometil)glicina-trimetilsulfônico), introduzido na Espanha em 1989, apresenta comportamento bastante semelhante ao do glyphosate, sendo um herbicida sistêmico, não-seletivo, utilizado em aplicações de pós-emergência no controle de plantas daninhas perenes e anuais e com o mesmo mecanismo de ação do glyphosate (AHRENS, 1994; RODRIGUES e ALMEIDA, 1995). Sua absorção ocorre principalmente pelas folhas e tecidos pouco lignificados, apresentando a característica de ser fortemente adsorvido pelos colóides do solo.

Foi recentemente registrado no Ministério da Agricultura e Reforma Agrária (MARA), para o controle de plantas daninhas em plantio direto nas culturas de arroz, cana-de-açúcar, milho, soja e trigo, além de aplicações em

culturas perenes, como café, citrus, banana e uva (DARIO et al., 1993; VELLOSO, 1993; FOLONI, 1996; LEITE, 1996; MAROCHI, 1996b). É recomendado também para o controle de plantas daninhas anuais e perenes, em reflorestamentos, floricultura e áreas não-agrícolas (RODRIGUES e ALMEIDA, 1995).

Pesquisas mostram que o sulfosate é absorvido mais rapidamente e apresenta uma velocidade de ação maior que o observado para o glyphosate (LISEK e CHLEBOWSKA, 1993; CARMONA, 1996; MAROCHI, 1996a). Essa absorção rápida expõe o sulfosate a menor perda por lavagem, sendo verificado controle satisfatório da planta daninha pelo sulfosate, mesmo a intervalos inferiores a cinco horas, entre a aplicação e a simulação de chuva (CONSTANTIN, 1996; MAROCHI, 1996a). Esta característica pode estar associada à sua estrutura molecular, muito semelhante à do aminoácido glicina, facilitando, dessa forma, a sua translocação na planta (MAROCHI, 1996a). Outros trabalhos, entretanto, verificaram que a ação de controle do sulfosate é semelhante à do glyphosate (BANKS e BUNDSCHUH, 1989; SCHRADER, 1992; FOLONI, 1996; LEITE, 1996).

Quando as plantas são submetidas a estresse hídrico, ocorrem várias transformações morfológicas, fisiológicas e bioquímicas, ligadas, em particular, à expansão celular e à troca gasosa. Para o pesquisador de áreas de plantas daninhas, é muito importante o conhecimento dessas mudanças para um melhor entendimento das diferenças que ocorrem no controle de uma determinada planta em um local ou em uma época do ano, avaliando, assim, as diferenças que ocorrem na eficiência dos herbicidas aplicados em situações de emergência.

O estresse hídrico ocorre quando a perda de água pela transpiração é maior que a água absorvida pelas raízes das plantas. O estresse varia em intensidade e é caracterizado pelo decréscimo no conteúdo de água, turgor e potencial de água da planta, que resulta em murchamento, decréscimo no alongamento celular e crescimento da planta, fechamento parcial ou completo dos estômatos, além de modificações nos processos metabólicos básicos

(KRAMER, 1983; JOHNSON et al., 1987; LEIDI et al., 1993; LARCHER, 1995; PELLESCI et al., 1997).

O fechamento estomático contribui notavelmente para reduzir as perdas de água durante a limitada disponibilidade e, ou, alta demanda evaporativa. No entanto, esse fechamento também provoca limitação na absorção de dióxido de carbono e, em consequência, decréscimo na concentração intracelular de CO₂ (SCHULZE e HALL, 1982; CHAPIN, 1981). Muitos pesquisadores atribuem a redução na assimilação de CO₂ ao fechamento estomático e, outros, ao efeito direto da desidratação nas reações

CAPÍTULO 1

EFEITO DO ESTRESSE HÍDRICO SOBRE A FOTOSSÍNTESE, CONDUTÂNCIA ESTOMÁTICA, CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E DE CRESCIMENTO EM PLANTAS DE *Brachiaria brizantha* Stapf.

1. INTRODUÇÃO

Quando as plantas são submetidas a estresse hídrico, ocorrem vários transtornos morfológicos, anatômicos e fisiológicos, ligados, em particular, à expansão celular e à troca gasosa. Para o pesquisador da área de plantas daninhas, é muito importante o conhecimento dessas mudanças para um melhor entendimento das diferenças que ocorrem no controle de uma determinada planta em um local ou em uma época do ano, explicando, assim, as diferenças que ocorrem na eficiência dos herbicidas aplicados em pós-emergência.

O estresse hídrico ocorre quando a perda de água pela transpiração é maior que a água absorvida pelas raízes das plantas. O estresse varia em intensidade e é caracterizado pelo decréscimo no conteúdo de água, turgor e potencial de água da planta, que resulta em murchamento, decréscimo no alongamento celular e crescimento da planta, fechamento parcial ou completo dos estômatos, além de modificações nos processos metabólicos básicos

(KRAMER, 1983; JOHNSON et al., 1987; LEIDI et al., 1993; LARCHER, 1995; PELLESCI et al., 1997).

O fechamento estomático contribui notavelmente para reduzir as perdas de água durante a limitada disponibilidade e, ou, alta demanda evaporativa. No entanto, esse fechamento também provoca limitação na absorção de dióxido de carbono e, em consequência, decréscimo na concentração intracelular de CO_2 (SCHULZE e HALL, 1982; CHAPIN, 1991). Muitos pesquisadores atribuem a redução na assimilação de CO_2 ao fechamento estomático e, outros, ao efeito direto da desidratação nas reações bioquímicas da fotossíntese; efeitos não-estomáticos, por exemplo, redução na atividade de algumas enzimas do ciclo de Calvin; inibição no transporte de elétrons; e interferência na fotofosforilação (HSIAO, 1973; KAISER, 1987; KICHEVA et al., 1994).

Características morfológicas e anatômicas das plantas também são influenciadas pela condição de estresse hídrico. Geralmente, a baixa umidade do solo decresce o tamanho da célula e a área do tecido vascular, e aumenta a densidade estomática (CUTLER et al., 1977; RISTIC e CASS, 1991). A inibição do alongamento celular, causada pelo estresse hídrico, resulta em menor expansão da folha, levando a uma menor perda de água pela transpiração. Isto funciona como estratégia para auxiliar a sobrevivência da espécie em condições adversas (ASPINALL, 1986; TAIZ e ZEIGER, 1991). A redução na área foliar, portanto, seria a primeira arma de defesa da planta contra o estresse. Estes pesquisadores lembram que o estresse não só limita a área foliar, mas também reduz o número de folhas por planta.

O objetivo deste estudo foi caracterizar a resposta fotossintética, a condutância estomática, as mudanças anatômicas e de crescimento nas plantas de *Brachiaria brizantha*, submetidas a estresse hídrico.

dias após a semeadura para as plantas com estresse hídrico, foram selecionados quatro vasos, representativos, em cada condição de umidade do solo, para serem feitas as avaliações. A Figura 2 mostra o aspecto das plantas nas duas condições de umidade do solo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Obtenção das plantas e condições de crescimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, em solo franco-argilo arenoso. Sementes de *Brachiaria brizantha* foram semeadas em bandejas plásticas, sendo transplantadas quando as mudas apresentavam três folhas para vasos com 2,7 kg de solo seco ao ar. Cada vaso recebeu três plantas, constituindo-se na unidade experimental. Após uma semana do transplântio, os vasos foram separados em dois grupos, de acordo com a umidade do solo.

A umidade foi estabelecida de acordo com a curva de retenção de umidade do solo (Figura 1). Os níveis empregados foram: 10 kPa e 360 kPa, correspondendo a 783,0 g e 567,0 g de água por vaso, respectivamente. Na primeira semana, todos os vasos estavam com a umidade de 10 kPa. A partir desse período, determinaram-se os tratamentos-controle (sem estresse) e com estresse hídrico

A umidade do solo foi mantida aproximadamente constante por meio do tensiômetro portátil e, principalmente, por meio de pesagens diárias dos vasos.

Quando as plantas apresentavam o terceiro perfilho, correspondendo a 50 dias após a semeadura para as plantas crescidas sem estresse hídrico e 60

dias após a semeadura para as plantas com estresse hídrico, foram selecionados quatro vasos, representativos, em cada condição de umidade do solo, para serem feitas as avaliações. A Figura 2 mostra o aspecto das plantas nas duas condições de umidade do solo.

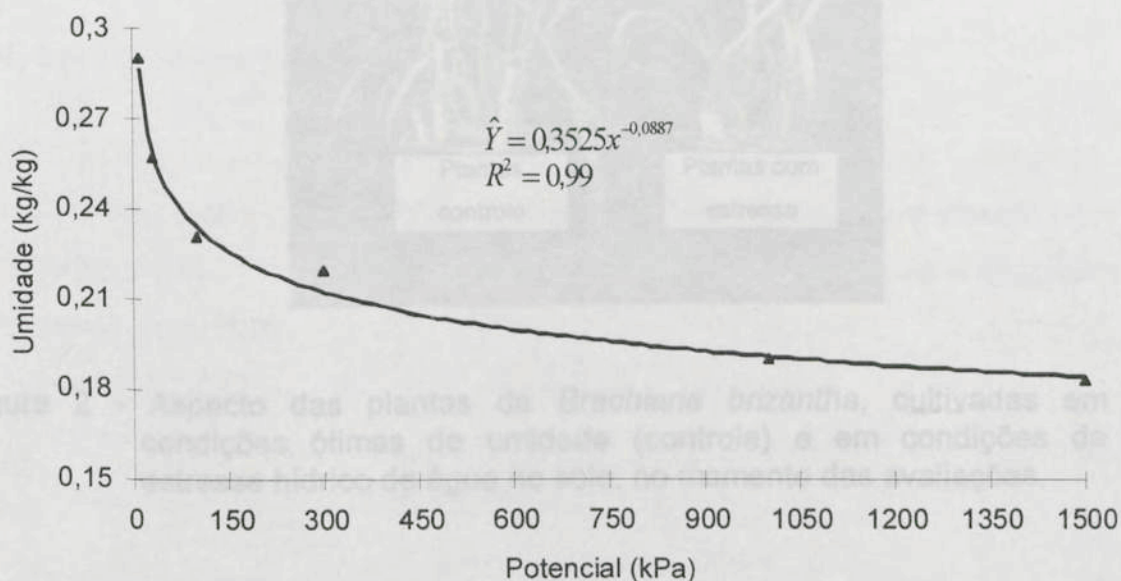


Figura 1 - Curva de retenção de umidade do solo.

2.2. Características fisiológicas avaliadas

As características avaliadas foram: taxa fotossintética (A), transpiração (E), condutância estomática (gs) e concentração interna de CO₂ (C_i). Estas características foram medidas em um analisador de gás infravermelho (IRGA), modelo LCA-2 (Analytical Development Co. Ltda., Hoddesdon, UK). As leituras foram feitas entre 9 e 11 h da manhã, em condições de ambiente natural, em folhas totalmente expandidas, selecionadas anteriormente em cada planta.

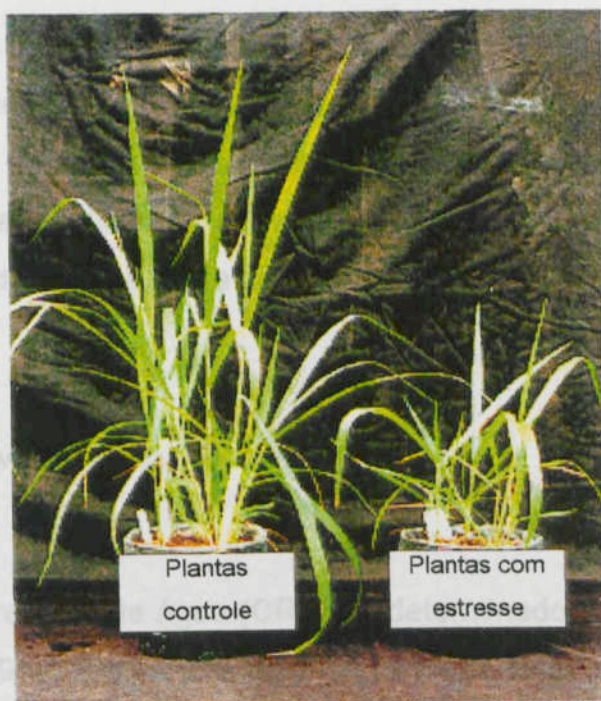


Figura 2 - Aspecto das plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas em condições ótimas de umidade (controle) e em condições de estresse hídrico de água no solo, no momento das avaliações.

2.3. Características anatômicas avaliadas

Para o estudo anatômico, coletaram-se três folhas por vaso. A coleta foi feita na região mediana da planta, retirando-se uma folha totalmente desenvolvida. Dessas folhas, foram obtidos fragmentos de aproximadamente $1,0 \text{ cm}^2$, na região mediana, ao lado da nervura central. Posteriormente, esses fragmentos foram seccionados em micrótomo de mesa, selecionando-se os cortes mais finos e inteiros. Esses cortes foram colocados no FAA 50% (formalina, ácido acético e etanol 50%, na proporção de 1:1:9 v/v), durante 15 min. Após essa etapa, os cortes foram imersos em hipoclorito de sódio, a 5%, até ficarem claros. Em seguida, foram lavados em água destilada e passados por uma desidratação com álcool 30%, por 10 min, e álcool 40%, por mais 10 min. Depois dessa etapa de desidratação, os cortes foram coloridos com safrablue (safranina 1% e azul de astra ou astrablue 1%, na proporção 1:1 v/v) e colocados nas lâminas com gelatina glicerinada, tendo em cima

desta uma lamínula que foi selada com esmalte incolor. Em seguida, com auxílio de um tambor micrométrico, acoplado ao microscópio Zeiss-Ducovol, fizeram-se medições do diâmetro do metaxilema e do feixe vascular primário, da espessura da folha, da distância entre feixes de segunda ordem, do número de feixes por área e da espessura da célula buliforme.

2.4. Conteúdo relativo de água

O conteúdo relativo de água (CRA) foi determinado como descrito por COOMBS e HALL (1989). Os valores de CRA foram calculados de acordo com a seguinte expressão:

$$CRA = \frac{BFA - BS}{BFS - BS} * 100 ,$$

em que

BFA - biomassa fresca da folha;

BFS - biomassa fresca da folha saturada; e

BS - biomassa seca da folha.

O peso da folha saturada foi determinado após embebição dos discos foliares em água destilada, por quatro horas, em temperatura ambiente, sendo os mesmos levados, a seguir, para estufa 80°C, por 48 h, obtendo-se a biomassa seca.

2.5. Características de crescimento avaliadas

Foram avaliadas a altura das plantas, a área foliar, a biomassa seca da parte aérea, da raiz e total, e a relação raiz/parte aérea. A área foliar foi

medida com o integrador fotoelétrico modelo MK2 (DELTA-T DEVICES LTDA., Cambridge, Inglaterra).

2.6. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância e à análise de regressão, usando-se o Sistema para Análise Estatística (SAEG, 1997). Para o cálculo das curvas de saturação luminosa, empregou-se o programa STATISTICA, utilizando-se a seguinte expressão:

$$PL = PL_{\max} * (1 - \exp^{-PLEA(PAR/PL_{\max})}),$$

em que

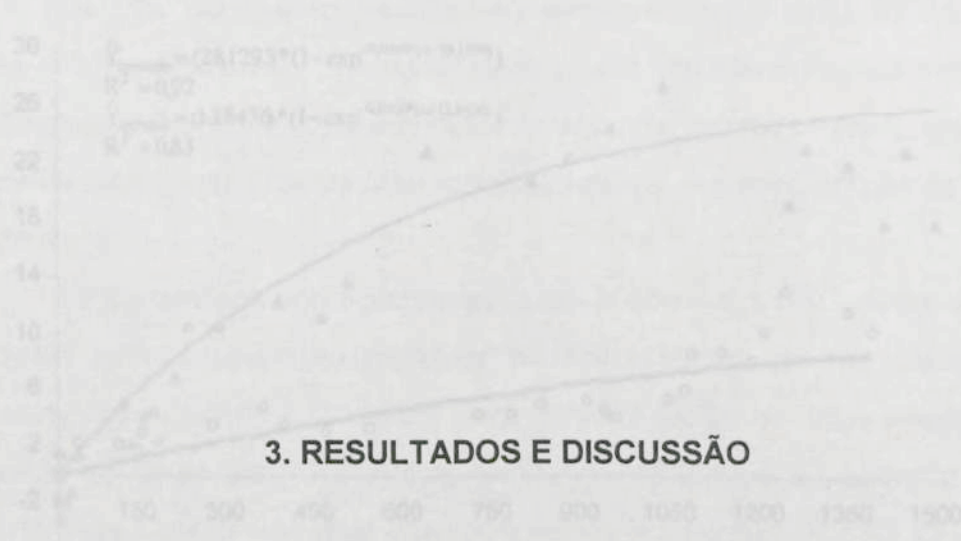
PL = taxa fotossintética líquida ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$);

PL_{max} = taxa máxima de fotossíntese em luz saturante ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$);

PAR = radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$); e

PLEA = declive na origem.

A escolha desse modelo baseou-se nos trabalhos de PENNING de VRIES et al. (1989), que demonstraram que esse é o melhor modelo para explicar a relação taxa fotossintética 'versus' radiação fotossinteticamente ativa.



3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para se estabelecer o melhor nível de radiação, a ser utilizado nas determinações de fotossíntese líquida (P_n) de folhas de *B. brizantha*, foram feitas curvas de diversos níveis de radiação versus a fixação de CO_2 (Figura 3).

Observa-se que, sob a condição experimental, as plantas sem estresse hídrico apresentaram maiores taxas fotossintéticas que as plantas cultivadas com estresse, nas diferentes densidades do fluxo de fótons (Figura 3). A partir da curva de saturação luminosa, verifica-se que, a $1.100 \mu\text{moles m}^{-2}\text{s}^{-1}$ de radiação, foram obtidos os maiores valores para a taxa fotossintética, em cujo ponto também foram realizadas as leituras de transpiração, a temperatura da folha, a condutância estomática e a concentração interna de CO_2 , em ambos os tratamentos. Os dados obtidos nesse nível de radiação estão apresentados no Quadro 1.

A $1.100 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiação, as plantas sob estresse hídrico apresentam redução significativa na absorção de CO_2 , transpiração e condutância estomática, não havendo, no entanto, diferença significativa na concentração interna de CO_2 , em relação ao controle (Quadro 1). Resultados semelhantes foram obtidos por PELLESCI et al. (1997), em folhas de milho, onde todas essas medidas fotossintéticas decresceram sob estresse hídrico.

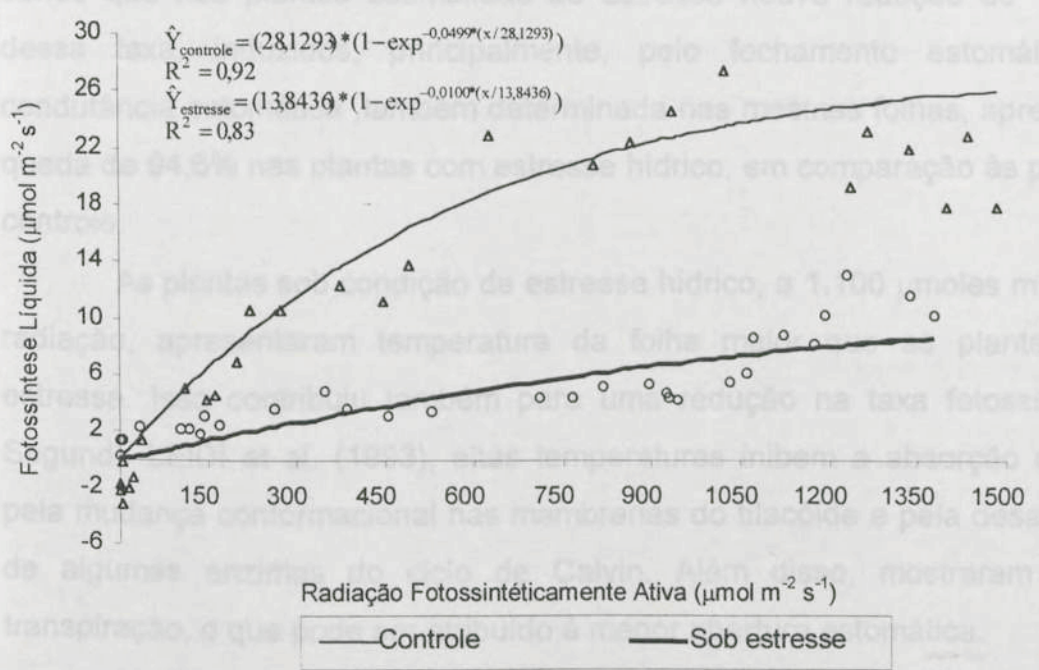


Figura 3 - Fotossíntese líquida em função da radiação fotossinteticamente ativa em plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas em solo sem estresse (controle) e com estresse hídrico.

Quadro 1 - Características fisiológicas avaliadas nas plantas de *Brachiaria brizantha*, conduzidas sem estresse hídrico (controle) e com estresse hídrico, com radiação fotossinteticamente ativa de 1.100 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$

Características	Controle	Com Estresse	% de Variação
Transpiração ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	23,57 a	7,06 b	-70,0
Temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$)	25,17 b	34,28 a	+36,2
Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	29,34 a	5,18 b	-82,3
Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	3,34 a	0,18 b	-94,6
Concentração interna de CO_2 (ppm)	288,90 a	276,00 a	-4,5
Conteúdo relativo de água (%)	30,02	20,38	-32,1

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

A taxa fotossintética das plantas-controle foi de $29,34 \mu\text{mol. m}^{-2}.\text{s}^{-1}$, sendo que nas plantas submetidas ao estresse houve redução de 82,3% dessa taxa, induzidos, principalmente, pelo fechamento estomático. A condutância estomática, também determinada nas mesmas folhas, apresentou queda de 94,6% nas plantas com estresse hídrico, em comparação às plantas-controle.

As plantas sob condição de estresse hídrico, a $1.100 \mu\text{moles m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiação, apresentaram temperatura da folha maior que as plantas sem estresse. Isso contribuiu também para uma redução na taxa fotossintética. Segundo LEIDI et al. (1993), altas temperaturas inibem a absorção de CO_2 pela mudança conformacional nas membranas do tilacóide e pela desativação de algumas enzimas do ciclo de Calvin. Além disso, mostraram menor transpiração, o que pode ser atribuído à menor abertura estomática.

Verifica-se que não houve diferença na concentração interna (C_i) de CO_2 , entre os tratamentos, embora tenha ocorrido redução na fotossíntese e na condutância estomática (Quadro 1). Segundo WONG et al. (1985) e DOWNTON et al. (1987), a redução na fotossíntese pode, ainda, estar ligada a fatores não-estomáticos, como, por exemplo, aumento na resistência do mesófilo (CORNIG et al., 1992).

A condutância estomática regula ambos os processos, a perda de água pela transpiração e a difusão de CO_2 dentro da folha. Verifica-se, na Figura 4, que, em ambas as condições de umidade, a taxa fotossintética apresentou comportamento crescente com aumento da condutância estomática; entretanto, os valores foram menores na condição em que as plantas estavam sob estresse.

Uma avaliação das características anatômicas mostraram que as plantas com estresse hídrico apresentaram redução no diâmetro do metaxilema (xilema primário) e do feixe vascular. O xilema é o constituinte da planta que transporta a água do solo até a parte aérea. Verifica-se, então, que o estresse influencia a formação desse constituinte da planta. A planta com estresse hídrico, apresentando menor diâmetro do xilema e do feixe vascular, poderia estar translocando menor quantidade de água e de fotoassimilados (Quadro 2).

As plantas sob estresse apresentaram menor espessura do limbo foliar, devido ao menor alongamento e divisão celular, reduzindo, conseqüentemente, a área foliar (Quadro 3). Isso ocorreu porque as células das plantas com estresse apresentaram-se menos túrgidas que as plantas-controle.

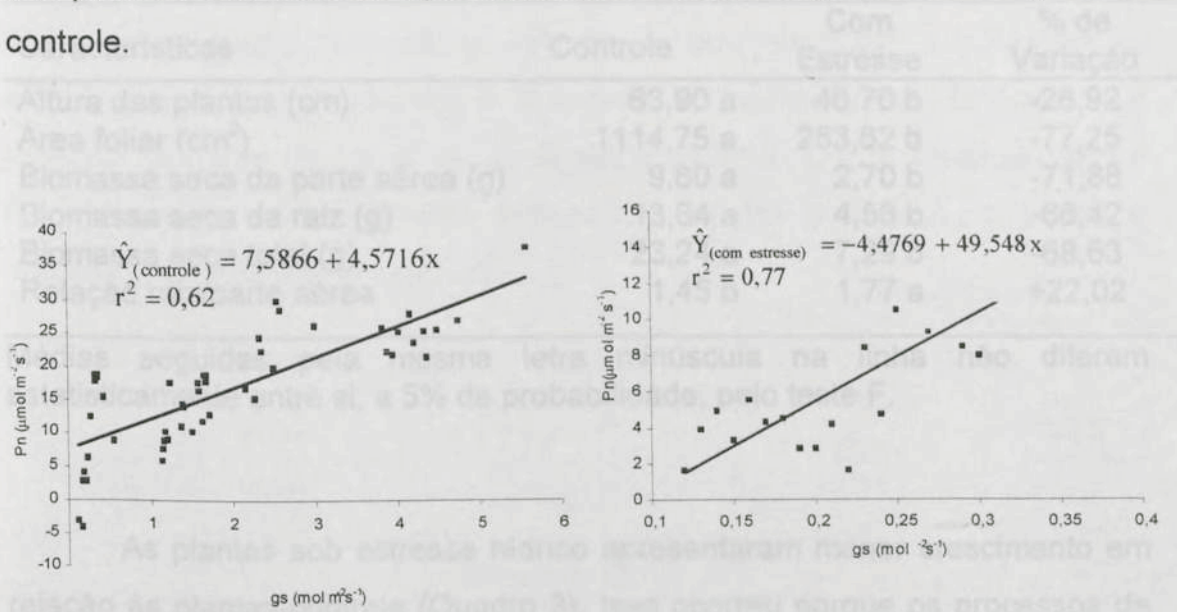


Figura 4 – Relação entre a condutância estomática e a taxa fotossintética em plantas de *Brachiaria brizantha* sem estresse (controle) e com estresse hídrico.

Quadro 2 - Características anatômicas avaliadas em plantas de *Brachiaria brizantha*, crescidas sem estresse (controle) e sob estresse hídrico

Características	Controle	Com Estresse	% de Variação
Diâmetro do metaxilema (μm)	29,6 a	25,9 b	-12,22
Diâmetro longitudinal do feixe vascular (μm)	210,1 a	164,2 b	-21,86
Diâmetro transversal do feixe vascular (μm)	195,0 a	174,3 b	-10,62
Espessura da folha (μm)	198,7 a	162,8 b	-18,11
Distância entre feixes de 2ª ordem (μm)	1411,6 a	1365,7 a	3,26
Número de feixe por área ($620\mu\text{m}$)	3,8 a	3,9 a	3,70
Espessura das células buliformes (μm)	67,5 a	69,6 a	3,12
Nº.de feixes vasculares entre feixes de 2ª ordem	5,4 b	6,3 a	+16,08

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 3 – Característica de crescimento de plantas de *Brachiaria brizantha* avaliadas em plantas que desenvolveram em solo submetido à tensão de 10 kPa (controle) e 360 kPa (condição de estresse hídrico)

Características	Controle	Com Estresse	% de Variação
Altura das plantas (cm)	63,90 a	46,70 b	-26,92
Área foliar (cm ²)	1114,75 a	253,62 b	-77,25
Biomassa seca da parte aérea (g)	9,60 a	2,70 b	-71,88
Biomassa seca da raiz (g)	13,64 a	4,58 b	-66,42
Biomassa seca total (g)	23,24 a	7,29 b	-68,63
Relação raiz/parte aérea	1,45 b	1,77 a	+22,02

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

As plantas sob estresse hídrico apresentaram menor crescimento em relação às plantas-controle (Quadro 3). Isso ocorreu porque os processos de alongamento e divisão celular foram afetados pelo estresse hídrico (KRAMER, 1883). Essa redução na área foliar das plantas leva a uma redução na fotossíntese, decrescendo, assim, a eficiência do processo de fixação de CO₂. Entretanto, a redução da área potencialmente transpirante é mais um mecanismo que a planta utiliza para sobreviver a períodos de estresse. A redução assegura às plantas maior economia de água, preservando o mesófilo da dessecação (NOBEL, 1991; LARCHER, 1995).

O estresse hídrico não somente induz a redução na produção da biomassa seca das plantas (Quadro 3), como também muda a partição de carboidratos entre os órgãos. A relação raiz/parte aérea é governada pelo balanço entre absorção de água pelas raízes e fotossíntese pelas folhas. Observa-se que esse balanço é alterado, quando há decréscimo no suprimento de água. Em geral, o crescimento da parte aérea é mais reduzido que o crescimento da raiz. Segundo TAIZ e ZEIGER (1991), quando a absorção de água é reduzida, o processo de expansão da folha é afetado mais rapidamente que a atividade fotossintética, diminuindo, assim, o consumo de carbono e energia pelas folhas e uma maior proporção do assimilado pode ser distribuída para o sistema radicular, onde promoverá maior crescimento.

O reduzido ganho de biomassa seca das plantas submetidas ao estresse hídrico pode ser atribuído em parte ao decréscimo verificado na fotossíntese das plantas. Todas essas modificações que ocorrem nas plantas sob estresse como, por exemplo, a redução da abertura estomática e da área foliar, representam importante estratégia dos vegetais superiores na manutenção de sua sobrevivência. A consequência direta desse fenômeno é a redução na perda de vapor de água pelos estômatos, que contribui para a manutenção de um suprimento hídrico nas células e capacita a planta a sobreviver a períodos de estresse.

4. CONCLUSÕES

As plantas de *Bracharia brizantha*, cultivadas sob estresse de umidade no solo, apresentaram reduções significativas na absorção de CO_2 , transpiração e condutância estomática, em relação às plantas cultivadas sem estresse hídrico.

O estresse hídrico reduziu o diâmetro do feixe vascular, a espessura do limbo foliar, a área foliar e a biomassa seca, e aumentou a relação raiz/parte aérea das plantas.

4. CONCLUSÕES

As plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sob estresse de umidade no solo, apresentaram reduções significativas na absorção de CO₂, transpiração e condutância estomática, em relação às plantas cultivadas sem estresse hídrico.

O estresse hídrico reduziu o diâmetro do feixe vascular, a espessura do limbo foliar, a área foliar e a biomassa seca, e aumentou a relação raiz/parte aérea das plantas.

dimetilsulfônico da mesma molécula (HARTZLER, 1997). Ambos são recomendados para aplicações em pós-emergência, para o controle de plantas daninhas perenes e anuais em áreas agrícolas, reforestamentos e áreas não-agrícolas (RODRIGUES e ALMEIDA, 1995).

A eficiência desses herbicidas, quando aplicados em plantas com estresse hídrico, é reduzida, pois, sob tais condições, as plantas apresentam menor área foliar, cutícula mais densa e espessa, maior pubescência e, principalmente, em gramíneas, enrolamento das folhas (MUZIK, 1976). Adicionalmente, a permeabilidade da membrana celular, o movimento de água e de fotoassimilados dentro da planta podem ser reduzidos, limitando, assim, a translocação dos herbicidas até seu sítio de ação (AHMADI, et al., 1980; McWHORTER et al., 1980; KLEVORN e WYSE, 1984; WALDECKER e WYSE,

CAPÍTULO 2

EFICIÊNCIA DO GLYPHOSATE E DO SULFOSATE, EM PLANTAS DE *Brachiaria brizantha* Stapf, SUBMETIDAS AO ESTRESSE HÍDRICO E À CHUVA SIMULADA

A eficiência herbicida do glyphosate também é afetada pela ocorrência de chuva logo após as aplicações. Pesquisas mostram que o glyphosate requer um período mínimo de quatro a seis horas livre de chuva, após a sua aplicação, para a máxima eficiência de controle das plantas daninhas (SPRANKLE et al., 1975; BRYSON, 1967; BRYSON, 1983). O comportamento do sulfosate é semelhante ao do glyphosate, em intervalos de seis a

1. INTRODUÇÃO

O sucesso do controle de plantas daninhas com herbicidas, aplicados em pós-emergência, depende da rápida absorção pela planta e translocação do composto biologicamente ativo para as regiões de crescimento, em quantidades suficientes para controlar as plantas daninhas, eliminando sua capacidade de rebrota. No entanto, condições ambientais, como baixa umidade do solo durante o crescimento das plantas daninhas e a ocorrência de chuva após a aplicação, afetam o desempenho dos herbicidas. Sob tais condições, as plantas daninhas continuam competindo com a cultura, aumentando o custo e reduzindo a produção e a qualidade dos produtos. Além disso, os herbicidas lavados das folhas podem contaminar o meio ambiente.

O glyphosate e o sulfosate pertencem ao grupo dos inibidores da síntese de aminoácidos e contêm o N-(phosphonomethyl)glicina como ingrediente ativo (RODRIGUES e ALMEIDA, 1995). A diferença entre ambos é que o glyphosate é um sal isopropilamina, ao passo que o sulfosate é um sal

trimetilsulfônico da mesma molécula (HARTZLER, 1997). Ambos são recomendados para aplicações em pós-emergência, para o controle de plantas daninhas perenes e anuais em áreas agrícolas, reflorestamentos e áreas não-agrícolas (RODRIGUES e ALMEIDA, 1995).

A eficiência desses herbicidas, quando aplicados em plantas com estresse hídrico, é reduzida, pois, sob tais condições, as plantas apresentam menor área foliar, cutícula mais densa e espessa, maior pubescência e, principalmente, em gramíneas, enrolamento das folhas (MUZIK, 1976). Adicionalmente, a permeabilidade da membrana celular, o movimento de água e de fotoassimilados dentro da planta podem ser reduzidos, limitando, assim, a translocação dos herbicidas até seu sítio de ação (AHMADI, et al., 1980; McWHORTER et al., 1980; KLEVORN e WYSE, 1984; WALDECKER e WYSE, 1985; DICKSON, et al., 1990).

A atividade herbicida do glyphosate e do sulfosate também é afetada pela ocorrência de chuva logo após as aplicações. Pesquisas mostram que o glyphosate requer um período mínimo de quatro a seis horas livre de chuvas, após a sua aplicação, para eficiência máxima de controle das plantas daninhas (SPRANKLE et al., 1975; BRYSON, 1987; BRYSON, 1988). O comportamento do sulfosate é semelhante ao do glyphosate, em intervalos de seis a oito horas entre a aplicação e a ocorrência de chuva, com ligeira superioridade do sulfosate em intervalos menores (CONSTANTIN, 1996, MAROCHI, 1996a). Entretanto, o efeito da chuva poderá variar em função das características de cada molécula, dose aplicada e espécie de planta daninha a ser controlada (ANDERSON et al., 1993; WICKS e HANSON, 1995).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da chuva simulada sobre a eficiência do glyphosate e do sulfosate no controle de *Brachiaria brizantha* cultivada em solo com dois níveis de umidade.

glyphosate. A Figura 2(a), mostra o aspecto das plantas no momento da aplicação dos herbicidas.

Quadro 1 - Análises químicas e físicas e classificação textural do solo*

C	pH em H ₂ O (±0,25)	P	K	N	Ca	Mg	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Cl ₂	Cl ₂ total	V
			mg/dm ³		mg/dm ³		%		%		%
0,19	5,59	4,1	25,2	0,4	35	1,3	43	57,1	0,01		37,9
Umidade a 0,3 bar	Areia	Argila Fina	densidade				densidade de partículas		Classificação Textural		
26,70	58	20	10				2,6		Franco Argilo-Arenoso		

2. MATERIAL E MÉTODOS

* As análises foram realizadas nos laboratórios de análises físicas e químicas do solo do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa.

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa. As características químicas e físicas do solo utilizado encontram-se no Quadro 1.

Sementes de *Brachiaria brizantha* foram semeadas em bandejas plásticas, sendo transplantadas para vasos com 2,7 kg de solo seco, quando apresentavam três folhas. Cada vaso recebeu três plantas, constituindo a unidade experimental. Após uma semana do transplante, os vasos foram separados em quatro grupos de 68 vasos, constituindo cada grupo um ensaio. Em dois desses grupos, o solo foi mantido à umidade de 10 kPa (sem estresse hídrico) e nos outros dois grupos, com 360 kPa (com estresse hídrico), correspondendo a 783,0 e 567,00 g de água por vaso, respectivamente. A curva de retenção de umidade do solo (Figura 1) serviu de base para o cálculo dos níveis de umidade usados nos ensaios.

O teor de umidade do solo foi mantido aproximadamente constante por meio de tensiômetro portátil e de pesagens diárias dos vasos, repondo a água evapotranspirada.

Quando as plantas de *B. brizantha* apresentavam o terceiro perfilho (em torno de 50 dias após a semeadura para as plantas sem estresse e 60 dias para as plantas sob estresse), aplicaram-se os herbicidas glyphosate e

Figura 1 - Curva de retenção de umidade do solo usado nos ensaios

sulfosate. A Figura 2(a), mostra o aspecto das plantas no momento da aplicação dos herbicidas.

Durante as aplicações, manteve-se a pressão constante em 3,0 kgf/cm², aplicando-se um volume de calda equivalente a 200 L/ha³. As aplicações

Quadro 1 - Análises química e física e classificação textural do solo*

C %	pH em H ₂ O/1:2,5	P —mg/dm ³ —	K —mg/dm ³ —	Al —cmol _c /dm ³ —	Ca —cmol _c /dm ³ —	Mg —cmol _c /dm ³ —	H+Al —cmol _c /dm ³ —	SB —cmol _c /dm ³ —	CTC total —cmol _c /dm ³ —	V %
0,19	5,9	4,1	95,0	0,0	3,8	1,6	4,2	5,71	9,91	57,6
Umidade a 0,3 bar	Areia Grossa Fina		Silte —dag/Kg—	Argila —dag/Kg—	Equivalente de Umidade —%—		Classificação Textural			
26,70	36	20	10	34	24,80		Franco-Argilo-Arenoso			

* As análises foram realizadas nos laboratórios de análises físicas e químicas de solo do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa.

herbicida e com chuva de 30 mm e testemunha sem chuva e com herbicida), dispostos em esquema fatorial (7x2)+3. O delineamento experimental foi o de blocos casuais-dois, com quatro repetições.

A chuva com intensidade de 53 mm.h⁻¹ foi aplicada por meio de um simulador (Figura 2(b)). Após a simulação da chuva, a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo até a colheita das plantas.

A eficiência do controle da *B. brizantha* pelo glyphosate e pelo sulfosate foi avaliada com base nos sintomas de toxicidade nas plantas,

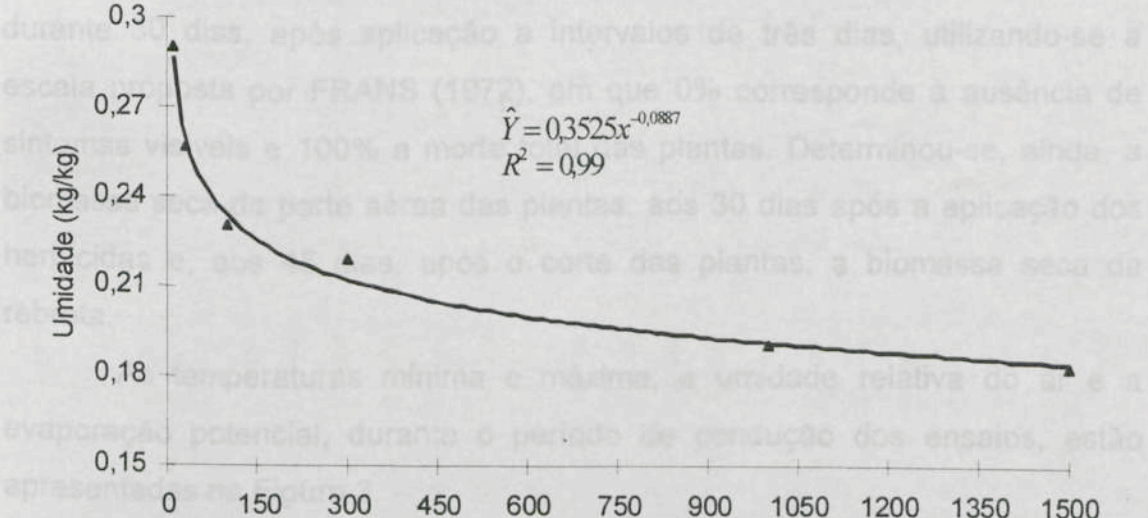


Figura 1 - Curva de retenção de umidade do solo usado nos ensaios.

Os herbicidas, na dose de 1,44 kg/ha, foram aplicados com pulverizador costal pressurizado com CO₂, equipado com bicos Teejet 80.03. Durante as aplicações, manteve-se a pressão constante em 3,0 kgf.cm⁻², aplicando-se um volume de calda equivalente a 200 L.ha⁻¹. As aplicações sobre as plantas sem estresse foram realizadas às 7 h 30, estando a umidade relativa e a temperatura do ar em 91% e 23°C, respectivamente. Nas plantas cultivadas em solo com menor umidade, os herbicidas foram aplicados às 14 h, estando o ar com 51% de umidade relativa e 36°C de temperatura.

Em cada ensaio, os tratamentos foram constituídos pela combinação de sete intervalos de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a simulação de chuva (imediatamente após a aplicação, uma, duas, três, quatro, cinco e seis horas após) e duas lâminas de chuva (15 e 30 mm), e mais três tratamentos adicionais (testemunha sem herbicida e com chuva de 15 mm, testemunha sem herbicida e com chuva de 30 mm e testemunha sem chuva e com herbicida), dispostos em esquema fatorial (7x2)+3. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, com quatro repetições.

A chuva com intensidade de 53 mm.h⁻¹ foi aplicada por meio de um simulador (Figura 2(b)). Após a simulação da chuva, a umidade do solo foi mantida próxima à capacidade de campo até a colheita das plantas.

A eficiência de controle da *B. brizantha* pelo glyphosate e pelo sulfosate foi avaliada com base nos sintomas de toxicidade nas plantas, durante 30 dias, após aplicação a intervalos de três dias, utilizando-se a escala proposta por FRANS (1972), em que 0% corresponde à ausência de sintomas visíveis e 100% a morte total das plantas. Determinou-se, ainda, a biomassa seca da parte aérea das plantas, aos 30 dias após a aplicação dos herbicidas e, aos 45 dias, após o corte das plantas, a biomassa seca da rebrota.

As temperaturas mínima e máxima, a umidade relativa do ar e a evaporação potencial, durante o período de condução dos ensaios, estão apresentadas na Figura 3.

Figura 3 - Dados meteorológicos na casa de vegetação, durante o período de condução dos ensaios.



Figura 2 - Plantas de *Brachiaria brizantha* no momento da aplicação de glyphosate e sulfosate (a), e simulador de chuva empregado nos ensaios (b).

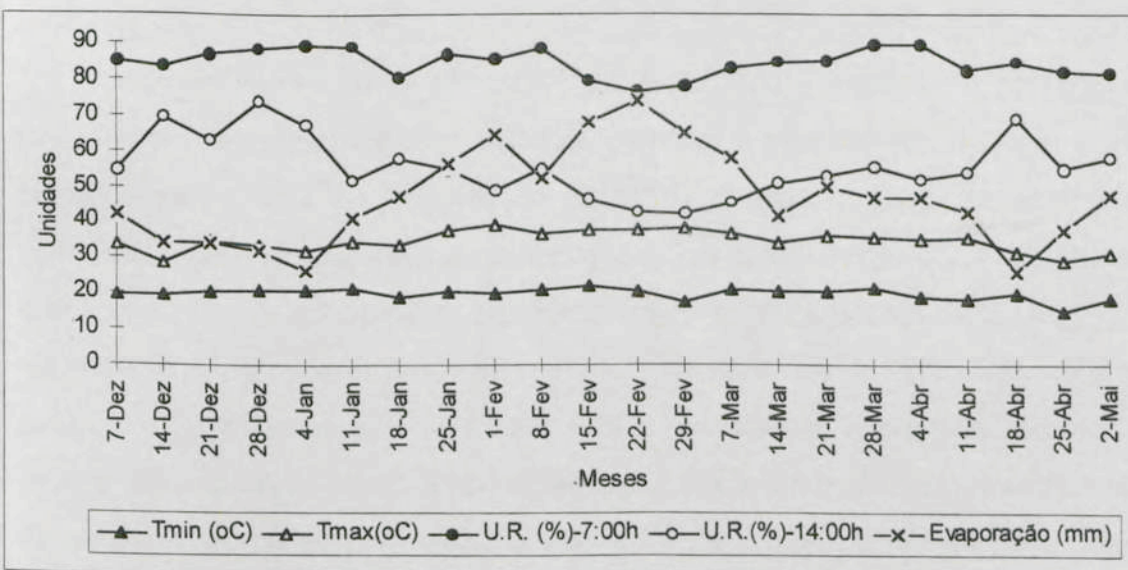


Figura 3 - Dados meteorológicos da casa de vegetação, durante o período de condução dos ensaios.

Para interpretação dos resultados de toxicidade, procedeu-se à análise de variância individual, comparando-se as médias com as testemunhas correspondentes, por meio do teste de Dunnett, a 5% de probabilidade.

Para a avaliação dos efeitos de herbicidas e de umidades do solo sobre a biomassa seca das plantas, procedeu-se à análise de variância individual e conjunta dos dados. O efeito dos intervalos de tempo após a aplicação dos herbicidas foi decomposto nos efeitos linear, quadrático, raiz-quadrada, cúbico e cúbico-raiz, obtendo-se, em seguida, equações de regressão. Dentre os efeitos significativos, foram escolhidos modelos com maior coeficiente de determinação (R^2). Todos os efeitos dos quadrados médios foram testados (teste F) com o do resíduo experimental, sendo considerados os níveis de significância de 5(*) e 1%(**) de probabilidade. Os coeficientes dos modelos escolhidos foram testados pelo teste t, utilizando-se o quadrado médio do erro experimental, sendo considerados os mesmos níveis de significância.

Analisando-se a biomassa seca das plantas de *B. brizantha*, 30 dias após a aplicação dos herbicidas, verifica-se que em todas as combinações lâmina de chuva x intervalo de tempo, glyphosate e sulfosate reduziram a biomassa seca das plantas comparados à testemunha sem herbicida (Quadro 2). Isto mostra que *B. brizantha* é suscetível ao glyphosate e ao sulfosate.

Na avaliação de eficiência de um herbicida, é importante considerar, também, a sua capacidade em inibir ou retardar a rebrota das plantas, o que significa efeito mais prolongado do herbicida e uma possível economia de nova aplicação. Nesse sentido, comparando-se a biomassa seca da rebrota das plantas que receberam herbicidas com a testemunha sem herbicida (Quadro 3) e, considerando-se a ocorrência de uma chuva de 15 mm, verifica-se que o glyphosate e o sulfosate foram igualmente eficientes, inibindo a rebrota, quando o intervalo entre a aplicação e a ocorrência de chuva foi igual ou superior a uma hora. Quando a chuva foi de 30 mm, o intervalo de tempo mínimo dependendo entre a aplicação e a ocorrência de chuva foi de duas a três horas, para o glyphosate e o sulfosate, respectivamente.

Quadro 2 – Médias da biomassa seca das plantas de *Brachiaria brizantha* crescidas sem estresse hídrico até a aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate e do sulfosate, colhidas aos 30 dias após aplicação

Intervalo de Tempo (h)	Lâmina de Chuva (mm)			
	15		30	
	Glyphosate	Sulfosate	Glyphosate	Sulfosate

Biomassa Seca (g)

	1h	2h	1h	2h
0	18,2 (+)	18,8 (+)	18,8 (+)	18,8 (+)
1	4,8 (+)	9,0 (+)	8,0 (+)	5,1 (+)
2	5,2 (+)	0,0 (+)	7,1 (+)	4,2 (+)
3	2,8 (+)	0,0 (+)	4,3 (+)	3,0 (+)
4	3,8 (+)	0,0 (+)	5,2 (+)	3,5 (+)
5	0,0 (+)	0,0 (+)	4,2 (+)	2,2 (+)
6	0,0 (+)	0,0 (+)	4,5 (+)	2,1 (+)

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Controle de plantas de *B. brizantha* cultivadas em condições ótimas de umidade no solo

Analisando-se a biomassa seca das plantas de *B. brizantha*, 30 dias após a aplicação dos herbicidas, verifica-se que em todas as combinações lâmina de chuva x intervalo de tempo, glyphosate e sulfosate reduziram a biomassa seca das plantas, comparados à testemunha sem herbicida (Quadro 2). Isto mostra que *B. brizantha* é suscetível ao glyphosate e ao sulfosate.

Na avaliação da eficiência de um herbicida, é importante considerar, também, a sua capacidade em inibir ou retardar a rebrota das plantas, o que significa efeito mais prolongado do herbicida e uma possível economia de nova aplicação. Nesse sentido, comparando-se a biomassa seca da rebrota das plantas que receberam herbicida com a testemunha sem herbicida (Quadro 3) e, considerando-se a ocorrência de uma chuva de 15 mm, verifica-se que o glyphosate e o sulfosate foram igualmente eficientes, inibindo a rebrota, quando o intervalo entre a aplicação e a ocorrência da chuva foi igual ou superior a uma hora. Quando a chuva foi de 30 mm, o intervalo de tempo mínimo requerido entre a aplicação e a ocorrência da chuva foi de duas e três horas, para o glyphosate e o sulfosate, respectivamente.

Quadro 2 – Médias da biomassa seca das plantas de *Brachiaria brizantha* crescidas sem estresse hídrico até a aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate e do sulfosate, colhidas aos 30 dias após aplicação

Intervalo de Tempo (h)	Lâmina de Chuva (mm)							
	15				30			
	Glyphosate		Sulfosate		Glyphosate		Sulfosate	
	1/	2/	1/	2/	1/	2/	1/	2/
0	16,2	(-) (+)	9,7	(-) (+)	18,0	(-) (+)	16,9	(-) (+)
1	4,8	(-) (+)	0,0	(-) (+)	8,0	(-) (+)	8,1	(-) (+)
2	5,2	(-) (+)	0,0	(-) (+)	7,1	(-) (+)	4,2	(-) (+)
3	2,6	(-) (+)	0,0	(-) (+)	4,8	(-) (+)	5,0	(-) (+)
4	2,4	(-) (+)	0,0	(-) (+)	5,2	(-) (+)	3,5	(-) (+)
5	3,0	(-) (+)	0,0	(-) (+)	4,5	(-) (+)	3,4	(-) (+)
6	0,0	(-) (+)	0,0	(-) (+)	4,5	(-) (+)	2,1	(-) (+)
TSHCC	22,3		22,0		21,8		23,7	
TCHSC	0,0		0,0		0,0		0,0	
DMS	1,7		1,7		1,7		1,7	

TSHCC – testemunha sem herbicida e com chuva; TCHSC – testemunha com herbicida e sem chuva; DMS – diferença mínima significativa.

1/ - em relação à testemunha sem herbicida e com chuva (TSHCC).

2/ - em relação à testemunha com herbicida e sem chuva (TCHSC).

Médias seguidas por (-) e (+) foram, respectivamente, inferiores ou superiores à testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

Quadro 3 – Médias da biomassa seca da rebrota das plantas de *Brachiaria brizantha* crescidas sem estresse hídrico até a aplicação de 1,44 kg/ha de glyphosate e de sulfosate, colhidas aos 45 dias após o corte

Intervalo de	Lâmina de Chuva (mm)							
	15				30			
Tempo (h)	Glyphosate		Sulfosate		Glyphosate		Sulfosate	
	1/	2/	1/	2/	1/	2/	1/	2/
0	10,2	(+)	15,0	(+)	11,9	(+)	10,6	(+)
1	9,6	(-)	0,0	(-)	12,3	(+)	10,5	(+)
2	6,9	(-)	0,0	(-)	8,4	(-)	9,6	(+)
3	0,0	(-)	0,0	(-)	3,8	(-)	6,4	(-)
4	0,0	(-)	0,0	(-)	0,0	(-)	1,5	(-)
5	0,0	(-)	0,0	(-)	0,0	(-)	0,0	(-)
6	0,0	(-)	0,0	(-)	0,0	(-)	0,0	(-)
TSHCC	11,6		11,3		12,3		10,8	
TCHSC	0,0		0,0		0,0		0,0	
DMS	1,6		1,6		1,6		1,6	

TSHCC – testemunha sem herbicida e com chuva; TCHSC – testemunha com herbicida e sem chuva; DMS – diferença mínima significativa.

1/ - em relação à testemunha sem herbicida e com chuva (TSHCC).

2/ - em relação à testemunha com herbicida e sem chuva (TCHSC).

Médias seguidas por (-) e (+) foram, respectivamente, inferiores ou superiores à testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

Quadro 2. A ocorrência de chuva, após a aplicação dos herbicidas, reduziu a eficiência dos mesmos, comparado à testemunha que recebeu herbicida e não recebeu chuva (Quadros 2 e 3). Essa redução na eficiência, entretanto, foi diferente para cada herbicida. O glyphosate requereu um intervalo mínimo livre de chuvas após a sua aplicação, maior que o sulfosate, para apresentar efeito tóxico semelhante à testemunha que recebeu o herbicida e não recebeu chuva (Quadro 2). Enquanto o glyphosate necessitou de um período mínimo de cinco horas, entre a sua aplicação e uma chuva simulada de 15 mm, para o sulfosate, um intervalo de uma hora já foi suficiente. Sob lâmina de chuva de 30 mm, o glyphosate e o sulfosate foram menos eficientes, mesmo com a chuva ocorrendo após seis horas da aplicação, que a testemunha sem chuva e com herbicida. Os dados de biomassa seca da rebrota (Quadro 3) e a análise da toxicidade dos herbicidas (Quadro 4) confirmam menor sensibilidade do sulfosate à lavagem pela chuva em relação ao glyphosate.

Uma lâmina de chuva de 15 mm promoveu menor interferência sobre o efeito de ambos os herbicidas, comparada à lâmina de 30 mm, em todos os intervalos de tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuva (Quadros 5, 6, 7, 8, 9 e 10, Figuras 4(a) e 4(b)).

Nas Figuras 4(a) e 4(b), é possível verificar que com o aumento do intervalo de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a simulação de chuva, a toxicidade do glyphosate e do sulfosate sobre as plantas de *B. brizantha* foi maior. Mas, comparando-se o efeito dos herbicidas, em cada intervalo de tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuva (Quadro 5), verifica-se que, sob chuva de 15 mm, o glyphosate foi menos eficiente e, conseqüentemente, mais lavado que o sulfosate, em todos os intervalos de tempo, à exceção do intervalo de seis horas, em que ambos os herbicidas apresentaram comportamento semelhante. Sob chuva de 30 mm, o controle de *B. brizantha* mostrou tendência de ser maior com a aplicação do sulfosate que com o glyphosate (Quadro 5). Estes resultados podem ser confirmados pela biomassa seca da rebrota, em que, de modo geral, tanto sob uma lâmina de chuva de 15 quanto de 30 mm, nos intervalos de tempo em que se observou rebrota, a aplicação do sulfosate resultou em menores valores de biomassa, em comparação à aplicação do glyphosate (Quadro 6, Figura 4 (c) e 4 (d)).

Quadro 4 – Toxicidade (%) de 1,44 kg/ha do glyphosate e do sulfosate, em *Brachiaria brizantha*, crescida sem estresse hídrico, aos 30 dias após aplicação

Intervalo de Tempo (h)	Lâmina de Chuva (mm)							
	15				30			
	Glyphosate		Sulfosate		Glyphosate		Sulfosate	
0	3,3	(-)	7,8	(-)	3,0	(-)	3,0	(-)
1	10,5	(-)	100,0		31,3	(-)	78,8	(-)
2	85,0	(-)	100,0		38,8	(-)	83,3	(-)
3	98,0		100,0		85,8	(-)	86,3	(-)
4	97,0		100,0		87,0	(-)	97,8	
5	97,0		100,0		88,5	(-)	96,3	
6	100,0		100,0		93,8		98,4	
TCHSC	100,0		100,0		100,0		100,0	
DMS	10,1		7,0		10,1		7,0	

TCHSC – testemunha com herbicida e sem chuva; DMS – diferença mínima significativa.

Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

Quadro 5 - Médias da biomassa seca das plantas de *Bracharia brizantha*, crescidas sem estresse hídrico, colhidas aos 30 dias após aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate (Gly) e do sulfosate (Sulf)

Lâmina de Chuva (mm)	Intervalo de Tempo (h)																				
	0			1			2			3			4			5			6		
	Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf	
15	16,2 b A	9,7 b B	4,8 b A	0,0 b B	0,0 b B	5,2 b A	0,0 b B	2,6 b A	0,0 b B	2,4 b A	0,0 b B	0,0 b B	3,0 b A	0,0 b B	0,0 b B	0,0 b B	0,0 b B	0,0 b A	0,0 b A	0,0 b A	0,0 b A
30	18,0 a A	16,9 a B	8,0 a A	8,1 a A	4,2 a B	7,1 a A	4,8 a A	5,0 a A	5,2 a A	5,2 a A	3,5 a B	3,4 a A	4,5 a A	3,4 a A	4,5 a A	4,5 a A	3,4 a A	2,1 a B	2,1 a B	2,1 a B	2,1 a B

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 6 - Médias da biomassa seca da rebrota das plantas de *Bracharia brizantha*, crescidas sem estresse hídrico até o momento da aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate (Gly) e do sulfosate (Sul), colhidas aos 45 dias após o corte

Lâmina de Chuva (mm)	Intervalo de Tempo (h)																				
	0			1			2			3			4			5			6		
	Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf		Gly	Sulf	
15	10,2 b B	15,0 a A	9,6 b A	0,0 b B	0,0 b B	6,9 b A	0,0 b B	0,0 b A	0,0 b A	0,0 b A	0,0 b A	0,0 b A	0,0 a A	0,0 b A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A
30	11,9 a A	10,6 b B	12,3 a A	10,5 a B	9,6 a A	8,4 a B	3,8 a B	6,4 a A	3,8 a A	3,8 a B	6,4 a A	1,5 a A	0,0 a B	1,5 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 7 – Médias da biomassa seca das plantas de *Brachiaria brizantha*, colhidas aos 30 dias após a aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate

Lâmina de Chuva (mm)	Intervalo de Tempo (h)													
	0		1		2		3		4		5		6	
	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360
	Umidade do Solo (kg/Pa)													
	Biomassa Seca (g)													
15	16,2 b A	6,8 a B	4,8 b A	3,5 a A	5,2 b A	3,0 a B	2,6 b A	1,7 a A	2,4 b A	1,5 a A	3,0 b A	2,2 a A	0,0 b B	1,5 a A
30	18,0 a A	6,5 a B	8,0 a A	3,6 a B	7,1 a A	3,0 a B	4,8 a A	2,7 a B	5,2 a A	2,3 a B	4,5 a A	2,0 a B	4,5 a A	1,6 a B

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 8 – Médias da biomassa seca da rebrota das plantas de *Brachiaria brizantha*, em que foi aplicado de 1,44 kg/ha do glyphosate, aos 45 dias após o corte

Lâmina de Chuva (mm)	Intervalo de Tempo (h)													
	0		1		2		3		4		5		6	
	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360
	Umidade do Solo (kg/Pa)													
	Biomassa Seca (g)													
15	10,2 b B	15,2 a A	9,6 b B	12,8 a A	6,9 b B	12,2 a A	0,0 b B	8,5 b A	0,0 a B	2,4 b A	0,0 a B	2,2 b A	0,0 a A	1,2 a A
30	11,9 a A	12,6 b A	12,3 a A	12,3 a A	8,4 a B	11,7 a A	3,8 a B	13,5 a A	0,0 a B	9,0 a A	0,0 a B	8,7 a A	0,0 a A	0,0 a A

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 9 - Médias da biomassa seca das plantas de *Bracharia brizantha*, colhidas aos 30 dias após a aplicação de 1,44 kg/ha do sulfosate

Lâmina de Chuva (mm)	Intervalo de Tempo (h)																				
	0			1			2			3			4			5			6		
	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360			
	Umidade do Solo (kg/Pa)																				
	Biomassa seca (g)																				
15	9,7 b A	6,3 b B	0,0 b B	2,3 a A	0,0 b B	2,0 a A	0,0 b B	1,8 a A	0,0 b B	1,4 a A	0,0 b B	1,0 b A	0,0 b B	1,0 b A	0,0 b B	0,0 b B	0,0 b B	1,3 a A	1,3 a A		
30	16,9 a A	8,7 a B	8,1 a A	2,6 a B	4,2 a A	1,9 a B	5,0 a A	2,0 a B	3,5 a A	2,1 a B	3,4 a A	2,4 a B	2,1 a A	2,4 a B	2,1 a A	1,3 a B	1,3 a B	1,3 a B	1,3 a B		

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 10 - Médias da biomassa seca da rebrota das plantas de *Bracharia brizantha*, em que foi aplicado de 1,44 kg/ha o sulfosate, aos 45 dias após o corte

Lâmina de Chuva (mm)	Intervalo de Tempo (h)																				
	0			1			2			3			4			5			6		
	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360	10	360			
	Umidade do Solo (kg/Pa)																				
	Biomassa Seca (g)																				
15	15,0 a A	14,2 a A	0,0 b B	7,9 b A	0,0 b B	8,0 a A	0,0 b B	6,5 a A	0,0 b B	4,9 a A	0,0 b B	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	0,0 a A	1,1 a A	1,1 a A		
30	10,6 b A	11,5 b A	10,5 a A	9,8 a A	9,6 a A	1,5 b B	6,4 a A	2,3 b B	1,5 a B	3,7 a A	1,5 a B	0,0 a B	1,9 a A	0,0 a B	1,9 a A	0,0 a B	1,7 a A	1,7 a A	1,7 a A		

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

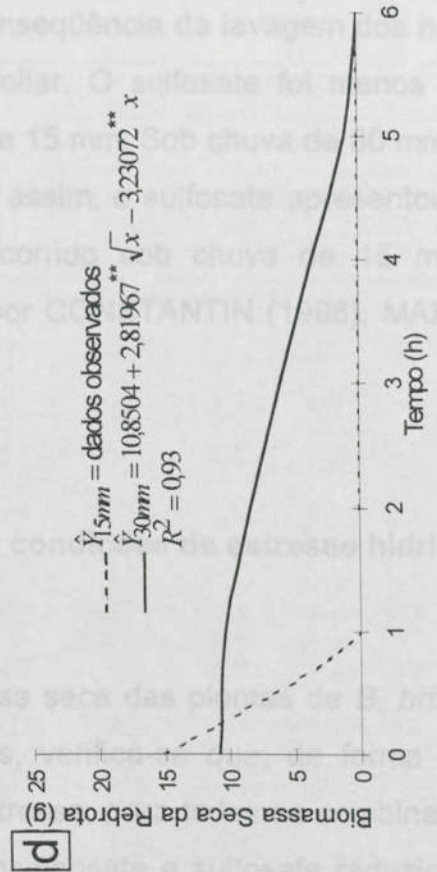
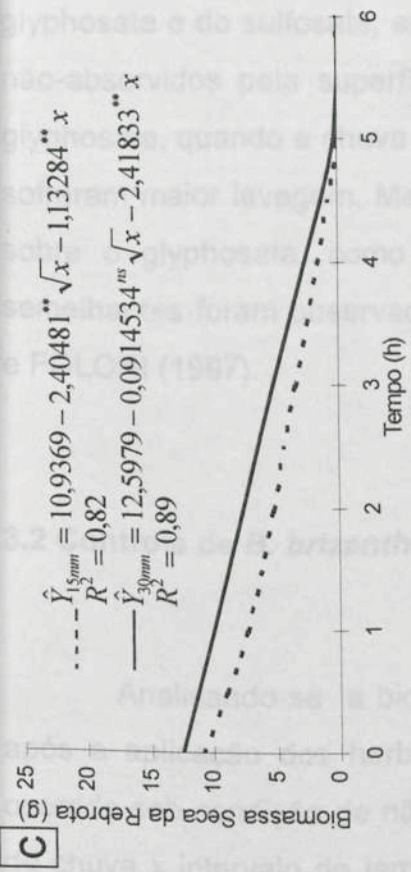
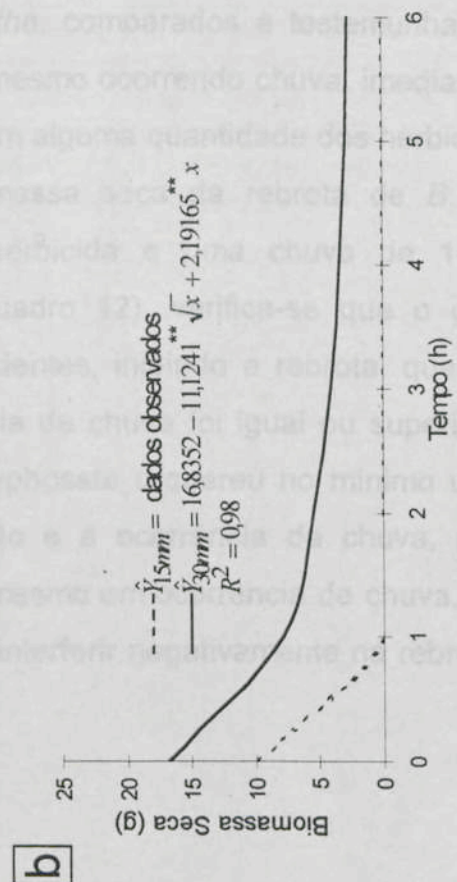
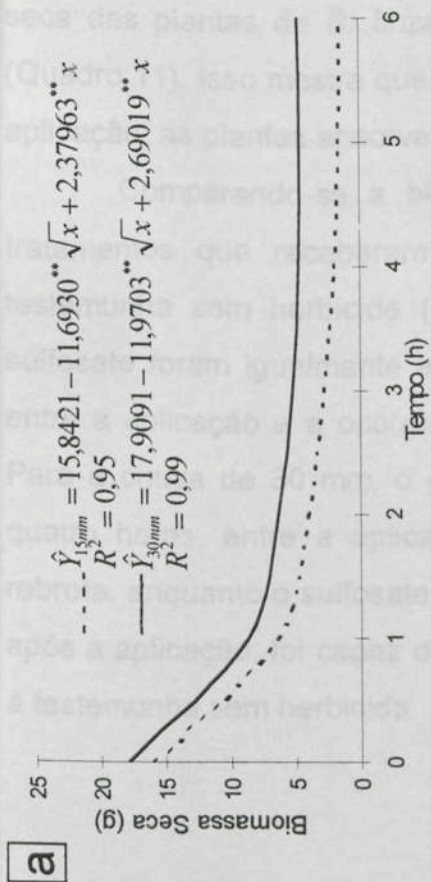


Figura 4 – Efeito de duas lâminas e seis intervalos de ocorrência de chuva simulada na atividade do glyphosate (a e c) e do sulfosate (b e d), avaliados aos 30 dias após aplicação (1o corte) e aos 45 dias (rebrota), em plantas de Brachiaria brizantha, cultivadas em solo sem estresse hídrico.

Com base nesses resultados, conclui-se que o intervalo de tempo e a quantidade de chuva, após aplicação dos herbicidas, reduzem a eficiência do glyphosate e do sulfosate, em consequência da lavagem dos herbicidas ainda não-absorvidos pela superfície foliar. O sulfosate foi menos afetado que o glyphosate, quando a chuva foi de 15 mm. Sob chuva de 30 mm, os herbicidas sofreram maior lavagem. Mesmo assim, o sulfosate apresentou superioridade sobre o glyphosate, como o ocorrido sob chuva de 15 mm. Resultados semelhantes foram observados por CONSTANTIN (1996), MAROCHI (1996a) e FOLONI (1997).

3.2 Controle de *B. brizantha* em condições de estresse hídrico

Analisando-se a biomassa seca das plantas de *B. brizantha*, 30 dias após a aplicação dos herbicidas, verifica-se que, de forma semelhante ao ocorrido sob condição de não-estresse, para todas as combinações de lâmina de chuva x intervalo de tempo, glyphosate e sulfosate reduziram a biomassa seca das plantas de *B. brizantha*, comparados à testemunha sem herbicida (Quadro 11). Isso mostra que, mesmo ocorrendo chuva, imediatamente após a aplicação, as plantas absorveram alguma quantidade dos herbicidas.

Comparando-se a biomassa seca da rebrota de *B. brizantha* dos tratamentos que receberam herbicida e uma chuva de 15 mm, com a testemunha sem herbicida (Quadro 12), verifica-se que o glyphosate e o sulfosate foram igualmente eficientes, inibindo a rebrota, quando o intervalo entre a aplicação e a ocorrência de chuva foi igual ou superior a uma hora. Para a chuva de 30 mm, o glyphosate requereu no mínimo um intervalo de quatro horas, entre a aplicação e a ocorrência da chuva, para impedir a rebrota, enquanto o sulfosate, mesmo em ocorrência de chuva, imediatamente após a aplicação, foi capaz de interferir negativamente na rebrota, comparado à testemunha sem herbicida.

Quadro 11 – Médias da biomassa seca das plantas de *Brachiaria brizantha* crescidas sob estresse hídrico até a aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate e do sulfosate, colhidas aos 30 dias após a aplicação

Intervalo de Tempo (h)	Lâmina de Chuva (mm)											
	15					30						
	Glyphosate		Sulfosate			Glyphosate		Sulfosate				
	1/	2/	1/	2/	1/	2/	1/	2/	1/	2/		
0	6,8	(-)	(+)	6,3	(-)	(+)	6,5	(-)	(+)	8,7	(-)	(+)
1	3,5	(-)	(+)	2,3	(-)	(+)	3,6	(-)	(+)	2,6	(-)	(+)
2	3,0	(-)	(+)	2,0	(-)	(+)	3,0	(-)	(+)	1,9	(-)	(+)
3	1,7	(-)	(+)	1,8	(-)	(+)	2,7	(-)	(+)	2,0	(-)	(+)
4	1,5	(-)	(+)	1,4	(-)	(+)	2,3	(-)	(+)	2,1	(-)	(+)
5	2,2	(-)	(+)	1,0	(-)		2,0	(-)	(+)	2,4	(-)	(+)
6	1,5	(-)	(+)	1,3	(-)	(+)	1,6	(-)	(+)	1,3	(-)	(+)
TSHCC	10,8			12,5			11,6			14,7		
TCHSC	0,0			0,0			0,0			0,0		
DMS	1,0			1,0			1,0			1,0		

TSHCC – testemunha sem herbicida e com chuva; TCHSC – testemunha com herbicida e sem chuva; DMS – diferença mínima significativa.

1/ - em relação à testemunha sem herbicida e com chuva (TSHCC).

2/ - em relação à testemunha com herbicida e sem chuva (TCHSC).

Médias seguidas por (-) e (+) foram, respectivamente, inferiores ou superiores à testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

Quadro 12 – Médias da biomassa seca da rebrota das plantas de *Brachiaría brizantha*, crescidas sem estresse hídrico até a aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate e sulfosate, colhidas aos 45 dias após o corte

Intervalo de Tempo (h)	Lâmina de Chuva (mm)											
	15				30							
	Glyphosate		Sulfosate		Glyphosate		Sulfosate					
	Biomassa Seca (g)											
	1/	2/	1/	2/	1/	2/	1/	2/				
0	15,2	(+)	14,2	(+)	12,6	(+)	11,5	(-)	(+)			
1	12,8	(-)	(+)	7,9	(-)	(+)	12,3	(+)	9,8	(-)	(+)	
2	12,2	(-)	(+)	8,0	(-)	(+)	11,7	(+)	1,5	(-)		
3	8,5	(-)	(+)	6,5	(-)	(+)	13,5	(+)	2,3	(-)	(+)	
4	2,4	(-)	(+)	4,9	(-)	(+)	9,0	(-)	(+)	3,7	(-)	(+)
5	2,2	(-)	(+)	0,9	(-)		8,7	(-)	(+)	1,9	(-)	
6	1,2	(-)		1,1	(-)		0,0	(-)		1,7	(-)	
TSHCC	17,3		14,4		12,3		14,0					
TCHSC	0,0		0,0		0,0		0,0					
DMS	2,1		2,1		2,1		2,1					

TSHCC – testemunha sem herbicida e com chuva; TCHSC – testemunha com herbicida e sem chuva; DMS – diferença mínima significativa.

1/ - em relação à testemunha sem herbicida e com chuva (TSHCC).

2/ - em relação à testemunha com herbicida e sem chuva (TCHSC).

Médias seguidas por (-) e (+) foram, respectivamente, inferiores ou superiores à testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

Ambas as chuvas, de 15 e de 30 mm, interferiram negativamente na eficiência dos herbicidas, comparando-se à testemunha, que recebeu herbicida e não recebeu chuva, pois todas as combinações intervalo de tempo x lâmina de chuva resultaram em biomassa seca, aos 30 dias após a aplicação, superior à testemunha (Quadro 11). Os dados de biomassa seca da rebrota (Quadro 12) e análise da toxicidade dos herbicidas (Quadro 13), confirmam a sensibilidade dos herbicidas à lavagem pelas chuvas. Entretanto, uma inibição da rebrota, em relação à testemunha, foi verificada quando chuvas de 15 e 30 mm, ocorreram, respectivamente, cinco e seis horas após a aplicação dos herbicidas (Quadro 12).

Considerando-se a biomassa seca das plantas, aos 30 dias após aplicação, verifica-se que, de forma semelhante ao ocorrido sob condição de não-estresse, o aumento do intervalo de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a simulação de chuva proporcionou aumento da atividade do glyphosate e do sulfosate (Figuras 5(a) e 5(b)). Entretanto, as lâminas de chuva aplicadas, de modo geral, não diferiram quanto aos seus efeitos na lavagem dos herbicidas, com alguma tendência, apenas de menor interferência da lâmina de 15 mm sobre a eficiência dos herbicidas (Quadros 14, 7 e 9). Nota-se, também, que os herbicidas, em cada intervalo de tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuva, comportaram-se de maneira quase semelhante sob as duas lâminas estudadas (Quadro 14, Figuras 5(a) e 5(b)). Nos intervalos de tempo em que houve diferenças na eficiência dos herbicidas, o sulfosate mostrou melhor controle da *B. brizantha* (Quadro 14). Os dados da biomassa seca da rebrota, aos 45 dias após o corte, confirmam esses resultados (Quadros 15, 8 e 10, Figuras 5(c) e 5(d)). Deve-se ressaltar, no entanto, que, a partir de três horas de intervalo, a lâmina de 15 mm resultou em menor lavagem do glyphosate que a de 30 mm, enquanto o comportamento do sulfosate não foi alterado com a variação da lâmina de chuva (Quadro 15). De acordo com esses resultados, conclui-se que, sob condição de estresse, apenas o fator intervalo de tempo após aplicação dos herbicidas, exerceu efeito na eficiência do glyphosate e do sulfosate. O efeito da chuva foi mais pronunciado que o verificado sob condições de não-estresse, pois ambas as lâminas promoveram maior lavagem dos herbicidas. Embora não de forma tão

evidente, quanto ao observado para a condição de não-estresse, as plantas absorveram e translocaram mais rapidamente o sulfosate que o glyphosate, ficando o sulfosate menos sujeito às perdas por lavagem, principalmente em menores intervalos de tempo entre a aplicação e a ocorrência da chuva.

Quadro 13 – Toxicidade (%) de 1,44 kg/ha de glyphosate e de sulfosate, em *Brachiaria brizantha*, crescida sob estresse hídrico, aos 30 dias após a aplicação

Intervalo de Tempo (h)	Lâmina de chuva (mm)							
	15				30			
	Glyphosate		Sulfosate		Glyphosate		Sulfosate	
0	5,0	(-)	7,0	(-)	2,0	(-)	2,0	(-)
1	10,5	(-)	28,3	(-)	7,0	(-)	15,0	(-)
2	13,8	(-)	32,8	(-)	13,5	(-)	36,3	(-)
3	22,0	(-)	35,0	(-)	21,3	(-)	32,5	(-)
4	28,8	(-)	42,5	(-)	14,0	(-)	32,5	(-)
5	50,0	(-)	62,5	(-)	21,8	(-)	33,3	(-)
6	83,0	(-)	78,8	(-)	74,3	(-)	48,8	(-)
TCHSC	100,0		100,0		100,0		100,0	
DMS	10,1		16,4		10,1		16,4	

TCHSC – testemunha com herbicida e sem chuva; DMS – diferença mínima significativa.

Médias seguidas por (-) foram inferiores à testemunha, a 5% de probabilidade, pelo teste de Dunnett.

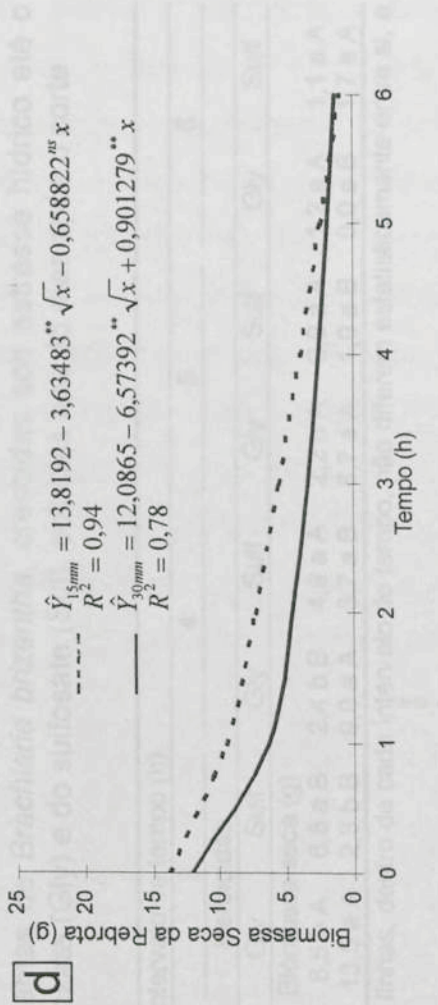
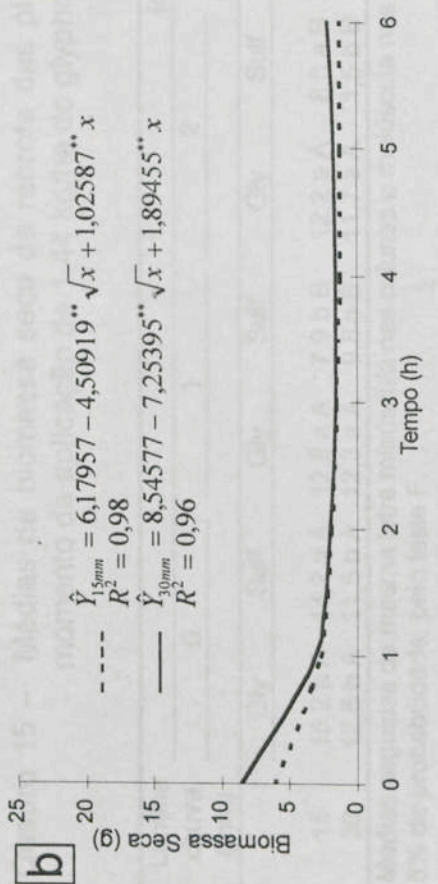
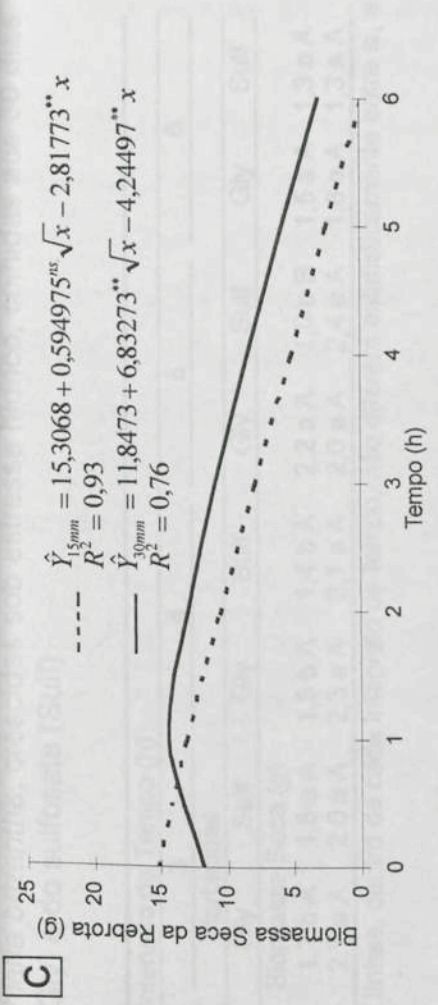
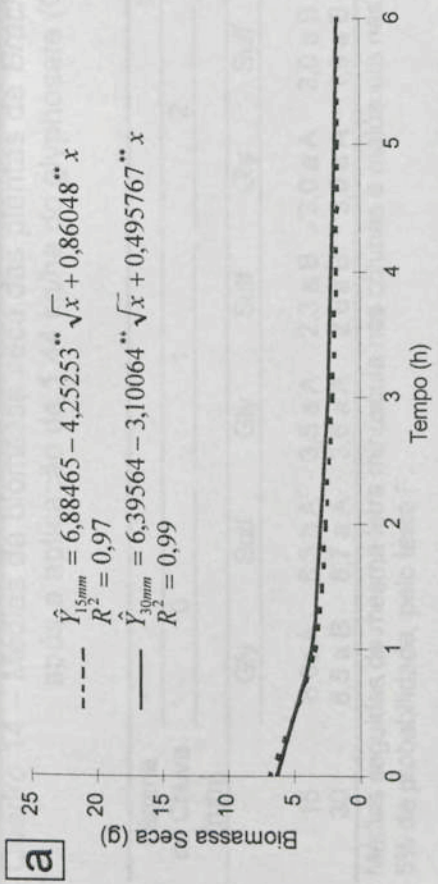


Figura 5 – Efeito de duas lâminas e seis intervalos de ocorrência de chuva simulada na atividade do glyphosate (a e c) e do sulfosate (b e d), avaliados aos 30 dias após aplicação (1o. corte) e aos 45 dias (rebrota), em plantas de Brachiaria brizantha, cultivadas sob estresse hídrico.

Quadro 14 – Médias da biomassa seca das plantas de *Brachiaria brizantha*, crescidas sob estresse hídrico, colhidas aos 30 dias após a aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate (Gly) e do sulfosate (Sulf)

Lâmina de Chuva (mm)	Intervalo de Tempo (h)																				
	0			1			2			3			4			5			6		
	Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas					
	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	
15	6,8aA	6,3bA	3,5aA	2,3aB	3,0aA	2,0aB	1,7bA	1,8aA	1,5bA	1,4bA	1,4bA	1,4bA	2,2aA	2,2aA	1,0bB	1,0bB	1,5aA	1,5aA	1,3aA	1,3aA	
30	6,5aB	8,7aA	3,6aA	2,6aB	3,0aA	1,9aB	2,7aA	2,0aA	2,3aA	2,1aA	2,3aA	2,0aA	2,0aA	2,4aA	2,4aA	1,6aA	1,6aA	1,3aA	1,3aA	1,3aA	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

Quadro 15 – Médias da biomassa seca da rebrota das plantas de *Brachiaria brizantha*, crescidas sob estresse hídrico até o momento da aplicação de 1,44 kg/ha do glyphosate (Gly) e do sulfosate (Sul), colhidas aos 45 dias após o corte

Lâmina chuva (mm)	Intervalo de tempo (h)																				
	0			1			2			3			4			5			6		
	Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas			Herbicidas					
	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	Gly	Sulf	
15	15,2aA	14,2aA	12,8aA	7,9bB	12,2aA	8,0aB	8,5bA	6,5aB	2,4bB	4,9aA	4,9aA	2,2bA	2,2bA	0,9aA	0,9aA	1,2aA	1,2aA	1,1aA	1,1aA	1,1aA	
30	12,6bA	11,5bA	12,3aA	9,8aB	11,7aA	1,5bB	13,5aA	2,3bB	9,0aA	3,7aB	3,7aB	8,7aA	8,7aA	1,9aB	1,9aB	0,0aB	0,0aB	1,7aA	1,7aA	1,7aA	

Médias seguidas de mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, dentro de cada intervalo de tempo, não diferem estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste F.

As plantas que cresceram sob estresse hídrico apresentaram maior rebrota em relação às plantas sem estresse (Quadros 8 e 10 e Figura 6). Sob condição de estresse, as plantas apresentaram, no momento da aplicação dos herbicidas, menor área foliar, folhas enroladas, baixa taxa fotossintética e transpiratória e alta resistência estomática (Capítulo 1). Tais alterações podem ter contribuído para menor absorção e translocação dos herbicidas, para regiões meristemáticas da planta, pois esses produtos são conhecidos por moverem-se pelo floema, com o fluxo de fotoassimilados (KLEVORN e WYSE, 1984, STUART, et al., 1985), sendo suas eficiências associadas à atividade fotossintética da planta (SPRANKLE et al. 1975, KING e RADOSEVICH. 1985).

Os resultados também evidenciaram que chuva, imediatamente após a aplicação do glyphosate e do sulfosate, praticamente elimina a atividade dos mesmos, no controle de *B. brizantha*.

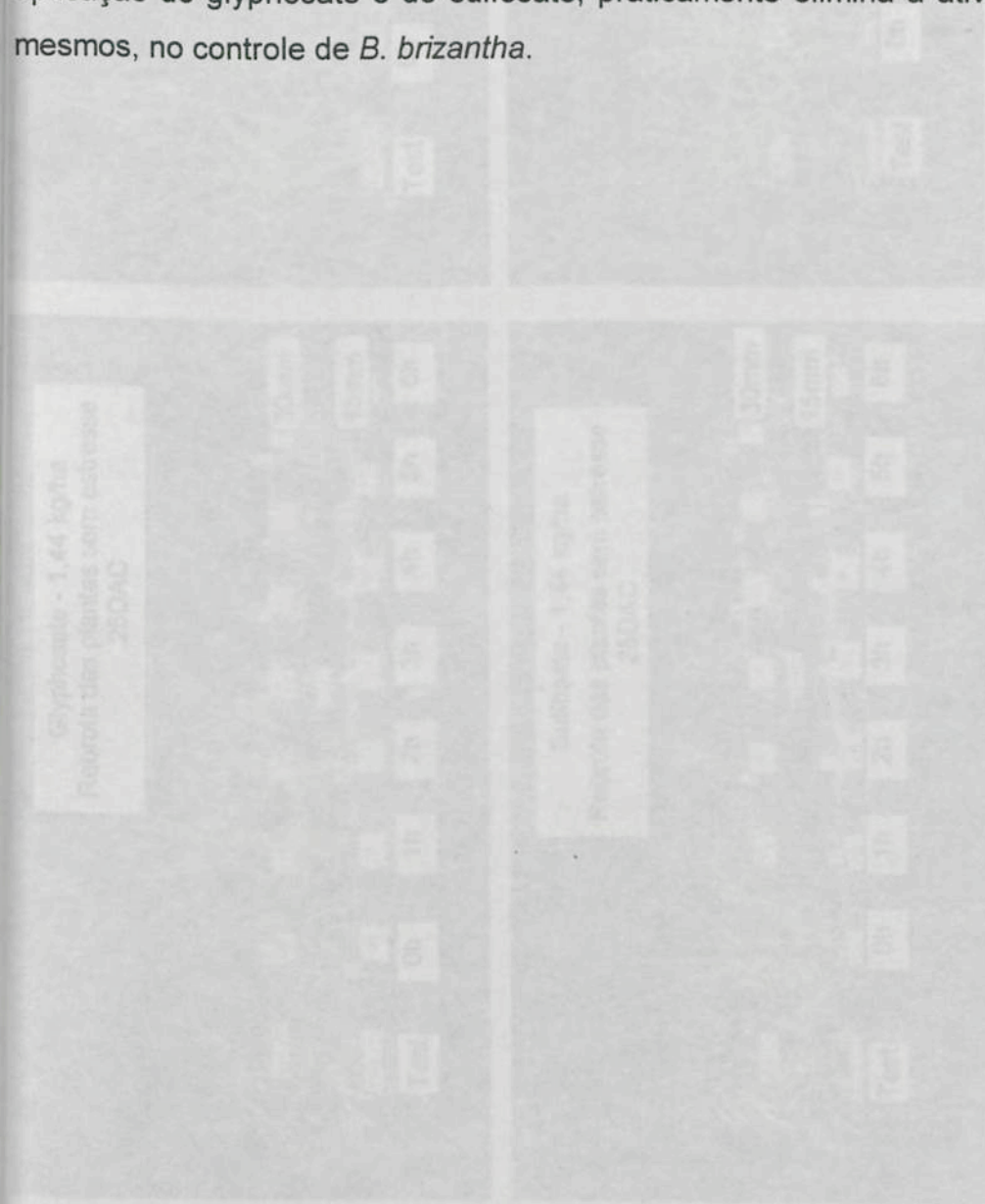


Figura 6 – Rebrotas das plantas de *Brachiaria brizantha*, aos 25 dias após o corte (DA)



Figura 6 – Rebrota das plantas de *Brachiaria brizantha*, aos 25 dias após o corte (DAC).

4. CONCLUSÕES

As plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sob condições ótimas de umidade do solo, foram mais bem controladas por ambos os herbicidas, glyphosate e sulfosate, e apresentaram menor rebrota que as plantas cultivadas sob estresse hídrico.

A lâmina de 30 mm de chuva promoveu maior lavagem dos herbicidas que a lâmina de 15 mm, para ambas as condições de umidade do solo.

Chuva imediatamente após a aplicação praticamente anulou o efeito de ambos os herbicidas, sendo a rebrota semelhante à testemunha sem herbicida, enquanto o aumento no intervalo de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a simulação de chuva aumentou o controle das plantas de *B. brizantha*.

O glyphosate, quando aplicado em plantas sem estresse, necessitou de um período livre de chuva, maior que o exigido pelo sulfosate, para apresentar efeito tóxico semelhante à testemunha com herbicida e sem chuva. De maneira geral, o glyphosate foi mais lavado que o sulfosate.

Em plantas sob estresse hídrico, o comportamento dos herbicidas foi semelhante.

CAPÍTULO 3

RESÍDUOS DE GLYPHOSATE E SULFOSATE NA ÁGUA, APÓS A SIMULAÇÃO DE CHUVA

1. INTRODUÇÃO

Em alguns sistemas de manejo, a chuva pode interferir na eficiência de herbicidas aplicados em pós-emergência. Uma chuva rápida e de pequena intensidade, em alguns casos, pode ser benéfica, proporcionando um reumedecimento da gota e, ou, uma melhor redistribuição do herbicida na planta, aumentando, assim, a eficiência do produto (MALEFYT e QUAKENBUSH, 1991). Entretanto, de modo geral, chuva logo após a aplicação reduz sua toxicidade, devido à lavagem dos herbicidas ainda não-absorvidos pela superfície foliar (BRYSON, 1987 e ANDERSON et al., 1993). Esse movimento dos herbicidas para fora de seus alvos de ação e seus impactos no ambiente têm-se tornado uma preocupação para os pesquisadores.

O glyphosate N-(fosfometil)glicina e o sulfosate N-(fosfometil)glicina-trimetilsulfônico são herbicidas sistêmicos, não-seletivos e seus mecanismos de ação baseiam-se na interrupção da rota do ácido

shikímico, responsável pela produção dos aminoácidos aromáticos essenciais, fenilalanina, tirosina e triptofano. Reduções na síntese desses aminoácidos levam à menor síntese de proteínas e subseqüentemente ao menor crescimento da planta (COLE et al., 1983 e HESS, 1994 b). O glyphosate é bastante usado na agricultura, principalmente em sistemas de plantio direto, em ambientes aquáticos, renovação ou eliminação de pastagens, controle de plantas daninhas em pomares, seringueira, café e seringueira, e em áreas não-agrícolas. Alguns trabalhos mostram que ele pode ser facilmente lavado da superfície foliar das plantas daninhas, pela chuva ou água de irrigação (SPRANKLE et al., 1975 e BRYSON, 1987, 1988). Essa perda poderá ser maior se a planta daninha estiver sob condição de estresse hídrico (LAURIDSON e CLAY, 1983; MARSHALL et al., 1987 e DICKSON et al., 1990). O sulfosate, introduzido na Espanha em 1989, apresenta comportamento semelhante ao do glyphosate (BANKS e BUNDSCHUH, 1989; AHRENS, 1994; SCHRADER, 1992; FOLONI, 1996 e LEITE, 1996). Entretanto, alguns estudos mostram que há menor interferência da chuva na lavagem do mesmo, comparado ao glyphosate (CONSTANTIN, 1996; MAROCHI, 1996a). Verifica-se, portanto, que esses herbicidas podem ser arrastados pela água e apresentar problemas de contaminação do ambiente terrestre e aquático.

Essa preocupação, em relação ao potencial de contaminação do ambiente pelos herbicidas, mesmo em quantidades muito pequenas, tem levado os pesquisadores a desenvolverem metodologias capazes de identificar e quantificar os resíduos de tais produtos. Uma maneira simples e versátil para esse monitoramento são os bioensaios.

A técnica do bioensaio é baseada na resposta biológica de um organismo vivo, plantas superiores ou microrganismos, a um determinado princípio ativo ou ainda a metabólitos, determinando a presença e, ou, concentração de um composto químico em um substrato (STREIBIG, 1988; SANTELMANN, 1977 e HOROWITZ, 1976). Segundo HOROWITZ (1976), os bioensaios são limitados no alcance e na aplicabilidade, uma vez que medem os resíduos biologicamente ativos do herbicida, não diferenciando entre composto padrão e metabólitos bioativos.

É essencial que, em cada bioensaio, os tratamentos com herbicida sejam comparados com tratamentos-controle sem herbicidas e com curvas de doses-resposta ou curva-padrão, para que haja correta interpretação dos dados (MARRIAGE, 1975; HOROWITZ 1976 e STREIBIG, 1988). Essa curva doses-resposta ou padrão é então usada para estimar a quantidade de herbicida em uma amostra, baseando-se na resposta do organismo-teste na própria amostra (NYFFLER et al., 1982).

O tomateiro é uma das plantas mais utilizadas como bioindicadora de resíduo do glyphosate (RICHARDSON, 1985, CORNISH, 1992). Para o sulfosate, no entanto, não se tem, na literatura, nenhum indicativo de qual seria a melhor planta-teste, mas, por esse herbicida pertencer ao mesmo grupo químico e apresentar mecanismo de ação igual ao do glyphosate, será utilizada neste estudo a mesma planta-teste empregada para o glyphosate.

O objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de bioensaios, os resíduos de glyphosate e sulfosate em água coletada após a simulação de chuva sobre plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sem estresse e sob estresse hídrico.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Determinação da curva de doses-resposta

Inicialmente, foram realizados vários ensaios em casa de vegetação, até se obterem os intervalos ideais de doses para o estudo dos herbicidas, utilizando-se como planta-teste o tomateiro (*Lycopersicon esculentum* var. Santa Clara). As curvas-padrão ou doses-resposta foram determinadas a partir de doses conhecidas dos herbicidas e calculadas, empregando-se uma progressão geométrica, utilizando-se a seguinte expressão:

$$dn = \frac{dx}{q^{N-(n-1)}},$$

em que

dx = dose máxima;

q = razão da progressão geométrica; para $q \geq 2$;

N = número de termos a interpolar; e

$n = 1, 2, 3, \dots, N$.

As doses empregadas para o glyphosate foram 0; 32; 64; 128; 256; 512 $\mu\text{g L}^{-1}$ e para o sulfosate 0; 64; 128; 256; 512 e 1024 $\mu\text{g L}^{-1}$.

Os ensaios foram conduzidos em vasos com 1,5 L de solução nutritiva de Hoagland (HOAGLAND e ARNON, 1938), modificada para metade na dose de ferro, e corrigida para pH $5,7 \pm 0,2$, sob arejamento constante. Essa solução foi preparada com água desmineralizada.

As sementes de tomate foram semeadas em areia lavada e cultivadas até o surgimento do primeiro par de folha definitiva, correspondendo a aproximadamente 10 dias após a semeadura, sendo as mudas selecionadas, lavadas e imediatamente transplantadas, duas para cada vaso. Após 12 h do transplântio, os herbicidas foram adicionados à solução nutritiva. Para ambos os herbicidas, foi preparada uma solução com $48 \mu\text{g.g}^{-1}$ de cada produto, retirando-se as seguintes alíquotas: 1, 2, 4, 8 e 16 mL, para o glyphosate; e 2, 4, 8, 16 e 32 mL, para o sulfosate, e adicionando-as aos vasos contendo 1,5 L de solução nutritiva. Para ambos os ensaios, empregou-se o delineamento inteiramente casualizado, com cinco repetições.

A colheita das plantas foi realizada 20 dias após o transplântio, não tendo sido feita, durante esse período, troca da solução nutritiva, apenas a reposição da água consumida e o ajuste do pH da solução para $5,7 \pm 0,2$, aos 10 dias após o transplântio.

As características avaliadas foram comprimento de raiz, biomassa seca da parte aérea, das raízes e total. A biomassa seca foi obtida após secagem em estufa, com ventilação forçada a 70°C , até atingir peso constante.

2.2. Determinação do resíduo dos herbicidas na água

Sementes de *B. brizantha* foram semeadas em caixas plásticas (40 x 30 x 10 cm), contendo uma camada de 10 cm de solo. As caixas foram mantidas em casa de vegetação. Vinte dias após a semeadura, fez-se o desbaste, deixando-se, em cada caixa, 30 plantas uniformemente distribuídas.

As plantas foram cultivadas durante 50 dias em solo com umidade em torno de 80% da capacidade de campo. Ao final desse período, as caixas foram divididas em dois lotes. No primeiro lote, as plantas foram mantidas com a mesma umidade no solo, ou seja, 80% da capacidade de campo, e no outro lote as plantas foram submetidas a déficit hídrico crescente durante cinco dias, mediante suspensão da irrigação.

Aos 55 dias da sementeira, época em que as plantas de *B. brizantha* apresentavam três perfilhos, o glyphosate e o sulfosate foram aplicados na dose de 1,44 kg/ha. Nessa época, as plantas mantidas sob estresse hídrico apresentavam-se com as folhas murchas e enroladas.

Após receber o herbicida, toda parte aérea das plantas foi cortada em nível do solo nos seguintes intervalos de tempo após aplicação: 0, 2, 4 e 6 h. A quantidade de material vegetal cortado após cada intervalo de tempo foi 985 g.

Em seguida, o material vegetal foi submetido a uma chuva simulada de 53 mm.h⁻¹, por um período de 15 min. Ao final desse período, coletou-se toda a água da chuva simulada, correspondendo a 11 L de água, que foi então utilizada nos bioensaios, empregando-se o tomate var. Santa Clara, como planta-teste.

Para se determinarem as alíquotas de água coletada (lixiviado) a serem usadas nos bioensaios, realizaram-se ensaios preliminares, chegando-se às alíquotas 0; 30; 60; 90 e 120 mL, que foram, então, adicionadas aos vasos, completando-se o volume com solução nutritiva para 1,5 L. Essas alíquotas corresponderam a 0; 2; 4; 6 e 8% do lixiviado/vaso.

A partir dessa etapa, empregou-se a mesma metodologia descrita para a obtenção da curva-padrão. No estudo do lixiviado, avaliou-se apenas a característica comprimento de raiz.

2.3. Análise estatística

Para a interpretação dos resultados, fez-se a análise de variância dos dados e, em seguida, a análise de regressão, tendo como variável

independente as doses dos herbicidas e como variáveis dependentes as características analisadas na planta-teste.

A curva de doses-resposta, tanto para o bioensaio da curva-padrão quanto para a curva do lixiviado, foi descrita pelo modelo de regressão não-linear. O modelo escolhido foi o logístico, que descreve a relação entre a resposta da planta (Y) e a dose do herbicida (X) pela seguinte expressão:

$$Y = \frac{a}{1 + \left[\frac{X}{b}\right]^c},$$

em que

a = limite superior;

b = dose que inibe metade do crescimento (I_{50}); e

c = declividade da curva em torno do I_{50} .

A escolha desse modelo estatístico baseou-se em várias pesquisas que mostram que este é o melhor modelo para explicar a relação dose do herbicida/resposta da planta (STREIBIG et al., 1993; SEEFELDT et al., 1995; STORK e HANNAH, 1996; ZHANG et al., 1997; SOUZA, 1998).

Para se obter essa equação, foi necessário estimar os parâmetros a, b e c, empregando o software EXCEL e, em seguida, utilizar o modelo de Gauss-Newton do software SAEG (1997), para o cálculo dos coeficientes da equação.

A determinação do I_{50} , índice que indica a dose requerida para reduzir metade do crescimento da planta-teste, foi obtido diretamente na equação de regressão.

2.4. Determinação da quantidade biologicamente ativa dos herbicidas

Após determinar o I_{50} dos herbicidas na curva-padrão e na curva do lixiviado, foi calculada a quantidade biologicamente ativa dos herbicidas (QBA) na amostra, pela expressão:

$$QBA (\mu\text{g L}^{-1}) = \frac{I_{50\text{cp}} \cdot V_{\text{lx}}}{\frac{I_{50\text{lx}}}{100} \cdot V_{\text{cp}}}$$

em que

$I_{50\text{cp}}$ = dose que reduziu metade do crescimento da planta teste na curva-padrão; $I_{50\text{lx}}$ = dose que reduziu metade do crescimento da planta teste na curva do lixiviado;

V_{cp} = volume do vaso empregado na curva padrão; e

V_{lx} = volume do vaso empregado na curva do lixiviado.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da resposta da planta-teste (tomate) às doses conhecidas de glyphosate e sulfosate, verificou-se que as respostas das plantas, quanto ao comprimento de raiz, biomassa seca da parte aérea e total, foram decrescentes com o aumento das concentrações dos herbicidas na água (Figuras 1 e 2). Dentre as características avaliadas, o comprimento de raiz mostrou ser a parte da planta-teste mais sensível, apresentando a maior variação em função das doses avaliadas (Figura 3), indicando ser a característica mais adequada para se detectar a presença de resíduos destes herbicidas na água. Esses resultados estão de acordo com os observados por BOWMER (1982), RICHARDSON (1985) e WESTWOOD et al. (1987), que também verificaram maior sensibilidade das raízes ao glyphosate em meio líquido.

Os valores do I_{50} determinados para o comprimento de raiz foram de $324,12 \mu\text{g L}^{-1}$ e $407,85 \mu\text{g L}^{-1}$ para o glyphosate e o sulfosate, respectivamente. Tais estimativas mostram que o tomateiro foi bem indicado para ambos os herbicidas, embora tenha exibido maior sensibilidade ao glyphosate.

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 estão apresentadas as curvas de dose-resposta do comprimento de raiz do tomateiro para os diferentes intervalos de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a ocorrência de chuva. Para os dois herbicidas, o comprimento de raiz decresceu com o aumento da quantidade de lixiviado na solução nutritiva, em todos os intervalos de tempo. Entretanto,

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação da resposta da planta-teste (tomate) às doses conhecidas de glyphosate e sulfosate, verificou-se que a resposta das plantas, quanto ao comprimento de raiz, biomassas secas da parte aérea, das raízes e total foi decrescente com o aumento nas concentrações dos herbicidas na água (Figuras 1 e 2). Dentre as características avaliadas, o comprimento de raiz, mostrou ser a parte da planta-teste mais sensível, apresentando a maior variação em função das doses avaliadas (Figura 3), indicando ser a característica mais adequada para se detectar a presença de resíduo desses herbicidas na água. Esses resultados estão de acordo com os observados por BOWMER (1982), RICHARDSON (1985) e WESTWOOD et al. (1997), que também verificaram maior sensibilidade das raízes ao glyphosate em meio líquido.

Os valores do I_{50} determinados para o comprimento de raiz foram de $324,12 \mu\text{g.L}^{-1}$ e $407,86 \mu\text{g.L}^{-1}$ para o glyphosate e o sulfosate, respectivamente. Tais estimativas mostram que o tomateiro foi bom indicador para ambos os herbicidas, embora tenha exibido maior sensibilidade ao glyphosate.

Nas Figuras 4, 5, 6 e 7 estão apresentadas as curvas de doses-resposta do comprimento de raiz do tomateiro para os diferentes intervalos de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a ocorrência de chuva. Para os dois herbicidas, o comprimento de raiz decresceu com o aumento da quantidade do lixiviado na solução nutritiva, em todos os intervalos de tempo. Entretanto,

verifica-se que, em plantas sob estresse hídrico, foi necessário menor quantidade do lixiviado para provocar uma redução de 50% do comprimento da raiz da planta-teste, comparando-se às plantas sem estresse hídrico. Além disso, verificou-se que, à medida que se aumentou o intervalo de tempo entre a aplicação dos herbicidas e a simulação da chuva, foi necessário maior quantidade do lixiviado para se promover uma redução de 50% no comprimento da raiz do tomateiro. Esses resultados mostram que é necessário um período mínimo, para que o herbicida, após pulverização sobre as plantas, seja absorvido, não ficando assim exposto a perdas por lavagem. Esse período necessita ser maior, quando as plantas a serem controladas estiverem sob estresse hídrico. A literatura recomenda para glyphosate um período de seis horas, sem presença de chuva (BRYSON, 1987; BRYSON, 1988; RODRIGUES e ALMEIDA, 1995), enquanto que outros trabalhos mostram que esse tempo pode variar com a dose aplicada, com a planta daninha a ser controlada e com a condição de umidade do solo onde a planta daninha se desenvolve (AHMADI et al., 1980; WALDECKER e WYSE, 1985; FIELD e BISHOP, 1988; WICKS e HANSON, 1995).

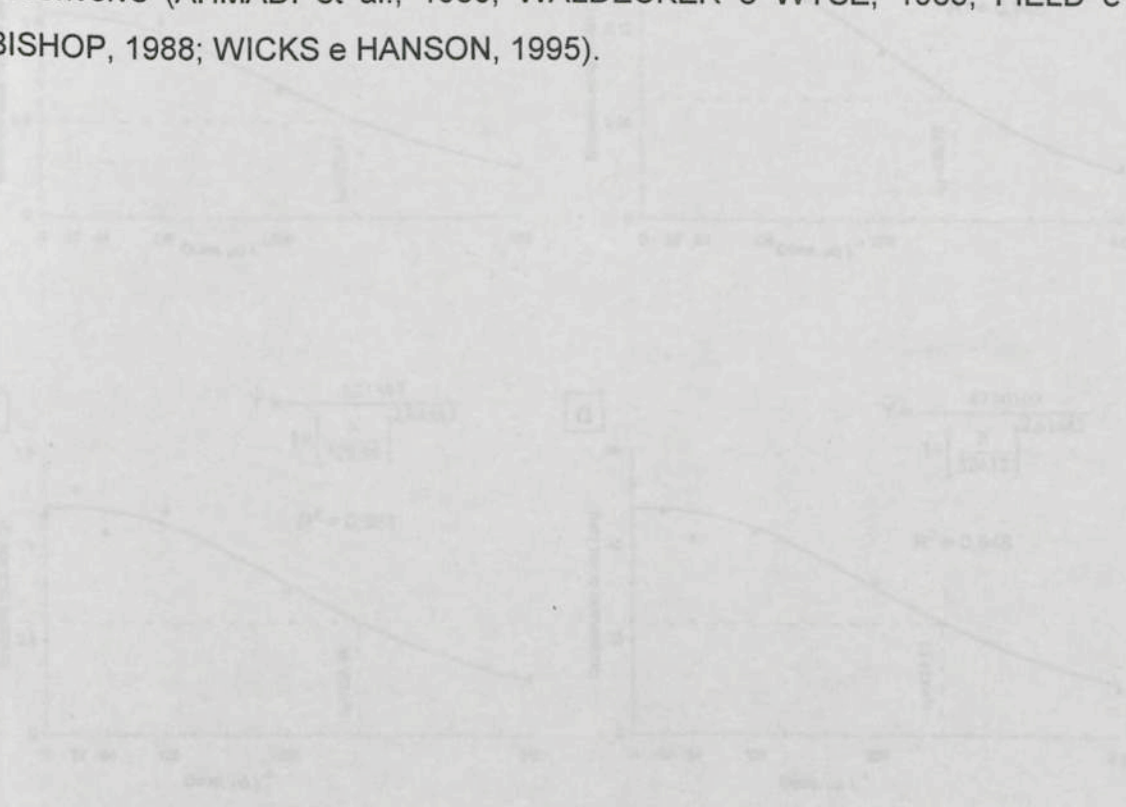


Figura 1 - Curvas de dose-resposta da biomassa seca da parte aérea (a), da raiz (b), total (c) e comprimento de raiz (d) do tomateiro sob doses crescentes do glyphosate.

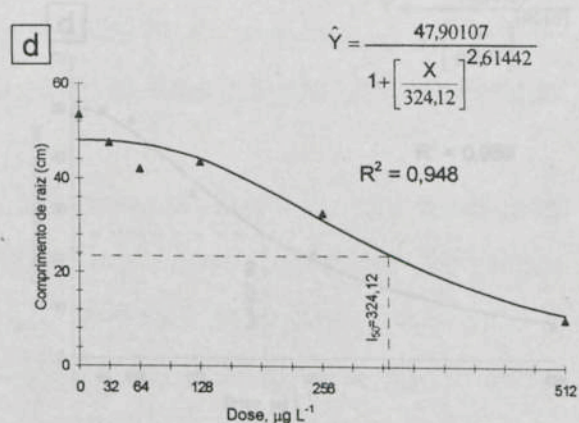
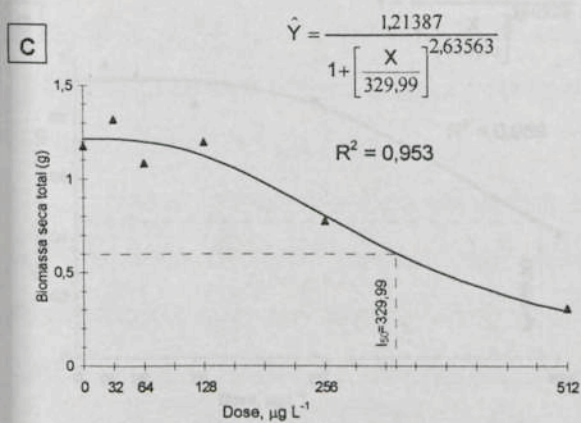
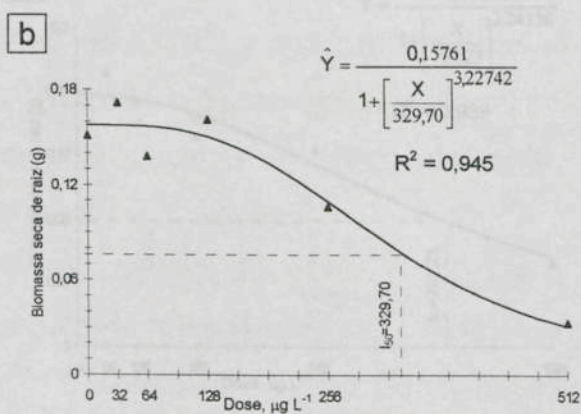
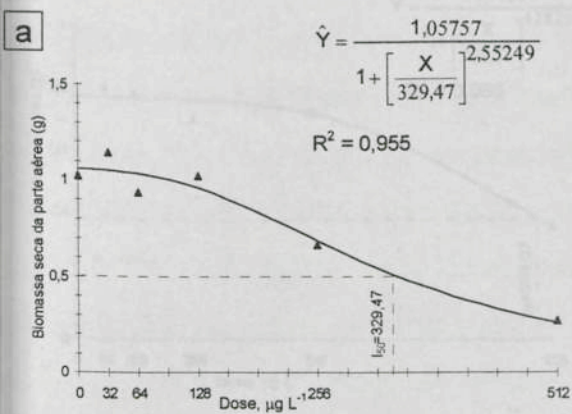


Figura 1 - Curvas de dose-resposta da biomassa seca da parte aérea(a), da raiz (b), total (c) e comprimento de raiz (d) do tomateiro sob doses crescentes do glyphosate.

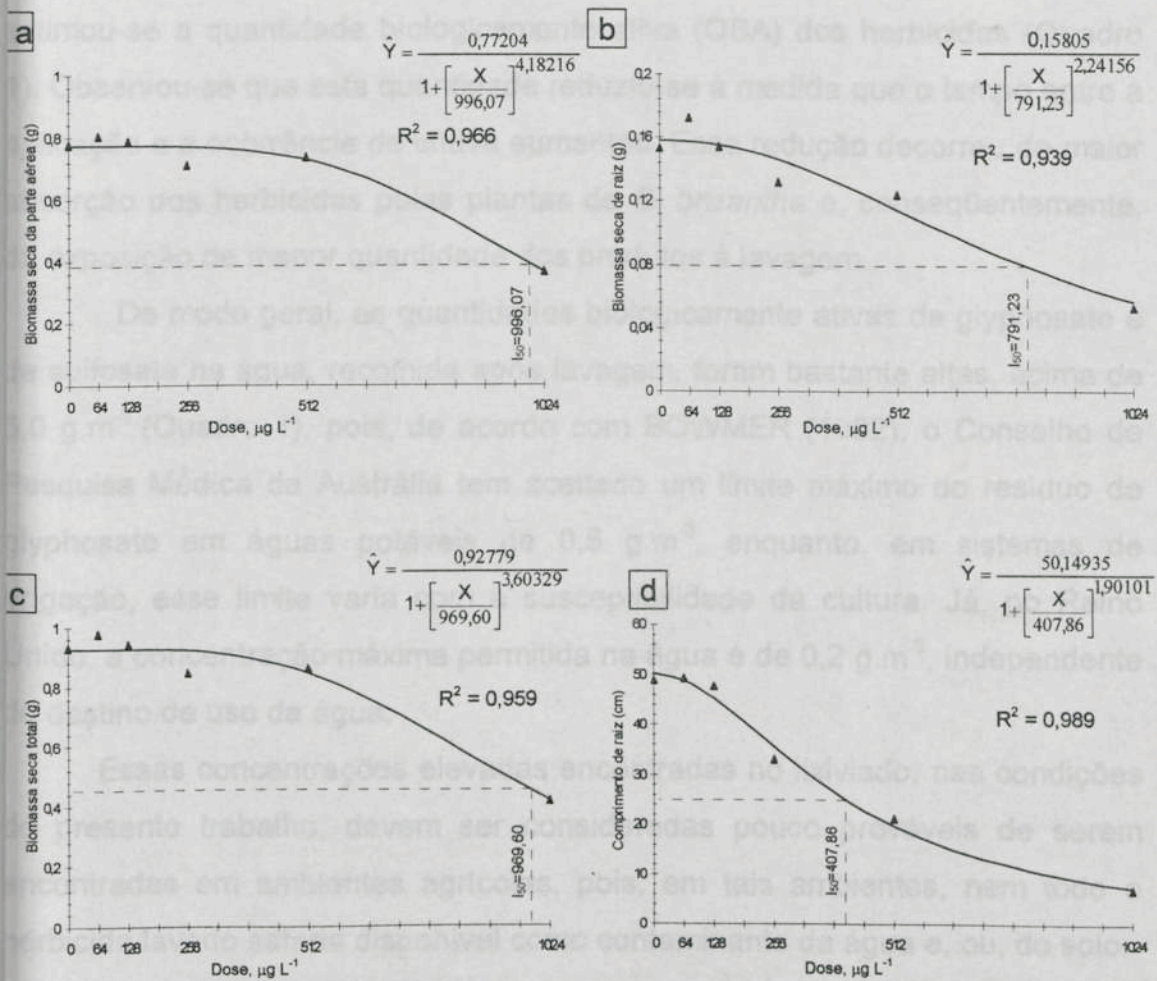


Figura 2 - Curvas de dose-resposta da biomassa seca da parte aérea(a), da raiz (b), total (c) e comprimento de raiz (d) do tomateiro sob doses crescentes do sulfosate.



Figura 3 - Comportamento das plantas de tomate colhidas 20 dias após o transplântio, sob doses crescentes do sulfosate.

A partir da determinação dos I_{50} da curva-padrão e do lixiviado, estimou-se a quantidade biologicamente ativa (QBA) dos herbicidas (Quadro 1). Observou-se que esta quantidade reduziu-se à medida que o tempo entre a aplicação e a ocorrência de chuva aumentou. Essa redução decorreu de maior absorção dos herbicidas pelas plantas de *B. brizantha* e, conseqüentemente, da exposição de menor quantidade dos produtos à lavagem.

De modo geral, as quantidades biologicamente ativas de glyphosate e de sulfosate na água, recolhida após lavagem, foram bastante altas, acima de $5,0 \text{ g.m}^{-3}$ (Quadro 1), pois, de acordo com BOWMER (1982), o Conselho de Pesquisa Médica da Austrália tem aceitado um limite máximo do resíduo de glyphosate em águas potáveis de $0,5 \text{ g.m}^{-3}$, enquanto, em sistemas de irrigação, esse limite varia com a susceptibilidade da cultura. Já, no Reino Unido, a concentração máxima permitida na água é de $0,2 \text{ g.m}^{-3}$, independente do destino de uso da água.

Essas concentrações elevadas encontradas no lixiviado, nas condições do presente trabalho, devem ser consideradas pouco prováveis de serem encontradas em ambientes agrícolas, pois, em tais ambientes, nem todo o herbicida lavado estaria disponível como contaminante da água e, ou, do solo.

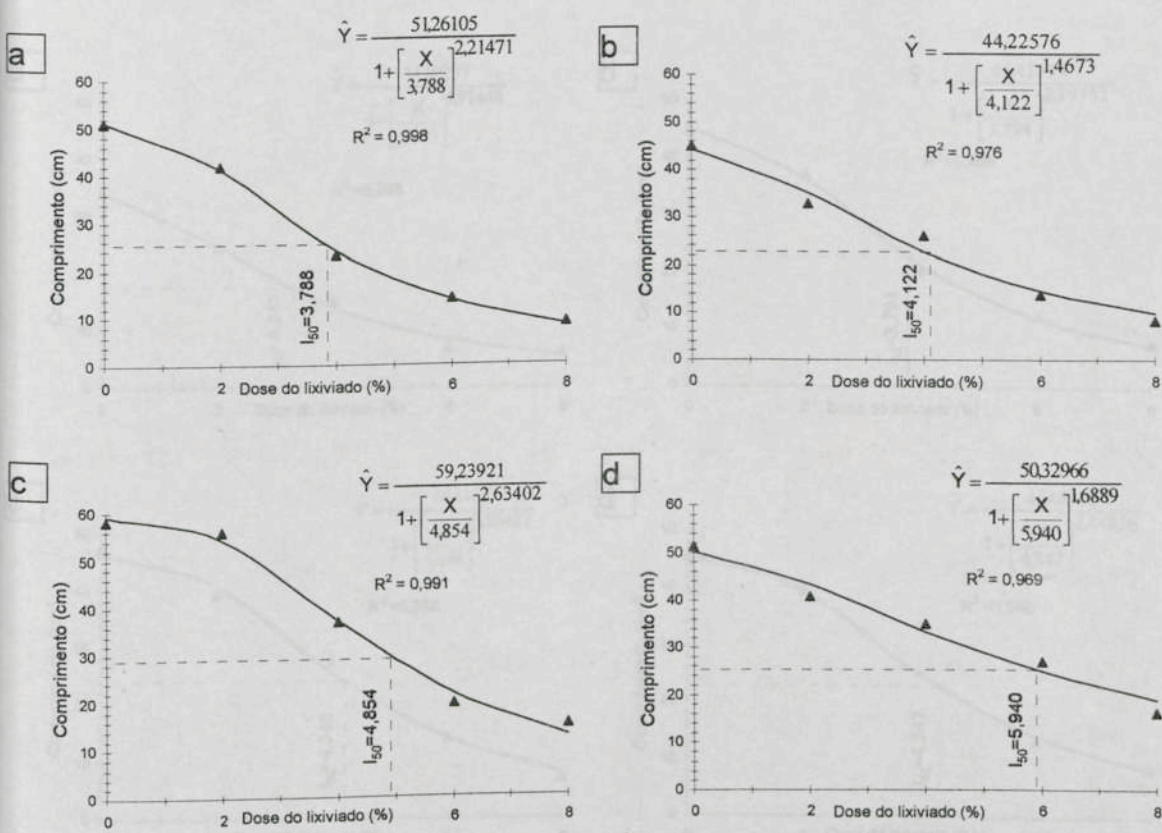


Figura 4 - Curvas de dose-resposta do comprimento de raiz de plantas de tomate submetidas a doses crescentes do lixiviado, coletado após a simulação de 53 mm.h⁻¹ de chuva, logo após a aplicação (a), duas horas (b), quatro horas (c) e seis horas (d), após a aplicação de 1,44 kg.ha⁻¹ de glyphosate em plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sem estresse hídrico.

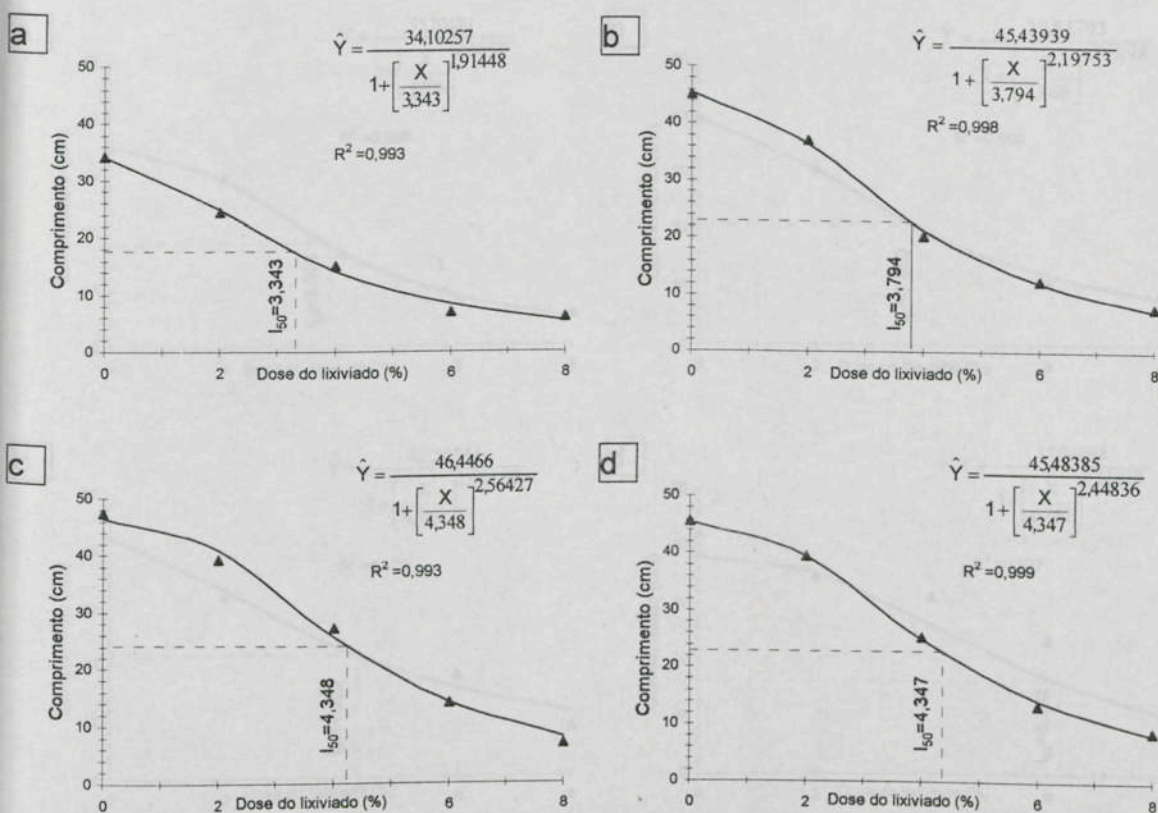


Figura 5 - Curvas de dose-resposta do comprimento de raiz de plantas de tomate submetidas a doses crescentes do lixiviado, coletado após a simulação de 53 mm.h⁻¹ de chuva, logo após a aplicação (a), duas horas (b), quatro horas (c) e seis horas (d), após a aplicação de 1,44 kg.ha⁻¹ de glyphosate em plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sob estresse hídrico.

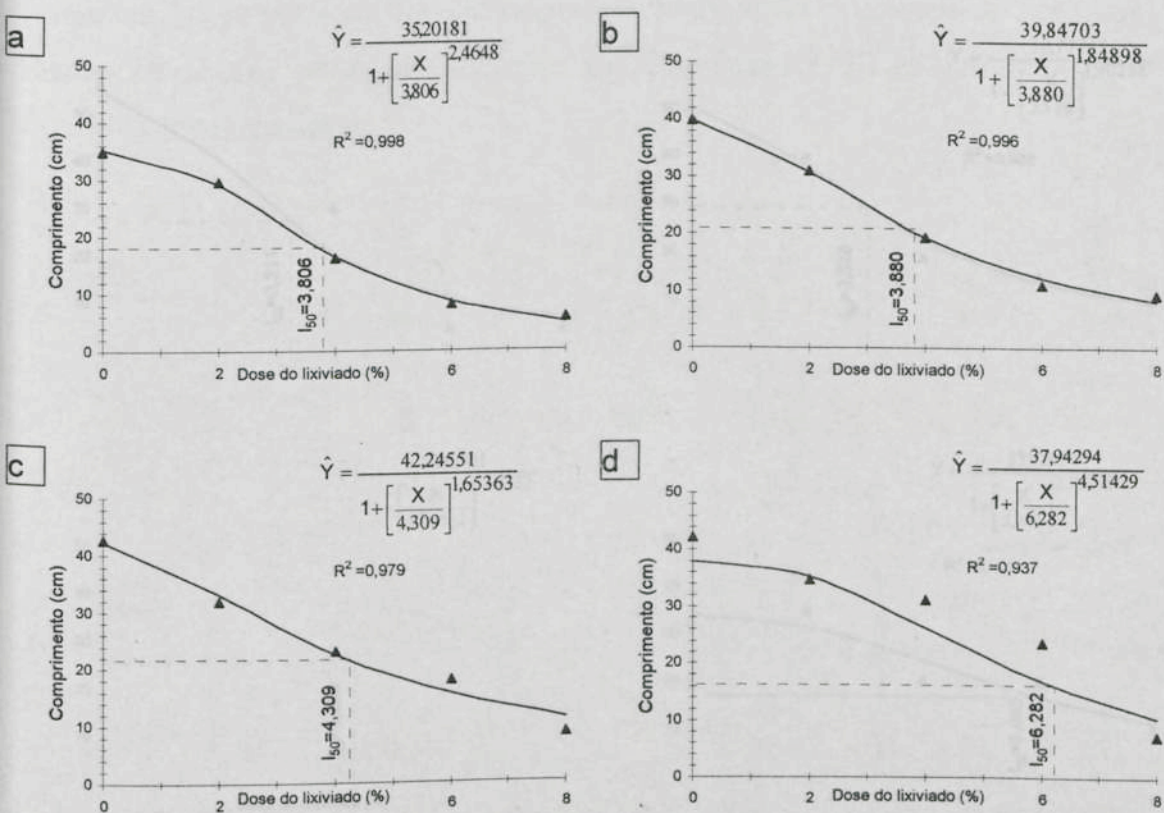


Figura 6 - Curvas de dose-resposta do comprimento de raiz de plantas de tomate submetidas a doses crescentes do lixiviado, coletado após a simulação de 53 mm.h^{-1} de chuva, logo após a aplicação (a), duas horas (b), quatro horas (c) e seis horas (d), após a aplicação de $1,44 \text{ kg.ha}^{-1}$ de sulfosate em plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sem estresse hídrico.

Os herbicidas em estudo, em geral, apresentam baixo potencial de contaminação do solo, pois são fortemente adsorvidos às suas partículas constituintes (RODRIGUES E ALMEIDA, 1995; SPRANKLE et al., 1975; GLASS, 1987). Entretanto, o resíduo do glyphosate em solos arenosos e com baixa atividade microbiana, tem causado injúria em algumas culturas (SAHAZAR e APPELBY, 1982; CORNISH, 1992; PICCOLO et al., 1994). Quando aplicado em tratamentos de canais de irrigação, verificam-se alguns problemas em culturas sensíveis ao herbicida, embora a extensão da contaminação da água com o herbicida esteja na dependência de fatores como dimensão dos canais, dosagem empregada e perda do herbicida da água pela adsorção pelas plantas e, ou, adsorção nos sedimentos ou partículas dissolvidas na água (BOVVER, 1982).

Os bioensaios para glyphosate e sulfosato, apesar de apresentarem variações, mostram-se semelhantes no mecanismo de ação da presença de resíduos de herbicidas na água, quando são coletados ou com o solo afetado.

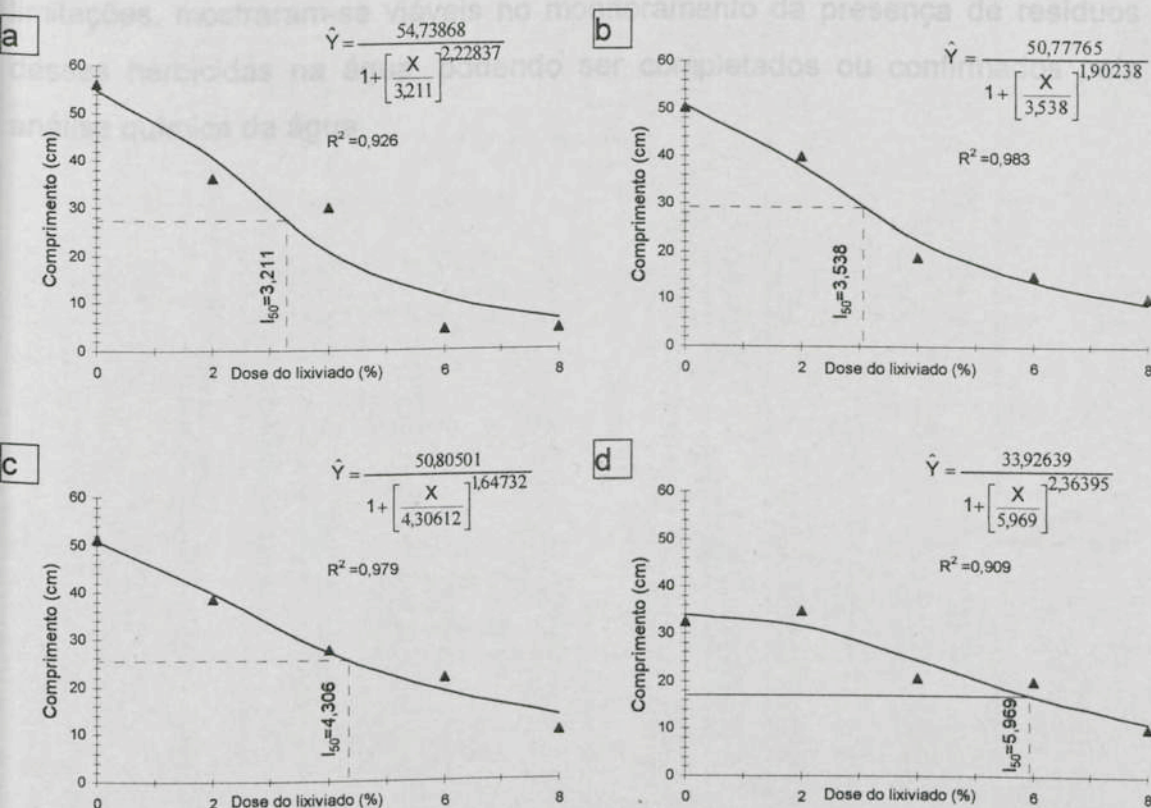


Figura 7 - Curvas de dose-resposta do comprimento de raiz de plantas de tomate submetidas a doses crescentes do lixiviado, coletado após a simulação de 53 mm.h⁻¹ de chuva, logo após a aplicação (a), duas horas (b), quatro horas (c) e seis horas (d), após a aplicação de 1,44 kg.ha⁻¹ de sulfosate em plantas de *Brachiaria brizantha*, cultivadas sob estresse hídrico.

Os herbicidas em estudo, em geral, apresentam baixo potencial de contaminação do solo, pois são fortemente adsorvidos às suas partículas constituintes (RODRIGUES E ALMEIDA, 1995; SPRANKLE et al., 1975; GLASS, 1987). Entretanto, o resíduo do glyphosate em solos arenosos e com baixa atividade microbiana, tem causado injúria em algumas culturas (SALAZAR e APPLEBY, 1982; CORNISH, 1992; PICCOLO et al., 1994). Quando aplicado em tratamentos de canais de irrigação, verificam-se alguns problemas em culturas sensíveis ao herbicida, embora a extensão da contaminação da água com o herbicida esteja na dependência de fatores como dimensão dos canais, dosagem empregada e perda do herbicida da água pela absorção pelas plantas e, ou, adsorção nos sedimentos ou partículas dissolvidas na água (BOWMER, 1982).

Os bioensaios para glyphosate e sulfosate, apesar de apresentarem limitações, mostraram-se viáveis no monitoramento da presença de resíduos desses herbicidas na água, podendo ser completados ou confirmados pela análise química da água.

Quadro 1 - Quantidade biologicamente ativa (QBA) do glyphosate e do sulfosate em plantas sensíveis, quanto aplicados em plantas sensíveis, em função do tempo, entre a aplicação e a ocorrência de chuva.

Glyphosate - (Uso amarelo)		Sulfosate (Uso amarelo) - 40%	
Intervalo de Tempo (h)	Plantas sem estresse hídrico % Lixiviado (%)	Plantas sem estresse hídrico % Lixiviado (%)	QBA (mg.L ⁻¹)
0	3,758	3,666	8,556
2	4,122	3,800	7,893
4	4,854	4,300	6,677
6	5,090	6,282	5,450

Quadro 1 - Quantidade biologicamente ativa (QBA) do glyphosate e do sulfosate, determinadas a partir dos I_{50} da curva-padrão e da curva do lixiviado, quando aplicados em plantas sem estresse e sob estresse hídrico, nos diferentes intervalos de tempo, entre a aplicação e a ocorrência de chuva

Intervalo de Tempo (h)	Glyphosate - (I_{50} curva-padrão = 324,12 $\mu\text{g.L}^{-1}$)			
	Plantas sem estresse hídrico		Plantas sob estresse hídrico	
	I_{50} Lixiviado (%)	QBA (mg.L^{-1})	I_{50} Lixiviado (%)	QBA (mg.L^{-1})
0	3,788	8,556	3,343	9,695
2	4,122	7,863	3,794	8,543
4	4,854	6,677	4,348	7,454
6	5,940	5,456	4,347	7,456

Intervalo de Tempo (h)	Sulfosate (I_{50} curva padrão = 407,86 $\mu\text{g.L}^{-1}$)			
	Plantas sem estresse hídrico		Plantas sob estresse hídrico	
	I_{50} Lixiviado (%)	QBA (mg.L^{-1})	I_{50} Lixiviado (%)	QBA (mg.L^{-1})
0	3,806	10,716	3,211	12,702
2	3,880	10,511	3,538	11,528
4	4,309	9,465	4,306	9,472
6	6,282	6,492	5,969	6,833

4. CONCLUSÕES

O uso do bioensaio para detectar a presença dos herbicidas glyphosate e sulfosate na água, coletada após a simulação de chuva sobre as plantas de *Brachiaria brizantha*, foi um método viável, tendo a planta-teste (tomateiro) utilizada neste estudo mostrado-se com maior sensibilidade ao glyphosate.

Para ambos os herbicidas, a característica da planta-teste mais adequada para o estudo da relação dose-resposta foi o comprimento de raiz.

A simulação de chuva, imediatamente após a aplicação do glyphosate e sulfosate, lavou esses herbicidas das folhas. Entretanto, houve uma redução na lavagem à medida que aumentou-se o intervalo de tempo entre a aplicação e a simulação de chuva.

Os herbicidas foram mais lavados quando aplicados em plantas sob estresse hídrico que quando aplicados em plantas sem estresse.

RESUMO E CONCLUSÕES

Realizaram-se três ensaios em casa de vegetação da Universidade Federal de Viçosa, com os objetivos de: a) avaliar o efeito do estresse hídrico sobre as plantas de *Brachiaria brizantha*; b) avaliar a influência da chuva sobre o desempenho do glyphosate e do sulfosate, aplicados em plantas de *B. brizantha*, cultivadas sem e sob estresse hídrico; c) verificar, através do bioensaio, a lavagem do glyphosate e sulfosate pela chuva. No primeiro ensaio, selecionaram-se quatro vasos representativos de cada condição de umidade do solo, e avaliaram-se as características fisiológicas, anatômicas e de crescimento das plantas. No segundo ensaio, foram testados sete intervalos de tempo (imediatamente após a aplicação, uma, duas, três, quatro, cinco e seis horas após) entre a aplicação dos herbicidas e a ocorrência de chuva (15 e 30 mm). O ensaio em esquema fatorial $(7 \times 2)+3$ foi disposto no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, avaliando-se a toxicidade dos herbicidas, a biomassa seca da parte aérea, aos 30 dias após a aplicação, e a biomassa seca da rebrota, aos 45 dias após o corte. No terceiro ensaio, os herbicidas foram aplicados nas plantas de *B. brizantha*, sendo a parte aérea cortada rente ao solo nos seguintes intervalos de tempo após a aplicação dos herbicidas: imediatamente após, duas, quatro e seis horas. Após esses intervalos de tempo, a parte aérea das plantas foi cortada e imediatamente submetida a uma chuva simulada de 53 mm.h^{-1} , por 15 min. A

água coletada (lixiviado) foi então utilizada nos bioensaios para avaliação do resíduo do glyphosate e do sulfosate na água, empregando-se como planta-teste o tomateiro. Fez-se a determinação da curva-padrão, empregando-se doses crescentes dos herbicidas, e da curva do lixiviado, utilizando-se alíquotas do lixiviado. Os ensaios foram conduzidos em solução nutritiva por um período de 20 dias após o transplântio da planta-teste. No estudo da curva-padrão, avaliaram-se as biomassas secas da parte aérea, das raízes e total e o comprimento das raízes e, na curva do lixiviado, o comprimento das raízes. Foi observado que as plantas de *B. brizantha*, quando submetidas ao estresse hídrico, apresentaram menor crescimento e reduções nas taxas fotossintética e transpiratória e na condutância estomática, em relação às plantas sem estresse hídrico. A ocorrência de chuva, logo após a aplicação dos herbicidas, reduziu a eficiência do glyphosate e do sulfosate, comparando-se à testemunha que recebeu herbicida e não recebeu chuva. Em plantas sem estresse hídrico, os herbicidas comportaram-se de forma semelhante, quando o intervalo entre a aplicação e a simulação de chuva de 15 mm foi de seis horas. Em intervalos menores, o sulfosate foi menos lavado que o glyphosate. Quando se aplicou uma lâmina de 30 mm, os herbicidas foram removidos das folhas de maneira semelhante, em todos os intervalos de tempo. Em plantas sob estresse hídrico, ocorreu maior lavagem dos herbicidas, por ambas as lâminas de chuva, pois observou-se maior rebrota dos tratamentos nessa condição. Com os bioensaios, detectaram-se os herbicidas na água, mostrando, assim, que o glyphosate e o sulfosate foram lavados das folhas de *B. brizantha*, mesmo quando a chuva simulada ocorreu seis horas após a aplicação. A planta-teste utilizada foi mais sensível ao glyphosate, sendo que a melhor parte para demonstrar o efeito dos herbicidas foi o comprimento das raízes. De maneira geral, os bioensaios mostraram ser uma técnica viável para o estudo dos resíduos desses herbicidas na água.

ASPINALL, D. Metabolic effects of water and salinity stress in relation to excision of the leaf surface. *Aust. J. Plant Physiol.*, Australia, v. 13, p. 59-73, 1986.

BANKS, P. A., BUNDSCHUH, S. A. Johnsongrass control in conventionally tilled and no-tilled soybean with foliar-applied herbicides. *Agron. J.*, Madison, v. 81, p. 757-760, 1989.

BARRETT, M., ASHTON, F.M. Napropamide fluxes in corn (*Zea mays*) root tissue. *Weed Sci.*, Champaign, v.31, p.43-48, 1983.

BEHRENS, R., ELAKKAD, M.A. Influence of rainfall on the phytotoxicity of foliar applied 2,4-D. *Weed Sci.*, Champaign, v. 29, p. 349-355, 1981.

BOWMER, K. H. Residues of glyphosate in irrigation water. *Pestic. Sci.*, Philadelphia, v.17, p.1-10, 1966.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOYDSTON, R.A. Soil water content affects the activity of four herbicides on green foxtail (*Setaria viridis*). *Weed Sci.*, Champaign, v. 38, p. 578-582, 1990.

ACOCK, B. Characterizing physiological factors in water relations. In: WISIOL, K., HESKETH, J.D. **Plant growth modeling for resource management**. Boca Raton, Florida 1987. p.109-128.

AHMADI, M.S., HADERLIE, L.C., WICKS, G.A. Effect of growth stage and water stress on barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) control and on glyphosate absorption and translocation. **Weed Sci.**, Champaign, v.28, p.277-282, 1980.

AHRENS, W.H. (Ed.) **Herbicide handbook**. 7.ed, Champaign: Weed Science Society of America, 1994. p.149-152.

ANDERSON, M.D., ARNOLD, W.E. Rainfall effects on desmediphan and phemnediphan performance. **Weed Sci.**, Champaign, v. 33, p. 391-394, 1985.

ANDERSON, D. M., SWANTON, C. J., HALL, J.C., MERSEY, B.G. The influence of soil moisture, simulated rainfall and time of application on the efficacy of glufosinate-ammonium. **Weed Res.**, Oxford, v. 33, p. 149-160, 1993.

BRADY, C.T. Effects of rainfall on four herbicides applied to seedling johnsongrass. *Weed Tech.*, Champaign, v.2, p.183-188, 1988.

ASPINALL, D. Metabolic effects of water and salinity stress in relation to expansion of the leaf surface. **Aust. J. Plant Physiol.**, Australia, v.13, p.59-73, 1986.

- BANKS, P. A., BUNDSCHUH, S. A. Johnsongrass control in conventionally tilled and no-tilled soybean with foliar-applied herbicides. **Agron. J.**, Mandison, v. 81, p. 757-760, 1989.
- BARRETT, M., ASHTON, F.M. Napropamide fluxes in corn (*Zea mays*) root tissue. **Weed Sci.**, Champaign, v.31, p.43-48, 1983.
- BEHRENS, R., ELAKKAD, M.A. Influence of rainfall on the phytotoxicity of foliar applied 2,4-D. **Weed Sci.**, Champaign, v. 29, p. 349-355, 1981.
- BOWMER, K. H. Residues of glyphosate in irrigation water. **Pestic. Sci.**, Philadelphia, v.13, p.623-638, 1982.
- BOYDSTON, R.A. Soil water content affects the activity of four herbicides on green foxtail (*Setaria viridis*). **Weed Sci.**, Champaign, v. 38, p. 578-582, 1990.
- BRECKE, B.J., DUKE, W.B. Effect of glyphosate on intact bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.) and isolated cell. **Plant Physiol.**, France, v.66, p.656-659, 1980.
- BRIGGS, G.G., BROMILOW, R.H., EVANS, A.A. Relationships between lipophilicity and root uptake and translocation of non-ionised chemicals by barley. **Pestic. Sci.**, Phyladelphia, v.13, p.495-504, 1982.
- BRISKIN, D.P. Membranes and transport systems in plants: an overview. **Weed Sci.**, Champaign, v.42, p.255-262, 1994.
- BROMILOW, R.H., CHAMBERLAIN, K., EVANS, A.A. Physicochemical aspects of phloem translocation of herbicide. **Weed Sci.**, Champaign, v.38, p.305-314, 1990.
- BRYSON, C.T. Effects of rainfall on foliar herbicides applied to rhizome johnsongrass. **Weed Sci.**, Champaign, v.35, p.115-119, 1987.
- BRYSON, C.T. Effects of rainfall on foliar herbicides applied to seedling johnsongrass. **Weed Tech.**, Champaign, v.2, p.153-158, 1988.
- BUKOVAC, M.J. Herbicide entry into plants. In: AUDUS, J.L. **Herbicides: physiology, biochemistry, ecology**. 1976. v.2, cap.11, p.335-364.

BUKOVAC, M.J., PETRACEK, P.D., FADER, R.G., MORSE, R.D. Sorption of organic compounds by plant cuticles. **Weed Sci.**, Champaign, v.38, p.289-298, 1990.

BURTON, J.D., BALKE, N.E. Carrier-mediated transport of glyphosate into plant cells. **WSSA Abstr.**, v.27, p.69, 1987.

BURTON, J.D., BALKE, N.E. Glyphosate uptake by suspension-cultured potato (*Solanum tuberosum* and *S. brevidens*) cells. **Weed Sci.**, Champaign, v.36, p.146-153, 1988.

CARROL, M.J., HILL, R.L., PFEIL, E., HERNER, A.E. Washoff of dicamba and 3,6-dichlorosalicylic acid from turgrass foliage. **Weed Tech.**, Champaign, v.23, p.437-442, 1993.

CARMONA, R. Efeito da cobertura foliar com poeira e volume de calda na eficiência de glyphosate e sulfosate em *Brachiaria decumbens*. In: ZAPP: O DESAFIO DO NOVO, 1995, São Paulo. **Trabalhos apresentados no seminário....** São Paulo: Zeneca Agrícola, 1996. p.33-40.

CHAPIN, F.S. Integrated responses of plants to stress: a centralized system of physiological responses. **Biosci.**, v.41, p.29-36, 1991.

COLE, D.J., CASELEY, J.C., DODGE, A. D. Influence of glyphosate on selected plant process. **Weed Res.**, Oxford, v.23, p.173-183, 1983.

CONSTANTIN, J. Efeito de diferentes intervalos de irrigação sobre a absorção e eficiência do sulfosate no controle de plantas daninhas em pós-emergência. In: ZAPP: O DESAFIO DO NOVO, 1995, São Paulo. **Trabalhos apresentados no seminário....** São Paulo: Zeneca Agrícola, 1996. p.27-31.

COOMBS, J., HALL, D.O. **Técnicas de bioprodutividade e fotossíntese.** Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 1989. 292p.

CORNIG, G., GHASHGHAIE, J., GENTY, B., BRIANTAIS, J.-M. Leaf photosynthesis is resistant to a mild drought stress. **Photosy.**, The Netherlands, v.27, p.295-309, 1992.

CORNISH, P.S. Glyphosate residues in a sandy soil affect tomato transplants. **Aust. J. Exp. Agric.**, Australia, v.32, p.395-399, 1992.

- CUTLER, J.M., RAINS, D.W., LOOMIS, R.S. The importance of cell size in the water relations of plants. **Physiol. Plant.**, Copenhagen, v.40, p.255-260, 1977.
- DARIO, G.J.A., DARIO, P.W., BALTIERI, E.M. Avaliação da eficiência do herbicida sulfosate no controle de plantas daninhas ocorrentes na cultura da banana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 19, 1993, Londrina. **Resumos....** Londrina: SBHED, 1993. p.286-287.
- DENIS, M.H., DELROT, S. Carrier-mediated uptake of glyphosate in broad bean (*Vicia faba*) via a phosphate transporter. **Physiol. Plant.**, Copenhagen, v.87, p.569-575, 1993.
- DEUBER, R. **Ciência das plantas daninhas: fundamentos.** Jaboticabal, FUNDEP, 1992, 431p.
- DEVINE, M., DUKE, S.O., FEDTKE, C. **Physiology of herbicide action.** New Jersey: PTR Prentice-Hall, 1993. 441p.
- DEVINE, M.D., BANDEEN, J.D. Fate of glyphosate in *Agopyron repens* (L.) Beauv. growing under low temperature condition. **Weed Res.**, Oxford, v.23, p.69-75, 1983.
- DEVINE, M.D., HALL, L.M. Implications of sucrose transport mechanisms for the translocation of herbicides. **Weed Sci.**, Champaign, v.38, p.299-304, 1990.
- DEWEY, S.A.; APPLEBY, A.P. A comparison between glyphosate and assimilate translocation patterns in tall morningglory (*Ipomoea purpurea*). **Weed Sci.**, Champaign, v.31, p.308-314, 1983.
- DICKSON, R.L., ANDREWS, M., FIELD, R.J., DICKSON, E.L. Effect of water stress, nitrogen, and gibberellic acid on fluazifop and glyphosate activity on oats (*Avena sativa*). **Weed Sci.**, Champaign, v.38, p.54-61, 1990.
- DOWNTON, W.J.S., GRANT, W.J.R., LOVEYS, B.R. Diurnal changes in the photosynthesis of field grown grapevine. **New Phytol.**, v.105, p.71-80, 1987.
- FIELD, R.J., BISHOP, N.G. Promotion of stomatal infiltration of glyphosate by an organosilicone surfactant reduces the critical rainfall period. **Pestic. Sci.**, Phyladelphia, v.24, p.55-62, 1988.

FOLEY, M.E., NAFZIGER, E.D., SLIFE, F.W., WAX, L.M. Effect of glyphosate on protein and nucleic acid synthesis and ATP levels in common cocklebur (*Xanthium pensylvanicum*) root tissue. **Weed Sci.**, Champaign, v.31, p.76-80, 1983.

FOLONI, L.L. Avaliação da eficiência do sulfosate na interação de diferentes doses e adjuvantes com aplicação de baixo volume, no controle do arroz vermelho, em áreas de plantio direto. In: ZAPP: O DESAFIO DO NOVO, 1995, São Paulo. **Trabalhos apresentados no seminário...** São Paulo: Zeneca Agrícola, 1996. p.53-66.

FOLONI, L.L. Comportamento do sulfosate e glifosate no controle de algumas plantas daninhas, sob o efeito de diferentes intervalos de simulação de chuva. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 21, 1997, Caxambu. **Resumos...** Caxambu: SBHED, 1997. p.412.

FRANS, R.E. Measuring plant responses. In: WILKINSON, R.E. (Ed.). **Research methods in weed science**. Southern Weed Science Society, 1972. p.28-41.

GELMINI, G.A. **Herbicida: indicações básicas**. 2.ed. São Paulo: Fundação Cargill, 1988. 334p.

GLASS, R.J. Adsorption of glyphosate by soil and clay minerals. **J. Agric. Food Chem.**, Washington, v.35, p.497-500, 1987.

HADERLIE, L.C., WIDHOLM, J., SLIFE, F.W. Effect of glyphosate on carrot and tobacco cells. **Plant Physiol.**, France, v.60, p.40-43, 1977.

HARTZLER, B. **Roundup vs Touchdown**. (06/12/1997). (<http://extension.agron.iastate.edu/extweed/mgmt/qtr1-97/touchdown.htm>).

HAY, J.R. Herbicide transport in plants. In: AUDUS, J.L. **Herbicide: physiology, biochemistry, ecology**. 1976, v.2, cap.12, p.365-396.

HESS, F. D., FALK, R. H. Herbicide deposition on leaf surfaces. **Weed Sci.**, Champaign, v.38, p.280-288, 1990.

HESS, F.D. Mechanism of action of inhibitors of amino acid biosynthesis. In: **Herbicide action: an intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soil**. West Lafayette, Indiana: Purdue University, 1994 b. p.344-365.

- HESS, F.D. Herbicide absorption and translocation and their relationship to plant tolerance and susceptibility. In: DUKE, S.O. **Weed physiology**. Boca Raton, Florida: CRC, 1985.v.2, p.192-214.
- HESS, F.D. Translocation. In: **Herbicide action: an intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soil**. West Lafayette, Indiana: Purdue University. 1994 a. p.41-51.
- HOAGLAND, D.R., ARNON, D.I. **The water-culture method for growing plants with out soil**. Berkeley, California: University of California College of Agriculture, Agricultural Experimental Station, 1938. p.1-39. (Circular, 347).
- HOROWITZ, M. Application of bioassay techniques to herbicide investigation. **Weed Res.**, Oxford, v.16, p.209-215, 1976.
- HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, France, v.24, p.519-570, 1973.
- HULL, H.M., MORTON, H.L., WHARRIE, J.R. Environmental influences on cuticle development and resultant foliar penetration. **The Bot. Rev.**, New York, v.41, p.421-452, 1975.
- JOHNSON, R.C., MORNHINWEG, D.W., FERRIS, D.M., HEITHOLT, J.J. Leaf photosynthesis and conductance of selected *Triticum* species at different water potentials. **Plant Physiol.**, France, v.38, p.1014-1017, 1987.
- KAISER, W.M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. **Physiol. Plant.**, Copenhagen, v.71, p.142-149, 1987.
- KICHEVA, M.I., TSONEV, T.D., POPOVA, L.P. Stomatal and non stomatal limitations to photosynthesis in two wheat cultivars subject to water stress. **Photosy.**, The Netherlands, v.30, p.107-116, 1994.
- KIDDER, D.W., BEHRENS, R. Plant responses to haloxyfop as influenced by water stress. **Weed Sci.**, Champaign, v.36, p.305-312, 1988.
- KING, S. P., RADOSEVICH, S.R. Herbicide tolerance in relation to growth and stress in conifers. **Weed Sci.**, Champaign, v. 33, p. 472-478, 1985.
- KLEVORN, T.B., WYSE, D.L. Effect of soil temperature and moisture on glyphosate and photoassimilate distribution in quackgrass (*Agropyron repens*). **Weed Sci.**, Champaign, v.32, p.402-407, 1984.

- KLINGMAN, G.C., ASHTON, F.M., NOORDHOFF, L.J. **Weed Science: principles and practices**. 2. ed. John Wiley & Sons, 1982. 449p.
- KNOCHE, M., BUKOVAC, M.J. Interaction of surfactant and leaf surface in glyphosate absorption. **Weed Sci.**, Champaign, v.41, p.87-93, 1993.
- KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic, 1983.489p.
- LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 3. ed., Berlin: Academic, 1995. 506p.
- LAURIDSON, T.C., CLAY, V. Effect of moisture stress on Canada thistle (*Cirsium arvense*) control. **Weed Sci.**, Champaign, v.31, p.674-680, 1983.
- LAWRIE, J., CLAY, V. Effects of herbicide mixtures and additives on *Rhododendion ponticum*. **Weed Res.**, Oxford, v.33, p.25-34, 1993.
- LEIDI, E.O., LÓPEZ, J.M., LÓPEZ, M., GUTIERREZ, J.C. Searching for tolerance to water stress in cotton genotypes: photosynthesis, stomatal conductance and transpiration. **Photosy.**, The Netherlands, v.28, p.383-390, 1993.
- LEITE, C.R.F. Eficiência do herbicida zapp (sulfosate) sob diferentes condições ambientais no controle da planta daninha *Brachiaria plantaginea* (capim-marmelada). In: ZAPP: O DESAFIO DO NOVO, 1995, São Paulo. **Trabalhos apresentados no seminário...** São Paulo: Zeneca Agrícola, 1996. p.41-52.
- LICHTNER, F.T. Amitrole absorption by beans (*Phaseolus vulgaris* L. cv 'Red Kidney') roots. **Plant Physiol.**, France, v.71, p.307-312, 1983.
- LISEK, J., CHLEBOWSKA, D. Efficiency of herbicide avans 489 SL for weed control prior to planting of small fruits and for killing old raspberry plants. **Acta Hort.**, v.352, p.579-582, 1993.
- MALEFYT, T., QUAKENBUSH, L. Influence of environmental factors on the biological activity of the imidazolinone herbicide. In: SHANER D.L., O'CONNOR S.L. **The imidazolinone herbicide**. Boca Raton, Boston: CRC, 1991. p.103-127.
- PELESCHI, S., ROCHER, J.P., PRICOU, J.L. Effect of water restriction on carbohydrates metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. **Plant, Cell and Environ.**, Oxford, v. 20, p. 493-503, 1997

MAROCHI, A.I. Avaliação do período ideal entre aplicação e ocorrência de chuva, para herbicidas de ação sistêmica, utilizados em dessecação no plantio direto. In: ZAPP: O DESAFIO DO NOVO, 1995, São Paulo. **Trabalhos apresentados no seminário....** São Paulo: Zeneca Agrícola, 1996a. p.11-26.

MAROCHI, A.I. Influência do horário de aplicação e volume no controle de *Avena sativa* (aveia branca) em condições de seca com herbicidas sulfosate e glyphosate no sistema de plantio direto na planta. In: ZAPP: O DESAFIO DO NOVO, 1995, São Paulo. **Trabalhos apresentados no seminário....** São Paulo: Zeneca Agrícola, 1996b. p.67-79.

MARRIAGE, P.B. Detection of triazine and urea herbicide residues by various characteristics of oat seedlings in bioassays. **Weed Res.**, Oxford, v.15, p.291-298, 1975.

MARSHAL, G., KIRKWOOD, R.C., MARTIN, D.J. Studies on the mode of action of asulam, amitrole and glyphosate in *Equisetum arvense* L. (field horsetail). 1: The uptake and translocation of (¹⁴C) asulam, (¹⁴C) aminotriazole and (¹⁴C) glyphosate. **Pestic. Sci.**, Phyladelphia, v.18, p. 55-64, 1987.

McWHORTER, C.C., JORDAN, T.N., WILLS, G.D. Translocation of ¹⁴C-glyphosate in soybeans (*Glycine max*) and johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Sci.**, Champaign, v.28, p.113-118, 1980.

McWHORTER, C.G. Weed control in soybeans with glyphosate applied in the recirculating sprayer. **Weed Sci.**, Champaign, v.25, p.135-141, 1977.

MUZIK, T.J. Influence of environmental factors on toxicity to plants. In: AUDUS, J.L. **Herbicides: physiology, biochemistry, ecology.** 1976, v.2, cap.7, p.204-243.

NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology.** California: Academic Press, 1991. 635p.

NYFFLER, A., GERBER, H.R., HURLE, K., PESTEMER, W., SCHMIDT, R.R. Collaborative studies of dose-response curves obtained with different bioassay methods for soil-applied herbicides. **Weed Res.**, Oxford, v.22, p.213-222, 1982.

PELLESCHI, S., ROCHER, J.P., PRIOUL, J.L. Effect of water restriction on carbohydrate metabolism and photosynthesis in mature maize leaves. **Plant, Cell and Environ.**, Oxford, v. 20, p. 493-503, 1997.

PENNING de VRIES, F.W.T., JANSEN, D.M., ten BERGE, H.F.M., BAKEMA, A.
Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops. Los Baños: Pudoc Wageningen, 1989. 271p.

PICCOLO, A., CELANO, G., ARIENZO, M., MIRABELLA, A. Adsorption and desorption of glyphosate in some european soils. **J. Environ. Sci. Health**, Mandison, B(29), v.6, p.1105-1115, 1994.

PRICE, T.P., BALKE, N.E. Characterization of atrazine accumulation by excised velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) roots. **Weed Sci.**, Champaign, v.31, p.14-19, 1983a.

PRICE, T.P., BALKE, N.E. Characterization of rapid atrazine absorption by excised velvetleaf (*Abutilon theophrasti*) roots. **Weed Sci.**, Champaign, v.30, p.633-639, 1982.

PRICE, T.P., BALKE, N.E. Comparison of atrazine absorption by underground tissues of several plant species. **Weed Sci.**, Champaign, v.31, p.482-487, 1983b.

REDDY, K.N., LOCKE, M.A. Imazaquin spray retention, foliar washoff and runoff losses under simulated rainfall. **Pestic. Sci.**, Phyladelphia, v.48, p.179-187, 1996.

REYNOLDS, D.B., WHELESS, T.G., BASLER, E., MURRAY, D.S. Moisture stress effects on absorption and translocation of four foliar-applied herbicides. **Weed Tech.**, Champaign, v.2, pl437-441, 1988.

RICHARD JR., E.P., SLIFE, F.W. 'In vivo' na 'in vitro' characterization of the entry of glyphosate in hemp dogbane (*Apocynum cannabinum*). **Weed Sci.**, Champaign, v.27, p.426-433, 1979.

RICHARDSON, W.B. Bioassays for glyphosate. In: GROSSBARD, E., ATKINSON, D. (Eds.). **The herbicide glyphosate.** London: Butterworths, 1985. p. 286-298.

RISTIC, Z.; CASS, D.D. Leaf anatomy of *Zea mays* L. in response to water shortage and high temperature: a comparison of drought-resistant and drought-sensitive lines. **Bot. Gaz.**, Chicago, v.152, p.173-185, 1991.

RODRIGUES, B.N., ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**, Londrina, Paraná: Edição dos autores, 1995, 675p.

- SAEG - **Sistema para Análise Estatística**, versão 7.0, Viçosa: Fundação Arthur Bernardes, 1997.
- SALAZAR, L.C., APPLEBY, A.P. Herbicidal activity of glyphosate in soil. **Weed Sci.**, Champaign, v.30, p.463-466, 1982.
- SANTELMANN, P.W. **Herbicide bioassay**. In: Truelove (ed) Research Methods. In: Weed Science. Southern Weed Sci. Soc. Auburn, Alabama, 1977. p.79-87.
- SCHRADER, P.L. A comparative study of glyphosate and sulfosate in Kern County. **Proceedings 44th annual. California Weed Conference**, 1992, p.20.
- SCHULZE, E.D., HALL, A.E. Stomatal responses, water loss and CO₂ assimilation rates of plants in contrasting environments. In: **Enc. Plant Physiology**. Water relations and carbon assimilation. Berlin: Sprin-Verlag, v.12b, p.181-261, 1982.
- SEEFELDT, S.S., JENSEN, J.E., FUERST, E.P. Log-logistic analysis of herbicide dose-response relationships. **Weed Tech.**, Champaign, v.9, p.218-227, 1995
- SHERRICK, S.L., S.L., HOLT, H. A., HESS, S.D. Effects of adjuvants and environment during plant development on glyphosate absorption and translocation in field bindweed. **Weed Sci.**, Champaign, v.34, p.811-816, 1986.
- SINGER, S., McDANIEL, C.N. Transport of the herbicide 3-amino-1,2,4-triazole by cultured tobacco cells and leaf protoplasts. **Plant Physiol.**, France, v.69, p.1382-1386, 1982.
- SOUZA, A.P. **Movimento e degradação do glyphosate e do imazapyr em solos de diferentes texturas e composição química**. Viçosa, MG:UFV, 1998. 86p. Dissertação (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- SPRANKLE, P., MEGGITT, W.F., PENNER, D. Absorption, action and translocation of glyphosate. **Weed Sci.**, Champaign, v.23, p.235-240, 1975.
- STERLING, T.M. Mechanisms of herbicide absorption across plant membranes and accumulation in plant cells. **Weed Sci.**, Champaign, v.42, p.263-276, 1994.

- STEVENS, P.J., BAKER, E.A. Factors affecting the foliar absorption and redistribution of pesticides. 1. Properties of leaf surfaces and their interactions with spray droplets. **Pestic. Sci.**, Phyladelphia, v.19, p.265-281, 1987.
- STORK, P. e HANNAH, M.C. A bioassay method for formulation testing and residue studies of sulfonylurea and sulfonanylide herbicide. **Weed Res.**, Oxford, v.36, p.271-281, 1996.
- STREIBIG, J.C. Herbicide bioassay. **Weed Res.**, Oxford v.28, p.479-484, 1988.
- STREIBIG, J.C., RUDEMO, M., JENSEN, J.E. Dose-response curves and statistical models. In: STREIBIG, J.C. e KUDSK, P. **Herbicide bioassays**. Boca Raton, Florida: CRC, 1993. p.29-55.
- STUART, B.L., KRIEG, D.R., ABERNTHY, J.R. Photosynthesis and stomatal-conductance responses of johnsongrass (*Sorghum halepense*) to water stress. **Weed Sci.**, Champaign, v.33, p.635-639, 1985.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant physiology**. California: The Benjamin/Cummings, 1991. 559p.
- TRITTER, S.A., HOLL, F.B., TODD, B.G. Diclofop-methyl and diclofop uptake in oat (*Avena sativa* L.) protoplasts. **Can. J. Plant Sci.**, Canada, v.64, p.215-223, 1987.
- TROUTMAN, B.C., KING, J.W., FRANS, R.E. Wild garlic (*Allium vineale*) control with glyphosate. **Weed Sci.**, Champaign, v.29, p.717-722, 1981.
- VELLOSO, J.A.R.O. Comportamento dos herbicidas sulfosate e glyphosate no controle de buva (*Conyza bonariensis* Cronquist var. *angustifolia* (Cabr.) Cabrera), aplicados em pós-emergência total, no sistema de plantio direto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE HERBICIDAS E PLANTAS DANINHAS, 19, 1993. **Resumos....** Londrina: SBHED, 1993. p.244-245.
- WALDECKER, M. A., WYSE, D. L. Soil moisture effects on glyphosate absorption and translocation in common milkweed (*Asclepias syriaca*) **Weed Sci.**, Champaign, v. 33, p. 299-305, 1985.
- WESTWOOD, J. H., YERKES, C.M., DeGENNARO, S.P. Absorption and translocation of glyphosate in tolerant and susceptible biotypes of field bindweed (*Convolvulus arvensis*). **Weed Sci.** v. 45, p. 658-663, 1997.

- WICKS, G.A., HANSON, G.E. Effect of rainfall on glyphosate plus 2,4-D performance on *Echinochloa crus-galli*. **Weed Sci.**, Champaign, v.43, p.666-670, 1995.
- WONG, S.C., COWAN, I.R., FARQUHAR, G.D. Leaf conductance in relation to CO₂ assimilation. III. Influences of water stress and photoinhibition. **Plant Physiol.**, France, v.78, p.830-834, 1985.
- XIE, H.S., HSIAO, A.I., QUICK, W.A., HUME, J.A. Influence of water stress on absorption, translocation and phytotoxicity of fenoxaprop-ethyl and imazamethabenz-methyl in *Avena fatua*. **Weed Res.**, Oxford, v.36, p.65-71, 1996.
- ZHANG, W. M., McGIFFEN JR., M.E., BECKER, J.O., OHR, H.D., SIMS, J.J., KALENBACH, R. L. Dose response of weeds to methyl iodide and methyl bromide. **Weed Res.** v. 37, p. 181-189, 1997.
- ZOSCHKE, A. Toward reduced herbicide rates and adapted weed management. **Weed Tech.**, Champaign, v.8, p.376-386, 1994.

APÉNDICES

APÊNDICE A

CAPÍTULO 2

Quadro 1A - Resumo das análises de variância individuais, relativas a biomassa seca da parte aérea das plantas sem estresse hídrico (BSSE) e biomassa seca da parte aérea das plantas com estresse hídrico (BSCE), avaliadas 30 dias após a aplicação do glyphosate e biomassa seca da rebrota das plantas sem estresse hídrico (BSRSE), e biomassa seca da rebrota das plantas com estresse (BSRCE), avaliadas 45 dias após o corte

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		BSSE	BSCE	BSRSE	BSRCE
Blocos	3	4,2177**	4,1512**	4,1760**	4,0965**
Tratamentos	(10)	(205,4421)**	(43,17567)**	(115,6832)**	(125,4573)**
Interação de Termos (T)	6	1,5532**	1,5532**	215,7179**	150,0589**
Limite de Chuva (LC)	1	75,9123**	1,2200*	25,0583**	17,3472**
Adicional (Ad)	2	65,1515**	109,0470**	121,9555**	315,4955**
T x LC	(6)	4,7497**	0,4428**	4,5300**	35,7342**
Ad x Fatorial	1	721,952**	200,5792**	119,3702**	12,3519**
Resíduo	40	0,9823	0,5005	0,5857	1,236
C.V. %		12,903	4,545	10,201	12,453

APÊNDICES

** significativo, a 1% pelo teste F

* significativo, a 5% pelo teste F

*** não significativo

APÊNDICE A

CAPÍTULO 2

Quadro 1A - Resumo das análises de variância individuais, relativas à biomassa seca da parte aérea das plantas sem estresse hídrico (BSSE) e biomassa seca da parte aérea das plantas com estresse hídrico (BSCE), avaliadas 30 dias após a aplicação do glyphosate e biomassa seca da rebrota das plantas sem estresse hídrico (BSRSE), e biomassa seca da rebrota das plantas com estresse hídrico (BSRCE), avaliadas 45 dias após o corte

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		BSSE	BSCE	BSRSE	BSRCE
Blocos	3	4,2177**	0,1512 ^{ns}	0,1780 ^{ns}	1,0665 ^{ns}
Tratamentos	(16)	(209,4421)**	(43,1358)**	(115,6832)**	(126,4673)**
Intervalo de Tempo (IT)	6	203,8979**	24,5858**	215,7176**	190,0586**
Lâmina de Chuva (LC)	1	76,9129**	1,2266*	26,8583**	17,3472**
Adicionais (Ad)	2	65,1619**	169,0476**	191,6565**	316,4955**
IT x LC	(6)	4,7497**	0,4428 ^{ns}	4,5306**	36,7342**
Ad x Fatorial	1	721,952**	200,6792**	119,2702**	12,3819**
Resíduo	48	0,9823	0,3025	0,6887	1,236
C.V. %		12,903	4,549	16,201	12,453

**significativo, a 1% pelo teste F.

* significativo, a 5% pelo teste F.

^{ns} não-significativo

Quadro 2A - Resumo das análises de variância individuais, relativas à biomassa seca da parte aérea das plantas sem estresse hídrico (BSSE) e biomassa seca da parte aérea das plantas com estresse hídrico (BSCE), avaliadas 30 dias após a aplicação do sulfosate e biomassa seca da rebrota das plantas sem estresse hídrico (BSRSE), e biomassa seca da rebrota das plantas com estresse (BSRCE), avaliadas 25 dias após o corte

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		BSSE	BSCE	BSRSE	BSRCE
Blocos	3	0,7510 ^{ns}	1,7792**	0,4021 ^{ns}	1,1196 ^{ns}
Tratamentos	(16)	(247,1494)**	(72,4500)**	(122,8603)**	(103,8180)**
Intervalo de Tempo (IT)	6	148,1776**	37,5897**	163,7489**	135,9176**
Lâmina de Chuva (LC)	1	312,7150**	13,0954**	134,7921**	33,9889**
Adicionais (Ad)	2	698,1925**	252,5153**	164,2397**	268,7314**
IT x LC	(6)	10,9383**	0,7976*	65,7374**	18,7685**
Ad x Fatorial	1	1290,5950**	410,7513**	125,576**	161,5193**
Resíduo	48	0,5576	0,2776	0,7680	1,1470
C.V. %		12,850	13,939	19,655	17,467

**significativo, a 1% pelo teste F.

*significativo, a 5% pelo teste F.

^{ns} não-significativo.

Quadro 3A - Resumo das análises de variância conjuntas, relativas à biomassa seca da parte aérea das plantas sem estresse hídrico (BSSE) e biomassa seca da parte aérea das plantas com estresse hídrico (BSCE), avaliadas 30 dias após a aplicação do glyphosate e sulfosate e biomassa seca da rebrota das plantas sem estresse hídrico (BSRSE), e biomassa seca da rebrota das plantas com estresse (BSRCE), avaliadas 45 dias após o corte

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		BSSE	BSCE	BSRSE	BSRCE
Blocos/Herbicida	6	2,48**	0,97**	0,29 ^{ns}	1,09 ^{ns}
Tratamentos	(33)	224,98**	56,04**	116,11**	119,71**
Tratamentos (TRAT)	(16)	446,9838**	112,48**	217,09**	199,38**
Intervalo de Tempo (IT)	6	346,90**	60,50**	351,37**	291,17**
Lâmina de Chuva (LC)	1	380,62**	5,98**	159,15**	0,68ns
IT x LC	6	4,50**	0,71 ^{ns}	41,96**	26,95**
Adicionais (Ad)	2	1345,59**	416,83**	354,72**	574,47**
Ad x Fatorial	1	1971,54**	592,82**	244,81**	131,67**
Herbicidas (H)	1	118,76**	0,00 ^{ns}	14,98**	265,78**
TRAT x H	(16)	9,61**	3,10**	21,46**	30,91**
IT x H'	6	5,18**	1,67**	28,10**	34,80**
IC x H'	1	34,96**	1,93**	27,99**	86,31**
IT x IC x H'	6	6,86**	1,60**	24,06**	22,61**
Ad x H _{ao} nível das testemunhas	2	2,77*	4,73**	1,17 ^{ns}	10,76**
Ad vs Fatorial x H'	1	41,00**	18,61**	0,04 ^{ns}	42,23**
Resíduo médio	96	0,77	0,29	0,73	1,19
C.V. %		13,01	14,25	17,81	14,50

**significativo, a 1% pelo teste F.

* significativo, a 5% pelo teste F.

^{ns} não-significativo.

Quadro 4A - Resumo das análises de variância conjuntas, relativas à biomassa seca da parte aérea das plantas do ensaio com glyphosate (BSG) e biomassa seca da parte aérea das plantas do ensaio com sulfosate (BSS), avaliadas na época da colheita nos dois níveis de umidade do solo e biomassa seca da rebrota do ensaio com glyphosate (BSRG), e biomassa seca da rebrota das plantas do ensaio com sulfosate (BSRS), avaliadas 45 dias após o corte

Fonte de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		BSG	BSS	BSRG	BSRS
Blocos/Umidade	6	2,18**	1,27**	0,62 ^{ns}	0,76ns
Tratamentos	(33)	138,13**	159,21**	132,32**	112,79**
Tratamentos (TRAT)	(16)	218,17**	289,12**	217,95**	193,94**
Lâmina de Chuva (LC)	1	53,67**	214,01**	76,02**	22,27**
Intervalo de Tempo (IT)	6	184,38**	167,34**	372,99**	291,00**
IT x LC	6	1,46 ^{ns}	6,79**	15,99**	32,61**
Adicionais (Ad)	2	740,06**	894,19**	486,56**	426,56**
Ad x Fatorial	1	841,95**	1578,76**	104,26**	285,97**
Umidade do solo (U)	1	517,06**	140,31**	492,25**	95,16**
TRAT x U	(16)	34,41**	30,48**	24,20**	32,74**
IC x U'	1	39,33**	116,48**	1,94 ^{ns}	173,90**
IT x U'	6	44,10**	18,43**	32,79**	8,66**
IT x IC x U'	6	1,26 ^{ns}	4,16**	19,65**	47,33**
Ad x U _{ao nível das testemunhas}	2	79,16**	56,52**	21,59**	6,41**
Ad vs Fatorial x U'	1	80,68**	122,58**	27,40**	1,13**
Resíduo médio	96	0,64	0,42	0,96	0,96
C.V. %		13,99	13,48	13,96	18,48

**significativo, a 1% pelo teste F.

* significativo, a 5% pelo teste F.

^{ns} não-significativo.

APÊNDICE B

CAPÍTULO 3

Quadro 1B – Resumo da análise de variância da biomassa seca da parte aérea (BSA), das raízes (BSR), total (BST) e comprimento das raízes (CRA) do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* var. Santa Clara), sob doses crescentes do glyphosate e sulfosate

Herbicida	Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
			BSA	BSR	BST	CRA
Glyphosate	Parcela	29	0,2795	0,0671	0,3647	489,05
	Dose	(5)	1,0514**	0,0263**	1,4088**	2364,60**
	Logística	2	2,5093	0,0621	3,3578	5602,63
	Desvio da Regressão	3	0,0794	0,0025	0,1095	205,92
	Resíd. Experimental	24	0,1187 ^{ns}	0,0026 ^{ns}	0,1473 ^{ns}	98,30 ^{ns}
	Resíd. Amostragem	30	0,0816	0,0020	0,1082	64,80
Sulfosate	Resíd. Ponderado	54	0,0981	0,0023	0,1255	79,69
	Parcela	29	0,0714	0,0044	0,1093	577,80
	Dose	5	0,2781**	0,0176**	0,4319**	3050,24**
	Logística	3	0,6716	0,0414	1,0362	7541,78
	Desvio da Regressão	2	0,0158	0,0018	0,0290	55,87
	Resíd. Experimental	24	0,0349 ^{ns}	0,0016 ^{ns}	0,0421 ^{ns}	62,71 ^{ns}
Sulfosate	Resíd. Amostragem	30	0,0520	0,0019	0,0731	76,17
	Resíd. Ponderado	54	0,0415	0,0018	0,0593	70,19

** significativo, a 1% pelo teste F.

Quadro 2B – Resumo da análise de variância do comprimento das raízes do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* var. Santa Clara), determinado nos ensaios com a água coletada logo após a aplicação (CR-0h), duas horas após (CR-2h), quatro horas após (CR-4h) e seis horas após (CR-6h) a aplicação do glyphosate e sulfosate em plantas de *Brachiaria brizantha* sem estresse hídrico

Herbicida	Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
			CR-0h	CR-2h	CR-4h	CR-6h
Glyphosate	Parcela	19	570,69	381,58	693,58	310,80
	Dose	4	2627,74**	1735,98**	3172,89**	1414,96**
	Logística	2	5246,86	3388,48	6289,52	2742,88
	Desvio da Regressão	2	8,61	83,50	56,21	87,02
	Resíd. Experimental	15	22,14 ^{ns}	20,41 ^{ns}	32,43 ^{ns}	16,36 ^{ns}
	Resíd. Amostragem	20	56,07	13,58	158,37	131,08
	Resíd. Ponderado	35	41,53	16,51	104,40	81,91
	Coef. de Variação		23,23	16,12	27,61	26,52
Sulfosate	Parcela	19	300,34	293,58	312,37	306,13
	Dose	4	1338,30**	1357,95	1367,14**	1397,25**
	Logística	2	2671,04	2705,01	2676,40	2616,88
	Desvio da Regressão	2	5,02	10,88	57,88	177,60
	Resíd. Experimental	15	23,55*	9,75 ^{ns}	31,09 ^{ns}	15,17 ^{ns}
	Resíd. Amostragem	20	10,49	45,96	31,78	65,18
	Resíd. Ponderado	35	16,09	30,44	31,48	43,75
	Coef. de Variação		17,09	24,90	22,64	23,79

** significativo, a 1% pelo teste F.

*significativo, a 5% pelo teste F.

^{ns} – não-significativo

Quadro 3B – Resumo da análise de variância do comprimento das raízes do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* var. Santa Clara), determinado nos ensaios com a água coletada, logo após a aplicação (CR-0h), duas horas após (CR-2h), quatro horas após (CR-4h) e seis horas após (CR-6h) a aplicação do glyphosate e sulfosate em plantas de *Brachiaria brizantha* sob estresse hídrico

CAPÍTULO 3

Herbicida	Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio			
			CR-0h	CR-2h	CR-4h	CR-6h
Glyphosate	Parcela	19	245,70	444,33	494,21	442,10
	Dose	4	1149,88**	2051,57**	2272,45**	2020,44**
	Logística	2	2284,31	4095,28	4514,25	4036,32
	Desvio da Regressão	2	15,44	7,86	30,65	4,55
	Resíd. Experimental	15	4,59 ^{ns}	15,74 ^{ns}	20,02 ^{ns}	21,22 ^{ns}
	Resíd. Amostragem	20	22,59	42,06	31,46	45,05
	Resíd. Ponderado	35	14,87	30,78	26,55	34,84
	Coef. de Variação		22,21	22,52	19,14	22,23
Sulfosate	Parcela	19	858,53	544,14	450,89	178,62
	Dose	4	3950,02**	2418,82**	1972,34**	805,97**
	Logística	2	7298,72	4680,42	3861,69	1465,40
	Desvio da Regressão	2	601,16	83,78	82,99	146,53
	Resíd. Experimental	15	34,13 ^{ns}	44,24 ^{ns}	45,24 ^{ns}	11,33 ^{ns}
	Resíd. Amostragem	20	130,98	88,93	51,06	16,57
	Resíd. Ponderado	35	89,47	69,78	48,54	14,32
Coef. de Variação		36,21	31,19	23,38	16,02	

** significativo, a 1% pelo teste F.

^{ns} – não-significativo

APÊNDICE C

CAPÍTULO 3

Cálculos das estimativas iniciais dos parâmetros da equação logística

Glyphosate - (Comprimento das raízes – CRA)

Modelo Logístico:

$$\hat{Y} = \frac{a}{1 + \left[\frac{x}{b} \right]^c}$$

Médias obtidas

Dose do herbicida (x) ($\mu\text{g mL}^{-1}$)	Comprimento das raízes (Y) (cm)
0	53,38
0,0320	47,43
0,0640	41,90
0,1280	43,47
0,2560	32,47
0,5120	10,05
Média = 0,1653	38,12

Estimativa inicial de a

Parâmetro	(i)	Valores Equidistantes	
		Dose (x)	Comprimento (Y)
a1	a	0	53,38
	b	0,032	47,43
	c	0,064	41,90
a2	a	0	53,38
	b	0,064	41,90
	c	0,128	43,47
a3	a	0	53,38
	b	0,128	43,47
	c	0,256	32,47
a4	a	0	53,38
	b	0,256	32,47
	c	0,512	10,05

$$(a)_n = \frac{Y_b(Y_a Y_b + Y_b Y_c - 2Y_a Y_c)}{Y_b^2 - Y_a Y_c}$$

$$(a)_1 = \frac{47,43(53,38 \times 47,43 + 47,43 \times 41,90 - 2 \times 53,38 \times 41,90)}{47,43^2 - 53,38 \times 41,90} = 167,6352703$$

- (a)2 = = 43,23704669
 (a)3 = = 73,76985939
 (a)4 = = 61,86565414
 (a)M = = 86,62695765

Estimativa inicial de (c)

Desvios (D)	(c)
$D_{(a)ni} = \frac{(a)M - Y_i}{Y_i}$	$(c)n = \frac{\sum x_i D_i - \frac{\sum x_i \sum D_i}{N}}{\sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{N}}$
$D_{(a)1a} = \frac{86,62695765 - 53,38}{53,38} = 0,6228354748$	$(c)1 = \frac{0,0947633695 - \frac{0,096 \times 2517}{3}}{0,002048} = 6,947401248$
$D_{(a)1b} = \dots = 0,826416986$	$(c)2 = 2,890337366$
$D_{(a)1c} = \dots = 1,067469156$	$(c)3 = 4,082312734$
$D_{(a)2a} = \frac{86,62695765 - 53,38}{53,38} = 0,6228354748$	$(c)4 = 13,66555137$
$D_{(a)2b} = \dots = 1,067469156$	
$D_{(a)2c} = \dots = 0,992798658$	
$D_{(a)3a} = \frac{86,62695765 - 53,38}{53,38} = 0,6228354748$	
$D_{(a)3b} = \dots = 0,992798658$	
$D_{(a)3c} = \dots = 1,667907535$	
$D_{(a)4a} = \frac{86,62695765 - 53,38}{53,38} = 0,6228354748$	
$D_{(a)4b} = \dots = 1,667907535$	
$D_{(a)4c} = \dots = 7,619597776$	

$D_M = (0,6228 + 0,8264 + 1,0675 + 0,9928 + 1,6679 + 7,6196) / 6 = 2,1328$
 $(c)_M = (6,9474 + 2,8903 + 4,0823 + 13,6656) / 4 = 6,8964$

Estimativa inicial de (b)

$$(b)_n = \left[\frac{(x_M)^{(c)n}}{D_M} \right] \left(\frac{1}{(c)n} \right)$$

$$(b)_1 = \left[\frac{(0,16533333)^{(6,9474)}}{2,132837598} \right] \left(\frac{1}{6,9474} \right) = 0,148255448$$

$$(b)_2 = \dots = 0,127217684$$

$$(b)_3 = \dots = 0,137334354$$

$$(b)_4 = \dots = 0,156418593$$

$$(b)_M = (0,1483 + 0,1272 + 0,1373 + 0,1564) / 4 = 0,14230652$$

Estimativas iniciais para o SAEG (Procedimento Gauss-Newton)

Parâmetros	Limites inferiores	Limite superiores	Estimativas iniciais
A	43,23705	167,63527	86,62958
B	0,12722	0,15642	0,14231
C	2,89034	13,66555	6,89640