

**FABIANO BARBOSA DE SOUZA PRATES**

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DE PINHÃO MANSO  
ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E  
MAGNÉSIO**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Ciências Agrárias do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciências Agrárias.

Orientador: Prof. Regynaldo Arruda Sampaio

**Montes Claros**

**2010**

**P443c**  
**2010** Prates, Fabiano Barbosa de Souza.  
Crescimento, Desenvolvimento e Nutrição de Pinhão Manso Adubado com Lodo de Esgoto e Silicato de Cálcio e Magnésio / Fabiano Barbosa de Souza Prates. Montes Claros, MG: ICA/UFMG, 2010.  
93 f: il.

Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias, área de concentração em Agroecologia) - Universidade Federal de Minas Gerais, 2010.

Orientador: Prof. Reginaldo Arruda Sampaio.

Banca examinadora: Aldo Vilar Trindade, Lourdes Silva de Figueiredo, Luiz Arnaldo Fernandes, Reginaldo Arruda Sampaio.

Inclui bibliografia: f. 81-93.

1. Adubação – Lodo Esgoto. 2. Pinhão manso - Nutrição. Agroecologia. I. Sampaio, Reginaldo Arruda. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Agrárias. III. Título.

CDU: 631.8

Elaborada pela Biblioteca Comunitária do ICA/UFMG

**FABIANO BARBOSA DE SOUZA PRATES**

**CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E NUTRIÇÃO DE PINHÃO MANSO  
ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E  
MAGNÉSIO**

Aprovada em 29 de janeiro de 2010.

---

Prof. Aldo Vilar Trindade  
(EMBRAPA)

---

Prof.<sup>a</sup> Lourdes Silva de Figueiredo  
(ICA/UFMG)

---

Prof. Luiz Arnaldo Fernandes  
(ICA/UFMG)

---

Prof. Reginaldo Arruda Sampaio  
(Orientador – ICA/UFMG)

**Montes Claros  
2010**

**DEDICO**

*A meus pais, Manoel Prates e Vera Lúcia.*

*A meus irmãos, Roniel e Thaís.*

*E aos meus familiares e amigos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Universidade Federal de Minas Gerais.

Ao professor Reginaldo Arruda Sampaio a orientação, a dedicação e a amizade.

À pesquisadora Heloísa Mattana Saturnino o apoio técnico, a colaboração e amizade.

Aos amigos Geraldo Zuba, Márcio Neves, Guilherme Brandão e todo o pessoal do NEAAR a colaboração na execução deste trabalho.

Aos amigos da república, Leandro e Claudinei.

À Verônica e a Aline, que vêm caminhando junto desde a graduação.

Aos demais colegas de mestrado,

Aos professores e aos funcionários do ICA/UFMG,

Aos funcionários Oscar Madureira e Célio de Castro do 5º DINMET – Montes Claros/MG.

Aos amigos e colegas da UFRRJ a estada e a ajuda na execução das análises laboratoriais;

À CAPES/PROCAD 213/2007 o auxílio financeiro na pesquisa pelo mestrado sanduíche na UFRRJ.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para que este trabalho fosse concluído.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM PINHÃO MANSO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO.....</b>	<b>31</b>
<b>GRÁFICO 1 –</b> Dados da 5ª estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, na cidade de Montes Claros-MG.....	<b>39</b>
<b>GRÁFICO 2 –</b> Diâmetro da copa aos dezoito meses do plantio de pinhão manso, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.....	<b>42</b>
<b>GRÁFICO 3 –</b> pH do solo em função das doses de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio (A) pH do solo na camada de 0-20 cm de profundidade (B) pH do solo na camada de 20-40 cm de profundidade.....	<b>52</b>
<b>GRÁFICO 4 –</b> Teores de nutrientes e de matéria orgânica no solo, em resposta à aplicação de lodo de esgoto (A) Teores de $N-NO_3^-$ na camada de 0-20 cm (B) Matéria orgânica do solo na camada de 0-20 cm de profundidade (C) Fósforo no solo na camada de 0-20 cm de profundidade (D) Fósforo no solo na camada de 20-40 cm de profundidade (E) Potássio no solo na camada de 20-40 cm de profundidade (F) Magnésio no solo na camada de 0-20 cm de profundidade.....	<b>54</b>
<b>GRÁFICO 5 –</b> Características químicas do solo, em função da aplicação de lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio (A) Saturação por base do solo na camada de 0-20 cm de profundidade (B) Saturação por base do solo na camada de 20-40 cm de profundidade (C) CTC Potencial na camada de 0-20 cm de profundidade (D) CTC Potencial na camada de 20-40 cm de profundidade (E) Acidez Potencial do solo na camada de 0-20 cm de profundidade (F) Acidez Potencial do solo na camada de 20-40 cm de profundidade, decorrentes da aplicação de doses de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio ao solo.....	<b>57</b>

<b>GRÁFICO 6 –</b>	Teores de nutrientes em pinhão manso em resposta à aplicação de doses de lodo de esgoto	
	(A) N-total na folha nova de pinhão manso	
	(B) Teores de N-total na folha velha	
	(C) Fósforo no limbo da folha velha	
	(D) Cálcio no limbo da folha nova	
	(E) Cálcio no pecíolo da folha nova	
	(F) Cálcio no pecíolo da folha velha	
	(G) Magnésio no limbo da folha velha	
	(H) Magnésio no pecíolo da folha velha.....	<b>60</b>

<b>CAPÍTULO 3 - TEORES DE METAIS PESADOS NO SOLO E NA PLANTA DE PINHÃO MANSO, ADUBADA COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO.....</b>	<b>63</b>
---	-----------

<b>GRÁFICO 1 –</b>	Teores de metais pesados no solo em relação a aplicação de lodo de esgoto	
	(A) Ferro na camada de 0-20 cm	
	(B) Ferro na camada de 20-40 cm	
	(C) Cobre na camada de 0-20 cm	
	(D) Cobre na camada de 20-40 cm	
	(E) Chumbo na camada de 20-40 cm.....	<b>75</b>

<b>GRÁFICO 2 –</b>	Teores de metais pesados em pinhão manso em resposta à aplicação de lodo de esgoto	
	(A) Zn no limbo da folha velha	
	(B) Zn no pecíolo da folha velha	
	(C) Fe no limbo da folha velha	
	(D) Mn no limbo da folha nova	
	(E) Mn no pecíolo da folha nova	
	(F) Mn no limbo da folha velha	
	(G) Mn no pecíolo da folha velha	
	(H) Cu no limbo da folha velha	
	(I) Cu no pecíolo da folha velha.....	<b>78</b>

## LISTA DE TABELAS

<b>CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
1 – Média da estimativa da produção “per capita” de lodo no Brasil, em função do tipo de tratamento de esgoto empregado.	20
<b>CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM PINHÃO MANSO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO.....</b>	<b>31</b>
1 – Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.....	38
2 – Características químicas do lodo* de esgoto utilizado no experimento.....	38
3 – Diâmetro de caule (DC), altura da planta (ALT) e diâmetro da copa (DCO) do pinhão manso 18 meses após o plantio, em função da adubação com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.....	41
4 – pH e teores de nitrogênio em solo cultivado com pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio....	45
5 – Teores de matéria orgânica (MO), fósforo, potássio e magnésio em solo cultivado com pinhão manso, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.....	47
6 – Soma de bases (SB), H+Al, CTC efetiva (t), CTC a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V) do solo cultivado com pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio....	48
7 – Teores de nitrogênio na folha nova (NFN), no pecíolo da folha nova (NPN), na folha velha (NFV) e no pecíolo da folha velha (NPV); fósforo na folha nova (PFN), no pecíolo da folha nova (PPN), na folha velha (PFV) e no pecíolo da folha velha (PPV); potássio na folha nova (KFN), no pecíolo da folha nova (KPN), na folha velha (KFV) e no pecíolo da folha velha (KPV); cálcio na folha nova (CaFN), no pecíolo da folha nova (CaPN), na folha velha (CaFV) e no pecíolo da folha velha (CaPV); magnésio na folha nova (MgFN), no pecíolo da folha nova (MgPN), na folha velha (MgFV) e no pecíolo da folha velha (MgPV) de pinhão manso, adubado com lodo de esgoto e	



silicato de cálcio e magnésio.....	51
<b>CAPÍTULO 3 - TEORES DE METAIS PESADOS NO SOLO E NA PLANTA DE PINHÃO MANSO, ADUBADA COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO.....</b>	<b>63</b>
1 – Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento.....	69
2 – Características químicas do lodo* de esgoto utilizado no experimento.....	69
3 – Teores de metais pesados no solo adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.....	72
4 – Teores de Zn e Fe na folha nova (FN), na folha velha (FV), no pecíolo novo (PN) e no pecíolo velho (PV) de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio....	73
5 – Teores de Mn, Cu e Ni na folha nova (FN), na folha velha (FV), no pecíolo novo (PN) e no pecíolo velho (PV) de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.....	74

## SUMÁRIO

	<b>CAPÍTULO 1 – REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>11</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>14</b>
2.1	A cultura do pinhão manso.....	14
2.1.1	Origem do pinhão manso.....	14
2.1.2	Características Botânicas e Morfológicas.....	14
2.1.3	Aspectos de crescimento e produtivos.....	15
2.1.4	Importância socioeconômica e ambiental do pinhão manso.....	16
2.2	Lodo de esgoto.....	18
2.2.1	Origem do lodo de esgoto.....	18
2.2.2	Resolução CONAMA de nº 375 de 29 de agosto de 2006.....	20
2.2.3	Uso agrícola do lodo de esgoto.....	22
2.3	Utilização de silicatos de cálcio e magnésio na agricultura.....	24
2.3.1	A essencialidade do silício nas plantas.....	26
<b>3</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>30</b>
	<b>CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM PINHÃO MANSO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO.....</b>	<b>31</b>
	<b>RESUMO.....</b>	<b>31</b>
	<b>ABSTRACT.....</b>	<b>32</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>33</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>36</b>
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>41</b>

4	CONCLUSÃO.....	62
	<b>CAPÍTULO 3 - TEORES DE METAIS PESADOS NO SOLO E NA PLANTA DE PINHÃO MANSO, ADUBADA COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO.....</b>	<b>63</b>
	RESUMO.....	63
	ABSTRACT.....	64
1	INTRODUÇÃO.....	65
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	67
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
4	CONCLUSÃO.....	80
	REFERÊNCIAS.....	81

## **CAPÍTULO 1 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **1 INTRODUÇÃO**

A crise ambiental mundial vem sendo causada pelo exacerbado consumo dos bens naturais do planeta, por parte do homem. Esse consumo desordenado, além de outras consequências, é marcado, principalmente, pelo aquecimento global e degradação dos recursos naturais; dentre eles, os recursos hídricos.

O uso da água pelo homem, até pouco tempo considerada um recurso natural infinito, vem causando sérios problemas ambientais e sociais, principalmente nos grandes centros urbanos. A falta de saneamento básico, além de causar doenças às populações mais carentes, tanto nos centros urbanos quanto no meio rural, também é responsável pela poluição dos recursos hídricos e solos adjacentes.

Devido ao agravamento dessas condições, atualmente, o homem passou a se preocupar técnico, político, social e ambientalmente com a questão da regeneração ou da recuperação desses bens naturais, principalmente com os recursos hídricos nos centros urbanos, por meio do saneamento básico. Com o tratamento das águas residuárias nas Estações de Tratamentos de Esgotos – ETE's, passou-se a devolver aos rios uma água limpa, livre de matéria orgânica e de contaminantes. Como consequência disso, tem-se um resíduo sólido gerado pelo tratamento dessas águas, o denominado lodo de esgoto.

O lodo de esgoto é um material rico em matéria orgânica e nutrientes, o que o torna potencialmente favorável para o uso na agricultura. Só que esse uso não pode ser arbitrário, pelas possíveis contaminações presentes, como biológicas e metais pesados.

Por isso, esse resíduo passa a se tornar preocupante quanto à sua disposição final, tanto que no Brasil, em 29 de agosto de 2006, foi criada uma Resolução no Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA, de número 375. Ela estabelece todos os critérios técnicos para o monitoramento e a disposição final do lodo de esgoto.

A forma mais econômica e ambientalmente correta de uso do lodo de esgoto, respeitando-se todas as normas legais, é na agricultura. Por isso há a necessidade de pesquisas de campo para validar o seu uso, tanto técnica quanto cientificamente.

O silicato de cálcio e magnésio, oriundo de escórias de siderurgia, rico em silício, cálcio e magnésio, é um resíduo com potencial para utilização na agricultura, principalmente em substituição ao calcário, cuja aplicação em solos ácidos favorece o crescimento de plantas, pois corrige a acidez do solo, aumenta a disponibilidade de fósforo e a saturação por bases. A absorção do silício pelas plantas traz benefícios, como maior resistência da parede celular, maior taxa fotossintética, menor perda de água, maior absorção de cálcio e magnésio e aumento na produtividade. Resultados do uso desse resíduo com gramíneas já são bastante consolidados e divulgados no meio acadêmico, mas a sua utilização em outras espécies ainda é incipiente, como, por exemplo, em oleaginosas. Por isso, tornam-se necessários estudos para verificar o seu comportamento com outras espécies.

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.), pertencente à família das Euforbiáceas, a mesma da mamona e da mandioca, apresenta-se como uma opção agrícola para a região Norte do estado Minas Gerais, por ser uma espécie nativa do semiárido, exigente em insolação e com forte resistência à seca, sendo que, nessa região, já é tradicionalmente utilizada como cerca viva para pastos. Além de perene e de fácil cultivo, apresenta boa conservação das sementes colhidas, podendo se tornar grande produtora de matéria-prima para biocombustível. Diante da possibilidade de incremento do plantio dessa espécie na região e considerando a sua importância para a cadeia produtiva do biocombustível, posto que as pesquisas com a espécie de modo geral são iniciais, há a necessidade de estudos e de informações sobre o crescimento e o desenvolvimento das plantas de pinhão manso, em relação à sua fertilização.

Com o intuito de gerar informações tecnológicas sobre a produção do pinhão manso, utilizando-se resíduos para a sua fertilização e verificar a viabilidade ambiental do uso desses resíduos, objetivou-se, com esta investigação, avaliar o crescimento, o desenvolvimento e a nutrição do

pinhão manso em resposta à aplicação do lodo de esgoto e do silicato de cálcio e magnésio no solo.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 A cultura do pinhão manso**

#### **2.1.1 Origem do pinhão manso**

O pinhão manso tem a sua origem ainda bastante discutida. Há relatos de que o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) remonta a 70 milhões de anos, em fósseis descobertos na Belém Peruana (SATURNINO *et al.*, 2005a). Já Peixoto (1973) afirma que o pinhão manso é oriundo da América do Sul, inclusive do Brasil e das Antilhas. Brasil (1985) relata que o pinhão manso é encontrado em Minas Gerais, com mais frequência no Norte do estado e no Vale do Jequitinhonha, geralmente em áreas isoladas e mais afastadas de centros urbanos. Atualmente, o pinhão manso é conhecido e cultivado em todo o mundo, com vários nomes populares; dentre eles, pinhão-paraguaio, pinhão-de-purga (SATURNINO *et al.*, 2005b).

#### **2.1.2 Características Botânicas e Morfológicas**

O pinhão manso é um arbusto suculento e caducifólio, com ramificações desde a base, com 3 a 5 m de altura, pertencente à família Euphorbiaceae, que apresenta folhas simples, cordatas na base, 3-5 lobadas, com disposições alternadas a subopostas. As inflorescências surgem junto com as folhas novas; as flores são de cores amarelo-esverdeadas, monóicas, unissexuais e produzidas na mesma inflorescência. Os frutos são do tipo cápsula trilocular e ficam carnudos e amarelados quando maduros (PEIXOTO, 1973; SATURNINO *et al.*, 2005b).

A semente de pinhão manso é relativamente grande e, quando seca, mede de 1,5 a 2,0 cm de comprimento e 1,0 a 1,3 cm de largura. Tem tegumento rijo, quebradiço, de fratura resinosa. Debaixo do invólucro da semente, há uma película branca cobrindo a amêndoa. Apresenta albúmen abundante, branco, oleaginoso, contendo o embrião, provido de dois largos cotilédones achatados (PEIXOTO, 1973).

### 2.1.3 Aspectos de crescimento e produtivos

Pode-se obter boa multiplicação do pinhão manso, por meio de sementeiras ou por estacas. O ciclo produtivo da planta é variável, conforme se faça o plantio por estacas ou por sementes. A propagação por via seminal é mais demorada, mas esse processo possui a vantagem de gerar espécies mais robustas, normalmente de ciclo vegetativo mais longo, podendo atingir 100 anos de vida (ARAUJO, 2005).

As sementes utilizadas na disseminação devem provir de plantas robustas e saudáveis, dotadas de boa produtividade. O sistema de propagação em viveiros é mais adequado e deve ser recomendado, pois a planta, tendo melhores cuidados nos primeiros anos, irá adquirir maior resistência e possuir melhor conformação. As estacas utilizadas para a propagação por via vegetativa devem ser extraídas de matrizes de boa origem, de até 2 anos de idade, de galhos lenhosos, sendo que os ramos mais próximos da base são os melhores para o fornecimento de estacas, selecionadas aquelas de casca lisa e brilhante, de 40 a 50 cm de comprimento. O início do ciclo produtivo depende das dimensões da estaca plantada e das condições de tratos culturais realizadas, variando de 10 meses a 2 anos (ARAUJO, 2005).

Um cuidado que garante o sucesso no cultivo do pinhão manso é a obtenção de mudas com alto padrão de qualidade. Para isso, as mudas devem estar bem nutridas e com bom desenvolvimento radicular (BRUCKNER, 2001). Para essa finalidade, podem ser utilizados os substratos comerciais ou orgânicos, como os resíduos de origem animal, vegetal e agro-industrial, que, além de aumentarem a produtividade, ajudam a preservar o meio ambiente, em razão da sua reciclagem (RIBEIRO *et al.*, 1999).

A planta possui raízes curtas e perde quase completamente as folhas nos períodos de seca, de modo geral entre junho e outubro. Após as primeiras chuvas, finda-se o repouso vegetativo com o rápido surgimento da brotação e reinício do ciclo produtivo (ARAUJO, 2005).



#### 2.1.4 Importância socioeconômica e ambiental do pinhão manso

O pinhão manso é apontado como uma planta capaz de se desenvolver e produzir em terrenos marginais e apresentar bons resultados na recuperação de áreas degradadas. Essa planta, além de resistente à seca, pode se desenvolver em vários tipos de solo, inclusive naqueles arenosos, pedregosos, salinos, alcalinos e rochosos, os quais, sob o ponto de vista nutricional e físico, são restritivos ao pleno desenvolvimento de raízes. O pinhão manso vem sendo plantado com sucesso, visando ao controle de erosão, à contenção de encostas e dunas, e ao longo de canais, rodovias, ferrovias, e como cerca viva em divisões internas ou limites de propriedades rurais (SATURNINO *et al.*, 2005b). Teixeira (2005) destaca que o pinhão manso, além da capacidade de produzir óleo vegetal, é tolerante ao déficit hídrico, é pouco exigente em nutrientes e apresenta boa capacidade de recuperação de áreas degradadas, em função de suas raízes se aprofundarem no solo; no entanto responde bem à fertilização do solo, com elevados aumentos na produtividade de sementes (TEIXEIRA, 2005).

O pinhão manso tem importante valor agregado, uma vez que as suas sementes são aproveitadas para a extração de óleo, que pode ser utilizado como matéria-prima para a produção de sabão e combustível, e como biodiesel. O aproveitamento econômico da planta, sem que seja necessária a sua retirada do meio, torna o pinhão manso uma excelente espécie para a utilização na recuperação de áreas degradadas ou no enriquecimento de áreas de reserva ou de preservação permanente.

A semente do pinhão manso produz um óleo semelhante ao diesel extraído do petróleo, o que o torna um forte candidato a integrar o grupo de plantas oleaginosas que irá fazer parte de programas mundiais de energias renováveis. O regime irregular de chuvas de regiões semiáridas proporciona ao pinhão manso uma grande vantagem em relação a outras oleaginosas, pois apresenta elevada resistência a longas estiagens. Além disso, é a única com ciclo produtivo que se estende por mais de 40 anos (GOUR, 2006).

De acordo com Dange *et al.* (2006) e Sharma (2006), as vantagens especiais de *Jatropha* como fonte do biodiesel são:

- é fonte de energia renovável;
- promove o balanço de dióxido de carbono do ambiente;
- emite menos poluentes do que os combustíveis fósseis;
- a tecnologia da produção do combustível (processo da extração e de transesterificação) é bastante simples;
- possui conteúdo elevado do óleo nas sementes comparativamente a outras espécies com potencial para biodiesel;
- devido à dormência de suas sementes sobrevive a várias condições de tempo;
- pode se desenvolver em regiões semiáridas e áridas;
- é apropriado para todos os solos, incluindo degradados e estéreis;
- tem um curto período para o início da produção;
- é uma planta perene, com espaçamento que possibilita o consórcio com outras plantas;
- pode ser plantado como cerca viva em torno das plantações, com o benefício duplo de proteção e de otimização de renda;
- auxilia o solo a reter a umidade e melhora as condições ambientais em ambiente estéril;
- possui múltiplos usos: os resíduos da produção do biodiesel podem ser usados como fertilizantes orgânicos e os restos dos frutos depois da remoção das sementes podem substituir a lenha como combustível para cozinhar, preservando, desse modo, as árvores. Além disso, o óleo residual da torta, quando diluído em água pode se constituir em um biopesticida para pomares e jardins.

O aumento das plantações de *Jatropha*, a sua manutenção, a colheita de sementes, o seu transporte, o armazenamento e a extração de óleo geram postos de trabalho para agricultores familiares.

## 2.2 Lodo de esgoto

### 2.2.1 Origem do lodo de esgoto

O lodo de esgoto é um material originado das estações de tratamento de águas residuárias (ETEs), sejam elas domiciliares, industriais ou agroindustriais. São considerados três sistemas de tratamentos de esgoto, os quais diferem um do outro pela capacidade da retirada de sólidos: tratamento primário (esse envolve uma fase preliminar), secundário e terciário (VON SPERLING, 1995). Nesses sistemas de tratamentos de esgoto, são utilizados tratamentos físico-químicos ou biológicos, de acordo com o sistema local de cada ETE.

O tratamento primário envolve duas fases: a fase preliminar, cujo objetivo é a remoção dos sólidos grosseiros, como materiais de maiores dimensões e areia, por grades e caixas de areia. Dessa forma o líquido passa a conter somente sólidos finos suspensos ou dissolvidos, e a fase de decantação ou flotação de materiais constituídos principalmente de partículas em suspensão. Os sólidos das caixas retentoras dessa fase devem ser enterrados e aqueles retirados de decantadores devem ser digeridos adequadamente para posterior secagem e disposição em locais apropriados (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB, [19--]<sup>1</sup>; VON SPERLING, 1995).

O tratamento secundário, por sua vez, destina-se à degradação biológica que pode ser via anaeróbia, aeróbia e/ou anóxica, tanto para remoção da matéria carbonácea quanto para remoção de nutrientes (GARBOSSA, 2006; VON SPERLING, 1995).

O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos, isto é, compostos tóxicos ou não biodegradáveis, ou ainda a remoção de poluentes não removidos suficientemente no tratamento secundário (VON SPERLING, 1995).

---

<sup>1</sup> [www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Fun%E7%E3o%20de%20uma%20Esta%E7%E3o%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.doc](http://www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Fun%E7%E3o%20de%20uma%20Esta%E7%E3o%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.doc)

No processo aeróbio, para cada quilograma de DBO removida, ocorre a formação de cerca de 0,4 a 0,7 quilograma de bactérias (matéria seca) e, no processo anaeróbico, tem-se, para cada quilograma de DBO removida, a formação de 0,2 a 20 quilogramas de bactérias (CETESB, [19--]). Corroborando esses dados, Andreoli *et al.* (1998) admitem que a produção de lodo é variável, em função do tipo de tratamento adotado; no Brasil sistemas aeróbios de lodo ativado produzem 37 g de lodo/hab.dia, enquanto que sistemas anaeróbios, apenas 15 g de lodo/hab.dia.

De acordo com Andreoli *et al.* (1998), os diferentes sistemas de tratamento e os seus respectivos estágios geram lodos com características e quantidades variáveis. Segundo esses autores, de forma genérica, os decantadores primários produzem de 2.500 a 3.500 litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, com 3 a 7% de sólidos e contendo 60 a 80% de matéria orgânica. Os tratamentos secundários promovem o incremento da atividade microbiana, de forma a converter os sólidos dissolvidos em sólidos suspensos, ou seja, biomassa microbiana e reduzir o conteúdo de matéria orgânica. Posteriormente, a biomassa microbiana é precipitada junto com outras partículas, produzindo o lodo secundário. Os processos aeróbios produzem de 15 a 20 mil litros de lodo por milhão de litros de esgoto tratado, com 0,5 a 2% de sólidos contendo 50 a 60% de matéria orgânica. Os processos anaeróbios, em geral, produzem quantidades menores de lodo.

Os sistemas de tratamento biológico com reatores anaeróbios são alternativas viáveis para efluentes líquidos municipais, uma vez que esse sistema gera menor produção de lodo e também demanda de pouca energia para ser operado. Além disso, o biogás produzido pode ser reutilizado para o funcionamento do sistema ou como fonte de energia alternativa para outros fins, tornando-se uma opção mais sustentável (GARBOSSA, 2006).

Na TAB. 1, Machado (2001) apresenta resultados das contribuições médias “per capita” para os 4 sistemas de tratamentos de esgoto estabelecidos em sua pesquisa sobre a situação brasileira dos lodos de esgotos. Esses valores foram levantados de dados obtidos de ETEs de todo o território nacional, pelo menos uma ETE de cada estado do Brasil.

TABELA 1

Média da estimativa da produção “per capita” de lodo no Brasil, em função do tipo de tratamento de esgoto empregado

<b>Tipos de tratamento de esgoto</b>	<b>Média da estimativa de produção “per capita” de lodo (kg.SST/hab.ano)</b>	<b>Média da estimativa de produção “per capita” de lodo (g.SST/hab.dia)</b>
<b>Lagoas de estabilização</b>	6,75	18
<b>Sistemas aeróbios</b>	14,01	38
<b>Sistemas anaeróbios</b>	5,48	15
<b>Sistemas mistos</b>	8,96	25
<b>Média Brasil</b>	11,87	33

Fonte: MACHADO, 2001.

### 2.2.2 Resolução CONAMA de nº 375 de 29 de agosto de 2006

Essa resolução “*Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências*” (BRASIL, 2006)<sup>2</sup>.

O principal foco dessa resolução é a padronização do lodo de esgoto e a sua viabilização agronômica. É por meio dela que são regidas todas as premissas legais para a sua disposição final, seja no aproveitamento desse resíduo no campo ou outras alternativas, como aterro sanitário.

Essa Resolução apresenta onze Seções, que descrevem todos os critérios, definições, quantidades mínimas e máximas presentes no lodo de esgoto ou produto derivado permissíveis de elementos químicos e biológicos tóxicos, além de toda a normatização para o seu gerenciamento, desde a sua saída dos tratamentos das águas residuárias até a sua disposição final.

Abaixo serão feitas colocações gerais de cada Seção presente nessa Resolução, sendo que a mesma pode ser consultada integralmente na página da internet do CONAMA<sup>1</sup>.

De acordo com a Seção I, dessa Resolução, as disposições preliminares estabelecem os critérios e procedimentos para o uso, em áreas agrícolas, de lodo de esgoto gerado em estação de tratamento de esgoto

<sup>2</sup> [http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res\\_conama37506.pdf](http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506.pdf)

sanitário e seus produtos derivados, visando a benefícios à agricultura e evitando riscos à saúde pública e ao ambiente. Nessa Seção, são descritas as definições relacionadas ao lodo de esgoto e todos os seus componentes intrínsecos, como agentes patogênicos, aplicação no solo, estabilização, tipos variados de lodos entre outras.

Na Seção II, são estabelecidas as frequências de monitoramento do lodo de esgoto ou produto derivado. Essa frequência de monitoramento varia de acordo com a quantidade em toneladas/ano (base seca) aplicada no solo, variando de mensal, bimestral, trimestral, semestral e anual, sendo as quantidades relacionadas respectivamente de até 60, de 60 a 240, de 240 a 1.500, de 1.500 a 15.000 e acima de 15.000 t/ano.

A Seção III estabelece os requisitos mínimos de qualidade do lodo de esgoto ou produto derivado destinado à agricultura. Esses requisitos são voltados para as substâncias inorgânicas, como Arsênio, Bário, entre outros; e agentes patogênicos, sendo esse último o que define o lodo em duas classes: Lodo A e Lodo B.

O lodo é classificado como A quando as concentrações de Coliformes Termotolerantes são  $< 10^3$  NMP/g de sólidos totais (ST), ovos viáveis de helmintos  $< 0,25$  ovo/g de ST e *Salmonella* ausência em 10 g de ST. O lodo B, por outro lado, apresenta as seguintes concentrações: Coliformes Termotolerantes  $< 10^6$  NMP/g de ST e ovos viáveis de helmintos  $< 10$  ovos/g de ST.

A Seção IV define as culturas aptas a receberem lodo de esgoto ou produto derivado, sendo o Artigo 12 dessa Seção taxativo quanto à proibição da aplicação do lodo:

É proibida a utilização de qualquer classe de lodo de esgoto ou produto derivado em pastagens e cultivo de olerícolas, tubérculos e raízes, e culturas inundadas, bem como as demais culturas cuja parte comestível entre em contato com o solo (BRASIL, 2006)<sup>3</sup>.

---

<sup>3</sup> [www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res\\_conama37506.pdf](http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506.pdf)

A Seção V estabelece as restrições locacionais e da aptidão do solo das áreas de aplicação, ou seja, declividade, proximidades aos mananciais de água, áreas de preservação permanente (APPs), Reserva Legal (RL), entre outras.

Na Seção VI, são descritos todas as normas para o Projeto Agrônomo e das Condições de Uso do lodo de esgoto ou produto derivado. Nessa Seção, fica estabelecida a criação de uma Unidade de Gerenciamento de Lodo (UGL), sendo administrada por um engenheiro agrônomo.

A Seção VII estabelece os critérios para a aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado, sendo o teor de Nitrogênio o principal fator limitante à adubação máxima anual em t/ano (base seca), além da quantidade dos compostos orgânicos persistentes presente no lodo.

A Seção VIII cita as normas para o carregamento, transporte e estocagem, sendo que a UGL fica responsável pelo procedimento de carregamento e transporte do lodo de esgoto.

A Seção IX descreve os parâmetros do monitoramento das áreas de aplicação do lodo de esgoto ou produto derivado, sendo a UGL responsável pela caracterização do solo que receberá o lodo de esgoto.

Na Seção X, são estabelecidas as responsabilidades de todas as partes envolvidas no processo do uso no lodo de esgoto, desde a UGL e seu administrador até o proprietário da área que receber o lodo de esgoto.

Já a Seção XI e última dessa Resolução apresenta as disposições finais da mesma, sendo citadas: a fiscalização do monitoramento de todo o processo junto aos Órgãos competentes e as penas do não cumprimento do disposto nessa Resolução, previstas na Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998 e no Decreto nº 3.179, de 21 de setembro de 1999.

### **2.2.3 Uso agrícola do lodo de esgoto**

Sabe-se que a disposição de esgoto já vem sendo utilizada na agricultura desde 1560, na Prússia, por meio de irrigação, com efluentes de esgotos (BERTIOL; CAMARGO, 2006). Por ser constituído de material rico em matéria orgânica e nutrientes, o lodo de esgoto se torna um componente

viável na utilização para condicionamento físico e fertilização do solo para uso agrícola, recuperação de áreas degradadas e reflorestamento (ANDREOLI *et al.*, 1999; TSUTIYA *et al.*, 2002). Os fatores limitantes para a sua aplicação são: disponibilidade de grandes áreas, os riscos de contaminação do solo com metais pesados e agentes patogênicos, a possibilidade de lixiviação de nitrogênio e fósforo, contaminando o lençol freático e as águas superficiais, a possibilidade da ocorrência de problemas, como atração de insetos vetores, pequenos roedores e a liberação de odores quando o lodo não está estabilizado suficientemente (ANDREOLI *et al.*, 1999).

No Brasil, há experiências, como a de Curitiba, onde foi implantado, em 2000, o programa para a reciclagem agrícola do lodo, conforme Fernandes *et al.* (2003). David; Tsutiya (2001) relatam que a utilização do lodo na agricultura, além de ser a alternativa mais equilibrada do ponto de vista ecológico, foi considerada a solução mais econômica para região metropolitana de São Paulo.

Para a reciclagem do lodo, devem ser realizados controles em relação a poluentes químicos, vetores e patógenos (ANDREOLI *et al.*, 1999). No Brasil, foram definidos critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, por meio da Resolução CONAMA nº 375, de 29 de agosto de 2006<sup>4</sup>. Também, os estados do Paraná e São Paulo possuem regulamentação específica para a aplicação do lodo no solo, enquanto o estado de Minas Gerais não possui normas sobre o assunto.

Culturas que recebem o lodo de esgoto têm respondido de forma satisfatória à aplicação deste resíduo. Galdos *et al.* (2004)<sup>5</sup> encontraram aumento na produção no segundo ano da cultura do milho adubado com lodo de esgoto, comparativamente à do tratamento sem aplicação de lodo e com adubação química. Esses autores também concluíram que o monitoramento da área onde foi aplicado o lodo de esgoto se faz necessário, devido ao aumento de alguns metais pesados no solo, como Cu, Ni e Zn e, na planta,

---

<sup>4</sup> [http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res\\_conama37506.pdf](http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506.pdf)

<sup>5</sup> <http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n3/a17v28n3.pdf>



com Zn. Fernandes *et al.* (2003) relatam um aumento de 43% da produção de feijão safrinha e 48% da produção de milho (grãos), quando o lodo foi utilizado no condicionamento dos solos.

Alcântara *et al.* (2003) compararam experimentos em que foram aplicados lodo caleado e lodo seco ao ar, na cultura do algodoeiro herbáceo. Os resultados obtidos com o lodo seco ao ar foram superiores aos do lodo caleado. A máxima produção foi de 46,64 g por planta para a dose de 300,4 kg ha<sup>-1</sup> de N. Segundo os autores, a secagem do lodo ao ar preserva a matéria orgânica e os nutrientes, ao passo que a caleação favorece a perda de nitrogênio, pela volatilização da amônia. Também pode ter ocorrido um aumento excessivo de pH do solo, o que teria provocado o desequilíbrio dos nutrientes, tornando-os indisponíveis para as plantas. Em Linhares/ES, o lodo foi utilizado nas culturas de mamão, banana e café, conforme Wanke (2003). Os autores ressaltam a necessidade de realização de um trabalho de sensibilização dos produtores rurais, com o intuito de demonstrar a viabilidade da utilização do lodo na agricultura.

De acordo com Andreoli *et al.* (1999), foram encontrados aumentos de produtividade significativos com o uso de lodo de esgoto no sistema de cultivo de bracinga, consorciado com o milho e feijão no Paraná, sendo o retorno financeiro investido em adubo, quatro vezes maior com o uso do lodo de esgoto do que com a adubação mineral.

### **2.3 Utilização de silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**

Os silicatos de cálcio e magnésio possuem composição similar e agem de forma semelhante aos calcários, podendo substituí-los com eficiência, além de trazer em outros benefícios (ALCARDE, 1992; ANDERSON; BOWER, 1992; AMARAL SOBRINHO *et al.*, 1993; KORNDÖRFER, 2002).

Os silicatos de cálcio e magnésio são constituídos basicamente de CaSiO<sub>3</sub> e MgSiO<sub>3</sub>. Quando aplicados no solo, aumentam a disponibilidade de Si, elevam o pH e aumentam o Ca e Mg trocável do solo, reduzindo também a toxicidade por Fe, Mn e Al para as plantas e aumentando a disponibilidade de P no solo (KORNDÖRFER, 2002).

Os silicatos de cálcio e magnésio, para serem utilizados na agricultura, devem apresentar altos teores de Si solúvel, com disponibilidade imediata, altos teores de CaO e MgO, alta reatividade (poder de neutralização), boas propriedades físicas (granulometria fina e facilidade de aplicação), efeito residual prolongado, baixos teores de contaminantes (metais pesados e radioativos) e baixo custo (KORNDÖRFER, 2002). Segundo Novais *et al.* (1993), o material contendo silício aplicado ao solo deve estar na forma de pó (bem moído), pois a aplicação do produto pouco moído possui pouca eficiência. Em conformidade com Datnoff *et al.* (1991), quanto mais fino o material (silicato), maior a absorção do silício pela folha da planta.

Cultivos sucessivos tendem a diminuir os teores de silício no solo, por isso se faz necessária a reposição desse elemento para um bom desenvolvimento das plantas (KORNDÖRFER, 2002). Friesen *et al.* (1994) admitem que a adição de silício solúvel em solos tropicais e subtropicais torna-se muito importante, em função da elevada intemperização e lixiviação. Esses solos apresentam normalmente baixo pH, alto teor de alumínio, baixa saturação de bases e alta capacidade de fixação de fósforo, que podem ser melhorados com a aplicação de silício. Matychenkov *et al.* (1995) consideram a compactação do solo como um fator que pode reduzir a quantidade de silício disponível para as plantas, pois aumenta o nível de ácidos polissilícicos, diminuindo o teor de ácido monossilícico [ $H_4SiO_4$  ou  $Si(OH)_4$ ], que é a forma por meio da qual a planta absorve o silício.

O aumento de teores de cálcio e magnésio no solo, em razão da utilização dos silicatos de cálcio e magnésio, pode apresentar efeito positivo no desenvolvimento de raízes, principalmente devido ao cálcio, elemento essencial ao crescimento radicular (CAÍRES *et al.*, 2001).

O uso de fertilizantes silicatados aumenta a eficiência da adubação NPK. Os adubos silicatados normalmente apresentam boas propriedades de adsorção. Isso faz com que ocorra uma menor lixiviação de potássio e outros nutrientes móveis no horizonte superficial. Com o aumento no teor dos silicatos no solo, ocorrem reações químicas de troca entre os silicatos e fosfatos, como os fosfatos de cálcio, alumínio e ferro. Com isso, há a formação de silicatos de cálcio, alumínio e ferro, por exemplo, com a

liberação do íon fosfato, aumentando o teor de fósforo na solução do solo. Também, plantas com níveis mais elevados de silício tendem a apresentar nitrogênio em seus tecidos (KORNDÖRFER, 2002).

Segundo Korndörfer (2002), a adição dos silicatos de cálcio e magnésio ao solo pode trazer basicamente os seguintes benefícios:

- nas plantas: ocorre maior absorção de Si; Ca e Mg; melhor redistribuição do Mn na planta; maior resistência da parede celular; aumenta a rigidez estrutural dos tecidos, tornando a planta menos suscetível ao acamamento; melhora a arquitetura da planta; torna as folhas mais eretas, promovendo uma maior taxa fotossintética; aumenta a resistência ao ataque de doenças (principalmente fungos); aumenta a resistência ao ataque de pragas (principalmente sugadores e mastigadores); reduz os efeitos da geada; auxilia na regulação da evapotranspiração, permitindo uma menor perda de água; aumenta a produtividade e a tolerância a elementos tóxicos.
- Nos solos: corrige a acidez; aumenta os teores de Ca e Mg; aumenta a disponibilidade de P; reduz o efeito tóxico do Fe, Mn e Al; aumenta a saturação por bases.
- No meio ambiente: diminui o emprego de fungicidas e inseticidas, uma vez que com a aplicação do silicato de Ca e Mg as plantas se tornam mais resistentes às pragas e doenças; preserva os inimigos naturais, devido ao menor uso de defensivos; reduz a necessidade de água das plantas, diminuindo a quantidade de água utilizada na agricultura e diminui o passivo ambiental da indústria, devido à liberação de CO<sub>2</sub> dos carbonatos.

### **2.3.1 A essencialidade do silício nas plantas**

O silício ainda não foi reconhecido como um elemento essencial na nutrição das plantas, por ainda não ter sua função bem esclarecida (EPSTEIN, 1999), entretanto a sua absorção pode trazer inúmeros benefícios, não somente para as plantas, mas ao solo e ao meio ambiente (KORNDÖRFER, 2002).

A essencialidade do Si é de difícil comprovação devido à sua grande concentração na biosfera, apresentando-se em grandes concentrações mesmo em sais nutrientes, água e ar, altamente purificados (WERNER; ROTH, 1983).

Algumas pesquisas com silício têm demonstrado maior crescimento e aumento da produtividade de muitas gramíneas, como o arroz, a cana-de-açúcar, o sorgo, o milho, a aveia, o trigo, o milho e algumas espécies de gramas, e também algumas espécies de não-gramíneas, como a alfafa, o feijão, a alface, o repolho e o tomate (ELAWAD JUNIOR; GREEN, 1979; SILVA, 1973;).

Os efeitos da acumulação de Si nas células da epiderme são mais evidentes em gramíneas, onde se pode observar que as folhas se mantêm mais eretas e, dessa forma, proporcionam maior penetração de luz e redução da transpiração, diminuindo ou até evitando que a planta passe por um estresse hídrico e ainda aumentam a resistência ao acamamento, pois proporcionam maior força mecânica ao colmo. Com isso, ocorre um estímulo na fotossíntese e uma elevação no teor de clorofila, aumentando a assimilação de N em compostos orgânicos nas células, o suprimento de carboidratos, o fornecimento de material para a parede celular e a atividade radicular. Conseqüentemente, há uma maior absorção de água e de nutrientes, notadamente N, P e K, e um maior poder de oxidação das raízes. Mesmo não sendo tão perceptível, a aplicação de Si em plantas não gramíneas pode ser muito importante, uma vez que, além dos benefícios já citados anteriormente, esse elemento forma uma camada de sílica abaixo da cutícula das células epidérmicas de todas as plantas, capaz de limitar a perda de água, tornando a planta mais resistente ao déficit hídrico (MARSCHNER, 1995; TAKAHASHI, 1996).

Segundo Korndörfer *et al.* (2002), uma dupla camada de silício é formada quando ocorre a acumulação de silício nos órgãos de transpiração. Essa dupla camada reduz a transpiração da planta, tornando-a menos exigente em água. Para Savant *et al.* (1999), quando ocorre um acúmulo de silício nas folhas, os espaços interfibrilares podem ser preenchidos por meio da polimerização, ocorrendo redução do movimento da água, por meio da

parede celular, aumentando a economia de água da planta, pela diminuição da taxa de transpiração.

Outro benefício importante que pode auxiliar na comprovação dos benefícios do silício para plantas está relacionado à resistência dessas às doenças. Conforme Marschner (1995), a resistência das plantas pode ser aumentada com a aplicação de silício, pois esse elemento aumenta a síntese de toxinas (fitoalexinas), que podem agir como substâncias inibidoras ou repelentes, formando barreiras mecânicas. Paxton (1991) e Fosket (1994) explicam que as fitoalexinas são pequenas moléculas, que são produzidas nas plantas após o ataque de microrganismos, ou após a planta passar por uma situação de estresse e têm por principal função aumentar a resistência das plantas às doenças e aos insetos. As fitoalexinas são, frequentemente, tóxicas também ao hospedeiro, acumulando-se em células mortas. Quando ocorre uma infecção, rapidamente há um acúmulo de altas concentrações de fitoalexinas no local, provocando a morte do patógeno.

A proteção da planta contra doenças pelo Si se dá pela formação da barreira física formada pela silificação das células da epiderme, impedindo a penetração do tubo infectivo, fazendo com que uma menor porcentagem de esporos germine na epiderme foliar e obtenha sucesso na penetração e na posterior colonização. Há uma relação direta entre a quantidade de ácido silícico depositada nos sítios de infecção dos míldios e o grau de resistência da planta. Quanto mais ácido silícico as folhas contiverem, maior a resistência ao ataque. Samuels *et al.* (1991); Chérif *et al.* (1992); Chérif *et al.* (1994) afirmam também que, quando depositado nas células epidérmicas, o silício forma uma barreira física, que impede a penetração de hifas de fungos e ataque de insetos, além de promover uma rápida ativação dos mecanismos de defesa das plantas, por agir no tecido hospedeiro, afetando os sinais entre o hospedeiro e o patógeno.

De acordo com Epstein (1994) e Marschner (1995), as barreiras físicas, ou mecânicas são formadas por mudanças na anatomia, como células epidérmicas mais grossas e um maior grau de lignificação e/ou silificação. A deposição e o acúmulo de Si nas células da camada epidérmica podem se constituir em uma barreira física efetiva à penetração da hifa.

O Si incorporado à parede celular pode agir como a lignina, que tem função estrutural e é resistente à compressão, por isso melhora a arquitetura da planta provocando uma melhor interceptação da luz solar, permitindo que a planta, realize mais fotossíntese, além de gerar um bloqueio ao avanço de patógenos (FOSKET, 1994).

O silício interage com vários elementos que favorecem a nutrição das plantas. O ácido silícico, a forma solúvel presente na solução do solo e por meio qual a planta absorve o silício, ajuda a proteger as plantas dos efeitos tóxicos de alguns elementos, como: alumínio, ferro, manganês, cádmio, chumbo, zinco, mercúrio e outros (KORNDÖRFER, 2002).

Segundo Epstein (1995) e Rafi *et al.* (1997), o silício é considerado um constituinte mineral majoritário, pois a maioria das plantas terrestres possui esse elemento em quantidades comparáveis aos macronutrientes (0,1 a 10%). Em culturas acumuladoras, como arroz e cana-de-açúcar, o teor de silício pode ser igual ou maior ao do nitrogênio. Em culturas acumuladoras de silício, os efeitos benéficos desse elemento podem ser mais bem observados, principalmente em solos com alto grau de intemperização e dessilicatização, onde a falta de silício pode estar limitando a produção.

Em conformidade com Exley (1998), os trabalhos de pesquisa que vêm tentando demonstrar a essencialidade do Silício, tanto em animais quanto em vegetais, falham na descrição do mecanismo de ação desse elemento. Entretanto, quando a concentração do ácido silícico estiver abaixo de um limite crítico, poderá ocorrer uma diminuição na resistência a fatores estressantes, bióticos ou abióticos. Nessas condições, se as mudanças bioquímicas que se manifestam em uma planta são danosas a ela, então, pode-se definir a essencialidade do silício.

Espera-se que, pela riqueza em silício, cálcio e magnésio do silicato e de nitrogênio do lodo de esgoto, haja uma interação positiva que resulte em melhor crescimento e desenvolvimento do pinhão manso.

### **3 OBJETIVO GERAL**

Estabelecer e divulgar técnicas alternativas de fertilização do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) na região Norte do estado de Minas Gerais.

## CAPÍTULO 2 - CRESCIMENTO, DESENVOLVIMENTO E TEORES DE MACRONUTRIENTES EM PINHÃO MANSO ADUBADO COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento, desenvolvimento e teores de macronutrientes em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. Os tratamentos, em esquema fatorial 5 x 2, distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, corresponderam a 5 doses de lodo de esgoto desidratado (0; 4,8; 9,6; 14,4 e 19,2 t ha<sup>-1</sup>) e 2 doses de silicato de cálcio e magnésio (0 e 1 t ha). No início da primeira floração, foram coletadas amostras de solo a 0-20 e 20-40 cm de profundidade, e da folha mais velha não senescente e da folha mais nova totalmente expandida para análise de macronutrientes. Foram determinados no 18º mês de plantio o diâmetro do caule (DC), da copa (DCO) e a altura da planta (ALT). A aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo aumentou o pH, os teores de fósforo, cálcio e magnésio disponíveis no solo e o teor de magnésio na planta, porém não influenciou o crescimento e o desenvolvimento do pinhão manso. O lodo de esgoto, por outro lado, promoveu aumento dos teores de matéria orgânica, nitrato e fósforo no solo, e de fósforo, cálcio, nitrogênio e magnésio na planta, o que refletiu em maior aumento do DCO, com o incremento desse resíduo, até a dose de 11 t ha<sup>-1</sup>. Não foram constatadas interações relevantes entre o lodo de esgoto e o silicato, e nem efeito desse último sobre o crescimento e o desenvolvimento da planta, recomendando-se somente a aplicação de lodo de esgoto no cultivo do pinhão manso.

**Palavras-chaves:** *Jatropha curcas* L. Oleaginosa. Poluição do solo.



## CHAPTER 2 - GROWTH, DEVELOPMENT AND MACRONUTRIENTS CONCENTRATIONS IN PHYSIC NUT FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE AND CALCIUM AND MAGNESIUM SILICATE

### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the growth, development and macronutrients concentrations in physic nut fertilized with sewage sludge and calcium and magnesium silicate. The treatments, in a factorial scheme 5 x 2, distributed in design in randomized block with three replications, corresponded to 5 doses of dehydrated sewage sludge (0, 4.8, 9.6, 14.4 and 19.2 t ha<sup>-1</sup>) and 2 doses of calcium and magnesium silicate (0 and 1 t ha<sup>-1</sup>). At the beginning of first flowering were collected soil samples at 0-20 and 20-40 cm deep, and of the older leaf not senescent and of the youngest leaf fully expanded for analysis of macronutrients. Were determined in the 18<sup>o</sup> month of planting the stem diameter (DC), the crown diameter (DCO) and the stem height (ALT). The application of silicate of calcium and magnesium in soil increased the pH, the concentrations of phosphorus, calcium and magnesium available in the soil and magnesium concentration in the plant, however, did not influenced the growth and development of physic nut. Sewage sludge, on the other hand, promoted increased of the concentrations of organic matter, nitrate and phosphorus in the soil, and of phosphorus, calcium, magnesium and nitrogen in the plant, which reflected in a greater increase in the DCO with the increase of this waste, until dose of 11 t ha<sup>-1</sup>. There were no relevant interactions between the sewage sludge and silicate, and nor the affect of this last about the growth and development of the plant, recommending only the application of sewage sludge in the cultivation of physic nut.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L. Oleaginous. Soil pollution.

## 1 INTRODUÇÃO

O pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) é uma planta pertencente à família *Euphorbiaceae*, originária da América Tropical, Ásia e África. É um arbusto grande, de crescimento rápido, cuja altura normal é de 3 a 5 m, mas pode alcançar até 12 m, com diâmetro do tronco de aproximadamente 20 cm. O tronco ou fuste é dividido desde a base, em compridos ramos, com numerosas cicatrizes, produzidas pela queda das folhas na estação seca, as quais ressurgem logo após as primeiras chuvas (HELLER, 1996). Sob as condições de Minas Gerais, a florada do pinhão manso aparece após o período da seca e os frutos podem ser colhidos de fevereiro a abril, podendo chegar, em período chuvoso prolongado, até o mês de junho ou julho. O fruto é capsular ovóide, com diâmetro de 1,5 a 3,0 cm. É trilocular, com uma semente em cada cavidade, formado por um pericarpo ou casca dura e lenhosa, indeiscente, inicialmente verde, passando a amarelo, castanho e por fim preto, quando atinge o estágio de maturação. Contém 79% de sementes, 16% de casca e 5% de película, com peso médio de frutos e de sementes de 2,97 e 0,72 g, respectivamente. O peso de 1 litro de sementes varia de 200 a 250 g, e contém de 440 a 560 unidades, dependendo da variedade. A percentagem de óleo, na semente, varia de 50 a 57% e, na amêndoa, de 48 a 59% (SATURNINO *et al.*, 2005).

Diante da preocupação atual com o efeito estufa, o aquecimento global e a escassez das reservas mundiais de combustível fóssil, o pinhão manso tem despertado interesse dos produtores, do governo e das instituições de pesquisa, por ser considerada uma cultura rústica, adaptada às mais diversas condições edafoclimáticas, que sobrevive bem em condições de solos marginais de baixa fertilidade natural (ARRUDA *et al.*, 2004; DIAS *et al.*, 2007; SATURNINO *et al.*, 2005). Dessa forma, com a possibilidade do uso do óleo do pinhão manso para a produção de biodiesel, abrem-se amplas perspectivas para o aumento das áreas de plantio com essa cultura em todo o país, principalmente nas regiões mais carentes, como o semi-árido brasileiro (ARRUDA *et al.*, 2004).

Contudo os resultados de pesquisas com a cultura do pinhão manso são ainda incipientes e preliminares e para se obter alta produtividade de frutos, há necessidade de cultivo em solos férteis e com boas condições físicas. Logo, a correção da acidez e da fertilidade do solo é decisiva para se obter sucesso e lucratividade nessa cultura (LAVIOLA; DIAS, 2008).

O potencial produtivo do solo está na dependência do equilíbrio de diversos fatores, como a disponibilidade de nutrientes no solo, a absorção e a metabolização pelas plantas (GUIMARÃES, 2008)<sup>6</sup>. A contribuição da matéria orgânica para melhorar a fertilidade do solo se dá em função de substanciais modificações das suas propriedades físicas, por meio do aporte de nutrientes e de suas propriedades coloidais, que aumentam, significativamente, a capacidade de troca catiônica dos solos (KANG, 1993). Além disso, a incorporação ao solo de materiais orgânicos influencia a dinâmica populacional dos microorganismos (MIELNICZUK, 1999).

A viabilidade do uso agrícola de materiais orgânicos, como o lodo de esgoto, está relacionada à origem dos materiais e aos tratamentos aos quais foram submetidos (GUIMARÃES, 2008)<sup>6</sup>. A sua disposição na agricultura começou há cerca de 500 anos na Europa, por meio de irrigação com efluentes de esgotos (BETTOL; CAMARGO, 2006). Por ser constituído de material rico em matéria orgânica e nutrientes, esse resíduo se torna um componente viável na utilização para condicionamento físico e fertilização do solo para uso agrícola, recuperação de áreas degradadas e reflorestamento (ANDREOLI *et al.*, 1999; TSUTIYA *et al.*, 2002; VIEIRA; CARDOSO, 2003). No Brasil, o lodo de esgoto já é utilizado predominantemente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar (CHIBA *et al.*, 2008a; SILVA *et al.*, 1998), bem como nas culturas do eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000) e café (BETTIOL; CAMARGO, 2000). O uso de lodo de esgoto em oleaginosas ainda é pouco estudado, sendo o girassol e a mamona as mais estudadas (FIGUEIREDO; GRASSI FILHO, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2009). Esses estudos sobre o uso do lodo de esgoto são importantes para a avaliação do valor agronômico desse resíduo.

---

<sup>6</sup> <http://www.cca.ufpb.br/Ppga/bibliodigital-teses1.htm>

Os silicatos de cálcio e magnésio são também resíduos que requerem adequada disposição final. A exemplo do lodo de esgoto, uma boa destinação pode ser o uso na agricultura, uma vez que possuem composição similar e agem de forma semelhante aos calcários, podendo substituí-los com eficiência no aumento do pH do solo e como fonte de nutrientes e, também, influenciar a disponibilidade de nitrogênio no solo (ALCARDE, 1992; CLAUSSEN; LENS, 1995; KORNDÖRFER, 2002).

As principais fontes de silicatos são as escórias de siderurgia, subprodutos da produção de fósforo elementar em fornos elétricos, metassilicato de cálcio ou de sódio, cimento, termofosfato, silicato de magnésio ou de cálcio, ou seja, todos advindos de atividades de mineração ou industriais, cuja destinação deve ser a mais adequada para o meio ambiente (KORNDÖRFER, 2002).

Este trabalho teve por objetivo avaliar o crescimento, desenvolvimento e teores de macronutrientes no solo e em pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de abril de 2008 a novembro de 2009, em área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em Montes Claros – MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em Cambissolo Háplico, utilizando-se como planta indicadora o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).

Os tratamentos, em esquema fatorial 5 x 2, distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, corresponderam a 5 doses de lodo de esgoto em base seca (0; 4,8; 9,6; 14,4 e 19,2 t ha<sup>-1</sup>) e 2 doses de silicato de cálcio e magnésio, 0 e 1 t ha<sup>-1</sup>, sendo essa quantidade necessária para fornecer Si disponível para a cultura a ser implantada.

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), no município de Juramento – MG, distante cerca de 40 km do local da pesquisa. A ETE é operada pela COPASA-MG e possui capacidade para tratar 217 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> de esgoto. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB, interligado em série a uma lagoa de pós-tratamento do tipo facultativa. O lodo gerado no reator UASB é desidratado em um leito de secagem e, posteriormente, disponibilizado para aproveitamento agrícola ou disposto em um aterro controlado, implantado na área da estação.

O silicato de cálcio e magnésio utilizado foi um produto comercial contendo 36% de CaO, 9% de MgO e 23% de SiO<sub>2</sub>, PRNT de 85% e teores de Fe (27,20 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (19,00 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (43,00 mg kg<sup>-1</sup>), e Cu (19,00 mg kg<sup>-1</sup>).

As análises químicas do solo e do lodo foram realizadas de acordo com metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995) e Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997), conforme apresentadas nas TAB. 1 e 2.

As covas foram feitas com o auxílio do trator, usando perfuratriz e com acabamento manual, obtendo dimensões de 40 x 40 x 40 cm. A adubação foi realizada de uma única vez nas covas de plantio, utilizando-se somente o

silicato de cálcio e magnésio e o lodo de esgoto, conforme os tratamentos. O espaçamento entre plantas e fileiras foi de 2,5 x 2,5 metros, respectivamente. Cada unidade experimental foi composta por 16 plantas, sendo a parcela útil formada por 4 plantas centrais.

**TABELA 1**

Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento

Profundidade	pH	P-reman.	P-melich	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T	m	V	M.O.	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
cm		(mg L <sup>-1</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )					(mmol dm <sup>-3</sup> )					%		(g kg <sup>-1</sup> )			
0-20	6,0	40,6	1,5	90	59	16	0,0	24	77,3	77,3	101,3	0	76,0	46	120	200	380	300
20-40	5,4	42,3	0,6	30	33	10	7	39,5	43,8	50,8	83,3	14,0	53,0	22,4	50	470	200	280

**TABELA 2**

Características químicas do lodo\* de esgoto utilizado no experimento

	pH	C.O.	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni
Lodo H <sub>2</sub> O																
	4,4	62,4	15,4	2,8	5,6	5,5	1,9	10,6	22	31,04	144	58	0	4,64	0	9,76

Nota: \*Umidade a 65°C: 6%; Densidade: 0,90.

As mudas do pinhão manso foram feitas em sacos de polietileno com volume de 4 litros. O substrato utilizado foi composto por 1 parte de areia + 1 parte de terra de subsolo + 1 parte de esterco curtido. As sementes antes do semeio ficaram submersas em água, em temperatura ambiente, por 24 horas e depois semeadas. Dois meses após a germinação, ou seja, início de junho de 2008, as mudas foram transplantadas para as covas.

Os dados meteorológicos durante o período do experimento estão apresentados no GRAF. 1. Foram determinados, no 18º mês, o diâmetro do caule a 10 cm do solo, a altura da planta e o diâmetro da copa. Também foram determinados o número de dias do surgimento da primeira inflorescência e a percentagem de plantas floridas até o 18º mês após o plantio.

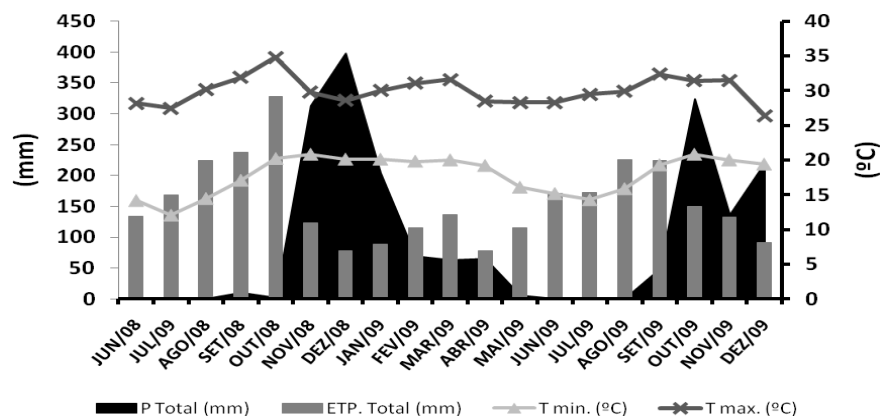


GRÁFICO 1 - Dados da 5ª estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia, localizada no Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, na cidade de Montes Claros - MG

Fonte: 5º DINMET – Montes Claros – MG.

Após um ano do transplante, foram coletadas a 10 cm de distância do caule, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, quatro sub-amostras por parcela, para formarem uma amostra composta para análises do nitrogênio mineral ( $N-NO_3^-$  e  $N-NH_4^+$ ), matéria orgânica, P, K, Ca, Mg, Al e H+Al, conforme metodologias preconizadas pela Embrapa (1999) e Tedesco *et al.* (1995). Para análise de N-total, P, K, Ca e Mg na planta, foram coletadas, no início da primeira floração, amostras compostas da folha mais velha não



senescente e da folha mais nova totalmente expandida; separado limbo foliar do seu pecíolo, conforme metodologias descritas por Tedesco *et al.* (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas às doses de silicatos comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e as referentes às doses de lodo de esgoto ajustadas a modelos de regressão, com significância dos coeficientes testada até 10% de probabilidade, pelo teste t. As variáveis o diâmetro do caule a 10 cm do solo, a altura da planta e o diâmetro da copa foram correlacionadas entre si pelo teste de Pearson a 5% de probabilidade pelo teste t.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às variáveis de crescimento e desenvolvimento da planta de pinhão manso, não foram constatadas interações significativas entre as doses de silicato de cálcio e magnésio e as de lodo de esgoto aplicadas.

O silicato de cálcio e magnésio não influenciou em nenhuma das variáveis estudadas, conforme ilustra a TAB. 3. A exemplo do que ocorreu neste experimento, Caldeira Júnior *et al.* (2009) ressaltam que o silicato de cálcio e magnésio não interferiu no crescimento e no desenvolvimento do Gonçalo-Alves (*Astronium fraxinifolium* Schott) na presença de lodo de esgoto. Por outro lado, Prado; Natale (2004) encontraram aumento na altura, no diâmetro do caule e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro com o incremento das doses de silicato de cálcio e magnésio. Fernandez *et al.* (2009) também admitem que o crescimento do feijoeiro foi favorecido pelo silicato de cálcio e magnésio misturado com resíduo cultural de braquiária.

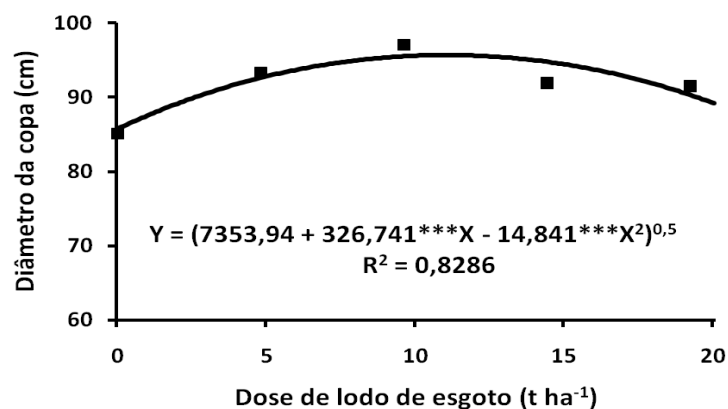
**TABELA 3**

Diâmetro de caule (DC), altura da planta (ALT) e diâmetro da copa (DCO) do pinhão manso 18 meses após o plantio, em função da adubação com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose silício (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
DC18 (cm)	0	5,11	6,10	6,36	5,45	5,90	5,75 a
	1	5,83	6,07	5,99	5,63	5,98	5,90 a
	Média	5,47	6,08	6,18	5,54	5,94	-
ALT18 (cm)	0	120,42	127,50	132,58	116,33	120,33	123,43 a
	1	141,83	136,67	135,00	121,33	132,42	133,45 a
	Média	131,13	132,08	133,79	118,83	126,38	-
DCO18 (cm)	0	70,83	92,00	89,17	92,25	84,58	85,77 a
	1	99,33	94,67	105,00	91,58	98,42	97,80 a
	Média	85,08	93,33	97,08	91,92	91,50	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas da mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si, pelo teste Tukey, a 5% de probabilidade.

Em relação à aplicação do lodo de esgoto, observa-se que o diâmetro de copa aos dezoito meses apresentou ajuste de curva de regressão, conforme é apresentado no GRAF. 2.



**GRÁFICO 2** - Diâmetro da copa aos dezoito meses do plantio de pinhão manso, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Nota: \*\*\* significativo a 0,1%, pelo teste t.

O diâmetro da copa aos dezoito meses de plantio aumentou com o incremento das doses de lodo de esgoto, atingindo o valor máximo de 95,67 cm, com a aplicação de 11 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, tendo redução desse crescimento de 90,31 cm, com aumento dessa aplicação para 19,2 t ha<sup>-1</sup> (GRAF. 2). Corroborando esses resultados, Caldeira Júnior *et al.* (2009) encontraram resposta similar, tendo aumento de copa de 40,78 cm em Gonçalo-Alves, com a aplicação de 11,4 t ha<sup>-1</sup> e redução da mesma, com o aumento das doses de lodo aplicadas. Prates (2007) afirma que o diâmetro da copa do pinhão manso sofre intensa redução durante a estação de inverno, com a queda das folhas, mas que essas ressurgem vigorosamente após o início das chuvas.

Por não ter ocorrido ajuste de curva de regressão em relação ao diâmetro do caule do pinhão manso com as doses de lodo de esgoto aplicadas, a média encontrada para essa variável foi de 5,84 cm. Por outro lado, o efeito do lodo de esgoto sobre o aumento do diâmetro do caule de plantas foi observado por Campos; Alves (2008), Colodro (2005), Bezerra *et al.* (2005) e por Kitamura *et al.* (2008). Esses autores atribuíram os resultados ao fato do lodo de esgoto atuar como condicionador de solos e ser provedor de nutrientes para as plantas.

O aumento do diâmetro do caule está diretamente relacionado ao aumento do sistema radicular (CARNEIRO, 1976). Assim, espera-se que plantas que apresentam maior diâmetro de caule, tenham possibilidade de melhor nutrição e maior resistência ao déficit hídrico, pelo maior volume de solo explorado pelas raízes. Segundo Guimarães (2008)<sup>7</sup>, o diâmetro do caule é uma característica importante, uma vez que, quanto maior o seu valor, maior o vigor, a robustez e a resistência da planta. Esse autor, avaliando o crescimento inicial de pinhão manso em reposta a diferentes fontes e doses de adubos, observou que a quantidade mais elevada do bio-sólido, 340 kg ha<sup>-1</sup> de N, apresentou efeito 43,58% superior à testemunha (sem adubação) aos 135 dias de experimento.

A variável altura da planta do pinhão manso aos dezoito meses também não se ajustou à curva de regressão, com o incremento das doses de lodo de esgoto aplicadas, tendo uma média encontrada de 128,44 cm. Já Caldeira Júnior *et al.* (2009), com a aplicação de 12,73 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, obtiveram altura de 54,22 cm, em Gonçalo-Alves, em área degradada. O efeito positivo do lodo em relação ao crescimento em altura de plantas fica evidente também em Backes *et al.* (2009), que encontraram resposta linear da altura de mamoneira, aos cinquenta dias de avaliação, com aplicação de 32 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, sendo que apenas o lodo de esgoto influenciou nessa variável no experimento realizado.

Embora as variáveis diâmetro do caule e altura da planta não tenham ajustada curva de regressão com as doses de lodo de esgoto, essas ao serem correlacionadas entre si, apresentaram altos valores de correlação, sendo a correlação entre diâmetro da copa e o diâmetro do caule com  $r = 0,9073$ , a correlação entre diâmetro da copa e altura da planta com  $r = 0,7888$ . Diante do exposto, considerou-se a dose de 11 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto como a mais adequada para a fertilização do pinhão manso.

A percentagem média de florescimento da planta até os 288 dias após transplante das mudas para o campo foi de 39,90%. Observou-se que as inflorescências ocorreram sempre no período chuvoso, mesmo o experimento

---

<sup>7</sup> <http://www.cca.ufpb.br/Ppga/bibliodigital-teses1.htm>

sendo irrigado. Esses resultados corroboram Assunção *et al.* (2009), que concluíram que as inflorescências do pinhão manso em dois anos agrícolas não foram influenciadas pelos diferentes tratamentos utilizados e que as mesmas só surgiam no período chuvoso.

Em relação ao nitrogênio na planta de pinhão manso e ao pH e ao nitrogênio do solo adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio, apenas o pH do solo na profundidade de 0 a 20 cm apresentou interação entre as doses aplicadas de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio na cultura do pinhão manso (TAB. 4). Observa-se que, em todas as doses de lodo aplicadas, o pH do solo nessa profundidade foi mais elevado quando houve incorporação de silicato de cálcio e magnésio; fato também observado para a profundidade de 20 a 40 cm. O aumento do pH do solo com a aplicação de silicatos de cálcio e magnésio também foi relatado por Carvalho-Pupatto *et al.* (2004), os quais constataram que a aplicação de  $1 \text{ t ha}^{-1}$  elevou o pH do solo para 6,2.

Observa-se, na TAB. 4, que os teores de nitrogênio não foram influenciados pela adição de silicato de cálcio e magnésio ao solo. Resultados similares foram encontrados por Fonseca *et al.* (2009) e Mauad *et al.* (2003), os quais constataram que a aplicação de silicato de cálcio e magnésio no solo não influenciou a disponibilidade e a absorção de nitrogênio por culturas forrageiras e de arroz.

As variações nas respostas das diferentes espécies de plantas às aplicações e aos teores de nitrogênio no solo podem ser atribuídas a grande instabilidade desse elemento no meio. Miller; Cramer (2004) afirmam que a disponibilidade, a localização e as formas de nitrogênio no perfil do solo podem variar em decorrência das alterações nas taxas de amonificação, de nitrificação e de desnitrificação. Essas taxas são regidas por fatores que interferem diretamente na atividade microbiana, como pH, temperatura, aeração e umidade do solo (LEWIS, 1986). Na solução do solo, a predominância do  $\text{NH}_4^+$  em relação ao  $\text{NO}_3^-$  é observada, em geral, em ambientes com baixo pH, baixa temperatura e alta umidade, com acúmulo de compostos fenólicos alelopáticos e condições de anaerobiose (DJIK; ECK, 1995) que inibem a nitrificação (STARK; HART, 1997). Armstrong (1982) e

Owen; Jones (2001) relatam que o  $\text{NO}_3^-$  é a forma de nitrogênio que prevalece em solos aerados com pH acima de 4,0, sendo a sua concentração variável de 1 a 5  $\text{mmol L}^{-1}$ . Alcântara e Camargo (2005) relatam que a adsorção de nitrato acompanha a variação do pH do solo, exceto aqueles solos que recebem adição de bases. Assim, os valores de nitrogênio mineral no solo podem variar entre regiões e dentro de uma mesma região, e entre estações de crescimento, durante o ciclo de desenvolvimento das culturas.

TABELA 4

pH e teores de nitrogênio em solo cultivado com pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose Silício ( $\text{t ha}^{-1}$ )	Dose de Lodo de Esgoto ( $\text{t ha}^{-1}$ )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
pH (0-20 cm)	0	6,87 b	5,97 b	5,60 b	5,90 b	5,77 b	-
	1	7,33 a	7,03 a	6,77 a	6,53 a	6,33 a	-
pH (20-40 cm)	0	6,73	5,80	5,57	5,67	5,63	5,88 b
	1	7,23	6,40	6,63	6,27	5,63	6,43 a
	Média	6,98	6,10	6,10	5,97	5,63	-
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (0-20 cm) ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0	55,83	79,77	58,80	86,79	57,81	70,30 a
	1	64,80	68,78	73,56	92,96	68,86	73,79 a
	Média	60,32	74,27	66,18	89,87	63,33	-
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (20-40 cm) ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0	73,43	54,88	67,81	82,04	55,64	66,76 a
	1	64,10	83,76	64,93	71,99	74,42	71,84 a
	Média	68,76	69,32	66,37	77,02	65,03	-
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-20 cm) ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0	64,51	61,42	64,33	78,92	63,91	66,62 a
	1	51,30	61,59	71,63	78,12	91,22	70,77 a
	Média	57,91	61,51	67,98	78,52	77,57	-
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (20-40 cm) ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0	67,64	71,75	65,80	55,94	69,12	66,05 a
	1	58,49	70,43	65,03	75,48	71,07	68,10 a
	Média	63,07	71,09	65,42	65,71	70,10	-
N-Mineral total (0-20 cm) ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0	120,35	141,18	123,13	165,71	121,72	134,42 a
	1	116,11	130,37	145,19	171,08	160,08	144,56 a
	Média	118,23	135,78	134,16	168,39	140,90	-
N-Mineral total (20-40 cm) ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	0	141,07	126,64	133,60	137,97	124,76	132,81 a
	1	122,59	154,19	129,96	147,47	145,49	139,94 a
	Média	131,83	140,41	131,78	142,72	135,13	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade

Já em relação aos demais nutrientes e à matéria orgânica no solo, não foram constatadas interações significativas entre as doses de silicato de cálcio e magnésio e as de lodo de esgoto aplicadas. Dessa forma, a TAB. 5 mostra as comparações entre as médias de tratamentos dessas variáveis referentes às doses de silício aplicadas. Verifica-se que para, a matéria orgânica e o potássio disponível, não houve nenhuma influência da aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo. Entretanto, para o fósforo, o cálcio e o magnésio, houve aumento da disponibilidade desses nutrientes com a adição deste corretivo.

O aumento dos teores de cálcio e magnésio no solo, com a aplicação de silicato (TAB. 5), resulta da sua riqueza nesses elementos, entretanto, no caso do fósforo, o aumento pode ser atribuído ao aumento da CTC do solo (NOVAIS; SMITH, 1999) e, principalmente, ao fato do silicato ( $\text{SiO}_4$ ) bloquear os sítios de adsorção de fósforo dos óxidos de ferro e alumínio e deslocar o fosfato fixado para a solução do solo, devido à sua preferência em relação ao fosfato pelos sítios de adsorção (CARVALHO *et al.*, 2001; PRADO; FERNANDES, 2001; PRADO *et al.*, 2002).

TABELA 5

Teores de matéria orgânica (MO), fósforo, potássio e magnésio em solo cultivado com pinhão manso, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose de silicato (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) 0-20 cm	0	2,57	2,77	3,23	3,23	4,50	<b>3,26 a</b>
	1	2,50	2,50	3,70	3,80	3,73	<b>3,25 a</b>
	<b>Média</b>	<b>2,54</b>	<b>2,64</b>	<b>3,47</b>	<b>3,52</b>	<b>4,12</b>	-
MO (dag kg <sup>-1</sup> ) 20-40 cm	0	2,57	2,20	2,63	3,10	3,07	<b>2,71 a</b>
	1	2,23	2,07	3,30	2,97	2,83	<b>2,68 a</b>
	<b>Média</b>	<b>2,40</b>	<b>2,14</b>	<b>2,97</b>	<b>3,04</b>	<b>2,95</b>	-
P (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	2,87	11,77	12,3	19,57	26,97	<b>14,70 b</b>
	1	3,50	13,27	26,10	33,70	34,53	<b>22,22 a</b>
	<b>Média</b>	<b>3,19</b>	<b>12,52</b>	<b>19,20</b>	<b>26,64</b>	<b>30,75</b>	-
P (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	2,13	4,67	9	9,07	19,83	<b>8,94 b</b>
	1	2,47	3,23	21,27	23,07	28,97	<b>15,80 a</b>
	<b>Média</b>	<b>2,30</b>	<b>3,95</b>	<b>15,14</b>	<b>16,07</b>	<b>24,40</b>	-
K (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	142,33	71,33	104,33	84,33	93,00	<b>99,06 a</b>
	1	84,67	77,33	91,00	90,00	69,00	<b>82,40 a</b>
	<b>Média</b>	<b>113,50</b>	<b>74,33</b>	<b>97,67</b>	<b>87,17</b>	<b>81,00</b>	-
K (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	105,00	52,00	44,33	55,00	58,00	<b>62,87 a</b>
	1	67,00	55,00	69,33	67,33	53,00	<b>62,33 a</b>
	<b>Média</b>	<b>86,00</b>	<b>53,50</b>	<b>56,83</b>	<b>61,17</b>	<b>55,50</b>	-
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	5,20	3,97	4,17	4,77	4,67	<b>4,56 b</b>
	1	6,43	6,83	7,87	7,10	6,87	<b>7,02 a</b>
	<b>Média</b>	<b>5,82</b>	<b>5,40</b>	<b>6,02</b>	<b>5,94</b>	<b>5,77</b>	-
Ca (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	5,00	3,10	3,6	3,87	3,70	<b>3,85 b</b>
	1	5,77	4,70	6,33	5,80	5,03	<b>5,53 a</b>
	<b>Média</b>	<b>5,39</b>	<b>3,90</b>	<b>4,97</b>	<b>4,84</b>	<b>4,37</b>	-
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	1,27	0,97	0,87	0,97	0,93	<b>1,00 b</b>
	1	1,63	1,63	1,63	1,63	1,37	<b>1,58 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,45</b>	<b>1,30</b>	<b>1,25</b>	<b>1,30</b>	<b>1,15</b>	-
Mg (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	1,17	0,77	0,77	0,87	0,77	<b>0,87 b</b>
	1	1,80	1,37	1,50	1,50	1,17	<b>1,47 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,49</b>	<b>1,07</b>	<b>1,14</b>	<b>1,19</b>	<b>0,97</b>	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação à soma de bases, H+Al, CTC efetiva, CTC a pH 7,0 e de saturação por bases (TAB. 6), somente o H+Al e a V na profundidade de 0-20 cm apresentaram interação entre as doses de silicato e de lodo de esgoto



aplicadas. Observa-se que a soma bases aumentou com a aplicação de silicato, em razão da sua riqueza em cálcio e magnésio. Para o H+Al na profundidade de 0-20 cm, os menores valores foram obtidos com a aplicação de silicato, o que demonstra o poder neutralizante da acidez por esse resíduo.

TABELA 6

Soma de bases (SB), H+Al, CTC efetiva (t), CTC a pH 7,0 (T) e saturação por bases (V) do solo cultivado com pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose de silicato (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	6,83	5,10	5,30	5,95	5,84	<b>5,80 b</b>
	1	8,28	8,67	9,73	8,96	8,41	<b>8,81 a</b>
	<b>Média</b>	<b>7,56</b>	<b>6,89</b>	<b>7,52</b>	<b>7,46</b>	<b>7,13</b>	
SB (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	6,44	4,00	4,48	4,88	4,62	<b>4,88 b</b>
	1	7,74	6,21	8,01	7,47	6,34	<b>7,15 a</b>
	<b>Média</b>	<b>7,09</b>	<b>5,11</b>	<b>6,25</b>	<b>6,18</b>	<b>5,48</b>	
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	1,38 a	3,85 a	4,68 a	4,13 a	4,57 a	-
	1	0,82 a	0,88 b	1,27 b	1,76 b	2,69 b	-
H+Al (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	1,82	4,07	4,90	4,35	4,73	<b>3,97 a</b>
	1	1,10	2,20	1,59	2,15	3,58	<b>2,12 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,46</b>	<b>3,14</b>	<b>3,25</b>	<b>3,25</b>	<b>4,16</b>	
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	6,83	5,41	6,00	6,22	5,87	<b>6,07 b</b>
	1	8,28	8,67	9,73	8,96	8,41	<b>8,81 a</b>
	<b>Média</b>	<b>7,56</b>	<b>7,04</b>	<b>7,87</b>	<b>7,59</b>	<b>7,14</b>	
t (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	6,44	4,96	5,78	5,41	4,85	<b>5,49 b</b>
	1	7,74	6,21	8,01	7,47	6,54	<b>7,19 a</b>
	<b>Média</b>	<b>7,09</b>	<b>5,59</b>	<b>6,90</b>	<b>6,44</b>	<b>5,70</b>	
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	8,21	8,96	9,98	10,08	10,41	<b>9,53 b</b>
	1	9,11	9,55	11,00	10,72	11,10	<b>10,30 a</b>
	<b>Média</b>	<b>8,66</b>	<b>9,26</b>	<b>10,49</b>	<b>10,40</b>	<b>10,76</b>	
T (cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	8,25	8,07	9,38	9,22	9,34	<b>8,85 a</b>
	1	8,84	8,41	9,60	9,62	9,91	<b>9,28 a</b>
	<b>Média</b>	<b>8,55</b>	<b>8,24</b>	<b>9,49</b>	<b>9,42</b>	<b>9,63</b>	
V (%) 0-20 cm	0	83,33 a	57,00 b	53,00 b	58,33 b	56,33 b	-
	1	90,67 a	90,67 a	88,67 a	83,33 a	76,00 a	-
V (%) 20-40 cm	0	78,00	49,67	48,00	52,00	49,33	<b>55,40 b</b>
	1	87,33	74,00	83,33	77,00	63,33	<b>77,00 a</b>
	<b>Média</b>	<b>82,67</b>	<b>61,84</b>	<b>65,67</b>	<b>64,50</b>	<b>56,33</b>	

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Na ausência de silicato, ficou evidente a maior acidez potencial provocada pelo lodo, possivelmente associada ao seu valor de origem (TAB. 2) e às reações de nitrificação do N-amoniaco; à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo pelos microrganismos (SIMONETE *et al.*, 2003; CALDEIRA JÚNIOR *et al.*, 2009). De modo geral, a CTC total, a CTC efetiva e a saturação por bases foram maiores com a incorporação de silicato de cálcio e magnésio ao solo, em razão das adições de cálcio e magnésio contidas neste resíduo. Estes resultados estão de acordo com as observações de Korndörfer (2002), o qual recomenda o uso de silicatos para aumentar a saturação de bases do solo.

Os teores de alumínio trocável e a saturação por alumínio foram baixos e pouco consistentes, obtendo-se, respectivamente, para as profundidades de 0-20 e 20-40 cm, valor médio para o alumínio da ordem de 0,13 e 0,33  $\text{cmol}_c \text{dm}^{-3}$  e, para a saturação por alumínio, 2,34 e 6,07%.

Em relação aos teores dos nutrientes no tecido foliar do pinhão manso, não houve interação entre as doses de silicato e de lodo de esgoto aplicadas (TAB. 7). Também, apesar do aumento da disponibilidade de fósforo e cálcio no solo, com a adição de silicato (TAB. 5), não houve nenhum efeito desse resíduo em relação à absorção desses nutrientes pela planta (TAB. 7). Isso significa que os incrementos ocorridos nos teores de fósforo e cálcio disponíveis no solo com a adição de silicato não foram suficientes para promover diferenças nas concentrações destes elementos na planta. No caso do magnésio, houve efeito apenas no pecíolo da folha nova, sendo a maior concentração observada no tratamento com aplicação de silicato. Ao contrário do observado neste trabalho, Pacheco *et al.* (2006) concluíram que as maiores concentrações de magnésio em plantas de pinhão manso foram detectadas no limbo foliar, comparadas ao pecíolo, sendo esse elemento fundamental para a fotossíntese e o aumento da produtividade da planta.

Houve tendência de maior concentração de fósforo e potássio nas folhas e nos pecíolos novos do que nas folhas e pecíolos velhos (TAB. 7). Tal fato reflete a boa mobilidade desses nutrientes na planta, conforme evidenciado por Marschner (1995). Entretanto, no caso do magnésio, apesar de sua boa mobilidade na planta, houve maior concentração nos tecidos

velhos. Já o cálcio, pouco móvel na planta, apresentou resultado consistente, sendo também mais concentrado nos tecidos foliares velhos do que nos novos.

TABELA 7

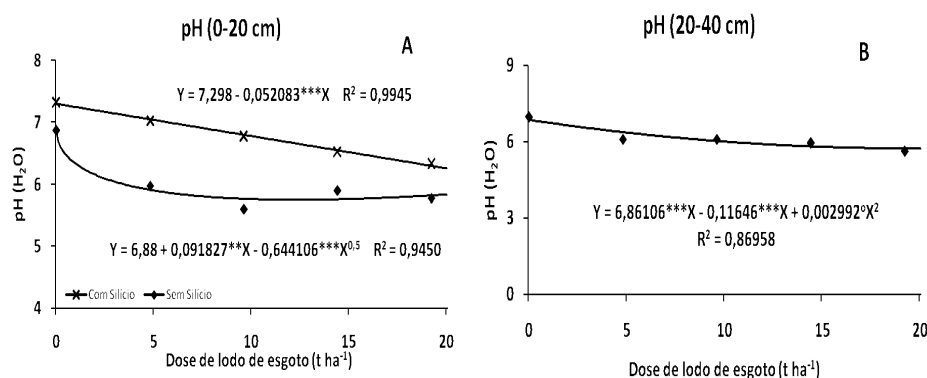
Teores de nitrogênio na folha nova (NFN), no pecíolo da folha nova (NPN), na folha velha (NFV) e no pecíolo da folha velha (NPV); fósforo na folha nova (PFN), no pecíolo da folha nova (PPN), na folha velha (PFV) e no pecíolo da folha velha (PPV); potássio na folha nova (KFN), no pecíolo da folha nova (KPN), na folha velha (KFV) e no pecíolo da folha velha (KPV); cálcio na folha nova (CaFN), no pecíolo da folha nova (CaPN), na folha velha (CaFV) e no pecíolo da folha velha (CaPV); magnésio na folha nova (MgFN), no pecíolo da folha nova (MgPN), na folha velha (MgFV) e no pecíolo da folha velha (MgPV) de pinhão manso, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose de silicato (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
NFN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	2,35	2,49	2,67	3,22	2,71	<b>2,69 a</b>
	1	2,47	2,42	2,71	2,65	3,05	<b>2,66 a</b>
	<b>Média</b>	<b>2,41</b>	<b>2,46</b>	<b>2,69</b>	<b>2,94</b>	<b>2,88</b>	-
NPN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,94	0,99	1,05	1,14	1,01	<b>1,03 a</b>
	1	0,96	1,07	1,14	0,68	1,21	<b>1,01 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,95</b>	<b>1,03</b>	<b>1,10</b>	<b>0,91</b>	<b>1,11</b>	-
NFV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,98	1,93	2,14	2,38	2,46	<b>2,18 a</b>
	1	1,94	2,13	2,26	2,13	2,55	<b>2,20 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,96</b>	<b>2,03</b>	<b>2,20</b>	<b>2,26</b>	<b>2,51</b>	-
NPV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,48	0,68	0,72	0,76	0,86	<b>0,70 a</b>
	1	0,67	0,80	0,84	0,51	0,58	<b>0,68 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,58</b>	<b>0,74</b>	<b>0,78</b>	<b>0,64</b>	<b>0,72</b>	-
PFN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,19	0,26	0,21	0,23	0,19	<b>0,22 a</b>
	1	0,19	0,18	0,18	0,21	0,21	<b>0,19 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,19</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	<b>0,22</b>	<b>0,20</b>	-
PPN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,19	0,13	0,21	0,24	0,17	<b>0,19 a</b>
	1	0,17	0,20	0,23	0,22	0,24	<b>0,21 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,18</b>	<b>0,17</b>	<b>0,22</b>	<b>0,23</b>	<b>0,21</b>	-
PFV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,14	0,13	0,15	0,16	0,17	<b>0,15 a</b>
	1	0,13	0,16	0,15	0,14	0,16	<b>0,15 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,14</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,17</b>	-
PPV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,14	0,09	0,13	0,12	0,11	<b>0,12 a</b>
	1	0,12	0,12	0,11	0,11	0,14	<b>0,12 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	<b>0,12</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>	-
KFN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,36	1,71	1,19	1,36	1,37	<b>1,40 a</b>
	1	1,31	1,03	1,36	1,40	1,11	<b>1,24 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,34</b>	<b>1,37</b>	<b>1,28</b>	<b>1,38</b>	<b>1,24</b>	-
KPN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	2,33	1,41	1,68	2,05	1,52	<b>1,80 a</b>
	1	1,76	1,51	1,96	1,69	1,59	<b>1,70 a</b>
	<b>Média</b>	<b>2,05</b>	<b>1,46</b>	<b>1,82</b>	<b>1,87</b>	<b>1,56</b>	-
KFV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,45	0,99	1	1,13	0,97	<b>1,11 a</b>
	1	1,07	0,89	1,15	0,99	0,91	<b>1,00 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,26</b>	<b>0,94</b>	<b>1,08</b>	<b>1,06</b>	<b>0,94</b>	-
KPV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,79	1,28	1,4	1,32	1,43	<b>1,44 a</b>
	1	1,23	1,01	1,49	1,09	1,00	<b>1,16 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,51</b>	<b>1,15</b>	<b>1,45</b>	<b>1,21</b>	<b>1,22</b>	-
CaFN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,99	1,12	0,98	1,15	1,39	<b>1,13 a</b>
	1	1,05	1,10	1,08	1,12	1,11	<b>1,09 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,02</b>	<b>1,11</b>	<b>1,03</b>	<b>1,14</b>	<b>1,25</b>	-
CaPN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,07	0,76	1,10	1,10	1,18	<b>1,04 a</b>
	1	1,02	1,34	1,10	1,14	1,32	<b>1,18 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,05</b>	<b>1,05</b>	<b>1,10</b>	<b>1,12</b>	<b>1,25</b>	-
CaFV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,46	1,49	1,29	2,14	2,10	<b>1,70 a</b>
	1	1,77	1,32	1,67	2,17	1,86	<b>1,76 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,62</b>	<b>1,41</b>	<b>1,48</b>	<b>2,16</b>	<b>1,98</b>	-
CaPV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	1,15	0,97	1,07	1,35	1,38	<b>1,18 a</b>
	1	1,18	1,11	1,17	1,18	1,28	<b>1,18 a</b>
	<b>Média</b>	<b>1,17</b>	<b>1,04</b>	<b>1,12</b>	<b>1,27</b>	<b>1,33</b>	-
MgFN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,52	0,65	0,53	0,56	0,55	<b>0,56 a</b>
	1	0,56	0,57	0,55	0,55	0,57	<b>0,56 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,54</b>	<b>0,61</b>	<b>0,54</b>	<b>0,5</b>	<b>0,56</b>	-
MgPN (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,18	0,14	0,16	0,12	0,17	<b>0,15 a</b>
	1	0,16	0,20	0,19	0,24	0,22	<b>0,20 b</b>
	<b>Média</b>	<b>0,17</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,18</b>	<b>0,20</b>	-
MgFV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,51	0,60	0,47	0,63	0,69	<b>0,58 a</b>
	1	0,65	0,58	0,60	0,78	0,73	<b>0,67 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,58</b>	<b>0,59</b>	<b>0,54</b>	<b>0,71</b>	<b>0,71</b>	-
MgPV (dag kg <sup>-1</sup> )	0	0,19	0,15	0,14	0,23	0,27	<b>0,20 a</b>
	1	0,21	0,18	0,21	0,28	0,28	<b>0,23 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,20</b>	<b>0,17</b>	<b>0,18</b>	<b>0,26</b>	<b>0,28</b>	-

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Em relação aos teores de  $\text{N-NH}_4^+$  e N-mineral total nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, de  $\text{N-NO}_3^-$  a 20-40 cm, cálcio nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, potássio na profundidade de 0 a 20 cm, magnésio na profundidade de 20 a 40 cm, de nitrogênio nos pecíolos das folhas novas e velhas e potássio no limbo e pecíolo das folhas novas e velhas não houve efeito das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Em relação ao pH do solo, com a aplicação de lodo de esgoto, observa-se que tanto na presença quanto na ausência de silicato de cálcio e magnésio, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, o valor diminuiu com o incremento das doses de lodo (GRAF. 3a e 3b).



**GRÁFICO 3** - pH do solo em função das doses de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio

(A) pH do solo na camada de 0-20 cm de profundidade

(B) pH do solo na camada de 20-40 cm de profundidade

Nota: , \*\*, \*\*\* significativos a 10; 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste t.

Na profundidade de 0-20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de  $11 \text{ t ha}^{-1}$ , junto com silicato de cálcio e magnésio, promoveu redução do pH de 7,29 para 6,70, enquanto, na ausência do corretivo, esse valor foi de 6,88 para a 5,80. Já na profundidade de 20-40 cm, o valor do pH foi de 6,86 para 5,9, com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto. Em todas as situações, portanto, o pH do solo ficou na faixa considerada adequada para a maioria das plantas. O efeito do lodo de esgoto não caleado na redução do pH do solo pode ser atribuído às reações de nitrificação do  $\text{N-NH}_4^+$ , à provável oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo por microrganismos, conforme destacado por Simonete *et al.*

(2003) e Caldeira Júnior *et al.* (2009). Vale ressaltar que o lodo utilizado neste experimento possuía pH na faixa de 4,4 (TAB. 2), o que também contribuiu para a redução do pH no solo.

Os teores disponíveis de  $\text{N-NO}_3^-$  no solo, na profundidade de 0-20 cm, aumentaram com a adição de lodo (GRAF. 4a). No solo, o teor de  $\text{N-NO}_3^-$  obtido com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto foi de  $57,43 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $70,34 \text{ mg kg}^{-1}$ .

O aumento dos teores de nitrogênio no solo e em outras espécies oleaginosas com a adição de lodo de esgoto ao solo também foi observado por Guimarães *et al.* (2007)<sup>8</sup>, Chiaradia *et al.* (2009) e Oliveira *et al.* (2009), os quais concluíram que o lodo de esgoto substitui satisfatoriamente a adubação mineral na produção da cultura. Para o pinhão manso, portanto, o lodo de esgoto apresenta-se como uma excelente alternativa de adubação, uma vez que é bastante exigente nesse nutriente (LAVIOLA; DIAS, 2008), sendo a sua concentração maior nos frutos dessa espécie do que em outras plantas, como o cafeeiro (LAVIOLA *et al.*, 2006) e a laranjeira (MATTOS JUNIOR *et al.*, 2003).

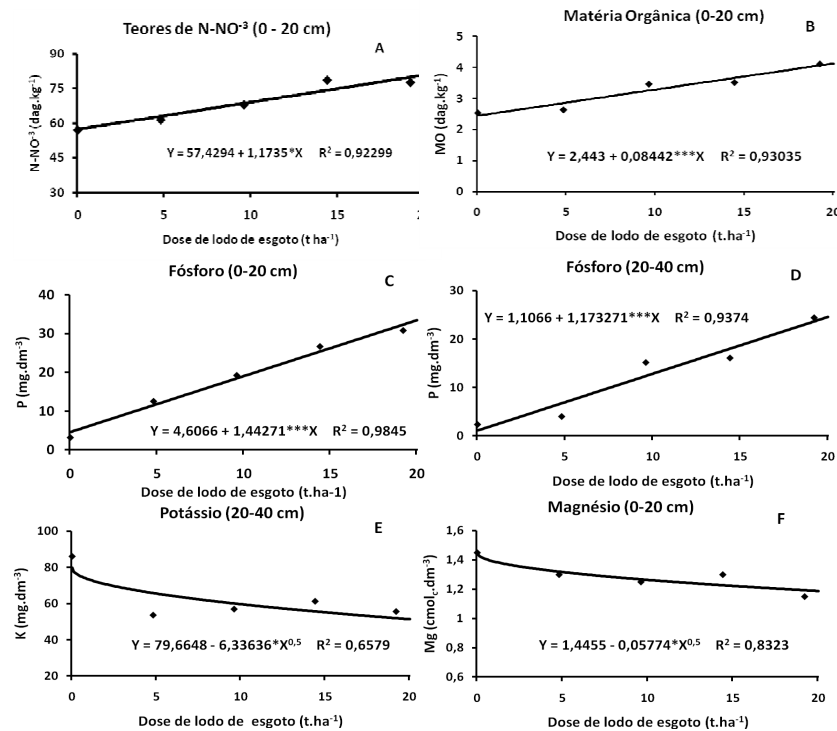
Em relação ao teor de matéria orgânica do solo (MOS), na profundidade de 0 a 20 cm, houve resposta linear positiva (GRAF. 4b). A aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto promoveu um aumento da MOS de 2,44 para  $3,37 \text{ dag kg}^{-1}$ , o que é considerado um nível médio de fertilidade do solo, segundo Alvarez *et al.* (1999). O aumento dos teores de matéria orgânica no solo, com a aplicação de lodo de esgoto foi destacado por Andreoli *et al.* (1999) e Tsutiya *et al.* (2002).

Os teores de fósforo disponível no solo, nas profundidades de 0-20 cm (GRAF. 4c) e 20-40 cm (GRAF. 4d), aumentaram com o incremento das doses de lodo de esgoto, atingindo valores de 4,61 para  $20,48 \text{ mg dm}^{-3}$  e de 1,11 para  $14,01 \text{ mg dm}^{-3}$ , respectivamente, com a dose de  $11 \text{ t ha}^{-1}$ . Esses níveis de fósforo no solo são classificados por Alvarez *et al.* (1999) como médio e baixo, respectivamente. Mas, com a aplicação da dose máxima,  $19,2 \text{ t ha}^{-1}$ , esses valores aumentaram para 32,31 e  $23,63 \text{ mg dm}^{-3}$ ,

---

<sup>8</sup> <http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/agricultura/45.pdf>

respectivamente nas camadas de 0-20 e 20-40 cm. Esses níveis de fósforo no solo são classificados por Alvarez *et al.* (1999) como muito bom e bom, respectivamente. Resultados semelhantes em relação ao efeito do lodo de esgoto foram confirmados em diversos trabalhos científicos, sendo constatado aumento da disponibilidade de fósforo no solo com a sua aplicação (CHIARADIA *et al.*, 2009; CORREA, 2004; MAGUIRE *et al.*, 2000; SILVA *et al.*, 1998).



**GRÁFICO 4** - Teores de nutrientes e de matéria orgânica no solo, em resposta à aplicação de lodo de esgoto  
 (A) Teores de N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na camada de 0-20 cm  
 (B) Matéria orgânica do solo na camada de 0-20 cm de profundidade  
 (C) Fósforo no solo na camada de 0-20 cm de profundidade  
 (D) Fósforo no solo na camada de 20-40 cm de profundidade  
 (E) Potássio no solo na camada de 20-40 cm de profundidade  
 (F) Magnésio no solo na camada de 0-20 cm de profundidade  
 Nota: \*, \*\*\* significativos a 5 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

O potássio disponível, na profundidade de 20-40 cm, diminuiu com o aumento da dose aplicada do lodo de esgoto (GRAF. 4e), reduzindo seu valor de  $79,66 \text{ mg dm}^{-3}$  para  $58,65 \text{ mg dm}^{-3}$ , com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto. Apesar da redução nos teores de potássio com o incremento das doses de lodo de esgoto, esse nível é considerado ainda bom em relação à fertilidade do solo, conforme Alvarez *et al.* (1999). Melo *et al.* (2002) relatam que o potássio tem sido o elemento de maior necessidade de suplementação com fertilizantes minerais quando da utilização do lodo para adubação, pois esse elemento tem baixa concentração nesse insumo. Tal fato ocorre em razão do potássio encontrar-se predominantemente sob forma iônica nas águas residuárias e, durante o tratamento nas estações de tratamento de esgoto, tende a ficar em solução, o que explica as baixas concentrações do elemento em lodos de esgoto (TSUTIYA, 2002).

O teor de magnésio no solo, na profundidade de 0 a 20 cm, diminuiu com o aumento da aplicação do lodo de esgoto. Com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$ , houve uma redução de  $1,44 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  para  $1,25 \text{ cmol}_c.\text{dm}^{-3}$  (GRAF. 4f). Esse valor, mesmo sendo reduzido com a aplicação de maiores doses de lodo de esgoto, ainda se encontra como nível bom para fertilidade do solo, segundo Alvarez *et al.* (1999). O lodo de esgoto não se constitui em importante fonte de magnésio, sendo que a sua adição normalmente não contribui para aumentos expressivos deste elemento no solo (CHIBA *et al.*, 2008b).

Tanto para o potássio quanto para o magnésio, a redução de seus teores com o incremento das doses de lodo de esgoto parece estar relacionada a maiores perdas por lixiviação, possivelmente associada ao aumento da concentração de íons hidrogênio em solução, provocando o deslocamento desses cátions do complexo coloidal e a sua retirada do sistema. Werle *et al.* (2008) relatam a facilidade de lixiviação de K em solos tropicais, tanto em solos arenosos quanto argilosos, sendo que esses últimos, em razão da maior CTC, têm a capacidade de reter maiores quantidades desse elemento. As perdas por lixiviação de K, Ca e Mg em sistemas de cultivos variam, em função, principalmente, de suas quantidades



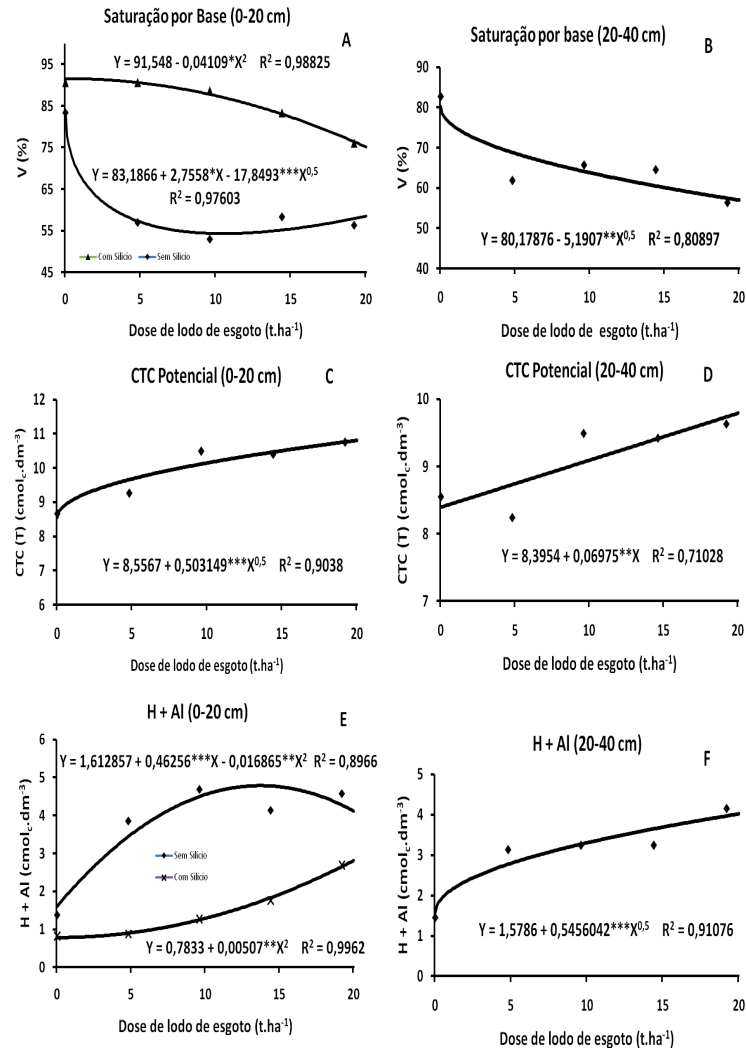
aplicadas e do estágio de desenvolvimento das culturas (GIROTTTO *et al.*, 2003)<sup>9</sup>.

A saturação por bases foi reduzida com o aumento das doses de lodo de esgoto (GRAF. 5a, 5b). Na profundidade de 0 a 20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de 11 t ha<sup>-1</sup>, junto com silicato de cálcio e magnésio, promoveu redução de 91,55% para 86,48%, enquanto, na ausência do corretivo, esse valor foi de 83,17% para 54,30%. Já na profundidade de 20-40 cm, o valor da saturação por bases reduziu de 80,18% para 62,96 %, com a aplicação da maior dose de lodo de esgoto. Esses valores corroboram com os encontrados por Caldeira Júnior *et al.* (2009), que evidenciaram redução da saturação por bases com o aumento das doses de lodo de esgoto, sendo que, quando aplicado juntamente com o silicato de cálcio e magnésio, a redução é menor, em razão do aumento das concentrações de cálcio e magnésio. Pode-se atribuir essa redução na saturação por bases ao aumento da CTC total do solo, com a aplicação do lodo de esgoto. Esses resultados divergem dos encontrados por Simonete *et al.* (2003), que não verificaram alteração da saturação por bases, com o aumento das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Para a capacidade de troca catiônica (CTC), apenas para a CTC potencial (T), foi possível ajustar curva de regressão com a aplicação do lodo de esgoto que promoveu aumento nas duas profundidades avaliadas, 0 a 20 e 20 a 40 cm. A dose de 11 t ha<sup>-1</sup> promoveu um aumento da CTC (T) de 8,56 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> para 10,23 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup> e de 8,39 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, para 9,16 cmol<sub>c</sub>.dm<sup>-3</sup>, nas respectivas profundidades avaliadas (GRAF. 5c e 5d). Esses valores são considerados bons para fertilidade do solo, segundo classificação preconizada pelo Alvarez *et al.* (1999). Comportamentos semelhantes foram observados por Silva *et al.*, (1995), Oliveira *et al.*, (2002) e Rei *et al.* (2009), que relatam que a CTC aumentou de acordo com as maiores doses de lodo de esgoto aplicadas.

---

<sup>9</sup> <http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/LINKS%20DO%20CBCS%202003/CBCS2003%20EM%20PDF/04.pdf>



**GRÁFICO 5** - Características químicas do solo, em função da aplicação de lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio  
 (A) Saturação por base do solo na camada de 0-20 cm de profundidade  
 (B) Saturação por base do solo na camada de 20-40 cm de profundidade  
 (C) CTC Potencial na camada de 0-20 cm de profundidade  
 (D) CTC Potencial na camada de 20-40 cm de profundidade (E) Acidez Potencial do solo na camada de 0-20 cm de profundidade  
 (F) Acidez Potencial do solo na camada de 20-40 cm de profundidade, decorrentes da aplicação de doses de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio ao solo

Nota: \*, \*\*, \*\*\* significativos a 5; 1 e 0,1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

A acidez potencial aumentou nas profundidades de 0 a 20 e 20 a 40 cm, com as maiores doses de lodo aplicadas (GRAF. 5e e 5f). Na profundidade de 0 a 20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de  $11 \text{ t ha}^{-1}$ , junto com silicato de cálcio e magnésio, promoveu aumento de  $0,78 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$  para  $1,34 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ , enquanto, na ausência do corretivo, esse valor foi de  $1,61 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$  para  $4,66 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ . Já na profundidade de 20-40 cm, o valor da acidez potencial aumentou de  $1,58 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$  para  $3,39 \text{ cmol}_c \cdot \text{dm}^{-3}$ , com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto. Para essa variável, esses valores são considerados muito baixo, médio e baixo, respectivamente, para a fertilidade do solo (ALVAREZ *et al.*, 1999). No GRAF. 5e ficou evidente o efeito neutralizante do silicato em relação à acidez potencial do solo, causada pelo lodo. Conforme já comentado, a maior acidez potencial provocada pelo lodo pode estar relacionada com a sua origem (TAB. 2), às reações de nitrificação do N-amoniaco, à oxidação de sulfitos e à produção de ácidos orgânicos durante a degradação do resíduo pelos microrganismos (CALDEIRA JÚNIOR *et al.*, 2009; SIMONETE *et al.*, 2003).

No tecido foliar de pinhão manso, somente os teores de N-total, na folha nova de pinhão manso, N-total, na folha velha, fósforo, na folha velha, de cálcio, na folha nova, pecíolo novo e velho, e de magnésio, na folha velha e pecíolo novo, responderam aos incrementos de lodo de esgoto no solo (GRAF. 6).

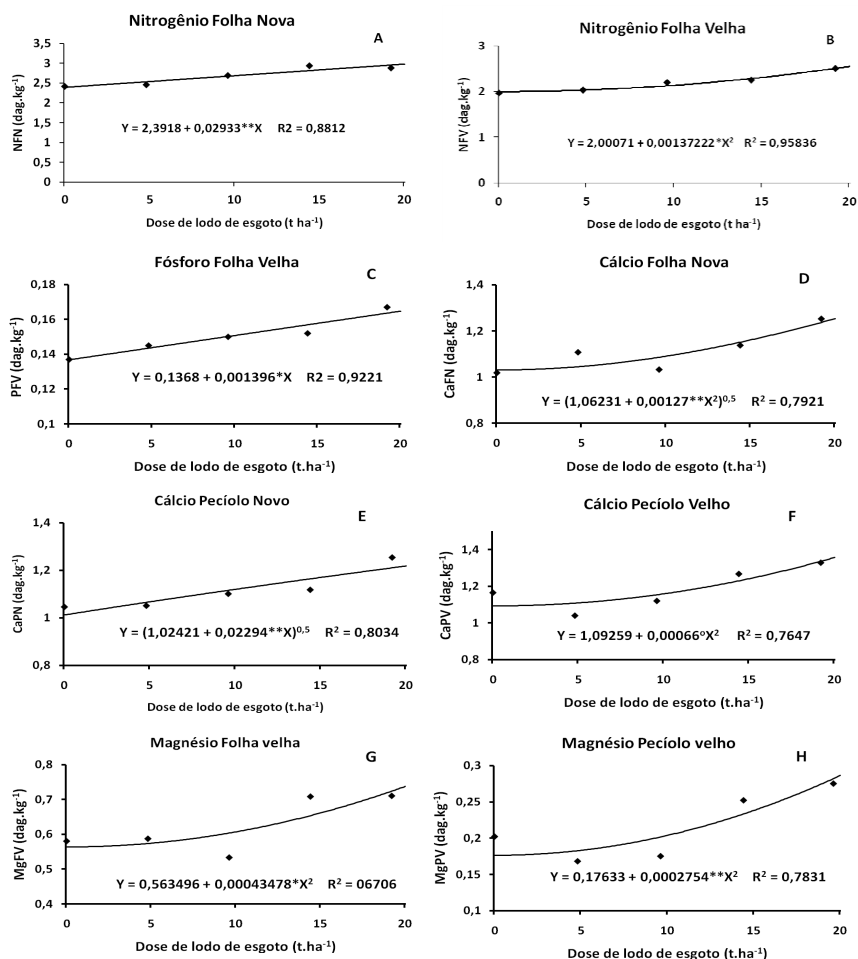
Os aumentos dos valores obtidos de nitrogênio com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto, nas folhas novas e velhas, foram de  $2,39 \text{ dag kg}^{-1}$  para  $2,71 \text{ dag kg}^{-1}$  e de  $2,00 \text{ dag kg}^{-1}$  para  $2,17 \text{ dag kg}^{-1}$ , respectivamente (GRAF. 6a e 6b).

Esses valores aproximam-se daqueles encontrados por Laviola e Dias (2008), em plantas de pinhão manso, sendo  $3,1 \text{ dag kg}^{-1}$ , em folhas jovens totalmente expandidas e  $2,1 \text{ dag kg}^{-1}$ , nos frutos. Para espécies oleaginosas perenes, como o dendezeiro, Malavolta *et al.* (1989) citam que a concentração ideal de nitrogênio varia de  $2,5$  a  $2,7 \text{ dag kg}^{-1}$ , valores coerentes com os encontrados no pinhão manso, neste estudo. Entretanto esses valores diferem daqueles encontrados por Lobo (2006), para a cultura

do girassol, a qual, dependendo do genótipo, pode ter a concentração de nitrogênio nas folhas, variando de 3,5 a 5,0 dag kg<sup>-1</sup> e por Pacheco *et al.* (2008), os quais concluíram que, para teores foliares de nutrientes associados à produção de máxima eficiência econômica da cultura da mamona, a concentração de nitrogênio foi de 5,46 dag kg<sup>-1</sup>.

O teor de fósforo na folha velha, com a adição de lodo de esgoto ao solo (GRAF. 6c), aumentou de 0,14 dag kg<sup>-1</sup> para o valor máximo de 0,15 dag kg<sup>-1</sup>, com a aplicação da dose de 11 t ha<sup>-1</sup>. Para o pinhão manso, não há valores de referência para a faixa de concentração ótima de fósforo na planta, porém, comparando com a da mamona, cuja faixa varia de 0,30-0,40 dag.kg<sup>-1</sup>, o valor citado pode ser considerado baixo (MARTINEZ *et al.*, 1999). Depois do nitrogênio, o fósforo é o elemento mais abundante em lodo de esgoto (DESCHAMPS; FAVARETTO, 2001), entretanto Chiaradia *et al.* (2009), apesar de terem constatado aumento no teor disponível de fósforo no solo, com aplicações crescentes de lodo de esgoto, não detectaram aumento de sua concentração na cultura da mamona.

Em relação ao cálcio na planta, houve aumento de sua concentração com a aplicação de lodo de esgoto (GRAF. 6d, 6e e 6f), atingindo valores de 1,03 para 1,10; de 1,01 para 1,13 e de 1,09 para 1,17 dag kg<sup>-1</sup>, no limbo foliar da folha nova e nos pecíolos das folhas nova e velha, respectivamente, com a aplicação da dose de 11 t ha<sup>-1</sup>. Esses resultados ficam um pouco abaixo da faixa de nível crítico de cálcio para a mamona (1,50-2,50 dag kg<sup>-1</sup>), segundo Martinez *et al.* (1999). Também, teores mais elevados de cálcio em folhas de pinhão manso (1,9 dag kg<sup>-1</sup>) foram encontrados por Laviola e Dias (2008).



**GRÁFICO 6** - Teores de nutrientes em pinhão manso em resposta à aplicação de doses de lodo de esgoto

- (A) N-total na folha nova de pinhão manso  
 (B) Teores de N-total na folha velha  
 (C) Fósforo no limbo da folha velha  
 (D) Cálcio no limbo da folha nova  
 (E) Cálcio no pecíolo da folha nova  
 (F) Cálcio no pecíolo da folha velha  
 (G) Magnésio no limbo da folha velha  
 (H) Magnésio no pecíolo da folha velha

Nota: , \* , \*\* , \*\*\* significativos a 10; 5; 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste t.

Em mamona, Chiaradia *et al.* (2009) não detectaram aumento dos teores de cálcio na planta, com a aplicação de lodo de esgoto.

O magnésio na planta aumentou com os incrementos de lodo de esgoto (GRAF. 6g e 6h), sendo encontrados valores de  $0,56 \text{ dag kg}^{-1}$  para

0,61 dag kg<sup>-1</sup> e de 0,17 dag kg<sup>-1</sup> para 0,21 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente, para o limbo da folha velha e pecíolo da folha nova, para a dose de lodo de esgoto aplicada de 11 t ha<sup>-1</sup>. Esses resultados estão próximos da faixa de níveis críticos para a mamona, 0,25-0,35 dag kg<sup>-1</sup> (MARTINEZ *et al.*, 1999). Laviola e Dias (2008) encontraram teores menores de magnésio nas folhas de pinhão manso, em trabalho sobre teor e acúmulo de nutrientes nas folhas e frutos para essa cultura. Isso explica os menores teores disponíveis de magnésio no solo, com o incremento das doses de lodo de esgoto e demonstra que esse resíduo pode, satisfatoriamente, servir como fonte alternativa desse nutriente para a cultura do pinhão manso.

#### 4 CONCLUSÃO

A aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo, como fertilizante, não influencia o crescimento do pinhão manso.

O pH, os teores de fósforo, cálcio e magnésio disponíveis, a soma de bases, a capacidade de troca catiônica e a saturação por bases do solo aumentam com a adição de silicato de cálcio e magnésio, enquanto a acidez potencial diminui.

O teor de magnésio no pecíolo da folha mais nova de pinhão manso aumenta com a adição de silicato de cálcio e magnésio ao solo.

Na presença de silicato de cálcio e magnésio, a aplicação de lodo produz menores reduções de acidez ativa, acidez potencial e saturação por bases.

A aplicação de doses de lodo de esgoto aumenta os teores de matéria orgânica, fósforo e nitrato no solo, além da capacidade de troca catiônica e da acidez potencial do solo, enquanto os teores de potássio, magnésio e saturação por bases diminuem.

Os teores de fósforo, cálcio, nitrogênio e magnésio, no tecido foliar de pinhão manso, aumentam com a aplicação de doses de lodo de esgoto.

A aplicação de 11 t ha<sup>-1</sup> lodo de esgoto de esgoto promove maior diâmetro da copa de pinhão manso.

Recomenda-se a dose de 11 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, sem aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo, com pH próximo à neutralidade, para o cultivo de pinhão manso.

### **CAPÍTULO 3 - TEORES DE METAIS PESADOS NO SOLO E NA PLANTA DE PINHÃO MANSO, ADUBADA COM LODO DE ESGOTO E SILICATO DE CÁLCIO E MAGNÉSIO**

#### **RESUMO**

O objetivo deste trabalho foi avaliar os teores de metais pesados no solo e no tecido foliar de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio. Os tratamentos, em esquema fatorial 5 x 2, distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, corresponderam a 5 doses de lodo de esgoto desidratado (0; 4,8; 9,6; 14,4 e 19,2 t ha<sup>-1</sup>) e 2 doses de silicato de cálcio e magnésio (0 e 1 t ha<sup>-1</sup>). No início da primeira floração, foram coletadas amostras de solo a 0-20 e 20-40 cm de profundidade, e da folha mais velha não senescente e da folha mais nova totalmente expandida para análise de Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Cr, Ni e Pb. A aplicação de silicato de cálcio e magnésio ao solo aumentou a disponibilidade de ferro, níquel, zinco e manganês no solo e diminuiu os teores de zinco e cobre em folhas de pinhão manso. O lodo de esgoto promoveu aumento dos teores de ferro e cobre e redução do teor de chumbo no solo, enquanto, na planta de pinhão manso, houve aumento dos teores de zinco, ferro, manganês e cobre. Os níveis de metais pesados no solo e na planta mantiveram-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375, com a aplicação de 11 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, recomendada como a melhor dose para a adubação do pinhão manso.

**Palavras-chave:** *Jatropha curcas* L. Biossólido. Poluição do solo.



### CHAPTER 3 - HEAVY METALS CONCENTRATIONS IN SOIL AND PLANT OF PHYSIC NUT FERTILIZED WITH SEWAGE SLUDGE AND CALCIUM AND MAGNESIUM SILICATE

#### ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the heavy metals concentrations in soil and in the leaf tissue of physic nut fertilized with sewage sludge and calcium and magnesium silicate. The treatments, in a factorial scheme 5 x 2, distributed in design in randomized block with three replications, corresponded to 5 doses of dehydrated sewage sludge (0, 4.8, 9.6, 14.4 and 19.2 t ha<sup>-1</sup>) and 2 doses of calcium and magnesium silicate (0 and 1 t ha<sup>-1</sup>). At the beginning of first flowering were collected soil samples at 0-20 and 20-40 cm deep, and of the older leaf not senescent and of the youngest leaf fully expanded for analysis of Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Cr, Ni and Pb. The application of calcium and magnesium silicate in soil increased the availability of iron, nickel, zinc and manganese in the soil, and decreased the contents of zinc and copper in leaves of physic nut. Sewage sludge promoted increased of contents of iron and copper and reduction of the content of lead in soil, while in the plant of physic nut, it promoted an increase of zinc, iron, manganese and copper. The levels of heavy metals in soil and in the plant were within the limits established by CONAMA Resolution no. 375 with the application of 11 t ha<sup>-1</sup> of sewage sludge, recommended as the best dose to fertilize of the physic nut.

**Keywords:** *Jatropha curcas* L. Biosolid. Soil pollution.

## 1 INTRODUÇÃO

O pinhão manso é uma espécie da família das Euforbiáceas, perene, caducifólia, exigente em insolação e com boa resistência à seca, sendo bastante utilizada como matéria prima para a produção de biocombustível (HELLER, 1996; SATURNINO, 2005; TEIXEIRA, 2005). É uma espécie que extrai elevada quantidade de nutrientes na colheita e, se não adequadamente adubada, pode levar ao empobrecimento do solo ao longo dos anos de cultivo (LAVIOLA; DIAS, 2008).

Estudos sobre o aproveitamento agrícola de resíduos de atividades urbanas e rurais, como adubos e corretivos de acidez, são importantes para a avaliação do impacto desses materiais sobre as plantas e o ambiente, com destaque para o lodo de esgoto (ANDREOLI; PEGORINI, 2000; ANDREOLI *et al.*, 1999;) e escórias de siderurgia (CARVALHO-PUPATTO *et al.*, 2004; KORNDÖRFER, 2002).

No caso do lodo de esgoto, por ser rico em matéria orgânica e nutrientes, torna-se um componente viável no condicionamento físico e na fertilização de solos agrícolas (ANDREOLI *et al.*, 1999; TSUTIYA *et al.*, 2002). No Brasil, o lodo de esgoto já é utilizado com frequência em áreas de cultivo de cana-de-açúcar (CHIBA *et al.*, 2008a; SILVA *et al.*, 1998), bem como nas culturas do eucalipto (ANDRADE; MATTIAZZO, 2000) e café (BETTIOL; CAMARGO, 2000).

Apesar de presentes no lodo de esgoto, os metais pesados têm apresentado resultados pouco consistentes, quanto à efetiva contaminação do solo (ANJOS; MATTIAZZO, 2000; CHIBA *et al.*, 2008b). Todavia, a longo prazo, o aumento da concentração de metais no solo, resultante da aplicação do lodo, torna-se uma preocupação justificada, pois, se não for adequadamente controlada, pode afetar o meio ambiente (NASCIMENTO *et al.*, 2004). Isso ocorre em razão das concentrações de metais no lodo serem mais elevadas do que as naturalmente encontradas em solos (MESSIAS *et al.*, 2007).

As escórias de siderurgia são resíduos da fabricação de ferro-gusa e do aço, compostos principalmente de silicatos (KORNDÖRFER, 2002;

PRADO; FERNANDES, 2001;). Possuem composição similar e ação de forma semelhante aos calcários, podendo substituí-los com eficiência, além de elevar os teores de micronutrientes no solo (ALCARDE, 1992; KORNDÖRFER, 2002).

Esse trabalho teve por objetivo avaliar os teores de metais pesados no solo e na planta de pinhão manso, adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no período de abril de 2008 a novembro de 2009, em área experimental do Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, em Montes Claros – MG, latitude 16°51'38" S e longitude 44°55'00" W, em Cambissolo Háplico, utilizando-se como planta indicadora o pinhão manso (*Jatropha curcas* L.).

Os tratamentos, em esquema fatorial 5 x 2, distribuídos no delineamento em blocos casualizados, com três repetições, corresponderam a 5 doses de lodo de esgoto desidratado (0; 4,8; 9,6; 14,4 e 19,2 t ha<sup>-1</sup>) e 2 doses de silicato de cálcio e magnésio (0 e 1 t ha<sup>-1</sup>).

O lodo de esgoto desidratado foi coletado na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), no município de Juramento – MG, distante cerca de 40 km do local da pesquisa. A ETE é operada pela COPASA-MG e possui capacidade para tratar 217 m<sup>3</sup>/dia de esgoto. A linha de tratamento é composta por tratamento preliminar e reator anaeróbio UASB, interligado em série a uma lagoa de pós-tratamento do tipo facultativa. O lodo gerado no reator UASB é desidratado em um leito de secagem e, posteriormente, disponibilizado para aproveitamento agrícola ou disposto em um aterro controlado, implantado na área da estação.

O silicato de cálcio e magnésio utilizado foi um produto comercial contendo 36% de CaO, 9% de MgO e 23% de SiO<sub>2</sub>, PRNT de 85% e teores de Fe (27,20 mg kg<sup>-1</sup>), Zn (19,00 mg kg<sup>-1</sup>), Mn (43,00 mg kg<sup>-1</sup>) e Cu (19,00 mg kg<sup>-1</sup>).

As análises químicas do solo e do lodo foram realizadas, de acordo com metodologias preconizadas por Tedesco *et al.* (1995) e Embrapa (1997), conforme apresentação nas TAB. 1 e 2.

As covas foram feitas com o auxílio do trator, usando perfuratriz e com acabamento manual, obtendo dimensões laterais de 40 x 40 x 40 cm. A adubação foi feita de uma única vez nas covas de plantio, utilizando-se somente o silicato de cálcio e magnésio e o lodo de esgoto, conforme os tratamentos. O espaçamento entre plantas e fileiras foi de 2,5 x 2,5 metros. Cada unidade experimental foi composta por 16 plantas, sendo a parcela útil

formada por 4 plantas.

**TABELA 1**

Características químicas e físicas do solo utilizado no experimento

Profundidade	pH	P-reman.	P-melich	K	Ca	Mg	Al	H + Al	SB	t	T	m	V	M.O.	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
cm		(mg L <sup>-1</sup> )	(mg dm <sup>-3</sup> )					(mmol dm <sup>-3</sup> )				----- % -----			(g kg <sup>-1</sup> )			
0-20	6,0	40,6	1,5	90	59	16	0,0	24	77,3	77,3	101,3	0	76,0	46	120	200	380	300
20-40	5,4	42,3	0,6	30	33	10	7	39,5	43,8	50,8	83,3	14,0	53,0	22,4	50	470	200	280

**TABELA 2**

Características químicas do lodo\* de esgoto utilizado no experimento

	pH	C.O.	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	Cd	Pb	Cr	Ni
Lodo	H <sub>2</sub> O	----- (dag kg <sup>-1</sup> ) ----- (mg dm <sup>-3</sup> ) -----														
	4,4	6,24	1,54	0,28	0,56	0,55	0,19	1,06	22	31,04	144	58	0	4,64	0	9,76

Nota: \*Umidade a 65°C: 6%; Densidade: 0,90.

As mudas do pinhão manso foram feitas em sacos de polietileno, com volume de 4 litros. O substrato utilizado foi composto por 1 parte de areia + 1 parte de terra de subsolo + 1 parte de esterco curtido. As sementes antes do semeio ficaram submersas em água em temperatura ambiente por 24 horas e depois semeadas. Dois meses após a germinação, ou seja, início de junho de 2008, as mudas foram transplantadas para as covas.

Foram coletadas após um ano de transplante do pinhão manso amostras da folha mais velha não senescente e da folha mais nova totalmente expandida e separado limbo foliar do seu pecíolo, para análises de Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Cr, Ni e Pb, conforme metodologias descritas por Tedesco *et al.* (1995). Também, foram coletadas a 10 cm de distância do caule, nas profundidades de 0-20 e 20-40 cm, quatro sub-amostras por parcela para formarem uma amostra composta para análises dos teores de Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Cr, Ni e Pb, conforme metodologias preconizadas pela Embrapa (1997) e Tedesco *et al.* (1995).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, sendo as médias das variáveis relacionadas às doses de silicatos, comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e as referentes às doses de lodo de esgoto ajustadas a modelos de regressão, com significância dos coeficientes testada até 10% de probabilidade, pelo teste t.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para os teores de metais pesados no solo, não houve interação entre as doses de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio aplicadas (TAB. 3). De modo geral, houve aumento dos teores no solo de Fe, Ni, Zn e Mn, com a dose de silicato de cálcio e magnésio aplicada e nenhum efeito desse corretivo em relação aos teores de Cu e de Pb a 20-40 cm de profundidade do solo. Também, não foram detectados níveis de Cr, Pb a 0-20 cm de profundidade e de Cd no solo, entretanto Korndörfer *et al.* (1995, 2002) relatam que, com a aplicação de silicatos, há a redução de Fe e Mn tóxicos para as plantas e fornecimento de micronutrientes ao solo.

Em relação aos teores de metais pesados no tecido foliar de pinhão manso, também não houve interação entre as doses de lodo de esgoto e de silicato de cálcio e magnésio aplicadas (TAB. 4 e 5). Observa-se que somente o zinco, na folha velha (TAB. 4) e o cobre, na folha nova (TAB. 5) tiveram os seus teores diminuídos com a adição de silicato de cálcio e magnésio ao solo. Prado e Natale (2005) também observaram redução nos teores de zinco e cobre na parte aérea de mudas de maracujazeiro com a aplicação de silicato de cálcio e magnésio. Por outro lado, Prado e Natale (2004) não constataram efeito significativo, quanto ao teor de zinco nas folhas de maracujazeiro, adubado com silicato de cálcio e magnésio. A exemplo do que ocorreu com o solo, os teores de cádmio, chumbo e cromo não foram detectados nas plantas de pinhão manso. Accioly *et al.* (2009) concluem que o efeito amenizante do silicato de cálcio, relacionado à redução da transferência dos metais pesados do solo para a parte aérea do eucalipto, é mais acentuado para o zinco. Ma (2004) relata que o silício ameniza a toxidez de metais no solo e que, em relação à redução da toxidez de metais na planta, o silício pode atuar por meio de três diferentes mecanismos pela ação do Si: a) pode haver uma menor absorção dos elementos tóxicos, b) uma distribuição mais homogênea na folha ou c) a formação de complexos metal-silicatos dentro da planta. Esses complexos são translocados para os vacúolos e acumulados em formas ainda desconhecidas (NEUMANN; ZUR NIEDEN, 2001).



TABELA 3

Teores de metais pesados no solo adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose de silício (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	0,83	1,83	1,57	2,27	2,63	<b>1,83 a</b>
	1	0,67	1,87	2,50	3,10	2,90	<b>2,21 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,75</b>	<b>1,85</b>	<b>2,04</b>	<b>2,69</b>	<b>2,77</b>	
Cu (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	0,73	0,83	1,10	2,20	1,77	<b>1,33 a</b>
	1	0,63	0,83	2,03	2,23	2,37	<b>1,62 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,68</b>	<b>0,83</b>	<b>1,57</b>	<b>2,22</b>	<b>2,07</b>	
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	50,90	205,23	182,53	238,17	265,67	<b>188,50 b</b>
	1	104,90	199,77	232,70	261,73	293,07	<b>218,43 a</b>
	<b>Média</b>	<b>77,90</b>	<b>202,50</b>	<b>207,62</b>	<b>249,95</b>	<b>279,37</b>	
Fe (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	58,20	129,20	183,30	245,23	247,60	<b>172,71 a</b>
	1	134,73	116,67	206,87	208,40	282,10	<b>189,75 a</b>
	<b>Média</b>	<b>96,47</b>	<b>122,94</b>	<b>195,09</b>	<b>226,82</b>	<b>264,85</b>	
Ni (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	0,13	0,31	0,26	0,71	0,61	<b>0,40 b</b>
	1	0,56	0,60	0,47	1,02	0,77	<b>0,68 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,35</b>	<b>0,46</b>	<b>0,37</b>	<b>0,87</b>	<b>0,69</b>	
Ni (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	0,22	0,09	0,32	0,32	0,26	<b>0,24 b</b>
	1	0,51	0,24	0,75	0,64	0,63	<b>0,55 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,37</b>	<b>0,17</b>	<b>0,54</b>	<b>0,48</b>	<b>0,45</b>	
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	21,10	27,80	24,17	25,57	25,27	<b>24,78 b</b>
	1	101,50	30,00	25,83	42,93	37,40	<b>47,53 a</b>
	<b>Média</b>	<b>61,30</b>	<b>28,90</b>	<b>25,00</b>	<b>34,25</b>	<b>31,34</b>	
Zn (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	30,00	19,97	11,93	24,53	69,27	<b>31,14 a</b>
	1	234,43	23,87	27,70	19,53	40,93	<b>69,29 a</b>
	<b>Média</b>	<b>132,22</b>	<b>21,92</b>	<b>19,82</b>	<b>22,03</b>	<b>55,10</b>	
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	15,97	8,33	25,03	13,60	10,17	<b>14,62 b</b>
	1	43,83	35,43	48,53	42,30	35,23	<b>41,06 a</b>
	<b>Média</b>	<b>29,90</b>	<b>21,88</b>	<b>36,78</b>	<b>27,95</b>	<b>22,70</b>	
Mn (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	15,87	5,93	19,93	10,77	7,40	<b>11,98 b</b>
	1	38,00	11,87	30,60	25,20	18,57	<b>24,85 a</b>
	<b>Média</b>	<b>26,94</b>	<b>8,90</b>	<b>25,27</b>	<b>17,99</b>	<b>12,99</b>	
Pb (mg dm <sup>-3</sup> ) 0-20 cm	0	0,14	0,67	0,00	0,07	0,00	<b>0,18 a</b>
	1	0,44	0,32	0,10	0,09	0,00	<b>0,19 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,29</b>	<b>0,50</b>	<b>0,05</b>	<b>0,08</b>	<b>0,00</b>	
Pb (mg dm <sup>-3</sup> ) 20-40 cm	0	0,51	0,32	0,16	0,18	0,11	<b>0,26 a</b>
	1	0,86	0,08	0,22	0,22	0,02	<b>0,28 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,69</b>	<b>0,20</b>	<b>0,19</b>	<b>0,20</b>	<b>0,07</b>	

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 4

Teores de Zn e Fe na folha nova (FN), na folha velha (FV), no pecíolo novo (PN) e no pecíolo velho (PV) de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose de Silício (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
ZnFN	0	17,00	20,00	16,33	16,67	16,33	<b>17,27 a</b>
	1	15,00	14,00	16,33	14,67	16,33	<b>15,27 a</b>
	<b>Média</b>	<b>16,00</b>	<b>17,00</b>	<b>16,33</b>	<b>15,67</b>	<b>16,33</b>	
ZnPN	0	22,33	15,67	17,33	19,33	21,33	<b>19,20 a</b>
	1	21,67	23,33	20,67	29,00	23,00	<b>23,53 a</b>
	<b>Média</b>	<b>22,00</b>	<b>19,50</b>	<b>19,00</b>	<b>24,17</b>	<b>22,17</b>	
ZnFV	0	13,67	15,33	14,67	21,00	20,33	<b>17,00 a</b>
	1	15,00	12,00	14,67	15,67	16,67	<b>14,80 b</b>
	<b>Média</b>	<b>14,34</b>	<b>13,67</b>	<b>14,67</b>	<b>18,34</b>	<b>18,50</b>	
ZnPV	0	26,33	25,00	25,00	35,00	37,33	<b>29,73 a</b>
	1	23,67	25,33	23,00	36,67	46,00	<b>30,93 a</b>
	<b>Média</b>	<b>25,00</b>	<b>25,17</b>	<b>24,00</b>	<b>35,84</b>	<b>41,67</b>	
FeFN	0	106,00	154,00	96,67	126,67	126,67	<b>122,00 a</b>
	1	110,33	98,00	160,00	116,33	129,33	<b>122,80 a</b>
	<b>Média</b>	<b>108,17</b>	<b>126,00</b>	<b>128,34</b>	<b>121,50</b>	<b>128,00</b>	
FePN	0	67,00	61,00	56,00	67,33	55,67	<b>61,40 a</b>
	1	68,00	64,00	77,33	76,67	73,00	<b>71,80 a</b>
	<b>Média</b>	<b>67,50</b>	<b>62,50</b>	<b>66,67</b>	<b>72,00</b>	<b>64,34</b>	
FeFV	0	196,00	129,67	161,67	179,00	144,00	<b>162,07 a</b>
	1	133,67	149,00	178,33	160,33	174,67	<b>159,20 a</b>
	<b>Média</b>	<b>164,84</b>	<b>139,34</b>	<b>170,00</b>	<b>169,67</b>	<b>159,34</b>	
FePV	0	85,00	49,67	59,00	71,67	67,67	<b>66,60 a</b>
	1	49,67	55,00	59,67	112,00	67,00	<b>68,67 a</b>
	<b>Média</b>	<b>67,34</b>	<b>52,34</b>	<b>59,34</b>	<b>91,84</b>	<b>67,34</b>	

Nota: Para cada variável, médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

TABELA 5

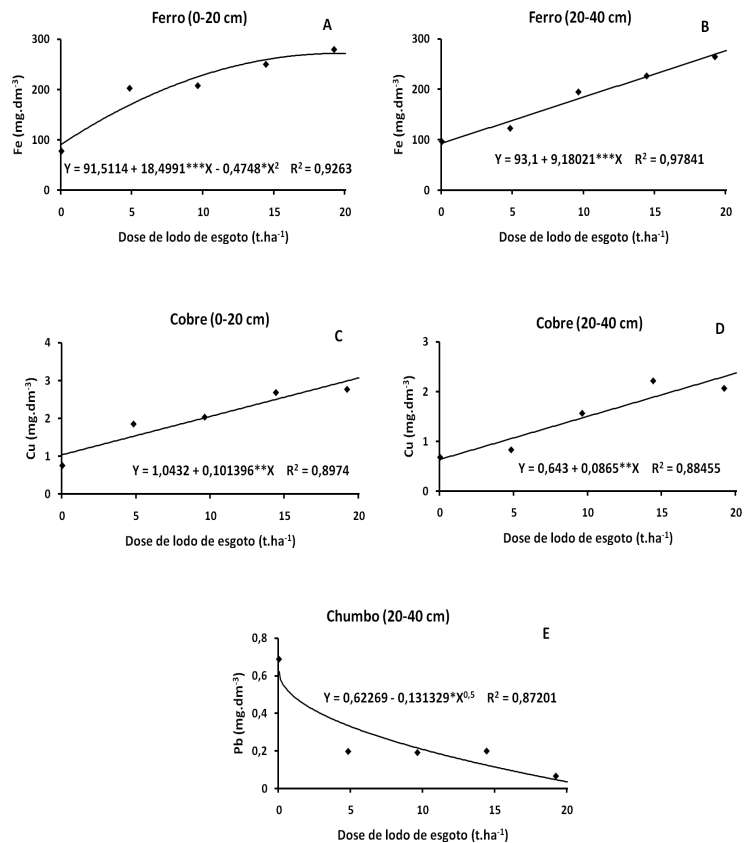
Teores de Mn, Cu e Ni na folha nova (FN), na folha velha (FV), no pecíolo novo (PN) e no pecíolo velho (PV) de pinhão manso adubado com lodo de esgoto e silicato de cálcio e magnésio

Variável	Dose de silício (t ha <sup>-1</sup> )	Dose de lodo de esgoto (t ha <sup>-1</sup> )					Média
		0	4,8	9,6	14,4	19,2	
MnFN	0	41,33	93,67	98,33	100,67	75,33	<b>81,87 a</b>
	1	48,67	49,67	36,00	48,67	116,67	<b>59,94 a</b>
	<b>Média</b>	<b>45,00</b>	<b>71,67</b>	<b>67,17</b>	<b>74,67</b>	<b>96,00</b>	
MnPN	0	26,00	102,67	128,33	114,33	68,00	<b>87,87 a</b>
	1	49,33	39,67	27,33	30,33	135,33	<b>56,40 a</b>
	<b>Média</b>	<b>37,67</b>	<b>71,17</b>	<b>77,83</b>	<b>72,33</b>	<b>101,67</b>	
MnFV	0	44,33	101,33	130,67	121,67	110,00	<b>101,60 a</b>
	1	89,33	53,67	47,67	68,00	161,00	<b>83,93 a</b>
	<b>Média</b>	<b>66,83</b>	<b>77,50</b>	<b>89,17</b>	<b>94,84</b>	<b>135,50</b>	
MnPV	0	58,33	105,00	130,33	129,67	70,00	<b>98,67 a</b>
	1	83,00	44,67	31,33	40,33	156,00	<b>71,07 a</b>
	<b>Média</b>	<b>70,67</b>	<b>74,84</b>	<b>80,83</b>	<b>85,00</b>	<b>113,00</b>	
CuFN	0	5,33	5,67	5,33	5,00	5,00	<b>5,27 a</b>
	1	4,67	4,00	3,67	4,33	5,00	<b>4,33 b</b>
	<b>Média</b>	<b>5,00</b>	<b>4,84</b>	<b>4,50</b>	<b>4,67</b>	<b>5,00</b>	
CuPN	0	4,67	4,00	6,00	4,67	5,67	<b>5,00 a</b>
	1	6,00	4,67	4,00	5,00	4,33	<b>4,80 a</b>
	<b>Média</b>	<b>5,34</b>	<b>4,34</b>	<b>5,00</b>	<b>4,84</b>	<b>5,00</b>	
CuFV	0	3,67	3,67	4,33	4,00	5,00	<b>4,13 a</b>
	1	4,33	4,00	3,33	4,00	4,67	<b>4,07 a</b>
	<b>Média</b>	<b>4,00</b>	<b>3,84</b>	<b>3,83</b>	<b>4,00</b>	<b>4,84</b>	
CuPV	0	4,67	6,33	5,00	4,33	3,00	<b>4,67 a</b>
	1	5,33	3,67	4,33	3,00	3,33	<b>3,93 a</b>
	<b>Média</b>	<b>5,00</b>	<b>5,00</b>	<b>4,67</b>	<b>3,67</b>	<b>3,17</b>	
NiFN	0	8,01	0,81	0,36	0,01	0,39	<b>1,92 a</b>
	1	0,04	0,24	0,52	0,40	0,88	<b>0,42 a</b>
	<b>Média</b>	<b>4,03</b>	<b>0,53</b>	<b>0,44</b>	<b>0,21</b>	<b>0,63</b>	
NiFV	0	1,57	1,77	1,55	0,01	0,31	<b>1,04 a</b>
	1	0,20	0,67	0,29	1,05	1,47	<b>0,74 a</b>
	<b>Média</b>	<b>0,89</b>	<b>1,77</b>	<b>0,92</b>	<b>0,53</b>	<b>0,89</b>	

Nota: Médias seguidas de mesma letra na vertical não diferem estatisticamente entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

Como a dose recomendada no capítulo anterior para a fertilização do pinhão manso com lodo de esgoto ficou em 11 t ha<sup>-1</sup>, os valores dos metais que ajustaram curva de modelo de regressão também foram expressos em relação a essa dose.

Os teores de ferro e de cobre no solo aumentaram com o incremento das doses de lodo de esgoto aplicadas (GRAF. 1a e 1b). Observa-se que o ferro e o cobre ajustaram curva de regressão ascendente nas duas profundidades analisadas 0-20 cm e 20-40 cm.



**GRÁFICO 1** - Teores de metais pesados no solo em relação a aplicação de lodo de esgoto

- (A) Ferro na camada de 0-20 cm
- (B) Ferro na camada de 20-40 cm
- (C) Cobre na camada de 0-20 cm
- (D) Cobre na camada de 20-40 cm
- (E) Chumbo na camada de 20-40 cm

Nota: \*, \*\*, \*\*\* significativos respectivamente a 5, 1 e 0,1 % de probabilidade, respectivamente, pelo teste t.

Na profundidade de 0 a 20 cm, a aplicação da dose de lodo de esgoto de 11 t ha<sup>-1</sup> promoveu aumento do teor de ferro de 91 mg dm<sup>-3</sup> para 237,55 mg dm<sup>-3</sup>, enquanto, na profundidade de 20-40 cm, o valor de 93 mg dm<sup>-3</sup> chegou a 194,08 mg dm<sup>-3</sup>. Esses valores são considerados como altos para a

fertilidade do solo, segundo Alvarez *et al.* (1999). Na resolução CONAMA<sup>10</sup>, não consta limites para o ferro como forma de restrição para aplicação do lodo de esgoto na agricultura. Valores próximos foram observados por Martins *et al.* (2003), que obtiveram concentrações de 380 mg dm<sup>-3</sup> de ferro no solo, com aplicação de 20 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em milho.

Em relação ao cobre no solo, a aplicação de 11 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto promoveu aumento de 1,04 mg dm<sup>-3</sup> para 2,16 mg dm<sup>-3</sup> na profundidade de 0-20 cm e 0,64 mg dm<sup>-3</sup> para 1,59 mg dm<sup>-3</sup> na profundidade de 20-40 cm (GRAF. 1c e 1d). Esses valores estão acima do considerado como alto, 1,8 mg dm<sup>-3</sup> e bom, 1,3-1,8 mg dm<sup>-3</sup>, respectivamente para fertilidade do solo, segundo Alvarez V. *et al.* (1999), porém, estão bem abaixo do limite permitido estabelecido pela resolução CONAMA de nº 375, que limita o valor em 68,5 mg dm<sup>-3</sup>. Tendo em vista que não foram utilizadas outras fontes desse elemento, os resultados apresentados corroboram com os citados anteriormente, indicando que o lodo de esgoto pode ser considerado uma fonte significativa de cobre. Alguns trabalhos evidenciam aumentos nos teores de cobre no solo de 7,5 mg dm<sup>-3</sup>, com aplicação de 20 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto em milho (MARTINS *et al.*, 2003) e de 0,95 mg dm<sup>-3</sup> de cobre com aplicação de 10 t ha<sup>-1</sup> desse resíduo em mamona (CHIARADIA *et al.*, 2009).

Os teores de chumbo no solo diminuiriam com o incremento das doses de lodo de esgoto aplicadas (GRAF. 1e). Com a aplicação de 11 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto, houve redução de 0,62 mg kg<sup>-1</sup> para 0,19 mg kg<sup>-1</sup>, nos teores de chumbo no solo. Chiba *et al.* (2008b), após dois anos de experimentação em campo, não evidenciaram efeito estatisticamente significativo da aplicação de 30 t ha<sup>-1</sup> de lodo de esgoto nos teores de cádmio, chumbo, cromo e níquel no solo. Efeitos deletérios de metais pesados no solo, a partir da aplicação de lodo de esgoto, são raros, tendo em vista que Anjos e Mattiazzo (2000) não relataram comprometimento da qualidade de dois solos com dose de até 388 t ha<sup>-1</sup> de lodo. Andreoli e Pegorini (2000) sustentam que

---

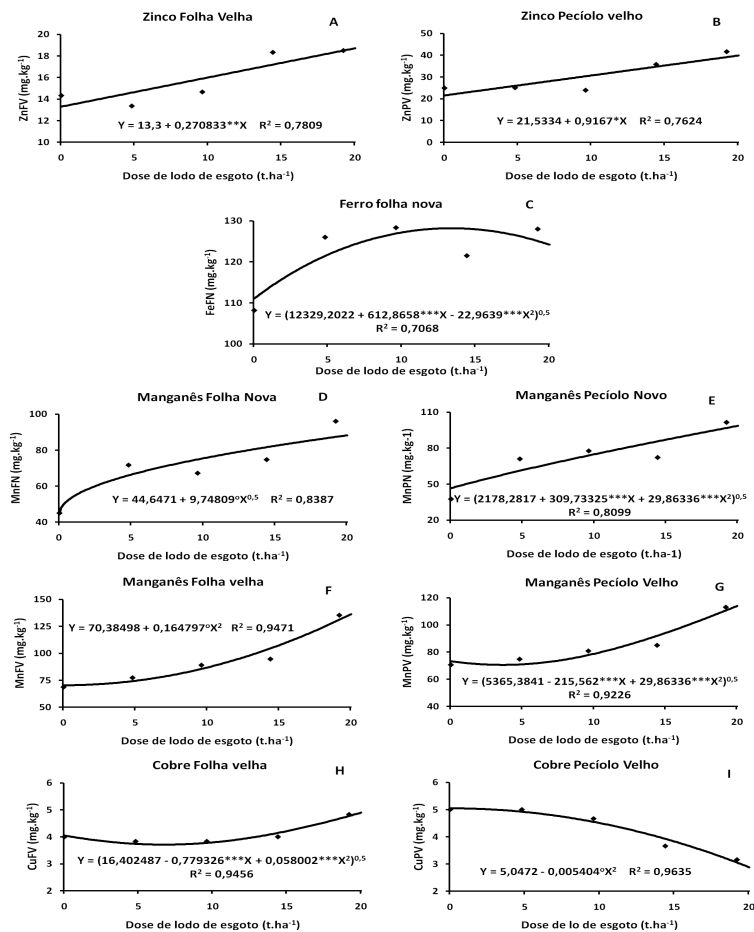
<sup>10</sup> Resolução CONAMA de nº 375 de 29 de agosto de 2006: Disponível em: <<http://4ccr.pgr.mpf.gov.br/institucional/grupos-de-trabalho/gt-aguas/resolucoes-conama-docs/res37506.pdf>> acesso em 25 de agosto de 2009.

o uso agrícola do lodo de esgoto foi exaustivamente pesquisado em todo o mundo, não havendo registro de nenhum efeito adverso sobre o ambiente, como, por exemplo, poluição com metais pesados, quando foi utilizado, seguindo qualquer uma das diferentes regulamentações existentes. Mesmo o lodo estando de acordo com a legislação ambiental, Chiaradia *et al.* (2009) ressaltam a importância da continuidade de mais pesquisas sobre o assunto, de preferência de longa duração.

Os teores de zinco no limbo e pecíolo da folha velha aumentaram linearmente, com as doses de lodo de esgoto aplicadas (GRAF. 2a e 2b). Com a aplicação da dose de  $11 \text{ t ha}^{-1}$ , a concentração máxima de zinco na folha velha foi de  $13,3 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $16,28 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto, no pecíolo da mesma folha foi de  $21,53 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $31,62 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esses valores encontram-se um pouco abaixo do encontrado por Laviola e Dias (2008) em folhas de pinhão manso, que foi de  $22,7 \text{ mg kg}^{-1}$ .

O ferro aumentou com o incremento das doses de lodo de esgoto apenas nas folhas novas (GRAF. 2c). A concentração máxima de ferro na folha ocorreu com a aplicação de  $9,6 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo, chegando ao valor de  $128 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esse valor encontra-se abaixo do encontrado por Laviola e Dias (2008) em folha de pinhão manso, que foi de  $150,5 \text{ mg kg}^{-1}$ .

O manganês ajustou-se a uma curva de regressão ascendente para todas as folhas e pecíolos de pinhão manso com o incremento das doses de lodo de esgoto (GRAF. 2d, 2e, 2f e 2g). Com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto, houve um aumento das concentrações das folhas novas de  $44,65 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $76,98 \text{ mg kg}^{-1}$ , pecíolo das folhas novas de  $46,67 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $77,45 \text{ mg kg}^{-1}$ , folhas velhas de  $70,38 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $90,33 \text{ mg kg}^{-1}$  e pecíolo das folhas velhas de  $73,25 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $81,29 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esses valores estão abaixo dos citados por Laviola e Dias (2008), que encontraram  $314,5 \text{ mg kg}^{-1}$  em folhas de pinhão manso. Convém destacar que Furlani (2004) recomenda a faixa de 20 a  $500 \text{ mg kg}^{-1}$  de manganês como adequada para o crescimento normal da maior parte das plantas.



**GRÁFICO 2 -** Teores de metais pesados em pinhão manso em resposta à aplicação de lodo de esgoto

- (A) Zn no limbo da folha velha
- (B) Zn no pecíolo da folha velha
- (C) Fe no limbo da folha velha
- (D) Mn no limbo da folha nova
- (E) Mn no pecíolo da folha nova
- (F) Mn no limbo da folha velha
- (G) Mn no pecíolo da folha velha
- (H) Cu no limbo da folha velha
- (I) Cu no pecíolo da folha velha

Nota: <sup>0</sup>, \*, \*\*, \*\*\* significativos a 10; 5; 1 e 0,1%, respectivamente, pelo teste t.

O cobre no limbo da folha velha aumentou com o incremento de doses de lodo de esgoto, enquanto, no pecíolo da folha nova, diminuiu (GRAF. 2h e

2l). Na folha velha, houve um aumento da concentração do cobre de  $1,04 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $3,85 \text{ mg kg}^{-1}$  e, no pecíolo da folha velha houve redução de  $5,05 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $4,39 \text{ mg kg}^{-1}$ , com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto. Chiaradia *et al.* (2009) encontraram  $10,6 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cu em folhas de mamona com aplicação de  $20 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto. Laviola e Dias (2008), em experimento com teor e acúmulo de nutrientes em pinhão manso, encontraram  $10 \text{ mg kg}^{-1}$  de Cu nas folhas.

Portanto, pode-se recomendar o lodo de esgoto para fertilização do pinhão manso em relação ao fornecimento de micronutrientes e que o uso de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto no solo não ultrapassa os limites estabelecidos para metais pesados pela legislação vigente para esse resíduo.



#### 4 CONCLUSÃO

Não há interação entre silicato de cálcio e magnésio e o lodo de esgoto em relação aos teores de metais pesados no solo e na planta.

A aplicação de silicato de cálcio e magnésio aumenta as disponibilidades de ferro, níquel, zinco e manganês no solo e diminui os teores de zinco e cobre em folhas de pinhão manso.

Os teores disponíveis de ferro e cobre no solo aumentam com o incremento de doses de lodo de esgoto, enquanto o teor de chumbo diminui.

Os teores de zinco, ferro, manganês e cobre no tecido foliar de pinhão manso aumentam com o incremento das doses de lodo de esgoto aplicadas.

Os teores de metais pesados no solo e na planta mantêm-se dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 375, com a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  de lodo de esgoto.

Recomenda-se a aplicação de  $11 \text{ t ha}^{-1}$  lodo de esgoto, sem adição de silicato de cálcio e magnésio ao solo, com pH próximo à neutralidade, para a cultura do pinhão manso.

**REFERÊNCIAS**

ACCIOLY, A. M. A.; SOARES, C. R. F. S.; SIQUEIRA, J. O. Silicato de cálcio como amenizante da toxidez de metais pesados em mudas de eucalipto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 2, p. 180-188, 2009.

ALCÂNTARA, M. A. K.; CAMARGO, O. A. Adsorção de nitrato em solos com cargas variáveis. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 40, n. 4, p. 369-376, abr. 2005.

ALCÂNTARA, R. L.; KONIG, A.; BELTRÃO, N. E. M.; GHEYI, H. R.; SANTOS, J. W.; CEBALLOS, B. S. O. Desempenho produtivo do algodoeiro herbáceo em função da aplicação de lodo de esgoto como fonte nutricional. In: CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA 4ª REGIÃO DA AIDIS/CONE SUL, 4., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2003. p. II-19.

ALCARDE, J. C. **Corretivo de acidez do solo**: características e interpretações. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos Agrícolas, 1992. 26 p. (Boletim Técnico, 6).

ALVAREZ, V. V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Orgs.) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5 aproximação. Viçosa, Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

ALVES, B. J. R.; BAÊTA, A. M.; ALVES, J. V. **Protocolo da Embrapa agrobiologia para análise de nitrogênio em adubos orgânicos, solo e tecidos**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, dez. 1999. 17 p. (Embrapa - CNPAB, Documentos, 100).

AMARAL SOBRINHO, N. M. B.; COSTA, L. M.; DIAS, I. E.; BARROS, N. F. Aplicação de resíduo siderúrgico em um latossolo: efeitos na correção do solo e na disponibilidade de nutrientes e metais pesados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 17, n. 2, p. 299-304, 1993.

ANDERSON, D. L.; BOWER, J. E. **Nutrição da cana-de-açúcar**. Piracicaba: Potafos, 1992. 40 p.

ANDRADE, C. A.; MATTIAZZO, M. E. Nitratos e metais pesados no solo após a aplicação de biossólido (lodo de esgoto) em plantações florestais de *Eucaliptus grandis*. **Scientia Florestalis**, v. 58, p. 59-72, 2000.

ANDREOLI, C. V.; FERENANDES, F.; DOMASZAK, S. C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto**: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Curitiba: SANEPAR, 1999. 82 p.

ANDREOLI, C. V.; FERNANDES, F.; DOMASZAK, S. C. **Reciclagem agrícola do lodo de esgoto**: estudo preliminar para definição de critérios para uso agrônômico e de parâmetros para normatização ambiental e sanitária. Curitiba: SANEPAR, 1999. 82 p.

ANDREOLI, C. V.; LARA, A. I.; FERREIRA, A. C.; BONNET, B. R. P.; PEGORINI, E. S.; R G K I. A gestão dos biossólidos gerados em estações de tratamento de esgoto doméstico. **Engenharia e Construção**, Curitiba, n. 24, set. 1998.

ANDREOLI, C. V.; PEGORINI, E. S. Gestão pública do uso agrícola do lodo de esgoto. In: BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds.). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: EMBRAPA Meio Ambiente, 2000. Cap. 18, p. 281-312.

ANJOS, A. R. M.; MATTIAZZO, M. E. Metais pesados em plantas de milho cultivadas em Latossolos repetidamente tratados com Biossólido. **Scientia Agricola**, n. 57, p. 769-776, 2000.

ARAUJO, N. C. Descrição: processo de cultivo do pinhão específico para o biodiesel e o processo de produção do pinhão em biodiesel. **Sistema Brasileiro de Respostas técnicas – SBRT**. Brasília, DF: Fundação Centro Tecnológica de Minas Gerais, 2005.

ARMSTRONG, W. Waterlogged soils. In: ETHERINGTON, J. R. **Environment and plant ecology**. 2. ed. London: John Wiley & Sons, 1982. Cap. 15, p. 290-332.

ARRUDA, F. P.; BELTRÃO, N. E. M.; ANDRADE, A. P.; PEREIRA, W. E.; SEVERINO, L. S. Cultivo do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) como alternativa para o semi-árido nordestino. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v. 8, n. 1, p. 789-799, 2004.

ASSUNÇÃO, M. P.; NIED, A. H.; VENDRUSCOLO, M. C.; FRASSON, D. B.; SOARES, V. M. Inflorescências do pinhão manso no primeiro e segundo ano agrícola submetido a diferentes fontes de adubação. In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNEMAT, 2. 2009, Barra do Bugres. **Anais...** Barra do Bugres : Universidade do Estado de Mato Grosso, 2009. Disponível em: <[http://www2.unemat.br/prppg/jornada2009/resumos\\_conic/Expandido\\_00096.pdf](http://www2.unemat.br/prppg/jornada2009/resumos_conic/Expandido_00096.pdf)> Acessado em: 15 dez. 2009.

BACKES, C.; LIMA, C. P.; FERNANDES, D. M.; GODOY, L. J. G.; KIIHL, T. A. M.; VILLAS BÔAS, R. L. Efeito do lodo de esgoto e nitrogênio na nutrição e desenvolvimento inicial da mamoneira. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 1, p. 90-98, jan./fev. 2009.

BETTIOL, W.; CAMARGO, A. O. **Lodo de esgoto**: impactos ambientais na agricultura. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2006. 349 p.

BETTIOL, W.; CAMARGO, O. A. (Eds). **Impacto ambiental do uso agrícola do lodo de esgoto**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2000. 312 p.

BEZERRA, L. J. D.; LIMA, V. L. A.; ANDRADE, A. R. S.; ALVES, V. W.; AZEVEDO, C. A. V.; GUERRA, H. O. C. Análise de crescimento do algodão colorido sob os efeitos da aplicação de água residuária e biossólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, p. 333-338, 2005. Suplemento.

BRASIL. Ministério da Indústria e do Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial. **Produção de combustíveis líquidos a partir de óleos vegetais**. Brasília, DF: Ministério da Indústria e do Comércio, 1985. 364 p. (Documentos, 16).

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). Resolução n. 375, de 29 de agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 30 ago. 2006. Disponível em: <[http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res\\_conama37506.pdf](http://www.fundagres.org.br/biossolido/images/downloads/res_conama37506.pdf)>. Acesso em: 25 ago. 2009.

BRUCKNER, C. H. **Maracujá**: tecnologia de produção, pós colheita, agroindústria e mercado. Porto Alegre: Cinco Continentes, 2001. 472 p.

CAIRES, E. F.; FONSECA, A. F.; FELDHAUS, I. C.; BLUM, J. Crescimento radicular e nutrição da soja cultivada no sistema plantio direto em resposta ao calcário e gesso na superfície. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 1029-1040, 2001.

CALDEIRA JÚNIOR, C. F.; SOUZA, R. A.; SANTOS, A. M.; SAMPAIO, R. A.; MARTINS, E. R. Características químicas do solo e crescimento de *Astronium fraxinifolium* Schott em área degradada adubada com lodo de esgoto e silicato de cálcio. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 56, n. 1, p. 213-218. 2009.

CAMPOS, F. S.; ALVES, M. C. Uso de lodo de esgoto na reestruturação de solo degradado. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 32, p. 1389-1397, 2008.

CARNEIRO J. G. A. **Determinação da qualidade de mudas de *Pinus taeda* L. para plantio definitivo**. 1976. 70 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, 1976.

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; SANTOS, C. D.; FERNANDES, L. A.; CURI, N.; RODRIGUES, D. C. Interações silício-fósforo em solos cultivados com eucalipto em casa-de-vegetação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 3, p. 557-565, mar. 2001.

CARVALHO-PUPATTO, J. G.; BÜLL, L. T.; CRUSCIOL, C. A. C. Atributos químicos do solo, crescimento radicular e produtividade do arroz de acordo com a aplicação de escórias. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, n. 12, p. 1213-1218, dez. 2004.

CHÉRIF, M.; ASSELIN, A.; BÉLANGER, R. R. Defense responses induced by soluble silicon in cucumber roots infected by *Pythium* spp. **Phytopathology**, v. 84, p. 236-242, 1994.

CHÉRIF, M.; MENZIES, J. G.; BENHAMOU, N; BÉLANGER, R. R. Studies of silicon distribution in wounded and *Pythium ultimum* infected cucumber plants. **Physiology Molecular and Plant Pathology**, v. 41, p. 371-385, 1992.

CHIARADIA, J. J.; CHIBA, M. K.; ANDRADE, C. A.; OLIVEIRA, C.; LAVORENTI, A. Produtividade e nutrição de mamona cultivada em área de reforma de canavial tratada com lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 33, p. 701-709, 2009.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: I - Disponibilidade de nitrogênio no solo e componentes de produção. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 32, p. 643-652, 2008a.

CHIBA, M. K.; MATTIAZZO, M. E.; OLIVEIRA, F. C. Cultivo de cana-de-açúcar em Argissolo tratado com lodo de esgoto: II - Fertilidade do solo e nutrição da planta. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, n. 32, p. 653-662, 2008b.

CLAUSSEN, W.; LENS, F. Effect of ammonium and nitrate on net photosynthesis, flower formation, growth and yield of eggplants (*Solanum melongena* L.). **Plant and Soil**, Netherlands, v. 171, p. 267-274, 1995.

COLODRO, G. **Recuperação de solo de área de empréstimo com lodo de esgoto**. 2005. 82 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL – CETESB. **Função de uma Estação de Tratamento de Esgoto**. [19-?]. Disponível em: [www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Fun%E7%E3o%20de%20uma%20Esta%E7%E3o%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.doc](http://www.ceset.unicamp.br/~mariaacm/ST405/Fun%E7%E3o%20de%20uma%20Esta%E7%E3o%20de%20Tratamento%20de%20Esgoto.doc). Acesso em: 25 ago. 2009.

CORREA, R. S. Efficiency of five biosolids to supply nitrogen and phosphorus to ryegrass. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 1, p. 133-1139, 2004.

DANGE, V.; SUTHAR, D.; REDDY, P. S. Biodiesel through *Jatropha curcas*: a critical analysis. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (Eds.), Biodiesel Conference Towards Energy Independence. **Focus on Jatropha**, India, v. 9, n. 10, p. 31-36, June, 2006.

DATNOFF, L. E.; RAID, R. N.; SNYDER, G. H.; JONES, D. B. Effect of calcium silicate slag on blast and brown spot intensities and yield of rice. **Plant Disease**, v. 75, p. 729-732, 1991.

DAVID, A. C.; TSUTIYA, M. T. Secagem térmica de biossólidos na região metropolitana de São Paulo. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL - AIDIS. **Saneamento ambiental: desafio para o século 21**. Rio de Janeiro: ABES, 2001. p. 1-7.

DESCHAMPS, C.; FAVARETTO, N. Efeito do lodo de esgoto na produtividade e desenvolvimento das culturas. In: ANDREOLI, C. V.; LARA, I. de; FERNANDES, F. (Orgs.). **Reciclagem de biossólidos: transformando problemas em soluções**. 2. ed. Curitiba: Sanepar, Finep, 2001. Cap. 17, p. 181-192.

DIAS, L. A. S.; LEME, L. P.; LAVIOLA, B. G.; PALLINI FILHO, A.; PEREIRA, O. L.; CARVALHO, M.; MANFIO, C. E.; SANTOS, A. S.; SOUSA, L. C. A.; OLIVEIRA, T. S.; DIAS, D. C. F. S. **Cultivo de pinhão manso (*Jatropha curcas* L.) para produção de óleo combustível**. Viçosa, 2007. v. 1. 40 p.

DJIK, E.; ECK, N. Ammonium toxicity and nitrate response of axenically grown dactylorhiza-incarnata seedlings. **New Phytologist**, n. 131, p. 361-367, 1995.

ELAWAD JUNIOR, S. H.; GREEN, V. E. Silicon and the rice plant environment: a review of recent research. **Revista IL Riso**, v. 28, p. 235-253, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Manual de métodos de análise de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1997. 212 p.

EPSTEIN, E. Photosynthesis, inorganic plant nutrition, solutions and problems. **Photosynthesis research**, v. 46, p. 37-39, 1995.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology**, v. 50, p. 641-664, 1999.

EPSTEIN, E. The anomaly of silicon in plant biology. **Proceedings of National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 91, p. 11-17, 1994.

EXLEY, C. Silicon in life: a bioinorganic solution to bioorganic essentiality. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 69, p. 139-144, 1998.

FERNANDES, F.; WEIGERT, W.; ANDREOLI, C. V. Gestão e controles operacionais aplicados à reciclagem agrícola de biossólidos na região metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS, 1., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.

FERNANDEZ, F. A.; BULL, L. T.; CORREA, J. C.; CRESPIAM, D. R. Influência de silicato e calcário na decomposição de resíduos culturais e disponibilidade de nutrientes ao feijoeiro. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 33, n. 4, p. 935-945, 2009.

FIGUEIREDO, T. L.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. **Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal**, v. 7, n. 3, p.16-25, 2007.

FONSECA, I. M.; PRADO, R. M.; VIDAL, A. A.; NOGUEIRA, T. A. R. Efeito da escória, calcário e nitrogênio na absorção de silício e na produção do capim-marandu. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 1, p. 221-232, 2009.

FOSKET, D. E. **Plant growth and development: a molecular approach**. San Diego: Academic Press, 1994. 580 p.

FRIESEN, D. K.; SANZ, J. I.; CORREA, F. J.; WINSLOW, M. D.; OKADA, K.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon deficiency of upland rice on highly weathered savanna soils in Colombia. I. Evidence of a major yield constraint. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ARROZ PARA A AMÉRICA LATINA E PARA O CARIBE, 9., 1994, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 1994.

FURLANI, A. M. C. Nutrição mineral. In: KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2004. p. 40-75.

GALDOS, M. V.; DE MARIA, I. C.; CAMARGO, O. A. Atributos químicos e produção de milho em um latossolo vermelho eutroférico tratado com lodo de esgoto. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 28, n. 3, p. 569-577, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbcs/v28n3/a17v28n3.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

GARBOSSA, L. H. P. **Avaliação de sistemas anaeróbio-aeróbio com biomassa imobilizada para remoção de matéria carbonácea e nitrogênio de esgoto sanitário e uso de biogás na desnitrificação.** 2006. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

GIROTTO, E.; CERETTA, C. A.; BASSO, C. J.; MOREIRA, I. C. L.; TRENTIN, E. E. Perdas de potássio, cálcio e magnésio por lixiviação com o uso de esterco líquido de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Artigos...** Ribeirão Preto, 2003. Disponível em: <<http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/LINKS%20DO%20CBCS%202003/CBCS2003%20EM%20PDF/04.pdf>>. Acesso em: 15 dez. 2009.

GOUR, V. K. Production practices including post harvest management of *Jatropha curcas*. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (Eds.), Biodiesel Conference Towards Energy Independence. **Focus on Jatropha**, New Delhi, p. 9-10, 2006.

GUIMARÃES, A. S. **Crescimento inicial do pinhão manso (*Jatropha curcas* L 1753.) em função de fontes e quantidades de fertilizantes.** 2008. 92 f. Tese (Doutorado em Ecologia Vegetal e Meio Ambiente) – Universidade Federal da Paraíba, 2008. Disponível em <<http://www.cca.ufpb.br/Ppga/bibliodigital-teses1.htm>>. Acesso em: 14 dez. 2009.

GUIMARÃES, A. S.; MACEDO, B. N. E.; COSTA, S. G. Fontes e doses crescentes de adubos orgânicos e mineral no crescimento inicial de pinhão manso. In: CONGRESSO DA REDE BRASILEIRA DE TECNOLOGIA DE BIODIESEL, 2., 2007, Brasília, DF. **Anais eletrônicos...** Brasília, DF, 2007. Disponível em: <<http://www.biodiesel.gov.br/docs/congresso2007/agricultura/45.pdf>>. Acesso em: 29 out. 2009.

HELLER, J. **Physic nut (*Jatropha curcas* L.):** promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops 1. IBPGR 161. Roma: IBPGR, 1996. 66 p.

KANG, B. T. Changes in soil chemical properties and crop performance with continuous cropping on an Entisol in the humid tropics. In: MULONGOY, K.; R. MERCKX (Eds.). **Soil organic matter dynamics and sustainability of tropical agriculture.** New York: John Wiley e Sons. 1993. 392 p.

KITAMURA, A. E.; ALVES, M. C.; SUZUKI, L. G. A. S.; GONZALEZ, A. P. Recuperação de um solo degradado com a aplicação de adubos verdes e lodo de esgoto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 32, p. 405-416, 2008.

KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E. Adubação com silício: uma alternativa no controle de doenças da cana-de-açúcar e do arroz. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, v. 70, n.1, p. 1-5. 1995.



KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICAG, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).

KORNDÖRFER, G. H.; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M. S. **Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura**. Uberlândia: UFU/ICAG, 2002. 23 p. (Boletim técnico, 1).

LAVIOLA, B. G.; DIAS, L. A. S. Teor e acúmulo de nutrientes em folhas e frutos de pinhão manso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, n. 5, p. 1969-1975, 2008.

LAVIOLA, B. G.; MARTINEZ, H. E. P.; SOUZA, R. B.; ALVAREZ V. V. H. Dinâmica de N e K em folhas, flores e frutos de cafeeiro arábico em três níveis de adubação. **Bioscience Journal**., n. 22, p. 33-47, 2006.

LEWIS, O. A. M. **Plants and nitrogen**. London: Cambridge Press, 1986. 100 p.

LOBO, T. F. **Níveis de lodo de esgoto no desenvolvimento, nutrição e produtividade da cultura do girassol**. 2006. 64 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

MA, J. F. Role of silicon in enhancing the resistance of plants to biotic and abiotic stresses. **Soil Science and Plant Nutrition**, v. 50, p.11-18, 2004.

MACHADO, M. F. S. **A situação brasileira dos bio sólidos**. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, SP, 2001.

MAGUIRE, R. O.; SIMS, J. T.; COALE, F. J. Phosphorus solubility in biosolids-amended farm soils in the Mid-Atlantic region of the USA. **Journal Environmental Quality**, n. 29, p. 1225-1233, 2000.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: Potafos, 1989. 201 p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2. ed. New York: Academy Press, 1995. 887 p.

MARTINEZ, H. E. P.; CARVALHO, J. G.; SOUZA, R. B. Diagnose Foliar. In: RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Orgs.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5 aproximação**. Viçosa: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999. Cap.17, p. 143-168.

MARTINS, A. L. C.; BATAGLIA, O.; CAMARGO, O. A.; CANTARELLA, H. Produção de grãos e absorção de Mn e Zn pelo milho em solo adubado com lodo de esgoto, com e sem calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 563-574, 2003.

MATTOS JUNIOR, D.; QUAGGIO, J. A.; CANTARELLA, H.; ALVA, A. K. Nutrient content of biomass components of Hamlin sweet orange trees. **Scientia Agricola**, n. 60, p. 155-160, 2003.

MATYCHENKOV, V. V.; PINSKLY, D. L.; BOCHARNIKOVA, Y. A. Influence of mechanical compaction of soils on the state and form of available silicon. **Eurasian Soil Science**, v. 27, n. 12, p. 58- 67, 1995.

MAUAD, M.; GRASSI FILHO, H.; CRUSCIOL, C. A. C.; CORRÊA, J. C. Teores de silício no solo e na planta de arroz de terras altas com diferentes doses de adubação silicatada e nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 27, p. 867-873, 2003.

MELO, W. J.; MARQUES, M. O.; MELO, V. P. O uso agrícola do biossólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J. B.; ALEM SOBRINHO, P.; HESPANHOL, I.; NAVAS, A.; BERMÚDEZ, F.; MACHÍN, J. Influence of sewage sludge application on physical and chemical properties of Gypsisols. **Geoderma**, n. 87, p.123-135, 2002.

MESSIAS, A. S.; SILVA, H. A.; LIMA, V. N.; SOUZA, J. E. G. Avaliação da mobilidade de micronutrientes em solo tratado com lodo de esgoto. **G&DR**, v. 3, n. 3, p. 193-211, set./dez. 2007.

MIELNICZUK, J. Matéria orgânica e a sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: SANTOS, G. A; CAMARGO, F. A. O. (Ed.), **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. Cap. 1, p. 1-8.

MILLER, A. J.; CRAMER, M. D. Root nitrogen acquisition and assimilation. **Plant Soil**, n. 274, p. 1-36, 2004.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C.; OLIVEIRA, A. B. Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto. **Revista Brasileira Ciência Solo**, v. 28, n. 2, p. 385-392, 2004.

NEUMANN, D.; ZUR NIEDEN, U. Silicon and heavy metal tolerance of higher plants. **Phytochemistry**, v. 56, p. 685-692, 2001.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV/DPS, 1999. 399 p.

NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F.; LEITE, F. P.; TEIXEIRA, J. L.; LEAL, P. G. L. **Eficiência agrônômica de escórias da Siderúrgica Pains**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1993. 110 p.

OLIVEIRA, F. C.; MATIAZZO, M. E.; MARCIANO, C. R.; ROSSETO, R. Efeitos de aplicações sucessivas de lodo de esgoto em Latossolo Amarelo distrófico cultivado com cana-de-açúcar: carbono orgânico, condutividade elétrica, pH e CTC. **Revista Brasileira Ciência Solo**, n. 26, p. 505-519. 2002.

OLIVEIRA, J. P. B.; LOPES, J. C.; ALEXANDRE R. S.; JASPER, A. P. S.; SANTOS, L. N. S.; OLIVEIRA, L. B. Efeito do lodo de esgoto no desenvolvimento inicial de duas cultivares de mamona em dois tipos de solos. **Engenharia Ambiental**, Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n. 2, p. 174-180, maio /ago. 2009.

OWEN, A. G.; JONES, D. L. Competition for amino acids between wheat roots and rhizosphere microorganisms and the role of amino acids in plant N acquisition. **Soil Biology Biochemistry**, n. 33, p. 651-657, 2001.

PACHECO, D. D. ; SATURNINO, H. M. ; MENDES, L. D. ; SOARES, F. R. ; PAULA, T. O. M. ; PRATES, F. B. S. ; SOUZA, L. C. A. **Produção de massa vegetal e composição mineral de plantas de pinhão manso**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 3., 2006, Varginha. **Biodiesel: evolução tecnológica e qualidade**, Varginha, 2006.

PACHECO, D. D.; GONÇALVES, N. P.; SATURNINO, H. M.; ANTUNES, P. D. Teores foliares de nutrientes em mamoneiras (*Ricinus communis*) adubadas com doses variadas de NPK em solo de chapada da bacia do Rio Jequitinhonha. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 1. p. 224-231, 2008.

PAXTON, J. D. Assays for antifungal activity. **Methods in Plant Biochemistry**, v. 6, p. 33-46, 1991.

PEIXOTO, A. R. **Plantas oleaginosas arbóreas**. São Paulo: Nobel, 1973. 282 p.

PRADO, R. M.; COUTINHO, E. L. M.; ROQUE, C. G.; VILLAR, M. L. P. Avaliação da escória de siderurgia e de calcários como corretivos da acidez do solo no cultivo da alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 539-546, 2002.

PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia na disponibilidade de fósforo de uma Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, 2001.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Aplicação do silicato de cálcio em Argissolo Vermelho no desenvolvimento de mudas de maracujazeiro. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v. 26, n. 4, p. 387-393, 2004.

PRADO, R. M.; NATALE, W. Efeito da aplicação de silicato de cálcio no crescimento, no estado nutricional e na produção de matéria seca de mudas de maracujazeiro. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental**, v.9, n.2, p. 185-190. 2005.

PRATES, F. B. S. **Crescimento inicial de pinhão manso em função de diferentes profundidades da cova e formas de adubação com lodo de esgoto em área degradada**. 2007. 35 f. Monografia (Especialização em Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias da UFMG, Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros, 2007.

RAFI, M. M.; EPSTEIN, E.; FALK, R. H. Silicon deprivation causes physical abnormalities in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Journal of Plant Physiology**, v.151, p. 497-501, 1997.

REI, E. F.; MAIA, L. R.; ARAUJO, G. L.; GARCIA, G. O.; PASSO, R. R. Alterações no pH, matéria orgânica e ctc efetiva do solo, mediante a aplicação elevadas doses de lodo de esgoto em diferentes intervalos de irrigação. **Revista Verde**, Mossoró, v. 4, n. 2, p. 31-38, 2009.

RIBEIRO A. C.; GUIMARÃES P. T. G.; ALVAREZ V., V. H. (Orgs.) **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5 aproximação**. Viçosa: 1999. 356 p.

SAMUELS, A. L.; GLASS, A. D. M.; EHRET, D. L.; MENZIES, J. G. Mobility and deposition of silicon in cucumber plants. **Plant, Cell and Environment**, v. 14, p. 458-492, 1991.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; GONÇALVES, N. P.; LOPES, H. F. Caracterização físico-química de alguns solos cultivados com pinhão manso no estado de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 2., 2005, Varginha. **Resumos Expandidos...** Varginha, 2005a. 1 CD-ROM.

SATURNINO, H. M.; PACHECO, D. D.; KAKIDA, J.; TOMINAGA, N.; GONÇALVES, N. P. Cultura do pinhão manso (*Jatropha curcas* L.). **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: EPAMIG, v. 26, n. 229, p. 44-73, 2005b.

SAVANT, N. K.; KORNDÖRFER, G. H.; DATNOFF, L. E.; SNYDER, G. H. Silicon nutrition and sugarcane production: a review. **Journal of Plant Nutrition**, v. 12, n. 22, p.1853-1903, 1999.

SHARMA, N. The *Jatropha* experience: Andhra Pradesh. In: SINGH, B.; SWAMINATHAN, R.; PONRAJ, V. (Eds.). Biodiesel Conference Towards Energy Independence. **Focus on Jatropha**, v. 9, n. 10, June, India, 2006, p. 9-15.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S. Características agrotecnológicas, teores de nutrientes e de metais pesados em cana-de-açúcar (soqueira), cultivada em solo adubado com o lodo de esgoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DO SOLO. 25., Viçosa, 1995. **Anais...**Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, 1995. p. 2279-2287.

SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; MENDONÇA, E. Cana-de-açúcar cultivada em solo adubado com lodo de esgoto: Nutrientes, metais pesados e produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1-8, 1998.

SILVA, J. A. **Plant mineral nutrition**: yearbook of science and technology. New York: McGraw-Hill Book, 1973.

SIMONETE, M. A.; KIEHL, J. C.; ANDRADE, C. A.; TEIXEIRA, C. F. A. Efeito do lodo de esgoto em um Argissolo e no crescimento e nutrição de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, n. 38, p. 1187-195, 2003.

STARK, J. M.; HART, S. C. High rates of nitrification and nitrate turnover in undisturbed coniferous forests. **Nature**, n. 385, p. 61-64, 1997.

TAKAHASHI, E. Uptake mode and physiological functions of silica. In: MATSUO, T.; KUMAZAWA, K.; ISHII, R.; ISHIHARA, K.; HIRATA, H (Eds.). Science of the rice plant: physiology. **Tokyo**: Food and Agriculture Police Research Center, 1996. Cap. 5, p. 420-433.

TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN H.; VOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: Departamento de Solos/UFRGS. 174 p. 1995. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, L. C. Potencialidades de oleaginosas para produção de biodiesel. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte: EPAMIG, v. 26, n. 229, p. 18-27, 2005.

TSUTIYA, M. T.; COMPARINI, J. B.; SOBRINHO, P. A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P. C. T.; MELFI, A. J.; MELO, W. J.; MARQUES, M. O. **Biossólidos na agricultura**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2002. 468 p.

VIEIRA, R. F.; CARDOSO, A. A. Variações nos teores de nitrogênio mineral em solo suplementado com lodo de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, n. 7, p. 867-874, 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 1995, 240 p.

WANKE, R. Plano de gerenciamento de lodos para pequenas estações de tratamento de esgoto sanitário no município de Linhares-ES. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE BIOSSÓLIDOS, 1., 2003, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 2003.

WERLE, R.; GARCIA, R. A.; ROSOLEM, C. A. Lixiviação de potássio em função da textura e da disponibilidade do nutriente no solo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 32, p. 2297-2305, 2008.

WERNER, D.; ROTH, R. Silica metabolism. In: LAUCHLI, A; BIELESKI, R. L (Ed.). **Encyclopedia of plant physiology**: new series. Berlin: Springer-Verlag, v. 15, p. 682-694, 1983.