

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINÁ GRANDE
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

MESTRADO

DISSERTAÇÃO

EFEITO DA ADIÇÃO DE LODO DE CURTUME SOBRE PROPRIEDADES
QUÍMICAS DE SOLO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE
PIMENTÃO (*Capsicum annum* L)

SPACHSON MELO DE SOUZA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
JUNHO - 2007



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
PRÓ - REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: IRRIGAÇÃO E DRENAGEM

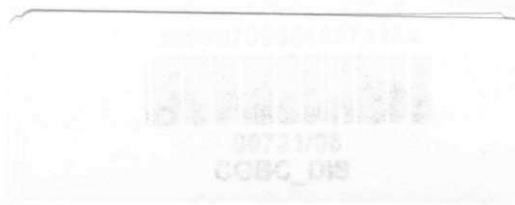
EFEITO DA ADIÇÃO DE LODO DE CURTUME SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS
DE SOLO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE PIMENTÃO (*Capsicum annum L*)

ORIENTADORA: Dra. LÚCIA HELENA G. CHAVES

MESTRANDO: SPACHSON MELO DE SOUZA

CAMPINA GRANDE - PB

JUNHO - 2007



SPACHSON MELO DE SOUZA

ENGENHEIRO AGRÔNOMO

EFEITO DA ADIÇÃO DE LODO DE CURTUME SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS DE SOLO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE PIMENTÃO (*Capsicum annum* L)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.

ORIENTADORA: Profa.: Dra. LÚCIA HELENA G. CHAVES – UFCG/CTRN/DEAg

**CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
JUNHO - 2007**



S729e Souza, Spachson Melo de
Efeito da adicao de lodo de curtume sobre propriedades
quimicas de solo e desenvolvimento da cultura de pimentao
(Capsicum annum L) / Spachson Melo de Souza.- Campina
Grande, 2007.
55 f. : il.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Agricola) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de
Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Acidez de Solo 2. Residuo Industrial 3. Cromo 4.
Dissertacao I. Chaves, Lucia Helena Garofalo, Dra. II.
Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande
(PB) III. Título

CDU 631.415(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

SPACHSON MELO DE SOUZA

EFEITO DA ADIÇÃO DE LODO DE CURTUME
SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS DE SOLO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA
DE PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.)

BANCA EXAMINADORA

PARECER


Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves - Orientadora


Aprovado


Dr. Hugo Orlando Carvallo Guerra - Examinador


Aprovado


Dr. Iêde de Brito Chaves - Examinador


Aprovado

JUNHO - 2007

MINHA HOMENAGEM

Aos meus queridos pais, Antonio Alves de Souza e Margarida Melo de Souza, com humildade e trabalho serão exemplos de vida, aos quais rendo minha eterna gratidão por minha formação moral e intelectual. Aos meus irmãos, Nancy Melo de Souza, Starch Melo de Souza e minha sobrinha Victoria Melo de Souza Marinho, parentes e amigos. A Gabriela Gadelha Cartaxo, que em todos os momentos incentivou, dando-me ânimo para realização deste trabalho.

OFEREÇO E DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela sua infinita bondade, me concedendo mais uma vitória em minha vida.

Aos meus queridos pais e irmãos, pelo incentivo, determinação e esforço e sem eles a vida não teria sentido.

A minha namorada pelos incentivos nas horas de desânimos e o companheirismo em todos os momentos.

À coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da UFCG pelo consentimento desta oportunidade.

À Coordenação do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por conceder bolsa de estudo.

A orientadora Profa.: Dra. Lúcia Helena Garófalo Chaves, pelos ensinamentos durante todo o transcorrer deste trabalho e redação final, pela compreensão das dificuldades enfrentadas em toda a pesquisa.

Ao Prof.: Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, pelos conhecimentos científicos repassados.

Ao Prof.: Dr. Iêde Brito Chaves, que me apoiou durante esta difícil jornada, pelos ensinamentos passados e a valiosa amizade.

Ao Centro de Ciências Agrárias CCA – UFPB, na pessoa do Prof.; Adailson Pereira de Sousa.

A todos os amigos conquistados neste período de convivência e durante a realização deste trabalho, e em especial a Jacqueline, Luis Nery, João Herbert, Gilson, Lamarque, Adriano, Rogério, João Falcão, Josilda, Márcia, e aos amigos de todos os momentos.

Ao corpo docente do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo compartilhamento dos conhecimentos e a todos os funcionários e colegas do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS), pela amizade e colaboração deste trabalho.

Enfim, a todos que de forma direta e indiretamente colaboraram fazendo parte na realização e elaboração deste trabalho.

Agradeço.

ÍNDICE

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	3
2.1 Objetivo Geral:.....	3
2.2 Objetivos Específicos:.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Resíduos gerados no processamento das peles.....	4
3.2. Metais pesados.....	5
3.3. Fitodisponibilidade dos metais pesados.....	7
3.4. Uso do lodo na agricultura.....	8
3.5. Cultura do Pimentão (<i>Capsicum annum</i> L.).....	11
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4.1. Local do trabalho.....	13
4.2. Solo.....	13
4.3. Lodo.....	15
4.4. Curva de neutralização.....	15
4.5. Efeito do lodo de curtume nas propriedades químicas do solo e desenvolvimento da cultura do pimentão.....	17
4.5.1. Condução do experimento.....	17
4.5.2. Análises do solo e da fitomassa.....	18
4.5.2.1. Análise do solo.....	18
a). pH.....	19
b). Condutividade elétrica (CEa).....	19
c). Cátions trocáveis, fósforo assimilável, carbono orgânico.....	19
d). Cátions e ânions solúveis.....	19
e). Cromo.....	20
4.5.2.2. Análise da fitomassa.....	20

4.5.3. Variáveis analisadas da cultura	21
4.5.3.1. Altura das plantas (AP) e número de folhas (NF).....	21
4.5.3.2. Diâmetro do caule (DC).....	21
4.5.3.3. Área foliar (AF).....	21
4.5.3.4. Razão da área foliar (RAF).....	21
4.5.3.5. Fitomassa seca da parte aérea.....	22
4.5.3.6. Relação raiz/parte aérea.....	22
4.6. Avaliação estatística	22
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
5.1. Curva de neutralização do solo.....	23
5.2. Alterações nos atributos químicos do solo.....	30
5.3. Alterações nas variáveis de crescimento.....	39
5.4. Níveis de lodo no pimentão	45
6. CONCLUSÕES	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

LISTA DE FIGURAS

Figuras	Página
1 - Variação do pH em função dos tratamentos carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores a que do carbonato de cálcio, durante o período de incubação.....	23
2 - Curvas de neutralização do solo após 40 dias de incubação com carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores a que do carbonato de cálcio.....	24
3 - Incremento do pH em água, do solo, após 40 dias de incubação com os respectivos tratamentos.....	25
4 - Relação entre o pH em KCl e o pH em água em solos tratados com carbonato de cálcio e lodo de curtume.....	26
5 - Efeito da condutividade elétrica sobre a diferença entre o pH em KCl e em água (Delta pH) das amostras de solo tratadas com carbonato de cálcio e lodo de curtume nas proporções 10 e 20 vezes maior que carbonato de cálcio.....	27
6 - Variação da condutividade elétrica pH em função dos tratamentos carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores a que do carbonato de cálcio, durante o período de incubação.....	28
7 - Variação da condutividade elétrica do solo após 40 dias de incubação com carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores a que do carbonato de cálcio.....	29
8 - Variação do teor de sódio trocável e da porcentagem de sódio trocável (PST) em função das doses de lodo de curtume.....	32
9 - Variação do cromo no solo em função das doses crescentes de lodo de curtume.....	33
10 - Variação do sódio solúvel e da condutividade elétrica do extrato de saturação e da RAS em função das doses de lodo de curtume.....	37
11 - Evolução dos parâmetros de crescimento da parte aérea aos 30, 60 e 100 dias após o transplante das mudas de pimentão em função das doses de lodo de curtume.....	40
12 - Evolução do número de folhas, diâmetro de caule e altura da planta aos 100 dias, em função das doses crescente do lodo de curtume.....	41

13 - Evolução da área foliar, razão de área foliar, fitomassa da parte aérea e relação raiz/parte aérea aos 100 dias, em função das doses crescente do lodo de curtume.....	43
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabelas	Página
1 - Características químicas e físico-hídricas do solo.....	14
2 - Caracterização do biossólido utilizado no experimento, produzido pela ETE - Centro de Tecnologia do Couro e do Calçado - CTCC Albano Franco (elementos totais, base seca). 15	
3 - Quantidades de carbonato de cálcio (CaCO_3) e de lodo de curtume utilizadas nos tratamentos: (1) CaCO_3 , (2), (3) e (4) lodo de curtume na mesma quantidade, 10 e 20 vezes maior que a do CaCO_3 , respectivamente.....	16
4 - Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias das concentrações de cátions trocáveis do complexo sortivo e de cromo do solo.....	31
5 - Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias dos teores de fósforo e matéria orgânica e médias da capacidade de troca catiônica e porcentagem de sódio trocável.....	35
6 - Resumo da análise de variância e médias do pH e das concentrações de cálcio, magnésio, potássio e sódio no extrato de saturação.....	36
7 - Resumo da análise de variância e médias da condutividade elétrica (CEes), razão de adsorção de sódio (RAS) e das concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) e cloreto (Cl^-) do extrato de saturação do solo.....	38
8 - Resumo da análise da variância (ANAVA) e médias para número de folhas (NF) diâmetro caulinar (DC) e altura de plantas (AP) relativos aos dados obtidos aos 100 dias após o transplante das mudas de pimentão.....	42
9 - Resumo da análise da variância (ANAVA) e médias para área foliar (AF), razão de área foliar (RAF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e relação raiz/parte aérea (R/PA) relativos aos dados obtidos aos 100 dias após o transplante das mudas de pimentão.....	44
10. Resumo da análise da variância (ANAVA) e médias para o teor de Cromo contido nas partes da planta: Folha, Caule, Raiz e Fruto.....	45

EFEITO DA ADIÇÃO DE LODO DE CURTUME SOBRE PROPRIEDADES QUÍMICAS DE SOLO E DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE PIMENTÃO
(*Capsicum annum* L)

RESUMO

Resíduos gerados por curtumes são produtos potencialmente poluentes e seu uso pode acumular metais pesados no solo e na planta. O presente trabalho foi realizado em laboratório e em casa de vegetação, no período de junho de 2006 a abril de 2007, com o objetivo de avaliar os efeitos da adição de lodo de curtume produzido em Campina Grande, em relação a algumas propriedades químicas do solo e sobre o desenvolvimento da cultura do pimentão. No laboratório, amostras de um solo ácido foram incubadas durante 40 dias, com carbonato de cálcio e lodo de curtume, este em quantidades iguais, dez e vinte vezes maiores que o poder de neutralização correspondente de carbonato de cálcio. Após este período determinou-se o pH e a CEa das amostras de solo incubadas. O delineamento do experimento realizado em casa de vegetação, foi o de blocos casualizados, com três repetições, cultivando-se pimentão em vasos com capacidade de 22 quilos. Tratamentos com adição de 0,98; 1,21; 1,44; 1,67; 1,89 e 2,17 g kg⁻¹ de lodo de curtume foram comparados com um tratamento com carbonato de cálcio, avaliadas as alterações químicas do solo e os efeitos da aplicação dos resíduos quanto ao o desenvolvimento das plantas. Verificou-se que as aplicações de lodo de curtume em quantidades iguais às de carbonato de cálcio, não foram eficientes na neutralização da acidez do solo; todavia, o pH do solo foi aumentado pelo lodo de curtume quando aplicado nas proporções dez e vinte vezes maiores que a do carbonato de cálcio. A quantidade de lodo de curtume dez vezes maior (13,8 t ha⁻¹) que a de carbonato de cálcio, recomendada para neutralizar a acidez do solo, pode ser mais viável que aquela vinte vezes maior, pois neutralizará a acidez do solo sem elevar por demais a sua CEa. A aplicação de lodo de curtume aumentou a salinidade do solo e os teores de cromo no solo não provocaram alterações significativas na sua fertilidade. O lodo de curtume não provocou alterações significativas no desenvolvimento da cultura do pimentão; enfim, as doses utilizadas de lodo de curtume não provocaram toxidez de cromo às plantas.

Palavras-chave: acidez de solo, resíduo industrial, cromo

EFFECTS OF TANNERY RESIDUES ON CHEMICAL SOIL PROPERTIES AND (*Capsicum annum* L) PLANTS DEVELOPMENT.

ABSTRACT

Tannery residues are potential pollution sources and its use can accumulate heavy metals in soil and plant. In order to evaluate the effects from the addition of tannery residues produced in Campina Grande, Brazil, on soil properties and cultivated plants, laboratory and greenhouse experiments were carried out in 2006/07 at the UFCG. In the laboratory , samples of acid soil were incubated during 40 days with calcium carbonate and tannery residues in equal amounts, ten and twenty times bigger than calcium carbonate amount. After this period pH and CE of the soil samples incubated were determined. The experiment all design was a randomized blocks with three replications. *Capsicum annum* L. plants were cultivated in pots with capacity of 22 kg. Tannery residue additions at rates of 0.98; 1.21; 1.44; 1.67; 1.89 and 2.17 g kg⁻¹ were compared to calcium carbonate treatment. Chemical soil alterations were evaluated, as well as the effect of residue application on the plant development. It was observed that the application of tannery sludge in equal amounts of calcium carbonate were not efficient in the neutralization of acidity soil. However the pH of soil has been increased by tannery sludge when applied in the ratios ten and twenty times bigger than calcium carbonate. The amount of tannery sludge ten times bigger (13,8 t ha⁻¹) than calcium carbonate recommended to ameliorate soil acidity may be more feasible than that twenty times bigger, because it will neutralize the soil acidity without raising its EC. Tannery residues increased the soil salinity and Cr contents while no alterations of soil fertility were observed. Tannery residues did not modify *Capsicum annum* L. development. Tannery residues treatments were not toxic for the plants.

Key words: soil acidity, industrial residue, chromium

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o mercado de peles para curtimento e as indústrias curtumeiras estão em expansão, haja vista serem comercializados cerca de 35 milhões de unidades por ano (LUZ, 2003).

Para cada pele processada são gerados, em média, 12 quilos de lodo (CLAAS e MAIA, 1994), sendo o lodo de caleiro e o lodo primário da estação de tratamento de efluentes, os gerados em maiores quantidades. De acordo com Tedesco e Gianello (1997), estimativas da produção de resíduos de curtume no Brasil são da ordem de 270 mil toneladas por ano de resíduos sólidos, com elevado potencial poluidor.

No processo de curtimento de peles várias substâncias contendo cromo e outros reagentes, são empregadas, originando efluentes (lodos de caleiro e lodo de curtimento primário) ricos em materiais putrescíveis, sais, sulfetos e metais pesados, principalmente o cromo, além de outros elementos químicos.

Atualmente, o método mais usado para a destinação final dos resíduos de curtume (lodos) é se acondiciona-los em depósitos plásticos ou aterros sanitários que apresentam alto risco em virtude do acúmulo e da concentração de material potencialmente tóxico, o qual pode ser lixiviado para solos e aquíferos. Esta contaminação pode trazer prejuízos à saúde humana, tanto pelo consumo de águas contaminadas quanto pela ingestão de metais pesados através do consumo de alimentos provenientes de áreas contaminadas por tais metais (BARBOSA e BIDONE, 1998).

De acordo com a legislação ambiental vigente no País, uma das alternativas de destino dos resíduos da indústria curtumeira, é o seu uso na agricultura, ou seja, sua disposição nos solos agrícolas, os quais constituem o melhor e mais seguro meio para a disposição dos resíduos em relação à hidrosfera ou à atmosfera, pois são capazes de melhor oxidar, precipitar os poluentes contidos nesses resíduos e removê-los da cadeia alimentar, de modo mais seguro que o ar ou a água; entretanto, a disposição de resíduos no solo normalmente é causa de muitas controvérsias (WAD, 2005); por um lado, constitui uma alternativa viável na preservação da qualidade ambiental pelo fato dos

resíduos serem considerados fontes de nutrientes para as plantas e condicionadores dos solos (ARAÚJO, 2004); por outro, dependendo da composição química dos mesmos e da forma como são manejados no solo, representam uma fonte poluidora do meio ambiente (COSTA et al., 2001) proporcionando impactos negativos sobre as culturas e as propriedades químicas do solo (CLAAS e MAIA, 1994).

O município de Campina Grande, PB, tem, na indústria coureira-calçadista, um elemento de grande importância econômica. Através do processo de curtimento de peles, que tem sido feito no Centro de Tecnologia do Couro e do Calçado Albano Franco, efluentes têm sido produzidos, como é o caso do lodo de caleiro e lodo de curtimento primário, os quais estão sendo acondicionados em depósitos de plástico, haja vista não ter, no referido município, aterro sanitário, fato este por demais preocupante, uma vez que esses depósitos vêm ocupando grandes áreas do próprio Centro e, é lógico, no futuro precisarão ser descartados.

Como a composição química do lodo de curtume é variável, no que diz respeito à diversidade e concentração de seus elementos, torna-se necessário que o Centro de Tecnologia do Couro e do Calçado Albano Franco, ao recomendá-lo para a agricultura, avalie a sua aplicação como fertilizante e/ou corretivo de acidez do solo e o seu potencial tóxico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar os efeitos da adição de lodo de curtume sobre algumas propriedades químicas do solo e o desenvolvimento da cultura de pimentão (*Capsicum annum L.*).

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar o efeito do lodo de curtume como corretivo de acidez do solo;
- Avaliar as alterações nos elementos químicos do solo relacionados à fertilidade e salinidade;
- Analisar o desenvolvimento da cultura do pimentão em função da adição das doses crescentes de lodo de curtume;
- Verificar o acúmulo de cromo na fitomassa da cultura de pimentão.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Resíduos gerados no processamento das peles

Durante o processo de transformação da pele em couro, é gerada grande quantidade de resíduos com alta concentração de produtos químicos e matéria orgânica os quais são classificados gasosos, líquidos e sólidos (CLAAS e MAIA, 1994).

Os resíduos gasosos são constituídos de amônia, gás sulfídrico e subprodutos aminados. A amônia é provém da decomposição da parte protéica das peles, enquanto os demais gases são produzidos durante a etapa de caleiro. O gás sulfídrico é considerado o mais perigoso, pois concentrações no ar, na ordem de 1000 mg L^{-1} , podem causar a morte.

Os resíduos líquidos são os efluentes compostos pelas soluções utilizadas nas etapas do processamento das peles e pelas águas de lavagem do piso e das máquinas. Em alguns curtumes os efluentes contendo cromo são tratados em separado, e os demais efluentes homogeneizados e conduzidos até a estação de tratamento do efluente (ETE); passam, então, por tratamentos físico-químicos dando origem ao lodo primário da ETE e a um novo efluente que depois de tratado biologicamente origina o lodo secundário da ETE e a água residuária, que deve ter qualidade para lançamento no meio ambiente.

Os resíduos sólidos gerados nas etapas do processamento das peles são os sais, aparas, carnaça e lodos, em que os sais são gerados na etapa de remoção do conservante das peles e podem ser considerados subprodutos quando reutilizados para conservar novas peles; já as aparas são constituídas pelos recortes de peles enquanto outras partes são rejeitadas no processamento; algumas (aparas não caleadas e caleadas) são utilizadas como matéria prima na fabricação de colas de origem animal e gelatinas, outras (aparas curtidas) são destinadas a aterros industriais ou utilizadas pelas indústrias de calçados e vestuário na confecção de artigos. A carnaça é originada na etapa de pré-descarne, sendo

utilizada como matéria-prima na fabricação de sebo, sabões e ração para alimentação animal.

A necessidade dos curtumes em se adequarem às novas exigências ambientais, aliada ao avanço tecnológico no processamento das peles (separação e reciclagem dos efluentes) fez com que vários deles produzissem vários tipos de lodo originados dos processos de: descarte, calcinação, curtimento e dos tratamentos primário e secundário da ETE. A principal diferença entre os curtumes que reciclam e separam os efluentes dos que não se utilizam dessa tecnologia, está na composição do lodo primário da ETE; em curtumes nos quais se separam os efluentes de curtimento, o teor de cromo é reduzido.

3.2. Metais pesados

Metais pesados são todos aqueles elementos que apresentam massa específica superior a $6,0 \text{ g cm}^{-3}$, poluem o meio ambiente e podem provocar diferentes níveis de danos à biota (ALLOWAY, 1993). Os principais metais pesados, são: Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Sb, e Zn, aos quais poderão, futuramente, ser incluídos outros metais, conforme a contaminação ambiental antropogênica.

Normalmente, os metais pesados se apresentam em concentrações muito pequenas, associados aos outros elementos químicos, formando minerais em rochas e quando lançados na água como resíduos industriais, podem ser absorvidos pelos tecidos animais e vegetais, além de se apresentarem em estrutura cristalina de minerais e óxidos primários ou minerais secundários, na forma de óxidos hidratados, oclusos em óxidos, adsorvidos na superfície de colóides, complexados com a matéria orgânica, precipitados na forma de sais insolúveis, estarem solúveis na solução do solo, parcialmente imobilizados na estrutura de seres vivos ou adsorvido em sítios de troca específicos (BECKETT, 1991; MELO et al, 2001; SILVA et al, 2001).

Junqueira Neto (1997), diz que alguns dos metais pesados, como o Co, o Cu e o Zn, são nutrientes essenciais às plantas; entretanto, o emprego de fungicidas, fertilizantes, esterco de animais, lixo urbano e lodo no solo e a deposição de poeiras industriais, poderão elevar as concentrações desses metais até níveis tóxicos.

Logan e Chaney (1983) e Levine et al. (1989), citam que os metais pesados podem expressar seu potencial poluente diretamente sobre os organismos dos solos, pela disponibilidade às plantas, pela contaminação de águas superficiais, via erosão do solo, e das águas subsuperficiais, por sua movimentação vertical e descendente no perfil do solo.

A contaminação do solo por metais pesados está sendo muito estudada pelo fato da presença desses elementos em diversos materiais adicionados ao solo (ABREU et al., 1995). O problema é agravado quando o solo é usado para fins agrícolas, pois os poluentes podem ser absorvidos pelas plantas e entrar na cadeia alimentar, razão pela qual o conhecimento do destino dos metais pesados no solo é essencial para avaliação do impacto ambiental provocado pelo uso agrícola de compostos de lixo urbano e resíduos industriais, uma vez que a extensão desse impacto está diretamente relacionada com a habilidade do solo em reter esses metais (ELLIOTT et al., 1986).

Sims e Patrick (1978), citam que em geral, os metais apresentam maior solubilidade em condições de acidez enquanto aumentos do pH do solo, proporcionados pela calagem, reduzem sua disponibilidade para as plantas; esses autores encontraram maiores teores de Fe, Mn, Zn e Cu nas frações (trocável e orgânica) do solo em menores valores de pH.

Especificamente, a respeito do cromo (Cr), sabe-se que seus estados de oxidação variam de 2^- a 6^+ mas apenas o 3^+ e o 6^+ são relativamente estáveis no ambiente. A forma trivalente de Cr, quando encontrada no solo em pH menores de 3,6, é fortemente adsorvida por caulinitas e montmorilonitas; acima de pH 5,5, forma óxidos e hidróxidos estáveis e de baixíssima solubilidade (RUTLAND, 1991; BERTONCINI e MATTIAZZO, 1999). Os compostos orgânicos podem reter o Cr^{3+} em pH acima de 5,5, fazendo com que o metal continue estável, mas solúvel, até que encontre condições de precipitação (RAIJ et al., 1989).

Nos resíduos de curtume originados da estação primária de tratamento (lodo), o cromo se apresenta na forma trivalente (Cr^{3+}), o acúmulo constante no solo deste elemento, associado a determinadas condições, como a presença de manganês em forma oxidante (Mn^{3+} e Mn^{4+}), pode promover a sua oxidação para formas hexavalentes (MILACIC e STUPAR, 1995), de alta solubilidade e mobilidade, características essas, tóxicas e mutagênicas para os animais superiores, plantas e microrganismos, porém, esta

oxidação pode ser lenta e em pequenas quantidades quando o Cr^{3+} é adicionado ao solo via lodo de curtume ou juntamente com uma fonte de matéria orgânica (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000; JAHNEL et al. 1999).

Aquino Neto e Camargo (2000), verificaram a formação de Cr^{+6} no Latossolo Roxo que recebeu doses crescentes de Cr^{+3} na forma de cloreto de cromo; quando as mesmas doses de Cr^{+3} foram aplicadas via lodo de curtume, não houve formação de Cr^{+6} e, segundo os autores, a não formação do Cr^{+6} pode estar ligada ao fato de o Cr^{+3} se encontrar em formas insolúveis ou complexadas com as proteínas provenientes das peles.

3.3. Fitodisponibilidade dos metais pesados

Embora os metais pesados possam, de modo geral, vir a ser tóxicos às plantas e aos animais em concentrações reduzidas, que habitualmente aparecem nos esgotos domésticos, não se tem notícias de problemas de toxidez aguda ou crônica na disposição dos mesmos, ao contrário do que ocorre com os esgotos industriais.

Durante a permanência dos metais no solo podem prevalecer formas do elemento que se caracterizam por não serem totalmente disponíveis às plantas considerando-se, assim, a sua capacidade de adsorção devido à formação de quelatos com a matéria orgânica (MARQUES et al, 2001; SILVA et al, 2001).

Os metais pesados constituem um grupo de elementos com maior movimentação no perfil do solo; sua absorção pelas plantas é a principal via de entrada desses elementos na cadeia alimentar; portanto, as formas fitodisponíveis e os processos de solubilização, são muito importantes em avaliações de risco.

A absorção de cromo pelas plantas está associada às características da cultura e do meio onde se desenvolve; nesse sentido, o estado de oxidação do elemento no solo exerce importante papel, haja vista que a forma solúvel, ou seja, a hexavalente, penetra facilmente através da membrana celular, possuindo uma ação tóxica aguda por tratar de forte agente oxidante; já na forma trivalente, o cromo, por sua vez, é solúvel somente a valores de pH menores que cinco ou quando complexado com moléculas orgânicas de baixo peso molecular, que possuem pouca mobilidade através da membrana celular (BARTLETT e JAMES, 1988).

Diversos estudos constatam que apenas 2%, em média, do cromo absorvido pelas raízes são translocados para a parte aérea das plantas (LAHOUTI e PETERSON, 1979; SHEWRY e PETERSON, 1974).

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA, 1983), estimar o teor fitodisponível de metais pesados presentes em solos tratados com resíduos urbanos e/ou industriais, é fundamental na avaliação dos riscos de entrada desses elementos, potencialmente tóxicos, na cadeia alimentar.

Mattiazzo et al. (2001), realizaram uma revisão sobre a eficiência dos extratores utilizados para estimar fitodisponibilidade e concluíram que, com exceção de Cu e Zn, ainda não existe um extrator que apresente boa correlação com as quantidades de metais absorvidas pelas plantas. Bertoncini (2002), diz que a principal dificuldade na escolha do extrator é a variação de sua eficiência, conforme a quantidade e o tipo de metal presente no lodo de esgoto, o processo de obtenção do resíduo, o tipo de solo, a presença de outras espécies químicas e a espécie vegetal em questão.

3.4. Uso do lodo na agricultura

Com o alto custo dos fertilizantes comerciais e a dificuldade de descarte de resíduos industriais e urbanos, o uso desses resíduos na agricultura tornou-se uma alternativa atrativa, tanto do ponto de vista econômico quanto do ponto de vista de reciclagem de nutrientes (CASTILHOS et al., 2002; FERREIRA, 1998; KONRAD, 2000), este tipo de uso tem trazido benefícios, mas também preocupações, devido à presença de metais pesados e do acúmulo de nitrato na água e no solo.

Os lodos de curtumes são constituídos de materiais orgânicos de origem animal misturados com sais inorgânicos, sendo que alguns desses componentes são nutrientes para as plantas e microrganismos, como nitrogênio, cálcio, enxofre, fósforo, magnésio e potássio (SELBACH et al., 1991). A utilização do lodo de curtume em solos agrícolas tem, como principais benefícios, a incorporação desses macronutrientes, além dos micronutrientes zinco, cobre, ferro, manganês e molibdênio.

Wadt et al. (2007a), avaliando o potencial do uso do lodo de curtume para a melhoria da produtividade de milho, observaram que com a aplicação de 40m³/ha do lodo houve um aumento de 46% na produtividade em relação à testemunha; quando esta

aplicação foi combinada com adubação nitrogenada em cobertura nas doses de 80 a 120 kg/ha de N mineral, a produtividade do milho aumentou 90% em relação à testemunha, mas, não se notou variação significativa nas propriedades de fertilidade do solo, tendo apenas a saturação de bases aumentado 5% em relação à testemunha (WADT et al. 2007 b).

Além de empregado na agricultura como fertilizante, o lodo de curtume também funciona como corretivo da acidez dos solos, pois eleva o pH reduzindo os teores de alumínio trocável, vindo a substituir totalmente a calagem; este efeito se deve-se à presença de quantidades significativas de carbonato, principalmente o de cálcio e hidróxidos, oriundos da etapa de depilação e caleiro (SELBACH et al., 1991).

Neste aspecto, Castilhos (1998), verificou que, com a aplicação de lodo com cromo + PK, os rendimentos do trigo foram semelhantes aos do tratamento calcário + NPK e 16 vezes superiores ao rendimento da testemunha; observaram, ainda, que os valores de pH e de N total encontrados no solo foram semelhantes aos do tratamento NPK + calcário e os teores de Ca duas vezes maiores em relação à testemunha.

A concentração de sódio e o percentual de sódio trocável também aumentaram nos solos Nitossolo Vermelho eutrófico típico, Latossolo Vermelho Amarelo distrófico típico e Neossolos Quartzarênico órtico típico devido à adição de doses crescentes de lodo de curtume (MARTINES et al., 2007).

Ferreira et al. (2003), constataram aumento no valor do pH de um Argissolo Vermelho distrófico típico que recebeu lodo de curtume, da mesma forma que este lodo propiciou rendimento de soja e milho semelhantes aos obtidos com adição de fertilizantes nitrogenados; no entanto, segundo Costa et al. (2001), a aplicação de lodo de curtume em um Planossolo Hidromórfico Eutrófico Solódico, apresentou baixa eficiência na correção de acidez do mesmo tendo, inclusive, aumentado sua salinidade e concentração de sódio.

Em pesquisas conduzidas no Rio Grande do Sul, nas quais se aplicou lodo de caleiro e lodo com cromo aos solos, o lodo de caleiro foi pouco eficiente em corrigir a acidez dos solos, porém contribuiu com o aumento dos seus teores de cálcio; já o lodo com cromo, apesar de também ter sido pouco eficiente na correção da acidez do solo apresentou, quando aplicado juntamente com calcário, os maiores aumentos nos valores de pH dos solos (COSTA et al., 2001), esses autores observaram aumento nos teores de

cromo e sódio nos solos, na salinidade e no rendimento de matéria seca de soja quando comparados com a testemunha (sem lodo). Nesta mesma linha de pesquisa, Konrad e Castilho (2002), também mostraram aumento no pH, nos teores de nitrogênio, cálcio, sódio e condutividade elétrica do solo, o que recebeu resíduos de curtume resultando em aumento no rendimento do milho cultivado na área.

Kray (2001), constatou que a aplicação de lodo de curtume com cromo e quantidade adequada para elevar o pH do solo a 6,0, supriram o N necessário para as culturas de soja, milho e trigo, além de aumentar os teores de P disponível, Ca trocável e Zn extraível do solo.

Aquino Neto (1998), observou que os resíduos de lodo de calcário e de lodo com cromo, em relação ao N total mineralizado, através de doses crescentes de Cr adicionados pelo lodo, diminuíram a velocidade de mineralização do N-orgânico, de maneira acentuada.

O uso agrícola de lodo de curtume pode afetar a comunidade microbiana do solo. Padovanni et al. (2007), observaram efeito da adição de lodo de curtume em atributos microbiológicos do solo como, por exemplo, na respirometria do solo, na contagem de microrganismos proteolíticos, na atividade da desidrogenase, nas bactérias cultiváveis e nos protozoários. Esses atributos aumentaram em função das doses de lodo; no entanto, somente logo após a sua aplicação e foi transitório o efeito, tendo diminuído sempre que o resíduo foi mineralizado.

Avaliação no campo do efeito de doses de lodo de curtume sobre enzimas do solo relacionadas à ciclagem de carbono (celulase e amilase), nitrogênio (asparaginase, glutaminase e uréase) e do fósforo (fosfatase ácida), indicou que as atividades da amilase e das enzimas do ciclo do N foram estimuladas, enquanto a celulase não sofreu efeitos do resíduo e a atividade da fosfatase diminuiu. Essas observações foram feitas 4 dias após a aplicação dos resíduos ao solo, uma vez que, com a sua mineralização, houve diminuição concomitante da atividade enzimática (CASTRO, et al., 2007).

Normalmente, é comum se dizer que o lodo fornece ao solo os nutrientes necessários para as culturas mas é preciso, também, conhecer sua composição para se calcular as quantidades adequadas a serem incorporadas, sem correr o risco de toxicidade às plantas e, em certas situações, aos animais e ao homem, como ainda não poluir o

ambiente (CETESB, 1999); em outras palavras, a disposição do lodo nos solos deve ser uma ação bem definida.

3.5. Cultura do pimentão (*Capsicum annuum* L)

O pimentão, *Capsicum annuum* L, é uma solanácea perene, porém cultivada como cultura anual (FILGUEIRA, 2000); sua origem é americana, ocorrendo formas silvestres desde o sul dos Estados Unidos até o norte do Chile; geralmente, as plantas possuem porte arbustivo e ramificado, atingindo alturas médias que variam de 0,60 a 0,80 m; entretanto, dependendo da espécie e do local do cultivo, as plantas podem atingir alturas mais elevadas.

No Brasil, o pimentão se apresenta como uma das dez mais importantes hortaliças cultivadas; seus frutos são consumidos na forma imatura (verdes) ou madura (vermelhos ou amarelos) ou, ainda, utilizados na indústria alimentícia ou na produção de pigmentos (corantes). Atualmente, sobretudo para o plantio em estufa, as cultivares de pimentão estão sendo substituídas pelo plantio de híbridos, os quais apresentam maior produtividade por área (SOUZA e NANNETTI, 1998).

O pimentão é uma hortaliça exigente quanto à fertilidade do solo e, como os solos brasileiros apresentam, em geral, baixa fertilidade, para torná-lo compatível com as exigências da cultura se utilizam, normalmente, as adubações orgânica e mineral. Resultados de pesquisas têm mostrado que no cultivo do pimentão é importante a utilização de altas doses de adubos orgânicos e minerais para atender à demanda de nutrientes (OLSEN et al., 1993; JOHNSON e DECOUTEEAU, 1996; SILVA et al., 2000; VILLAS BOAS et al., 2000). O teor de nutrientes nas plantas varia de acordo com o seu desenvolvimento, sendo distinto com a floração, formação e crescimento dos frutos. A correção do solo e a adubação de hortaliças são feitas, muitas vezes, com doses acima das recomendadas, havendo mais a preocupação em evitar deficiências; em assim fazendo, incorre-se no perigo dos excessos prejudiciais, além dos desperdícios.

A adubação e a irrigação são consideradas os fatores mais importantes que influenciam a produtividade e, quando aplicadas juntas, permitem controlar o desenvolvimento das plantas, a produção e a qualidade dos frutos (BAR-YOSEF, 1999),

apresentando um efeito sinérgico em comparação com o uso das duas técnicas usadas individualmente.

A qualidade de frutos de hortaliças é caracterizada com base em atributos, como aparência, sabor, textura e valor nutritivo (CHITARRA, 1998). Esta caracterização é significativa, determinando as variáveis que devem ser observadas para a melhoria da comercialização nos mercados interno e externo, e como para o desenvolvimento de técnicas de armazenamento e de manejo pós-colheita; desta forma, é fundamental a avaliação do efeito de práticas de manejo sobre a produtividade, a qualidade química e física do produto e a longevidade, durante o processo de comercialização.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local do trabalho

O trabalho foi realizado em duas etapas, ou seja, no período de junho de 2006 a abril de 2007, a primeira desenvolvida no Laboratório de Irrigação e Salinidade e a segunda em casa de vegetação, localizada nas dependências do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da UFCG em Campina Grande, PB, cujas coordenadas geográficas são de 7° 13' 11" sul, 35° 52' 31" oeste e altitude de 550 m acima do nível do mar. O clima na região, pela classificação de Köppen, é do tipo As' tropical (quente e úmido) com estação chuvosa no período outono-inverno; temperaturas médias anuais variando entre 22° a 26° C (Brasil, 1972).

4.2. Solo

O solo utilizado neste trabalho foi um Neossolo Regolítico, de textura franco-argilo arenoso, proveniente do município de Lagoa Seca, Estado da Paraíba. As amostras do solo foram coletadas na camada superficial (0 - 20 cm de profundidade), em seguida secadas ao ar, destorroadas, peneiradas (malha de 2 mm de abertura) e então submetidas às análises físico-químicas, conforme métodos descritos em EMBRAPA (1997).

Tabela 1. Características químicas e físico-hídricas do solo

Características químicas		Valor
Complexo sorativo cmol _c dm ⁻³	Cálcio	1,52
	Magnésio	0,10
	Sódio	0,10
	Potássio	0,18
	Hidrogênio	2,27
	Alumínio	0,20
	Soma de Bases (S)	1,90
	Capacidade de troca de cátions (CTC)	4,37
Saturação de bases (V), %		43,47%
Matéria orgânica, g kg ⁻¹		0,14
Fósforo, mg dm ⁻³		12,7
Carbonato de Cálcio Qualitativo		Ausente
Carbono Orgânico %		0,81
Nitrogênio %		0,08
pH em água (1:2,5)		4,40
pH em KCl (1:25)		3,83
Condutividade elétrica do extrato de saturação, dS m ⁻¹		0,47
Classificação em relação à salinidade		Não salino
Características físico-hídricas		Valor
Granulometria %	Areia	72,68
	Silte	10,47
	Argila	16,86
Classificação textural		Franco Argilo Arenosa
Densidade do solo, kg dm ⁻³		1,51
Densidade de partículas, kg dm ⁻³		2,89
RAS (mmol L ⁻¹) ^{1/2}		2,01
Porosidade Total (%)		47,40
Água disponível (%)		8,67
Porcentagem de saturação		19,80
Capacidade de campo (%)		11,80
Ponto de murecha permanente (%)		3,13

4.3. Lodo

O lodo utilizado nos experimentos, oriundo do curtume do Centro de Tecnologia do Couro e do Calçado Albano Franco, consistiu em uma mistura de lodo de calcário, gerado na etapa de depilação, mais o lodo primário, resultante da precipitação dos efluentes gerados no processo do curtimento, uma vez que no referido curtume não é feita sua separação para o descarte.

O lodo foi coletado nos tanques da estação de tratamento de efluentes do referido Centro, na forma líquida, em seguida colocado para secar em estufa a 65 ° C, durante 24 horas, triturado em almofariz de ágata, passado em peneira de 0,250 mm (60 mesh) e acondicionado em sacos plásticos. As características químicas do lodo de curtume, determinadas conforme metodologia descrita em Tedesco et al. (1985), são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Caracterização do bio-sólido utilizado no experimento, produzido pela ETE – Centro de tecnologia do Couro e do Calçado – CTCC Albano Franco (elementos totais, base seca)

Características Químicas	Lodo de curtume	Características Químicas	Lodo de curtume
pH	7,45	S, g Kg ⁻¹	27,54
CEa, dS m ⁻¹	8,60	Fe, mg Kg ⁻¹	5915,70
Ca, g Kg ⁻¹	37,88	B, mg Kg ⁻¹	651,62
Mg, g Kg ⁻¹	4,58	Cu, mg Kg ⁻¹	171,13
K, g Kg ⁻¹	0,33	Zn, mg Kg ⁻¹	77,40
Na, g Kg ⁻¹	25,79	Mn, mg Kg ⁻¹	7225,02
P, g Kg ⁻¹	3,77	Cr mg Kg ⁻¹	34750,00
N, g Kg ⁻¹	30,05		

4.4. Curva de neutralização

Visando estudar o efeito do lodo de curtume na neutralização da acidez do solo, se instalou, na primeira etapa do trabalho, um experimento, no Laboratório de Irrigação e Salinidade, UAEG/CTR/UFCEG no intuito de se determinar a curva de neutralização.

Os tratamentos consistiram em doses crescentes de carbonato de cálcio (CaCO₃) e de lodo de curtume. As doses utilizadas de CaCO₃ tiveram, como base, a quantidade, do mesmo, necessária para elevar a porcentagem de saturação do solo a 60%, ou seja, 1,38 t ha⁻¹; a partir deste valor se calculam os demais, para efeito de determinação da curva de

neutralização do solo. As quantidades de lodo de curtume utilizadas corresponderam a um valor igual, dez e vinte vezes às do CaCO_3 , conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Quantidades de carbonato de cálcio (CaCO_3) e de lodo de curtume utilizadas nos tratamentos: (1) CaCO_3 , (2), (3) e (4) lodo de curtume na mesma quantidade, 10 e 20 vezes maior que a do CaCO_3 , respectivamente

Carbonato de Cálcio	Tratamentos			
	T1	T2	T3	T4
	Lodo de curtume			
	g kg^{-1}			
T _{1,1} (CaCO_3) = 0,091	T _{2,1} (Lodo) = 0,091	T _{3,1} (Lodo 10) = 0,91	T _{4,1} (Lodo 20) = 1,82	
T _{1,2} (CaCO_3) = 0,181	T _{2,2} (Lodo) = 0,181	T _{3,2} (Lodo 10) = 1,81	T _{4,2} (Lodo 20) = 3,62	
T _{1,3} (CaCO_3) = 0,272	T _{2,3} (Lodo) = 0,272	T _{3,3} (Lodo 10) = 2,72	T _{4,3} (Lodo 20) = 5,44	
T _{1,4} (CaCO_3) = 0,362	T _{2,4} (Lodo) = 0,362	T _{3,4} (Lodo 10) = 3,62	T _{4,4} (Lodo 20) = 7,24	
T _{1,5} (CaCO_3) = 0,453	T _{2,5} (Lodo) = 0,453	T _{3,5} (Lodo 10) = 4,53	T _{4,5} (Lodo 20) = 9,06	
T _{1,6} (CaCO_3) = 0,544	T _{2,6} (Lodo) = 0,544	T _{3,6} (Lodo 10) = 5,44	T _{4,6} (Lodo 20) = 10,88	

O material correspondente a cada tratamento foi misturado e homogeneizado com um quilo de solo, acondicionado em sacos plásticos e depois submetido a um período de incubação de 40 dias, com umidade correspondente a 80% da capacidade de campo do solo. Cada tratamento foi instalado com três repetições, perfazendo o total de 72 unidades experimentais.

Com o intuito de acompanhar o comportamento do pH e a condutividade elétrica (CEa) do solo durante o tempo de incubação, após 15, 20, 30 e 40 dias do início da incubação, foram coletadas amostras de solo (0,05 kg) de cada unidade experimental, que foram secadas ao ar, destorroadas e passadas em peneira com malha de 2 mm de abertura e analisados o pH em água e em KCl 1N (1:2,5) e a CE, segundo métodos da EMBRAPA (1997). Calcularam-se os incrementos de pH (DpH) das unidades experimentais causados pelos tratamentos, pela subtração entre os valores de pH obtidos após 40 dias de incubação do solo e aquele do solo antes dos tratamentos, ou seja, 4,40.

A quantidade de carga negativa presente nos colóides do solo que, teoricamente, deve aumentar com o aumento do pH, foi determinada pela diferença entre os valores de pH em KCl e de pH em água (ΔpH).

4.5. Efeito do lodo de curtume nas propriedades químicas do solo e desenvolvimento da cultura de pimentão

Com o objetivo de avaliar as alterações nas propriedades químicas do solo após a aplicação de lodo de curtume e o efeito sobre a cultura do pimentão foi instalado, em casa de vegetação, na segunda etapa do trabalho, um experimento constituído pelo solo mais suas respectivas doses de lodo.

A variedade do pimentão (*Capsicum annum* L.) híbrido Zarco utilizada, apresenta coloração verde/avermelhada medindo de 12 a 16 cm de comprimento, 8 a 10 cm de diâmetro (ou largura), com peso entre 200 e 260 gramas (TIVELLI, 1998).

O delineamento experimental utilizado foi o de blocos casualizados em um esquema 3 x 7 (três blocos e sete tratamentos). Cada unidade experimental foi composta de um vaso plástico com 30 cm de diâmetro e 33 cm de altura, com capacidade para 22 quilos, contendo uma planta por vaso.

Os tratamentos adotados se basearam na curva de neutralização, sendo utilizadas as respectivas doses:

Tratamento - $T_0 = 0,54 \text{ g kg}^{-1}$ de CaCO_3 ;

Tratamento - $T_1 = 0,98 \text{ g kg}^{-1}$ de Lodo;

Tratamento - $T_2 = 1,21 \text{ g kg}^{-1}$ de Lodo;

Tratamento - $T_3 = 1,44 \text{ g kg}^{-1}$ de Lodo;

Tratamento - $T_4 = 1,67 \text{ g kg}^{-1}$ de Lodo;

Tratamento - $T_5 = 1,89 \text{ g kg}^{-1}$ de Lodo;

Tratamento - $T_6 = 2,17 \text{ g kg}^{-1}$ de Lodo.

4.5.1. Condução do experimento

Com o intuito de corrigir a acidez do solo, inicialmente as amostras de solo previamente homogeneizadas com seus respectivos tratamentos, foram incubadas pelo tempo de 40 dias, com umidade próxima a 60% da capacidade de campo; passado este período, procedeu-se à adubação de fundação à base de fósforo, na proporção equivalente a 12,11 g de superfosfato simples por vaso; de potássio, na proporção de 2,72 g de sulfato

de potássio por vaso e de nitrogênio, na proporção de 2,52 g de uréia por vaso, que foram incorporados e homogeneizados aos 22 kg de solo contidos em cada unidade experimental. O cálculo desses adubos foi feito com base na recomendação de adubação para a cultura do pimentão (RIBEIRO, et al., 1999).

Neste mesmo período, as mudas de pimentão, previamente preparadas em bandejas, e já com 30 dias após a semeadura, foram transplantadas para as unidades experimentais tendo sido colocadas 3 mudas em cada uma dessas unidades; aos 30 e 60 dias após o transplântio foram realizados os desbastes, permanecendo uma planta até o final do experimento, ou seja, 100 dias após o transplântio.

Adubações foliares foram realizadas a partir dos 30 dias após o transplântio (DAT), semanalmente, com uma solução contendo $1,8 \text{ g L}^{-1}$ do fertilizante ALBATRÓS (NPK 21-21-21 + 0,01% de B, 0,002% de Cu, 0,05% de Fe, 0,01% de Mn, 0,001% de Mo e 0,002% de Zn).

Fez-se o controle de pragas e doenças durante todo o ciclo da cultura; as pulverizações com fungicidas e inseticidas foram realizadas por ocasião do seu surgimento, utilizando-se o Endosulfan, na dosagem de 4 ml L^{-1} de água, e a água de fumo na proporção de 100 g por 5 litros de água; referidas pulverizações foram sempre realizadas no final da tarde, molhando-se as folhas das plantas sem escorrer o excesso do produto. A proliferação de plantas daninhas foi controlada manualmente, sempre que surgiam.

Ao término do experimento, aos 100 dias após o transplântio, a parte aérea e as raízes das plantas foram coletadas separadamente, secadas em estufa com circulação forçada de ar na temperatura de 65°C , até atingir massa constante; neste mesmo período se coletaram amostras de solo de cada unidade experimental.

4.5.2. Análises do solo e da fitomassa

4.5.2.1. Análise do Solo

As amostras de solo coletadas no final do experimento em cada unidade experimental foram secadas ao ar, destorroadas, peneiradas (malha de 2 mm de abertura) e só então submetidas às seguintes análises químicas:

a) pH

O pH foi determinado pelo método potenciométrico utilizando-se um pHmetro da marca ORION, com eletrodo combinado MICRONAL, calibrado com soluções tampões de pH 4 e 7.

Nas amostras de solo se definiram os valores de pH em água e em KCl 1N empregando-se a relação 1:2,5 (massa: volume).

O pH também foi determinado no extrato de saturação das amostras de solo.

b) Condutividade elétrica (CEa)

A condutividade elétrica constitui um bom indicador da concentração total dos sais na água (MOLLE e CADIER, 1992); para sua determinação no extrato de saturação das amostras de solo se utilizou o método eletrométrico (APHA, 1998), empregando-se um condutivímetro de leitura direta do tipo Konduktometer E527.

c) Cátions trocáveis, fósforo assimilável, carbono orgânico

Os cátions trocáveis, fósforo assimilável e carbono orgânico, foram determinados com a metodologia recomendada pela EMBRAPA (1997).

Calculou-se a matéria orgânica multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724.

A porcentagem de sódio trocável (PST) do solo foi calculada pela equação:

$$\text{PST (\%)} = \frac{\text{Na}}{\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Na} + \text{K} + \text{H} + \text{Al}} \times 100$$

em que:

Na, Ca, Mg, Na, K, H e Al - concentrações expressas em $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$.

d) Cátions e ânions solúveis

A pasta saturada para a retirada do extrato para análise da salinidade das amostras de solo, foi preparada de acordo com procedimento descrito por Richards (1954), e deixada em repouso durante 12 horas; o extrato foi retirado mediante uma bomba de vácuo comum.

No extrato de saturação as análises dos cátions e ânions solúveis foram determinadas pela metodologia descrita em APHA (1998).

A RAS do extrato de saturação foi calculada de acordo com a equação seguinte:

$$RAS^{\circ} = \frac{Na}{\sqrt{\frac{(Ca^{\circ} + Mg)}{2}}}$$

em que:

Na - concentração de sódio no extrato de saturação, em $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$;

Ca - concentração de cálcio no extrato de saturação, em $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$;

Mg - concentração de magnésio no extrato de saturação, em $\text{mmol}_e \text{L}^{-1}$.

e) Cromo

Fez-se a extração do cromo das amostras de solo utilizando-se a solução extratora duplo ácido, HCl 0,05N e H₂SO₄ 0,025N e analisado no espectrofotômetro de absorção atômica.

4.5.2.2. Análise da Fitomassa

Para determinação dos teores de cromo total, as partes aéreas e as raízes das plantas foram secadas em estufa a 65^oC, e a seguir quantificadas e trituradas em moinho tipo Willey equipado com peneira de 2mm de diâmetro de abertura de malha. Utilizou-se 0,50 g de cada uma das partes da planta (folhas, caule, raiz e fruto). O cromo foi extraído com HNO₃ concentrado (MISSIO, 1996) e analisado com um espectrofotômetro de absorção atômica.

4.5.3. Variáveis analisadas da cultura

4.5.3.1. Altura das plantas (AP) e número de folhas (NF)

A altura das plantas, considerada a partir do colo até a folha mais jovem, foi determinada aos 30, 60 e 100 dias após o transplântio, com o auxílio de uma trena métrica; também nesses mesmos dias foi observado o número de folhas presentes em cada planta considerando-se apenas aquelas que apresentavam comprimento mínimo de 3,0 cm.

4.5.3.2. Diâmetro do caule (DC)

A medição do diâmetro dos caules foi feita na região do colo da planta através de um paquímetro, aos 30, 60 e 100 dias após o transplântio.

4.5.3.3. Área foliar (AF)

Nas mesmas épocas de observação da altura das plantas, se definiu a área foliar, com a equação $AF = K \times L \times C$.

onde:

AF = área foliar;

L = largura da folha;

C = comprimento da folha

e K = coeficiente de correlação de valor 0,60, recomendado por Tivelli et al. (1997).

4.5.3.4. Razão de área foliar (RAF)

A partir dos dados de área foliar e fitomassa, obtidos durante o ciclo da cultura, determinou-se a RAF, através da relação entre a área foliar e a fitomassa aérea, de acordo com Ferri (1985).

$$RAF = \frac{AF}{FPA} \text{ (cm}^2 \text{ g}^{-1}\text{)}$$

em que:

AF - área foliar no tempo t (cm²);

FPA - fitomassa da parte aérea no tempo t (g).

4.5.3.5. Fitomassa seca da parte aérea

Para determinação da fitomassa seca da parte aérea (g), colocou-se o material na estufa de circulação de ar forçado a uma temperatura de 65^o C, pelo tempo de 72 horas, até o material atingir massa constante; posteriormente se realizou a pesagem em balança de precisão, considerando-se 2 casas decimais.

4.5.3.6. Relação raiz/Parte aérea

De acordo com Magalhães (1979), a relação da raiz foi calculada em função da parte aérea obtida pelo quociente entre a matéria seca das raízes e da parte aérea.

$$R/PA = \frac{MSR}{MSPA} \text{ (g)}$$

donde:

MSR - matéria seca das raízes (g)

MSPA - matéria seca da parte aérea (g)

4.6. Avaliação estatística

O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados com 3 repetições, no qual foram testadas 6 doses de lodo (T1 = 0,98 g kg⁻¹; T2 = 1,21 g kg⁻¹; T3 = 1,44 g kg⁻¹; T4 = 1,67 g kg⁻¹; T5 = 1,89 g kg⁻¹; T6 = 2,17 g kg⁻¹ de lodo/22 kg de solo) e uma testemunha (T0 = 0,54 g kg⁻¹ de CaCO₃), perfazendo o total de 21 parcelas; os dados estatísticos foram interpretados por meio da análise de variância e regressão e os tratamentos, por serem fator quantitativo (doses crescentes de lodo), foram submetidos ao estudo de regressão polinomial a 5% de probabilidade (GOMES, 1982; FERREIRA, 1991; SANTOS et al., 1998).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Curva de neutralização do solo

Em relação ao tempo de incubação é interessante observar que aos 15 dias e em todas as unidades experimentais, os valores de pH foram os mais elevados, diminuindo aos 20 e 30 dias para, em seguida, aos 40 dias, aumentar (Figura 1); provavelmente, esta variação com o tempo, está relacionada com as reações químicas que vão ocorrendo no solo, até que sua acidez é neutralizada e o pH, então, estabilizado.

Independente do tempo de incubação, o comportamento dos valores de pH em relação aos tratamentos foi semelhante (Figura 1); no entanto, não impediu que eles aumentassem em função das doses, tanto de carbonato de cálcio como do lodo de curtume, nas diversas proporções; resultados semelhantes foram relatados por Ferreira et al. (2003), que notaram a eficiência do lodo de curtume na elevação do pH do solo.

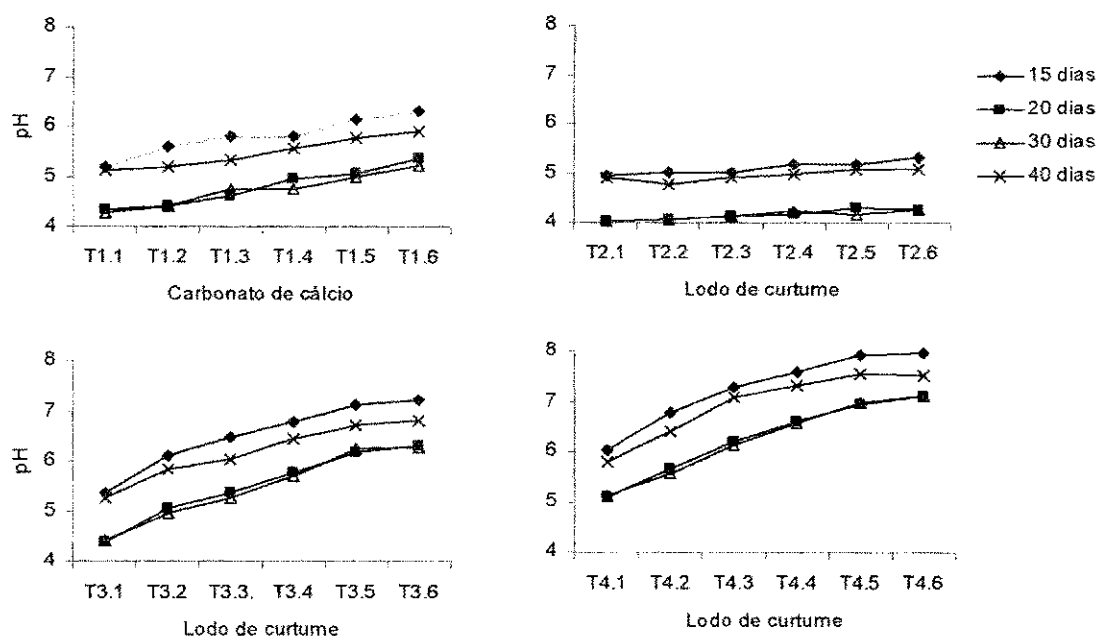


Figura 1. Variação do pH em função dos tratamentos carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores que a do carbonato de cálcio, durante o período de incubação.

Observa-se, ao se comparar os valores de pH das unidades experimentais após 40 dias de incubação com carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume (T2), nas mesmas proporções, que o carbonato de cálcio foi mais eficaz na neutralização da acidez tendo, conseqüentemente, elevado os valores de pH acima daqueles obtidos com o lodo de curtume; no entanto, os valores de pH do solo, tanto com carbonato de cálcio como com lodo de curtume, ficaram acima daquele apresentado inicialmente pelo solo, ou seja, 4,40. As amostras de solo que receberam quantidades maiores de lodo de curtume (T3 e T4), tiveram seus valores de pH superiores aos que aqueles observados com T1 e T2 apresentando, também, maior variação entre as doses aplicadas (Figura 2).

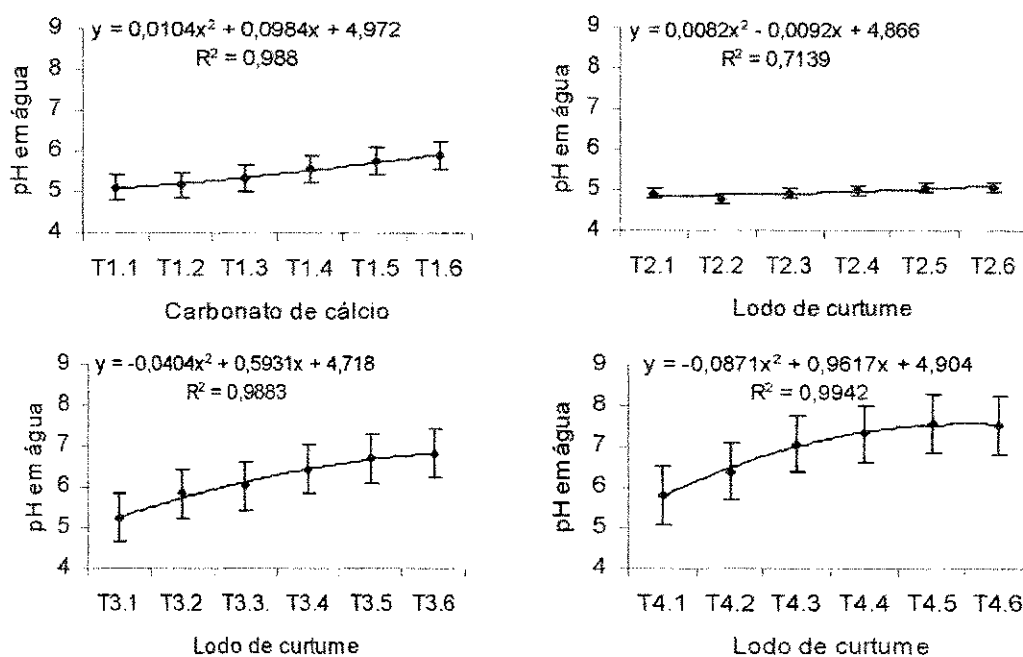


Figura 2. Curvas de neutralização do solo após 40 dias de incubação com carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores que a do carbonato de cálcio.

Os incrementos de pH (DpH) proporcionados pela adição ao solo de lodo de curtume (T2), na mesma proporção que o carbonato de cálcio (T1), foram os menores constatados e, praticamente, não variaram em função das doses de lodo utilizadas (Figura 3); em razão disto, tais incrementos não foram suficientes para que as unidades experimentais atingissem os valores de pH em água, 5,5 ou 6,0 (Figura 2), os quais são considerados adequados para o cultivo da maioria das culturas agrícolas; o mesmo ocorreu para as doses 1, 2 e 3 de carbonato de cálcio, aplicadas ao solo.

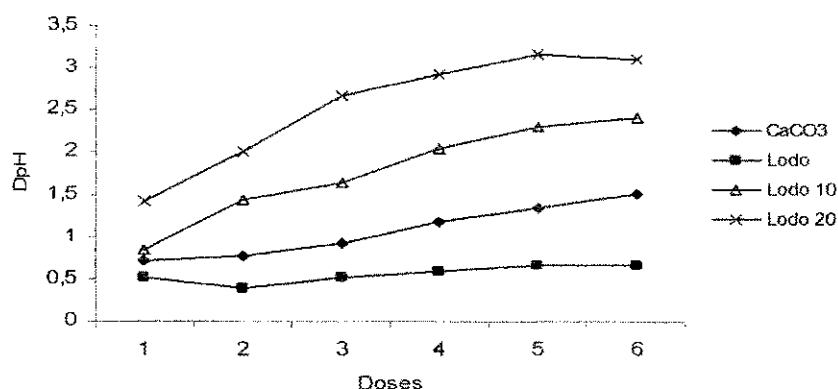


Figura 3. Incremento do pH em água do solo após 40 dias de incubação com os respectivos tratamentos

Na medida em que se aumentou a proporção de lodo de curtume (T3, T4) em relação ao carbonato de cálcio (T1), observou-se aumento nos incrementos de pH e estes aumentaram em função das doses utilizadas (Figura 3), tendo sido capazes de elevar o pH das unidades experimentais acima de 5,5; já a partir das doses 2 e 1 dos tratamentos T3 e T4, respectivamente (Figura 2), evidenciando os efeitos positivos da aplicação dos mesmos ao solo.

Aumentos do pH em função da aplicação de lodo de curtume em Argissolo Vermelho distrófico típico e em Neossolo Flúvico também foram observados por Ferreira et al. (2003) e Teixeira et al. (2006), respectivamente; todavia, Costa et al. (2001), notaram baixa eficiência do lodo de curtume na correção da acidez do solo. Dados controversos a este respeito são comuns na literatura devido à diversidade das características químicas, seja dos solos como dos lodos que estão sendo avaliados.

De modo geral, no final do período de incubação os efeitos dos tratamentos sobre o pH do solo, quando avaliados em água e em KCl 1N, não diferiram entre si, em concordância com a forte relação entre os valores de pH em água e em KCl (Figura 4), não obstante tenham sido constatados valores diferentes de pH; dados semelhantes foram encontrados por Abreu Junior et al. (2000), comparando valores de pH em água com os obtidos em CaCl_2 0,01 mol L⁻¹.

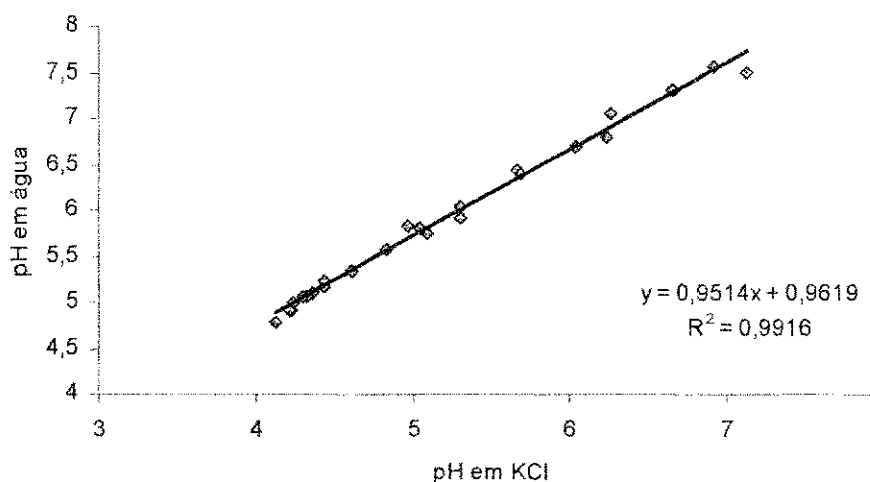


Figura 4. Relação entre o pH em KCl e o pH em água em solos tratados com carbonato de cálcio e lodo de curtume

Os valores de pH em água das amostras de solo incubadas com os seus respectivos tratamentos, foram superiores àqueles do pH em KCl. Os menores valores de pH obtidos em KCl é consequência do deslocamento de H^+ e Al^{3+} do complexo de troca e da compressão da dupla camada elétrica difusa, que fazem com que o pH seja próximo daquele da superfície das partículas (RAIJ et al., 1989).

A elevação da concentração salina causada pelo carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume (T2, T3 e T4), conforme constatado pelo aumento da CEa, fez com que os valores de pH medidos em água e em KCl tendessem a ser iguais, ou seja, a variação do ΔpH diminui em função dos tratamentos e de suas respectivas doses (Figura 5), corroborando com Abreu Junior et al. (2000); e com isto, pode-se inferir que o número de cargas negativas na superfície dos colóides do solo tende a diminuir a medida em que aumenta a quantidade de lodo de curtume aplicado ao solo.

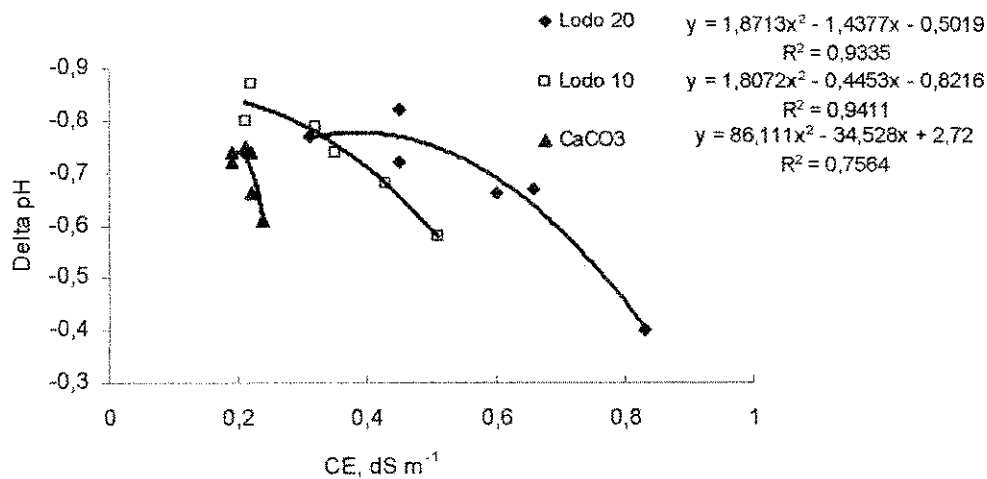


Figura 5. Efeito da condutividade elétrica sobre a diferença entre o pH em KCl e em água (Delta pH) das amostras de solo tratadas com carbonato de cálcio e lodo de curtume, nas proporções 10 e 20 vezes maiores que o carbonato de cálcio.

Os valores de CEa das amostras de solo foram modificados pelos tratamentos e pelo tempo de incubação a que essas amostras foram submetidas (Figura 6). Apesar das variações ocorridas, pode-se observar, em geral, tendência de aumento nos valores de CEa; e, com a aplicação de carbonato de cálcio esses valores variaram de 0,14 a 0,24 dS m⁻¹.

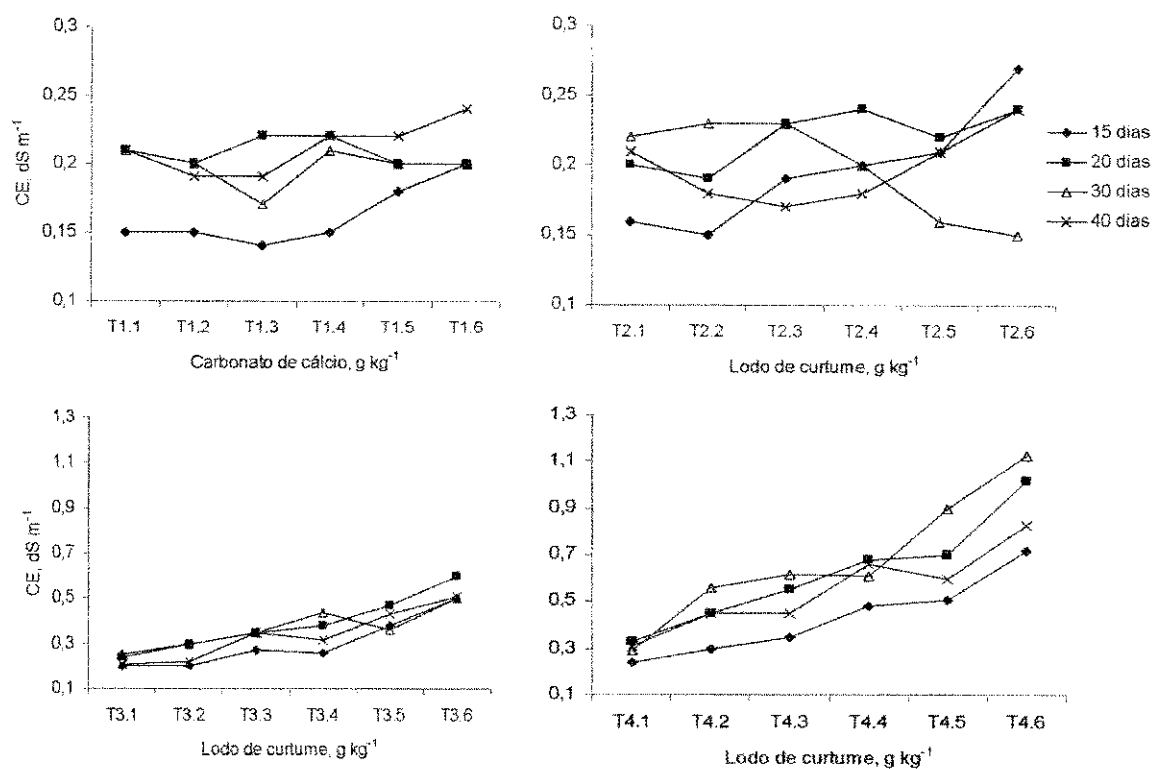


Figura 6. Variação da condutividade elétrica pH em função dos tratamentos carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores que a do carbonato de cálcio, durante o período de incubação.

Variação semelhante, ou seja, de 0,15 a 0,27 dS m⁻¹, foi notada com a aplicação, ao solo, de lodo de curtume (T2) nas mesmas quantidades do carbonato de cálcio (T1), porém a aplicação de lodo de curtume em quantidades dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores que aquelas correspondentes às quantidades de carbonato de cálcio (T1), fez a CEa variar de 0,2 a 0,51 dS m⁻¹ e de 0,24 a 1,13 dS m⁻¹, respectivamente.

A Figura 7, resume a variação dos valores de CEa em função das doses de cada tratamento ao final do período de incubação; observa-se que as doses de lodo de curtume (T2) iguais às de carbonato de cálcio (T1) provocaram a mesma variação que estas últimas e menor variação que aquelas provocadas pelas doses de lodo de curtume dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores.

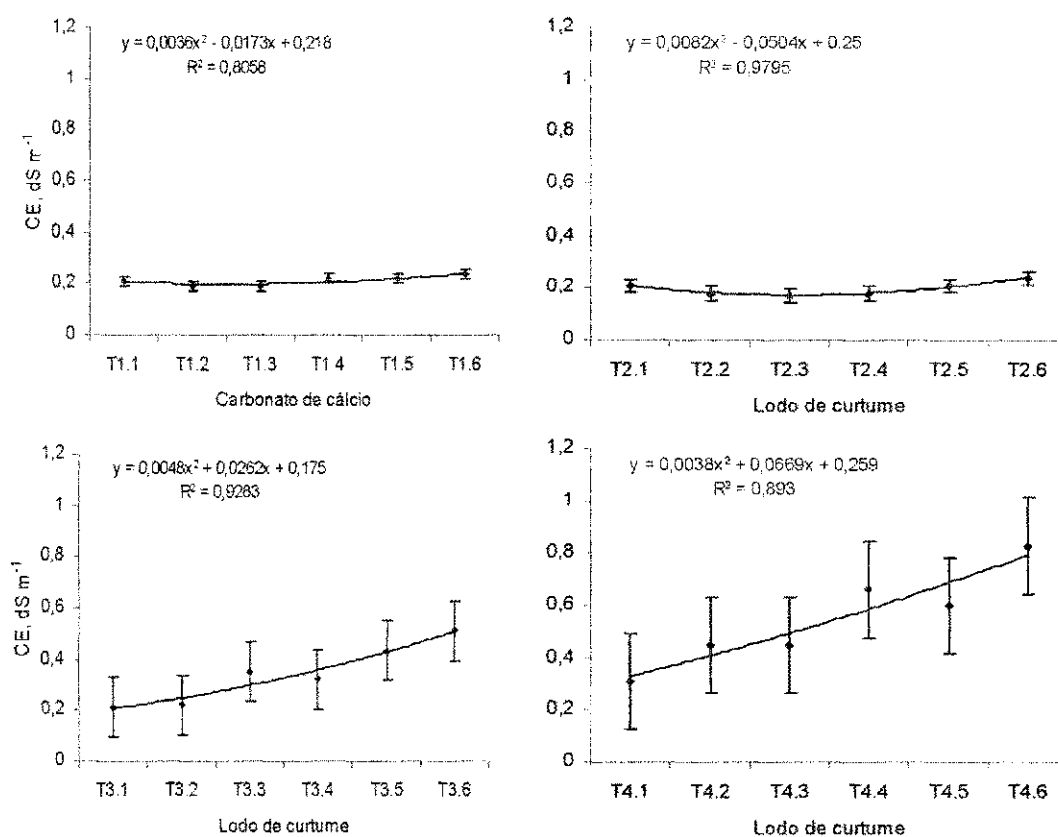


Figura 7. Variação da condutividade elétrica do solo após 40 dias de incubação com carbonato de cálcio (T1) e lodo de curtume nas quantidades igual (T2), dez (T3) e vinte (T4) vezes maiores que a do carbonato de cálcio.

Possivelmente, o aumento dos valores de CEa foi devido à elevada concentração de sódio no lodo de curtume (Tabela 2), o que proporcionou aumento nos teores do elemento no solo. Resultados semelhantes foram encontrados por Aquino Neto e Camargo (2000), Costa et al. (2001), Teixeira et al. (2006) e Daudt et al. (2007), mas os valores de CEa em todas as amostras de solo, permaneceram abaixo de 2 dS m^{-1} , valor máximo proposto por Daker (1970) para solos não salinos.

Ressalta-se que aplicações sucessivas de lodo de curtume implicariam no aumento dos teores de sódio no solo e, conseqüentemente, em sua salinização, motivo pelo qual mais estudos devem ser realizados para definição das quantidades a serem utilizadas nos solos e determinação da melhor relação custo-benefício (WAD, 2005).

5.2. Alterações nos atributos químicos do solo

Os maiores valores de pH no final do período experimental, ocorreram nas amostras de solo das unidades experimentais que receberam apenas carbonato de cálcio; nas demais unidades as doses crescentes de lodo de curtume, cujo pH varia em torno de 7,45, não foram capazes de elevar o pH do solo ao nível daquele observado com carbonato de cálcio, corroborando com Costa et al. (2001) e Wadt et al. (2007), apesar de ter havido diferença significativa entre os tratamentos (Tabela 4); porém, tendo como base o pH original do solo, 4,4, pode-se dizer que o lodo de curtume, por ser material alcalino, foi capaz de proporcionar, embora pequenos, acréscimos no valor de pH do solo indicando claramente que o uso deste resíduo pode substituir, ao menos em parte, o uso de corretivos tradicionais (calcários) (WADT, et al., 2007 b). Resultados semelhantes foram relatados por Costa et al. (2001), Ferreira et al. (2003), Teixeira et al. (2006) e Wadt et al. (2007 b), que verificaram eficiência do lodo de curtume na elevação do pH do solo.

O aumento de pH do solo para a faixa 5,5 – 6,5 é desejável por proporcionar a disponibilização de muitos macro (P, Ca, S, N e K) e micronutrientes (B, Mo, Cl e outros) e reduzir, no caso de problemas de excesso, a disponibilidade de Cu, Fe, Mn, Zn e Al, os quais poderiam trazer efeitos tóxicos às plantas.

Tabela 4. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias das concentrações de cátions trocáveis do complexo sortivo e de cromo do solo.

FV	GL	Quadrados Médios					
		pH(água)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cr ³⁺
Doses de lodo	6	0,6918 ^{NS}	0,2555 ^{NS}	0,1513 ^{NS}	0,0011 ^{NS}	0,0012 ^{NS}	12,3319**
Blocos	2	0,0069 ^{NS}	0,4611 ^{NS}	5,4939 ^{NS}	0,0030 ^{NS}	0,0050 ^{NS}	1,9733*
Regr. Linear	1	0,1606**	0,5568 ^{NS}	0,0992 ^{NS}	0,0045 ^{NS}	0,0005 ^{NS}	66,6745**
Regr. Quadrática	1	0,1081 ^{NS}	0,4770 ^{NS}	0,0096 ^{NS}	0,0007 ^{NS}	0,0064 ^{NS}	2,5793*
Regr. Cúbica	1	0,0983 ^{NS}	0,0178 ^{NS}	0,5582 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,00005 ^{NS}	4,4531**
Desvio da Regressão	1	0,0161 ^{NS}	0,1604 ^{NS}	0,0804 ^{NS}	0,0004 ^{NS}	0,0001 ^{NS}	0,0947
Resíduo	12	0,0108	0,210485	0,925125	0,0006	0,0021	0,4539
CV(%)	-	2,11	22,65	37,73	36,9	13,93	15,81

Doses de lodo g kg ⁻¹	Médias					
	unidade	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹
0	5,2233	2,5500	2,7233	0,0467	0,3667	0,000
0,98	4,7967	1,8966	2,2833	0,0433	0,3200	4,5166
1,21	4,7833	1,9500	2,6267	0,0700	0,3067	4,3166
1,44	5,0100	2,1066	2,6500	0,0633	0,3233	4,3500
1,67	4,9200	1,5766	2,8667	0,0833	0,3300	4,9166
1,89	4,9033	2,0033	2,3933	0,0733	0,3400	5,2166
2,17	4,8533	2,0966	2,3033	0,0967	0,3500	6,5166

** Significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F;

* Significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F;

^{NS} Efeito não significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

O uso do lodo de curtume nas doses adotadas neste trabalho, proporcionou aumentos nos teores de matéria orgânica, fósforo, cálcio, magnésio, potássio e, em consequência nos valores da capacidade de troca catiônica (CTC) e porcentagem de saturação por bases (V%) do solo quando estes são comparados aos teores encontrados no solo antes da instalação do experimento (Tabela 1).

No aporte de matéria orgânica proporcionado pela adição do lodo de curtume ao solo, observa-se grande acréscimo deste material; apesar de, neste trabalho o solo inicial ter quantidades pequenas, corroborando com Ferreira et al. (2003), é importante para a região semi-árida nordestina que, naturalmente, apresenta baixos teores de matéria orgânica (TEIXEIRA et al., 2006); entretanto, o lodo de curtume deve ser utilizado com critérios definidos de modo a não causar poluição ambiental sem prejuízos à saúde humana e animal (COSTA, et al., 2001).

Os teores de cálcio e magnésio disponíveis no solo após o cultivo do pimentão, aumentaram com os tratamentos, o que pode ser devido ao seu elevado conteúdo no lodo de curtume que, normalmente, são encontrados nas formas de sulfeto e hidróxido

(FERREIRA et al., 2003); resultados semelhantes foram ressaltados por Selbach et al. (1991), Castilhos et al. (2002), Ferreira et al. (2003) e Teixeira et al. (2006).

Salienta-se que os teores de Ca + Mg no solo sempre se mostrava adequados para o cultivo agrícola, mesmo após o cultivo do pimentão, uma vez que superaram a concentração trocável de $2 \text{ cmol}_c \text{ dm}^{-3}$ (FIA et al., 2005).

Como se previa, devido à concentração de sódio presente no lodo de curtume (Tabela 2), as doses aplicadas no experimento não interferiu no teor de sódio trocável em relação ao teor inicial no solo, apesar dos teores terem contribuído com acréscimos em função dos tratamentos, o que fez com que a porcentagem de sódio trocável (PST), aumentasse em função dos tratamentos (Figura 8), tanto nas concentrações de sódio trocável quanto no PST, em virtude da adição de lodo de curtume, observada por Martines et al (2007).

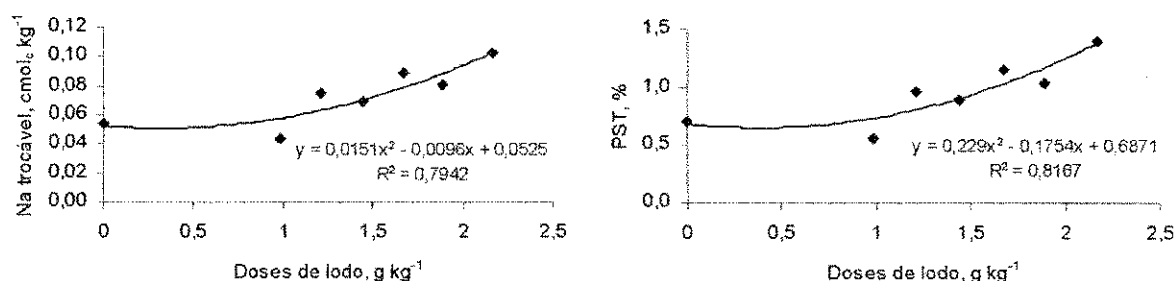


Figura 8. Variação do teor de sódio trocável e da porcentagem de sódio trocável (PST) em função das doses de lodo de curtume

Os aumentos nos teores de fósforo e potássio devem ter sido decorrentes da aplicação do lodo de curtume mas, também, devido à adubação mineral aplicada ao solo antes do transplante das mudas de pimentão. Ferreira et al. (2003) não encontraram efeito significativo do lodo de curtume nos teores de potássio.

O aumento dos cátions trocáveis no solo permitiu que a porcentagem de saturação em bases, inicialmente 43,47% (Tabela 1), classificada baixa (LOPES e GUIDOLIN, 1989), aumentasse para valores entre 60 a 70%, tidos como médios; da mesma forma, constatou-se que a CTC inicial do solo (Tabela 1), classificada baixa, aumentasse, cujos valores (Tabela 5) foram classificados médios (LOPES e GUIDOLIN, 1989) mas, apesar dos aumentos verificados, sua magnitude não foi suficiente para refletir diferenças significativas entre os tratamentos (Tabelas 4 e 5), acatando Ferreira et al. (2003); contudo, a falta de significância estatística pode ser irrelevante quando o uso de novas

técnicas não implica em aumentos de despesas (GOMES, 1987), como é o caso da utilização dos resíduos da indústria curtumeira.

A adição de lodo de curtume ao solo apresentou efeito significativo sobre os teores de cromo encontrados no solo (Tabela 4), os quais aumentaram em função dos tratamentos (Figura 9), corroborando com Ferreira et al. (2003). Apesar do aumento das concentrações de cromo em função das doses aplicadas, os teores permaneceram abaixo da amplitude média daqueles encontrados em solos de várias regiões do mundo estabelecidos na faixa de 7 a 3.400 mg kg⁻¹ (KABATA-PENDIAS, 2000), e abaixo do intervalo de níveis de ocorrência de cromo em solos agrícolas, prescritos de 5 a 1000 mg kg⁻¹ (LAKE, 1987). Konrad e Castilhos (2002) e Cavallet et al. (2007) trabalhando com lodo de curtume também notaram valores de concentração de cromo no solo dentro dos níveis acima definidos.

Nas condições experimentais as amostras de solo que receberam lodo de curtume apresentaram valor de pH em torno ou abaixo de 5,0 o que, neste caso, torna o elemento solubilizado no solo mas, disponível para ser adsorvido pelos minerais de argila e/ou complexado por ácidos húmicos, o que reduz a sua solubilidade no solo. De acordo com Bartlett e James (1988), o cromo (Cr⁺³) presente no lodo de curtume é solúvel somente em pH do solo abaixo de 5,0, pois acima deste valor de pH o elemento forma óxidos e hidróxidos estáveis e de baixíssima solubilidade (AQUINO NETO e CAMARGO, 2000).

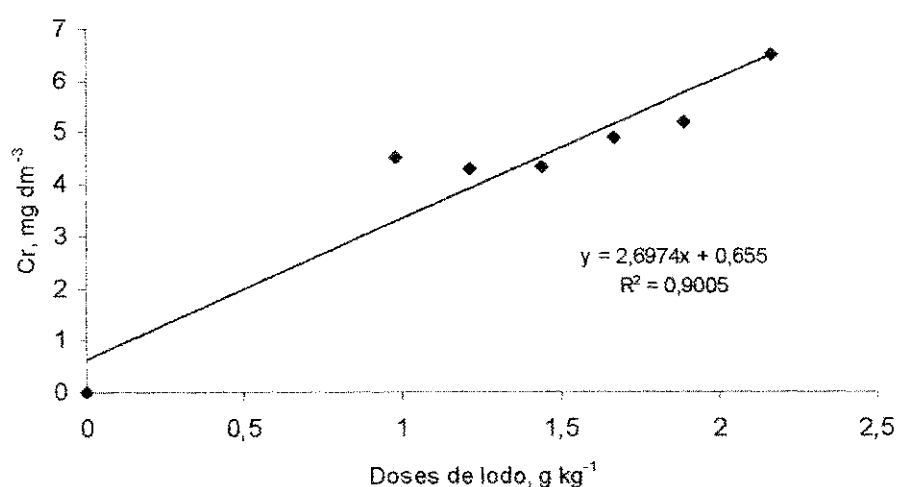


Figura 9. Variação do cromo no solo em função das doses crescentes de lodo de curtume.

Os teores encontrados no solo ainda não são preocupantes, porém o uso de doses maiores que as utilizadas neste trabalho e aplicadas continuamente em uma mesma área, necessita ainda ser avaliado, visto a possibilidade de causar problemas ambientais.

Apesar dos resíduos de curtume, a exemplo do lodo, não possuírem o cromo na forma oxidada, seu acúmulo constante, associado a determinadas condições de solo, como a presença de manganês em formas oxidadas (Mn^{3+} e Mn^{4+}), baixos teores de carbono orgânico e boa aeração, pode promover sua oxidação para formas hexavalentes (Cr^{6+}) (MILACIC e STUPAR, 1995), de alta solubilidade e mobilidade, caracteristicamente tóxicas e mutagênicas para os animais superiores, plantas e microrganismos.

Tabcla 5. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias dos teores de fósforo, matéria orgânica e médias da capacidade de troca catiônica e porcentagem de sódio trocável

FV	Gl.	Quadrados Médios			
		P	Mat. Orgânica	CTC	PST
Doses de lodo	6	62,9943 ^{NS}	6,6354 ^{NS}	0,1979 ^{NS}	0,3333 ^{NS}
Blocos	2	77,64090 ^{NS}	6,0847 ^{NS}	3,1262 ^{NS}	0,1428 ^{NS}
Regr. Linear	1	85,5086 ^{NS}	10,8578 ^{NS}	0,1863 ^{NS}	1,1906 ^{NS}
Regr. Quadrática	1	113,601 ^{NS}	7,1725 ^{NS}	0,2498 ^{NS}	0,3411 ^{NS}
Regr. Cúbica	1	47,2035 ^{NS}	8,0706 ^{NS}	0,3564 ^{NS}	0,0876 ^{NS}
Desvio da Regressão	1	43,8840 ^{NS}	4,5704 ^{NS}	0,1316 ^{NS}	0,1269 ^{NS}
Resíduo	12	84777381	4,3619	0,8599	0,3095
CV(%)	-	11,18	14,84	12,19	55,63

Doses de lodo g kg ⁻¹	Médias			
	mg dm ⁻³	g kg ⁻¹	cmol _c kg ⁻¹	%
0	90,2000	11,5967	7,9967	0,6667
0,98	76,6333	16,0133	7,1567	0,6667
1,21	80,0333	13,9067	7,7733	1,0000
1,44	86,4000	13,3300	7,5400	1,0000
1,67	80,3667	15,3633	7,6467	1,0000
1,89	80,0000	13,4100	7,6300	1,0000
2,17	83,0333	14,9033	7,5233	1,6667

** Significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F;

* Significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F;

^{NS} Ffeito não significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

Através da análise de variância dos dados correspondentes aos cátions e ânions presentes no extrato de saturação (Tabelas 6 e 7) notou-se diferença significativa apenas nos valores de sódio devido à sua alta concentração no lodo de curtume, corroborando com Aquino Neto e Camargo (2000), Costa et al. (2001) e Teixeira et al. (2006); desta forma, aplicações sucessivas do lodo de curtume implicariam no aumento dos teores de sódio no solo e, conseqüentemente, em sua salinização; problema este que poderia ser minimizado com o uso de condicionadores minerais, como gesso agrícola, de modo a inativar o sódio por reação com o sulfato, com posterior eliminação por lixiviação.

Tabela 6. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias do pH e das concentrações de cálcio, magnésio, potássio e sódio no extrato de saturação.

FV	GL	Quadrados Médios				
		pH (extrato de saturação)	Ca	Mg	K	Na
Doses de lodo	6	0,0382**	31,1697 ^{NS}	8,5758 ^{NS}	0,3071 ^{NS}	37,5160**
Bloco	2	0,0548**	121,841 ^{NS}	38,2045 ^{NS}	2,0417 ^{NS}	5,3609 ^{NS}
Regr. Linear	1	0,0947**	42,5245 ^{NS}	30,739 ^{NS}	0,8427 ^{NS}	190,471**
Regr. Quadrática	1	0,0950**	38,6852 ^{NS}	14,920 ^{NS}	0,1632 ^{NS}	15,0195 ^{NS}
Regr. Cúbica	1	0,0044 ^{NS}	12,6282 ^{NS}	0,2866 ^{NS}	0,5262 ^{NS}	3,9878 ^{NS}
Desvio da Regressão	1	0,0117 ^{NS}	31,0601 ^{NS}	1,8364 ^{NS}	0,1035 ^{NS}	5,2059 ^{NS}
Resíduo	12	0,0053	45,8650	61,1491	0,8217	6,0744
CV(%)	-	1,36	10,72	22,30	15,29	12,83

Doses de lodo g kg ⁻¹	Médias				
	Und	mmol _e L ⁻¹	mmol _c L ⁻¹	mmol _e L ⁻¹	mmol _c L ⁻¹
0	5,6000	62,2533	31,4166	5,4566	12,3333
0,98	5,2800	60,6266	36,2533	5,7600	17,4700
1,21	5,3067	60,8333	34,8333	5,7600	19,6166
1,44	5,3667	59,9633	35,5433	6,1900	20,8433
1,67	5,3467	68,7100	36,2966	6,4366	22,6833
1,89	5,2700	63,7533	35,8366	6,0066	19,9233
2,17	5,4000	66,0433	35,2500	5,8833	21,7633

** Significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F;

* Significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F;

^{NS} Efeito não significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

O aumento nos teores de sódio influenciou os valores da razão de adsorção de sódio (RAS) os quais variaram de forma significativa em relação aos tratamentos. O comportamento do sódio e da RAS em função dos tratamentos é apresentado na Figura 10.

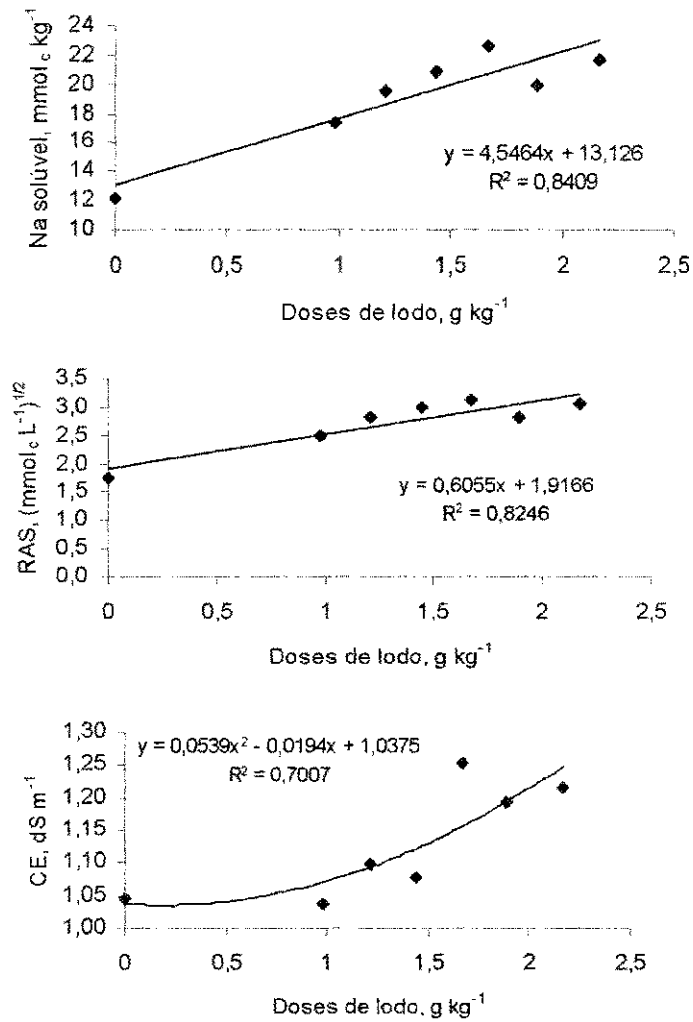


Figura 10. Variação do sódio solúvel e da condutividade elétrica do extrato de saturação e da RAS em função das doses de lodo de cortume.

Tabela 7. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias da condutividade elétrica (CEes), razão de adsorção de sódio (RAS) e das concentrações de bicarbonato (HCO_3^-) e cloreto (Cl) do extrato de saturação do solo.

FV	GL	Quadrados Médios			
		CEes	HCO_3^-	Cl	RAS
Doses de lodo	6	0,1389 ^{NS}	0,0432 ^{NS}	27,7113 ^{NS}	0,6786**
Bloco	2	0,0758 ^{NS}	0,0228 ^{NS}	8,6190 ^{NS}	0,0194
Regr. Linear	1	0,0831 ^{NS}	0,0085 ^{NS}	104,8841 ^{NS}	3,3818**
Regr. Quadrática	1	0,0138 ^{NS}	0,0267 ^{NS}	0,2861 ^{NS}	0,3832*
Regr. Cúbica	1	0,0142 ^{NS}	0,0579 ^{NS}	15,1943 ^{NS}	0,0511 ^{NS}
Desvio da Regressão	1	0,0092 ^{NS}	0,0553 ^{NS}	15,3011 ^{NS}	0,0850 ^{NS}
Resíduo	12	0,1683	0,0734	9,6190	0,0642
CV(%)	-	10,47	18,24	11,07	9,30

Doses de lodo g kg ⁻¹	Médias			
	dS m ⁻¹	mmol _e L ⁻¹	mmol _e L ⁻¹	(mmol _e L ⁻¹) ^{1/2}
0	1,0467	1,4666	23,5833	1,7533
0,98	1,0367	1,5000	25,8333	2,5033
1,21	1,0967	1,7333	27,5833	2,8300
1,44	1,0767	1,4333	27,4166	3,0100
1,67	1,2533	1,3666	33,1666	3,1200
1,89	1,1933	1,4000	28,5833	2,8133
2,17	1,2167	1,5000	29,9166	3,0533

** Significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F.

* Significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

^{NS} Efeito não significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

Aquino Neto e Camargo (2000), constataram que o maior impacto da aplicação ao solo do lodo de curtume foi a elevação acentuada da condutividade elétrica (CEa) e da RAS. No presente trabalho os tratamentos não influenciaram significativamente os valores de CEa do extrato de saturação mas, aumentaram em função das doses de lodo aplicadas ao solo (Figura 10) devido, possivelmente, à elevada concentração de sódio no resíduo; da mesma forma, ocorreu com os valores de bicarbonato e cloreto que, apesar de não terem sido influenciados de forma significativa pelos tratamentos, aumentaram em função destes, sobretudo o cloreto, indicando que a aplicação de doses maiores de lodo de curtume ao solo poderá favorecer maior acúmulo de cátions e ânions nos solos fazendo com que a CEa e a RAS também aumentem.

O excesso de sais solúveis pode levar à redução no potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pela planta, causando desbalanço nutricional e afetando o desenvolvimento das culturas (AMORIM et al., 2002); assim, as

concentrações crescentes de sódio (Figura 10) devem servir como alerta de que este é um cátion que, necessariamente, deve ser considerado quando da definição da dose de lodo de curtume a ser aplicado ao solo ou ser monitorado em solos que venham a receber aplicação contínua deste resíduo.

5.3. Alterações nas variáveis de crescimento

No estudo da análise de crescimento, parâmetros como número de folhas, diâmetro caulinar, altura de planta, área foliar e fitomassa seca da parte aérea, permitem avaliar o desenvolvimento das plantas sob determinadas condições, haja vista que refletem os diferentes processos ocorridos na fisiologia do vegetal (BENINCASA, 1988).

As curvas de evolução dos parâmetros de crescimento da parte aérea em função das doses de lodo de curtume mostram que ao longo do período experimental o número de folhas, o diâmetro caulinar e a altura das plantas, aumentaram (Figura 11); observa-se também que foi semelhante o comportamento das curvas referentes a cada um desses parâmetros em função dos tratamentos aos 30, 60 e 100 dias após o transplante das mudas mostrando que, em geral, não houve efeito dos tratamentos ao longo do tempo.

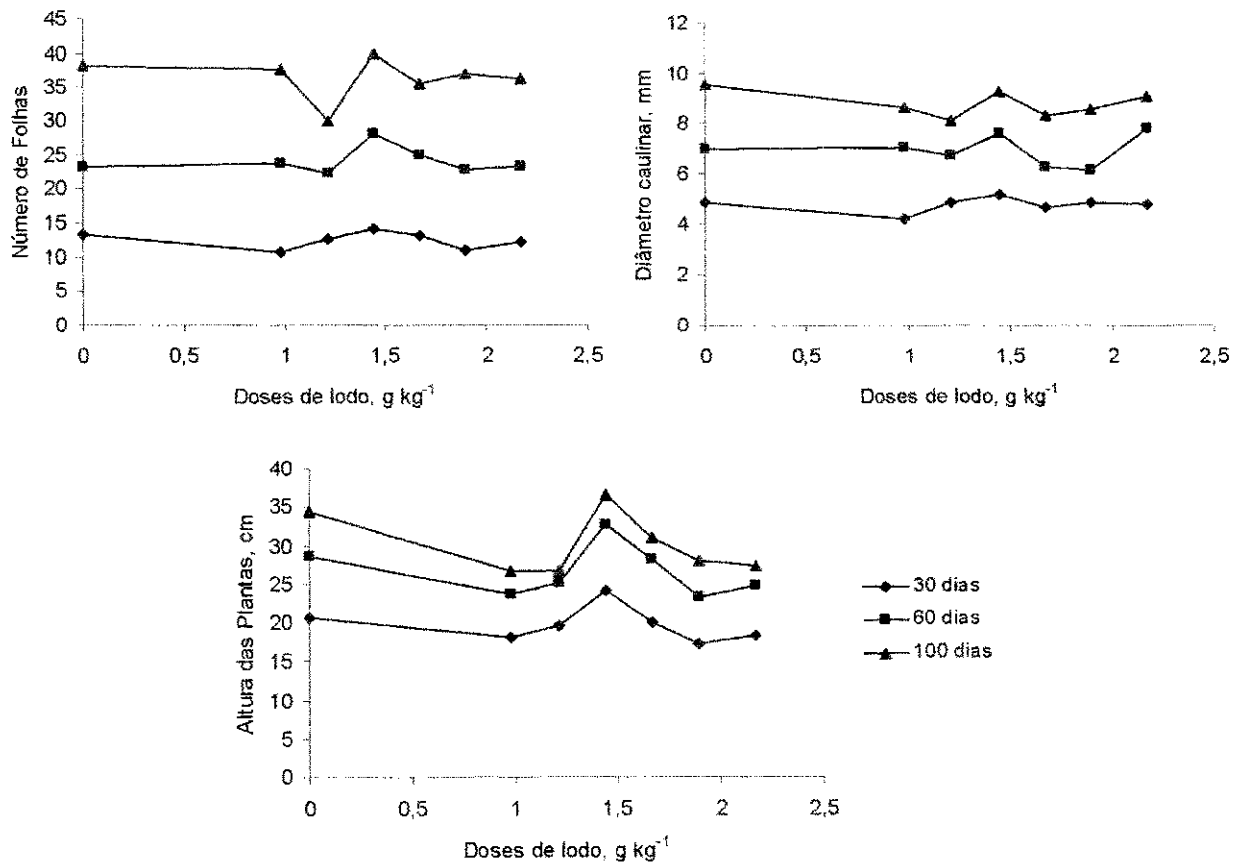


Figura 11. Evolução dos parâmetros de crescimento da parte aérea aos 30, 60 e 100 dias após o transplante das mudas de pimentão em função das doses de lodo de curume.

As médias dos dados referentes a cada um dos parâmetros de crescimento obtidas aos 100 dias após o transplante, em função das doses crescentes de lodo, são apresentadas na Figura 12; graficamente, pode-se observar pequena variação entre elas.

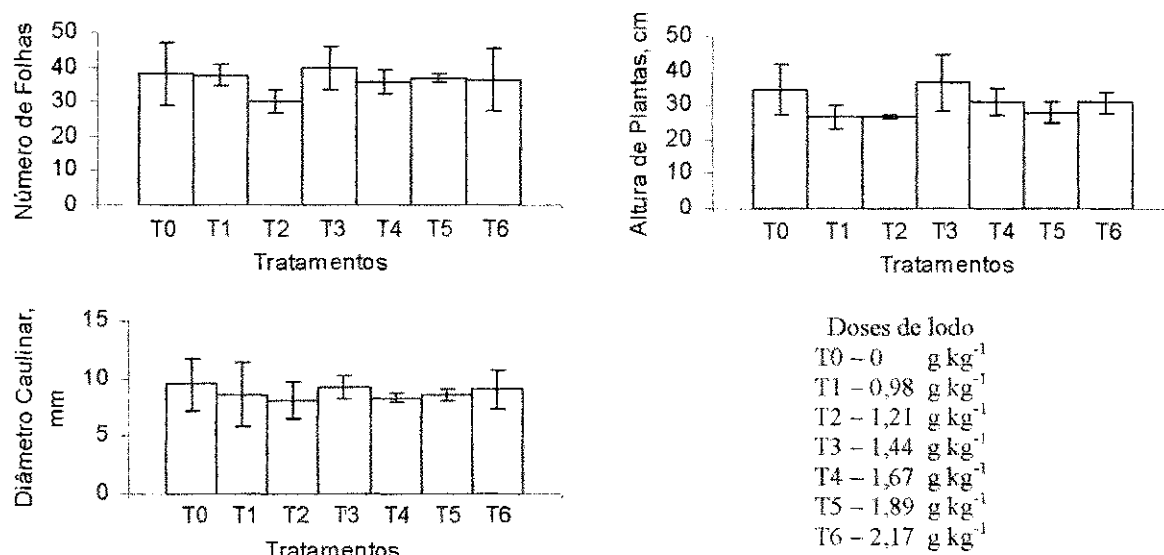


Figura 12. Evolução do número de folhas, diâmetro de caule e altura da planta aos 100 dias, em função das doses crescentes do lodo de curtume.

A análise estatística (Tabela 8), mostra que as doses de lodo de curtume não provocaram diferenças significativas nos parâmetros de crescimento, de acordo com o que observaram Augusto et al. (2003); apesar disto, ressalta-se que a dose $1,44 \text{ g kg}^{-1}$ (lodo de curtume por quilo de solo) se destacou dentre as demais por ter favorecido maior número de folhas, maior diâmetro de caule e também maior altura de planta. Os dados apresentados nas Tabelas 4 e 5 indicam que nas unidades experimentais que receberam a referida dose de lodo de curtume também se deu maior teor de cálcio e fósforo o que, provavelmente, deve ter contribuído para o maior desenvolvimento das plantas. De modo geral, as plantas não tiveram bom desenvolvimento em decorrência de vários fatores, em que um deles pode ter sido o tempo de incubação do solo com lodo, insuficiente para que o lodo disponibilizasse seus elementos químicos para as plantas; outro, pode ter sido a concentração eletrolítica do solo devido à presença principalmente de sódio e cloreto. Segundo Larcher (1995), a elevada concentração eletrolítica do solo pode causar desequilíbrio nutricional, toxicidade de alguns íons e interferir no equilíbrio hormonal; é capaz de diminuir a plasticidade da célula e causar a redução da permeabilidade da

membrana plasmática, além de influenciar no processo de fotossíntese, onde o conteúdo de clorofila nas plantas é diminuído.

Tabela 8. Resumo da análise de variância (ANAVA) e médias para número de folhas (NF) diâmetro caulinar (DC) e altura de plantas (AP) relativos aos dados obtidos aos 100 dias após o transplante das mudas de pimentão.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Número de Folhas (NF)	Diâmetro de Caule (DC)	Altura de Planta (AP)
Doses de lodo	6	30,0794 ^{NS}	0,8102 ^{NS}	49,4643 ^{NS}
Blocos	2	35,1548 ^{NS}	4,3462 ^{NS}	18,7359 ^{NS}
Regr. Linear	1	3,3498 ^{NS}	0,7184 ^{NS}	44,1670 ^{NS}
Regr. Quadrática	1	12,8047 ^{NS}	1,5116 ^{NS}	3,5384 ^{NS}
Regr. Cúbica	1	3,6531 ^{NS}	0,0043 ^{NS}	113,8444 ^{NS}
Desvio da Regressão	1	53,5562 ^{NS}	0,8756 ^{NS}	45,0786 ^{NS}
Resíduo	12	33,8631	2,53215	25,1412
CV(%)		15,97	18,07	16,65

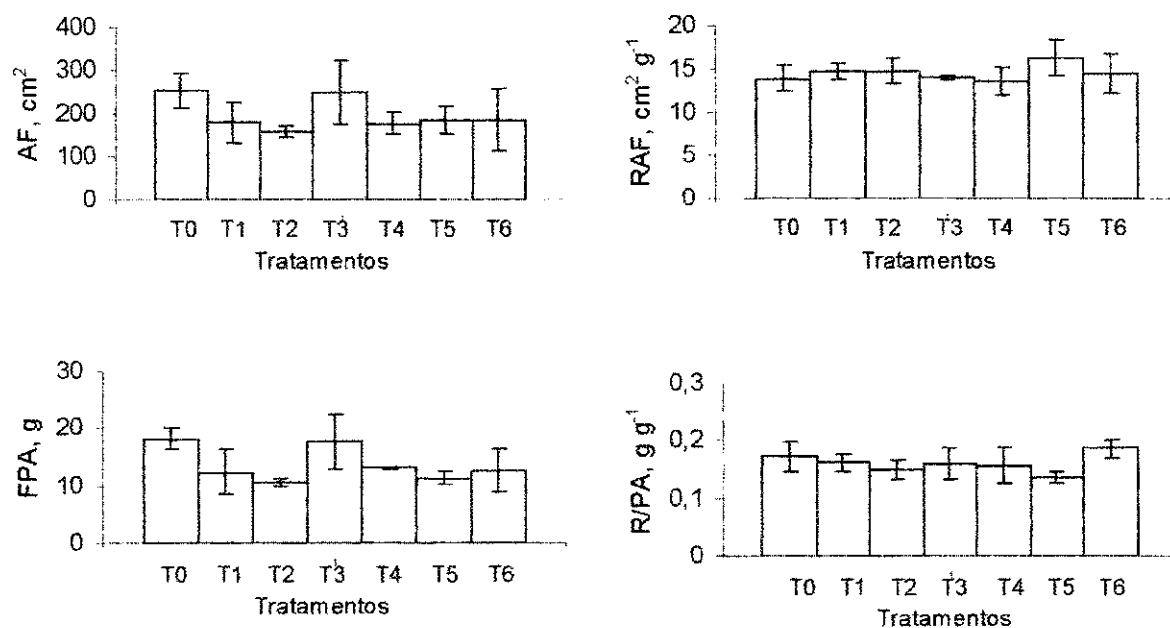
Doses de lodo g kg ⁻¹	Médias		
	n ^o	mm	cm
0	38,3333	9,5333	34,5000
0,98	37,6667	8,6667	26,6667
1,21	30,000	8,1333	26,6667
1,44	40,000	9,3000	36,6667
1,67	35,667	8,3167	31,000
1,89	37,000	8,5833	28,0000
2,17	36,333	9,1000	27,3333

** Significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F;

* Significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F;

^{NS} Efeito não significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

A dose de lodo de curtume 1,44 g kg⁻¹, também se destacou ao proporcionar aumento em tomo de 38 e 43,5 % na área foliar e na fitomassa seca da parte aérea, respectivamente, em relação à menor dose de lodo de curtume utilizada, ou seja, 0,98 g kg⁻¹, como pode ser observado na Figura 13 e na Tabela 9. Segundo Alvin (1962), a área foliar é considerada uma das mais importantes variáveis relacionadas aos processos fisiológicos das plantas.



Doses de lodo: T0 - 0 g kg⁻¹; T1 - 0,98 g kg⁻¹; T2 - 1,21 g kg⁻¹; T3 - 1,44 g kg⁻¹; T4 - 1,67 g kg⁻¹; T5 - 1,89 g kg⁻¹; T6 - 2,17 g kg⁻¹

Figura 13. Evolução da área foliar (AF), razão de área foliar (RAF), fitomassa da parte aérea (FPA) e relação raiz/parte aérea (R/PA) aos 100 dias, em função das doses crescente do lodo de curtume.

De acordo, com a análise de variância realizada para as variáveis área foliar (AF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA), razão de área foliar (RAF) e relação raiz/parte aérea (R/PA), não houve diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, entre as doses de lodo de curtume (Tabela 9). Teixeira et al. (2006), avaliando o efeito de doses crescentes de lodo de curtume no desenvolvimento de feijão caupi, cultivar BRS-Paraguaçu, também notaram que os rendimentos de matéria seca das plantas foram estatisticamente iguais, corroborando com Ferreira et al. (2003).

Tabela 9. Resumo da análise da variância (ANAVA) e médias para área foliar (AF), razão de área foliar (RAF), fitomassa seca da parte aérea (FSPA) e relação raiz/parte aérea (R/PA) relativos aos dados obtidos aos 100 dias após o transplante das mudas de pimentão.

FV	GL	Quadrados Médios			
		Área Foliar (AF)	Fitomassa da Parte Aérea (FSPA)	Razão de Área Foliar (RAF)	Relação Raiz/Parte Área (R/PA)
Doses de lodo	6	4242,3297 ^{NS}	27,3649 ^{NS}	2,3485 ^{NS}	0,0008 ^{NS}
Blocos	2	1337,4187 ^{NS}	4,9101 ^{NS}	9,6221 ^{NS}	0,0001 ^{NS}
Regr. Linear	1	6571,6241 ^{NS}	49,2390 ^{NS}	1,8219 ^{NS}	0,0001 ^{NS}
Regr. Quadrática	1	2523,9316 ^{NS}	10,4744 ^{NS}	0,0326 ^{NS}	0,0012 ^{NS}
Regr. Cúbica	1	2968,5639 ^{NS}	13,3147 ^{NS}	0,3617 ^{NS}	0,0012 ^{NS}
Desvio da Regressão	1	4463,2861 ^{NS}	28,3871 ^{NS}	3,9582 ^{NS}	0,0007 ^{NS}
Resíduo	12	2458,6902	8,9916	1,28460	0,0005
CV(%)	-	24,92	21,83	7,77	14,27

Doses de lodo g kg ⁻¹	Médias			
	cm ²	g	uni	uni
0	254,0000	18,1666	13,9666	0,1733
0,98	180,0000	12,4000	14,6966	0,1633
1,21	157,2000	10,6000	14,8633	0,1500
1,44	250,0000	17,8000	14,0433	0,1600
1,67	179,0000	13,1333	13,6133	0,1566
1,89	186,0666	11,4000	16,3133	0,1366
2,17	185,8000	12,6666	14,5900	0,1866

** Significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F;

*Significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F;

^{NS} Efeito não significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

5.4. Níveis de lodo no pimentão

O aumento dos teores de cromo no solo, devido às doses crescentes do lodo de curtume, refletiu sobre os teores deste elemento nas plantas. De acordo com a análise de variância, os teores de cromo nas diferentes partes da planta não foram influenciados de forma significativa pelos tratamentos (Tabela 10).

Tabela 10. Resumo da análise da variância (ANOVA) e médias para o teor de cromo contido nas partes da planta: folha, caule, raiz.

FV	GL	Quadrados Médios		
		Folhas	Caule	Raiz
Doses de lodo	6	1,4621 *	1,2361 **	629,5674 **
Blocos	2	1,1129 ^{NS}	0,3665 ^{NS}	541,5833 **
Regr. Linear	1	5,8743 **	2,1715 **	3123,9185 ^{NS}
Regr. Quadrática	1	0,6254 ^{NS}	4,1270 ^{NS}	448,8188 *
Regr. Cúbica	1	0,6578 ^{NS}	0,0175 ^{NS}	197,9666 ^{NS}
Desvio da Regressão	1	0,5382 ^{NS}	0,3669 ^{NS}	2,2335 ^{NS}
Resíduo	12	0,4887	0,1624	68,9722
CV(%)		51,06	32,03	25,97

Doses de lodo g kg ⁻¹	Médias		
	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹	mg Kg ⁻¹
0	---	---	---
0,98	1.7333	1.9000	34.6666
1,21	1.0000	1.3566	36.3333
1,44	1.8500	1.4000	35.3333
1,67	1.5666	1.8666	35.6666
1,89	1.3500	1.3000	37.3333
2,17	2.0833	0.9833	44.5000

** Significativo a nível de 1 % de probabilidade pelo teste F;

* Significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F;

^{NS} Efeito não significativo a nível de 5 % de probabilidade pelo teste F.

Apesar das possibilidades para a indisponibilidade do cromo no solo, uma vez que os valores de pH nas unidades experimentais estiveram abaixo de 5,0 e dos mecanismos de proteção das plantas, estas ainda conseguiram absorver cromo.

Segundo Kabata-Pendias e Pendias (1984), os valores normais de ocorrência do cromo em tecidos vegetais variam de 0,02 mg dm⁻³ a 2,00 mg dm⁻³; Varo et al. (1980) indicam, para o cromo, teores variando de 0,06 mg dm⁻³ a 0,47 mg dm⁻³, nos tecidos de

diferentes espécies vegetais. Os teores de cromo encontrados nesta pesquisa (Tabela 10), nas folhas e caules das plantas, estão dentro da faixa de variação citada pelos primeiros autores e acima da faixa apresentada por Varo et al. (1980); no entanto se encontram abaixo do nível fitotóxico, que varia de 10 a 100 mg kg⁻¹ (LAKE, 1987). Os teores observados nas raízes e frutos estão dentro da faixa de fitotoxicidade, apesar de não ter sido detectado, durante o experimento, quaisquer sintomas visuais de toxidez nas plantas pelo cromo.

Os menores teores de cromo nas folhas e caules estão de acordo com a literatura, que mostra que o acúmulo de cromo nas raízes forma barreiras que diminuem a sua translocação para a parte aérea das plantas (LOSI et al., 1994). Moral et al. (1995), por exemplo, verificaram acúmulo do cromo nas raízes e baixa translocação para os ramos e frutos de tomate cultivado em solução contendo 100 mg L⁻¹ de cromo; da mesma forma, Figliolia et al. (1992), constataram que plantas de alface cultivadas em solo suprido com 200 mg kg⁻¹ de cromo apresentaram, aos 60 dias, teor de apenas 11,1 mg kg⁻¹ de cromo no tecido, o que resultou em redução de 60% no peso de matéria seca em relação à testemunha; contudo, é aconselhável que outros experimentos sejam conduzidos nas mesmas condições que a presente pesquisa para, realmente, se poder confirmar tal fato.

7. CONCLUSÕES

- O tratamento de lodo de curtume na quantidade correspondente à igual do poder de neutralização do carbonato de cálcio, não foi eficiente para corrigir a acidez do solo nem tampouco, aumentou a CEa.
- A condutividade elétrica e o pH do solo foram aumentados pelo lodo de curtume, mas apenas quando aplicados nas proporções dez e vinte vezes maiores que a do carbonato de cálcio.
- A quantidade de lodo de curtume dez vezes maior (13,8 t ha⁻¹) que a de carbonato de cálcio, recomendada para neutralizar a acidez do solo, demonstrou ser mais viável que a de vinte vezes maior (27,6 t ha⁻¹), pois neutralizou a acidez do solo sem elevar demais a sua CEa.
- O lodo de curtume aumentou a salinidade e o teor de cromo no solo, mas não provocou alterações na sua fertilidade.
- O lodo de curtume não provocou alterações significativas no desenvolvimento da cultura do pimentão.
- As doses utilizadas de lodo de curtume não provocaram toxidez de cromo às plantas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, C.A.; ABREU, M.F.; RAIJ, B. van; SANTOS, W.R. Comparação de Métodos de Análise para Avaliar a Disponibilidade de Metais Pesados em Solos. **Revista Brasileira de Ciência de Solo**, Campinas, v.19, n.3, p.463-468, 1995.

ABREU JUNIOR, C.H.; MURAOKA, T.; LAVORANTE, A.F.; ALVAREZ, V.F.C. Condutividade elétrica, reação do solo e acidez potencial em solos adubados com composto de lixo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.24, n.3, p. 635-647, 2000.

ALLOWAY, B.J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley & Sons, 1993. 339p.

ALVIN, P.R. de T. **Los factores de la productividad agrícola**. Lima: ILCA, 1962. 20p.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - **Standard methods for the examination of Water and Wasterwater**. 20th ed. Washington D. C.: American Public Health Association, 1998. 1569p.

AMORIM, J.R.A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.37, p.167-176, 2002.

AQUINO NETO, V.; CAMARGO, O.A. Acúmulo de cromo em alface cultivada em dois latossolos tratados com CrCl₃ e resíduos de curtume. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v. 24, n.1, p. 225 - 235, 2000.

AQUINO NETO, V. **Avaliação do aproveitamento agrícola de lodos de curtume**. Piracicaba: ESALQ, 1998. 111p. (Dissertação de Mestrado).

ARAÚJO, A.S.F. **A compostagem do lodo têxtil e seu efeito sobre indicadores biológicos**. 2004.89p. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2004.

AUGUSTO, D.C.C.; GUERRINI, I. A.; ENGEL, V.L.; ROUSSEAU, G.X. Utilização de esgotos domésticos tratados através de um sistema biológico na produção de mudas de *Cróton floribundus spreng* (Capixigui) e *Capaifera lagndorffi desf* (capoiba). **Revista Árvore**, Sociedade de Investigações Florestais, Viçosa, v.27, n.3, p. 335-342, 2003.

BARBOSA, R.M.; BIDONE, F.R.A. Absorção, acumulação e translocação de cromo em plantas cultivadas em vermicomposto de resíduos de curtumes codispostos com composto domiciliar. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL – GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS E CERTIFICAÇÃO AMBIENTAL. 2, *Anais....* Porto Alegre, 1998. p.312-315.

BARTLETT, R.J.; JAMES, B.R. Mobility and bioavailability of chromium in soils. In: NRIAGU, J.O.; NIEBOER, E. **Chromium in the natural and human environments**. New York: J. Wiley & Sons, 1988. p. 267-304.

BAR-YOSEF, B. Advances in fertigation. In: SPARKS, D.L. (ed.). **Advances in agronomy**. New York: Academic Press, 1999. p.1-77.

BECKETT, P.H.T. Critical tissue concentrations as indicators of toxicity. **Suelos Ecuatoriales**, Bogota, v.21, p.39-44, 1991.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**. Jaboticabal: FUNEP, 1988 42p.

BERTONCINI, E.I; MATTIAZZO, M.E. Lixiviação de metais pesados em solos tratados com lodo de esgoto. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.2, p.337-744, 1999.

BERTONCINI, E.I. **Comportamento de Cd, Cr, Cu, Ni e Zn em Latossolos sucessivamente tratados com biossólido: extração sequencial, fitodisponibilidade e caracterização de substâncias húmicas**. 2002. 195p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo. Divisão de Agrologia – SUDENE. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado da Paraíba. Rio de Janeiro: 670p. 1972. Boletim Técnico 15.

CASTILHOS, D.D.; TEDESCO, M.J.; VIDOR, C. Rendimentos de culturas e alterações químicas do solo tratado com resíduos de curtume e cromo hexavalente. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.26, n.4, p.1083-1092, 2002.

CASTILHOS, D.D. **Alterações químicas e biológicas do solo resultante da adição de resíduos de curtume e cromo hexavalente**. Porto Alegre:UFRGS, 1998. 194p. (Tese de Doutorado).

CASTRO, C.; NOGUEIRA, M.; LIMA, D.; SANTOS, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; MARTINES, A.; CARDOSO, E.; ANDRADE, G. Atividades enzimáticas em solo acrescido de lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. *Anais...* Gramado, 2007.

CAVALLET, L.E.; SELBACH, P.A.; GIANELLO, C. Concentração de cromo no sistema solo-planta-percolado em função da aplicação de resíduos de curtume em um argissolo de Estância Velha (RS). **Scientia Agrária**, v.8, n.1, p.87-93, 2007.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental (SP). Lodo de curtume: critérios para o uso em áreas agrícolas e procedimentos para apresentação de projetos – Norma P4.233. CETESB, São Paulo, 1999. 35p.

CHITARRA, M.I.F. Fisiologia e qualidade de produtos vegetais. In: BORÉM, F.M. (coord.). Armazenamento e processamento de produtos agrícolas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. *Anais...* Poços de Caldas: p. 1-58., 1998.

CLAAS, I.C.; MAIA, R.A.M. **Manual básico de resíduos industriais de curtume**. Porto Alegre:SENAI/ Rio Grande do Sul, 1994.664p.

COSTA, C.N.; CASTILHOS, D.D.; CASTILHOS, R.M.V.; KONRAD, E.E.; PASSIANOTO, C.C.; RODRIGUES, C.G. Efeito da adição de solod de curtume sobre as alterações químicas do solo, rendimento de matéria seca e absorção de nutrientes em solo. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.7, n.3, p.189-191, 2001.

DAKER, A. **A água na agricultura: irrigação e drenagem**. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1970. v.3, 453p.

DAUDT, R.H.S.; GRUSZYNSKI, C.; KÄMPF, A.N. Uso de resíduos de couro *wet-blue* como componente de substrato para plantas. **Ciência Rural**, v.37, n.1, p.91-96, 2007.

ELLIOTT, H.A.; LIBERATI, M.R.; HUANG, C.P. Competitive adsorption of heavy metals by soils. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v.15, n.3, p.214-217, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação do Solo. **Manual e métodos das análises de conservação de solo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 1997.

FERREIRA, A.S.; CAMARGO, F.A.O.; TEDESCO, M.J.; BISSANI, C.A. Alterações de atributos químicos e biológicos de solo e rendimento de milho e soja pela utilização de resíduos de curtume e carbonífero. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 755-763, 2003.

FERREIRA, P.V. **Estatística experimental aplicada à agronomia**. Maceió: UFAL/EDUFAL/FUNDEPES, 1991. 440p.

FERREIRA, A.S. **Efeitos da adição de resíduos de curtume e carboníferos nas plantas e no solo**. Porto Alegre:UFRGS, 1998. 96p.(Tese de Mestrado).

FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. 2.ed. São Paulo: EPU, 1985. 362p.

FIA, R.; MATOS, A.T.; AGUIRRE, C.I. Características químicas de solo adubado com doses crescentes de lodo de esgoto caledo. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.13, n.4, p. 287-299, 2005.

FIGLIOLIA, A.; BENEDETTI, A.; DELLABATE, M.T. Potential chromium bio-availability by *Lactuca sativa* grow on two soils amended with tannery leather residues. **Frenesius Environmental Bulletin**, Basel, v. 1, p. 406-410, 1992.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: UFV, 2000, 402p.

GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental**. 3.ed. Piracicaba: São Paulo: Nobel, 1982. 436p.

GOMES, F.P. A estatística é como o biquini. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n.40, p.4-5, dez. 1987.

JAHNEL, M.C.; CARDOSO, E.J.B.N.; DIAS, C.T.S. Determinação do número mais provável de microrganismos do solo pelo método de plaqueamento por gotas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.3, p.553 – 559, 1999.

JOHNSON, C.D; DECOUTEEAU, D.R. Nitrogen and potassium fertility affects jalapeño pepper plant growth, pod yield, and pungency. **Hortscience**, v.31, n.7, p.1119-1123, 1996.

JUNQUEIRA NETO, A. Micronutrientes na cultura do feijão. In.: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (ed.). **Tecnologia da produção do feijão irrigado**, Piracicaba: USP. 1997. 158 p.

KATATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soil and plant**. 3.ed. Boca Raton: CRC, 2000. 432p.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**. Boca Raton: CRC, 1984. 315 p.

KONRAD, E.E. **Alterações químicas e biológicas do solo decorrentes da adição de lodos de curtume**. Pelotas:UFP, 2000. 82p. (Dissertação de Mestrado).

KONRAD, E.E.; CASTILHOS, D.D. Alterações químicas do solo e crescimento do milho decorrentes da adição de lodos de curtume. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 26, n.1, p.257-265, 2002.

KONRAD, E.E.; CASTILHOS, D.D. Atividade microbiana em um Planossolo após a adição de resíduos de curtume. *Revista Brasileira de Agrociência*, Pelotas, v.7, p.131-135, 2002.

KRAY, C.H. **Efeitos da aplicação e da reaplicação de resíduos carbonífero e de curtume no solo e nas plantas**. Porto Alegre:UFRGS, 2001. 90p. (Dissertação de Mestrado).

LAHOUTI, M.; PETERSON, P.J. Chromium accumulation and distribution in crop plants. *Journal of Science and Food and Agriculture*, v.30, p. 136-142, 1979.

LAKE, D.L. Sludge disposal to land. In: LESTER, J.N. **Heavy metals in wastewater and sludge treatment process**. Boca Raton: CRC Press, 1987. v.2, p.91-130.

LARCHER, W. **Physiological plant ecology**. 3 ed. Berlin: Springer-Verlag, 1995. 506 p.

LEVINE, M.B.; HALL, A.T.; BARRETT, G.W.; TAYLOR, D.H. Heavy metal concentrations during ten years of sludge treatment to an old-field community. *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 18, n. 4, p. 411-418, 1989.

LOGAN, T.J.; CHANEY, R.L. Metals. In: WORKSHOP ON UTILIZATION OF MUNICIPAL WASTEWATER AND SLUDGE ON LAND. *Proceedings*. Riverside: University of California, 1983. p. 235-323.

LOPES, A.S.; GUIDOLIN, J.A. **Interpretação de análise do solo: conceitos e aplicações**. 2ed. São Paulo: Associação Nacional para Difusão de Adubos e Corretivos, 1989.64p.

LOSI, M.E.; AMRHEIN, C.; FRANKENBERGER, W.T. Environmental biochemistry of chromium. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, New York, v.135, p.91-121, 1994.

LUZ, C. Mercado de couro curte crescimento, tanto interno quanto externo. *Latim Chemical*, v.9, p.35-37, 2003.

MAGALHÃES, A.C.N. Análise quantitativa de crescimento. In: FERRI, M.G. (Coord). **Fisiologia Vegetal**. São Paulo: EPU/EDUSP, p. 331 – 350, 1979.

MARQUES, M.O.; MELO, W.J.; MARQUES, T.A. Metais pesados e o uso de biossólidos na agricultura. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; HESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELO, A.J.; MARQUES, M.O. (ed.). **Biossólidos na Agricultura**, São Paulo: SABESP, 2001. 468p.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 2.ed. London: London Academic Press, 1995. 899p.

MARTINES, A.; FONSECA, A.; CARDOSO, E. Sodicidade e rendimento da soja em solos tratados com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. *Anais...* Gramado, 2007.

MATTIAZZO, M.E.; BERTON, R.S.; CRUZ, M.C.P. Disponibilidade e avaliação de metais pesados potencialmente tóxicos. In: FERREIRA, M.E. (Ed.). **Micronutrientes e elementos tóxicos na agricultura**. Jaboticabal:Potafos, 2001. 599p.

MELO, W.J.; MARQUES, M.O.; MELO, V.P. O uso agrícola do bio-sólido e as propriedades do solo. In: TSUTIYA, M.T.; COMPARINI, J.B.; SOBRINHO, P.A.; ESPANHOL, I.; CARVALHO, P.C.T.; MELFI, A.J.; MELO, W.J.; MARQUES, M.O. (Eds.). **Bio-sólidos na agricultura**. São Paulo: SABESP, 2001. p. 289-292.

MILACIC, R.; STUPAR, J. Fractionation and oxidation of chromium in melich 2 extractant. **Communications in soil science and plant analysis**, v.15, p.1409 – 1416, 1995.

MISSIO, E. **Avaliação da disponibilidade de alguns metais pesados para as plantas**. Porto Alegre:UFRGS, 1996. 120 p. (Dissertação de Mestrado).

MOLLE, F.; CADIER, E. **Manual do Pequeno Açude**. Recife: SUDENE-DPG-PRN-DPP-APR, 1992, 524p.

MORAL, R.; PEDRENO, N.; GOMEZ, I. Effects of chromium on the nutrient element content and morphology of tomato. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 18, n. 4, p. 815-822, 1995.

OLSEN, J.K.; LYONS, D.J.; KELLY, M.M. Nitrogen uptake and utilization by bell pepper in subtropical Australia. **Journal Plant Nutrition**, v.16, p.2055-71, 1993.

PADOVANI, N.; SANTOS, C.; OLIVEIRA JUNIOR, A.; MARTINES, A.; NOGUEIRA, M.; CARDOSO, E.; ANDRADE, G. Atividade microbiana em solo acrescido de lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. *Anais...* Gramado, 2007.

RAIJ, B.van.; QUAGGIO, J.A.; CANTARELLA, H.; FERREIRA, M.E.; LOPES, A.S.; BATAGLIA, O.C. **Análise química do solo para fins de fertilidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1989. 170p.

RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ, V.H. **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa, MG, 1999. 359p.

RICHARDS, L.A. **Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils**. Washington. United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160p. (Agriculture Handbook, 60).

RUTLAND, F.H. Environmental compatibility of chromium-containing tannery and other leather product wastes at land disposal sites. **Journal of the American Leather Chemistry Association**, Cincinnati, v.86, p.364-373, 1991.

SANTOS, J.W. dos; MOREIRA, J. de A.N.; BELTRÃO, N.E. de M. Avaliação do emprego dos testes de comparação de médias na revista Pesquisa Agropecuária Brasileira (PAB) de 1980 a 1994. **Pesq. Agropec. Brasil**. v.33, n.3, p. 225-230, 1998.

SELBACH, P.A.; TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; CAVALLET, C.E. Descarte e biodegradação de lodos de curtume no solo. **Revista do Couro**, v.4, p.51-62, 1991.

SILVA, S.M.C.P.; FERNANDES, F.; SOCCOL, V.T.; MORITA, D.M. Principais contaminantes do lodo. In: ANDREOLI, C.V.; SPERLING, M.; FERNANDES, F. (Eds). **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2001. 484p.

SILVA, W.L.C.; MAROUELLI, W.A.; CARRIJO, O.A.; FONTES, R.R.; MORETTI, C.L. Fontes de nitrogênio de pimentão em ambiente protegido via gotejamento. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.822-23, 2000. Suplemento.

SIMS, J.L.; PATRICK Jr. W.H. The distribution of micronutrients cations in soil under conditions of varying redox potential and pH. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v.2, p.259-262, 1978.

SHEWRY, P.R.; PETERSON, P.J. The uptake and transport of chromium by barley seedlings (*Hordeum vulgare L.*). **Journal of Experimental Botany**, v.25, n.87, p.785-797, 1974.

SOUZA, R. J.; NANNETTI, D.C. **A cultura do pimentão (*Capsicum annuum L.*)**. Lavras: UFLA, 1998. 49 p. (Boletim técnico).

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C. Descarte em solos de resíduos de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. 1997. Rio de Janeiro. **Resumo Expandido**. Rio de Janeiro: SBCS, 1997.

TEDESCO, M.J.; VOLKWEISS, S.J.; BOHNEN, H. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. Porto Alegre: UFRGS, 1985. 188 p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, K.R.G.; GONÇALVES FILHO, L.A.R.; CARVALHO, E.M.S.; ARAUJO, A.S.F.; SANTOS, V.B. Efeito da adição de lodo de curtume na fertilidade do solo, nodulação e rendimento de matéria seca do caupi. **Ciência Agrotécnica**, Lavras, v.30, n.6, p.1071-1076, 2006.

TIVELLI, S.W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condição subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora Unesp, 1998. cap. 8, p.225-256.

TIVELLI, S.W.; MENDES, F.; GOTO, R. Estimativa da área foliar do pimentão (*Capsicum annuum* L.) cv. Elisa conduzido em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 15, 1997. Suplementos. (Resumo 325).

USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. 40 CFR Parts 257, 403 and 503. **Final rules: Standards for the use of sewage sludge**. Federal Register, v. 58, n 32, p. 9248-9415, 1983.

VARO, P.; LAHELMA, O.; NUURTAMO, M.; SAARI, E.; KOIVISTOINEM, P. Mineral element composition of finnish food. **Acta Agriculturae Scandinavica**, suppl. 22, University of Helsinki, Finland. p. 235-242, 1980.

VILLAS BÔAS, R.L.; KANO, C.; LIMA, C.P.; MANETTI, F.A.; FERNANDES, D.M. Efeito de doses de nitrogênio aplicado de forma convencional e através da fertirrigação na cultura do pimentão. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.801-802. 2000. Suplemento.

WAD, P.G.S. **Lodo de curtume: alternativa na recuperação de áreas degradadas**. 2005. Agronline.com.br. Disponível em: <<http://www.agronline.com.br/artigos/artigo.php?id=262>>. Acesso em: 24 de abril de 2007.

WADT, P.G.S.; PÉREZ, D.V.; NÓBREGA, M.S.; BERTOTTI, F. Produtividade do milho em áreas de pastagem degradada, tratada com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. **Anais...** Gramado, 2007a.

WADT, P.G.S.; PÉREZ, D.V.; NÓBREGA, M.S.; SILVA, A.L.F. Alteração na fertilidade do solo, teor de nutrientes e no estabelecimento inicial de milho cultivado em áreas tratadas com lodo de curtume. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 31. **Anais...** Gramado, 2007b.