


**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**TROPICAL**

The seal of the Universidade Federal do Amazonas is a circular emblem. It features a central shield with a five-pointed star above it. The shield is flanked by two branches of a laurel wreath. The text "UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS" is written in a circular path around the top of the seal, and "IN UNIVERSA SCIENTIA VERITAS" is written around the bottom. Two small dots are positioned on the left and right sides of the seal.

**LIXIVIAÇÃO E SORÇÃO DE DIURON EM SOLOS**  
**CULTIVADOS COM GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana*, var.**  
**Sorbilis, (Mart.) Ducke) NO AMAZONAS**

**FABIO CESAR PEREIRA SOUZA**

**MANAUS**

**2017**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**  
**TROPICAL**

**FABIO CESAR PEREIRA SOUZA**

**LIXIVIAÇÃO E SORÇÃO DE DIURON EM SOLOS**  
**CULTIVADOS COM GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana*, var.**  
**Sorbilis, (Mart.) Ducke) NO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino

Coorientador: Prof. Dr. José Ferreira da Silva

**MANAUS**

**2017**

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S729l Souza, Fabio Cesar Pereira  
Lixiviação e sorção de diuron em solos cultivados com  
guaranazeiro (*Paullinia cupana*, var. *Sorbilis* (Mart.) Ducke) no  
Amazonas / Fabio Cesar Pereira Souza. 2017  
46 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Sônia Maria Figueiredo Albertino  
Coorientador: José Ferreira da Silva  
Dissertação (Mestrado em Agronomia Tropical) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. mobilidade. 2. plantas daninhas. 3. matéria orgânica. 4.  
resíduos. I. Albertino, Sônia Maria Figueiredo II. Universidade  
Federal do Amazonas III. Título

FABIO CESAR PEREIRA SOUZA

**LIXIVIAÇÃO E SORÇÃO DE DIURON EM SOLOS CULTIVADOS COM  
GUARANAZEIRO (*Paullinia cupana*, var. *Sorbilis*, (Mart.) Ducke) NO AMAZONAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronomia Tropical, área de concentração em Produção Vegetal.

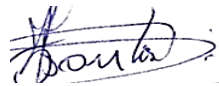
Aprovada em 26/04/2017

BANCA EXAMINADORA



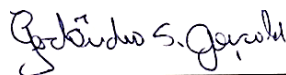
---

Prof. Dra. Sônia Maria Figueiredo Albertino



---

Prof. Dr. José Zilton Lopes Santos



---

Prof. Dr. Gerlândio Suassuna Gonçalves

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a meu pai Fernando Souza e mãe Jaides Souza, pela compreensão e dedicação durante o período da realização deste, e aos meus amigos que me ajudaram direta ou indiretamente para que este trabalho pudesse ser realizado.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pelo seu infinito amor e graça.

Aos professores, Sônia Maria Figueiredo Albertino e José Ferreira da Silva, pela orientação, motivação e principalmente, pela paciência e confiança colocada em mim para a realização do trabalho.

À Universidade Federal do Amazonas pela minha formação, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia Tropical, professores, colegas e técnicos.

Ao CNPQ pelo auxílio financeiro.

À empresa AmBev pela disponibilidade do material de estudo (solo), em especial a Eng. Agr. Miriam Frota.

À equipe do Laboratório de Ciência das Plantas Daninhas: Ajax Sousa, Anselmo Ferreira, Bruna Leite, Daniel Oscar, Francisco Martins de Castro, Gilsimar Melo, Vaneza Santos, Karla Dutra, Laís Alves, Silvana Pimentel.

Aos amigos que fiz durante a realização deste trabalho: Marcelo Reis, Landinha Machado, Lidia Letícia e Jhade Saraiva.

À minha namorada Thaís Cavalcante, por toda ajuda emocional, apoio e incentivo.

À minha amada família, por todo apoio, carinho e incentivo.

## RESUMO

As plantas daninhas na cultura do guaranazeiro influenciam diretamente na competição por água, luz e nutrientes e indiretamente, como hospedeiras de pragas e doenças, podendo assim trazer prejuízos aos cultivos. Portanto, o conhecimento sobre a eficiência do controle químico de plantas daninhas, pode ser estudado por meio dos processos de lixiviação e sorção do herbicida no solo. O objetivo desse trabalho foi avaliar o potencial de lixiviação do herbicida diuron em solos cultivados com guaranazeiro, coletados nos municípios de Maués-AM e Itacoatiara-AM. Este estudo foi conduzido em casa de vegetação e para avaliar o potencial de lixiviação, foram utilizadas colunas de tubo de PVC medindo 42 cm de comprimento, com 10 cm de diâmetro, onde foram acondicionadas as amostras de solo, conforme a profundidade de coleta no campo (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm). No topo das colunas foram aplicadas cinco doses de diuron (0, 200, 400, 800, 1600 g de i.a. ha<sup>-1</sup>) e feita simulação de chuva de 100 mm. Como planta bioindicadora foi utilizado o pepino (*Cucumis sativus* var. Aodai). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 5 x 4, sendo dois locais de coleta, cinco doses de diuron e quatro profundidades do solo), com quatro repetições. Em estudo paralelo foi feita a avaliação da sorção do diuron em substrato inerte (areia), utilizando recipiente plástico de 550 mL contendo 3 sementes de pepino, onde foram aplicadas nove doses de diuron (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 g de i.a. ha<sup>-1</sup>), com cinco repetições. As características avaliadas foram área foliar (cm<sup>2</sup>) e peso seco da parte aérea (g). As plantas bioindicadoras foram coletadas aos 14 dias após a semeadura (DAS). Para o solo de textura muito-argilosa e argilosa o herbicida diuron ficou retido na primeira camada de 0-10 cm, mais especificamente até 5 cm de profundidade, onde foi observado fitotoxicidade das plantas bioindicadoras. O I<sub>50</sub> do diuron para o solo, foi de 620 g de i.a. ha<sup>-1</sup>. A matéria orgânica e o teor de argila foram os fatores que mais influenciaram na retenção do herbicida nos solos estudados.

**Palavras-chave:** mobilidade, plantas daninhas, matéria orgânica, resíduos.

## ABSTRACT

The weeds in the guarana crop directly influence the competition for water, light and nutrients and indirectly, serving as a host of microorganisms, and can thus damage the crop. Therefore, the study of herbicide leaching and sorption processes in the soil helps in the knowledge about the efficiency of weed control. The objective of this work was to evaluate the leaching potential of the herbicide diuron in soils cultivated with guaraná, collected in Maués-AM and Itacoatiara-AM municipalities. This study was carried out under greenhouse conditions and to evaluate the leaching potential, the soil columns were mounted in a PVC pipe 42 cm long and 10 cm in diameter, where the soil samples were conditioned according to each depth, using four depths (0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm). At the top of the columns were applied five doses (0, 200, 400, 800, 1600 g ha<sup>-1</sup> i.a.) and made 100 mm rain simulation. Cucumis (*Cucumis sativus*) var. Aodai was used as a bioindicator. In this experiment, a completely randomized design (DIC) was used in a factorial scheme (2 x 5 x 4) representing (soil location x dose x depth) with four replications. In a parallel study, it was evaluated the sorption of diuron using inert substrate (inert sand), using a 550 ml plastic container containing 3 cucumber seeds, where it was applied nine doses (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24 g ha<sup>-1</sup> i.a.) and five replicates using DIC. The evaluated characteristics were leaf area (cm<sup>2</sup>) and dry weight of the aerial part (g), the values were transformed into a percentage, adopting 100% for the control, where the bioindicator plants were collected at 14 DAS (Days After Sowing). For the soil with a very clayey and sandy clay texture, the herbicide diuron was retained in the first layer of 0-10 cm, more specifically up to 5 cm deep, where it was possible to observe phytotoxicity of bioindicating plants. The I<sub>50</sub> of diuron to the soil was 620 g ha<sup>-1</sup> i.a. The organic matter and clay content were the factors that most influenced the retention of the herbicide in the studied soils.

**Keywords:** mobility, weeds, organic matter, residues.



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Área foliar (A) e peso seco da parte aérea (B) de plântulas de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em duas localidades, em quatro profundidades, Manaus, 2016.....	20
<b>Figura 2</b> Área foliar (A) e peso seco da parte aérea (B) de plântulas de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em duas localidades, submetidos a cinco doses crescentes de diuron, Manaus, 2016.....	22
<b>Figura 3.</b> Peso seco da parte aérea de plântulas de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em quatro profundidades e submetidos a cinco doses de diuron, Manaus, 2016.....	24
<b>Figura 4.</b> Área foliar de pepino, cultivado por 14 dias em areia lavada e tratada com doses crescentes de diuron. Manaus, 2016.....	26
<b>Figura 5.</b> Fitotoxicidade de plântulas de pepino, sob diferentes doses de diuron em areia inerte, 14 dias após a semeadura. Manaus, 2016.....	27
<b>Figura 6.</b> Fitotoxicidade de plântulas de pepino submetidas a 24 g i.a. ha <sup>-1</sup> do herbicida diuron em areia inerte, 14 dias após a semeadura, Manaus, 2016.....	27
<b>Figura 7.</b> Peso seco da parte aérea de pepino, cultivado por 14 dias em areia lavada e tratada com doses crescentes de diuron. Manaus, 2017. ....	28

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Características físico-químicas das amostras de solos utilizadas no experimento, Manaus, 2016.....	14
<b>Tabela 2.</b> Resumo da análise de variância para área foliar e peso da matéria seca de pepino semeado em solos de área cultivada com guaranazeiro, Manaus, 2016.....	18
<b>Tabela 3.</b> Médias da área foliar e do peso seco da parte aérea de pepino semeado em solos de áreas cultivadas com guaranazeiro, Manaus, 2016.....	19
<b>Tabela 4.</b> Médias da área foliar e peso seco da parte aérea de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em quatro profundidades, Manaus, 2016.....	19
<b>Tabela 5</b> Resumo da ANOVA para área foliar e peso da matéria seca de pepino, semeado em areia inerte, submetida a doses de Diuron, Manaus, 2016. ....	25
<b>Tabela 6</b> Dose de diuron que reduziu 50% ( $I_{50}$ ) do peso da matéria seca da parte aérea de pepino em solo cultivado com guaranazeiro e em areia inerte, para cálculo de diuron inativo por quilo de matéria orgânica. Manaus, 2016. ....	29

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo geral.....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1 Característica química do Diuron .....	4
3.2 O guaranazeiro .....	5
3.2.1 Importância econômica.....	5
3.2.2 Plantas daninhas e a cultura do guaraná .....	6
3.3 Solo .....	7
3.3.1 Sorção .....	9
3.3.2 Lixiviação .....	10
3.4 Propriedades físico-químicas do herbicida .....	11
3.5 Propriedade físico-químicas do solo .....	12
4. MATERIAL E MÉTODOS .....	14
4.1 Experimento para medir a lixiviação de diuron.....	14
4.2 Experimento para medir a sorção de diuron .....	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	18
5.1 Resultado do potencial de lixiviação do Diuron.....	18
5.2 Resultado do estudo da sorção de Diuron .....	25
6. CONCLUSÕES.....	30
7. REFERÊNCIAS .....	31

## 1. INTRODUÇÃO

O guaranazeiro (*Paullinia cupana* var. *sorbilis* (Mart.) Ducke) é uma espécie nativa da região Amazônica, tendo como seu centro de origem o município de Maués (DUCKE, 1937), pertencente à Mesorregião do Centro Amazonense e Microrregião de Parintins, localizada à margem direita do Rio Maués-Açú.

O guaraná é um fruto de grande valor econômico para o Estado do Amazonas, com alto potencial de mercado interno e externo, servindo de insumo para indústrias de refrigerantes, farmacêuticas, químicas e de cosméticos (TAVARES, 2005). Seu cultivo garante ao Amazonas o segundo lugar como produtor de guaraná do País (CONAB, 2016).

No Estado do Amazonas um dos fatores limitantes da produção é a interferência de plantas daninhas, estas plantas competem diretamente por água, luz e nutrientes, e/ou indiretamente servindo como hospedeiras de pragas e doenças, como a antracnose, considerada a principal doença do guaranazeiro (FONTES e SANTOS, 2010), capaz de impedir totalmente o desenvolvimento da cultura (ATROCH, 2010).

O manejo de plantas daninhas é uma prática indispensável à realidade de cultivo de plantas nos ecossistemas da Amazônia, sendo também uma atividade insalubre devido às condições climáticas de altas temperaturas, umidade relativa do ar elevada e densa radiação solar. Em plantios comerciais de guaranazeiro no Amazonas, o manejo das plantas daninhas é realizado principalmente por meio de roçadas com facão, sendo considerada uma prática onerosa e sem ação eficaz. O uso de herbicidas é uma opção para amenizar as dificuldades nesse manejo, mesmo não existindo produtos comerciais registrados para a cultura. No entanto, o uso de herbicidas sem o conhecimento de suas interações com as propriedades do solo pode resultar em falhas no controle de plantas daninhas, na intoxicação das culturas, na redução da biodiversidade e na contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas (SILVA, 2007).

Neste estudo o herbicida adotado foi o diuron, devido seu uso para o controle das plantas daninhas em guaranazais no Estado do Amazonas.

As características físico-químicas do herbicida são levadas em conta para avaliar seu destino final no ambiente, mas também o ambiente em que está inserido, considerando as características físicas, químicas e biológicas do solo, os fatores climáticos, a vegetação e o manejo que está sendo empregado na área (FIRMINO, 2008).

Os estudos de sorção e lixiviação são realizados como forma de avaliar o comportamento desses herbicidas no solo e assim fazer um diagnóstico do real impacto causado. Uma das principais preocupações é quanto à contaminação de águas superficiais e subterrâneas, pois estão facilmente sujeitas ao depósito de herbicidas.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Avaliar o movimento e a sorção do herbicida diuron, em solos de duas áreas cultivadas com guaranazeiro.

### **2.2 Objetivos específicos**

Avaliar a lixiviação de diuron em solos cultivados com guaranazeiro;

Estimar a quantidade de diuron sorvida em solos cultivados com guaranazeiro;

Analisar o comportamento do herbicida na planta em função das características químicas dos solos.

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Característica química do Diuron**

O diuron (3-(3,4-Diclorofenil)-1,1-Dimetilureia) é um herbicida inibidor do Fotossistema II, pertencente ao grupo químico das ureias substituídas – Grupo C2. Os inibidores da fotossíntese são considerados inibidores do transporte de elétrons, uma vez que resultam na remoção ou inativação de um ou mais carregadores intermediários do transporte de elétrons. (OLIVEIRA JR. et al., 2011).

A inibição do fotossistema acontece pela ligação dos herbicidas ao sítio de ligação da QB, na proteína D1 do fotossistema II, o qual se localiza na membrana dos tilacóides dos cloroplastos e causa o bloqueio do transporte de elétrons da QA para QB. Isso interrompe a fixação de CO<sub>2</sub> e a produção de ATP e NADPH<sub>2</sub> (OLIVEIRA JR. et al., 2011).

A absorção do diuron ocorre predominantemente pelas raízes, possuindo baixa absorção pelas folhas e, sua translocação é realizada via xilema (MARCHI, 2008). Os sintomas característicos da ação desses produtos são as cloroses internervais e das bordas das folhas devido à fotoxidação da clorofila. Podem ocorrer, ainda, rompimentos na membrana citoplasmática celular em decorrência da peroxidação de lipídios, causada pelos radicais tóxicos (clorofila tripleta e oxigênio singlete). Os sintomas aparecem primeiramente nas bordas, progredindo para o centro das folhas (KARAM e OLIVEIRA, 2007).

O diuron é adsorvido pelos coloides da argila e da matéria orgânica tanto mais quanto maior o seu teor no solo, em razão disso e da baixa solubilidade é pouco lixiviável, exceto em solo com baixo teor de argila e matéria orgânica. Sua degradação no solo é essencialmente microbiana, mas também química e física. Apresenta persistência média no solo (4 a 8 meses, dependendo das condições de clima e do solo). Aplicações de doses altas podem resultar em resíduo por mais de um ano (RODRIGUES e ALMEIDA, 2005).

Pertencente a classe dos herbicidas seletivos de ação sistêmica, de pré e pós-emergência. Sua solubilidade em água é de 42 mg/L a 25 °C, possuindo densidade e pressão de vapor de 1,197 g/cm<sup>3</sup> a 20°C e 9,2 x 10<sup>-6</sup> Pa a 25 °C, respectivamente. (RODRIGUES e ALMEIDA, 2011).

## **3.2 O guaranazeiro**

### **3.2.1 Importância econômica**

O guaranazeiro é uma dicotiledônea tropical que pertence à família Sapindaceae. Na natureza, cresce como liana até atingir o estrato superior da floresta; porém, quando cultivado, tem a forma de arbusto sub-ereto com aproximadamente 3,0 m de altura (ARRUDA, 2007; IPNI, 2012).

A espécie *Paullinia cupana* é dividida em duas variedades, *P. cupana* variedade típica que é o guaraná venezuelano e o *P. cupana* variedade *sorbillis* que é o guaraná brasileiro, economicamente explorado e o único usado comercialmente (SCHIMPL et al., 2013).

As sementes apresentam altos teores de substâncias como a teobromina (vasodilatadora), teofilina (broncodilatadora) e cafeína (2,5-5%) propícias para serem usadas nas indústrias farmacêuticas e de bebidas (LIMA et al., 2005).

O Brasil é o único produtor comercial de guaraná e atende ao mercado internacional e nacional, sendo Maués o principal município produtor do Estado do Amazonas, onde cerca de 2.600 famílias cultivam 3.120 ha de guaranazais (NASCIMENTO FILHO et al., 2009; CONAB, 2014). A produção de guaraná vem ganhando importância cada vez maior no cenário econômico e social, especialmente para a região amazônica, onde ele é produzido principalmente por agricultores familiares.

O cultivo comercial do guaranazeiro tem sido incentivado por meio de práticas agrícolas e novas tecnologias geradas pelas pesquisas. O conhecimento sobre a cultura



evoluiu consideravelmente nos últimos anos, mas muito ainda necessita ser feito (ALBERTINO et al., 2012).

### 3.2.2 Plantas daninhas e a cultura do guaraná

As plantas daninhas surgiram de um processo dinâmico de evolução ao adaptarem-se às perturbações ambientais provocadas pela natureza ou pelo homem através da agricultura. Esta evolução continua até hoje em resposta à modernização da agricultura (CHRISTOFFOLETI, 1994)

Na cultura do guaranazeiro, as plantas daninhas são um dos fatores limitantes para a sua expansão no estado do Amazonas, devido à forte interferência sobre a cultura, isso ocorre em razão da alta diversidade de espécies e do elevado número de gramíneas tropicais, principalmente no município de Maués-AM (ALBERTINO et al., 2004).

As plantas daninhas podem competir por recursos limitantes do meio (principalmente água, luz e nutrientes), liberar substâncias alelopáticas, hospedar pragas, provocando assim interferência no rendimento da colheita (KARAM, 2010).

Outro efeito deletério das plantas daninhas na produtividade do guaranazeiro está associado à ação indireta, quando essas plantas hospedam microrganismos patogênicos para a cultura (MILEO et al., 2006).

Dentre as espécies de plantas daninhas colonizadas por *Colletotrichum guaranicola* merecem destaque *Bidens bipinnata*, *Chloris* sp., *Clidemia capitellata*, *Cyperus flavus*, *Elephantopus scaber*, *Euphorbia brasiliensis*, *Hemidiodia* sp., *Hyptis lantanifolia*, *Paspalum conjugatum*, *Physalis angulata* e *Synedrella nodiflora*, as quais podem representar uma fonte de inóculo do patógeno, além das plantas de guaraná (MILEO,2007).

Em estudos fitossociológicos na cultura do guaranazeiro realizado por ALBERTINO (2004), a maior ocorrência de espécies foi verificada na classe das Dicotiledôneas e nas famílias Poaceae e Asteraceae. *Panicum pilosum*, *Scleria malaleuca*, *Panicum laxum*,

*Spermacoce capitata*, *Selaginella asperula* e *Homolepis aturensis* foram consideradas as mais importantes.

Para fazer o controle das plantas daninhas é recomendado que nos dois primeiros anos da cultura, realize-se o coroamento das plantas com uso de enxada, num raio de 0,5 m, devendo evitar revolver o solo para não atingir as raízes superficiais. Para as entrelinhas deve-se fazer roçagem com terçado ou roçadeiras costais motorizadas, e em caso de alta infestação ou plantas daninhas muito agressivas, o controle é feito utilizando herbicidas (EMBRAPA, 2005)

### **3.3 Solo**

O solo é considerado um sistema trifásico, composto pelas fases sólida, líquida e gasosa. Conceitualmente, o solo ideal é composto por 50% de fase sólida, 25% de fase líquida e 25% de fase gasosa. Do total da fase sólida, 90% são representados pelos constituintes inorgânicos e 10% pela matéria orgânica. A desagregação da rocha origina partículas inorgânicas de tamanhos diversos.

Para análise de seus atributos e funções, solo é considerado a porção formada por partículas menores do que 2 mm, ou seja, a terra fina. As partículas primárias consideradas na terra fina do solo são a areia, o silte e a argila, cujas dimensões são 2,00-0,05 mm, 0,05-0,002 mm e < 0,002 mm, respectivamente, conforme a escala americana de Atterberg. As diferentes frações ocorrem juntas, em várias combinações e proporções, resultando em diferenças apontadas pela textura, um dos atributos físicos mais importantes do solo (LIER, 2010).

Maiores teores de argila resultam em maior retenção de água e de nutrientes, maiores estoques de matéria orgânica e maior resistência às mudanças de pH (poder tampão). Solos com menores teores de argila têm maior suscetibilidade a erosões hídrica e eólica, alto potencial de lixiviação de nutrientes e de poluentes, baixos teores de matéria orgânica e

estoque nutricional, assim como menor capacidade de armazenamento de água (BARBOSA, 2013).

Quando se trata do comportamento da água no solo é necessário ter o conhecimento sobre a estrutura (agregados) e textura do solo (frações de areia, silte e argila –partículas primárias), pois estas influenciam diretamente a aeração, drenagem, a capacidade de retenção de água e o espaço poroso habitável no solo (REINERT, D.J. e REICHERT, J.M., 2006)

Outro ponto importante quanto ao solo é a matéria orgânica, que é constituída por uma gama de resíduos da flora e fauna formadas ou adicionados ao mesmo, parcial ou totalmente decompostos, pela intensa atividade dos organismos edáficos. Apesar de o seu peso reduzido representar de 0,5% a 3% do peso dos solos, exerce grande influência nas propriedades físico-químicas do solo e no crescimento vegetal (TRINDADE, 2007). A capacidade de troca de cátions é bastante influenciada pelo conteúdo de carbono orgânico do solo, principalmente nos horizontes superficiais (CANELLAS et al., 2000).

A principal característica física do solo afetada pela matéria orgânica é a agregação (GARCIA, 2010). O seu efeito sobre a agregação do solo afeta indiretamente as demais propriedades físicas do solo, como densidade, porosidade, aeração, capacidade de retenção, infiltração de água, entre outras, que são fundamentais para a capacidade produtiva do solo (BAYER; MIELNICZUK, 2008).

Abordando a característica densidade do solo isoladamente, esta pode variar consideravelmente dependendo da textura, dos teores da matéria orgânica e da frequência de cultivo (LIPIEC; HATANO, 2003).

Geralmente, a densidade do solo aumenta com a profundidade do perfil, pois as pressões exercidas pelas camadas superiores sobre as subjacentes provocam o adensamento, reduzindo a porosidade, o que dificultará a infiltração de água no solo e poderá dificultar a

penetração das raízes e, conseqüentemente, o desenvolvimento das plantas, seja por falta ou excesso de água e/ou por deficiência na nutrição (MARTINS et al., 2002).

Aproximadamente 60 a 70% do total de agrotóxicos aplicados nos campos agrícolas não atingem a superfície do alvo de interesse e, de forma direta ou indireta, atingem o solo, principal receptor e acumulador desses compostos (LAW, 2001).

### **3.3.1 Sorção**

O processo de sorção de herbicidas se refere à habilidade do solo em reter as moléculas do herbicida diminuindo sua disponibilidade em solução e, portanto, evitando que ele se mova na matriz do solo. Já a reversibilidade da sorção é denominada dessorção, ou seja, a liberação das moléculas sorvidas às superfícies das partículas de solo para a solução (OLIVEIRA JÚNIOR & REGITANO, 2009).

De maneira geral, a retenção de agrotóxicos no solo é caracterizada pelos processos de sorção e dessorção, que tendem a limitar a taxa de biodegradação, a lixiviação, transporte por erosão hídrica e outros processos relacionados à dissipação desses compostos no ambiente (HERWIG et al., 2001).

A quantificação da sorção de herbicidas no solo é geralmente feita por cromatografia. No entanto, vários estudos têm mostrado a possibilidade de estimar a sorção usando testes biológicos. Este método pode ser eficaz tanto para produtos utilizados em doses elevadas como para herbicidas aplicados em doses extremamente baixas (PESSALA et al., 2004).

O grau de sorção no solo aumenta com a elevação do teor de matéria orgânica e com a redução do pH (CHE et al., 1992; DICK et al., 2010; INOUE et al., 2010) e com o teor de argila e de hidróxidos de ferro e alumínio presentes. A matéria orgânica apresenta constituição bastante variada, sendo dividida em substâncias humificadas e não humificadas.

A parte humificada é composta por ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e humina, os quais representam a fração mais ativa na sorção de herbicidas (FARENHORST, 2006).

### **3.3.2 Lixiviação**

A lixiviação é definida como um processo em que o herbicida em solução é carregado para baixo, no perfil do solo, principalmente, por meio da força gravitacional (KELLER e WEBER, 2007). O processo de lixiviação é influenciado pelas propriedades dos herbicidas e de seus metabólitos, dos solos e do clima. A textura, a estrutura, a densidade, o teor de matéria orgânica e o pH são atributos do solo que influenciam na lixiviação dos herbicidas (PRATA et al., 2003). Tais fatores colaboram para prever o comportamento de herbicidas nas classes de solo e para seleção de dosagens adequadas, bem como para evitar efeitos prejudiciais ao ambiente e às culturas subsequentes (ROSSI et al., 2005).

A lixiviação constitui um dos principais processos de dissipação dos herbicidas no solo, exercendo influência direta sobre o controle das plantas daninhas, a persistência e o risco de contaminação ambiental (FERRI, 2003).

Segundo OLIVEIRA (2001), para ser lixiviado o herbicida deve estar na solução do solo ou adsorvido a pequenas partículas, como argilas, ácido fúlvicos e húmicos de baixo peso molecular, aminoácidos, peptídeos e açúcares, entre outros.

A lixiviação de herbicidas no campo pode ser monitorada por amostragem direta da água, análise de amostras de solo e utilização de lisímetros. No entanto, tornou-se comum medir o potencial de lixiviação utilizando colunas com amostras de solo perturbadas por meio de ensaios biológicos e cromatográficos. Esses experimentos empregam condições controladas de umidade e precipitação e permitem a comparação de diferentes classes de solo em um único ensaio (FREITAS et al., 2014, PASSOS et al., 2015)

A cromatografia requer laboratórios sofisticados e mão de obra altamente qualificada e consome grandes quantidades de solventes e outros produtos químicos que podem contaminar

o ambiente, enquanto a detecção pelo ensaio biológico é um processo muito mais simples e mais barato, o que requer estruturas mais simples. Melo et al.(2010) e Freitas et al.(2012), afirmam que o bioensaio junta eficiência de custo a bons resultados práticos.

Os principais fatores determinantes para que ocorra a lixiviação, processo que se caracteriza pelo movimento descendente de herbicidas e de agrotóxicos em geral, ao longo do perfil do solo, são a solubilidade e a afinidade de sorção da molécula herbicida, o teor de matéria orgânica, a textura e a estrutura do solo e o índice pluviométrico da região em questão (KLEISCHMITT, 2007).

Segundo Monquero et al. (2008) a lixiviação é fundamental para a incorporação superficial da maioria dos herbicidas, atingindo sementes ou plantas em germinação, mas, quando excessiva, pode carrear-los para camadas mais profundas do solo, limitando sua ação e podendo, inclusive, promover contaminação do lençol freático. Santos et al. (2010) complementam dizendo que além da contaminação superficial e subterrânea, pode haver prejuízos às culturas subsequentes, a fauna e a flora do solo.

### **3.4 Propriedades físico-químicas do herbicida**

A dinâmica do herbicida no solo é regida seus pelos atributos físicos, químicos e biológicos, juntamente com as condições ambientais e as propriedades físico-químicas dos herbicidas. Herbicidas do mesmo grupo químico podem apresentar comportamentos diferentes, podendo então dizer que essas características são específicas. O conhecimento dessas características peculiares a cada herbicida é fundamental para a sua eficiência (CHRISTOFOLLETI e LÓPEZ-OVEJERO, 2005). As principais propriedades do herbicida que se relacionam ao seu comportamento são: Coeficiente de partição octanol-água (Kow), solubilidade em água (S), pressão de Vapor (P), meia vida (T1/2), constante de equilíbrio de ionização ácido (pka) e constante de lei de Henry (H) (OLIVEIRA, 2011).

### **3.5 Propriedade físico-químicas do solo**

O solo é o destino final dos produtos químicos usados na agricultura, seja eles aplicados na parte aérea das plantas ou diretamente no solo. Ao entrarem em contato com o solo, os herbicidas estão sujeitos a processos físico-químicos que regulam seu destino final no ambiente (MANCUSO, 2011).

Entre os processos envolvidos após a aplicação dos herbicidas está a retenção ou sorção (adsorção e absorção), transformação (degradação química e/ou biológica), transporte (deriva, volatilização, lixiviação e escoamento superficial) e a interação entre todos esses processos (APPLEBY E DAWSON, 1994). Em ecossistemas tropicais, onde a maioria dos solos é pobre em nutrientes e apresenta baixa capacidade de retenção, a dinâmica de herbicidas é muito influenciada pela matéria orgânica presente no solo (INOUE, 2008).

Além da variedade de processos envolvidos na determinação do destino ambiental de herbicidas, diferenças nas estruturas e propriedades das substâncias químicas, e nas características e condições ambientais podem afetar esses processos. Condições meteorológicas, composição das populações de micro-organismo no solo, presença ou ausência de plantas, localização do solo na topografia, práticas de manejo, a taxa e a quantidade de água, movendo na superfície e através do perfil do solo, podem influenciar no seu destino final (QUEIROZ, 2009).

O estudo de interação herbicida-solo, seja utilizando os processos de sorção-dessorção descritos pelo coeficiente  $K_d$  e Freundlich, seja por ensaios biológicos, deve ser realizado analisando-se conjuntamente todas as variáveis descritivas do solo, visando conhecer e quantificar o efeito destas variáveis nos processos de interação. Esse tipo de análise permite não apenas conhecer os efeitos isolados de cada propriedade do solo, mas as possíveis interações dos diversos fatores num único modelo, visto que as propriedades do solo são intercorrelacionadas (OLIVEIRA, 2011).

Os métodos de medição de sorção podem ser diretos ou indiretos, ambos requerem o equilíbrio de soluções aquosas do agroquímico em concentrações inicialmente conhecidas com amostras de solo. O método direto envolve a quantificação da substância em solução e do adsorvido pelos colóides do solo. Após o equilíbrio, a quantidade sorvida é retirada do solo por uma mistura de solventes adequadas e quantificada diretamente. Por outro lado, pelo método indireto, mede-se apenas o agroquímico em solução. A quantidade adsorvida é calculada indiretamente pela diferença entre aquela adicionada e a remanescente em solução. (GREEN e KARICKHOFF, 1990)



## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Experimento para medir a lixiviação de diuron

Para este experimento amostras de solo foram coletadas em solo cultivado com guaranazeiro em duas propriedades, Fazenda Santa Helena no município de Maués e Fazenda Santa Lourdes em Itacoatiara, ambas no Amazonas. A coleta ocorreu nas profundidades de 0-10, 10-20, 20-30, 30-40 cm.

Na casa de vegetação, o solo foi separado de acordo com a profundidade de coleta, e então seco ao ar. Posteriormente foi realizado o peneiramento em malha de 4 mm (INOUE, 2014)

De cada profundidade foram separadas subamostras para análises química e granulométrica, realizadas pelo Departamento de Ciência do Solo da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). As características físico-químicas de ambos os solos são apresentadas na tabela 1.

**Tabela 1.** Características físico-químicas das amostras de solos utilizadas no experimento, Manaus, 2016.

Profundidade (cm)	Ph		P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	H+Al	SB	CTC	V	M
	(H <sub>2</sub> O)	CaCl <sub>2</sub>	mg.dm <sup>-3</sup>		(cmolc.dm <sup>-3</sup> )							
Maués												
0-10	5,1	3,9	26,3	69,9	1,2	0,7	1,1	6,2	2,1	8,3	25,3	34,3
10-20	4,9	3,7	9,2	37,7	0,9	0,3	1,1	3,7	1,3	5,0	26,0	45,8
20-30	4,9	3,8	5,3	26,7	1,0	0,2	1,0	2,9	1,3	4,2	31,0	43,4
30-40	5,1	3,9	3,8	31,2	1,0	0,1	0,9	2,4	1,2	3,6	33,3	42,8
Itacoatiara												
0-10	5,1	3,6	25,0	71,5	2,1	0,5	0,8	5,2	2,8	8,0	35,0	22,2
10-20	4,6	3,6	19,3	35,8	0,7	0,1	1,4	4,1	0,9	5,0	18,0	60,8
20-30	4,7	3,6	3,6	34,9	0,6	0,1	1,2	3,5	0,8	4,3	18,6	60,0
30-40	4,3	3,6	2,5	29,9	0,7	0,1	1,5	3,4	0,9	4,3	20,9	62,5
Profundidade (cm)	MO	B	Cu	Mn	Zn	Fe	S	Areia	Argila	Silte	Cl. Tex	
	g.dm <sup>-3</sup>		mg.dm <sup>-3</sup>					%				
Maués												
0-10	30,5	0,3	0,6	12,2	7,2	89,0	13,4	20,2	70,9	8,9	Ma	
10-20	14,1	0,2	0,1	1,1	2,05	87,3	19,9	15,5	75,5	9,1	Ma	
20-30	14,1	0,2	0,2	4,0	1,8	64,2	32,2	12,2	80,6	7,1	Ma	
30-40	19,3	0,1	0,1	1,9	2,5	44,2	66,7	11,1	83,0	5,8	Ma	
Itacoatiara												

0-10	43,0	0,2	0,2	4,3	3,4	73,5	10,5	49,4	42,8	7,9	Aa
10-20	30,5	0,2	0,2	3,9	1,5	77,0	10,9	44,6	47,7	7,7	Aa
20-30	28,6	0,2	0,4	2,1	2,5	60,0	12,5	39,3	51,6	9,0	Aa
30-40	30,5	0,1	0,3	1,9	5,3	55,8	14,1	39,0	52,8	8,2	Aa

Ma = textura muito argilosa; Aa = textura argilosa. Fonte: Departamento de Ciência do Solo, ESALQ, SP.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial de 2x4x5, sendo duas localidades, quatro profundidades e cinco doses do herbicida diuron. Na casa de vegetação, localizada no setor sul da Universidade Federal do Amazonas, colunas de PVC foram preenchidas com o solo proveniente dos plantios de guaranazeiro, conforme as profundidades das amostras coletadas no perfil do solo em campo. Estas colunas foram acondicionadas com inclinação de 45°, em baldes contendo água destilada até a metade de sua capacidade, para que a água atingisse o topo da altura da coluna e, dessa forma, umedecer o solo e eliminar o ar de dentro das mesmas. Em seguida, as colunas contendo os solos foram transferidas para bancadas na casa de vegetação, onde permaneceram inclinadas, em repouso por mais 48 horas, para drenar o excesso de água.

O herbicida diuron foi aplicado na parte superior das colunas, conforme as dosagens de cada tratamento com diuron (0, 200, 400, 800 e 1600 g ha<sup>-1</sup> de i.a.), utilizando uma macropipeta de 20 mL. Vinte e quatro horas após a aplicação do herbicida, as colunas com os solos receberam o equivalente a 100 mm de chuva e permaneceram por mais 24 horas em posição vertical. Após esse período, as colunas foram colocadas na posição horizontal e abertas longitudinalmente, para fazer o plantio de pepino (*Cucumis sativus* L. var. Aodai, usado como espécie bioindicadora).

Seis sementes de pepino foram semeadas a cada faixa de 10 cm de solo nas colunas, a um cm de profundidade. No quinto dia, após a semeadura realizou-se o desbaste, deixando cinco plantas, por segmento da coluna. Ao décimo quarto dia após a semeadura, as plântulas foram cortadas rente ao solo e depois levadas para estufa de ventilação forçada de ar a 60°C, até atingir peso constante.

#### **4.2. Experimento para medir a sorção de diuron**

No estudo da sorção foi utilizada a areia, que serviu como substrato inerte para calcular a dose que reduziu em 50% o peso da parte aérea do pepino ( $I_{50}$ ) livre da sorção por constituintes do solo. No Laboratório Ciência de Plantas Daninhas – LCPD/UFAM de A areia foi lavada com água filtrada, seca e depois peneirada em malha de 2 mm. Em seguida, este material foi tratado com ácido clorídrico (HCl, 1,0 M) para eliminar a matéria orgânica, mantendo lâmina de solução de 10 cm acima do substrato, em baldes de polietileno. Após 24 horas, a areia foi lavada com água destilada em abundância para retirada do excesso de ácido, até atingir pH próximo de 7,0. A areia foi colocada para secar e em seguida acondicionada em sacos plásticos de 2 kg para autoclavagem durante 60 minutos a 120° C. Após secagem em casa de vegetação, essa areia foi colocada em recipientes de polietileno. A capacidade de campo foi calculada para evitar o excesso ou falta de água durante o crescimento da planta bioindicadora

Neste experimento, usou-se o delineamento inteiramente casualizado com nove tratamentos e cinco repetições. Os tratamentos foram as doses de diuron 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 e 24 g ha<sup>-1</sup> de i.a.. Após a aplicação dos tratamentos, três sementes de pepino foram semeadas em cada recipiente de 550 mL. Uma vez por dia foi aplicada solução nutritiva comercial indicada para pepino, em quantidade suficiente para repor a perda de água e o teor de umidade, próximo a capacidade de campo. Aos 14 dias após semeadura (DAS) da espécie indicadora, as plantas foram cortadas rente à superfície do solo e levadas ao laboratório - LCPD para medição da área foliar e posterior secagem em estufa de ventilação a 60° C até obter peso constante.

Para avaliar a área foliar utilizou-se o medidor portátil de área foliar a laser CI-202 CID Bio-Science e o peso da matéria seca, aferido em balança de precisão.

Os dados de cada experimento de lixiviação e sorção obtidos nos bioensaios foram submetidos à análise de variância pelo teste F, sendo os dados de lixiviação transformados em  $\sqrt{X}$ , e as médias comparadas por meio do teste de Scott-Knott ( $p \leq 0,05$ ), utilizando-se o *software* estatístico ASSISTAT 7.6. Quando significativos, os resultados foram analisados com o emprego de regressões. Para a seleção da equação de regressão, considerou-se a significância do teste F, o valor do coeficiente de determinação e a equação de melhor ajuste aos dados originais combinados à explicação biológica da característica.

Para efeito de análise, a dose 0 g ha<sup>-1</sup> do diuron correspondeu a 100% de crescimento da planta bioindicadora e o efeito das demais doses foram em função da dose controle sobre as características avaliadas. O valor da dose do diuron, que inibiu 50% (I<sub>50</sub>) do crescimento da área foliar ou do peso da matéria seca da parte aérea da planta de pepino foi calculado por interpolação.

O I<sub>50</sub>, relacionado ao grau de inativação de um herbicida, pelo solo, foi obtido plotando-se peso seco da parte aérea da planta bioindicadora pela dose de Diuron aplicada ao solo (KRAKTY e WARREN, 1971). Este índice correspondeu à dose que inibiu o crescimento de 50% do peso seco da parte aérea da planta bioindicadora (I<sub>50</sub>). A diferença entre o I<sub>50</sub> obtido para a areia, e aquele obtido para cada solo, nas diferentes coberturas, foi considerado como sendo igual à quantidade de herbicida inativada pelo solo.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Resultado do potencial de lixiviação do Diuron

Os resultados da análise de variância das características avaliadas estão apresentados na tabela 2. Local profundidade e dose apresentaram significância quando isolados e em interação, para as duas variáveis, demonstrando a importância desses fatores na lixiviação do Diuron em solos cultivados com guaranazeiro. Para os três fatores isoladamente, todas as variáveis foram significativas. Quanto à interação entre estes, profundidade x dose não influenciou significativamente na área foliar, enquanto local x dose não teve influência significativa no peso da matéria seca.

**Tabela 2.** Resumo da análise de variância para área foliar e peso da matéria seca de pepino semeado em solos de área cultivada com guaranazeiro, Manaus, 2016.

Fonte de variação	Área Foliar			Peso da matéria seca	
	GL	QM	F	QM	F
Local (L)	1	1,099	5,78**	0,155	52,39**
Profundidade (P)	3	4,30	22,65**	0,06	20,50**
Dose (D)	4	0,53	2,83*	0,02	8,58**
Lx P	3	1,16	6,15**	0,018	6,20**
Lx D	4	0,01	0,08*	0,001	0,34 <sup>ns</sup>
PxD	12	0,28	1,51 <sup>ns</sup>	0,010	3,52**
LxPxD	12	0,03	0,18**	0,00065	0,22**
Tratamentos	39	0,60	3,18**	0,155	5,46**
Resíduo	120	0,19		0,19	
Total	159				

C.V. = 12,23 %

C.V. = 13,04%

\*\*significativo a 1% de probabilidade ( $p < 0,01$ ); \*significativo a 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); ns = não significativo pelo teste F, ( $p \geq 0,05$ ).

A área foliar e o peso seco da parte aérea das plântulas de pepino foram maiores nos solos coletados em Itacoatiara em comparação aos de Maués, independente da profundidade e das doses de Diuron (Tabela 3).

**Tabela 3.** Médias da área foliar e do peso seco da parte aérea de pepino semeado em solos de áreas cultivadas com guaranazeiro, Manaus, 2016.

Local	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso seco da parte aérea (g)
Itacoatiara	13,66 a	0,20 a
Maués	12,31 b	0,15 b

Médias seguidas pelas mesmas letras, minúsculas na coluna, não diferem entre si ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Scott-Knott.

Tal fato pode estar relacionado às características físico-químicas do solo de Itacoatiara (Tabela 1) que apresentou textura argilosa e continha os maiores teores de matéria orgânica, inativando o herbicida na solução do solo e propiciando o crescimento das plântulas. Segundo Rodrigues e Almeida (2011), a absorção do diuron ocorre principalmente via radicular e com menor intensidade via foliar, sendo a translocação via xilema. Quando este herbicida é aplicado no solo, fica adsorvido aos coloides inorgânicos e/ou matéria orgânica, apresentando, portanto, baixa lixiviação em solos argilosos, e elevada lixiviação em solos arenosos. Segundo Rocha (2003), solos ricos em matéria orgânica apresentam grande capacidade de retenção, isso diminui o potencial de lixiviação e a biodisponibilidade dos herbicidas às plantas e aos micro-organismos.

A maior área foliar foi observada na camada 0-10 cm, diminuindo gradativamente com a profundidade do solo (Tabela 4). Nesta camada foram encontrados os maiores teores de nutrientes, tais como fósforo, potássio, cálcio, magnésio, boro, cobre e manganês, além de conter valores mais elevados de matéria orgânica e CTC do que as demais (Tabela 1).

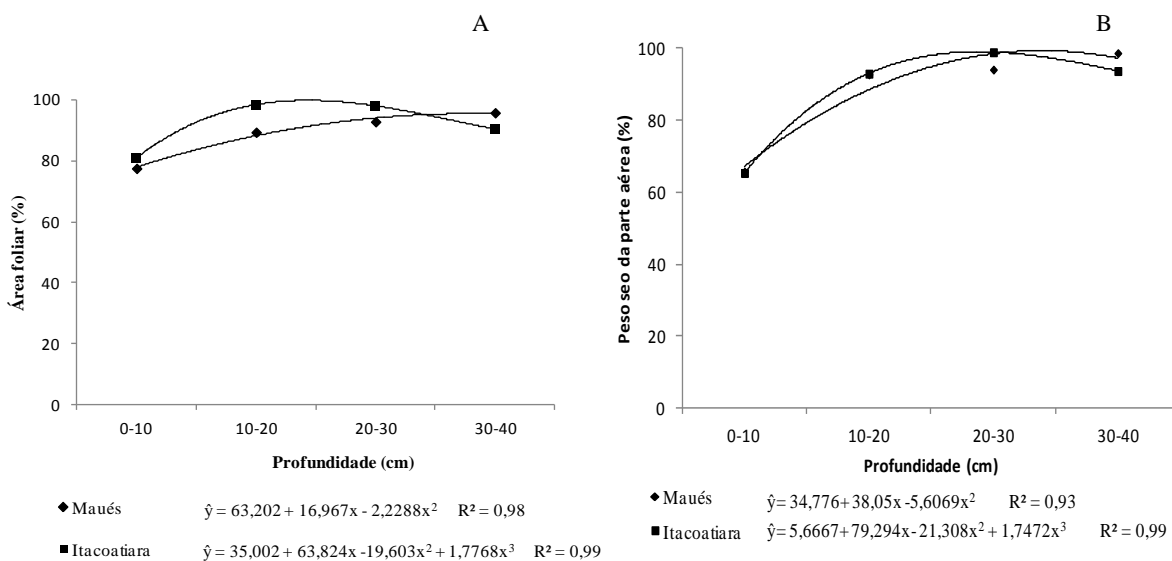
**Tabela 4.** Médias da área foliar e peso seco da parte aérea de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em quatro profundidades, Manaus, 2016.

Profundidade (cm)	Área foliar (cm <sup>2</sup> )	Peso seco da parte aérea (g)
0-10	15,83 a	0,18 b
10-20	13,95 b	0,22 a
20-30	11,88 c	0,17 b
30-40	10,27 d	0,13 c

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si ( $p \leq 0,05$ ) pelo teste de Scott-Knott.

No entanto, quando se analisa o resultado do peso seco da parte aérea, na primeira camada (0-10 cm) foi menor em comparação com a segunda (10-20 cm). Nas demais camadas, 20-30 e 30-40 cm, a área foliar e o peso seco das plântulas foram baixos. Tais resultados podem estar relacionados às características físico-químicas do solo dessas camadas, como a matéria orgânica, tamanho e distribuição dos coloides e poros, bem como sua densidade.

O solo coletado em Itacoatiara propiciou melhor crescimento das plântulas em relação ao solo de Maués (Figura 2).



**Figura 1** Área foliar (A) e peso seco da parte aérea (B) de plântulas de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em duas localidades, em quatro profundidades, Manaus, 2016.

Na camada de 0-10 cm, a planta bioindicadora sofreu perda de 22,45% da sua área foliar no solo de Maués e de 19% no solo de Itacoatiara. Para o peso seco da parte aérea, ainda na camada de 0-10 cm, as perdas foram de 34,22% e de 34,6% para os solos de Maués e Itacoatiara, respectivamente. No entanto, nas profundidades entre 10-40 cm, a variação na

perda de área foliar e de peso seco da planta de pepino não ultrapassou 10%, se comparadas com a testemunha.

Uma das diferenças encontradas entre os solos das duas localidades é quanto ao teor de matéria orgânica (Tabela 1). Enquanto o solo de Itacoatiara apresentou em média 33,15 g.dm<sup>-3</sup>, Maués continha 19,50 g.dm<sup>-3</sup>. Esse teor de matéria orgânica encontrada no solo de Itacoatiara pode ter propiciado maior crescimento e acúmulo de matéria seca das plântulas.

Segundo Inoue et al. (2008), em estudo de lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante, independente do bioindicador, houve alta concentração diuron na camada superficial (0-5 cm) do solo, o que resultou na morte da planta bioindicadora. O autor verificou, ainda, que o acúmulo de biomassa foi inversamente proporcional à dose aplicada para as camadas superficiais de 5-10 cm e 10-15 cm, provavelmente em função da maior concentração de moléculas presente na solução do solo.

A lixiviação ou movimentação do herbicida na camada superficial de um solo é necessária, a fim de se obter o controle de plantas daninhas. Segundo Dores et al. (2009) e Alister e Kogan (2010) somente se este processo ocorrer de forma intensa, é que poderá reduzir a eficiência de herbicidas e causar danos ambientais, podendo atingir o lençol freático, contaminando reservas de águas subterrâneas. Fato este que não foi evidenciado com o diuron neste estudo, pois a faixa do solo onde predominou o efeito tóxico do herbicida foi na camada de 0-10 cm, utilizando-se uma lâmina de 100 mm de água.

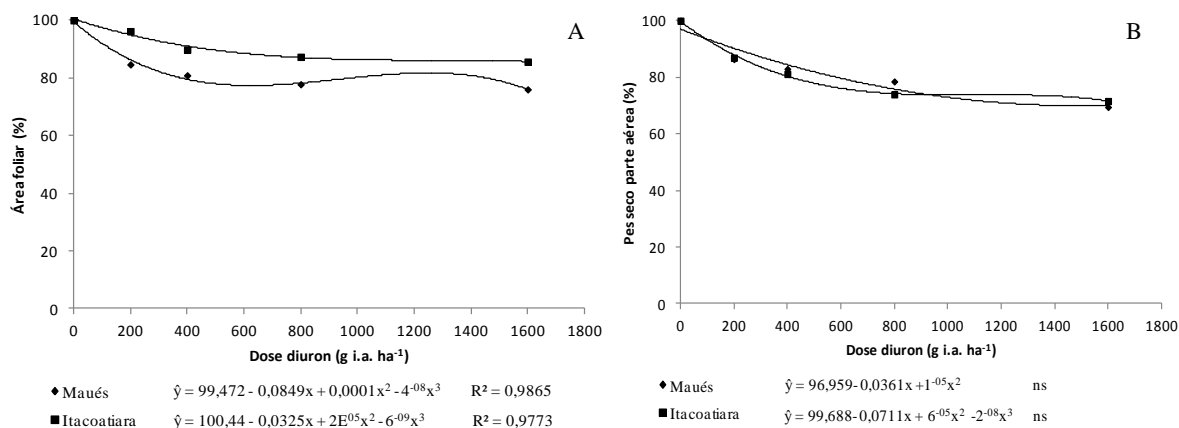
Rocha (2013), avaliando a sorção do diuron em quatro tipos de latossolos brasileiro com diferentes classes texturais (Muito argilosa, Franco-argiloarenoso e Franco arenoso), verificou que ocorreu sorção rápida do diuron com cerca de 70% do produto, nas quatro primeiras horas após a aplicação e depois a sorção foi mais lenta. Neste mesmo estudo o autor observou que houve correlações positivas entre o K<sub>f</sub> (coeficiente de adsorção de Freundlich) e a matéria orgânica ( $r = 0,96$ ) e o teor de argila ( $r = 0,92$ ), enfatizando assim a maior



capacidade de sorção desse herbicida em solos com elevados teores de matéria orgânica e de argila. Correlação positiva também foi observada entre o Kf e a CTC efetiva ( $r = 0,66$ ); não sendo observada correlação entre Kf e pH dos solos.

Boeira e Souza (2004) observaram que solos com menor teor de matéria orgânica e argila Neossolo Quartzarênico (RQ), apresentaram porcentagem de sorção variando de 19 a 36% do total aplicado. Já os solos com maior teor de argila e carbono orgânico (Latosolo Vermelho distroférico e Latossolo Vermelho distrófico) apresentaram maior potencial de sorção do diuron. Na camada de 0-10 cm a sorção no Latossolo vermelho distrófico ficou entre 61 a 80% e no distroférico, entre 63 a 77%.

A área foliar a foi reduzida conforme o aumento da dose do diuron em ambas as localidades. Porém, o peso seco da parte aérea não apresentou diferença significativa, na interação local x dose (Figura 3).



**Figura 2** Área foliar (A) e peso seco da parte aérea (B) de plântulas de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em duas localidades, submetidos a cinco doses crescentes de diuron, Manaus, 2016.

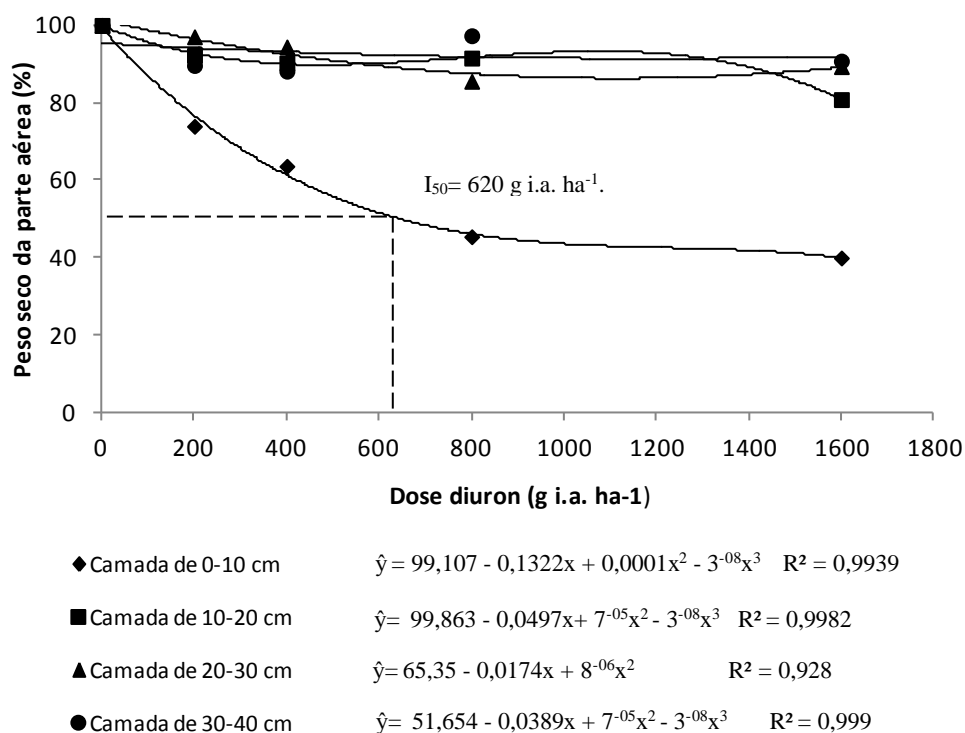
A dose de 1600 g i.a. ha<sup>-1</sup> provocou um decréscimo de 14,37% de área foliar do pepino em solo de Itacoatiara, comparado à dose zero. Em Maués, o decréscimo foi de 23,97%, na mesma dose de 1600 g i.a. ha<sup>-1</sup>, comparado à testemunha (Figura 3).

Nos solos de Maués o decréscimo na formação de área foliar foi maior do que nos de Itacoatiara, o que pode ser explicado pela combinação de predominância de argila (70-80%) e baixo teor de matéria orgânica nos solos de Maués, deixando assim o herbicida livre na solução do solo, com isso, provocando aumento dos sintomas visíveis nas plantas, o que ocasionou maior diminuição da área foliar. Já o teor mais elevado de matéria orgânica no solo de Itacoatiara, embora com alta porcentagem de areia (39-49%), provocou a não disponibilidade total do herbicida na solução do solo, diminuindo a fitotoxicidade nas plantas, mesmo em doses mais elevadas.

Para o tipo de solo argiloso, no qual foi realizado este estudo, segundo a recomendação de Rodrigues e Almeida (2005), deve ser aplicada a dose de 3,2 kg i.a. ha<sup>-1</sup> para que haja um controle satisfatório e, em solos arenosos a recomendação é de 1,6 kg i.a. ha<sup>-1</sup>. Tais recomendações já levam em consideração as perdas que podem ser advindas dos processos sortivos do solo, porém se usadas incorretamente podem não se obter os resultados esperados e ainda promover a contaminação do solo.

Em geral, solos que possuem altos teores de argila e matéria orgânica, ou ambos, apresentam maior sorção e persistência de herbicidas, seguido por baixos índices de lixiviação e de degradação destes (Li et al., 2003; Si et al., 2006). Entretanto, segundo Pusino et al. (2004), estudos mais detalhados demonstram que os mecanismos envolvidos com a retenção de herbicidas ocorrem de forma distinta para cada solo e seu ecossistema e que a heterogeneidade desse meio dificulta a previsão de comportamento desses produtos.

Quanto a interação doses do herbicida e profundidade do solo, na camada de 0-10 cm houve decréscimos significativos no peso seco da parte aérea de pepino conforme o aumento da dose aplicada. Sendo que esta camada foi a única que sofreu interferência do herbicida (Figura 4).



**Figura 3.** Peso seco da parte aérea de plântulas de pepino em solos cultivados com guaranazeiro, coletados em quatro profundidades e submetidos a cinco doses de diuron, Manaus, 2016.

A dose de 620 g i.a. ha<sup>-1</sup> reduziu em 50% o peso seco da parte aérea das plantas, na profundidade de 0-10 cm. Para a camada de 10-20 cm, a máxima redução foi de 19,17%, se comparando a dose de 1600 g i.a ha<sup>-1</sup> com a testemunha, sem herbicida. Para as camadas de 20-30 e 30-40 cm, a redução não ultrapassou os 15%, o que comprova a ineficácia do herbicida nas camadas mais profundas (Figura 4).

Segundo Moura et al. (2008), as moléculas do herbicida em contato com o solo estão sujeitas aos processos de retenção, transporte e transformação, que irão influenciar a sua atividade e permanência no solo. Neste estudo, é possível que tenha ocorrido a retenção do diuron pela adsorção de suas moléculas ao solo e, por conseguinte tenha havido baixa translocação dessas moléculas no perfil, evidenciando assim sua baixa lixiviação. Assim, os efeitos de intoxicação das plantas neste estudo foram mais evidentes na camada de 0-10 cm.

Resultados semelhantes foram obtidos por Inoue et al. (2008) em aplicação de diuron nas doses de 1,6 e 3,2 kg de i.a. ha<sup>-1</sup> com lâminas de água de até 80 mm usando amostras de Latossolo Vermelho distrófico (textura franco-arenosa) e Latossolo Vermelho distroférico (textura argilosa). Nestes solos a movimentação do diuron ficou restrita a camada de 0-10 cm, onde a maior parte do herbicida ficou retida.

Estes resultados estão de acordo com Rocha (2011), o qual verificou que a lixiviação do diuron em quatro tipos de solos (Latosolo Amarelo; L. Vermelho-Amarelo; L.V.A – húmico e L. Vermelho), concluiu que a intoxicação das plantas bioindicadoras foi elevada em todos os solos na camada de 0-5 cm e que apenas no Latossolo Vermelho foram observados sinais de intoxicação na camada de 5-10 cm.

Segundo Inoue et al. (2008), a interação hidrofóbica entre o diuron e a matéria orgânica é um componente importante na sua sorção ao solo, fato que pode justificar a maior retenção em solos com teores mais elevados de matéria orgânica.

## 5.2 Resultado do estudo da sorção de Diuron

Para o estudo da sorção do diuron em areia inerte, a análise de variância das características estudadas mostra significância à 1% de probabilidade, tanto para a área foliar quanto para o peso da matéria seca (Tabela 5).

**Tabela 5** Resumo da ANOVA para área foliar e peso da matéria seca de pepino, semeado em areia inerte, submetida a doses de Diuron, Manaus, 2016.

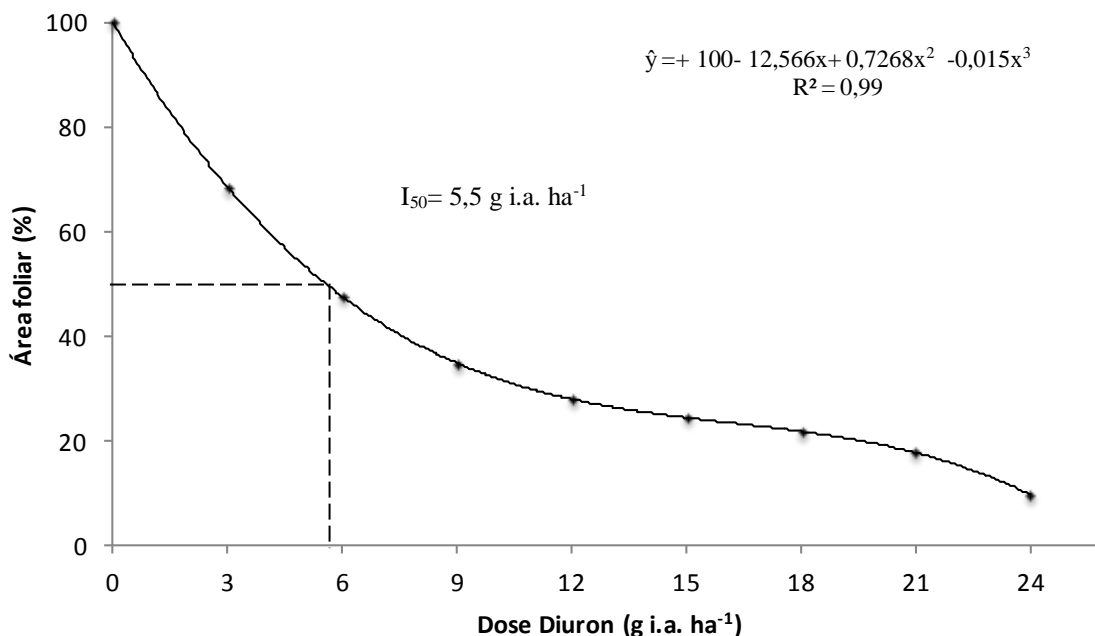
Fonte de variação	Área Foliar			Peso da matéria seca	
	GL	QM	F	QM	F
Tratamento	8	12,87	5,78**	0,06514	21,71**
Resíduo	36	0,3905		0,00300	
Total	44				

C. V = 15,34 %

C. V = 18,39%

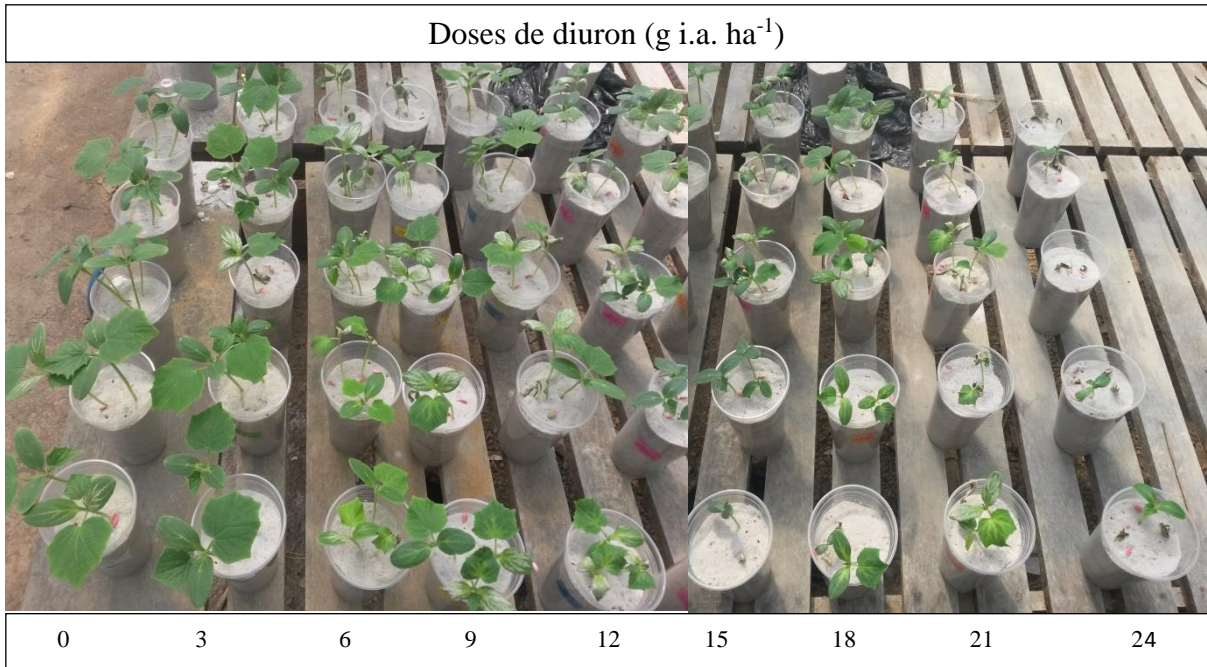
\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .001$ ); \*significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $0,01 \leq p < 0,05$ ); ns = não significativo pelo teste F, ( $p \geq 0,05$ ).

Considerando como zero a sorção no substrato areia lavada, nota-se que a dose de apenas 3 g i.a. ha<sup>-1</sup> do diuron foi suficiente para produzir intoxicação aparente na planta bioindicadora, caracterizada pela redução no seu crescimento (Figura 5).



**Figura 4.** Área foliar de pepino, cultivado por 14 dias em areia lavada e tratada com doses crescentes de diuron. Manaus, 2016.

O I<sub>50</sub> do diuron para a característica área foliar foi de 5,5 g i.a. ha<sup>-1</sup> em areia inerte (Figura 5). Houve um decréscimo (31,55%) no crescimento das plântulas a partir da primeira dose aplicada, porém a partir de 6 g i.a. ha<sup>-1</sup>, a perda na formação da parte aérea foi de 52,47%. Na dose de 24 g i.a. ha<sup>-1</sup>, as plântulas encontravam-se totalmente secas, com mais de 90% de perda da área foliar. (Figuras 5 e 6).



**Figura 5.** Fitotoxicidade de plântulas de pepino, sob diferentes doses de diuron em areia inerte, 14 dias após a semeadura. Manaus, 2016.

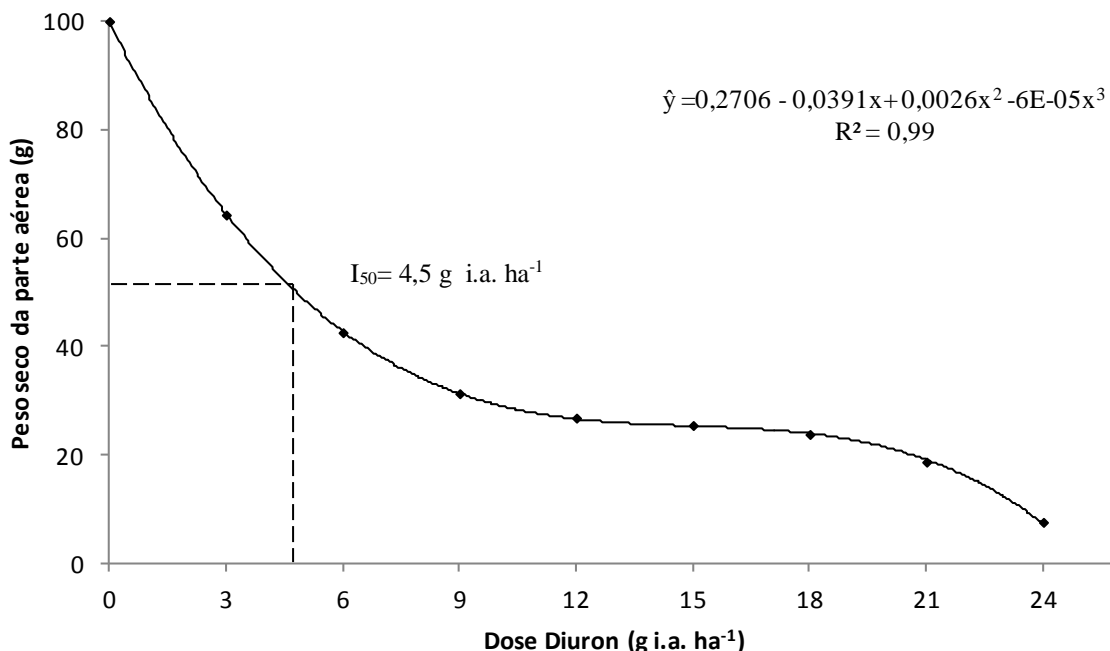
A partir de 3 g ha<sup>-1</sup> de i.a de diuron aplicado, foi possível observar sintomas de fitotoxicidade nas plantas, caracterizado por manchas acinzentadas, evoluindo para manchas amareladas na base das folhas e também próximo à nervura central, chegando ao total secamento e morte da planta (Figura 6).

A dose de 24 g ha<sup>-1</sup> i.a. de diuron, ocasionou sintomas de manchas foliares, subdesenvolvimento, má formação radicular e a morte das plantas bioindicadoras (Figura 7).



**Figura 6.** Fitotoxicidade de plântulas de pepino submetidas a 24 g i.a. ha<sup>-1</sup> do herbicida diuron em areia inerte, 14 dias após a semeadura, Manaus, 2016.

A dose de diuron que provocou 50% de inibição ( $I_{50}$ ) no peso seco da parte aérea da planta bioindicadora foi de 4,5 g i.a.  $ha^{-1}$ . A menor dose aplicada (3 g i.a.  $ha^{-1}$ ) provocou mudanças significativas no peso das plântulas, reduzindo (35,68%) em comparação com a testemunha, já a dose mais elevada (24 g i.a.  $ha^{-1}$ ), reduziu o peso (92,36 %) e ocasionou a morte de mais de 80% das plântulas avaliadas (Figura 8).



**Figura 7.** Peso seco da parte aérea de pepino, cultivado por 14 dias em areia lavada e tratada com doses crescentes de diuron. Manaus, 2017.

Na areia lavada, livre de matéria orgânica, pH neutro, sem capacidade de troca catiônica, houve danos relevantes as plântulas de pepino. A influência do solo no comportamento do herbicida depende de suas características químicas, por isso, sugere-se que solos com baixo teor de matéria orgânica, textura arenosa e baixa CTC estejam menos propícios a sorção e por consequência, mais sujeitos ao processo de lixiviação, tal comportamento foi constatado neste experimento.

Na tabela 6 é apresentado o resumo dos resultados do  $I_{50}$  dos experimentos de sorção e lixiviação e a quantidade de diuron sorvido de acordo com a quantidade de matéria orgânica presente no solo.

**Tabela 6** Dose de diuron que reduziu 50% ( $I_{50}$ ) do peso da matéria seca da parte aérea de pepino em solo cultivado com guaranazeiro e em areia inerte, para cálculo de diuron inativo por quilo de matéria orgânica. Manaus, 2016.

$I_{50}$ em solo cultivado com guaranazeiro (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	620,00
$I_{50}$ em areia inerte (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	4,50
$I_{50}$ inativado (g i.a. ha <sup>-1</sup> )	615,50
M.O. (kg ha <sup>-1</sup> )	36.750,00
mg de diuron inativado kg <sup>-1</sup> de matéria orgânica	16,75

O alto teor de matéria orgânica propiciou uma maior inativação do diuron nos solos estudados, ou seja, perda do seu potencial de controle e redução da movimentação do herbicida no perfil do solo. Diante dos resultados apresentados é possível dizer que o herbicida diuron não apresenta altos riscos de contaminação ambiental, visto que sua molécula apresenta um alto potencial de sorção e conseqüentemente um baixo potencial de lixiviação.



## 6. CONCLUSÕES

A lixiviação do herbicida diuron nos solos cultivados com guaranazeiro foi baixa e predominantemente na camada de 0-10 cm do solo.

O  $I_{50}$  do diuron para o peso seco da parte aérea da planta bioindicadora em solos cultivados com guaranazeiro foi 620 g i.a. ha<sup>-1</sup> e na areia inerte, 4,50 g i.a. ha<sup>-1</sup>.

O diuron inativado nos solos cultivados com guaranazeiro foi 16,75 mg i.a. kg<sup>-1</sup> de matéria orgânica.

Os teores de matéria orgânica e de argila foram as características que mais contribuíram para a baixa lixiviação do diuron nos solos cultivados com guaranazeiro.

## 7. REFERÊNCIAS

- ALBERTINO, S.M.F.; SILVA, J.F.; PARENTE, R.C.; SOUZA, L.A.S. Composição florística das plantas daninhas na cultura do guaraná (*Paullinia cupana*), no estado do Amazonas. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.22, n.3, p.351-358, 2004.
- ALBERTINO, Sônia Maria Figueiredo et al. Rooting of guarana cultivar cuttings with fertilization of matrix plants. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 10, p. 1449-1454, 2012.
- ALISTER, C.; KOGAN, M. Rainfall effect on dissipation and movement of diuron and simazine in a vineyard soil. **Planta Daninha**, v. 28, p. 1059-1071, 2010.
- APPLEBY, A.P.; DAWSON, J.H. Microbial and non-microbial breakdown of herbicides in soil. **Intensive course on the activity, selectivity, behavior, and fate of herbicides in plants and soils**. West Lafayette, Indiana, USA. West Lafayette: Purdue University. Departments of Horticulture, Agronomy, Botany and Plant Pathology, and Forestry and Natural Resources. p. 446-462, 1994.
- ATROCH, A. L. et al. Avaliação e seleção de progênies de meios-irmãos de guaranazeiro. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 53, n. 2, p. 123-130, 2010.
- BARBOSA, L. M. **Políticas Públicas para a Restauração Ecológica e Conservação da Biodiversidade**. p. 404, 2013.
- BAYER, C.; MIELNICZUK, J. Dinâmica e função da matéria orgânica. In: SANTOS, G. A. et al. (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, p.7- 18, 2008.
- BOEIRA, R.C; SOUZA, M.D. **Sorção de diuron em solos com diferentes texturas**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 5 p. (Circular Técnica, 9)
- CANELLAS, L. P. et al. Frações da matéria orgânica em seis solos de uma topossequência no estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 133-143, 2000.
- CHE, M.; LOUX, M.M.; TRAINA, S.J.; LOGAN, T.J. Effect of pH on sorption and desorption of imazaquin and imazethapyr on clays and humic acid. **J. Environ. Qual.**, v.21, p.698-703, 1992.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; LÓPEZ-OVEJERO, R. F. Dinâmica dos herbicidas aplicados ao solo na cultura da cana-de-açúcar. **Piracicaba: BASF**, v. 49, 2005.
- CHRISTOFFOLETI, P. J.; VICTÓRIA, R. F.; SILVA, C.B. da. Resistência de plantas daninhas aos herbicidas. **Planta Daninha**, v. 12, n. 1, p. 13-20, 1994.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16\\_02\\_10\\_16\\_32\\_06\\_guaranajaneiro2016.pdf](http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_02_10_16_32_06_guaranajaneiro2016.pdf)>. Acesso em: 5 jan. 2016.
- DICK, D. P. et al. Matéria orgânica em quatro tipos de solos brasileiros: composição química e sorção de atrazina. **Química Nova**, v. 33, n. 1, p. 14-19, 2010.
- NASCIMENTO FILHO, Firmino José et al. Adaptabilidade e estabilidade de clones de guaraná. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 44, n. 9, p. 1138-1144, 2010.

- DORES, E. F. G. C.; SPADOTTO, C. A.; WEBER, O. L. S.; CARBO, L.; VECCHIATO, A. B; PINTO, A. A. Environmental behaviour of metolachlor and diuron in a tropical soil in the central region of Brazil. **Water Air Soil Pollut**, v. 197, n. 1, p. 175-183, 2009.
- DUCKE, A. Diversidade dos guaranás. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v. 3, n. 10, p. 155-156, 1937.
- ERASMO, E.A.L.; PINHEIRO, L.L.A.; CONSTA, N.V. Levantamento fitossociológico das comunidades de plantas infestantes em áreas de produção de arroz irrigado cultivado sob diferentes sistemas de manejo. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v.22, n.2, p. 195-201, 2004.
- FARENHORST, A. Importance of soil organic matter fractions in soil-landscape and regional assessments of pesticide sorption and leaching in soil. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 70, n. 3, p. 1005-1012, 2006.
- FERREIRA P. H. A., SILVA M. F.das G. F., VIEIRA P. C., Veiga T. A. M. **Alcaloides inibidores de reações luminosas da fotossíntese**, São Carlos – SP, 2014.
- FERRI, M. V. W. et al. Lixiviação do herbicida acetoclor em solo submetido à semeadura direta e ao preparo convencional. **Pesticidas: Revista Ecotoxicologica e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 13, n. 2, p. 147-156, 2003.
- FIRMINO, L. E. et al. Imazapyr sorption in soils with different textures. **Planta Daninha**, v. 26, n. 2, p. 395-402, 2008.
- FONTES, J. R. A.; SANTOS, L. P. **Modificação da Composição Florística de Comunidade de Plantas Daninhas em Guaranazal Submetido à Correção da Fertilidade do Solo**, 2010.
- FREITAS, FCL et al. Mobilidade no solo da região semiárida do Rio Grande do Norte. **Planta Daninha**, v. 30, n.3, p.641-648, 2012.
- FREITAS, MAM et al. Sorção do sulfentrazone em diferentes tipos de solo determinada por bioensaios. **Planta Daninha**, v. 32, n.2, p.385-392, 2014.
- GARCIA, R. A. **Rotação de culturas e propriedades físicas e matéria orgânica de um Latossolo**. 2010. 101 p. Tese (Doutorado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2010.
- GREEN, R. E.; KARICKHOFF S.W. Sorption estimates for modeling. **Pesticides in the soil environment: processes, impacts, and modeling.**, p. 79-101, 1990.
- HENMAN, Anthony Richard. Guaraná (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*): ecological and social perspectives on an economic plant of the central Amazon basin. **Journal of ethnopharmacology**, v. 6, n. 3, p. 311-338, 1982.
- INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cultura do algodão em colunas de solo. **Planta Daninha**, v. 28, n. 4, p. 825-833, 2010
- INOUE, M. H. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas utilizados na cana-de-açúcar em solos contrastantes. **Bioscience Journal**, p. 659-665, 2014.
- INOUE, M.H.; OLIVEIRA JR. R.S.; CONSTANTIN, J.; ALONSO, D.G.; SANTANA, D.C. Lixiviação e degradação de diuron em dois solos de textura contrastante. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá-PR, v.30, supl., p.631-638, 2008.

KARAM, D.; MELHORANÇA, A. L.; OLIVEIRA, M. F.; SILVA, J. A. A.; **Cultivo do Milho**, Embrapa Milho e Sorgo, Sistema de Produção, Versão Eletrônica - 6<sup>a</sup> edição Set./2010.

KARAM, Décio. Seletividade de herbicidas na cultura do milho. **CEP**, v. 35701, p. 970, 2007.

KELLER, K. E.; WEBER, J. B. Soybean (Glycine max) influences metolachlor mobility in soil. **Weed Sci.**, v. 45, n. 6, p. 833-841, 2007.

KLEINSCHMITT, A. R. B. **Transporte e retenção de triazinas em compartimentos ambientais terrestres e aquáticos em área de milho no sistema de plantio direto**. 136f. (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007.

LAW, S. E. Agricultural electrostatic spray application: a review of significant research and development during of 20th century. **J. Electrostatic**, v. 51-52, p. 25-42, 2001.

LI, H. et al. Sorption and desorption of pesticides by clay minerals and humic acid-clay complexes. **Soil Sci. Soc. Am.**, v. 67, p. 122-131, 2003.

LIER, Q.J.van. Física do solo. **Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**. 298 p, 2010

LIPIEC, J.; HATANO, R. Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth. **Geoderma**, v. 116, n. 1, p. 107-136, 2003.

MANCUSO, M. A. C.; NEGRISOLI E.; PERIM L. Efeito residual de herbicidas no solo (“Carryover”). **Revista Brasileira de Herbicidas**, v.10, n.2, p 151-164, 2011.

MARCHI, Giuliano; MARCHI, Eveline Carvalho Santos; GUIMARÃES, Tadeu Gracioli. **Herbicidas: mecanismos de ação e uso**. Embrapa Cerrados, 2008.

MARTINS, Sérgio Gualberto et al. Avaliação de atributos físicos de um Latossolo Vermelho distroférrico sob diferentes povoamentos florestais. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 032-041, 2002.

MATALLO, M. B. et al. Lixiviação dos herbicidas tebutiuron e diuron em colunas de solo. **Pesticidas (UFPR)**, v. 13, p. 83-90, 2003.

MELO, C. A. D. et al. Lixiviação de sulfentrazone, isoxaflutole e oxifluorfenno no perfil de três solos. **Planta Daninha**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2010

MILEO, L. J. et al. Plantas de cobertura de solo como hospedeiras alternativas de *Colletotrichum guaranicola*. **Planta Daninha**, v. 24, n. 4, p. 677-683, 2006.

MILEO, L. J. et al. . Plantas daninhas hospedeiras alternativas de *Colletotrichum guaranicola* em cultivos de guaraná no Estado do Amazonas. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 25, n. 4, p. 771-782, Dec. 2007 .

MINGUELA. J. V.; CUNHA, J. P. A. R. Manual de Aplicações de Produtos Fitossanitários. **Viçosa: Aprenda Fácil**, 2010. 588 p.

MONQUERO, P.A. et al. Potencial de lixiviação de herbicidas no solo submetidos a diferentes simulações de precipitação. **Planta Daninha**, v26, n.2, p.403-409, 2008.

MOURA, M. A. M.; FRANCO, D.A. S.; MATALLO, M.B. Impactos de Herbicidas sobre os Recursos Hídricos. **Revista Tecnologia & Inovação Agropecuária**, 2008.

- OLIVEIRA JR., R. S. Mecanismo de ação de herbicidas. In: DE OLIVEIRA JR., R. S.; CONSTANTIN, J.; INOUE, M. H. (Coord.). **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas. Ompipax Curitiba, Brasil**, p. 141-192, 2011.
- OLIVEIRA JÚNIOR, R. S.; REGITANO, J. B. Dinâmica de pesticidas no solo. **Melo, VF; Alleoni, LRF Química e mineralogia do solo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, p. 187-248, 2009.
- OLIVEIRA, M. F. Comportamento de herbicidas no ambiente. In: OLIVEIRA Jr., R. S.; CONSTANTIN, J. (Ed.). **Plantas Daninhas e Seu Manejo**. Guaíba: Agropecuária, 2001. v.1, cap.10, p. 315-362
- OLIVEIRA, R. S. O. Introdução ao controle químico. **Biologia e Manejo de Plantas Daninhas**, 2011. Disponível em: <omnipax.com.br/livros/2011/BMPD/BMPD-livro.pdf> Acesso em: 05 mar. 2016.
- PASSOS, A. B. R. J. et al. Leaching of sulfentrazone in soils of reforestation in Brazil. **Environmental Earth Sciences**, v. 74, n. 2, p. 1211-1215, 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs12665-015-4110-7>>. Acesso em: 07 nov. 2016.
- PESSALA, P. et al. Avaliação de efluentes de águas residuais por pequenos balanços e um procedimento de fracionamento. **Ecotoxicol. Environ. Segurança**, v. 59, n. 2, p. 263-272, 2004.
- PRATA, F.; CARDINALI, V. C. B.; LAVORENTI, A.; TORNISIELO, V. L.; REGITANO, J. B. Glyphosate sorption and desorption in soils with different phosphorous levels. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 60, n. 1, p. 175-180, 2003.
- PUSINO, A. et al. Sorption of primisulfuron on soil, and inorganic and organic soil colloids. **Eur. J. Soil Sci.**, v. 55, n. 1, p. 175-182, 2004
- QUEIROZ, S.C.N.; VERRACINI, V.L.; GOMES, M.A.F.; ROSA M.A. Comportamento do herbicida hexazidone em área de recarga de aquífero guarani cultivada com cana-de-açúcar. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 378-381, 2009.
- REINERT, D.J. e REICHERT, J.M. **Propriedades físicas do solo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 18p, 2006.
- ROCHA, P.R.R et al . Sorption and desorption of diuron in four brazilian latosols. **Planta Daninha**, Viçosa , v. 31, n. 1, p. 231-238, 2013 .
- ROCHA, W. S. D. **Sorção de 2,4-D e diuron nos agregados organominerais de latossolos em função dos conteúdos de matéria orgânica e de água**. 2003. 88 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição e Plantas) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 5.ed. Londrina, p.591, 2005.
- RODRIGUES, B. N.; ALMEIDA, F. S. **Guia de herbicidas**. 6.ed. Londrina: 697 p 2011.
- ROSSI, C. V. S.; ALVES, P. L. C. A.; MARQUES JR., J. Mobilidade do sulfentrazone em latossolo vermelho e em chernossolo. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 701-710, 2005.
- SANTOS, L. B. O. Determination of picloram in waters by sequential injection chromatography with UV detection. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 21, n. 8, p. 1401-1592, 2010.

SCHIMPL, Flávia Camila et al. Guarana: revisiting a highly caffeinated plant from the Amazon. **Journal of ethnopharmacology**, v. 150, n. 1, p. 14-31, 2013.

SI, Y. et al. Influence of organic amendment on the adsorption and leaching of ethametsulfuron-methyl in acidic soils in China. **Geoderma**, v. 130, n. 1, p. 66-76, 2006.

SILVA, A. A.; FERREIRA, F. A.; FERREIRA, L. R. **Biologia e Controle de Plantas Daninhas**. Viçosa: DFT/UFV, 2002.

SILVA, A. A.; VIVIAN, R.; OLIVEIRA Jr., R. S. Herbicidas: comportamento no solo. In: SILVA, AA da; SILVA, JF da. Tópicos em manejo de plantas daninhas. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, p. 189-248, 2007.

TAVARES, A. M. et al. Cultura do guaranazeiro no Amazonas (4. Edição), editado por José Clério Rezende Pereira. Manaus: **Embrapa Amazônia Ocidental**, 2005. 40 p.

TRINDADE, E. F. S. **Atributos físico-hídricos e matéria orgânica do solo em função de sistemas de uso e manejo da vegetação secundária**. 2007. 67 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia e Bioquímica do Solo) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2007.