

HELLEN MARTINS DA SILVEIRA

**INTERFERÊNCIA DE HERBICIDAS NAS CARACTERÍSTICAS
FISIOLÓGICAS DA MANDIOCA E NA ATIVIDADE MICROBIANA DO
SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2012

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

T

S587i
2012

Silveira, Hellen Martins da, 1984-

Interferência de herbicidas nas características fisiológicas da
mandioca e na atividade microbiana do solo / Hellen Martins
da Silveira. – Viçosa, MG, 2012.
viii, 57f. : il. ; 29cm.

Orientador: Antonio Alberto da Silva.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Manihot esculenta*. 2. Herbicidas. 3. Fotossíntese.
4. Micorriza. 5. Plantas e água. I. Universidade Federal de
Viçosa. II. Título.

CDD 22. ed. 633.682

HELLEN MARTINS DA SILVEIRA

**INTERFERÊNCIA DE HERBICIDAS NAS CARACTERÍSTICAS
FISIOLÓGICAS DA MANDIOCA E NA ATIVIDADE MICROBIANA DO
SOLO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências de Pós-Graduação em Fitotecnia, para a obtenção do título de Magister Scientiae.

APROVADA: 16 de JULHO de 2012.



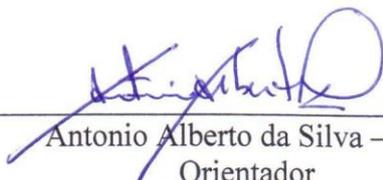
Evander Alves Ferreira - UFVJM



Francisco Affonso Ferreira - UFV



Tocio Sedyama - UFV
Coorientador



Antonio Alberto da Silva - UFV
Orientador

VIÇOSA - MG
2012

“A persistência é o menor caminho do êxito.”
Charles Chaplin.

Aos meus pais Wanderley e Clair, pelos incentivos e perseveranças nos meus estudos e sonhos, humildade e capacidade de aprender junto comigo as novas realidades que passamos por todo este longo caminho.
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Antes de tudo, a Deus, pela fé, saúde e paz que faz a vida de um ser humano ser uma conquista em cada etapa a ser seguida.

Ao meu irmão Victor, pela força e elogios que formam a minha família.

Ao meu noivo Rogério, pela compreensão, generosidade e amor nos momentos mais difíceis nesta etapa de minha vida.

Ao meu orientador Antonio Alberto da Silva, pelo apoio acadêmico e amizade, que desde o início acreditou em mim e hoje sou grata de coração.

Ao meu coorientador Tocio Sedyama pela ajuda e apoio na realização deste trabalho e ao professor Francisco Affonso Ferreira pelo apoio e incentivo prestados.

Ao amigo e conselheiro Evander Alves Ferreira pela amizade e ajuda que foram de fundamental importância para a realização deste trabalho e ao professor José Barbosa dos Santos pela ajuda nas correções dos trabalhos.

Ao incentivo do professor Lino Roberto Ferreira e do amigo Luiz Henrique Lopes de Freitas pela incrível ajuda nos trabalhos realizados a campo.

Aos amigos Manoel, Christiane, Felipe, Autieres, Douglas, Valdinei, Livia, Paulo, Ana Beatriz e Gustavo Soares que fizeram do trabalho um ambiente de amizade e aprendizado.

A todos os amigos da Equipe Planta Daninha desta Universidade pelo agradável convívio no laboratório, os quais direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

A colega de laboratório Muriel pelo apoio e dedicação nos ensinamentos prestados a mim.

Em especial ao meu amigo Daniel Valadão Silva, pela amizade, conselhos e apoio na execução deste trabalho.

Aos amigos de pós-graduação em Fitotecnia Moryb, Renata, Rusthon e Diogo pelo apoio nos estudos e principalmente pela intensa amizade.

A CAPES, pelo apoio à pesquisa e incentivo ao desenvolvimento científico estudantil.

A Universidade Federal de Viçosa, por todos estes anos de aprendizados e conquistas que pode fazer de mim uma pessoa repleta de vitórias e conhecimentos.

E finalmente a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

BIOGRAFIA

HELLEN MARTINS DA SILVEIRA, filha de Wanderley José Martins da Silveira e Clair Aparecida de Moraes Silveira, nasceu em Rio das Pedras, no estado de São Paulo, Brasil, em 09 de julho de 1984. Em março de 2004, iniciou o curso de graduação em Engenharia Agrônômica pela Universidade Federal de Viçosa. Durante a graduação realizou um intercâmbio para a Espanha em julho de 2007, retornando em outubro do mesmo ano e um estágio externo pela Empresa Iharabrás S/A Indústria Química em julho até dezembro de 2009. Em janeiro de 2010 formou-se em Agronomia pela UFV, no mês de março a julho estudou como aluna especial da UFV, já em agosto de 2010 iniciou o Mestrado em Fitotecnia, pela Universidade Federal de Viçosa, sob orientação do professor Antonio Alberto da Silva, submetendo-se a defesa da dissertação no dia 16 de julho de 2012.

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO GERAL	1
LITERATURA CITADA	3

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE MANDIOCA APÓS APLICAÇÃO DO MESOTRIONE

RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	6
INTRODUÇÃO.....	7
MATERIAL E MÉTODOS.....	8
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
LITERATURA CITADA.....	16

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM CULTIVARES DE MANDIOCA TRATADAS COM FLUAZIFOP-P-BUTYL E FOMESAFEN

RESUMO.....	19
ABSTRACT.....	19
INTRODUÇÃO.....	20
MATERIAL E MÉTODOS.....	22
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
LITERATURA CITADA.....	29

**CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS DE CULTIVARES DE
MANDIOCA TRATADAS COM FLUAZIFOP-P-BUTYL + FOMESAFEN**

RESUMO.....	32
ABSTRACT.....	32
INTRODUÇÃO.....	33
MATERIAL E MÉTODOS.....	34
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
LITERATURA CITADA.....	40

**ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO CULTIVADO COM MANDIOCA
INFLUENCIADA PELO MESOTRIONE E FLUAZIFOP-P-BUTYL**

RESUMO.....	43
ABSTRACT.....	43
INTRODUÇÃO.....	44
MATERIAL E MÉTODOS.....	46
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	48
LITERATURA CITADA.....	53

CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	57
----------------------------------	-----------

RESUMO

SILVEIRA, Hellen Martins da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2012. **Interferência de herbicidas nas características fisiológicas da mandioca e na atividade microbiana do solo.** Orientador: Antonio Alberto da Silva. Coorientador: Tocio Sedyama.

Avaliaram-se os efeitos dos herbicidas mesotrione, fluazifop-p-butyl, fomesafen e fluazifop-p-butyl+fomesafen sobre as características fisiológicas de cultivares de mandioca. E também, a ação do mesotrione e do fluazifop-p-butyl na atividade microbiana do solo rizosférico de um dos cultivares. Para isso em quatro experimentos foram avaliadas: as características fisiológicas de cultivares de mandioca após a aplicação do mesotrione; a interferência do fluazifop-p-butyl e do fomesafen, em aplicações isoladas e em mistura sobre a eficiência do uso da água e características fotossintéticas dos cultivares de mandioca; e a ação do mesotrione e do fluazifop-p-butyl sobre a atividade microbiana do solo rizosférico do cultivar Cacau-UFV aos 30 e 60 dias após aplicação dos herbicidas. O cultivar Platina foi mais tolerante ao mesotrione, enquanto o cultivar Coqueiro foi menos eficiente no uso da água sob aplicação deste herbicida. A taxa de transpiração, a condutância estomática e a eficiência do uso da água das plantas de mandioca aumentaram com o incremento das doses da mistura do fomesafen + fluazifop-p-butyl. Estes efeitos não foram observados quando os produtos foram aplicados isolados. Os cultivares de mandioca apresentam tolerância diferencial aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butyl, sendo este o mais seletivo a cultura. Verificou-se aumento da colonização micorrízica das raízes avaliadas do cultivar Cacau-UFV aos 30 dias para ambos herbicidas e aos 60 dias apenas para o fluazifop-p-butyl; todavia, estes produtos não interferiram no qCO_2 . A cultura da mandioca foi mais tolerante aos herbicidas mesotrione e o fluazifop-p-butyl.

ABSTRACT

SILVEIRA, Hellen Martins da, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2012. **Interference of herbicides in physiological characteristics of cassava and soil microbial activity.** Adviser: Antonio Alberto da Silva. Co-adviser: Tocio Sedyama.

In this study evaluated the effects of herbicides mesotrione, fluazifop-p-butyl, fomesafen and fluazifop-p-butyl + fomesafen on physiological characteristics of cassava cultivars, and also the action of mesotrione and fluazifop-p-butyl on microbial activity of rhizosphere of the cultivars. Thus, in four experiments were evaluated: physiological characteristics of cassava cultivars after application of mesotrione; interference of fluazifop-p-butyl and fomesafen in separate and mixture application on water use efficiency and photosynthetic characteristics of cassava cultivars; and the action of mesotrione and fluazifop-p-butyl on the microbial activity in the rhizosphere of the Cacau-UFV cultivar at 30 and 60 days after herbicide application. The Platina cultivar was more tolerant to mesotrione and Coqueiro cultivar showed less water use efficiency after applications. The transpiration rate, stomatal conductance and water use efficiency of cassava plants increased according to doses of fomesafen + fluazifop-p-butyl. These effects were not observed when the herbicides were applied separately. The cassava cultivars presented differential tolerance to herbicides fomesafen and fluazifop-p-butyl, and fluazifop-p-butyl was more selective to culture. There was an increase in mycorrhizal colonization of Cacau-UFV roots at 30 days for both herbicides and 60 days only for fluazifop-p-butyl, however, these products did not interfere on qCO_2 . The cassava crop was more tolerant to mesotrione and fluazifop-p-butyl.

INTRODUÇÃO GERAL

A mandioca é uma espécie que se adapta às mais variadas condições de clima e solo e apresenta boa tolerância à seca. O seu cultivo está fortemente ligado às tradições dos pequenos agricultores familiares e se constitui numa das principais fontes de carboidratos, desempenhando papel importante na alimentação humana e animal (EL-SHARKAWY, 2006; JARAMILLO et al., 2005; OLSEN; SCHAAL, 2001). O Brasil é o terceiro maior país produtor, sendo responsável por aproximadamente 11% da produção mundial de mandioca, atrás da Nigéria e da Tailândia (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2011).

O centro de origem da mandioca está na América Latina, sendo encontrada na forma nativa no Brasil, Peru, Venezuela, Guiana, Bolívia e Suriname, dificultando a indicação da região exata de origem (ALLEM, 1994). Em razão das variações edafoclimáticas regionais as espécies de mandioca exibem base genética para a tolerância à seca, altas temperaturas, entre outras (NASSAR, 1979).

Dentre os principais fatores que contribuem para as perdas na produção de raízes, encontra-se a interferência das plantas daninhas. Normalmente, os produtores de mandioca acreditam que, por ser uma cultura rústica, não precisam se preocupar com o manejo destas (ALBUQUERQUE, 2008). A pouca disponibilidade de informações técnicas específicas, pode levar produtores de mandioca a utilizarem práticas de manejo de plantas daninhas recomendadas para outras culturas. Isto ocorre, porque são escassas as pesquisas relacionadas às suas características fisiológicas associadas a herbicidas e também ao controle das plantas daninhas. É comum herbicida não causarem sintomas aparentes de intoxicação nas culturas, mas influenciar a produtividade final de forma negativa.

Caso as plantas daninhas não sejam manejadas adequadamente, as perdas na produção podem chegar a 90%, dependendo do tempo de convivência e da densidade das plantas daninhas (PERESSIN & CARVALHO, 2002). Essa elevada queda na produtividade da cultura pode ser atribuída à competição por água que interfere no uso eficiente da luz e na absorção dos nutrientes.

A capacidade dessa cultura para usar água eficientemente permite sua exploração em áreas de estação seca prolongada, como o Nordeste do Brasil e a África. Além disso, a sua adaptação aos solos de baixa fertilidade permite a conversão eficiente de energia solar (que é abundante nos Trópicos) em carboidratos,

sem competir com outras culturas que demandam uma quantidade maior de nutrientes do solo. Segundo Cardoso (1995) devido a sua rusticidade, a mandioca possui a capacidade de se desenvolver bem em condições adversas, implantando esta, em condições de recursos naturais desfavoráveis, ou seja, colocando a cultura em desvantagem, quando comparada com outros produtos.

A mandioca apresenta controle estomático eficiente sobre as trocas gasosas, a fim de reduzir as perdas de água, quando estão sujeitas ao déficit de água no solo ou a altas demandas evaporativas da atmosfera, portanto protegendo as folhas de uma desidratação severa (EL-SHARKAWY, 2007). Embora a capacidade de condução e trocas gasosas pelos estômatos seja considerada como a principal limitação da assimilação de CO₂ fotossintético (HUTMACHER & KRIEG, 1983), é improvável que as trocas gasosas venham a limitar a taxa de fotossíntese quando em interação com outros fatores. Todavia, a taxa fotossintética está diretamente relacionada à radiação fotossinteticamente ativa (composição da luz), aos fatores de disponibilidade hídrica e às trocas gasosas (NAVES-BARBIERO et al., 2000).

Algumas técnicas têm-se mostrado eficientes na avaliação dos impactos dos cultivos agrícolas sobre o meio, a exemplo do emprego de indicadores microbiológicos para averiguação da qualidade do solo. Normalmente, pequenas alterações na qualidade do solo estão associadas com mudanças em suas propriedades microbiológicas, as quais apresentam alta sensibilidade a perturbações advindas do manejo (PANKHURST et al., 1997; TÓTOLA et al., 2002).

O solo representa um ambiente heterogêneo que permite o desenvolvimento de grande diversidade de microrganismos, cujo equilíbrio é afetado por fatores bióticos e abióticos do ambiente. Ocorrem interações entre microrganismos do solo na rizosfera das plantas, mas que são pouco estudadas, como a dos fungos micorrízicos arbusculares (FMAs) e as bactérias diazotróficas. Estudos de inoculação de fungos micorrízicos arbusculares com bactérias diazotróficas têm evidenciado que as bactérias podem incrementar o desenvolvimento e os teores de nutrientes nas plantas, a colonização micorrízica e a esporulação dos FMAs (BAGYARAJ & MENGE, 1978; EL-RAHEEM et al, 1989; PAULA, 1992; BALOTA, 1994).

Neste trabalho foram avaliados os efeitos dos herbicidas mesotrione, fluazifop-p-butyl e fomesafen e da mistura comercial fluazifop-p-butyl+fomesafen sobre as características fisiológicas de cinco cultivares de mandioca e também, a

ação do mesotrione e do fluazifop-p-butyl na microbiota do solo rizosférico do cultivar Cacau-UFV.

LITERATURA CITADA:

ALBURQUEQUE, J. A. A et al. Interferência de plantas daninhas sobre a produtividade da mandioca (*Manihot esculenta*). **Planta Daninha**, v.26, n.2, p.279-289, 2008.

ALLEM, A. C. The origin of *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae). **Genetics Resources and Crop Evolution**, v. 41, n.03, p. 133-150, 1994.

BAGYARAJ, D. J; MENGE, J. A. Interaction between vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and *Azotobacter* and their effects on rhizosphere microflora and plant growth. **New Phytologist**, London, v.80, p.567-573, 1978.

BALOTA, E. L. **Interação de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. Itaguaí: UFRRJ, 1994. p-281. Tese de Doutorado.

CARDOSO, C. E. L. **Efeitos de políticas públicas sobre a produção de mandioca no Brasil**. Piracicaba, SP: USP-ESALQ, 1995. 180p. Dissertação de Mestrado em Economia Agrária - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

EL-RAHEEM, A, et al. Synergistic effect of vesicular-arbuscular-mycorrhizas and *Azotobacter chroococcum* on the growth and the nutrient contents of tomato plants. **Phyton**, Austria, v. 29, p. 203-212, 1989.

EL-SHARKAWY, M. A. International research on cassava photosynthesis, productivity, ecophysiology, and responses to environmental stresses in the tropics. **Photosynthetica**, v. 44, n. 04, p. 481-512, 2006.

EL-SHARKAWY, MA. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semi arid environments *Braz. J. Plant Physiol.*, v.19, n.4, p.257-286, 2007.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Production:** crops. Available at:<<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Accessed on: 16 Sept. 2011.

HUTMACHER, R. B.; KRIEG, D. R. Photosynthetic rate control in cotton. *Plant Physiol.*, v.73, p.658-661, 1983.

JARAMILLO, G. *et al.* Diallel analysis in cassava adapted to the mid altitude valleys environment. *Crop Science*, v.45, n.03, p.1058-1063, 2005.

NASSAR, N. M. A. Three brazilian *Manihot* species with tolerance to stress conditions. *Canadian Journal of Plant Science*, v.59, p.553-555, 1979.

NAVES-BARBIERO, C. C. *et al.* Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. *R. Bras. Fisiol. Veg.*, v.12, p.119-134, 2000.

OLSEN, K. M.; SCHAAL, B. A. Microsatellite variation in cassava (*Manihot esculenta*, Euphorbiaceae) and its wild relatives: Further evidence for a southern Amazonian origin of domestication. *American Journal of Botany*, v.08, p.131–142, 2001.

PANKHURST, C. E. *et al.* **Biological indicators of soil health**. Boca Raton: CRC Press, 268 p, 1997.

PAULA, M. A. **Interação micorrizas vesículo-arbusculares e bactérias diazotróficas em batata-doce (*Ipomoea batatas* (L) Lam.)**. Itaguaí: UFRRJ, 1992. Tese de Doutorado.

PERESSIN, A. V; CARVALHO. J. E. B. Manejo Integrado de Plantas Daninhas em Mandioca. **In: CEREDA et. al . Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americano.** São Paulo: Editora Fundação Cargill, p.302-347, 2002.

TÓTOLA, M. R.; CHAER, G. M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade dos solos. In: VENEGAS V., H. A. et al. (Eds.). **Tópicos em ciência do solo.** Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.2. p.195-276, 2002.

CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS DE CULTIVARES DE MANDIOCA APÓS APLICAÇÃO DO MESOTRIONE

RESUMO – A taxa fotossintética e a eficiência do uso da água foram avaliadas em cultivares de mandioca (Coimbra, Platina, IAC-12, Coqueiro e Cacau-UFV), pulverizadas com cinco doses do mesotrione (0; 72; 108; 144 e 216 g ha⁻¹). Aos 45 dias após aplicação foram avaliados o CO₂ consumido, o carbono interno, a taxa fotossintética, a condutância estomática de vapores de água, a taxa de transpiração, a temperatura da folha e a eficiência do uso da água. O cultivar Platina mostrou-se o mais tolerante pelo herbicida, visto que, somente houve decréscimo da taxa fotossintética nas doses de 144 e 216 g ha⁻¹. A temperatura da folha também não foi afetada pelo herbicida; entretanto, observou-se redução na eficiência de uso da água para o Coqueiro.

Palavras chave: eficiência do uso da água, *Manihot esculenta*, taxa fotossintética.

PHYSIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF CASSAVA CULTIVARS AFTER MESOTRIONE APPLICATION

ABSTRACT – The photosynthetic rate and water use efficiency was evaluated in cassava cultivars (Coimbra, Platina, IAC-12, Coqueiro e Cacau-UFV), pulverized with five mesotrione rates (0; 72; 108; 144 and 216 g ha⁻¹). The CO₂ consumed, the internal carbon, the photosynthetic rate, the stomatal conductance of water vapor, the transpiration rate, the leaf temperature and the water use efficiency was assessed 45 days after application of the herbicide. The Platina cultivar showed more tolerant by mesotrione, since there was a decrease of the photosynthetic rate at doses of 144 and 216 g ha⁻¹. The leaf temperature was also did not affect by the herbicide; however, reduction in the water use efficiency was observed in Coqueiro cultivar.

Key words: water use efficiency, *Manihot esculenta*, photosynthetic rate.

INTRODUÇÃO

Apesar de o Brasil ser o terceiro maior produtor mundial de mandioca, são poucas as opções de defensivos agrícolas para a cultura. Isto tem dificultado reduções nos custos de produção e causado perdas em plantios comerciais (ABAM, 2011).

O manejo de plantas daninhas é tido como um dos principais componentes de produção da mandioca, principalmente devido às reduções na produção de raízes que pode chegar a mais de 90% (JOHANNES & CONTIERO, 2006). O manejo químico tem sido indicado como a alternativa para reduzir o custo final do cultivo devido ao alto custo e baixo rendimento da capina com enxada (BIFFE et al., 2010), entretanto, a indisponibilidade de produtos registrados tem sido o entrave ao crescimento do setor.

Dentre os herbicidas com potencial de uso na cultura se destaca o mesotrione. Este herbicida inibe a biossíntese de carotenóides interferindo na atividade da enzima HPPD (4 – hidroxifenilpiruvato - dioxigenase) nos cloroplastos, causando o branqueamento das folhas com posterior necrose e morte dos tecidos vegetais em cerca de 1 a 2 semanas (LEE, 1997; WICHERT et al., 1999). Quando aplicado em pós-emergência inicial tem promovido excelente controle de várias espécies de plantas daninhas, tais como: *Digitaria horizontalis*, *Eleusine indica*, *Brachiaria plantaginea*, *Acanthospermum hispidum*, *Portulaca oleracea* e *Galinsoga parviflora* (FOLONI, 2002). Registrado para a cultura do milho, a tolerância dessa espécie ao herbicida tem sido atribuída à capacidade de metabolizar rapidamente, produzindo metabólitos sem atividade tóxica (SYNGENTA, 2004). A inibição é indireta, causada pela depleção do cofator da enzima fitoeno desidrogenase, catalizadora da reação de conversão do fitoeno em fitoflueno, necessária à produção do licopeno, que é precursor dos carotenóides presentes no milho (SCHULZ et al., 1993). A absorção do produto ocorre tanto nas raízes quanto nas folhas e ramos (MAPA, 2004).

Acredita-se que uma das características fisiológicas das plantas susceptíveis influenciada pelo uso de herbicidas seja a taxa fotossintética. Silveira et al., (2012) observou que, em geral plantas de mandioca tratadas com mesotrione mantiveram o aumento do número de folhas durante o período de avaliação apesar da intoxicação visível. Essa é uma característica desejada, pois a manutenção da folhagem das

plantas de mandioca aumenta o período de atividade do aparato fotossintético proporcionando incrementos no rendimento da produção da cultura.

Outra característica fisiológica possível de ser afetada pelo uso de herbicidas trata-se da eficiência do uso da água pela planta. Dessa forma, plantas mais eficientes no uso da água produzem mais matéria seca por grama de água transpirada (BAPTISTA et al., 2001). Para estudos de competição com plantas daninhas Aspiazú et al., (2010) evidenciaram que na ausência de outra planta a mandioca foi mais eficiente quanto ao uso da água, principalmente quando competindo com *Bidens pilosa*. Esta espécie mostrou ter maior capacidade de afetar o crescimento da cultura (PROCÓPIO et al., 2004).

Na busca de novos herbicidas seletivos avaliou-se nesse trabalho características associadas à eficiência fotossintética e do uso da água em cultivares de mandioca, submetidos a doses crescentes do mesotrione.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido, sendo utilizado como substrato amostra de Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico (LVAd), textura argilosa (56% argila, 6% silte e 38% areia). A análise química do solo apresentou pH (água) de 5,4; teor de matéria orgânica de 1,8 dag kg⁻¹; P 1,4; K 10 (mg dm⁻³); Ca 0,5; Mg 0,2; Al 0,4; H+Al 4,4; e CTC_{efetiva} 1,7 (cmol_c dm⁻³). Para adequação do substrato quanto à nutrição, foram aplicados o equivalente a 150 mg dm⁻³ de calcário dolomítico, 110 mg dm⁻³ de super fosfato simples e 20 mg dm⁻³ de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura aos 30 dias após a emergência da cultura, na dose de 20 mg dm⁻³ de uréia previamente dissolvida em água. As irrigações foram realizadas conforme a necessidade da cultura, por sistema de microaspersão.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso com quatro repetições e as unidades experimentais foram constituídas por vaso com capacidade de 12 dm³, preenchido com o substrato. Adotou-se arranjo fatorial em esquema 5 x 5, sendo cinco doses do mesotrione (0; 72; 108; 144 e 216g ha⁻¹) e cinco cultivares de mandioca: Coimbra, Platina, IAC-12, Coqueiro e Cacau-UFV.

As manivas com tamanho médio de 20 cm e aproximadamente 5 gemas foram plantadas em vasos no mês de março de 2011, com emergência cinco dias

após o plantio (DAP). A aplicação do herbicida foi feita em pós-emergência, aos 30 DAP com pulverizador costal pressurizado à CO₂, equipados com dois bicos TTI 110.02, espaçados 0,5 m de largura, mantidos a pressão de 200 kPa e volume de calda de 150 L ha⁻¹.

Aos 45 dias após a aplicação do herbicida, foram realizadas as avaliações fisiológicas, no terço superior da planta na quarta folha completamente expandida. Utilizou-se o analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO⁺ (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), em ambiente protegido, permitindo livre circulação do ar. As avaliações foram realizadas entre 7 e 10 h, de forma que fossem mantidas as condições ambientais homogêneas durante a avaliação de cada bloco. Foram avaliados o CO₂ consumido (ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), carbono interno (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), taxa fotossintética (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática de vapores de água (g_s - $\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$), a taxa de transpiração (E - $\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), temperatura da folha (TF - $^{\circ}\text{C}$) e calculada a eficiência do uso da água (EUA - $\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) obtida pela relação entre quantidade de CO₂ fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada.

Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F e, em caso de significância, as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O consumo de CO₂ (ΔC) pela fotossíntese no período de avaliação, para os cultivares de mandioca IAC-12, Coqueiro e Cacau-UFV, foi reduzido a partir da dose de 108 g ha⁻¹ do mesotrione (Tabela 1). Os genótipos IAC-12 e Coqueiro foram as que apresentaram as maiores reduções (37,2 e 41,9%), respectivamente no consumo de CO₂ quando submetido a maior dose do herbicida em relação à testemunha.

Tabela 1. CO₂ consumido (ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$) dos cultivares de mandioca, tratadas com doses crescentes de mesotrione

Cultivares	Mesotrione (g ha ⁻¹)				
	0	72	108	144	216
Coimbra	43,40 aA*	42,95 bA	38,30 bA	30,90 bB	30,10 bB
Platina	56,35 aA	55,30 aA	58,45 aA	55,90 aA	59,35 aA
IAC-12	55,20 aA	52,90 aA	43,35 bB	41,55 abB	34,65abC
Coqueiro	56,95 aA	53,50 aA	44,15 bB	48,95 abB	33,05 bC
Cacau-UFV	53,05 aA	53,40 aA	42,40 bB	40,60 abB	39,65 abB
CV (%)	27,81				

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As menores taxas de ΔC , nos cultivares IAC-12 e Coqueiro, estão diretamente relacionados com as maiores reduções na taxa fotossintética verificados nestes cultivares. De modo geral, quanto mais acelerado for o metabolismo da planta, maior o ΔC por unidade de tempo (GALON et al., 2010). Embora a capacidade de condução e trocas gasosas pelos estômatos seja considerada a principal limitação da assimilação de CO₂ fotossintético (HUTMACHER & KRIEG, 1983).

Semelhante ao observado para ΔC (Tabela 1), a concentração de carbono interno (C_i) do cultivar Platina não foi afetado pelo mesotrione (Tabela 2). O herbicida promoveu aumento na concentração de C_i nos genótipos Coimbra e IAC-12 a partir da dose 144 g ha⁻¹ e para Coqueiro e Cacau-UFV na maior dose. As menores taxas de ΔC nestes cultivares quando tratado com mesotrione (Tabela1), justifica o aumento na concentração de C_i no mesofilo foliar (Tabela 2). A C_i é considerada uma variável fisiológica influenciada por fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, luz e energia, entre outros (OMETTO et al., 2003). Como neste experimento o déficit hídrico e o sombreamento não foram fatores limitantes ao metabolismo das plantas de mandioca, acredita-se que os resultados sejam atribuídos ao efeito do herbicida no metabolismo de assimilação do carbono.

Tabela 2. Carbono interno (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$) dos cultivares de mandioca, tratadas com doses crescentes de mesotrione

Cultivares	Mesotrione (g ha^{-1})				
	0	72	108	144	216
Coimbra	253,95 cB*	266,45 aB	263,90 aB	275,20 abA	281,80 bA
Platina	275,65 aA	261,95 aA	252,55 bA	261,35 bA	256,15 cA
IAC-12	266,70 abB	266,00 aB	272,50aAB	280,65 aA	291,25 aA
Coqueiro	253,30 cB	257,60 aB	259,05 abB	258,05 bB	296,25 aA
Cacau-UFV	265,40 abB	265,00 aB	268,45 aB	258,65 aB	290,35 aA
CV (%)	10,64				

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à taxa transpiratória (E), houve efeito negativo na transpiração para IAC-12, Coimbra e Cacau-UFV, quando receberam a aplicação do herbicida (Tabela 3). No entanto, o mesmo não foi constatado para os cultivares Platina e Coqueiro que mantiveram valores semelhantes a testemunha.

Tabela 3. Taxa transpiratória (E - $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) dos cultivares de mandioca, tratadas com doses crescentes de mesotrione

Cultivares	Mesotrione (g ha^{-1})				
	0	72	108	144	216
Coimbra	3,52 abA*	3,43 aA	2,67 bB	2,73 bB	2,52 bB
Platina	4,16 aA	3,75 aAB	3,37 aA	3,54 aA	3,47 aA
IAC-12	3,73 abA	3,71 aA	3,08 abAB	3,22 aAB	2,77 abB
Coqueiro	3,17 bA	3,43 aA	3,27 aA	3,41 abA	3,03 aA
Cacau-UFV	4,17 aA	3,88 aA	3,68 aA	3,65 aA	3,20 aB
CV (%)	20,84				

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A mandioca apresenta controle estomático eficiente sobre as trocas gasosas, a fim de reduzir as perdas de água quando as plantas são sujeitas a déficit hídrico ou a altas demandas evaporativas da atmosfera, portanto protegendo as folhas de uma desidratação severa (EL-SHARKAWY, 2007). Desta forma, pode se inferir que as menores taxas de transpiração verificada nestes genótipos relacionam-se ao efeito do mesotrione na condutância estomática.

A condutância estomática (g_s) está relacionada com a abertura dos estômatos, ou seja, a resistência associada à difusão de CO_2 pela abertura estomática. Para todos os cultivares, exceto o Platina, a g_s diminui a partir da dose de 108 g ha^{-1} do mesotrione (Tabela 4). A menor g_s promoveu maior resistência à difusão dos gases,

com isso uma menor taxa de transpiração provocada pela redução da abertura estomática como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 4. Condutância estomática ($gs - \mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) dos cultivares de mandioca, tratadas com doses crescentes de mesotrione

Cultivares	Mesotrione (g ha^{-1})				
	0	72	108	144	216
Coimbra	0,33 bA*	0,36 bA	0,24 bB	0,23 bB	0,25 bB
Platina	0,55 aA	0,54 aA	0,47 aA	0,54 aA	0,67 aA
IAC-12	0,56 aA	0,58 aA	0,49 aAB	0,47 abAB	0,39 abB
Coqueiro	0,42 abA	0,42 abA	0,43 aA	0,40 abA	0,27 bB
Cacau-UFV	0,53 aA	0,52 aA	0,50 aA	0,47 abA	0,43 abB
CV (%)	32,13				

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As mudanças na resistência estomáticas são importantes para a regulação da perda de água pela planta e para o controle da taxa absorção de dióxido de carbono necessário a fixação contínua durante a fotossíntese (TAIZ e ZEIGER, 2009). Independentemente da dose, o cultivar Coimbra apresentou redução dos valores de gs em relação aos demais, demonstrando maior resistência à difusão dos gases, conseqüentemente menores transpiração e fotossíntese, respectivamente (Tabela 3 e 5).

Tabela 5. Taxa fotossintética ($A - \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) dos cultivares de mandioca, tratadas com doses crescentes de mesotrione

Cultivares	Mesotrione (g ha^{-1})				
	0	72	108	144	216
Coimbra	12,45 bA*	15,28 bA	12,22 bA	9,87 bB	9,74 bB
Platina	17,13 aA	17,68 aA	16,28 aA	14,17 aB	14,00 aB
IAC-12	17,19 aA	17,64 aA	11,73 bB	12,11 abB	10,78 abB
Coqueiro	17,24 aA	17,05 aA	17,04 aA	14,37 aAB	10,54 abB
Cacau-UFV	16,21 aA	15,52 bA	13,28 bB	13,96 abB	12,61 abB
CV (%)	21,27				

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto maior a taxa fotossintética da espécie, mais rapidamente o CO_2 é consumido, e menor sua concentração no interior da folha, supondo-se que os estômatos estejam fechados (CORNIANI et al., 2006). O consumo de CO_2 amplia as diferenças na concentração deste gás entre a parte interna da folha, e o ambiente externo, sendo que via de regra, quanto maior for este gradiente (ΔC), mais

rapidamente o CO₂ entrará na folha após a abertura estomática, em função de maior gradiente de concentração.

O mesotrione causou redução das taxas fotossintéticas de todas os cultivares de mandioca nas doses de 144 g ha⁻¹ e 216 g ha⁻¹ quando comparado com o tratamento sem aplicação (Tabela 5). No entanto, o Cacau-UFV e IAC-12 apresentaram redução na fotossíntese a partir da dose de 108 g ha⁻¹. As maiores taxas de reduções fotossintéticas foram verificados nos cultivares Coqueiro e IAC-12, respectivamente. Ao observar a concentração de carbono interno (C_i), verifica que foram eles que apresentaram maior acúmulo de CO₂ interno no mesofilo (Tabela 2), isso demonstra que o herbicida mesotrione afetou o metabolismo de assimilação de carbono reduzindo a taxa fotossintética das plantas de mandioca, além de reduzir também a condutância estomática fazendo com que ocorra a diminuição do grau de abertura estomática (Tabela 4), aumentando o incremento de CO₂ interno. Em condições ambientais que ocorra uma situação de estresse, as plantas de mandioca reduzem suas taxas fotossintéticas como forma de prevenir maiores danos a planta (EL-SHARKAWY, 2003), provavelmente reduzindo a condutância estomática que diminui o influxo de CO₂ no mesofilo foliar.

A eficiência do uso da água (*EUA*) foi reduzida pelo mesotrione somente no cultivar Coqueiro em função da menor fotossíntese da planta, causando em última instância, menor acúmulo de biomassa devido à intoxicação pelo herbicida (Tabela 6). Por isso, é altamente influenciada pelo tipo de metabolismo do carbono da espécie e por outras características morfofisiológicas, como densidade e abertura dos estômatos, revestimento da superfície foliar (presença de tricomas, cerosidade nas folhas) e posicionamento dos estômatos em relação à superfície da folha (planos ou em cavidades). Aspiazú et al. (2010) trabalharam com a mandioca em condição de competição verificando que a cultura apresentou maior *EUA* comparada as plantas daninhas testadas. A *EUA* é também influenciada pelos fatores ambientais, como temperatura da folha, velocidade do vento e umidade relativa do ar. Quando sob condições de temperatura moderada, as plantas de mandioca normalmente são muito eficientes quanto ao uso da água, ou seja, perdem menos água que muitas espécies, para a fixação da mesma quantidade de CO₂ (EL - SHARKAWY, 2003).

Tabela 6. Eficiência do uso da água (*EUA* - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) dos cultivares de mandioca, tratadas com doses crescentes de mesotrione

Cultivares	Mesotrione (g ha^{-1})				
	0	72	108	144	216
Coimbra	3,51 bA*	4,47 aA	4,55 aA	3,67 bA	3,94 abA
Platina	4,29 abA	4,71 aA	4,86 aA	4,19 aA	4,06 aA
IAC-12	4,64 abA	4,81 aA	4,07 abA	4,06 abA	4,08 aA
Coqueiro	5,72 aA	5,03 aA	5,23 aA	4,37 aAB	3,41 bB
Cacau-UFV	4,09 aA	4,00 aA	3,74 bA	3,90 bA	3,60 bA
CV (%)	25,22				

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Uma vez que a temperatura da folha (*T_f*) não mostrou significância estatística para os cultivares (Tabela 7), pode-se supor que o metabolismo não foi seriamente afetado e que esse fator provavelmente possa ser excluído da participação na *gs*. O maior metabolismo do vegetal incrementa a *T_f* a tal ponto que, via de regra, é superior à temperatura do ar ao seu redor, que é dependente da taxa de transpiração. Assim, o aumento do metabolismo pode ser indiretamente aferido em função do gradiente entre a *T_f* e a temperatura do ar. Normalmente essa diferença é de somente um ou dois graus, mas, em casos extremos, pode exceder 5°C (ATKIN et al., 2000; TAIZ & ZEIGER, 2009).

Tabela 7. Temperatura da folha (*T_f* - °C) dos cultivares de mandioca, tratadas com doses crescentes de mesotrione

Cultivares	Mesotrione (g ha^{-1})				
	0	72	108	144	216
Coimbra	30,23 aA*	29,48 aA	29,55 aA	29,59 aA	29,50 aA
Platina	30,26 aA	29,66 aA	29,77 aA	29,28 aA	29,15 aA
IAC-12	29,45 aA	29,92 aA	30,98 aA	29,73 aA	29,97 aA
Coqueiro	29,39 aA	29,85 aA	30,11 aA	29,64 aA	29,60 aA
Cacau-UFV	29, 21 aA	29,98 aA	29,16 aA	29,92 aA	29,34 aA
CV (%)	3,82				

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

CONCLUSÕES

O mesotrione influenciou todos os cultivares em relação a taxa fotossintética, já para a eficiência do uso da água, apenas o Coqueiro. Todavia, não se observou efeito negativo para temperatura da folha. Sendo assim, os cultivares apresentaram diferentes níveis de tolerância ao herbicida, demonstrando resultado seletivo.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo auxílio financeiro ao projeto. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) concessão de bolsa ao primeiro autor.

LITERATURA CITADA

ABAM, **Associação Brasileira dos produtores de amido de mandioca**. Registro de defensivos agrícolas para a Mandioca começa a se concretizar. Disponível em: http://www.abam.com.br/includes/menu3/noticias_imp.php?id=353. Acesso em 10 dez 2011.

ASPIAZÚ, I. et al. Eficiência do uso da água de plantas de mandioca em condições de competição. **Planta Daninha**, v. 28, n.4, p. 699-703, 2010.

ATKIN, O. K. et al. Leaf respiration of snow gum in the light and dark. Interactions between Temperature and Irradiance. **Plant Physiol.**, v. 122, n. 3, p. 915-923, 2000.

BAPTISTA, J. M. et al. **Programa nacional para o uso eficiente da água**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 212 p, 2001.

BIFFE, D. F. et al. Avaliação de herbicidas para dois cultivares de mandioca. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 807-816, 2010.

CORNIANI, N. et al. Determinação das trocas gasosas e de potencial hídrico através do uso de sistemas portáteis na avaliação do estresse. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**, 2006, Piracicaba. **Anais...**São Paulo: USP, 2006.

EL-SHARKAWY, M. A. Cassava biology and physiology. **Plant Molecular Biology**, v. 53, n. 5, p. 481-501, 2003.

EL-SHARKAWY, M. A. Physiological characteristics of cassava tolerance to prolonged drought in the tropics: Implications for breeding cultivars adapted to seasonally dry and semi arid environments Braz. J. **Plant Physiol.**, v. 19, n. 4, p. 257-286, 2007.

FOLONI, L. L. Callisto® (mesotrione) – um novo herbicida pós-emergente para a cultura do milho (*Zea mays* L.). In: XXIII CONGRESSO BRASILEIRO DA

CIÊNCIA DAS PLANTAS DANINHAS, 23., 2002, Gramado. **Resumos**. Gramado: SBPCPD, p. 308, 2002.

GALON, L. et al. Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. **Planta Daninha**. v. 28, n. 2, p. 329-338, 2010.

HUTMACHER, R. B.; KRIEG, D. R. Photosynthetic rate control in cotton. **Plant Physiol.**, v. 73, n. 3, p. 658-661, 1983.

JOHANNES, O. & CONTIERO, R. Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência de plantas daninhas com a cultura da mandioca. **Rev. Ciênc. Agron.**, v. 37, n. 3, p. 326-331, 2006.

LEE, D. L. The discovery and structural requirements of inhibitors of hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **Weed Science**, v. 45, p. 601- 609, 1997.

MAPA, **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <[http:// www.agricultura.gov.br](http://www.agricultura.gov.br)>. Acesso em 10 de janeiro de 2012.

OMETTO, J. P. H. B. et al. Variação temporal do isótopo estável do carbono em material arbóreo em florestas da região Amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA, 4., 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio Claro: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2003.

PROCÓPIO, S. O. et al. Ponto de Murcha permanente de soja, feijão e plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 22, n. 1, p. 35-41, 2004.

SILVEIRA, H. M. et al. Sensibilidade de cultivares de mandioca ao mesotrione. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.1, p. 190-199, 2012.

SCHULZ, A. et al. SC-0051, A 2-benzoyl-cyclohexane-1,3-dione bleaching herbicide, is a potent inhibitor of the enzyme *p*-hydroxyphenylpyruvate dioxygenase. **FEBS Letters**, v.318, p.162-166, 1993.

SYNGENTA FOUNDATION. Disponível em: <[http:// www.syngenta.com.br](http://www.syngenta.com.br)>. Acesso em 10 janeiro de 2012.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 4.ed. Trad. Eliane Romanato Santarém [et al.]. Porto Alegre: Artmed, 848 p, 2009.

WITCHERT, R. A. et al. Technical over view of ZA1296, a new corn herbicide from ZENECA. **Weed Sci. Soc. Am. Abstr.** p. 39-65, 1999.

EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA EM CULTIVARES DE MANDIOCA TRATADAS COM FLUAZIFOP-P-BUTYL E FOMESAFEN

RESUMO - Acredita-se que alguns herbicidas possam influenciar a eficiência do uso da água pelo efeito negativo direto sobre a fotossíntese, transpiração e condutância estomática ou indiretamente, pela redução da taxa metabólica da planta. Diante disso, objetivou-se neste trabalho avaliar a influência dos herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen, isolados e em mistura, sobre as características associadas ao uso da água em cultivares de mandioca visando selecionar aqueles mais tolerantes aos referidos herbicidas. Para isso realizou-se experimento em casa de vegetação no delineamento em blocos casualizados com quatro repetições. Adotou-se arranjo fatorial em esquema 5x7, constituído pela combinação de cinco cultivares de mandioca: Cacau-UFV, Platina, Coqueiro, Coimbra e IAC-12 com quatro doses da mistura comercial dos herbicidas fomesafen + fluazifop-p-butyl (0,5; 0,75; 1,0 e 1,5 L ha⁻¹), além da dose comercial de cada principio ativo isolado e uma testemunha sem herbicida. A condutância estomática, a taxa de transpiração e a eficiência do uso da água apresentaram valores proporcionais ao aumento da dose da mistura de herbicidas e estes efeitos não foram observados quando os produtos foram aplicados isolados. As cultivares de mandioca apresentaram tolerância diferencial aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butyl, sendo este, o mais seletivo a cultura.

Palavras-chave: Transpiração, condutância estomática, controle químico, *Manihot esculenta*.

WATER USE EFFICIENCY OF CASSAVA TREATED WITH FLUAZIFOP- P-BUTYL AND FOMESAFEN

ABSTRACT – Some herbicides can to influence the water use efficiency for the direct negative effect on the photosynthesis, transpiration and stomatal conductance or indirect, by reduction of plant metabolic rate. Given this, this work aimed to evaluate the influence of fluazifop-p-butyl and fomesafen herbicides, isolated and mixture, on the characteristics associated with water use efficiency in cassava cultivars seeking to select the more tolerant to these herbicides. A experiment was realized in greenhouse in randomized block design with four repetitions. The factorial scheme 5x7 was adopted, the first factor was five cultivars: Cacau-UFV,

Platina, Coqueiro, Coimbra e IAC-12 and the second factor was four doses of commercial mixture of fomesafen + fluazifop-p-butyl (0,5; 0,75; 1,0 e 1,5 L ha⁻¹), beyond the commercial dose recommended of each active ingredient isolated and a control without herbicide. The characteristics evaluated were: stomatal conductance, transpiration rate e water use efficiency. The stomatal conductance, transpiration rate and water use efficiency showed values according to increase of mixture dose of herbicides. These effects were not observed when the products were applied isolated. The cassava cultivars showed differential tolerance to fomesafen and fluazifop-p-butyl, and this herbicide was more select to cassava crop.

Key words: Transpiration, stomatal conductance, chemical control, *Manihot esculenta*.

INTRODUÇÃO

Dentre as principais culturas do Brasil, a mandioca destaca-se pela sua importância social e econômica sendo cultivada em 1,9 milhões de hectares e sua produção destinada principalmente à fabricação de farinha, fécula e o próprio consumo in natura (IBGE, 2011). A grande importância social dessa cultura se deve à sua capacidade de utilizar de forma eficiente a água, permitindo sua exploração em regiões de estações secas prolongadas, onde ocorrem os mais baixos níveis de IDH do Brasil e do mundo (CAVALCANTI, 2004).

A colheita da mandioca pode ocorrer entre 8 a 12 meses após o plantio quando suas raízes são destinadas para o consumo in natura e até dois anos após quando a finalidade dessas for o processamento na indústria (SILVA et al., 2012). Em consequência desde longo período de cultivo, associado à cobertura apenas parcial do solo é comum infestações de plantas daninhas, resultando em severa interferência na cultura da mandioca, resultando em perdas de produtividade superiores a 90% na ausência de controle (MOURA; 2000; JOHANNES & CONTIERO, 2006).

Um dos grandes problemas para o controle eficiente das plantas daninhas na cultura da mandioca a baixo custo pode ser atribuído ao pequeno número de herbicidas registrados para esta cultura. Dentre os produtos disponíveis no Brasil acredita-se que o fluazifop-p-butyl e fomesafen possam ser seletivos para essa cultura. O fluazifop-p-butyl é inibidor da enzima acetil-CoA carboxilase (ACCase)

muito utilizado e eficiente para o controle de gramíneas em culturas dicotiledôneas. Esta enzima, encontrada no estroma dos plastídeos, converte acetil coenzima-A (acetil-coA) à malonil coenzima-A, através da adição de CO_2 (HCO_3^-) à acetil coA, no primeiro passo do processo de biossíntese dos ácidos graxos. A inibição da síntese de ácidos graxos bloqueia a produção de fosfolipídeos (BURKE et al., 2006), usados na construção de novas membranas necessárias para o crescimento celular. O fomesafen pertence ao grupo dos inibidores da enzima protoporfirinogênio oxidase (PROTOX). É utilizado nas culturas do feijão e da soja para o controle de espécies de folhas largas anuais, entre elas *Acanthospermum australe*, *Amaranthus hybridus*, *Euphorbia heterophylla*, *Bidens pilosa*, *Ipomoea grandifolia*, além de outras (SILVA et al., 2007). A mistura pronta desses herbicidas (Robust®) é o principal produto comercial utilizado na cultura do feijoeiro, sendo muito eficiente para o controle de plantas daninhas gramíneas e dicotiledôneas (FONTES et al., 2001).

Em diversos estudos com culturas tem-se observado tolerância diferencial de genótipos de uma mesma espécie a herbicidas. Para cana-de-açúcar, Ferreira et al. (2005) e Galon et al. (2010) relataram diferença na tolerância de genótipos aos herbicidas ametryn, trifloxysulfuron-sodium. Efeitos semelhantes foram observados por Rocha et al. (2010) para pinhão-manso quando tratado com herbicidas aplicados em pré-emergentes. Normalmente efeitos diferenciais de herbicidas entre cultivares são observados quando se avalia não apenas a produtividade mais também os efeitos sobre os fatores de crescimento das plantas (NEGRISOLI et al., 2004; GALON et al., 2009).

Acredita-se que herbicidas possam influenciar a eficiência do uso da água pelo efeito negativo direto sobre a fotossíntese, ou indiretamente, pela redução da taxa metabólica da planta. Contudo, especula-se a existência de diferenças marcantes entre os materiais genéticos de uma mesma espécie, que podem ser avaliadas quanto a diferenças na condutância estomática, taxa transpiratória, temperatura da folha e acúmulo de matéria seca quando eles são tratados com herbicidas. Dessa forma, a associação genótipo/herbicida pode determinar aqueles que sobressaem sob estresse hídrico quando sob aplicação do produto e, assim, garantir melhores produções em nível de lavoura.

Neste trabalho objetivou-se avaliar a influência dos herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen, isolados ou em mistura, sobre as características associadas ao uso

da água em cultivares de mandioca visando selecionar aqueles mais tolerantes aos referidos herbicidas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, com condições controladas de temperatura e umidade. Utilizou-se de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico, textura argilosa (56% argila, 6% silte e 38% areia). A análise química do solo apresentou pH (água) de 5,4; teor de matéria orgânica de 1,8 dag kg⁻¹; P, K, Ca, Mg, Al, H+Al e CTC_{efetiva} de 1,4; 10; 0,5; 0,2; 0,4; 4,4 e 1,7 cmol_c dm⁻³ respectivamente. Para adequação do substrato quanto à nutrição, foram aplicados o equivalente a 300 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 220 kg ha⁻¹ de super fosfato simples e 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura aos 30 dias após a emergência da cultura, na dose de 40 kg ha⁻¹ de uréia previamente dissolvida em água. As irrigações foram realizadas conforme a necessidade da cultura, por microaspersão.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em arranjo fatorial 5x7, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco cultivares de mandioca (Cacau-UFV, Platina, Coqueiro, Coimbra e IAC-12) com cinco doses (0,00; 100+125; 150+187,5; 200+250 e 300+375 g ha⁻¹, equivalente a 0,00; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,50 L da mistura comercial) fomesafen + fluazifop-p-butyl, além da dose de cada principio ativo isolado (200 e 250 g/ha de fluazifop-p-butyl e fomesafen, respectivamente, equivalente a 1 L ha⁻¹). Cada vaso contendo 12 dm³ de substrato e uma planta de mandioca constituiu uma unidade experimental.

Efetou-se o plantio das manivas com média de 5 gemas e 20 cm de comprimento, em vaso no mês de março de 2011, observando emergência cinco dias após o plantio. A aplicação dos herbicidas foram realizadas aos 30 dias após o plantio com pulverizador costal pressurizado à CO₂, com pressão constante 200 kPa, equipado com uma barra de dois bicos de indução de ar TTI 11002, trabalhando a uma altura de 50 cm do alvo, com velocidade de 1 m segundo⁻¹, atingindo faixa aplicada de 50 cm de largura e propiciando volume de calda de 150 L ha⁻¹.

Decorridos 30 dias da aplicação dos herbicidas, foram realizadas as avaliações, no terço médio da primeira folha completamente expandida das plantas

de mandioca. Foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO⁺ (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK), sendo avaliados a condutância estomática de vapores de água ($gs - mol m^{-1} s^{-1}$), taxa de transpiração ($E - mol H_2O m^{-2} s^{-1}$), sendo calculada ainda a eficiência do uso da água ($EUA - mol CO_2 mol H_2O^{-1}$) a partir dos valores de quantidade de CO_2 fixado pela fotossíntese e quantidade de água transpirada.

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo aplicado posteriormente o teste de Tukey para diferenciar os efeitos dos tratamentos sobre os genótipos de mandioca. Todos os testes foram efetuados a 5% de probabilidade de erro. Para o fator quantitativo utilizou-se regressão linear e não linear. As escolhas do modelo foram baseadas na significância dos coeficientes ($p < 0,05$), no coeficiente de determinação e no comportamento biológico do fenômeno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O cultivar Platina apresentou os maiores valores para a taxa transpiratória (E) na ausência da aplicação dos herbicidas, enquanto que Coimbra e IAC-12 obtiveram baixos valores de E (Tabela 1). No momento da avaliação as plantas se encontravam em pleno desenvolvimento do sistema radicular e parte aérea (Peressin & Carvalho, 2002), assim espera-se que cultivares com maiores E apresentem maiores produções de matéria seca como foi observado por Silva *et al.* (2011) para as mesmas cultivares.

Tabela 1. Taxa transpiratória (E - $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de cultivares de mandioca tratadas com fluazifop-p-butyl e fomesafen

Cultivares	Fluazifop-p-butyl + Fomesafen					Fluazifop-p-butyl	Fomesafen
	-----L ha ⁻¹ -----						
	0,00	0,50	0,75	1,00	1,50		1,00
Coimbra	2,8bB*	3,5aAB	3,5bAB	4,1aA	4,2 aA	2,6 abB	2,7 bB
Platina	4,9 aA	3,7aAB	3,2 bB	2,7bB	3,8aAB	4,2 aA	3,4 aAB
IAC-12	3,0 bB	4,2 aA	4,9 aA	4,3aA	4,6 aA	3,1 abB	3,6 aB
Coqueiro	3,5abA	3,9 aA	4,1 abA	4,2aA	4,3 aA	2,9 abB	4,0 aA
Cacau-UFV	3,5abA	4,1 aA	3,6 bA	4,2aA	4,3 aA	2,1 bB	3,5 aA
CV(%)	25,74						

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A mistura de fluazifop-p-butyl + fomesafen mostrou maior intensidade da E de todos os cultivares nas doses 0,5 e 1,5 L ha⁻¹ (Tabela 1). O cultivar Coimbra foi influenciado pelo fomesafen isolado, já o fluazifop-p-butyl não mostrou influência nos cultivares, sendo a E estatisticamente iguais.

Essas variações parecem ser meramente diferenças genotípicas entre os cultivares de mandioca. Galon *et al.* (2010) trabalhando com cultivares de cana-de-açúcar verificaram que a E dos cultivares foi influenciada pela aplicação dos herbicidas, sendo que o genótipo RB72454 mostrou maior intensidade transpiratória, quando sob tratamento com ametryn, isolado ou em mistura formulada com trifloxysulfuron-sodium.

Essas variações parecem ser meramente diferenças genotípicas entre os cultivares de mandioca. Galon *et al.* (2010) trabalhando com cultivares de cana-de-açúcar verificaram que a E dos cultivares foi influenciada pela aplicação dos herbicidas, sendo que o genótipo RB72454 mostrou maior intensidade transpiratória, quando sob tratamento com ametryn, isolado ou em mistura formulada com trifloxysulfuron-sodium.

A abertura e o fechamento dos estômatos são diretamente relacionados à condutância estomática (g_s). Esta é dependente de uma série de fatores, como radiação solar, nível de CO₂ no mesofilo, umidade relativa (déficit de pressão de vapor do ar), potencial hídrico, presença de poluentes. Além desses fatores outros de menor magnitude, como vento, substâncias de crescimento e ritmos endógenos

próprios de cada espécie também afetam a condutância foliar que é composta em pequena parte pela condutância cuticular da epiderme e, quando os estômatos estão abertos, pela g_s , que é controlada pelas células guarda dos estômatos. Assim, a g_s é proporcional ao número e tamanho dos estômatos e diâmetro da abertura destes, características estas que dependem de outros fatores endógenos e ambientais (BRODRIBB & HOLBROOK, 2003).

O incremento das doses do Robust[®] (fluazifop-p-butyl + fomesafen) provocou aumento da g_s em todos os cultivares avaliados (Tabela 2). Para o fluazifop-p-butyl aplicado isoladamente os cultivares Platina e IAC-12 apresentaram maior g_s comparada às demais. Já quando submetidas à ação do fomesafen, o cultivar Coimbra foi a mais afetada negativamente. Silva *et al.* (2012) relatou que os herbicidas bentazon, fluazifop-p-butyl, mesotrione e tembotrione mostraram-se mais promissores para aplicação em área total, uma vez que foram altamente seletivos à cultura da mandioca até os 35 DAA.

Tabela 2. Condutância estomática (g_s - $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) de cultivares de mandioca tratadas com fluazifop-p-butyl e fomesafen

Cultivares	Fluazifop-p-butyl + Fomesafen					Fluazifop-p-butyl	Fomesafen
	L ha ⁻¹						
	0,00	0,50	0,75	1,00	1,50	1,00	
Coimbra	0,23bB*	0,48abAB	0,47 bAB	0,65abA	0,75abA	0,21 bB	0,21 bB
Platina	0,42aAB	0,33 bB	0,34 bB	0,30 bB	0,52 bA	0,50 aA	0,45 aAB
IAC-12	0,45 aB	0,86 aA	0,84 aA	0,88 bA	0,70abA	0,46 aB	0,58 aB
Coqueiro	0,43 aB	0,49abB	0,68abAB	0,97 bA	0,76abA	0,23 bB	0,43 aB
Cacau-UFV	0,31bB	0,53abAB	0,68 bA	0,77abA	1,20 aA	0,19 bB	0,42 aB
CV(%)	48,31						

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Considerando que o fomesafen atua na planta inibindo a enzima Protox, localizada nos cloroplastos, o herbicida reduz a síntese das clorofilas, uma vez que essa enzima é a precursora das reações que transformam protoporfirinogênio IX em protoporfirina IX, e estes compostos são responsáveis pela formação das clorofilas. Com isso ocorre o acúmulo de protoporfirinogênio IX e saída deste para o

citoplasma, onde é oxidado formando a protoporfirina IX (JACOBS et al., 1991), esta interage com oxigênio e luz, formando oxigênio “singlet”, uma espécie reativa de oxigênio (ROS), que desencadeia processos oxidativos como a peroxidação de lipídios das membranas (JACOBS et al., 1991; HESS, 2000; TRIPATHY et al., 2007)

O fluazifop-p-butyl é um inibidor da enzima acetil-CoA carboxilase (ACCase) que catalisa a primeira das sete etapas, na rota biossintética de ácidos graxos, convertendo o Acetil Coenzima A (Acetil-CoA) em Malonil Coenzima A (Malonil-CoA) pela adição de uma molécula de CO₂ (SILVA & SILVA, 2007). Os inibidores dessa enzima bloqueiam a incorporação do CO₂, impedindo a síntese de lipídios em plantas suscetíveis. Desta forma, o fomesafen tem ação nos cloroplastos afetando diretamente a fotossíntese e indiretamente a transpiração e condutância estomática, já o fluazifop-p-butyl age no citosol e tem ação indireta na fotossíntese, transpiração e condutância. As plantas de mandioca apresentam tolerância a esta mistura, podendo estar relacionada à absorção e translocação destes herbicidas que chegam em menor quantidade no sítio de ação provocando, desta forma, incremento nos valores destas variáveis. Resultados semelhantes foram observados por Galon et al., (2010) trabalhando com genótipos de cana-de-açúcar, os quais, constataram que de maneira geral, a condutância estomática foi maior nos tratamentos que receberam o ametryn em aplicação isolada ou em mistura formulada, considerando que o ametryn age diretamente no cloroplasto na cadeia transportadoras de elétrons.

Na ausência de herbicidas verifica-se a elevada diferença na *EUA* entre os cultivares (Tabela 3). Admitindo-se as possíveis diferenças em função do centro de domesticação e a amplitude do território brasileiro, alguns cultivares apresentam boa adaptação a ambientes de semi-áridos (LOPES et al., 2010) e outros para ambientes com maiores regimes de chuva.

Tabela 3. Eficiência do uso da água ($EUA-\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) de cultivares de mandioca tratadas com fluazifop-p-butyl e fomesafen

Cultivares	Fluazifop-p-butyl + Fomesafen					Fluazifop-p-butyl	Fomesafen
	L ha ⁻¹						
	0,00	0,50	0,75	1,00	1,50		1,00
Coimbra	5,3abA*	3,9 bB	4,7 bA	4,4 bA	4,5 bA	4,6 bA	4,1 abAB
Platina	4,1 bB	5,9 aAB	7,0 aA	5,8 aAB	5,4bAB	4,8 abB	4,4 abB
IAC-12	5,9 aA	4,9 abA	4,2 bAB	4,7 abA	4,1 bB	5,4 abA	3,7 bB
Coqueiro	6,0 aA	5,1 abAB	5,1 abAB	5,3 abAB	5,5aAB	5,0 abAB	4,4 abB
Cacau-UFV	4,5 bA	5,1 abA	5,5 abA	5,6 aA	5,6 aA	5,8 aA	5,3 aA
CV(%)	25,51						

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com a aplicação dos herbicidas, o IAC-12 apresentou redução na eficiência do uso da água (EUA) na dose mais elevada da mistura de produtos (Tabela 3). Admitindo-se a menor tolerância ao fomesafen observada nas plantas que receberam cada produto isoladamente, é provável que o efeito da mistura contenha menor participação do fluazifop-p-butyl. Para os demais cultivares não foi observado o mesmo comportamento com exceção para o Platina que apresentou maior EUA para a dose 0,75 L ha⁻¹. Todos os cultivares mostraram-se tolerantes ao fluazifop-p-butyl isolado, pois não houve alteração no EUA. Para o IAC-12 e Coqueiro houve redução do EUA quando aplicado o fomesafen isolado, demonstrando esse herbicida mais tóxico a mandioca que o fluazifop-p-butyl (Tabela 3).

Aspiazu et al., (2010) trabalhando com a cultura da mandioca em condição de competição verificaram que a cultura apresentou maior *EUA* comparada as plantas daninhas testadas. A *EUA* é influenciada por diversos fatores ambientais como a temperatura da folha, velocidade do vento e umidade relativa. Em condições ideais as plantas de mandioca são mais eficientes no uso da água em comparação às diversas outras espécies cultivadas (EL-SHARKAWY, 2003). Entretanto, a *EUA* varia com o cultivar sendo os cultivares IAC-12 e Coqueiro os mais eficientes dentre os avaliados sem o uso de herbicidas.

As equações de regressão ajustadas para os cultivares de mandioca confirmam que cada genótipo apresentou resposta diferente após a aplicação dos

tratamentos herbicidas (Tabela 4). Para o *E* os cultivares Coqueiro e IAC-12 apresentaram a máxima taxa transpiratória. Para a *gs* observou-se que o Cacau-UFV teve as maiores respostas a aplicação como pode ser constatado pelos valores do coeficiente angular da equação ajustada. No entanto, o cultivar IAC-12 apresentou redução do EUA o que pode desfavorecer seu crescimento quando a mistura dos herbicidas forem utilizadas. Silva *et al.* (2012) constatou aos sete dias após a aplicação (DAA) dos tratamentos com herbicidas inibidores da protoporfirinogênio oxidase – PPO, sintomas visuais de intoxicação de até 17,5% nas plantas de mandioca.

Tabela 4- Equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2) para taxa transpiratória (*E* - $\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{s}^{-1}$), condutância estomática (*gs* - $\mu\text{mol m}^{-1} \text{s}^{-1}$) e eficiência do uso da água (*EUA* - $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol H}_2\text{O}^{-1}$) de cultivares de mandioca após a aplicação da mistura dos herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen em pós-emergência da cultura

Cultivares	Equação de regressão ajustada					
	E	R^2	<i>gs</i>	R^2	EUA	R^2
Cacau-UFV	$\hat{Y} = 3,94$	----	$\hat{Y} = 0,26 + 0,58x$	0,99	$\hat{Y} = 4,69 + 0,76x$	0,90
Coimbra	$\hat{Y} = 2,90 + 0,96x$	0,95	$\hat{Y} = 0,26 + 0,35x$	0,97	$\hat{Y} = 4,56$	----
Coqueiro	$\hat{Y} = 3,49 + 1,03x - 0,32x^2$	0,99	$\hat{Y} = 0,67$	----	$\hat{Y} = 5,40$	----
IAC-12	$\hat{Y} = 3,04 + 3,01x - 1,35x^2$	0,93	$\hat{Y} = 0,46 + 0,96x - 0,54x^2$	0,98	$\hat{Y} = 5,60 - 1,12$	0,87
Platina	$\hat{Y} = 3,66$	----	$\hat{Y} = 0,38$	----	$\hat{Y} = 5,64$	----

CONCLUSÕES

A mistura fluazifop-p-butyl + fomesafen afetou todos os cultivares avaliados, possivelmente devido ao fomesafen, que é um herbicida não seletivo a dicotiledôneas. Todavia, quando aplicados isolados afetaram de forma diferenciada os cultivares, sendo o fluazifop-p-butyl o mais seletivo a cultura. Esta pesquisa mostra a necessidade de mais estudos sobre herbicidas seletivos para a cultura da mandioca, principalmente para aplicação em pós-emergência da cultura, devido ao longo ciclo e à reinfestação da área pelas daninhas.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo

auxílio financeiro ao projeto. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) concessão de bolsa ao primeiro autor.

LITERATURA CITADA

ASPIAZÚ I, SEDIYAMA T, RIBEIRO JR. JI, SILVA AA, CONCENCO G, FERREIRA EA, GALON L, SILVA AF, BORGES ET, ARAUJO WF (2010) Photosynthetic activity of cassava plants under weed competition. *Planta Daninha*, 28: 963-968.

BRODRIBB TJ, HILL RS (2000) Increases in water potential gradient reduce xylem conductivity in whole plants. Evidence from a low-pressure conductivity method. *Plant Physiology*, 12:1021-1028.

BURKE IC, THOMAS WE, BURTON JD, SPEARS JF, WILCUT JW (2006) A seedling assay to screen aryloxyphenoxypropionic acid and cyclohexanedione resistance in johnsongrass (*Sorghum halepense*). *Weed Technology*, 20: 950-955.

CALVANCANTI J (2004) Perspectivas da mandioca na região semi-árida do Nordeste. *Desenvolvimento Sustentável, Ecossistemas*. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/2002/artigo.2004-12-07.26079> 18288/. Acesso em: 10 de fev. 2012.

EL-SHARKAWY MA, COCK JH (1984) Water use efficiency of cassava. I. Effects of air humidity and water stress on stomatal conductance and gas exchange. *Crop Science*, 24: 497-502.

FERREIRA EA, SANTOS JB, SILVA AA, VENTRELLA MC, BARBOSA MHP, PROCÓPIO SO, REBELLO VPA (2005) Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. *Planta Daninha*, 23: 93-99.

FONTES JRA, ARAUJO GAA, SILVA AA, CARDOSO AA (2001). Efeitos de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). *Ciência e Agrotecnologia*, 25: 1087-1096.

GALON L, FERREIRA FA, FERREIRA EA, SILVA AA, SILVA AF, ASPIAZÚ I, CONCENÇO G, FIALHO CMT, SANTOS EA, TIRONI SP, BARBOSA MHP (2009) Seletividade de herbicidas a genótipos de cana-de-açúcar. *Planta Daninha*, 27: 1083-1093.

GALON L, FERREIRA FA, FERREIRA EA, SILVA AA, CONCENÇO G, SILVA AF, REIS MR, ASPIAZÚ I, FIALHO CMT, BARBOSA MHP, TIRONI SP (2010)

Tolerância de novos genótipos de cana-de-açúcar a herbicidas. *Planta Daninha*, 28: 329-338.

GALON L, CONCENÇO G, FERREIRA EA, ASPIAZÚ I, SILVA AF, FERREIRA FA, SILVA AA, TIRONI SP, FREITAS MAM, SOARES ER (2010) Eficiência de uso da água em genótipos de cana-de-açúcar submetidos à aplicação de herbicidas. *Planta Daninha*, 28: 777-784.

HESS FD (2000) Light-dependent herbicides: an overview. *Weed Science*, 48: 160-170.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sétima previsão da safra 2011/2012. Disponível em: http://www1.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1798&id_pagina=1. Acesso em: 10 de junho de 2011.

JACOBS JM, JACOBS NJ, SHERMAN TD, DUKE SO (1991) Effects of diphenyl ether herbicides on oxidation of protoporphyrinogen to protoporphyrin in organellar and plasma membrane enriched fractions of barley. *Plant Physiology*, 97: 197-203.

JOHANNES O, CONTIERO R (2006) Efeitos de diferentes períodos de controle e convivência de plantas daninhas com a cultura da mandioca. *Revista Ciência Agronômica*, 37: 326-331.

LOPES AC, VIANA AES, MATSOMOTO SN, CARDOSO JÚNIOR NS, JOSÉ ARS (2010) Complementação da irrigação e épocas de colheita de mandioca cv. coqueiro no planalto de conquista, BA. *Ciência e Agrotecnologia*, 34: 579-587.

MOURA GM (2000) Interferência de plantas daninhas na cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no Estado do Acre. *Planta Daninha*, 18: 451-456.

BARELA JF, CHRISTOFFOLETI PJ (2004) Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência na cultura de cana-de-açúcar tratada com nematicidas. *Planta Daninha*, 22: 567-575.

PERESSIN VA, CARVALHO JEB (2002) Manejo integrado de plantas daninhas em mandioca. In: Marney Pascoli Cereda. (Org.). *Cultura de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas*. São Paulo: Fundação Cargill, 2: 302-349.

ROCHA PRR, SILVA AF, FARIA AT, GALON L, FERREIRA EA, FELIPE RS, SILVA AA, DIAS LAS (2010) Seletividade de herbicidas pré-emergentes ao pinhão-manso (*Jatropha curcas*). *Planta Daninha*, 28: 801-806.

SILVA AA, SILVA JF (2007) (Eds.) *Tópicos em manejo de plantas daninhas*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 17-62.

SILVA AF, SANTANA LM, FRANÇA CRRS, MAGALHÃES CAS, ARAÚJO CR, AZEVEDO SG (2009) Produção de diferentes cultivares de mandioca em sistema agroecológico. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 13: 33–38.

SILVA DV, SANTOS JB, CARVALHO FP, FERREIRA EA, FRANÇA AC, FERNANDES JSC, GANDINI EMM, CUNHA VC (2012) Planta Daninha, 30: 835-841.

SILVA DV, SANTOS JB, FERREIRA EA, FRANÇA AC, SILVA AA, SEDIYAMA T (2012) Manejo de plantas daninhas na cultura da mandioca. *Planta Daninha*, 30: 901-910.

SILVA DV, SANTOS JB, SILVEIRA HM, CARVALHO FP, CASTRO NETO MD, FERREIRA EA, SILVA AA, CECOM PR (2011) Tolerância de cultivares de mandioca aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butil. *Revista Brasileira de Herbicidas*, 10: 219-231.

TRIPATHY BC, MOHAPATRA A, GUPTA I (2007) Impairment of the photosynthetic apparatus by oxidative stress induced by photosensitization reaction of protoporphyrin IX. *Biochimica et Biophysica Acta*, 6: 860-868.

CARACTERÍSTICAS FOTOSSINTÉTICAS DE CULTIVARES DE MANDIOCA TRATADAS COM FLUAZIFOP-P-BUTYL E FOMESAFEN

RESUMO — Um dos mais importantes componentes do custo de produção da mandioca refere-se aos gastos com o controle de plantas daninhas. Isto pode ser atribuído a pouca disponibilidade de herbicidas registrados para uso nessa cultura. Uma das maneiras para selecionar novos agrotóxicos seletivos para culturas pode ser através da avaliação de características fotossintéticas de plantas após aplicação de herbicidas. Objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos dos herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen, aplicados isoladamente e em mistura, sobre as variáveis fotossintéticas de cinco cultivares de mandioca (Cacau-UFV, Platina, Coqueiro, Coimbra e IAC-12). Os tratamentos foram aplicados aos 30 dias após o plantio, quando as plantas de mandioca apresentavam aproximadamente 30 cm de altura. Aos 30 dias após a aplicação dos tratamentos foram avaliadas a concentração de CO₂ subestomática, a taxa fotossintética e o CO₂ consumido pela cultura. A mistura dos herbicidas fluazifop-p-butyl+fomesafen provocou incrementos na quantidade de CO₂ consumida, concentração de CO₂ na câmara subestomática e na taxa fotossintética dos cultivares avaliados. No entanto, a aplicação dos herbicidas separadamente não alterou as características avaliadas apresentando potencial para a utilização na fase de pós-emergência da mandioca.

Palavras-chave: Característica fisiológica, consumo de CO₂, fotossíntese, herbicida, *Manihot esculenta* Crantz.

PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF CASSAVA CULTIVARS TREATED WITH FLUAZIFOP-P-BUTYL AND FOMESAFEN

ABSTRACT - The spending on weed control is an important component of production cost of cassava. It may be due to a limited availability of registered herbicides for use on this culture. For choose news herbicides selective for cultures may be using the evaluation of plant photosynthetic characteristics after application. Thus, with this work aimed to evaluate the effects of fluazifop-p-butyl and fomesafen herbicides, applied separately and in mixture, on the photosynthetic variables of five cassava cultivars (Cacau-UFV, Platina, Coqueiro, Coimbra and IAC-12). The treatments were applied 30 days after planting, when the cassava plants had

approximately 30 centimeters of height. At 30 days after application of treatments were evaluated substomatic CO₂ concentration, photosynthetic rate and CO₂ consumption by culture. The mixture of herbicides fluazifop-p-butyl + fomesafen caused increases in the quantity of CO₂ consumed, CO₂ concentration in the substomatal chambers and photosynthetic rate of cultivars evaluated. However, the application of herbicides separately did not alter the characteristics evaluated with potential for use in post-emergence of cassava.

Key words: Physiological characteristic, CO₂ consumption, photosynthesis, herbicide, *Manihot esculenta* Crantz.

INTRODUÇÃO

A mandioca é uma planta arbustiva, perene, da família Euphorbiaceae, cultivada principalmente para o consumo de suas raízes. Apesar de ser importante fonte de alimento para as regiões tropicais, em especial para o Brasil, a mandioca tem sido relativamente pouco estudada em nosso país. Nesse sentido, é necessário aumentar as pesquisas sobre a cultura da mandioca, para que se possa melhor compreender as alterações fisiológicas e bioquímicas, sendo importante avaliar a produção e distribuição dos carboidratos ao longo do seu crescimento e desenvolvimento, na presença e na ausência de plantas daninhas (ALBUQUERQUE et al., 2012).

Esta espécie se caracteriza por ter o metabolismo C3 (UENO; AGARIE, 1997) com taxas máximas de fotossíntese variando de 13-24 mol CO₂ m⁻² s⁻¹ em casa de vegetação ou em câmaras de crescimento (DA MATTA *et al.*, 2001) e de 20 a 35 mmol CO₂ m⁻² s⁻¹ no campo (EL-SHARKAWY; COCK, 1990). Exibe ponto de compensação de CO₂ alto, 49-68 mL L⁻¹ (ANGELOV *et al.*, 1993) com temperatura ótima para a fotossíntese de 35°C. El-Sharkawy *et al.* (1992b) e Angelov *et al.* (1993) observaram que a fotossíntese não saturou-se em intensidades luminosas próximas de 2000 mmol PAR m⁻² s⁻¹.

A atividade fotossintética da mandioca pode ser influenciada pela deficiência hídrica, estresse térmico (LORETO; BONGI, 1989), concentração interna e externa de gases (KIRSCHBAUM; PEARCY, 1988), composição e intensidade da luz (SHARKEY; RASCHKE, 1981) e, principalmente, pelos danos causados pelos herbicidas (FERREIRA *et al.*, 2005; BARELA; CHRISTOFFOLETI, 2006).

Acredita-se ser possível selecionar herbicidas seletivos para uma cultura avaliando os efeitos desses produtos sobre as características fotossintéticas das plantas. Dentre os herbicidas que apresentam alta eficiência no controle de plantas daninhas em culturas anuais, como soja e feijão se destacam o fluazifop-p-butyl e o fomesafen aplicados isoladamente e em mistura (FONTES *et al.*, 2001). O fluazifop-p-butyl inibe a enzima acetil-CoA carboxilase (ACCase), bloqueando a síntese de lipídeos nas plantas suscetíveis (BURKE *et al.*, 2006); apresentando alta eficiência no controle de gramíneas originárias de sementes. O fomesafen atua inibindo a enzima protoporfirinogênio oxidase (PPO) na presença de luz e oxigênio resultando na peroxidação dos lipídeos da membrana celular, controla com alta eficiência as plantas dicotiledôneas anuais (SILVA & SILVA, 2007).

Considerando a importância da descoberta de novos herbicidas seletivos para cultivares de mandioca, objetivou-se com este trabalho avaliar os efeitos do fluazifop-p-butyl e do fomesafen, isolados e em mistura, sobre as características fotossintéticas em cultivares de mandioca.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em casa de vegetação de março a abril de 2011 utilizando plantas cultivadas em vasos contendo amostras de Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média. A análise química do solo apresentou pH (água) de 5,4; teor de matéria orgânica de 1,8 dag kg⁻¹ (Walkley-Black); P, K (Extrator Mehlich-1); Ca, Mg, Al (KCl - 1 mol/L); H+Al (Acetato de Cálcio 0,5 mol/L – pH 7,0) e CTC_{efetiva} de 1,4; 10; 0,5; 0,2; 0,4; 4,4 e 1,7 cmol_c dm⁻³, respectivamente. Para adequação do substrato quanto à nutrição da cultura da mandioca, foram aplicados o equivalente a 300 kg ha⁻¹ de calcário dolomítico, 220 kg ha⁻¹ de superfosfato simples e 40 kg ha⁻¹ de cloreto de potássio. A adubação nitrogenada foi realizada em cobertura aos 30 dias após a emergência da cultura, na dose de 40 kg ha⁻¹ de uréia previamente dissolvida em água. As irrigações foram realizadas conforme a necessidade da cultura, pelo sistema de microaspersão.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em arranjo fatorial 5x7, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos pela combinação de cinco cultivares de mandioca (Cacau-UFV, Platina, Coqueiro, Coimbra e IAC-12) com cinco doses (0,00; 100+125; 150+187,5; 200+250 e

300+375 g ha⁻¹, equivalente a 0,00; 0,50; 0,75; 1,00 e 1,50 litro da mistura comercial) fomesafen + fluazifop-p-butyl, além da dose de cada princípio ativo isolado (200 e 250 g/ha de fluazifop-p-butyl e fomesafen, respectivamente, equivalente a 1 L ha⁻¹). Cada vaso contendo 12 dm³ de substrato e uma planta de mandioca constituiu uma unidade experimental.

O plantio do experimento foi realizado utilizando manivas contendo cinco gemas e tamanho médio de 20 cm, com emergência cinco dias após o plantio. A aplicação dos herbicidas foram realizadas aos 30 dias após o plantio, quando as plantas de mandioca apresentavam cerca de 30 centímetros de altura, utilizando-se de pulverizador costal de precisão, com pressão constante 200 kPa, equipado com bicos de indução de ar TTI 11002 aplicando-se o equivalente a 150 L ha⁻¹ de calda. Decorridos 30 dias da aplicação dos herbicidas, foram realizadas no terço médio da primeira folha completamente expandida das plantas de mandioca, as avaliações da concentração de CO₂ subestomática (C_i - μmol mol⁻¹), da taxa fotossintética (A - μmol m⁻² s⁻¹) e do CO₂ consumido (ΔC - μmol mol⁻¹) pela cultura. Para estas avaliações foi utilizado um analisador de gases no infravermelho (IRGA), marca ADC, modelo LCA PRO⁺ (Analytical Development Co. Ltd, Hoddesdon, UK).

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo aplicado posteriormente o teste de Tukey para diferenciar os efeitos dos tratamentos sobre os genótipos de mandioca. Todos os testes foram efetuados a 5% de probabilidade de erro. Para o fator quantitativo utilizou-se regressão linear e não linear. As escolhas do modelo foram baseadas na significância dos coeficientes (p<0,05), no coeficiente de determinação e no comportamento biológico do fenômeno.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise de variância correspondente ao CO₂ consumido (ΔC - μmol mol⁻¹), carbono interno (C_i - μmol mol⁻¹) e taxa fotossintética (A - μmol m⁻² s⁻¹) dos cultivares de mandioca tratadas com doses do fluazifop-p-butyl + fomesafen em mistura e isoladamente, encontra-se na Tabela 1. Constatou-se que não houve efeito da interação entre herbicidas e cultivares de mandioca para nenhuma das variáveis estudadas. Portanto, os resultados estão apresentados em função dos efeitos principais (cultivares e doses do herbicida).

Tabela 1 - Análise de variância (quadrados médios) e coeficiente de variação (CV) correspondentes ao CO₂ consumido (ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), carbono interno (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e taxa fotossintética (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) das cultivares de mandioca tratadas com doses dos herbicidas fluazifop-p-butyl + fomesafen em mistura e isoladamente

FV	GL	QM		
		ΔC	C_i	A
Bloco	3	308,53*	16224,80*	36,91*
Cult.	4	424,38*	1703,57*	50,67*
Herb.	6	829,28*	4039,43*	98,11*
Cult. X Herb.	24	126,34 ^{ns}	954,69 ^{ns}	14,93 ^{ns}
Resíduo	102	82,39	603,69	9,77
CV (%)		18,18	9,19	18,21

ns: não significativo, *significativo ($p < 0,05$); **significativo ($p < 0,01$)

O cultivar Coqueiro apresentou as maiores taxas de CO₂ consumido (ΔC) após a aplicação dos tratamentos (Tabela 2). No entanto, não se diferenciou do Cacau-UFV e IAC-12. Em trabalho de Silva et al. (2011) foi observado maiores reduções da matéria seca total do IAC-12 após a aplicação desses herbicidas, o que de acordo com esses resultados não foi causado pela redução da ΔC . O CO₂ consumido está diretamente relacionado à intensidade fotossintética da planta no momento da avaliação, ou seja, de modo geral, quanto mais acelerado for o metabolismo da planta, maior o consumo de CO₂ por unidade de tempo (GALON, 2009).

Tabela 2- Valores médios de CO₂ consumido (ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), carbono interno (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e taxa fotossintética (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de cultivares de mandioca após a aplicação dos herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen em mistura e isolados na pós-emergência da cultura

Cultivares	Variáveis		
	ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$	C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$	A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Cacau UFV	53,30 ab*	265,80 ab	18,35 a
Coimbra	45,39 c	267,33 ab	15,60 b
Coqueiro	54,13 a	261,02 b	18,60 a
IAC-12	50,20 abc	280,63 a	17,28 ab
Platina	46,62 bc	262,40 b	16,01b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O cultivar IAC-12 apresentou o maior valor de concentração de carbono interno (C_i) sendo superior ao observado para o Coqueiro e Platina, mas não refletiu em maiores taxas fotossintética (A) (Tabela 2). É possível observar que apesar de

apresentar os menores valores de C_i , o cultivar Coqueiro obteve os maiores valores de A . Em condições sem limitação hídrica (cultivo irrigado) cultivares como Cacau-UFV e Coqueiro podem ser mais interessantes por apresentarem maiores taxas de A . Isso promoveria maiores taxas de fixação de carbono e crescimento da planta o que poderia ocasionar o aumento da produção de raízes da espécie.

As equações de regressão ajustadas para os cultivares de mandioca confirmam que cada genótipo apresentou resposta diferente após a aplicação dos tratamentos herbicidas (Tabela 3). Para o ΔC os cultivares Cacau-UFV, Coimbra e Coqueiro apresentaram o máximo consumo de CO_2 na dose de 1,32; 1,06 e 0,56 L ha⁻¹. Para o C_i observou-se que o Coimbra teve as maiores respostas a aplicação como pode ser constatado pelos valores do coeficiente angular da equação ajustada. No entanto, esse mesmo cultivar apresentava redução da A o que pode desfavorecer seu crescimento quando a mistura dos herbicidas forem utilizadas. Para os demais foram observadas incrementos nesta variável. O maior ΔC pode ser resultante do maior consumo de CO_2 pela atividade fotossintética, resultando em menor concentração de CO_2 no interior da folha.

Tabela 3- Equações de regressão e coeficiente de determinação (R^2) para CO_2 consumido (ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), carbono interno (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e taxa fotossintética (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) de cultivares de mandioca após a aplicação da mistura dos herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen em pós-emergência da cultura

Cultivares	Equação de regressão ajustada					
	ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$	R^2	C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$	R^2	A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$	R^2
Cacau-UFV	$\hat{Y} = 45,63 + 30,07x - 11,36x^2$	0,96	$\hat{Y} = 241,99 + 34,82x$	0,98	$\hat{Y} = 12,79 + 2,82x$	0,87
Coimbra	$\hat{Y} = 43,54 + 12,20x - 5,75x^2$	0,94	$\hat{Y} = 238,82 + 39,84x$	0,99	$\hat{Y} = 19,40 - 2,96x$	0,88
Coqueiro	$\hat{Y} = 56,20 + 10,04x - 8,97x^2$	0,97	$\hat{Y} = 249,15 + 30,20x$	0,85	$\hat{Y} = 19,44 + 1,84x$	0,93
IAC-12	$\hat{Y} = 50,20$		$\hat{Y} = 262,95 + 62,69x - 68x^2$	0,96	$\hat{Y} = 17,28$	
Platina	$\hat{Y} = 47,37 - 2,36x$	0,99	$\hat{Y} = 245,57 - 4,01x + 42,79x^2$	0,95	$\hat{Y} = 16,87 + 4,52x$	0,89

Os valores médios das variáveis ΔC , C_i e A de acordo com a dose e herbicidas aplicados estão apresentados na Tabela 4. Ocorreram aumentos nos valores de ΔC após a aplicação da mistura do fomesafen+fluazifop-p-butyl, apesar de não apresentarem diferença significativa em relação a testemunha. O mesmo não foi constatado quando esses herbicidas foram aplicados separadamente. O CO_2 consumido está diretamente relacionado à intensidade fotossintética da planta no momento da avaliação, ou seja, de modo geral, quanto mais acelerado for o metabolismo da planta, maior o consumo de CO_2 por unidade de tempo (GALON,

2009). Esse efeito é relacionado a recuperação da mandioca após a aplicação da mistura, pois conforme relatado por Silva et al. (2011) plantas dessa cultura tratadas com o produto apresentaram intensa desfolha mas com recuperação após o surgimento de novas folhas sem sintomas de intoxicação.

Tabela 4- Valores médios de CO₂ consumido (ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$), carbono interno (C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$) e taxa fotossintética (A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em função da dose e herbicida aplicado

Tratamento	Dose i.a. (g ha ⁻¹)	Variáveis		
		ΔC - $\mu\text{mol mol}^{-1}$	C_i - $\mu\text{mol mol}^{-1}$	A - $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
Testemunha	0,0	47,76 ab*	249,87 c	16,43 ab
Fluaz. + Fom.	100 + 125	54,11 a	263,00 bc	18,62 a
Fluaz. + Fom.	150 + 187,5	54,46 a	268,99 abc	18,75 a
Fluaz. + Fom.	200 + 250	55,24 a	281,10 ab	18,97 a
Fluaz. + Fom.	300 + 375	55,30 a	288,09 a	19,00 a
Fluazifop-p-butyl	250	41,17 b	251,23 c	14,25 b
Fomesafen	250	41,43 b	269,76 abc	14,14 b

*Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Fluaz.: Fluazifop-p-butyl; Fom.: Fomesafen

Observam-se maiores valores de C_i com a aplicação da mistura e do fomesafen isolado (Tabela 4). A C_i é considerada uma variável fisiológica influenciada por fatores ambientais, como disponibilidade hídrica, luz e energia, entre outros (OMETTO *et al.*, 2003). Alguns pesquisadores relatam que a luz afeta indiretamente a abertura estomática através de seu efeito na assimilação de CO₂ (NISHIO *et al.*, 1994). No entanto, estudos demonstram que a abertura estomática é menos dependente da C_i , em condições normais (ausência de herbicidas, déficit hídrico ou qualquer tipo de estresse), respondendo à luz diretamente (SHARKEY; RASCHKE, 1981). Como neste experimento o déficit hídrico e o sombreamento não foram fatores limitantes ao metabolismo das plantas de mandioca, acredita-se que os resultados sejam atribuídos ao efeito de herbicidas no metabolismo.

De modo geral o consumo de CO₂ é inversamente proporcional ao carbono interno, ao contrário do observado neste trabalho, onde constou-se relação direta entre ΔC e C_i , assim pode-se inferir que com o aumento da dose da mistura herbicida as folhas de mandioca passaram a absorver maior quantidade de CO₂, no entanto, sem refletir numa maior taxa fotossintética. Quanto maior a taxa fotossintética da espécie, mais rapidamente o CO₂ é consumido, e menor sua concentração no interior da folha, supondo-se que os estômatos estejam fechados (CORNIANI *et al.*, 2006).

O consumo de CO₂ amplia as diferenças na concentração deste gás entre a parte interna da folha e o ambiente externo, sendo que, via de regra, quanto maior for este gradiente, mais rapidamente o CO₂ entrará na folha após a abertura estomática, em função de maior gradiente de concentração.

Quanto aos efeitos da aplicação da mistura sobre a A da mandioca, verificou-se aumento da variável, no entanto sem diferir da testemunha (Tabela 4). A mandioca é conhecida como uma planta que exige luz em abundância para realizar eficientemente a fotossíntese, porém vários são os fatores que influenciam direta ou indiretamente a fotossíntese. Déficit hídrico, estresse térmico, concentração interna e externa de gases e composição e intensidade da luz são os principais (CONCENÇO *et al.*, 2007). Neste trabalho foi observado que fatores como a aplicação de agroquímicos podem afetar essa eficiência fotossintética da cultura sendo imprescindível a avaliação da seletividade desses produtos a cultura antes de sua aplicação.

De acordo com Silva *et al.* (2011), a aplicação da mistura desses herbicidas provocou altos valores de intoxicação visual a mandioca, mas as plantas apresentavam recuperação da folhagem e diminuição da intoxicação a partir dos 21 dias após a aplicação. Essa recuperação da planta com o aumento da A é importante, pois de acordo com El-Sharkawy e Cock (1990) o rendimento de raiz e a produção da biomassa final da mandioca se correlacionam positivamente com a taxa fotossintética.

CONCLUSÃO

A mistura dos herbicidas fluazifop-p-butyl+fomesafen alterou a atividade fotossintética dos cultivares de mandioca.

A aplicação dos herbicidas separadamente não afetou as características avaliadas apresentando potencial para a utilização para aplicações em pós-emergência da mandioca.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) pelo

auxílio financeiro ao projeto. A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) concessão de bolsa ao primeiro autor.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, J. A. A.; SEDIYAMA, T.; SILVA, A. A.; ALVES, J. M. A.; FINOTO, E. L.; NETO, F. de A. Desenvolvimento da cultura de mandioca sob interferência de plantas daninhas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 1, p. 37-45, 2012.

ANGELOV, M. N.; Sun, J.; Byrd, G. T.; Brown, R. H. and Black, C. C. Novel characteristics of cassava, *Manihot esculenta* Crantz, a reputed C₃-C₄ intermediate photosynthesis species. **Photosynthesis Research**, v.38, p. 61-72, 1993.

BARELA, J. F.; CHRISTOFFOLETI, P. J. Seletividade de herbicidas aplicados em pré-emergência da cultura da cana-de-açúcar (RB867515) tratada com nematicidas. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 371-378, 2006.

IAN C. BURKE, WALTER E. THOMAS, JAMES D. BURTON, JANET F. SPEARS and JOHN W. WILCUT. A seedling assay to screen aryloxyphenoxypropionic acid and cyclohexanedione resistance in johnsongrass (*Sorghum halepense*). **Weed Technology**, v. 20, n. 4, p. 950-955, 2006.

CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; VIANA, R. G.; D'ANTONINO, L.; VARGAS, L. e FIALHO, C. M. T. Uso da água em biótipos de azevém (*Lolium multiflorum*) em condição de competição. **Planta Daninha**, v.25, n.3, p.449-455, 2007.

CORNIANI, N. et al. Determinação das trocas gasosas e de potencial hídrico através do uso de sistemas portáteis na avaliação do estresse. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 14, 2006, Piracicaba. **Anais...**São Paulo: USP, 2006. CD-ROM.

DA MATTA, F. M.; LOOS, RODOLFO A.; RODRIGUES, RODRIGO; BARROS, RAIMUNDO, S. Actual and potential photosynthetic rates of tropical crop species. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.13, p. 24-32, 2001.

EL-SHARKAWY MA, Cock JH. Photosynthesis of cassava (*Manihot esculenta*). **Experimental Agriculture**, v. 26, p. 325-340, 1990.

FERREIRA, E. A.; SANTOS, J. B.; SILVA, A. A.; VENTRELLA, M. C.; BARBOSA, M. H. P.; PROCÓPIO, S.O e REBELLO, V. P. A. Sensibilidade de cultivares de cana-de-açúcar à mistura trifloxysulfuron-sodium + ametryn. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 93-99, 2005.

FONTES, J. R. A.; ARAÚJO, G. A. A; SILVA, A. A; CARDOSO, A. A. Efeitos de herbicidas no controle de plantas daninhas na cultura do feijão-mungo-verde (*Vigna radiata* (L.) Wilczek). **Ciência Agrotécnica**, v.25, n.5, p.1087-1096, 2001.

GALON, L.; FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; BARBOSA, M. H. P.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; FRANÇA, A. C. e TIRONI, S. P. Influência de herbicidas na atividade fotossintética de genótipos de cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v.27, n.3, p. 591-597, 2009.

KIRSCHBAUM, M. U. F.; PEARCY, R. W. Gas exchange analysis of the relative importance of stomatal and biochemical factors in photosynthetic induction in *Alocasia macrorrhiza*. **Plant Physiology**, v. 86, n. 3, p. 782-785, 1988.

LORETO, F.; BONGI, G. Combined low temperature-high light effects on gas exchange properties of jojoba leaves. **Plant Physiology**, v. 91, n. 4, p. 1580-1585, 1989.

NISHIO, J. N.; SUN, J.; VOGELMANN, T. C. Photoinhibition and the light environment within leaves. In: BAKER, N. R.; BOWYER, J. R. (Eds.) **Photoinhibition of photosynthesis**. Oxford: BIOS Scientific Publishers, p. 1-24, 1994.

OMETTO, J. P. H. B.; EHLERINGER, J. R.; MARTINELLI, L. A.; BERRY, J.; FLANAGAN, L.; DOMINGUES, T. F.; HIGUCHI, N. Variação temporal do isótopo estável do carbono em material arbóreo em florestas da região Amazônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECOLOGIA, 4., 2003, Fortaleza. **Anais...** Rio Claro: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2003.

SHARKEY, T. D.; RASCHKE, K. Effect of light quality on stomatal opening in leaves of *Xanthium strumarium* L. **Plant Physiology**, v. 68, n. 5, p. 1170-1174, 1981.

SILVA, A. A.; SILVA, J. F. (Eds.) **Tópicos em manejo de plantas daninhas: Métodos de Controle de Plantas Daninhas.** Universidade Federal de Viçosa. p. 17-62, cap.2, 2007.

SILVA, D. V.; SANTOS, J. B; SILVEIRA, H. M.; CARVALHO, F. P.; NETO, M. D. C.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. A.; CECON, P. R. Tolerância de cultivares de mandioca aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butil. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.3, p.219-231, 2011.

UENO, O.; AGARIE, S. The intercellular distribution of glycine decarboxylase in leaves of cassava in relation to photosynthetic mode and leaf anatomy. **Japanese Journal of Crop Science**, v. 66, n. 02, p. 268-278, 1997.

ATIVIDADE MICROBIANA DO SOLO CULTIVADO COM MANDIOCA INFLUENCIADA PELO MESOTRIONE E FLUAZIFOP-P-BUTYL

RESUMO – Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito de doses de herbicidas na atividade microbiana do solo cultivado com mandioca. Os tratamentos foram constituídos pela aplicação em pós-emergência do mesotrione e fluazifop-p-butyl nas doses 0; 72; 108; 144 e 216 g ha⁻¹ e 0; 100; 150; 200 e 300 g ha⁻¹, respectivamente. O cultivar de mandioca utilizado foi o Cacau–UFV. Aos 30 e 60 dias após as aplicações (DAA), amostras de solo foram coletadas para determinação da taxa respiratória do solo (TR), o carbono da biomassa microbiana (CBM) e o quociente metabólico (qCO₂), sendo também avaliada a colonização das raízes por fungos micorrízicos. Aos 60 DAA observou-se maior acúmulo de CO₂ nos tratamentos com fluazifop-p-butyl que receberam doses 100 e 150 g ha⁻¹. O CMB foi maior aos 30 e menor aos 60 DAA nas maiores doses dos herbicidas e estes não afetaram o qCO₂. Verificou-se aumento da colonização micorrízica das raízes aos 60 DAA nas doses de 72; 108 e 144 g ha⁻¹ e 100; 150 e 200 g ha⁻¹ de mesotrione e fluazifop-p-butyl, respectivamente. A aplicação em pós emergência de fluazifop-p-butyl e mesotrione alteraram os indicadores microbiológicos do solo, mas sem interferir no qCO₂ e na micorrização da mandioca.

Palavras-chave: herbicida, *Manihot esculenta* Crantz, fungos micorrízicos arbusculares, biomassa microbiana, quociente metabólico

MICROBIAL ACTIVITY OF SOIL CULTIVATED WITH CASSAVA INFLUENCED FOR MESOTRIONE AND FLUAZIFOP-P-BUTYL

ABSTRACT – The objective of this study was to evaluate the effect of doses of herbicides on microbial activity of soil cultivated with cassava. The treatments were applied in post-emergence with mesotrione and fluazifop-p-butyl in dosages of 0, 72, 108, 144 and 216 g ha⁻¹ and 0, 100, 150, 200 and 300 g ha⁻¹ respectively. The cassava cultivar used was the Cacau-UFV. At 30 and 60 days after applications (DAA), soil samples were collected for determination of soil respiration rate (TR), the microbial biomass carbon (MBC) and metabolic quotient qCO₂, and also evaluated the colonization of roots by mycorrhizal fungi. At 60 DAA was observed higher accumulation of CO₂ in the treatments with fluazifop-p-butyl that received

100 and 150 g ha⁻¹. The MBC was higher at 30 DAA and lowest at 60 DAA on higher doses of herbicide and these did not affect qCO₂. An increase of mycorrhizal colonization was noted at 60 DAA in doses of 72, 108 and 144 g ha⁻¹ and 100, 150 and 200 g ha⁻¹ of mesotrione and fluazifop-p-butyl, respectively. The post-emergence application of fluazifop-p-butyl and mesotrione altered the soil microbiological indicators, but without influence in qCO₂ and mycorrhizal colonization of cassava roots.

Key words: herbicide, *Manihot esculenta*, mycorrhizal fungi, microbial biomass, metabolic quotient.

INTRODUÇÃO

O crescimento e desenvolvimento das plantas estão intimamente relacionados com a atividade dos microorganismos do solo. As interações simbióticas entre a microbiota edáfica e diversas espécies vegetais podem conferir vantagens às plantas e ao agrossistema como um todo. Dentre esses microorganismos, os efeitos positivos da interação entre plantas e fungos micorrízicos são relatados por diversos autores (MIRANDA et al., 2005; SILVA et al., 2006; SALA et al., 2007) e frequentemente têm sido relacionados à melhor nutrição das plantas pela melhor absorção de nutrientes, principalmente o fósforo (SYLVIA et al., 2005).

A mandioca apresenta capacidade de alcançar níveis razoáveis de produtividade em solos de baixa fertilidade. Essa característica tem sido relacionada às associações das raízes com fungos micorrízicos arbusculares (FMA) (HOWELER, 1981a, 1981b; HOWELER et al., 1987), e à ocorrência de bactérias diazotróficas ou promotoras do crescimento de plantas (BALOTA, 1994). O efeito benéfico das micorrizas arbusculares ocorre particularmente nas plantas que apresentam sistema radicular reduzido e pouco ramificado, como a mandioca, por aumentarem o volume de solo explorado e com isso a absorção de nutrientes, água, além de conferirem proteção contra patógenos (SMITH & READ, 1997). Algumas bactérias apresentam a capacidade de fixação biológica do nitrogênio por possuírem a enzima nitrogenase, sendo denominadas diazotróficas. (BALOTA et al., 1999).

Diversas práticas de manejo podem alterar a atividade microbiana do solo, interferindo assim na dinâmica de nutrientes, decomposição da matéria orgânica (mineralização) e solubilização de nutrientes contidos na fase sólida do solo, com

destaque para o fósforo (TÓTOLA & CHAER, 2002; BOTTOMLEY, 2005). A utilização de agrotóxicos, em especial os herbicidas, tem sido relatada como prática com elevado potencial para influenciar a dinâmica dos microrganismos do solo, podendo apresentar efeitos maléficos, benéficos ou nulos (SANTOS et al., 2005; JAKELAITIS et al., 2007; REIS et al., 2008; PEREIRA et al., 2008).

Para avaliar os efeitos de herbicidas sobre a atividade da microbiota do solo têm sido utilizadas diversas metodologias, como pela medição da sua biomassa, da atividade de certas enzimas no solo, medidas da respiração basal (TÓTOLA & CHAER, 2002), entre outras. Dentre essas, a avaliação da taxa respiratória (TR), da biomassa microbiana (BM) e do quociente metabólico (qCO_2) tem sido as mais empregadas para estudos dos efeitos de herbicidas no solo pela sensibilidade desses indicadores a esses produtos, como comprovada em diversos estudos sobre impactos ambientais em solos de clima tropical nas culturas de feijão, cana-de-açúcar e eucalipto (SANTOS et al., 2005; TUFFI SANTOS et al., 2005; VIVIAN et al., 2006; REIS et al., 2008a).

A TR do solo é a medida da produção de CO_2 resultante da atividade metabólica dos macro e microrganismos (DORAN & PARKIN, 1994). A atividade dos organismos no solo é considerada atributo positivo para a qualidade do solo, sendo a respiração do solo um indicador sensível da decomposição de resíduos, do giro metabólico do carbono orgânico do solo e de distúrbios no ecossistema.

Segundo Gama-Rodrigues et al. (2005) a BM é um dos componentes da matéria orgânica do solo diretamente influenciado por fatores bióticos e abióticos, de tal forma que respostas a mudanças nos sistemas de uso e manejo do solo podem ser detectáveis muito mais rapidamente pela biomassa microbiana e seus metabólitos do que nos teores de C do solo, principalmente devido ao tempo de ciclagem da matéria orgânica.

O quociente metabólico (qCO_2) consiste na relação da taxa respiratória por unidade de BM do solo. Maiores valores de qCO_2 sugerem condições desfavoráveis aos organismos do solo, e menores valores indicam maior eficiência da BM na utilização dos recursos do ecossistema, ou seja, menos carbono (C) é perdido como CO_2 e maior proporção de C é incorporada nas células microbianas (Sakamoto & Obo, 1994). De acordo com Anderson & Domsch (1993) o qCO_2 pode ser considerado o indicador mais adequado para avaliar o efeito das condições de estresse sobre a atividade da BM do solo.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar a ocorrência de fungos micorrízicos arbusculares e os indicadores microbiológicos da qualidade do solo cultivado com mandioca após a aplicação de herbicidas.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido utilizando-se amostras de um Latossolo Vermelho - Amarelo distrófico típico de textura argilosa (56% argila, 6% silte e 38% areia) com as seguintes características químicas: pH (água) de 5,4; teor de matéria orgânica de 1,8 dag kg⁻¹; P = 1,4 e K= 10 mg dm³; Ca = 0,5, Mg = 0,2, Al = 0,4, H+Al = 4,4, e CTC_{efetiva} = 1,7 cmol_c dm⁻³; cultivado com mandioca. Fez-se adubação nitrogenada em cobertura aos 30 dias após a emergência da cultura, na dose de 20 mg dm⁻³ de uréia previamente dissolvida em água. As irrigações por microaspersão foram feitas conforme a necessidade da cultura.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com três repetições e cada vaso com capacidade volumétrica de 12 dm³, contendo amostra de solo, representou uma unidade experimental. Os tratamentos foram arrançados em esquema fatorial 2x5, sendo formados pelas doses do mesotrione 0; 72; 108; 144 e 216 g ha⁻¹ e do fluazifop-p-butyl 0; 100; 150; 200 e 300 g ha⁻¹, as quais equivalem a 0,0; 0,5; 0,75; 1,0 e 1,5 vezes a dose comercial recomendada dos herbicidas. A aplicação dos mesmos foi feita aos 30 dias após plantio (DAP) com pulverizador costal pressurizado à CO₂, equipado com dois bicos TTI 110.02, espaçados 0,5 m de largura, mantidos a pressão de 200 kPa e volume de calda de 150 L ha⁻¹.

Aos 30 e 60 dias após a aplicação dos tratamentos foi realizada as coletas do solo de cada unidade experimental e em seguida, passada em peneira com malha de 2 mm. Essas amostras tiveram a umidade ajustada para 60% da capacidade de campo; sendo posteriormente, acondicionadas em frascos hermeticamente fechados para a avaliação da taxa respiratória. Utilizou-se o método respirométrico de avaliação do C-CO₂ evoluído do solo, onde as amostras presentes no frasco foram incubadas durante 15 dias. O C-CO₂ liberado do solo foi carregado por fluxo contínuo de ar (isento de CO₂) até um tubo contendo 100 mL de solução de NaOH 0,5 mol L⁻¹. Estimou-se o C-CO₂ evoluído a partir da titulação de 10 mL da solução de NaOH com solução de HCl 0,5 mol L⁻¹. Como padrão de comparação, indicando a

qualidade do ar, utilizaram-se frascos sem solo, chamado de amostra "em branco", em relação às demais.

Após o período de incubação, foi realizada a análise do carbono da biomassa microbiana (CMB), seguindo o método descrito por Vance et al. (1987), modificado por Islam & Weil (1998). Foram retiradas duas porções de solo de cada tratamento (18 g), sendo uma submetida à radiação de microondas por tempo de 60 + 60 segundos. Foram adicionados às amostras de solo 80 mL de K_2SO_4 0,5 mol L⁻¹. Em seguida, as amostras foram agitadas por 30 minutos em mesa agitadora horizontal, permanecendo em repouso por mais 30 minutos, para decantação. Posteriormente, a fase superior foi filtrada em papel-filtro Whatman nº 42. Foram adicionados 10 mL do filtrado em tubos digestores e a seguir adicionados os reagentes: 2 mL de solução $K_2Cr_2O_7$ 0,0667 mol L⁻¹; e 10 mL de H_2SO_4 concentrado. Após o resfriamento, a solução foi completada para 100 mL com água destilada e adicionado o indicador de difenilamina (seis gotas), procedendo em seguida à titulação com solução 0,0333 mol L⁻¹ de $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2$ até a mudança de coloração para vermelho-tijolo. O CBM foi estimado pela diferença entre a amostra irradiada e a não irradiada. Com a relação entre os valores de C-CO₂ e CBM, determinou-se o quociente metabólico (qCO₂), que representa a quantidade de evolução de CO₂ diário por unidade de biomassa.

Para a verificação da ocorrência da colonização micorrízica das raízes de mandioca, seguiu-se à separação de raízes e solo, lavando-as posteriormente em água corrente. Retirou-se 1 g de raízes em tamanhos de 1 a 2 cm e as mesmas foram preservadas em FAA 5:90:5 (formaldeído: etanol: ácido acético) e transportadas para o Laboratório de Associações Micorrízicas, onde foram lavadas e clarificadas com KOH a 10%. Logo após, foram submetidas à coloração com azul de tripano, procedendo-se à observação de estruturas fúngicas pelo método da placa quadriculada, conforme Giovannetti e Mosse (1980).

Os dados foram submetidos à análise de variância, desdobrando-se todas as interações possíveis. Optou-se por analisar cada época de avaliação separadamente. As médias, quando significativas, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na análise de variância constatou-se que aos 60 dias após a aplicação (DAA) houve efeito da interação entre herbicidas e doses para a variável taxa respiratória (TR) (Tabela 1). Aos 30 DAA os solos rizosféricos tratados com fluazifop-p-butyl e mesotrione apresentaram aumento superior a 50% na maior dose dos herbicidas, sendo que as demais não diferiram da testemunha. Aos 60 DAA constatou-se que as doses 0,5 e 0,75 do herbicida fluazifop-p-butyl aumentaram a atividade microbiológica; entretanto, nas doses 1 e 1,5 para o fluazifop-p-butyl e para todas as doses do mesotrione não foi observado o mesmo efeito.

Tabela 1: CO₂ liberado pela atividade respiratória (TR) em amostras de solo cultivadas com mandioca sob diferentes doses de herbicidas em duas épocas de aplicação

DOSE	Fluazifop-p-butyl	Mesotrione	Média	Fluazifop-p-butyl	Mesotrione	Média
	30 DAA			60 DAA		
0	577,5 ^{ns}	577,5	577,5 b*	1200,8 Ab	1200,8 Aab	1200
0,5	889,2	870,8	880 ab	2612,5 Aa	1265 Ba	1938
0,75	641,6	1127,5	884,6 ab	2538,3 Aa	623,3 Bb	1580
1	755,8	605	680,4 b	1347,5 Ab	990 Aab	1168
1,5	1127,5	1210	1168,7 a	1356,7 Ab	880 Bab	1118
Média	798,32 A	878,16 A		1811,16	991,82	
CV(%)	36,16			17,53		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Na média relativa da TR do solo submetido aos tratamentos com os dois herbicidas pode-se observar que aos 30 DAA não apresentou diferença estatística entre os produtos (Tabela 1). No entanto, aos 60 DAA o fluazifop-p-butyl apresentava valores 82% superiores ao encontrado para o mesotrione. Em trabalho com a cultura do feijão Santos et al. (2005), observaram maior acúmulo de CO₂ quando o solo foi tratado com 1,0 L ha⁻¹ de fluazifop-p-butyl em sistema de plantio direto (SPD). Os resultados indicaram que o fluazifop-p-butyl apresentam a capacidade de aumentar a atividade microbiana dos solos.

Não foram observadas interações entre os tratamentos avaliados para as duas épocas quanto ao carbono da biomassa microbiana (CBM). Todavia houve incremento da CBM no tratamento com a maior dose para a primeira época de aplicação e nas doses 0,5; 0,75 e 1,0 aos 60 DAA (Tabela 2). Do mesmo modo ocorrido com a TR o fluazifop-p-butyl estimulou o CBM quando comparado ao mesotrione.

Tabela 2: Carbono da biomassa microbiana (CBM) em amostras de solo cultivados com mandioca sob diferentes doses de herbicidas em duas épocas de aplicação

DOSE	Fluazifop-p-butyl	Mesotrione	Fluazifop-p-butyl		Mesotrione	
	30 DAA		Média	60 DAA		Média
0	219,9 ^{ns}	219,9	219,9 b*	304,6	304,6	304,6 c
0,5	216,1	335,8	275,9 b	689,3	411,3	550,3 a
0,75	232,7	219,9	226,3 b	587,7	458,9	523,3 ab
1	279,8	343,5	311,7 b	632,9	412,4	522,7 ab
1,5	393,7	499,8	446,7 a	464,4	216,9	340,6 bc
Média	268,46 A	323,81 A		535,8 A	360,8 B	
CV(%)	36,72			25,67		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Constatou-se neste trabalho que a aplicação de herbicidas pode alterar a CBM do solo, entretanto, é importante salientar que a CBM apresenta resposta variável e depende do herbicida aplicado, do tipo de solo, da espécie de planta e da microbiota e suas interações. A interação herbicida-solo-microorganismo é demonstrada em alguns trabalhos onde, por exemplo, o atrazine não provocou alterações na CBM de solo arenoso (GHANI et al., 1996) e, por outro lado, favoreceu o aumento da CBM em solo argiloso e com alto teor de matéria orgânica (MORENO et al., 2007). Em ambos os trabalhos não houve o cultivo de plantas.

Quanto aos efeitos dos tratamentos no quociente metabólico (qCO₂), verificou-se que este, nas duas épocas de avaliação, não foi afetado pelos herbicidas e doses utilizadas (Tabela 3), podendo evidenciar que os organismos do solo e a eficiência da biomassa microbiana na utilização dos recursos pode não ter sido afetada.

Tabela 3: Quociente metabólico (qCO₂) em amostras de solo cultivados com mandioca sob diferentes doses de herbicidas em duas épocas de aplicação

DOSE	Fluazifop-p-butyl	Mesotrione	Fluazifop-p-butyl	Mesotrione
	30 DAA		60 DAA	
0	0,212 ^{ns*}	0,212	0,265	0,265
0,5	0,305	0,172	0,267	0,225
0,75	0,180	0,379	0,298	0,093
1	0,204	0,146	0,153	0,172
1,5	0,192	0,186	0,22	0,275
CV (%)	53,13		37,33	

*Médias não foram significativas a 5 % de probabilidade pelo teste Tukey.

Por outro lado, a associação dos fungos micorrízicos arbusculares (FMA) com as raízes de mandioca foi afetada nas duas épocas de coleta, não apresentam, contudo, interação entre doses e herbicidas (Tabela 4). Observou-se nas doses de 1,0 e 1,5 L ha⁻¹ aos 30 DAA redução da percentagem de colonização micorrízica, indicando possivelmente efeito deletério dos herbicidas sobre os fungos micorrízicos ou influência negativa no estabelecimento da simbiose com as raízes. Logo após a aplicação dos herbicidas, pode ter ocorrido morte dos fungos micorrízicos ou a metabolização desses herbicidas pelos fungos. Estes fatos podem resultar em maiores ou menores TR, podendo gerar aumento do CBM, pois além de obter fonte de carbono e energia estará sempre estabelecendo novo equilíbrio para esta nova população, através do processo de seleção.

Tabela 4: Colonização micorrízica (%) em amostras de solo cultivados com mandioca sob diferentes doses de herbicidas em duas épocas de aplicação

DOSE	Fluazifop-p-butyl	Mesotrione	Média	Fluazifop-p-butyl	Mesotrione	Média
	30 DAA			60 DAA		
0	77,3 ^{ns}	77,3	77,3 a*	48,68	48,68	48,68 c
0,5	81,07	63,36	72,21 ab	64,17	60,13	62,15 a
0,75	67,63	65,95	66,78 ab	64,21	59,15	61,68 a
1	63,13	61,81	62,47 b	63,81	50,5	57,15 ab
1,5	58,34	66,21	62,27 b	56,87	44,87	50,87 bc
Média	69,49 A	66,92 A		59,55 A	52,67 B	
CV(%)	10,32			10,84		

*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna e maiúscula na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns: não significativo.

Como efeito da melhor aquisição de nutrientes, a colonização micorrízica proporciona às plantas aumento das taxas fotossintéticas e conseqüentemente maior crescimento (MATOS et al., 1999). Aos 60 DAA verificou-se aumento da colonização micorrízica em decorrência da aplicação doses 0,5; 0,75 e 1,0 do fluazifop-p-butyl e mesotrione. Tal fato permite inferir que à medida que a época de aplicação dos herbicidas se distancia a microbiota do solo, mais afetada na primeira época de avaliação, é selecionada e cria-se um novo equilíbrio, o que se aplica também ao estabelecimento da simbiose entre FMA e raiz. . De acordo com Reis et al (2010), a mistura de fomesafen + fluazifop-p-butyl estimulou a colonização micorrízica na ausência da mistura dos inseticidas endossulfan + tebuconazole. Contrariamente, Santos et al. (2004) relataram que a mistura fomesafen + fluazifop-p-butyl reduziu a colonização micorrízica em plantas de feijão cultivadas no sistema convencional, embora esse efeito tenha sido transiente apenas até 12 dias após a aplicação.

Os herbicidas mostraram elevada capacidade de alterar os indicadores microbiológicos avaliados. O fluazifop-p-butyl aumentou a TR e CBM em maior magnitude que o mesotrione somente na avaliação realizada aos 60 DAA. No entanto, essa variação não foi capaz de alterar o qCO_2 do solo, pois a medida que a biomassa microbiana aumentava era acompanhado por aumentos na TR. Isso refletiu na maior micorrização da mandioca tratada com esse herbicida na última avaliação. Vale ressaltar que a mandioca apresenta tolerância a esse herbicida e que esse fato é alterado quando o fluazifop-p-butyl é utilizado em mistura com o fomesafen (SILVA et al., 2011).

O mesotrione apresentou poucas modificações nas características avaliadas decorrentes principalmente da sua seletividade a mandioca (SILVEIRA et al., 2012). Os leves sintomas de intoxicação causados pelo referido herbicida são diminuídos à medida que se distancia da época de aplicação.

CONCLUSÃO

Os herbicidas fluazifop-p-butyl e mesotrione aplicados em pós-emergência alteraram os indicadores microbiológicos do solo, resultando em aumento para o fluazifop-p-butyl, principalmente aos 60 dias após aplicação. Não houve

interferência no qCO_2 . Enquanto, para micorrização o mesotrione reduziu aos 60 dias a colonização da mandioca.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo auxílio financeiro ao projeto.

LITERATURA CITADA

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biol. Biochem.**, v. 25, p.393-395, 1993.

BALOTA, E. L.; COLOZZI-FILHO, A.; LOPES, E. S.; HUNGRIA, M. & DÖBEREINER, J. **Efeito de fungos MVA e bactérias FBN no desenvolvimento e nutrição de mandioca micropropagada.** In: REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZA, 4., Anais. Florianópolis, UFSC, 1994.

BALOTA, E. L. et al. Ocorrência de bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos arbusculares na cultura da mandioca. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, V.34, p. 1265-1276, 1999.

BOTTOMLEY, P. J. Microbial ecology. In: SYLVIA, D. M. et al. **Principles and applications of soil microbiology.** 2.ed. New Jersey: Upper Saddle River, p. 463-488, 2005.

DORAN, J. W. & PARKIN, T. B. Defining and assessing soil quality. In: DORAN, J. M. (Eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Madison: **Soil Science Society of America**, p. 3-21, (Special Publication, 35), 1994.

GAMA-RODRIGUES, E. F. et al. Nitrogênio, carbono e atividade da biomassa microbiana do solo em plantações de eucalipto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29, p.893-901, 2005.

GHANI, D. A. et al. Interactions between ¹⁴C-labelled atrazine and the soil microbial biomass in relation to herbicide degradation. **Biol. Fert. Soils**, v. 21, n. 1, p. 17-22, 1996.

GIOVANNETTI, M. & MOSSE, B. An evaluation of techniques to measure vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots. **New Phytol.**, v. 84, n. 3, p. 489-490, 1980.

HOWELER, R. H. The effect of mycorrhizal on the phosphorus nutrition cassava. In: RUSSEL, R.S.; IGUE, K.; MEHTA, Y.R. (Ed.) **The soil/root system in relation to Brazilian Agriculture**. Londrina: IAPAR, p. 243-258, 1981.

HOWELER, R. H. et al. Practical aspects of mycorrhizal technology tropical crops and pasture. **Plant and Soil**, Dordrecht, v.100, p.249-283, 1987.

ISLAM, K. R. & WEIL, R. R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. **Biol. Fertil. Soils**, 27, p. 408-416, 1998.

JAKELAITIS, A. et al. Atividade microbiana e produção de milho (*Zea mays*) e de *Brachiaria brizantha* sob diferentes métodos de controle de plantas daninhas. **Planta Daninha**, v. 25, n. 1, p. 71-78, 2007.

MATOS, R. M. B. et al. Fungos micorrízicos e nutrição de plantas. Seropédica: **Embrapa Agrobiologia**, 36 p. (Embrapa-CNPAB. Documentos, 98), 1999.

MIRANDA, J. C. C. et al. Dinâmica e contribuição da micorriza arbuscular em sistemas de produção com rotação de culturas. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 40, n. 10, p. 1005-1014, 2005.

MORENO, J. L. et al. Effects of atrazine on microbial activity in semiarid soil. **Appl. Soil Ecol.**, v.35, n.1, p.120-127, 2007.

PEREIRA, J. L et al. Effects of glyphosate and endosulfan on soil microorganisms in soybean crop. **Planta Daninha**, v. 26, n. 4, p. 825-830, 2008.

REIS, M. R. et al. Atividade microbiana em solo cultivado com cana - de - açúcar após aplicação de herbicidas. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 323-331, 2008 a.

REIS, M. R. et al. Impacto do glyphosate associado com endossulfan e tebuconazole sobre microrganismos endossimbiontes da soja. **Planta Daninha**, v. 28, n. 1, p. 113-121, 2010.

SAKAMOTO, K. & OBO, Y. Effects of fungal to bacterial ratio on the relationship between CO₂ evolution and total soil microbial biomass. **Biol. Fert. Soils**, v. 17, n. 1, p. 39-44, 1994.

SALA, V. M. R. et al. Interação entre fungos micorrízicos arbusculares e bactérias diazotróficas em trigo. **Pesq. Agropec. Bras.**, v. 42, n. 11, p. 1593-1600, 2007.

SANTOS, J. B. et al. Efeitos de diferentes formulações comerciais de glyphosate sobre estirpes de *Bradyrhizobium*. **Planta Daninha**, v. 22, n. 2, p. 293-299, 2004.

SANTOS, J. B. et al. Atividade microbiana do solo após aplicação de herbicidas em sistemas de plantio direto e convencional. **Planta Daninha**, v. 23, n. 4, p. 683-691, 2005.

SILVA, A. C. et al. Micorrização e épocas de dessecação da *Brachiaria brizantha* sobre o desenvolvimento da soja. **Planta Daninha**, v. 24, n. 2, p. 221-228, 2006.

SILVA, D. V. et al. Tolerância de cultivares de mandioca aos herbicidas fomesafen e fluazifop-p-butyl. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.3, p.219-231, set./dez 2011.

SILVEIRA, H. M. et al. Sensibilidade de cultivares de mandioca ao herbicida mesotrione. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.11, n.1, p.24-31, jan./abr. 2012.

SMITH, S. E. & READ, D. J. “**Mycorrhizal Symbiosis**”, 2nd/Ed. Academic Press, London, UK. 1997.

SYLVIA, D. M. et al. **Principles and applications of soil microbiology**. 2.ed. New Jersey: 645 p. 2005.

TÓTOLA, M. R. & CHAER, G.M. Microrganismos e processos microbiológicos como indicadores da qualidade do solo. In: ALVAREZ V., V. H.; SCHAEFER, C. E. G. R.; BARROS, N. F.; MELLO, J. W. V. & COSTA, L. M., eds. **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa, MG, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p.195-276, 2002.

TUFFI SANTOS, L. D. et al. Exsudação radicular do glyphosate por *Brachiaria decumbens* e seus efeitos em plantas de eucalipto e na respiração microbiana do solo. **Planta Daninha**, v. 23, n. 1, p. 143-152, 2005.

VANCE, E. D. & BROOKES, P. C.; JENKINSON, D. S. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. **Soil Biology and Biochemistry**, Oxford, v. 19, p. 703-707, 1987.

VIVIAN, R. et al. Persistência de sulfentrazone em Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 741-750, 2006.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

São poucos os herbicidas registrados para a cultura da mandioca. Os dados obtidos nesta pesquisa comprovam a seletividade e sugerem novas pesquisas para providenciar a extensão de uso destes herbicidas para a cultura, como por exemplo, trabalhos sobre o residual deixado no solo por estes herbicidas. O herbicida mesotrione é mais seletivo para o cultivar Platina. Enquanto, que, na maior dose do mesotrione para a variável fisiológica Ci, todos os cultivares, exceto o Platina, refletiram em uma diminuição da taxa metabólica, ou seja, menor consumo de CO₂ por resultar em aumento desta variável. Os herbicidas fluazifop-p-butyl e fomesafen em mistura incrementaram todas as variáveis para as maiores doses em todos os cultivares. Já o estudo dos herbicidas isolados refletiu em comportamento mais seletivo ao fluazifop-p-butyl, pelo fato de se tratar de controlar exclusivamente de gramíneas. Quanto ao impacto causado pelos herbicidas nos microorganismos do solo cultivado com mandioca, o fluazifop-p-butyl por não apresentar mobilidade no solo e persistência média de 30 dias, mostrou maiores acúmulos de CO₂ nas doses de 100 e 150 g ha⁻¹, para a segunda época de coleta. O sistema radicular da mandioca é composto por raízes grossas, com poucos pêlos, o que resulta em menor superfície específica disponível para absorção de água e nutrientes, por isso a atividade da colonização micorrízica é de extrema importância para a cultura. Sendo assim esta, foi favorecida aos 60 DAA nas doses 0,5; 0,75 e 1,00 g ha⁻¹ de mesotrione e fluazifop-p-butyl para o cultivar Cacau-UFV, comprovando sua alta dependência micorrízica.